

■ 論 文 ■

교통정체상황 분류기법에 기초한 연속류 돌발상황 검지모형 개발 연구

Development of a Freeway Incident Detection Model Based on Traffic Congestion Classification Scheme

김 영 준

(한양대학교 교통공학과 박사과정)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학과 교수)

목 차

- | | |
|-------------------------------------|------------------|
| I. 서론 | 2. 모형구조 |
| II. 기존모형 고찰을 통한 연구방향 모색 | 3. 컴포넌트별 세부 알고리즘 |
| 1. 기존 돌발상황 검지기법 | IV. 개발모형의 검증 |
| 2. "오보(誤報)"관점에서의 기존모형 검토 및 연구방향의 모색 | 1. 성능평가 방법론 |
| III. 모형개발 | 2. 모형성능의 평가 |
| 1. 모형개발을 위한 주요 접근방법 | V. 결론 및 향후과제 |
| | 참고문헌 |

Key Words : 돌발상황검지, 오보율, 정체분류, ITS, 교통관리

요 약

본 연구에서는 기존 알고리즘이 오보를 발생시키는 요인에 대하여 취약하다는 인식에 기초하여 이를 보완하여 향상된 오보억제 능력을 갖는 고속도로 돌발상황 검지모형을 구축하고자 하였다. 개발모형은 고속도로의 위치(본선구간, 진출입 구간)별로 이상교통류 판단, 정체발생 여부판단, 정체원인 구분으로 이어지는 일련의 판단프로세스를 실행하여 돌발상황 유사상황과 실제 돌발상황 간의 특성을 구별하는 방식으로 돌발상황을 검지한다.

돌발상황검지모형의 성능은 평가에 사용된 자료의 특성에 매우 민감하므로 개발모형의 성능에 대해 단정적 결론을 내릴 수는 없으나, 본 연구에서 사용된 실험환경하의 성능지표를 종합한 환산점수상으로 기존모형보다 향상된 성능을 나타내었으며, 오보율은 대다수 모형보다 우수한 것으로 분석되었다. 본 연구의 초점이 현장에서 돌발상황 검지모형의 활용성 제고를 위한 오보를 개선에 있었던 만큼 본 연구는 그 실험적 시도로서 소기의 성과를 거두었다고 판단된다.

I. 서론

최근까지 개발된 돌발상황 검지모형이 공통적으로 안고 있는 문제는 지나치게 잦은 오보로 인해 실제 교통관리센터에서 제대로 사용되지 않고 있다는 것이다. 이와 같은 문제는 여러 돌발상황검지 모형 중 현장에서 교적 성공적으로 운영되어 온 캘리포니아 모형, McMaster 모형 등도 예외가 아니다.

오보의 원인은 크게 검지데이터의 질적 특성(on-line으로 수집되는 실시간 데이터의 무작위적 변동을 돌발상황에 의한 것으로 인식)으로 인한 것과 돌발상황과 유사한 패턴을 갖는 반복정체 또는 일시적 교통류 교란에 의한 충격파가 돌발상황으로 오인되는 경우로 나눌 수 있다. 이러한 "오보 문제"는 실제 대다수 교통관리센터 운영자를 통해서도 확인되고 있는 바, 앞으로 이 분야의 연구노력은 모형의 검지율을 높이거나 검지시간을 단축시키는 것보다는 이러한 오보의 원인요소들이 작용할 수 있는 교통상황에 대한 면밀한 데이터분석과 이에 기초하여 오보율을 최소화하는 데에 초점이 맞추어져야 할 것이다.

이에 본 연구는 연속류에서 반복정체 등으로 인한 교통상황과 돌발상황을 정밀하게 구분해 내어 기존 모형과 비교하여 현저히 낮은 오보율을 나타낼 수 있는 돌발상황 검지모형을 개발(검지율과 검지시간은 기존의 성능우수 모형과 유사한 수준으로 확보)하는 것을 주 목적으로 설정하게 되었다. 또한, 반복정체 다발지점 중 하나임에도 불구하고 그간의 연구에서 다소 간과되어 온 고속도로 램프 접속부에서의 돌발상황 검지에 도 비중을 두고 연구를 수행하였다.

II. 기존모형 고찰을 통한 연구방향 모색

1. 기존 돌발상황 검지기법

고속도로에서의 돌발상황검지 모형에 관한 연구는 크게 5가지 유형으로 구분할 수 있다. 이들 모형 중 주류를 이루고 있는 단순 비교식으로부터, 시계열, 통계, 교통류 모델링, 그리고 퍼지로지, 인공신경망 등의 다양한 형태로 개발되어 있다. 고속도로의 돌발상황검지 모형의 특징을 형태별로 간단히 정리하면 다음과 같다.

- 비교식 알고리즘 : 가장 일반적인 모형으로, 기본적인 논리는 돌발상황에 의한 비정상적인 교통패

턴을 확인하기 위해서 검지된 변수 값들을 미리 설정된 임계값과 비교하는 것이다(Stephanedes, Y.J. 등, 1993).

- 시계열 알고리즘 : 단기 교통상황 예측을 위하여 교통변수들의 최근 변화추이를 관찰하여 예측값을 미리 설정하여, 관측값과 예측값의 차이가 한계 이상으로 커지면 돌발상황으로 판단한다(Ahmed, S.A. 등, 1982).
- 통계적 기법 : 검지 변수들의 확률분포를 결정하고, 돌발상황시와 비돌발상황시의 데이터를 검토함으로써 돌발상황상황과 비돌발상황 상황을 구분하는 최적의 임계값을 결정하는 방법이다(Levin, M. 등, 1978).
- 교통류 모델링 : 교통류 모델링 연구를 응용한 방법으로, 교통상태를 묘사하는 수학적 모델에 근거하여 평상시와 돌발상황시의 교통패턴을 구별한다(Hall, F.L. 등, 1993).
- 인공신경망과 퍼지로지 : 이 범주에 속하는 모형들은 과거 모형들이 가지고 있는 임계값 결정의 어려움을 포함하여 다양한 교통환경에서의 인식성에 관한 문제를 해결하기 위해 고안된 것들로서, 축적된 과거 데이터를 기반으로 모형이 자체 학습 능력을 갖도록 함으로써 다양한 교통환경에 적용이 용이하도록 하기 위한 것이다. (Cheu, R.L. 등, 1991).

국내의 돌발상황검지 모형개발에 관한 연구는 아직 초기단계라 할 수 있는데 최근 추세인 신경망 또는 퍼지이론, 유전자 알고리즘을 활용한 모형들로부터 통계학적 모형, 교통류모델을 활용한 모형들로 구성된다.

이시복(1996, 2004)은 간선도로와 고속도로에서의 돌발상황 검지를 위해 퍼지이론 및 유전자 알고리즘을 적용하였으며, 김영찬과 임성만(2004)도 고속도로 비혼잡상황하에서 돌발상황 검지를 위해 퍼지이론과 유전자 알고리즘을 합성한 형태의 모형을 개발한 바 있다. 장세봉(1997)은 돌발상황 검지모형 개발에 인공신경망을 이용한 바 있다. 이영인과 황준환(2001)은 통계학적 기법의 일종인 최우자승법(maximum likelihood)을 활용하여 신호교차를 포함한 간선도로에서의 돌발상황 검지모형을 개발하였다. 이상민과 이승환(2002)의 「Wilcox Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황검지 모형 개발」연구도 연속류 구간에 통계학적 기법을 적용한 사례에 해당된다. 교통류 모델의 범주에 속

하는 모형으로 강수구 등(2001)은 고속도로 돌발상황 검지모형의 성능개선을 위해 McMaster 모형을 응용한 형태의 모형을 개발한 바 있다.

2. “오보(誤報)”관점에서의 기존모형 검토 및 연구 방향의 모색

전술한 바와 같이 돌발상황 검지모형의 개발과 기능 향상을 위한 그간의 적지 않은 노력에도 불구하고 실제 교통관리센터에서 돌발상황 검지모형의 활용성이 취약한 것은 지나치게 잦은 오보문제에 가장 큰 원인이 있다고 하겠다. 검지율이 다소 떨어지는 것은 여타 정보 수집 메카니즘에 의해 보완이 가능하지만 오보가 자주 발생하는 문제는 교통관리센터의 업무 효율면에서 낭비를 초래하는 요소가 될 뿐인 것이다.

오보의 원천적인 요인은 데이터의 무작위변동, 반복정체 등의 상황이나, 2차적인 원인은 이를 검지하기 위한 모형의 로직 속에 존재한다. 대부분의 무작위 변동은 여러 형태의 smoothing 메카니즘에 의해 필터링이 비교적 용이하지만 돌발상황과 유사한 패턴을 보이는 반복정체의 경우가 주로 문제가 되고 있는 것이다. 그러나, 두 상황이 유사하다는 것은 검지변수가 유사한 반응을 보인다는 것이지 절대적인 관점에서 두 상황이 유사한 것은 아니며, 상식적으로도 이 두 상황은 같을 수 없다. 여기에 모형이 사용하는 검지변수를 포함한 로직의 문제가 내재되어 있는 것이다. 상황을 판단할 수 있는 정보가 속도, 점유율, 교통량이라는 변수로 제약되어 있는 상황 하에서 어떠한 변수가 두 상황을 보다 잘 구분해 내는가와 같은 변수를 사용하더라도 이를 어떠한 로직으로 실행해 나아가는가에 ‘상황 변별력’이 결정된다고 할 수 있다.

이러한 측면에서 기존 모형들은 취약점을 갖고 있다 할 수 있다. <표 1>에 나타난 바와 같이 먼저 대다수 모형들이 채택하고 있는 점유율이라는 검지변수가 위의 원천적 오보원인에 대해 효과적으로 차별화된 반응을 보이지 못하는 경우가 많다는 점이다. 속도자료는 일부 모형에서 점유율과 함께 교통상태를 분류하기 위한 보조 데이터로 사용되는 정도인데, 이 역시 상황 변별력은 매우 약하다. 교통량 자료는 일부 모형에서 거시적 교통류모델에 의한 상태분류를 위해 다른 변수와 함께 사용되었을 뿐, 교통량의 시공간적 변화과정에 대한 미시적 관찰에는 비중을 두고 있지 않다. (돌발상황 및

<표 1> 돌발상황 검지모형의 검지변수

유교검지모형	점유율	교통량	속도
California	Basic	✓	
	Algorithm #7	✓	
	Algorithm #8	✓	
	APID	✓	✓
PATREG	✓		
Standard Normal Deviate	✓	✓	
Bayesian	✓		
Time-Series ARIMA	✓	✓	
HIOCC	✓		
Exponential Smoothing	✓		
Low-Pass Filter	✓		
Dynamic Model	✓	✓	
McMaster	✓	✓	

반복정체 발생시 검지변수의 반응패턴은 3장 1절에서 상술하기로 한다.)

여기서 우리는 알려진 새삼스러운 사실 즉, 돌발상황은 용량 감소가 정체의 원인이며 반복정체는 수요증가가 원인이 된다는 사실에 다시 주목할 필요가 있다. 용량감소 또는 수요증가로 인하여 초래된 교통상황은 결과적으로 통과교통량 count라는 현상으로서 나타날 것이므로, 주어진 상황을 가장 직접적으로 설명할 수 있는 변수는 교통량이라 할 수 있다. 이 사실만으로도 교통량 count는 검지변수로서 돌발상황과 반복정체를 가장 직접적으로 구분할 수 있는 잠재력을 보유하고 있다는 사실을 알 수 있다.

돌발상황이 초래한 용량감소로 인해 수요가 용량을 초과하게 된 상황하에서 하류검지기의 통과교통량은 반드시 감소할 수 밖에 없는 반면, 수요증가로 인한 반복정체시에는 하류검지기의 교통량은 감소할 수 없으며 오히려 점진적 증가추세를 보이게 된다. 상류검지기의 경우에도 마찬가지로 「돌발상황시 교통량감소 /반복정체시 교통량 증가」 패턴이 나타나게 된다. 이는 램프가 없는 연속구간에서는 반복정체가 본선차체의 수요증가에 기인하기 때문인데, 반복정체의 원인이 램프진입 교통량 증가일 경우에는 상류검지기에서는 반대로 교통량 감소가 관측될 것이며 결과적으로 돌발상황과 유사한 양상을 보이게 된다. (3장 1절 참조)

이처럼 두 정체상황의 시간적인 전개 과정과 이에 따른 상하류 검지기에서의 교통량 count 변화과정은 두 상황의 구분을 위한 매우 중요한 단서를 제공하고 있는 것이다. 본 연구는 교통량 count라는 ‘잘 알려진’ 변수가 상황 변별력을 강화시킬 수 있는 가장 좋은 수

단이 될 수 있다는 사실에 착안하여 모형의 핵심부분에 교통량의 시공적 변화특성을 직간접으로 반영하고자 하였다.

또한, 이분야의 연구노력이 고속도로상의 연속된 구간에 치중한 반면 반복정체의 가장 흔한 원인이 될 수 있는 진출입 램프구간에 대하여는 간과해 온 것이 사실이다. 이러한 취약점을 보완하기 위해 모형의 알고리즘 내에 일반 연속 본선구간과 진출입 램프 접속부간의 특성 차이를 고려하여 이들을 차별화하여 처리하고자 하였다.

III. 모형개발

1. 모형개발을 위한 주요 접근방법

1) 교통변수의 반응특성과 검지변수 선정

연구의 주목적이 오보의 주원인인 반복정체 상황을 돌발상황과 구분해 내는 데에 있는 만큼 1차적으로 원시 검지변수 선정단계에서 이 두가지 정체상황에 대해 확연히 차별화된 반응을 나타내는 변수를 선정하는 것은 매우 중요한 일이다.

정도의 차이는 있으나 많은 수의 기존 모형들은 돌발상황 또는 반복정체 발생지점 상하류 검지지에서 돌발상황과 반복정체가 각기 다른 반응을 나타낸다는 사실에 의존하고 있다. 본 연구에서는 교통변수(속도, 교통량, 점유율)의 일반적 행태뿐만 아니라, 돌발상황 또는 반복정체로 인하여 이들 변수들이 상류와 하류지점에서 어떠한 차이를 가지고 반응하는가(〈그림 1, 2〉참조)에 관해 재고찰해 보았으며 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

- 속도 : 3개 변수 중 가장 돌발상황에 민감하게 반응하지만 그 만큼 반복정체에도 민감하여 구별 어려우며, 돌발상황 발생시 상류검지지에서 속도 감소 패턴은 쉽게 관찰되기 쉽지만, 하류 검지지에서 속도개선 효과는 미미한 경우가 많다.
- 점유율 : 영상검지기 등 루프검지기 이외의 검지기를 사용할 경우, 정확성이 떨어지고 반응 민감도 면에서 속도에 못 미치며 돌발상황이든 반복정체가든 정체 발생했을 때 상류검지에서의 반응은 증가양상으로 동일하게 나타나며 상하류 검지기값을 동시에 사용해도 행태 상으로 크게 차별점

이 없다.

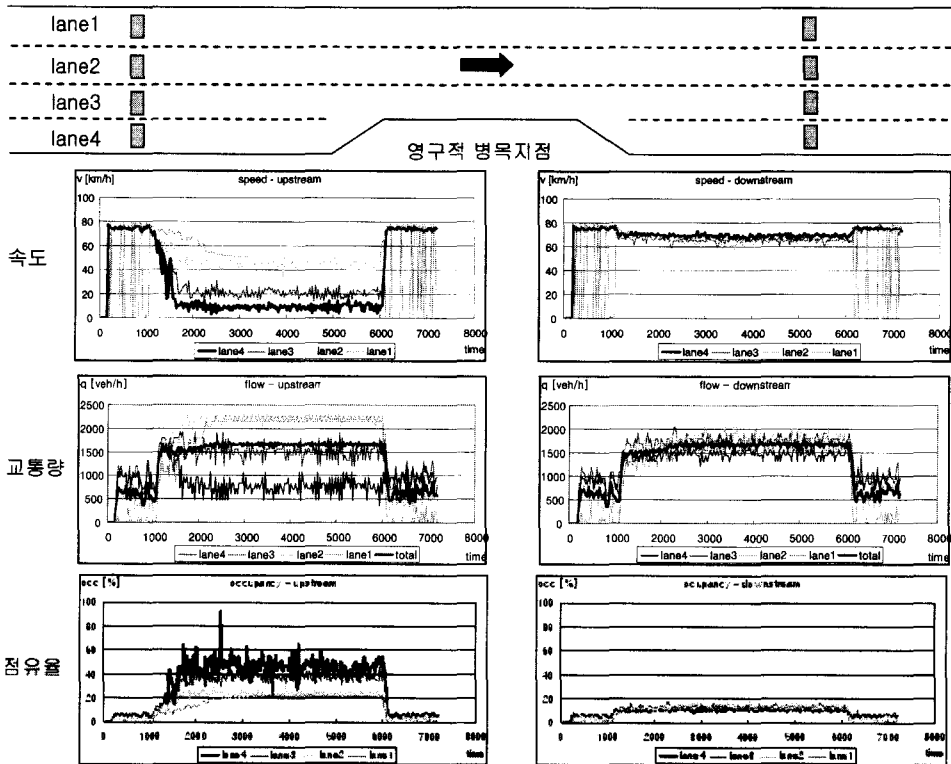
- 교통량(교통류율) : 다소 반응은 느린 편이나 상하류 검지기 모두에서 돌발상황과 반복정체와 확연히 구분되는 행태를 보인다. 가령, 돌발상황이 초래한 용량감소로 인해 수요가 용량을 초과하게 된 상황에서 상하류검지지의 교통량은 반드시 감소할 수 밖에 없는 반면, 수요증가로 인한 반복정체시에는 상하류검지지의 교통량은 감소할 수 없으며 오히려 용량에 이르기 전까지는 점진적 증가추세를 보이게 된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 하류검지지에서 두 상황 간 차별화된 반응을 나타내기 어려운 속도나 점유율에 의존하는 다수의 모형의 경우, 사실상 상류검지지의 변수값 만으로는 돌발상황과 반복정체를 정확히 구분해 내기 어렵게 되며, 이것이 오보로 이어질 가능성이 높아질 수 밖에 없는 것이다. (상류검지지에서 데이터의 무작위 변동이나 오류가 발생할 경우 이를 상쇄시켜줄 하류검지지가 역시 오보율을 높이게 되는 주 원인이 되는 것이다.) 반면, 상하류 지점 모두에서 차별화된 반응을 나타내는 교통량은 이러한 오보를 억제시킬 수 있는 강점을 가지고 있다 할 수 있다.

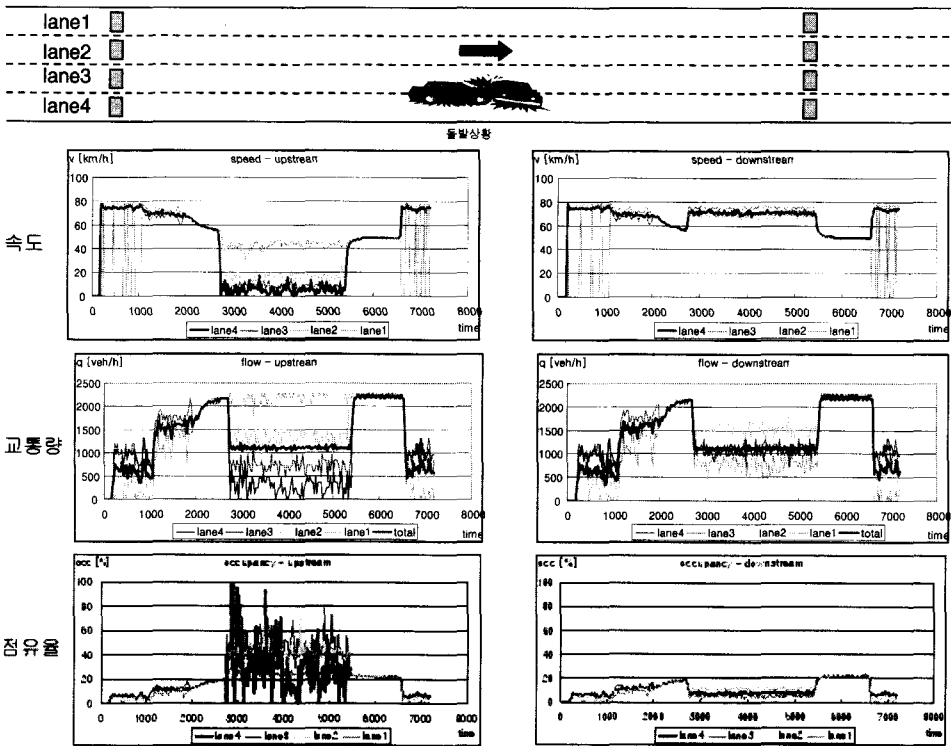
이상과 같은 고찰을 통해 본 연구에서는 돌발상황과 반복정체를 구분하는 핵심 검지변수로 교통량을 사용하기로 하였으며, 교통량 자료가 상대적으로 정체에 대하여 반응이 느린 것을 보완하기 위해 교통상황에 민감한 속도자료를 병행 활용하였다.

2) 다단계 단순 판단프로세스에 의한 상황분류

교통상황에 대한 직관적인 교통공학적 상식을 단순화한 판단과정을 Top-down 방식으로 여러 단계에 걸쳐 진행시켜 나아가는 방식을 채택함으로써 실익 없는 복잡한 데이터 가공을 배제하는 동시에 특정 단계에서의 판단오류가 모형 전체의 판단오류로 이어질 가능성, 다시 말해, 오보발생 가능성을 최소화하고자 하였다. 판단 프로세스는 먼저 교통류의 이상흐름 여부를 판단하고, 이상이 있다면 그것이 정체를 동반하는 것인지 여부를 분석하며, 정체를 동반한 경우에 그 정체가 돌발상황으로 인한 것일 가능성에 대해 1차 판단하고, 판단결과가 돌발상황으로 의심될 경우 최종적으로 돌발상황 발생 여부를 최종 확인하는 일련의 과정(4단계 검지/확인과정)으로 구성하였다.



〈그림 1〉 반복정체시 교통변수 행태



〈그림 2〉 돌발상황시 교통변수 행태

3) 데이터의 무작위 변동 필터링 다중화

모형에 입력되는 원시자료에 대해 우선 평활화 기법 (data smoothing) 및 지속성 체크(persistency check)를 통해 무작위 변동을 걸러낸다. 이러한 필터링 과정을 통해서도 걸러지지 않는 경우에도 모형내의 여러 decision making process를 거치는 동안 무작위 변동은 자연스럽게 “반복정체”로 분류되도록 하여 돌발상황으로는 보고 되지 않도록 하였다. 이는 반복정체가 존재하지 않는 상황일 경우 판단 오류에 해당되지만, 모형의 역할이 돌발상황 검지에 있으므로 “반복정체 존재여부와 관계없이 돌발상황 아닌 정상상황하에서 무작위 변동을 돌발상황으로 보고하지만 않으면 문제가 없다”는 논리에 근거를 두고 있다.

4) 실시간 용량·교통량 비교에 의한 반복정체 필터링

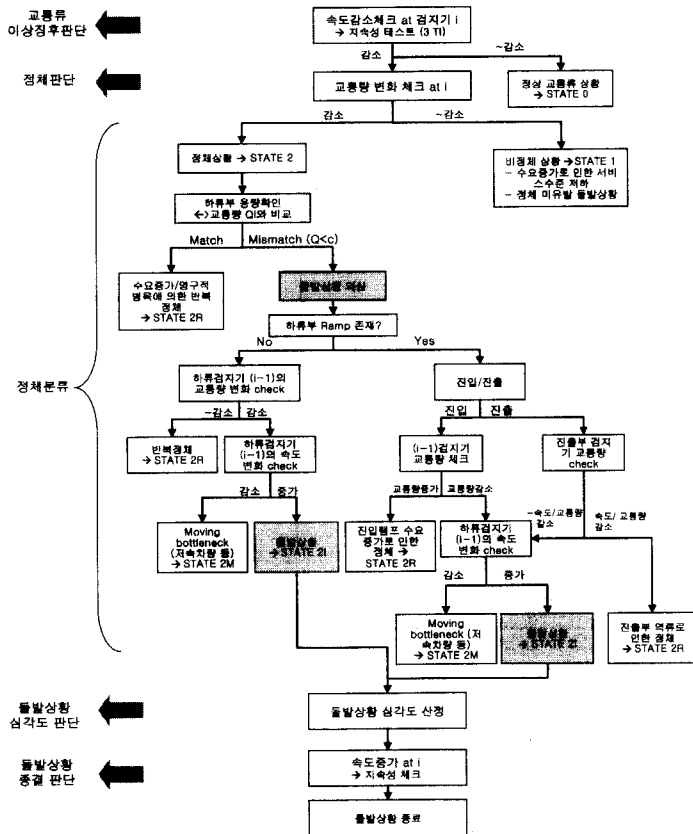
돌발상황 검지모형의 “숙제”라 할 수 있는 반복정체 시 오보문제는 교통변수의 행태에 관한 구체적인 이해를 기반으로 반복정체와 돌발상황 정체의 뚜렷한 차별

점을 찾아 내어야 할 것이다. 특정 검지기에서 속도와 교통량이 모두 감소한 경우, 이러한 감소가 반복정체에 의한 것이라면 돌발상황 발생 하류부의 차로용량과 검지기의 교통량은 일치할 것이며, 만일 일치하지 않는다면 이는 돌발상황에 기인할 가능성이 높을 것이다. 또한, 하류부 검지기의 상태를 모니터링하여 돌발상황으로 인한 정체의 특성을 보일 경우에 한해 돌발상황 보고를 하도록 하였다. (반복정체의 경우 하류검지기에서는 교통량 감소패턴은 나타나지 않을 것이며, 돌발상황이라면 교통량 역시 감소패턴을 보일 것임)

2. 모형구조

돌발상황 검지는 <그림 3>과 같은 교통상황에 대한 일련의 판단 프로세스를 통해 이루어진다. 이들 판단 프로세스를 <표 2>와 같이 5가지 컴포넌트 알고리즘으로 모듈화 하였다.

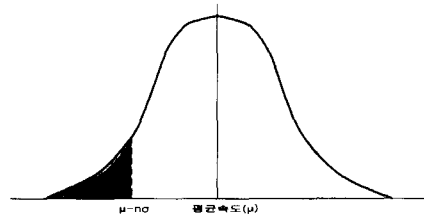
각 알고리즘 모듈 내에서 일어나는 판단과정의 결과는 다음의 교통상황 분류체계에 따라 이루어지게 된다.



<그림 3> 돌발상황 검지모형의 판단 프로세스

〈표 2〉 돌발상황 검지모형의 컴포넌트 알고리즘

실행 순서	컴포넌트 모듈	개요
1	교통류 이상징후 판단 모듈 (Anomaly Identification Module)	교통흐름의 이상현상 유무를 파악
2	정체판단 모듈 (Congestion Identification Module)	이상징후로 분류된 교통상황을 정체상황과 비정체상황으로 분류
3	정체분류 모듈 (Congestion Classification Module)	정체로 분류된 상황을 반복정체인지 돌발상황으로 인한 것인지 구분
4	돌발상황 심각도 판단모듈 (Incident Severity Assessment Module)	정체분류 모듈에서 돌발상황으로 판단한 경우에 돌발상황의 심각도를 산정
5	돌발상황 종결 판단 모듈 (Incident Termination Identification Module)	돌발상황이 종결되어 교통류가 정상화되는 시점을 판단



〈그림 4〉 속도분포상의 속도감소 판정

변동에도 민감할 수 있으므로 지속성 체크를 통해 이를 효과적으로 filtering하고자 하였다. 또한 이 모듈은 아래의 정체판단 모듈과 더불어 정체판단을 위한 dual check의 기능을 하기도 한다.

2) 정체판단 모듈(Congestion Identification Module)

정체판단모듈은 이상징후로 분류된 교통상황을 정체상황과 비정체상황으로 분류함으로써 비정체상황이 돌발상황으로 오인될 가능성을 사전에 필터링하는 역할을 한다. 여기서, 정체상황은 돌발상황으로 인한 정체, 수요증가 및 병목으로 인한 반복정체, Moving Bottleneck에 의한 정체, 진출부 대기행렬 역류로 인한 본선정체를 포함하며, 비정체 상황은 정체는 존재하지 않으나 수요증가로 인해 단순히 서비스수준이 저하된 상황이나 정체를 유발하지 않는 돌발상황을 의미한다.

본 모듈에는 정체를 판별하는 indicator로써 교통류의 stochastic한 특성에 의한 무작위 변동(random fluctuation)에 민감하게 반응하지 않으면서도 정체가 발생하는 시점을 단기간 내에 검지할 수 있는 flow indicator를 도입하였다.

$$\text{flow indicator} = \frac{\bar{q}_{13} - \bar{q}_3}{\bar{q}_{13} + \bar{q}_3} \quad (1)$$

여기서, \bar{q}_3 : 이상징후 이후 지속성 체크가 이루어진 3 TI(time interval : 30초)의 평균 교통량 count

\bar{q}_{13} : 이상징후 이전 10 TI의 평균 교통량 count (현재 TI 이전 13~3TI)

위의 indicator는 감소 또는 증가추세에 따라 -1.0에서 1.0사이의 값을 갖게 되는데, 증가 또는 무변화일 때는 비정체상황으로 분류(STATE 1)되며, 감소추세를 나타낼 경우 정체상황으로 분류하고 다음의 "정체분류 모듈"로 넘겨지게 된다.

- STATE 0 : 정상 교통류 상황
- STATE 1 : 교통류에 변화는 발생했으나, 정체는 형성되지 않은 상황
- STATE 2 : 교통류에 정체가 형성된 상황
 - 2R : 수요증가로 인하여 병목이 활성화됨으로써 반복정체 발생
 - 2M : 저속운행 차량 등의 이동 병목(Moving bottleneck)으로 인한 정체
 - 2I : 돌발상황 발생으로 정체 형성

모든 알고리즘 실행 후 최종결과가 STATE 2I인 경우에 한해 운영자에게 돌발상황 알람(alarm)으로서 보고되며, 그 밖의 경우는 모형실행 이력으로서 기록되어 관리되도록 한다.

3. 컴포넌트별 세부 알고리즘

1) 교통류 이상징후 판단모듈 (Anomaly Identification Module)

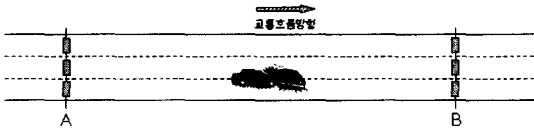
검지주기(30초)내에 관측된 차로별 평균속도 중 최소값이 과거 5분간 관측된 속도분포 상에서 신뢰구간 설정값 이하(좌측 95% 신뢰구간)일 때 이상 징후로 판단한다. (속도는 정규분포를 따르는 것으로 가정)

속도감소가 확인되면 같은 방법으로 다음 두 검지주기 동안 감소패턴이 계속되는지 지속성 체크를 수행한다. 이 모듈은 교통상황 변화에 가장 빠르게 반응하는 속도변수를 활용함으로써 돌발상황 발생시 '첨병(尖兵)' 역할을 하도록 하였으며, 민감한 만큼 데이터의 무작위

3) 정체분류 모듈 (Congestion Classification Module)

(1) 반복정체와 돌발상황정체의 구별 원리

가령, <그림 5>에서 돌발상황이 A-B구간에서 발생한 경우, 돌발상황이 교통류에 미치는 영향은 검지기 A와 검지기 B에서 가장 먼저 관측될 것이며, 이들 검지기에 나타난 count는 돌발상황으로 인한 용량감소분이 반영된 결과일 것이다. A-B 구간내에 병목지점이 존재할 경우 역시, 상하류 지점의 검지기에서 관측되는 count는 이 병목의 용량을 반영하고 있을 것이다. 따라서, 이미 그 값이 알려진 구간내 영구적 병목지점의 용량과 검지기의 count를 비교하여 두 값이 일치한다면, 이 정체는 병목으로 인한 단순 반복정체일 가능성이 크며, 만일 검지기 count가 용량값과 일치하지 않는다면(count<용량), A-B 구간 내에 알 수 없는 어떤 용량감소요인, 다시 말해 돌발상황이 존재한다고 할 수 있다. 예외적으로, 돌발상황이 영구병목지점 상류부에서 발생하고, 상황발생후의 용량이 영구병목지점의 용량과 유사한 경우는 구별이 어려울 것이다.



<그림 5> 돌발상황 발생지점과 검지기 위치

(2) 정체구별 알고리즘

① 구간별 용량범위(C_{A-B}의 범위) 설정 (Capacity Range Estimation)

차로수를 기준으로 개략적으로 추정(또는 이상적인 값을 사용)하고, 과거 24시간 교통류를 중 최대값을 사용하여 보정한다.

② 비교대상 교통량 Count 값 산정

정체판단 모듈에서 지속성 체크 기간(3 TP) 동안 사용되었던 count값 3개의 평균치를 이용한다.

③ Count와 병목 의심지점 용량간 비교 방식

정체가 발생하면 검지기 A에서 congestion이 최초로 관측될 것이며 검지기 A에서의 count를 기반으로 A-B구간에서 발생한 용량감소 원인을 확인한다.

- If [A지점평균 count ≙ (A-B)구간 용량] ⇒ 일치(Match) ⇒ 반복정체
- If [A지점평균 count < (A-B)구간 용량] ⇒ 불일치(Mismatch) ⇒ 돌발상황

<표 3> 고속도로 돌발상황 발생시 용량감소율 (%)

방향별 차로수	길어깨 사고	한 차로 차단	두 차로 차단	세 차로 차단
2	19	65	100	-
3	17	51	83	100
4	15	42	75	87

④ 일치/불일치(match/mismatch) 판정기준

<표 3>에 보인 바와 같이 돌발상황은 경미한 경우에도 15% 이상의 용량감소를 유발하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 15% 이상의 용량감소를 일으키는 경우에 한하여 검지대상 돌발상황으로 규정하고 그 이하의 용량감소에 대하여는 반복정체로 간주하도록 한다.

$$\bullet \text{ If } r(1-0.15) \cdot C_{(A-B)} \leq \frac{\sum_{i=1}^3 Q_{Ai}}{3} \leq C_{(A-B)}$$

⇒ 일치로 판정하고 반복정체로 결론 (STATE 2R)

$$\bullet \text{ If } r \frac{\sum_{i=1}^3 Q_{Ai}}{3} < (1-0.15) \cdot C_{(A-B)} \Rightarrow \text{「용량}$$

↔교통량 불일치」로 판정하고 “돌발상황 의심상황”으로 분류함

여기서, n : 3(지속성 체크를 실행하는 TI 수)

C_(A-B) : A-B구간의 용량 (구간내 용량값이 균일하지 않은 경우, 구간내 각 용량값 중의 최소값 :

$$C_{(A-B)} = \min[\text{Capacity } (A \mapsto B)] \quad (2)$$

(3) 유출입 램프 없는 연속구간에서의 돌발상황 확인

○ 확인방식

주어진 상황이 위의 정체구별 알고리즘에 따라 돌발상황 의심상황으로 분류되면, 먼저 하류부 램프 존재여부를 체크한다. 램프가 없는 연속구간에 해당될 경우, 돌발상황 발생 의심지점의 하류부에 위치한 검지기(B지점)에서 검지변수(속도 및 count)의 행태를 분석하여 돌발상황에 해당되는 반응이 나타날 경우, 돌발상황 발생을 확인한다.

○ 하류부 검지기 검지변수 변화추이 확인

- 교통량 변화추이 확인

B지점 검지기에서 식(1)의 flow indicator 값이 감소추세를 나타내지 않는다면, 이는 돌발상황이라 볼 수

없고 반복정체시 나타날 수 있는 일시적 이상흐름 상태가 다소 강하게 나타난 것으로 간주한다. (STATE 2R) 반면, flow indicator가 감소추세를 보인다면 이는 moving bottleneck에 의한 정체 또는 돌발상황 두 경우 중의 하나일 것이다.

- 속도변화 추이 확인

교통량이 감소추세를 보일 경우, 지속성 체크이전 10TI동안의 속도값 대비 현재 3TI의 속도가 증가 또는 감소했는가에 따라 돌발상황 또는 moving bottleneck으로 구분한다. 돌발상황의 경우, 발생지점 하류부에서는 속도 개선효과가 나타나야 한다 (STATE 2I). 한편, moving bottleneck에 의한 정체라면 상류검지기(지점 B)에 이어 속도감소추이가 하류지점 C에서도 관측될 것이다. (STATE 2M) 알고리즘은 검지주기(td)내에 관측된 차로별 평균속도 중 최소값이 과거 5분간 관측된 속도분포상에서 95% 신뢰 구간값 이하일 때 속도감소로 판단한다.

(4) 진출입 램프 구간에서의 돌발상황 확인

위의 돌발상황 확인과정은 연속구간의 경우로서 진출입 램프가 존재할 경우에는 다음과 같이 별도의 확인 절차를 적용하여야 한다.

○ 진입램프의 경우

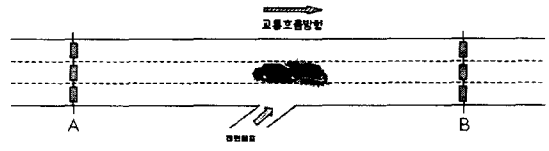
- 기본적으로 연속구간과 동일한 방식이 적용된다고 할 수 있다. 즉, '돌발상황 의심상황' 단계에서 하류부에서 flow indicator 값이 증가한 경우, 진입 교통량 증가로 인한 반복 정체(STATE 2R)로 구분하며, 감소한 경우에는 돌발상황 정체 또는 moving bottleneck으로 인한 정체로 구분한다.

- 이어, 하류검지기(B지점) 속도변화 추이에 따라 moving bottleneck과 돌발상황을 구분한다.

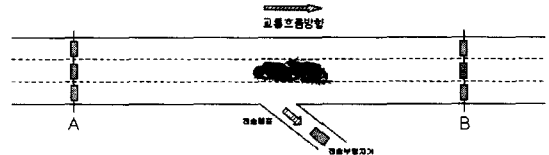
- 속도 개선 추이 ⇒ 돌발상황 ⇒ STATE 2I
- 속도 감소 추이 ⇒ moving bottleneck에 의한 정체 ⇒ STATE 2M

○ 진출램프의 경우

진출램프 구간에서 '돌발상황 의심상황' 이 발생한 경우, 돌발상황과 진출부 대기행렬 역류로 인한 반복정체를 구별해 내기 위해서는 진출부에 검지기가 반드시 설치되어 있어야 한다. 진출부 검지기에서 속도와 교통량이 모두 감소추이를 보이면 진출부 대기행렬 역류로 인한 반복정체로 판단(STATE 2R)하며, 속도/교통량이 감소추이가 아니라면 진출부 상황은 본선에 영향



〈그림 6〉 고속도로 진입부에서의 정체분류



〈그림 7〉 고속도로 진출부에서의 정체분류

을 주지 않는 상황으로서 정체의 원인은 moving bottleneck이거나 돌발상황일 것이다. 이어, 진입램프에서와 마찬가지로 하류부 검지기(B지점)의 속도가 개선추세를 보일 경우, 돌발상황 발생을 확인한다.

(5) 교통류 교란에 의한 일시적 정체 필터링

일시적 교통류 교란현상은 용량흐름에 근접한 불안정한 교통류 상황 하에서 발생하는데 그 원인은 주로 교통흐름속도와 속도편차가 큰 차량들에 의한 것으로서 경우에 따라 돌발상황으로 오인될 수 있는 일시적 정체를 유발하게 된다. 본 연구에서는 이러한 일시적 정체현상 중 비교적 큰 비중을 차지하는 저속운행 차량 등에 의한 이동 병목현상(Moving Bottleneck)을 돌발상황과 구분하기 위해 정체가 최초로 관측된 검지기의 하류부에 위치한 검지기에서의 속도변화를 주목하고 있다. 하류부 검지기 속도변화 관찰에 의한 이동병목의 구분방법은 위의 「돌발상황 확인」 과정에서 설명된 바 있다.

4) 돌발상황 심각도 판단 모듈 (Incident Severity Assessment Module)

돌발상황 심각도는 돌발상황으로 인한 용량감소분이므로, 식 (3)에 보인 바와 같이 평상시 도로용량과 돌발상황의 영향이 반영된 교통량간의 차이가 돌발상황 심각도라 할 수 있다.

$$Incident Severity = C_{(A-B)} - \bar{Q}_A \quad (3)$$

5) 돌발상황 종결판단 모듈 (Incident Termination Identification Module)

돌발상황 종결판단 모듈은 돌발상황 처리 후 정체 해

소를 확인하기 위한 모듈로서 '이상징후 판단모듈'에서 속도감소 추이의 지속성 체크를 한 것과는 역으로 속도의 개선 (증가)추이의 지속성 여부를 3TI동안 확인한다.

관측된 차로별 평균속도 중 최대값이 돌발상황이 보고된 이후에 관측된 속도 분포상에서 신뢰 구간 설정값 이상(예: 우측 95% 신뢰구간)일 때 돌발상황 종료로서 보고한다. 참고로 돌발상황이 종결되면 정체(대기행렬)가 해소되는 과정에서 상류부 검지기에서 본래 A-B 구간의 용량에 해당하는 흐름이 먼저 나타날 것이며, 정체가 모두 해소되고 나면 본래의 교통수요에 해당되는 교통량이 관측될 것이다.

IV. 개발모형의 검증

1. 성능평가 방법론

1) 양적 vs. 질적 성능 평가

먼저 돌발상황 검지모형의 "성능"에 대하여 재정의 해 볼 필요가 있다. 돌발상황 검지모형의 성능은 검지율, 오보율, 검지시간으로 대표되는 양적 MOE로서 표현되는 것이 일반적인 관례이다.

$$\text{검지율}(\%) = \frac{\text{검지된 돌발상황 건수}}{\text{돌발상황 발생 전체건수}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{오보율}(\%) = \frac{\text{오보의 갯수}}{\text{모형의 전체 판단횟수}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{검지시간(분)} = \text{검지시점} - \text{발생시점} \quad (6)$$

그러나, 이들 성능지표는 모형이 현장에 이식된 후 장기간 운영되어 충분한 데이터가 축적되었을 때 비로소 산출 가능한 것으로서, 대다수 모형의 개발단계에서 "성능"이란 용어로서 사용되어 왔던 수치들은 진정한 성능지표라기 보다는 성능을 가늠하여 볼 수 있는 양적 개념의 indicator에 불과한 것이다. 따라서, 모형의 개발단계라는 미약한 특성과 더불어 검증목적으로 사용되는 데이터 량의 제약하에서 논리적 기반이 취약한 기존의 Black Box식 평가/검증만을 고수하는 것보다는 모형개발 단계에서는 알고리즘 로직의 견실성에 대한 질적 평가- 가령 교통류 특성에 대한 공학적 해석이 가능한 검지기 데이터에 대하여 모형이 설명 가능한 결과를 만들어 내는가에 대한 평가-가 반드시 병행 되어야 한다고 판단된다.

2) 모형간 성능 비교에 의한 평가

각각의 모형들은 개발자가 확보하고 있는 데이터에 충실하게 구축된 것이어서 그 성능수치의 객관성을 보장하기 어렵고, 모형간 성능비교시 동일한 자료를 사용한다 하더라도 그 자료가 어떠한 도로교통 환경하에서 수집된 것인가에 따라 우열이 바뀔 수 있다. 다시 말해, 각 모형마다 그 모형이 가장 좋은 결과를 낼 수 있는 적합한 환경이 따로 있으므로 어떤 환경하에서의 자료를 사용하는가에 따라 성능이 달라질 것이다. 또한, 각각의 모형이 충분한 시간동안 충분히 calibration되었을 경우에 비로소 객관적 비교가 가능한 것일뿐더러 각 모형이 각기 다른 검지변수를 사용하고 있고 같은 변수일지라도 데이터 polling 주기에 대해 각기 다른 설정을 가지고 있다. 이처럼 각기 다른 운영환경과 각기 다른 검지 scheme을 가지고 있는 모형들 간의 객관적 비교는 사실상 불가능하다고 할 수 있다.

결론적으로, 기존모형과의 비교는 문헌상에 보고된 성능수치를 이용하되, 비교목적은 개발모형의 성능이 기존 모형이 보이고 있는 성능수치와 비교하여 합리적 수준의 값을 갖는가를 체크하는 수준에서 만족하여야 한다. 결국 진정한 평가는 현장에서 이루어져야 할 것이며, 모형이 현장에서 제대로 "유용"하게 사용되어질 때 그 성능을 인정받은 것이 되는 것이다.

3) 성능평가를 위한 자료의 형태

모형개발 단계의 성능평가에 사용되는 자료/데이터는 실제 현장에서 수집된 자료와 시뮬레이션을 통해 확보된 자료로 나눌 수 있다.

현장 수집자료의 경우 실제상황이라는 점에 있어서 시뮬레이션 자료보다 객관성이 있다고 볼 수도 있으나, 현장수집자료는 자료가 수집된 현장의 고유한 도로교통 조건에 의해 초래된 결과로서 일반적인 다양한 도로교통조건을 대표할 수 없는 경우가 대부분이며, 자료의 신뢰성 여부도 판단하기 어려운 단점이 있다. 이러한 전체 도로교통상황의 부분집합에 불과한 현장자료에 의해 성능실험을 수행하여 우수한 결과가 나왔다 하더라도 또 다른 상황에서 같은 성능이 나온다는 것은 보장할 수 없는 것이다. 더욱이, 고속도로 상에서 발생하는 다양한 반복정체를 효과적으로 필터링 하는 능력을 갖추도록 모형을 구축하려면 그 원인이 분명히 알려져 있는 반복정체 자료가 필요함에도 불구하고, 현장자료의

경우 본선구간 이외의 진출입 램프에는 검지기가 없는 경우가 대부분이어서 램프 접속부 부근에서 발생하는 반복정체 상황이 진출입 차량으로 인한 것인지 아니면 단순히 본선 특정 지점에서 발생한 병목으로 인한 것인지를 구분하기 어려운 단점 또한 있는 것이 사실이다. 또한, 실제 돌발상황 자료는 발생건수 면에서 매우 제한적일 수 밖에 없으며 발생위치나 시각, 심각도 등 특성이 알려져 있지 않거나 부정확한 경우가 많다.

시뮬레이션에 의한 자료의 경우, 그 결과가 시뮬레이션 모형내의 규칙에 의한 것이어서 예측된 결과가 나타날 수 밖에 없기 때문에 실제상황을 충분히 반영할 수 없다는 비판도 있을 수 있으나, 현장자료와는 달리 환경변수가 controllable하기 때문에 모형실험시 표준적인 도로교통 조건을 설정할 수 있으므로 성능에 대한 일반화된 결론을 도출할 수 있다. 또한, 현장자료와는 달리 원인이 분명한 반복정체 자료 수집이 가능하며 돌발상황의 특성(발생지점, 위치, 심각도 등)의 설정이 가능하므로 다양한 돌발상황 자료를 구축할 수 있다.

종합하여 보면, 모형의 개발단계에서 사용되는 자료가 가져야 할 대표성, 명확성, 다양성 등의 조건 측면에서는 시뮬레이션 자료가 현장자료에 비해 장점을 가진다 할 수 있으며, 현장자료는 모형이 현장에 이식된 후 안정화 단계 및 수정보완 단계에서 본격 활용되는 것이 보다 적절하다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 시뮬레이션 자료를 중점적으로 활용하여 모형의 성능평가를 수행하기로 하였으며, 현장자료는 오보율 측면에서 "실제상황"에 대한 모형의 반응을 테스트하기 위한 목적으로 제한적으로 활용하고자 하였다.

2. 모형 성능의 평가

1) 실험자료 수집

모형의 성능평가를 위해 <표 4>과 같이 시뮬레이션 자료와 현장자료를 수집하였다.

(1) 시뮬레이션 자료

- 시뮬레이션 모형 : INTEGRATION 2.0

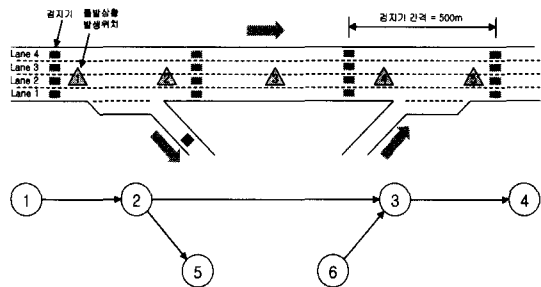
- 도로 네트워크 구성 및 검지기 설치

· 대상 도로망은 편도 4차로의 본선 연장 4.4 km 구간에 1개의 유입 램프와 1개의 유출램프를 포함하여 <그림 8>와 같이 구성되며, 유출입 램프에는 가·감속 차로를 설치

· 검지기는 지점검지 방식으로 본선에 500m 간격으로 8개소(차로별), 유출램프에 1개소에 설치

- 상황 시나리오

돌발상황 발생시와 반복정체시의 자료를 수집하기 위해 <표 4>와 같이 시나리오를 설정하였다. 돌발상황 시나리오는 다양한 조건하에서 모형의 대응능력에 대한 질적 평가와 더불어 성능지표도 가능해 볼 수 있도록



<그림 8> 시뮬레이션 도로 네트워크

<표 4> 성능평가를 위한 시뮬레이션 시나리오

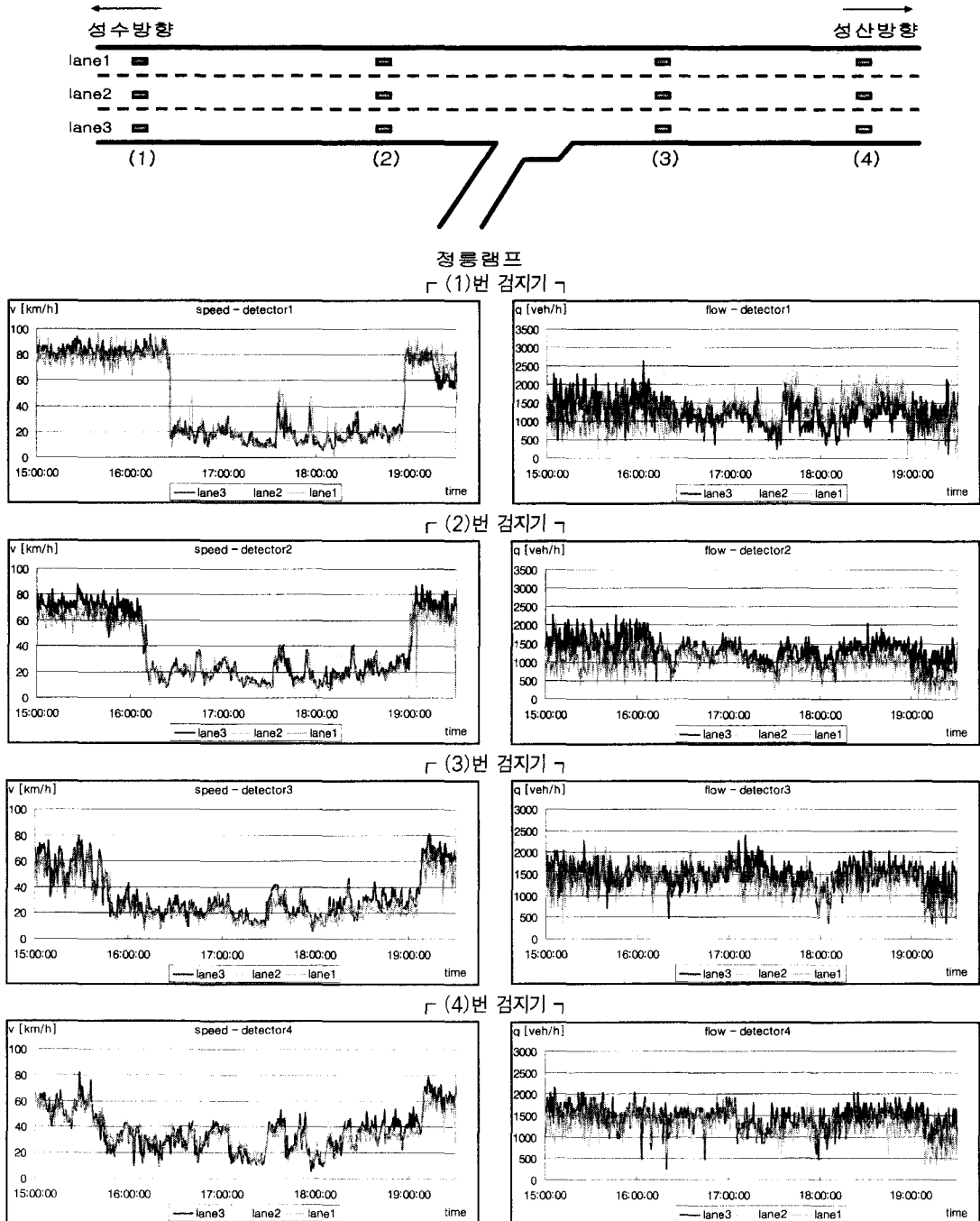
구분	돌발상황(I)	반복정체(R)	돌발상황+반복정체(IR)
시뮬레이션 시간	120분	120분	120분
교통조건(V)	v/c=0.5(LOS B), 0.65(C), 0.8(D)	v/c=0.5→1.0 time varying	v/c=0.5→1.0 time varying
돌발상황 특성(I)	- 심각도 : 1개 차로에서 3개 차로 차단까지 3종류(S) - 지속시간 : 20분(T) - 발생위치 : 본선 연속구간 1개소, 진출입 램프 부근 4개소(L)	-	- 심각도 : 2개 차로 차단 (S) - 지속시간 : 20분(T) - 발생위치 : 반복정체 발생위치와 동일한 위치 3개소 (본선 연속구간 1개소, 진입램프 부근 1개소, 진출램프 부근 1개소)
반복정체 특성(R)	-	- 본선 : 본선 중앙부근 250m 구간 용량감소 (4차로→3차로) - 진입램프 부근 : 진입교통량 증가 - 진출램프부근 : 진출부 역류대기행렬	- 본선 : 본선 중앙부근 250m 구간 용량감소 (4차로→3차로) - 진입램프 부근 : 램프 진입교통량 증가 - 진출램프 부근 : 진출부 역류대기행렬
시나리오개수	N=V×S×L=3×3×5=45	·N=V×R=1×3=3	N=V×R×S=1×3×1=3

총 45개로 다양하게 설정하였으며, 반복정체 시나리오는 전형적인 형태의 반복정체 발생시 모형의 오보 억제 능력을 실험해 보기 위해 발생 위치적 특성(본선 병목 및 유입, 유출 램프 부근)에 따라 3개 시나리오로 구성하였다. 또한, 반복정체와 돌발상황의 영향이 혼재되어

있는 상황에서 모형의 검지능력을 평가하기 위해 3개의 시나리오를 추가하였다.

(2) 현장수집 자료

현장 수집자료는 "실제상황"에서 모형이 돌발상황으



<그림 9> 현장수집 자료의 특성

로 오인될 여지가 있는 상황을 필터링 해내는 능력을 시험하기 위해 사용되었다.

이 실험을 위해 서울시 내부순환로 성산방향 정릉램프 부근 2 km 구간의 270분간(2003년 11월 28일 금요일 15시부터 19시 30분까지) 속도와 교통량 자료를 확보하였다. 수집된 자료는 돌발상황이 없는 정상상황에 해당되며, <그림 9>에 보인 바와 같이 오보의 원인이 될 수 있는 통상적인 무작위 변동 패턴과 오후 첨두시에 정릉램프를 통해 진입하는 차량들로 인한 반복 정체를 포함하고 있다.

2) 모형실험 결과 분석 및 평가

(1) 돌발상황의 검지

<표 4>의 돌발상황(I) 시나리오 각각에 대한 시뮬레이션 자료를 이용하여 돌발상황 검지모형을 실행하였으며, 그 실행결과를 <표 5>와 같이 돌발상황 시나리오의 환경변수들을 중심으로 정리하고 분석하였다.

먼저 돌발상황 시뮬레이션에 앞서 Base condition에 대한 시뮬레이션을 실행한 결과, 돌발상황이 없는 정상적인 상황에서는 교통량 수준과 관계없이 시뮬레이션 전체 시간동안 정체는 발생하지 않음을 확인하였다.

전체 45개 돌발상황 시나리오 중 모형이 검지를 한 경우는 39개로서 단순 검지율 수치면에서는 약 87%의 검지율을 보이고 있다. 검지하지 못한 6개 시나리오는 교통량이 낮은 상황에서 심각도가 낮은 돌발상황이 발생함으로써 정체가 발생하지 않거나 미미하여 상류부 검지기까지 전파되지 않는 경우이다. 비록 검지에는 실패하였으나, 이 경우는 검지기 자료를 통한 정체상황 파악을 기반으로 하는 어떠한 모형도 검지가 불가능한 경우라 할 수 있다. 반면, 교통량이 낮더라도 심각도가 큰 돌발상황의 경우에는 정체가 검지에 영향을 미쳤으며, 따라서 이 경우에는 무난히 모형에 검지되었다.

교통량 수준별 검지율은 서비스 수준 B, C, D 각각에 대해 73%, 87%, 100%을 나타내었는데, 이는 교통량이 많을수록 돌발상황으로 인한 정체가 더 크게 형성되며 따라서 검지가 상대적으로 용이하다는 것을 의미한다.

돌발상황 발생위치 면에서 보면, 검지에 실패한 경우 중 절반이 진출램프(<그림 8>의 2번 위치)직후에서 돌발상황이 발생한 경우인데, 돌발상황이 모두 검지된 1번 위치와 비교했을 때 상대적으로 차량진출이 용이하여 돌발상황 정체가 상류방향으로 덜 전파되었기 때문이다. 돌발상황 심각도 면에서 보면, 검지가 되지 않

<표 5> 돌발상황 시나리오 대한 모형실험 결과

교통조건 (LOS, v/c)	돌발상황 발생위치	심각도 (차단차로수)	검지여부 (Y/N)	검지시간 (초)
B (0.5)	1	1	Y	150
		2	Y	90
		3	Y	90
	2	1	N	-
		2	N	-
		3	Y	300
	3	1	N	-
		2	Y	90
		3	Y	90
	4	1	N	-
		2	Y	90
		3	Y	90
	5	1	N	-
		2	Y	900
		3	Y	300
C (0.65)	1	1	Y	90
		2	Y	90
		3	Y	90
	2	1	N	-
		2	Y	240
		3	Y	210
	3	1	Y	90
		2	Y	90
		3	Y	90
	4	1	Y	90
		2	Y	90
		3	Y	90
	5	1	Y	150
		2	Y	270
		3	Y	180
D(0.8)	1	1	Y	90
		2	Y	90
		3	Y	90
	2	1	Y	90
		2	Y	180
		3	Y	150
	3	1	Y	60
		2	Y	60
		3	Y	60
	4	1	Y	60
		2	Y	60
		3	Y	60
	5	1	Y	270
		2	Y	150
		3	Y	150

은 돌발상황 중 대부분은 한개 차로만 차단된 경우로서 역시 돌발상황으로 인한 정체가 미미하게 형성되는 경우에 해당된다.

검지시간은 돌발상황 발생시점으로부터 평균 2.8분이 소요되었는데, 전반적으로 교통량이 많고 돌발상황 심각도가 클수록 정체의 전파속도도 빨라지게 되므로 검지시간도 작은 값을 보였다. 검지시간이 오래 소요된 경우는 대부분 2번과 5번 위치(유출입 램프 직하류 지

점)에서 돌발상황이 발생할 경우인데, 상대적으로 돌발 상황 발생지점으로부터 상류검지기까지의 거리가 길어 정체가 도달하는데 시간이 오래 소요되었기 때문이다.

한편, 오보는 2개 시나리오(LOS C/4번위치 돌발상황/심각도 3개차로 차단 : LOS D/3번위치 돌발상황/심각도 3개차로 차단)에서 각각 1회씩 두 차례 보고되었는데, 이 두 경우 모두 돌발상황이 종료된 후 잔여영향으로 인한 것으로서 돌발상황이 발생한 지점 상류부에 있는 진출부에서 정체현상이 지속되면서 진출부 상류부 검지기(1번 검지기)에서는 속도감소추세가 나타나고 하류검지기(2번 검지기)에서는 속도 증가추세가 나타남으로써 결과적으로 1, 2번 검지기 사이에서 돌발상황 발생한 것과 유사한 패턴을 형성했기 때문인 것으로 분석되었다. 그러나, 이들 2차례 오보상황은 돌발상황 선언 후 불과 각각 1분과 1분 30초 후에 1번 검지기에서 속도회복이 나타남으로써 즉시 종료되는 것으로 보고 되었다.

종합적인 관점에서 모형의 검지능력은 다양한 환경 하에서 다르게 나타날 수 밖에 없으므로 본 연구에서 수행한 제한된 시나리오에 대한 결과만을 가지고 모형의 검지능력에 대한 결론을 내릴 수는 없으나, 본 연구

의 결과상으로는 평균 검지율 87%로 비교적 우수한 편이며, 정체유발 효과가 있는 돌발상황에 대하여는 모두 검지하는 데에 성공했으므로 이 경우 검지능력은 매우 우수한 편이라 할 수 있다.

※ 돌발상황 검지사례 예시

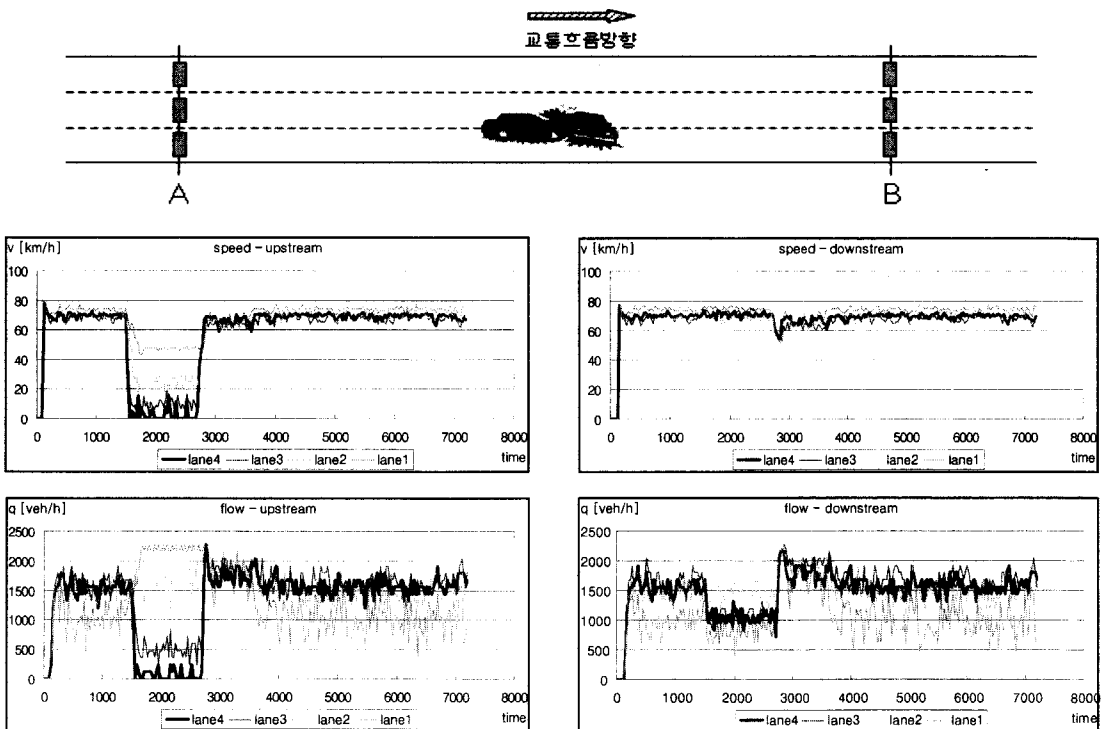
〈그림 10〉은 LOS C, 돌발상황 위치 3번(연속구간), 심각도는 2차로 차단(지속시간은 1500초~2700초)인 돌발상황 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과로서, 돌발상황발생지점의 상하류 검지기에서 관측된 교통량 및 속도의 변화추이를 예시한 것이다. 이 시나리오에 대한 모형의 실행과정을 요약하면 다음과 같다.

① 교통류 이상징후 판단

돌발상황 발생시점 이후 3번지점 상류검지기에서 첫 번째 TI에 이상징후를 포착하여 그 이후 지속성 체크를 통해 상황을 비정상 교통류상황으로 분류

② 정체판단

- 상류검지기에서 교통량이 감소하였음을 확인하고 정체상황(STATE 2)으로 분류
- 하류부 용량과 검지된 교통량 값을 비교하여 mismatch 임을 확인하고 「돌발상황 의심상황」으로 분류
- 하류부에 램프존재 여부를 체크하여 램프가 없는



〈그림 10〉 돌발상황시 검지변수 변화추이 (사례)

연속구간임을 확인

- 돌발상황 의심구간 하류부의 검지기의 교통량이 감소하였음을 확인
- 하류부 검지기의 속도의 감소가 없음을 확인
- 돌발상황 발생을 최종 확인 (STATE 2I) ⇒ 발생 후 3TI(90초) 경과후 돌발상황을 검지

③ 돌발상황 심각도 판단

- 하류부 용량(차로당 2200 vph)과 돌발상황의 영향이 반영된 교통량(차로당 1170vph)간의 차이로서 심각도를 산정한 결과 47 %의 용량감소가 일어났음을 확인

④ 돌발상황 종결판단

- 돌발상황이 처리되고 난 이후 10분 경과후 최초로 이상징후를 나타내었던 상류검지기에서 속도가 증가가 감지
- 속도가 지속적으로 증가추세인가를 체크(3 TI)하여 돌발상황으로 인한 정체가 해소되었음을 확인하고 돌발상황 종결을 선언 (돌발상황 처리후 11분 후)

(2) 반복정체에 대한 대응 (반복정체 필터링)

- 시뮬레이션 자료를 이용한 평가

〈표 4〉의 반복정체 시나리오(R)는 개발모형의 반복정체 대응능력을 테스트하기 위해 설정된 것으로서, 각 반복정체 시나리오 대하여 개발모형이 오보 없이 반복정체로서 정확히 구분해 내는가를 검증하였다.

먼저 본선구간 차로감소에 의한 반복정체 시나리오의 경우, 모형은 29분 경과시점에 속도가 감소하는 교통류 이상징후를 발견하였으나, 교통량 변화를 확인하는 과정에서 교통량의 감소추이가 관측되지 않음에 따라 정체상황이 아닌 수요증가로 인한 단순 서비스 수준의 저하로 판단하고 비정체 상황(STATE 1)으로 보고 하였다. 〈그림 11〉에 나타난 바 와 같이 반복정체 시나리오에서는 교통량 수준을 서서히 증가시키는 방법으로 정체가 형성되도록 설정하였기 때문에 교통량이 증가하는 과정에서 일어난 서비스 수준저하를 모형이 정확히 판단해 낸 것이라 할 수 있다. 이후 45분 경과시점에 STATE 1상황이 한차례 더 검지되었으며, 그로부터 2분 뒤인 47분 경과시점에 모형은 병목지점 상류검지기에서 정체발생을 확인하고 그 지점에서 관측된 교통량과 하류부의 병목용량값(차로감소가 반영된 용량값)을 비교하여 두 값이 match됨을 확인하고 상황을 수요증가로 인한 영구적 병목정체(STATE 2R)로 판

단하였다. 이 결과는 〈그림 11〉에 나타난 병목지점 상류의 정체형성 시점과 일치하는 것이다. 한편, 이 시나리오에서는 오보가 한 차례도 발생하지 않았다.

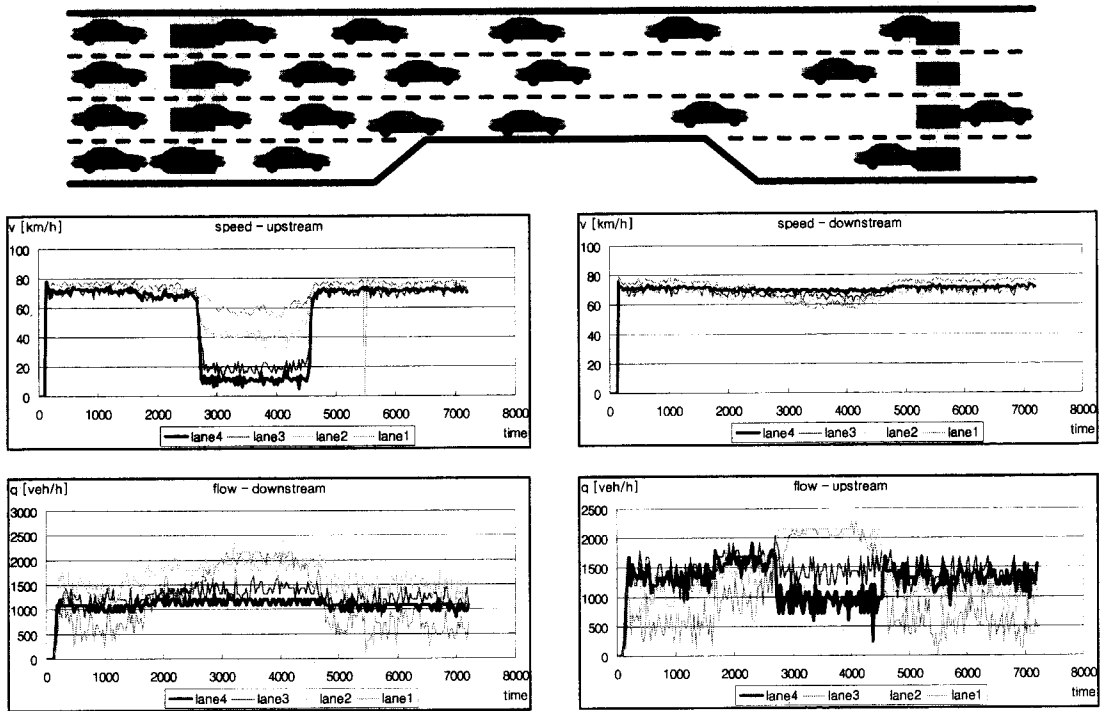
진입램프 수요증가로 인한 반복정체 시나리오의 경우, 모형은 약 70분 경과시점에서 램프 상류검지기에서 정체상황 발생을 확인하고 하류검지기의 교통량 변화를 확인하는 과정에서 교통량 증가추이가 관측됨에 따라 진입램프 수요 증가로 인한 정체(STATE 2R)로 판단하였다. 이 결과는 〈그림 12〉에 나타난 정체형성 시점과 일치하는 것으로서 모형의 반복정체 판단이 정확했음을 알 수 있다. 이 시나리오에서도 오보는 전혀 발생하지 않았다. 진출램프 대기행렬 역류로 인한 반복정체 시나리오의 경우(〈그림 13〉), 모형은 약 50분 경과시점에서 램프 상류검지기에서 정체상황 발생을 확인하고 진출램프검지기에서 속도와 교통량이 감소추이를 보임에 따라 진출부 역류로 인한 정체(STATE 2R)로 판단하였다. 이 결과는 진출램프 대기행렬 역류로 인해 본선상에 정체가 형성되는 시점과 일치하는 것으로서 이 경우도 모형의 반복정체 판단이 정확했다고 할 수 있다. 이 경우 역시 오보는 발생하지 않았다.

- 현장 수집자료를 이용한 평가

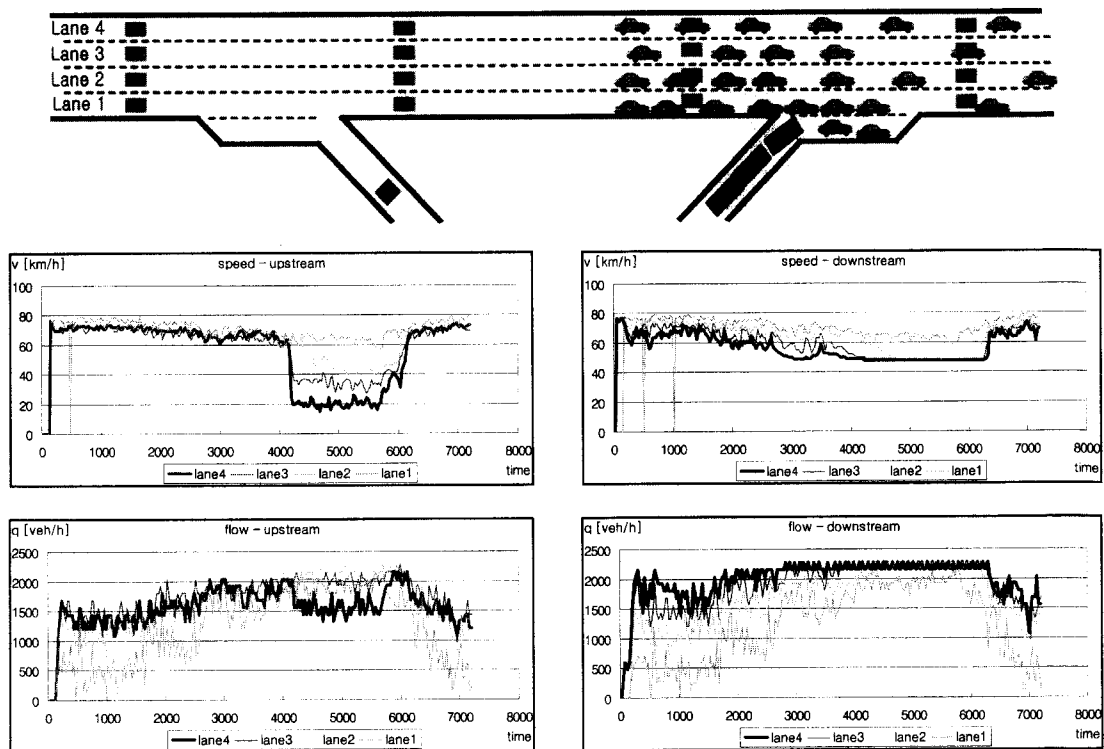
서울시 내부순환도로의 구간의 실제 현장 검지기 수집자료(〈그림 9〉)를 이용하여 반복정체에 대한 모형의 대응능력을 시험하였다.

16시 9분에 진입램프의 상류부에 위치한 2번 검지기의 2차로와 3차로에서 이동 병목현상(STATE 2M)으로 보이는 상황이 한차례 검지되었고, 3분후인 16시 12분에 3번 검지기의 전 차로에서 진입교통량 증가로 인한 정체 (STATE 2R)가 검지되었다. 이 결과는 〈그림 9〉에 나타난 정체형성 시점과 일치하는 것으로서 모형의 반복정체 판단이 정확했음을 알 수 있다.

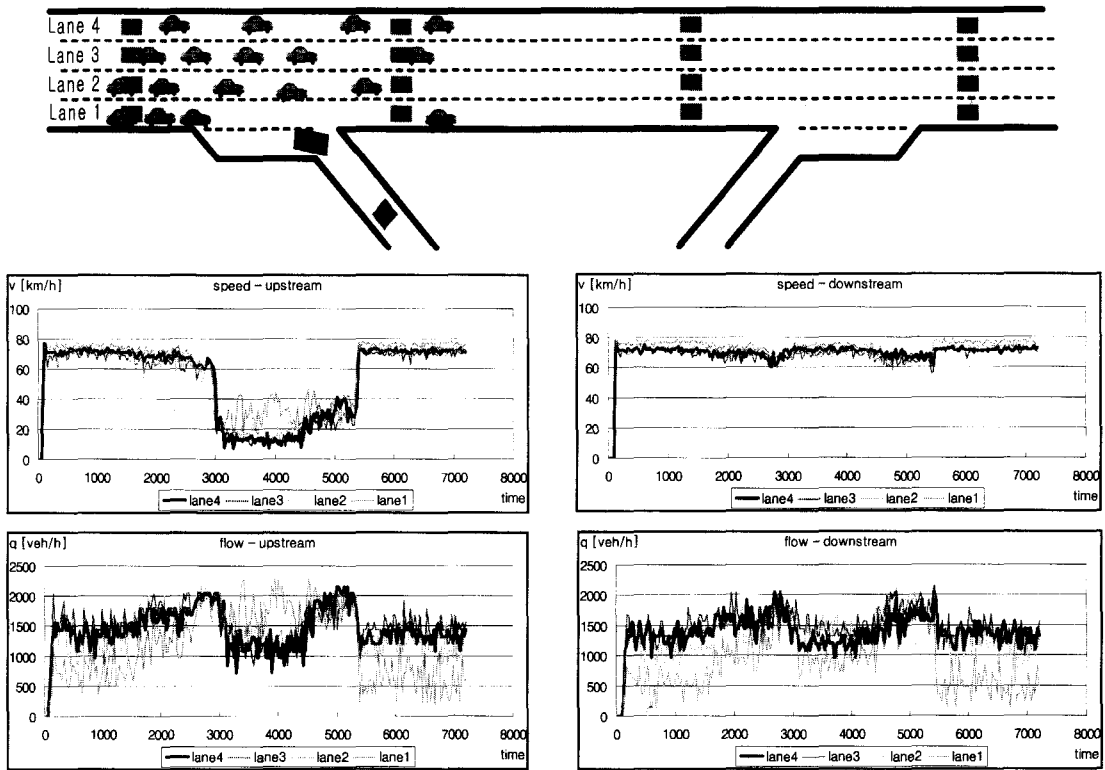
16시 2분 30초에 3번 검지기에서 오보가 한차례에 발생하였는데, 이는 진입램프 수요증가로 하류부에 정체가 이미 형성되어 있는 상황에서 데이터의 무작위적 변동으로 인해 상류검지기(3번 검지기)에서는 우연한 지속적 속도감소추세가 나타나고 하류검지기(4번 검지기)에서는 속도 증가추세가 나타남으로써 결과적으로 3, 4번 검지기 사이에서 돌발상황 발생한 것과 유사한 패턴을 형성했기 때문인 것으로 분석되었다. 그러나 이 오보상황은 돌발상황 선언 후 불과 30초 후에 3번 검지기에서 속도회복이 나타남으로써 즉시 종료되는 것으로 보고 되었다.



〈그림 11〉 본선 병목에 의한 반복정체



〈그림 12〉 진입 교통량 증가에 의한 반복정체



〈그림 13〉 진출부 대기행렬 역류로 인한 반복정체

(3) 「반복정체+돌발상황」하에서의 돌발상황 검지

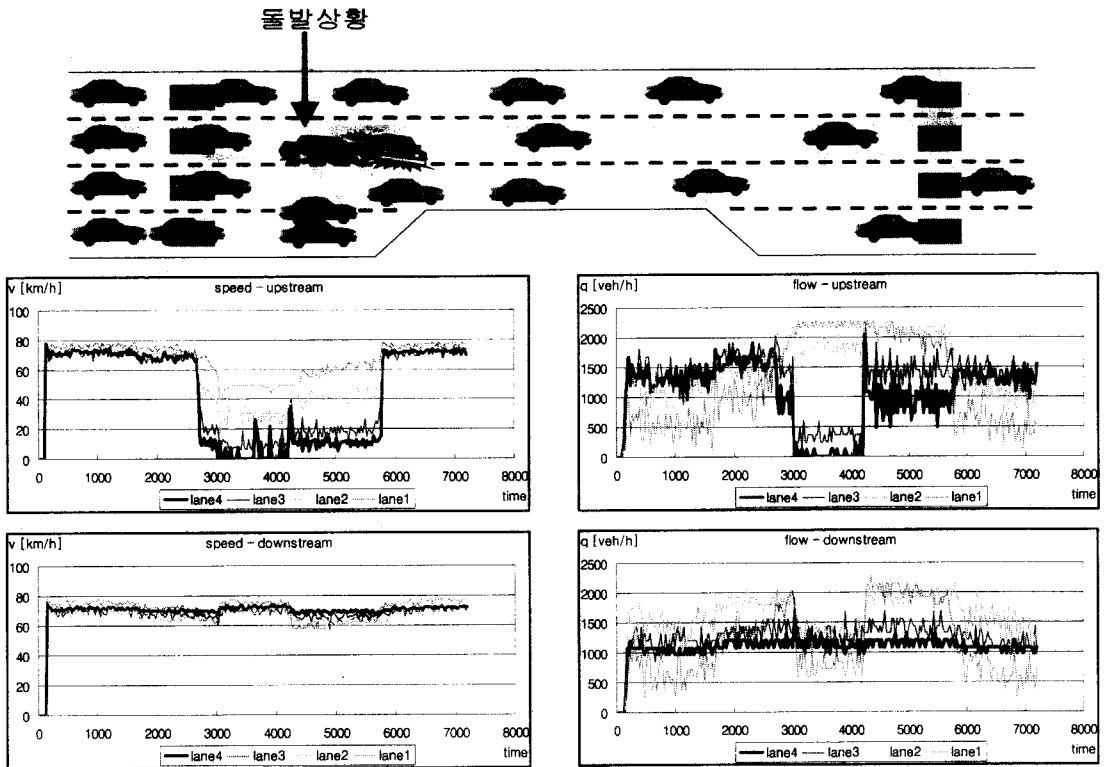
반복정체가 형성되어 있는 상태에서 돌발상황이 발생할 경우에 검지능력을 평가하기 위하여 〈표 4〉의 3개 시나리오(IR)에 대하여 모형을 실행하였다. 돌발상황 발생위치는 반복정체의 원인인 병목지점의 바로 근접부에 설정하여 두 정체가 중첩이 일어나도록 하였다.

먼저 본선구간 차로감소에 의한 반복정체 직후 돌발상황이 발생한 경우, 47분 경과시점에 병목지점에서 반복정체 상황이 검지(STATE 2R)되었으며, 이후 50분 경과시점에 돌발상황이 발생하였고 52분 경과시점에 돌발상황 발생이 검지(STATE 2I)되었다. 〈그림 14〉에 보인 바와 같이 병목으로 인한 정체가 형성된 상황에서 발생한 돌발상황은 그 발생지점 상류부의 상황을 보다 악화시켰으며, 발생지점 하류부로 유입되는 교통량은 감소시켜 하류부 상황을 개선하는 효과를 가져오게 됨으로써 모형이 무리없이 돌발상황을 검지해 낸 것이다. 한편, 이 시나리오에서는 오보가 한 차례도 발생하지 않았다.

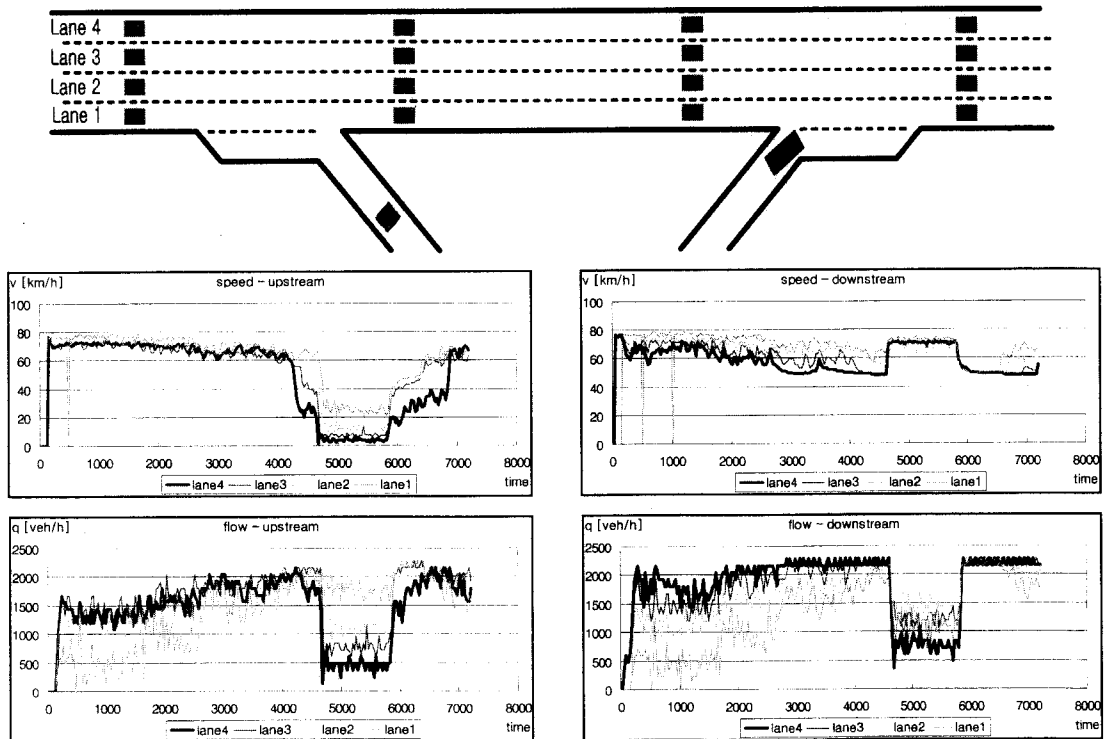
진입램프 수요증가로 인한 반복정체와 돌발상황이 중첩된 경우에도, 위의 본선 병목상황과 유사한 방법으

로 73분 경과시점에 반복정체 상황이 검지(STATE 2R)된 후, 77분 경과시점에 돌발상황이 발생하였고 이 돌발상황은 78.5분 경과시점에 검지(STATE 2I)되었다. 〈그림 15〉에 나타난 바와 같이 본선 병목상황과 마찬가지로 돌발상황은 그 발생지점 상류부로는 상황을 추가적으로 악화시켰으며 하류부로는 개선효과를 가져온 것으로 파악되었다. 이 시나리오에서도 오보는 발생하지 않았다.

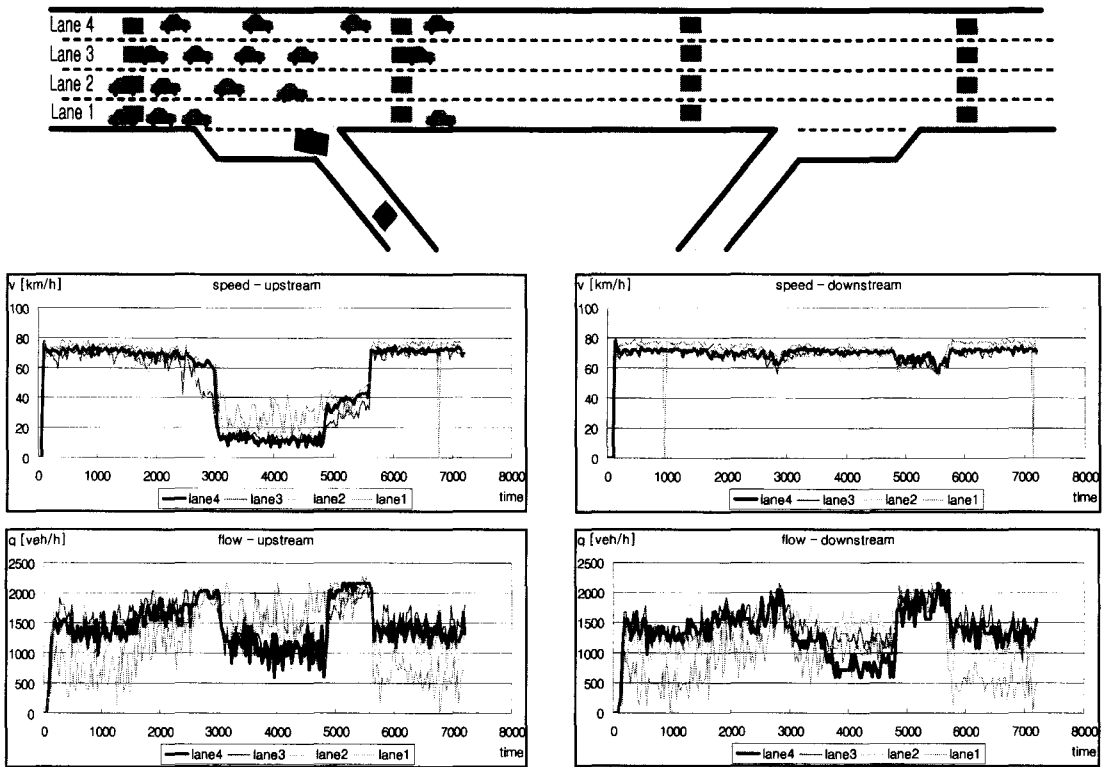
반면, 진출램프 대기행렬 역류로 인한 반복정체와 돌발상황이 중첩된 시나리오의 경우(〈그림 16〉)에는, 진출부 대기행렬 역류로 인한 반복정체는 50분 경과시점에 검지(STATE 2R)되었으나 이후 60분 경과시점에 발생한 돌발상황 검지에는 실패하였는데, 이는 진출램프 대기행렬 역류현상이 본선 상류부에 이미 정체를 충분히 발달시켰기 때문에, 돌발상황 발생으로 상황은 보다 악화되었음에도 불구하고 상류검지기 속도값의 “변화율”은 정상교통류 상황에서도 관측될 수 있는 매우 미미한 정도에 불과하여 모형실행 초기단계에서 이상흐름 상황으로서 검지해 내지 못했기 때문인 것으로 분석되었다. 이 경우 역시 오보는 발생하지 않았다.



〈그림 14〉 본선 병목정체 + 돌발상황



〈그림 15〉 진입부 정체 + 돌발상황



〈그림 16〉 진출부 정체 + 돌발상황

반복정체와 돌발상황이 중첩된 시나리오에 대한 평가결과 모형은 3개 돌발상황 중 2개를 검지하는 데에 성공하였으나, 검지에 성공한 두가지 경우 모두 돌발상황 발생직전에 반복정체는 이미 존재하나 그 정체정도가 극심하지 않아 돌발상황 발생이 상류검지기의 검지 변수값에 추가적 감소를 가져올 수 있었던 경우라 할 수 있다. 그러나, 돌발상황 검지는 특성상 교통변수의 급격한 변화를 추적하는 방식으로 이루어지기 때문에, 진출램프 시나리오 사례에서처럼 반복정체가 심하게 형성되어 이미 검지변수의 값이 stop-and-go 상황값을 나타내고 있을 경우 돌발상황이 발생하더라도 수치상으로 추가적인 감소를 기대하기 어렵기 때문에 사실상 검지가 불가능한 경우도 상당수 있을 수 있다는 사실을 간과해서는 아니 될 것이다.

3) 기존모형과의 성능지표 비교 평가

〈표 6〉는 문헌상에 보고된 기존모형들의 성능지표 값(모형의 실제 현장에서의 성능은 문헌상에 나타난 것과는 크게 다를 수 있음)을 본 개발모형의 지표 값과

대비시켜 제시한 것이다.

기존 모형의 검지율은 약 67%에서 100% 까지 분포하고 있으며, 평균 81%의 검지율을 보이고 있다. Time-Series ARIMA 모형의 경우, 100%의 검지율을 보이고 있는데 이는 교통조건과 관계없이 발생한 돌발상황을 단 한 번의 실수 없이 모두 검지했다는 것을 의미하는 것으로 이러한 검지율이 과연 실제로 가능한

〈표 6〉 기존 돌발상황 검지모형의 성능¹¹⁾

모형		검지율 (Detection Rate)	오보율 (Off-Line False Alarm Rate)	평균 검지시간 (Average Detection Time)
California	Basic	82 %	1.7 %	0.85 분
	Algorithm #7	67 %	0.134 %	2.91 분
	Algorithm #8	68 %	0.177 %	3.04 분
	APID	86 %	0.05 %	2.5 분
Standard Normal Deviate		92 %	1.3 %	1.1 분
Time-Series ARIMA		100 %	1.5 %	0.4 분
Exponential Smoothing		92 %	1.87 %	0.7 분
Low-Pass Filter		80 %	0.3 %	4.0 분
McMaster		68 %	0.0018 %	2.2 분
개발모형		87 %	0.0238 %	2.8 분

것인지에 대하여는 재고해 볼 필요가 있다. 본 연구를 통해 개발된 모형의 검지율은 평균 87%, 검지시간은 2.8분으로 우수한 편에 속한다 할 수 있다. 검지되지 않은 13%는 모두 정체를 동반하지 않는 돌발상황(교통량 자체가 적은 상황이거나 돌발상황 심각도가 낮은 경우)으로서 교통변수값이 평상시와 다름없는 상황을 유지했기 때문인데, 이는 검지변수 값의 변화를 기반으로 하는 돌발상황 검지모형의 태생적 특성에 따른 자연스런 결과라 할 수 있다. 실제 현장에서 교통류 관리 목적으로는 정체를 유발하는 돌발상황이 주 관심사라는 점에서 본 모형의 검지능력에 대한 기술적 타당성은 검증된 셈이다.

오보율은 대부분의 모형이 1.5%이하의 성능을 보이고 있으나, 실제 현장에서 이 수치는 상당한 오보가 발생하고 있음을 의미한다. 검지율에서 100%의 성능을 보인 Time-Series ARIMA 모형의 오보율은 1.5%로서 100분 동안 1.5회, 24시간이면 약 22회의 오보가 발생하는 것으로 절대 빈도수 측면에서 실제 현장에서 사용하기 매우 부적합한 수준의 성능이라 할 수 있다. 본 모형의 오보율은 0.0238%(시뮬레이션 및 현장데이터를 합하여 6660분 동안 모형 판단횟수 13320회 동안 총 3차례의 오보발생)로서 McMaster 모형을 제외한 대다수 기존 모형보다 월등한 성능을 보이고 있다.

돌발상황 검지모형의 성능지표들은 상관관계를 갖고 있는데, 검지율 및 검지시간은 오보율과 상호 trade-off 관계에 있다고 할 수 있다. 즉, <표 6>에서 검지율과 검지시간에서 우수한 모형은 오보율이 매우 높고, 오보율이 우수하면 검지율과 검지시간은 상대적으로 좋지 않은 것을 알 수 있다. 검지율과 검지시간을 향상시키려면 모형의 민감도를 높여야 하고, 민감도를 높이면 주어진 상황이 돌발상황과 약간만 유사해도 이를 돌발상황으로 보고하게 되므로 이것이 오보로 이어지게 되는 것이다. 한편, 오보율을 낮추고자 민감도를 낮게 하면 검지율과 검지시간 측면에서는 성능이 저하되게 된다. 따라서, 성능이 우수한 모형이란 검지율, 오보율, 검지시간에서 모두 우수한 성능을 보유한 모형이라 할 수 있으며, 모형간 성능비교는 반드시 이러한 종합적 관점에서 이루어져야 하는 것이다. <표 7>은 기존모형과 개발모형의 성능지표를 종합하여 등위를 평가한 것으로서, 각 지표별 최대/최소값을 기준으로 각 모형의 지표값을 0~100점으로 환산한 후 이를 종합하여 종합환산점수를 산정하고 그에 따른 순위를 도출한 것이다. 종합환산점수 산정시

<표 7> 성능지표 환산점수에 의한 종합평가

모형	검지율 환산점수	검지시간 환산점수	오보율 환산점수	종합 환산점수	등위	
California	Basic	45	88	9	38	10
	Algorithm #7	0	30	93	54	6
	Algorithm #8	3	27	91	53	7
	APID	57	41	97	73	1
Standard Normal Deviate	76	81	31	55	5	
Time-Series ARIMA	100	100	20	60	4	
Exponential Smoothing	76	92	0	42	9	
Low-Pass Filter	39	0	84	52	8	
McMaster	3	50	100	63	3	
개발모형	61	33	99	73	1	

에는 검지율/검지시간이 오보율과 trade-off관계에 있음을 고려하여 검지율 및 검지시간을 합하여 50%, 오보율이 50%의 비중을 갖도록 하였다.

본 연구를 통해 개발된 모형은 종합환산점수상으로 APID모형과 더불어 가장 뛰어난 성능을 나타내었으며, 검지율과 오보율 측면에서는 본 모형이 APID 모형보다 우수한 것으로 평가되었다. 기존 모형 중 오보율에서 가장 좋은 성능을 보이고 있는 McMaster 모형의 경우, 검지율에서는 본 모형의 성능에 크게 못 미치고 있으며 지표간의 균형면(종합환산점수)에서도 McMaster모형과 비교하여 본 모형이 월등히 우수한 성능을 보유하고 있다.

그러나, 전술한 바와 같이 이 같은 기존 모형과의 비교평가는 기존모형 대비 개발모형의 우열을 가늠하기 위한 것이라기 보다는 기존모형의 성능수준과 비교하여 개발모형이 합리적인 수준의 성능을 보이는가 여부를 확인하기 위한 것이라는 측면에서 모형의 성능에 대한 단정적 결론은 유보되어야 한다. 다만, 종합 평가에서 기존모형보다 향상된 성능을 보인다는 점과 대다수 기존모형과 비교하여 우수한 오보율 값은 모형의 알고리즘이 기존 모형과는 차별화된 접근방법을 사용하고 있다는 점에 기인할 것이라는 판단에는 무리는 없을 것이다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 기존 알고리즘이 오보를 발생시키는 요인에 대하여 취약하다는 인식에 기초하여 돌발상황

검지모형의 오보억제 능력을 향상시키고자 4장의 접근 방법에서 언급된 바와 같은 다단계 정채분류과정, 실시간 교통량-용량비교 등 몇가지 새로운 시도를 하였다. 이러한 새로운 시도의 성공여부에 대한 평가는 궁극적으로는 현장에서 장기간 동안의 성능검증을 통해 이루어져야 할 것이나, 본 연구에서 사용된 시나리오에 의한 평가 결과, 종합적 성능은 물론 특히 오보를 측면에서 우수한 결과를 얻었으며 따라서 이러한 새로운 시도가 본 연구가 표방한 오보율 억제라는 목표에 기여했다고 할 수 있다.

본 연구의 초점이 현장에서 돌발상황 검지모형의 활용성 제고를 위한 오보를 개선에 있었던 만큼 본 연구는 그 실험적 시도로서 소기의 성과를 거두었다고 판단된다. 본 연구를 통해 개발된 모형의 실용화를 위해서는 향후 실제현장의 다양한 교통환경하에서 장기간 누적된 자료를 이용한 성능검증과 수정보완 작업이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. Levin, M. and G.M. Krause(1978). "Incident Detection: A Bayesian Approach". Transportation Research Record 682, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.52~58.
2. Ahmed, S.A. and A.R. Cook(1982). "Discrete Dynamic Models for Freeway Incident Detection Systems". Transportation Planning and Technology, Vol. 7, pp.231~242.
3. Bell, M. G. H., and B. Thancanamootoo (1988). "Automatic Incident Detection Within Urban Traffic Control Systems". Proceedings of International Road and Traffic Conference-Roads and Traffic 2000, Vol. 4:2, pp.35~38.
4. Han, L.D., and A.D. May(1989). "Artificial Intelligence Approaches for Urban Network Incident Detection And Control". Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.
5. Cheu, R.L., S.G. Ritchie, W.W. Recker, and B. Bavrian(1991). "Investigation of Neural Network Model for Freeway Incident Detection".

Program on Advanced Technology for the Highway, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, California.

6. Sellam, S., A. Boulmakoul, and J.C. Pierrelee (1991). "A Distributed Real Time Knowledge-Based System Using Video Image Processing for Junctions Automatic Incident Detection". Proceedings of the Second International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, New York, New York, pp.351~356.
7. Hoose, N., M.-A. Vicencio, and X. Zhang (1992). "Incident Detection in Urban Roads Using Computer Image Processing". Traffic Engineering & Control. Vol. 33, No. 4, pp.236~244.
8. Chen, C.-H., and G.-L. Chang(1993). "A Dynamic Real-Time Incident Detection System For Urban Arterials : System Architecture and Preliminary Results". Proceedings of Pacific Rim TransTech Conference, Vol. 1, Seattle, Washington, pp.98~104.
9. Hall, F.L., Y. Shi, and G. Atala(1993). "On-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion". Transportation Research Record 1394, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1~7.
10. Ivan, J.N., J.L. Schofer, C.R. Bhat, P.-C. Liu, F.S. Koppelman, and A. Rodriguez(1993). "Arterial Street Incident Detection Using Multiple Data Sources: Plans for ADVANCE". Proceedings of Pacific Rim TransTech Conference, Vol. 1, Seattle, Washington, pp.429~435.
11. Kevin N. Balke, P. E(1993), "An Evaluation of Existing Incident Detection Algorithms", Research report 1232-20, Texas Transportation Institute.
12. Stephanedes, Y.J., and A.P. Chassiakos

- (1993). "Smoothing Algorithms for Incident Detection". Transportation Research Record 1394, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.8~16.
13. Khan, S.I., and S.G. Ritchie(May 1994). "Incident Detection on Surface Streets Using Artificial Neural Networks". Proceedings of the Intl Conference on Advanced Technologies in Transportation and Traffic Management, Singapore, pp.261~268.
14. Stephanedes, Y.J., and G. Vassilakis(1994). "Intersection Incident Detection for IVHS". Paper submitted to 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
15. Zbigniew Michalewicz(1996), "Genetic Algorithms +Data Structures=Evolution Programs", Springer.
16. Elie Sanchez, Takanori Shibata, and Lotfi A. Zadeh(1997), "Genetic Algorithms and Fuzzy Logic Systems", World Scientific.
17. Kaan Ozbay, and Pushkin Kachroo(1999), "Incident Management in Intelligent Transportation Systems", Artech House.
18. 강진기(1994), "검지기 간격에 따른 돌발상황검지 알고리즘의 돌발상황검지시간 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 서울대학교.
19. 이시복(1996), "퍼지이론을 이용한 유고감지 알고리즘(Fuzzy Logic Based Modeling of an Incident Detection Algorithm)", 대한교통학회지, 제14권 제2호, 대한교통학회, pp.137~155
20. 장세봉(1997), "인공신경망을 이용한 고속도로 자동유고감지 모형의 개발", 박사학위논문, 서울대학교.
21. 이영인 · 황준환(2001), "간선도로 돌발상황검지기법 개발연구", 대한교통학회지, 제19권 제2호, 대한교통학회, pp.73~87.
22. 강수구 · 도철웅 · 손봉수 · 이시복(2001), "고속도로 돌발상황검지 알고리즘 성능개선기법에 관한연구", 대한교통학회지, 제19권 제6호, 대한교통학회, pp.105~118.
23. 이상민 · 이승환(2002), "Wilcoxon Rank Sum Test 기법을 이용한 자동돌발상황검지 모형 개발", 대한교통학회지, 제20권 제6호, 대한교통학회, pp.81~98.
24. 김영찬 · 임성만(2004), "도시고속도로 비혼잡상황에서의 자동 돌발상황 감지 알고리즘 개발", 대한토목학회지, 제24권 제2D호, 대한토목학회, pp. 167~173.
25. 이시복 · 김영호(2004), "Fuzzy-Genetic Algorithm 기반의 자가적응형 돌발상황 검지모형 개발 연구", 대한교통학회지, 제22권 제4호, 대한교통학회, pp.159~173.

✉ 주 작 성 자 : 김영준

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 4

논문심사일 : 2004. 10. 21 (1차)

2004. 10. 27 (2차)

심사판정일 : 2004. 10. 27

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30