

간선도로 돌발상황 검지기법 개발

이 영 인 · 황 준 환
(서울시립대학교 교통공학과·ITS Korea)

Development of an Incident Detection Algorithm for Urban Street

Lee, Young-Ihn · Hwang, Jun Hwan

ABSTRACT

In this research, a new incident detection algorithm for urban streets is developed. Incidents, temporary events that reduce the capacity of roadway segments and cause delays, are a major cause of urban roadway congestion. The performances of the proposed algorithm, California algorithm, and Neural Network technique were evaluated on the basis of their operating characteristic curves. The evaluation results revealed that the proposed algorithm can identify incidents more effectively than other models. Detection rate(DR) and False alarm rate(FAR) of the proposed model are 92.1%, and 7.2% respectively, and at all levels of DR and FAR, the proposed algorithm is superior to the California algorithm and Neural Network. Test results with the proposed algorithm show that the area of uncertainty decreases when incident index is applied. The distribution curves of the proposed algorithm are almost separated so that most of the incident could be detected accurately.

Key Words : Incident Detection, Logit Model, Incident Index, ITS

본 연구는 2000년도 서울시립대학교 도시과학연구원의 연구비 지원으로 수행하였음.

I. 서론

교통혼잡은 도시화가 진전되고 자동차 보급이 확대되면서 도시지역을 중심으로 확산되는 일반적인 교통현상이다. 최근에 전자정보의 힘을 빌려 교통체계를 새롭게 구축하는 ITS(Intelligent Transportation Systems)의 가장 중점을 두고 추진되는 사항도 이와 같은 교통혼잡을 완화하는 것이다.

돌발상황 발생에 따른 교통혼잡 문제를 극복하기 위해서는 돌발상황의 정확하고 신속한 감지가 무엇보다 필요하다. 돌발상황 감지는 도로 교통자료의 수집과 수집자료를 활용한 돌발상황 감지의 두 부분으로 구성되어 있다.

특히, 돌발상황 감지기법 개발에 관한 연구는 이미 1960년대부터 본격적으로 진행되었다. 초기 연구에서는 고속도로부문에 한정된 연구가 진행되었으며, 1980년대 후반부터는 신호등이 있는 간선도로의 돌발상황 감지에까지 연구의 범위를 넓혔다. 그러나 기존의 대부분의 기법개발은 고속도로에서 적용되는 기법의 간선도로에 응용하여 적용하는 데에 중점을 두어 추진하였기 때문에 간선도로의 특성을 충분히 고려하지 못한 한계점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 기존 연구의 한계를 파악하고 간선도로 적용에 적합한 돌발상황 감지기법을 개발하는 데에 목적을 두고 다음 사항에 중점을 두어 연구를 진행하였다.

첫째, 기존의 돌발상황 감지기법 개발연구를 검토해 보고 기존의 돌발상황 감지기법의 특성과 연구의 한계를 파악해보았다.

둘째, 돌발상황 발생에 따른 간선도로의 교통 특성 변화를 개념화하고, 간선도로 여건에 적합한 돌발상황 감지기법을 개발하였다.

셋째, 시뮬레이션 자료를 이용하여 개발된 돌발상황 감지기법의 적용 특성을 평가해 보았다.

II. 기존 기법의 특성과 한계

2.1 기존의 돌발상황 감지기법

돌발상황 감지는 정상상태와 돌발상황상태의 교통패턴을 구분하여야 한다는 점에서 전형적인 패턴인식의 문제이다. 이에 활용되는 주요 기법은 특성에 따라 크게 패턴인식기법, 통계기법, 기타 기법의 3가지 기법으로 대별된다.

(1) 패턴인식기법

패턴인식기법은 교통패턴의 차이를 직접 비교하여 돌발상황여부를 판단하는 방법이다. 이 같은 기법에는 대표적으로 캘리포니아 알고리즘, 전목적 기법, 패턴인식기법이 있다.

1960년대에 Detroit의 John C. Lodge고속도로에 대해 Courage와 Levin(1968)의 연구와 Whitson 등(1969)의 연구를 바탕으로 돌발상황 감지에 벤치마크 역할을 하는 캘리포니아 알고리즘의 기반 연구가 Schaeier, W.E(1969)에 의해 이루어졌다. 이후 Cook와 Cleveland(1970)의 연구와 Payne 등(1976)의 연구를 통해 캘리포니아 알고리즘을 체계화되었다. 이후, 캘리포니아 알고리즘을 응용하여 Ana I. Gall과 Fred L. Hall(1988)가 의사목을 활용한 연구를 하였고 Cohen(1994)는 다이나믹한 한계치 설정 연구를 하였다.

캘리포니아알고리즘 이외의 패턴인식을 통한 돌발상황감지기법으로는 McMaster 알고리즘, 전목적 알고리즘, 패턴인식기법 등이 있다. Persaud & Hall(1989), Aultman-Hall 등(1991)과 Forbs(1992)의 연구는 변형된 McMaster 알고리즘을 활용하여 고속도로의 돌발상황 감지 연구를 하였다. 토론토의 COMPASS는 첨단교통운영시스템(advanced traffic management system)에 활용하기 위해 개발된 전목적 알고리즘이고, PATREG는 TRRL(Transport and Road

Research Lab)에서 독자적인 AID 시스템을 위하여 HIOCC기법과 함께 개발된 패턴인식기법이다.

(2) 통계기법

통계기법은 검지 자료를 다양한 통계 분석을 통해 가공하고, 그 결과를 이용하여 돌발상황을 파악하는 방법이 있다. 세부 기법으로는 표준편차를 이용하는 방법, 베이지안 기법, 시계열기법, 필터링모형 등이 있다.

C.L. Dudek와 C.J.Messer(1974)는 표준편차(Standard Normal Deviate)를 이용하여 텍사스의 I-45번 국도의 관제센터 운영을 위한 돌발상황 검지기법 개발 연구를 하였다. 통계의 기본적인 베이지안 정리를 Moshe(1978, 1979)와 Jiuh-Biing Sheu와 Stephen G. Ritchie(1998)는 돌발상황 검지기법 개발에 적용하는 연구를 진행하였다. Thancanamootoo와 Bell(1988)는 시계열 알고리즘을 활용하여 최초로 교차로가 있는 일반도로의 돌발상황 검지기법 개발 연구를 하였으며, Bretherton과 Bowen(1991) 연구에서는 이를 더욱 발전 보완하였다. Cook와 Cleveland(1974)의 연구와 Han과 May(1988,1989)의 연구에서는 Smoothing 기법을 돌발상황검지기법 개발에 적용해 보았다. 영국의 TRRL에서는 PATREG와 함께 HIOCC(High OCCupancy) 알고리즘을 개발하였다. 필터링기법을 이용한 Stephanedes(1991)의 고속도로 돌발상황검지연구와 Lee(1997)의 간선도로 시뮬레이션 자료를 이용한 돌발상황 검지기법 개발연구가 있다.

(3) 기타 기법

기타 기법은 패턴비교나 통계적 분석의 범주에 포함되지 않는 다른 기법을 활용하는 것으로 동적 모형을 이용하는 방법, 신경망 이론을 이용한 방법, 퍼지이론, 카오스이론을 이용한 기법

등이 있다.

동적모형을 이용한 방법은 돌발상황 검지에ダイナミック한 교통류예측모형을 활용하는 것으로 Cremer,M.(1981)과 Kuhne R.D.(1989), Willsky,A.S et al(1980), Chen, C.H. & Chang, R.L.(1993), Eil Kwon, Sai Tong & Michalopoulos(1996)의 연구가 대표적이다. Sherif S. Ishak와 Haitham M. Al-Deek(1996), Cheu(1991), Ritchie(1992), Sherif S. I.(1998)는 neural network 알고리즘을 이용하여 고속도로 돌발상황 검지기법 개발 연구를 하였고, Sarosh와 Stephen(1994), John(1997)는 간선도로 돌발상황 검지연구까지 확장하였다. 신경망 이론에 퍼지집합이론을 복합시킨 Chien-Hua Hsiao 등(1993)의 연구와 Persaud와 Hall(1989)의 카오스이론을 이용한 돌발상황 검지기법 개발연구를 하였으며, Sellam, Boulmakoul과 Pierrelee(1991)의 연구에서는 전문가 시스템을 활용하여 Image검지기 자료를 활용한 간선도로 돌발상황 검지를 시도하였다.

(4) 기존 돌발상황 검지기법 정리

기존 돌발상황 검지기법 개발연구를 정리하면 <표 1>과 같다. 현재 패턴인식 기법은 주로 고속도로의 돌발상황 검지에 적용하는 수준이며, 통계기법과 기타 기법은 고속도로의 돌발상황검지와 함께 일반도로의 돌발상황 검지에 대해서도 실험적인 연구가 진행되고 있다.

74 이영인 · 황준환

<표 1> 기존 돌발상황 검지기법의 특성

기 법		특성 과 적용	활용자료
분류	세부분류		
패턴 인식 기법	캘리포니아 알고리즘	- 기법이 단순하여 적용이 용이 - 검지결과와 정확성이 낮음 - 고속도로에 주로 적용	- 점유율
	전목적 기법	- 캘리포니아 알고리즘의 복합 - 고속도로에 주로 활용	- 점유율 - 속도
	패턴인식 기법	- 속도만 평가지표로 활용 - 교통량 많은 곳에 적용 어려움	- 속도
통계 기법	표준편차 이용기법	- 과거 검지자료 통계 특성 활용 - Texas TTI가 I-45에 적용	- 점유율 - 에너지
	베이지안 기법	- 베이지안 정리를 적용 - 돌발상황이 발생할 조건부 확률 파악	- 점유율
	시계열분석 기법	- ARIMA, Smoothing, HIOCC기법 - 일반도로에 확대 적용	- 점유율 - 속도 - 교통량
	필터링 모형	- 자료의 잔차에 덜 민감하며, - 최소자료로 분석이 가능 - 일반도로에 확대 적용	- 점유율
기타 기법	동적 모형	- 교통류 모형을 이용하여 - 용량의 변화를 활용 검지 - 시점 변동적인 파라메타 설정	- 교통량 - 속도 - 밀도
	카오스이론 기법	- 점유율-교통량의 2차원 자료 이용 - 실증적이지만 적용엔 어려움	- 점유율 - 교통량
	신경망 이론 기법	- 신경망 이론의 학습원리 활용 - 일반도로에 확대 적용	- 점유율 - 교통량

2.2 기존돌발상황 검지기법의 한계

이상에서 살펴본 기존 돌발상황 검지기법은 크게 다음 3가지 공통적인 한계를 갖고 있는 것으로 파악되었다.

첫째, 기존의 돌발상황 검지기법은 돌발상황 여부를 판단하기 위한 검지기 또는 검지차량 등에서 파악되는 교통량, 속도, 점유율 자료만을 이용하기 때문에 돌발상황 검지에 사용되는 자료가 제한적이다.

둘째, 다양하게 발생하는 돌발상황에 대한 차별적 교통량, 속도, 점유율의 변화를 파악하고 이에 근거한 돌발상황 검지가 필요하지만 기존

에는 돌발상황과 교통특성 변화를 관련시키는 기법개발에 제한적이다.

셋째, 현장 적용을 현장의 여건을 충분히 반영할 수 있는 자료의 가감이 가능하고 기법이 단순해야 하지만 기존의 돌발상황 검지기법은 검지기법이 복잡하고 입력자료의 가감이 어렵기 때문에 현장 활용 및 현장상황 반영에 어려움이 있다.

이 같은 기존 연구의 한계를 극복하기 위해서는 돌발상황 검지기법 개발에 <표 2>에 제시하는 한계 극복방안이 내재되어야 한다.

<표 2> 기존 검지기법의 한계와 극복 방안

기존 검지 기법 연구의 한계	주요 원인	한계극복방안
검지에 활용되는 자료의 제한	- 직접 지체유발 돌발 상황 연구에 집중 - 다른 변수 도입시 적응성 부족	- 검지자료 이외 자료 활용 가능한 기법 개발 - 다른 변수 도입시 적응력 떨어지지 않는 기법 개발
교통특성 변화 반영이 미약	- 돌발상황과 교통 특성 변화 관계 규명 미약	- 돌발상황에 따른 교통특성 변화를 기법에서 파악
현장 적용력이 떨어짐	- 기법이 복잡 - 현장여건에 따라 크게 변하는 평가치	- 기법의 단순화 - 알고리즘이 현장여건에 유동적일 수 있도록 조정

본 연구에서는 이 같은 기존 연구의 한계를 극복하기 위해 돌발상황과 교통특성의 변화의 관계를 파악할 수 있고, 현장에서 중요하게 또는 중요하지 않게 생각하는 변수를 추가로 삽입 또는 배제할 수 있는 융통성이 있고, 검지자료의 한계를 동시에 극복할 수 있는 기법의 개발의 관점에서 연구를 진행하였다.

Ⅲ. 돌발상황 검지기법 개발의 기

본 개념 및 교통특성 분석

3.1 돌발상황과 검지기법 개발개념

(1) 돌발상황

도로상에서 발생하는 돌발상황에 대해 다양한 관점에서 정의를 하고 있다. 많은 돌발상황 검지기법 개발연구에서는 주로 교통용량의 감소 관점에서 일상 교통상태와는 다른 상태를 유발하는 것을 돌발상황으로 설정하였다. 심지어 Wirasinghe (1978)는 돌발상황의 개념에 적색신호와 저속 차량을 포함시켰다.

본 연구에서는 돌발상황을 교통사고, 차량의 고장, 차량에 적재한 화물이 도로상에 떨어지는 경우와 같이 비일상적인 상황으로 인해 한차선 또는 여러 차선이 기능을 발휘하지 못하는 경우로 설정하였다.

(2) 돌발상황 검지기법 개발 개념

돌발상황은 일정한 시간동안 교통상태를 변화시킨다. 따라서 돌발상황 검지는 교통체계를 설명하는 시간 가운데 돌발상황이 있는 시간과 돌발상황이 없는 시간을 분리하는 것이다. 이를 위해서 돌발상황 검지 대상이 되는 시간 r 을 N 개의 분석단위시간으로 분리하여 <식 1>과 같이 나누어 자료를 구축한다.

$$r = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_i \dots r_N\}$$

- - - <식 1>

여기서 r : 돌발상황의 검지시간대(예, 오전 7~9시)

r_i : 분석의 시간단위 중 i 번째 사항($i=1, 2, 3 \dots N$)

분석단위시간 벡터공간의 원소 r_i 는 사고가 일어나는 시간공간 Z_1 또는 사고가 일어나지 않는 시간공간 Z_0 으로 구분된다. 이때 Z 값은 실제 일어난 값이고 실제 일어날 값에 대한 가설을

동일하게 H_1 로 H_0 으로 설정할 수 있다. 따라서, 실제사건과 돌발상황 검지를 통한 선택의 배합은 다음 4가지 유형이 있다.

상황 1 : 사건 Z_0 에 선택 H_0 = 잘된 미경보
 상황 2 : 사건 Z_0 에 선택 H_1 = 잘못된 사고 경보
 상황 3 : 사건 Z_1 에 선택 H_0 = 사고 경보를 노침
 상황 4 : 사건 Z_1 에 선택 H_1 = 잘된 사고 경보

여기서, 현장 교통 상황 : Z_0 = 정상상태

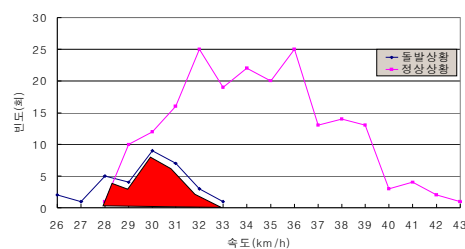
: Z_1 = 돌발상황 발생상태

돌발상황 검지결과 : H_0 = 정상상태로 예측

: H_1 = 돌발상황으로 예측

이 같은 분류를 통해 파악해본 결과, 일정한 돌발상황 검지기법을 통해 파악한 결과 상황에서 1과 4만 나타나고 상황 2와 3은 나타나지 않았다면 최적의 돌발상황 검지기법이라고 할 수 있다.

<그림 1>은 가상적인 사례로 지점속도를 기준으로 돌발/정상 상태의 분포곡선을 설정한 것이다. 정상상태에서는 속도 28~43km/h대의 중형 분포를, 돌발상황에서는 속도 25~33km/h의 중형분포로 28~33km/h 부분에서는 돌발상황을 파악하지 못하거나 정상상태를 돌발상황 상태로 오인할 수 있다.



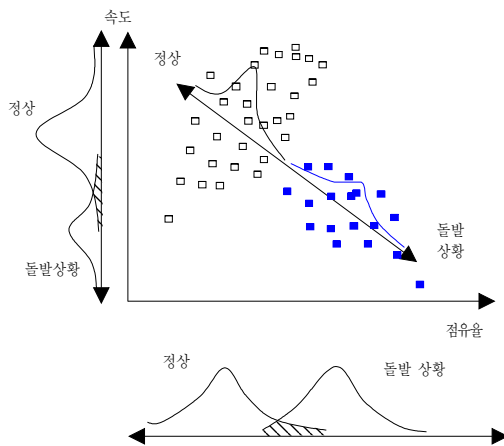
<그림 1> 돌발상황과 정상상황의 속도분포도

이 같이 정상과 돌발상황 분포가 겹쳐지는 부분이 생겨 판단이 불명확하게 되는 문제를 줄이기 위해 돌발상황과 정상상황을 보다 잘 설명하는 변수를 활용하거나 정상과 돌발상황분포곡선

76 이영인 · 황준환

을 보다 많이 분리하는 대리변수(Proxy variable)를 활용하는 방안이 있다.

<그림 2>는 점유율이나 속도 자료를 개별적으로 사용하는 경우보다 점유율과 속도를 복합한 대리변수를 사용하여 돌발상황 검지에 보다 변별력을 높일 수 있다는 개념을 보여준다. 점유율이나 속도 개별자료를 이용하면 속도축과 점유율축의 분포곡선으로 설명할 수 있다. 이때는 분포곡선이 겹쳐지는 부분(그림에서 빗금으로 음영처리된 부분)이 발생하며 이 영역에서 돌발상황 판단이 불확실하다. 그러나 점유율과 속도를 포괄하는 대리변수를 사용하면 <그림 2>의 내부 그림의 형태가 되어 정상상태와 돌발상황상태의 분포가 겹쳐지는 불확실한 영역이 감소되어 돌발상황이 보다 잘 검지된다.



<그림 2> 돌발상황 검지기법의 변별특성

3.2 돌발상황 발생과 교통여건 변화

(1) 돌발상황 발생과 교통영향

도로상에서 발생하는 돌발상황은 다음 세가지 유형으로 분류될 수 있다.

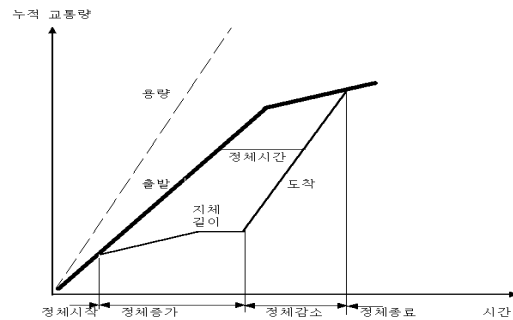
- 심한 영향 : 도로용량 감소가 심각하여, 교통량/용량비가 1.0이 넘는 수준으로 진행되기 때문에, 주변 교통체계에 심각한 교통혼잡 조장

되고 지체가 가중된다.

- 보통 영향 : 심한 영향의 경우 보다 덜하지만 돌발상황 발생후 차선 또는 구간의 용량비 변화가 현격하여 혼잡이 발생하게 된다.

- 약한 영향 : 돌발상황 발생후 교통여건상 직접적 혼잡으로 연결되지 않는다.

기존의 돌발상황 검지 연구는 대부분이 직접 지체를 증가시키는 특성을 보여주는 유형의 돌발상황 검지에 집중되었다. 지체의 증가로 이어질 수 있는 돌발상황은 돌발상황의 영향이 심한 경우로 <그림 3>에 제시하는 바와 같이 돌발상황발생과 이에 대한 대처에 따라 지체의 길이가 증감되는 특성을 보인다(Kaan Ozbay와 Pushkin Kachroo, 1999).



<그림 3> 심한 돌발상황 발생과 대처에 따른 지체 변화

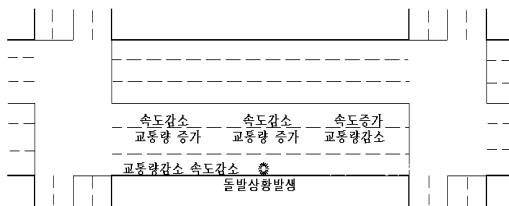
돌발상황이 발생하면 곧바로 지체 증가와 통행특성의 현격한 변화로 이어지는 것은 주로 통행패턴이 일정한 고속도로에서 나타난다. 신호등이 있는 간선도로에서는 교차로에서의 용량저감에 비해 도로구간의 돌발상황에 따른 용량감소가 미미하다. 따라서 이를 파악하기 위해서는 용량변화가 적어도 검지할 수 있는 기법의 개발이 필요하다.

(2) 간선도로 돌발상황과 교통특성 변화

신호등이 있는 간선도로에서 돌발상황은 교차로 또는 교차로사이 도로구간에서 발생된다. 교

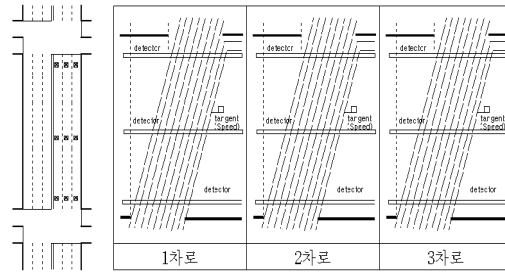
차로는 간선도로체계에서 돌발상황이 발생되지 않아도 용량이 가장 작기 때문에 돌발상황이 발생되면 파악이 용이하다. Yorgos J.S.와 George V.(1995)의 연구에서는 이 같은 특성을 활용하여 교차로에서 발생하는 돌발상황에 대해 수치적인 접근방법을 통해 돌발상황발생 지점별 특성을 파악하였다.

교차로 사이 도로구간에 돌발상황이 발생하면 발생한 지점을 기준으로 위치 및 차선에 따라 교통특성에 대한 영향이 달라진다. 돌발상황발생지점의 해당차선이 전혀 활용되지 못하면 <그림 4>에 제시한 바와 같이 각 차선별 지점별 교통특성(교통량, 속도) 변화가 발생한다.

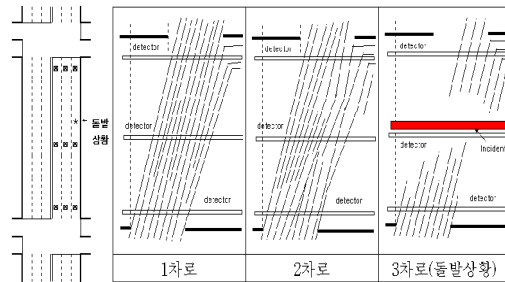


<그림 4> 간선도로 돌발상황 발생과 교통특성의 변화

이 같이 돌발상황에 따라 변화되는 교통특성은 <그림 5>와 같이 시공도상의 차량궤적의 차이를 통하여 파악할 수 있다. 차량 궤적의 기울기는 차량의 속도를 의미하고 이는 교통량에 영향을 받는다. 3차로에 돌발상황이 발생된 상황에서는 돌발상황발생지점 통과전에 차선변경이 이루어져, 교통량이 늘어나고 속도가 줄어들기 때문에 궤적선의 기울기가 줄어든다. 돌발상황 발생지점을 통과한 후에는 교통량이 적은 돌발상황발생차선으로 차선변경이 이루어지고 속도가 증가하기 때문에 차량 궤적의 기울기가 증가된다.



(a) 정상상태의 시공도



(b) 돌발상황 발생시 시공도

<그림 5> 돌발사항 발생에 따른 차량궤적의 변화

<그림 5>의 일정한 band()는 검지기의 검지영역이다. 이 시간-공간의 영역을 통해 돌발상황 발생으로 인한 차량궤적의 변화가 파악된다. <그림 5>에서 알 수 있는 바와 같이 교차로사이 구간에서 발생하는 돌발상황은 돌발상황이 발생하는 차선의 차량통행을 다른 차선으로 전환하기 때문에 차량궤적의 변화를 가져온다. 이와 같이 일정한 돌발상황 발생은 교통특성을 변화시키고, 이는 검지기 자료를 통하여 파악된다.

IV. 돌발상황 검지모형 개발

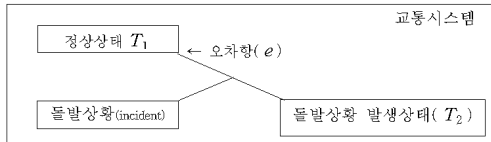
4.1 교통여건 변화개념을 적용한

돌발상황 검지모형 개발

본 연구에서는 돌발상황 검지기법을 상태모형의 기본개념을 적용하여 개발하였다. 상태모형(state model)은 일정한 시스템에서 발생하는

78 이영인 · 황준환

상태나 사건을 설명해 주는 것이다. <그림 6>은 상태모형을 이용하여 교통시스템에서 돌발상황 발생에 따른 교통여건의 변화를 설명한 것이다.



<그림 6> 돌발상황 발생에 따른 교통상태 변화

T_1 는 정상상태의 교통상태이다. T_1 라는 교통상태에서 돌발상황(incident)과 파악되지 않은 상황(e)이 영향을 끼쳐 돌발상황하의 교통상태 T_2 로 변화되기 때문에 <식 2>가 성립된다.

$$T_2 = f(T_1, incident) + e \quad - - - \text{<식 2>}$$

<식 2>를 돌발상황 특성에 대해 정리하면 <식 3>이 된다.

$$incident = h(T_1, T_2) + e \quad - - - \text{<식 3>}$$

돌발상황 특성이 n 종류이며 동일한 교통자료(T)를 이용하여 일정한 교통시스템에서 돌발상황 상태를 식을 설정하면 <식 4>와 같다.

$$in_i = h_i(T) + e_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad - - - \text{<식 4>}$$

여기서, in_i = 돌발상황 i 발생 개연성이 높을수록 커지는 값
 $h_i(T)$ = 검지기에서 검지되는 교통량, 속도, 점유율 등
 자료와 돌발상황 i 의 개연성을 연결하는 관계식
 e_i = 돌발상황 i 의 설명 오차항

<식 4>의 개념식의 in_i 를 $n+1$ 시간에 돌발상황 a 가 발생할수록 커지는 특성값(또는 효용값) $\xi^{n+1}(a)$ 로 바꾸고, 이는 검지기 설치지점의 교통량, 점유율로 설명이 가능하므로 <식 5>가 성립된다.

$$\begin{aligned} \xi^{n+1}(a) = & \sum_j \sum_i a_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^{n+1} + \sum_j \sum_i b_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^n \\ & + \sum_j \sum_i c_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^n + \sum_j \sum_i d_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^{n-1} + e_a \end{aligned} \quad - - - \text{<식 5>}$$

여기서 $\xi_{i,j}^{n+1}(a)$ = a 돌발상황의 j 지점 i 차선의 $n+1$ 시간 발생 설명값

$occ_{i,j}^{n+1}, occ_{i,j}^n$ = j 지점 i 차선의 $n+1, n$ 시간의 관측 점유율

$q_{i,j}^{n+1}, q_{i,j}^n$ = j 지점 i 차선의 $n+1, n$ 시간의 관측 교통량

$a_{j,i}^a, b_{j,i}^a, c_{j,i}^a, d_{j,i}^a, e_a$ = 파라메타의 오차항

돌발상황 a 가 n 시간에 일어날 확률 $P(a, n)$ 은 n 시간의 돌발상황 a 특성치 $\xi^n(a)$ 가 다른 돌발상황발생패턴의 특성치 $\xi^n(k)$ 보다 큰 확률로 <식 6>과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(a, n) = p(\xi^n(a) \geq \xi^n(k), \forall k \in K, a \neq k)$$

여기서 K 는 돌발상황의 총 패턴수

$$- - - \text{<식 6>}$$

<식 6>에 <식 5>를 대입하면 <식 7>이 성립된다.

$$\begin{aligned} P(a, n) = & p\left(\sum_j \sum_i a_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^n + \sum_j \sum_i b_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^{n-1} \right. \\ & + \sum_j \sum_i c_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^{n-1} + \sum_j \sum_i d_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^{n-2} + e_a \\ & \geq \sum_j \sum_i a_{j,i}^k \cdot occ_{i,j}^n + \sum_j \sum_i b_{j,i}^k \cdot occ_{i,j}^{n-1} + \sum_j \sum_i c_{j,i}^k \cdot q_{i,j}^{n-1} \\ & \left. + \sum_j \sum_i d_{j,i}^k \cdot q_{i,j}^{n-2} + e_k\right) \end{aligned} \quad - - - \text{<식 7>}$$

이때 오차항 ε_a 와 ε_k 가 Gumbel분포를 따른다면 n 시간에 돌발상황 a 가 일어날 확률은 <식 8>과 같다(Moshe Ben-Akiva와 Steven R, Lerman, 1987).

$$P(a, n) = \frac{e^{\xi^n(a)}}{\sum_{k \in K} e^{\xi^n(k)}} \quad \text{--- <식 8>}$$

여기서 $\xi^n(a), \xi^n(k) = a, k$ 돌발상황이 n 시간에 발생하는 특성치
 K = 전체 돌발상황 경우

4.2 돌발상황 검지모형의 매개변수 추정

돌발상황 검지에 활용되는 <식 8>은 다중 logit 모형과 형태가 유사하다. 따라서 이산선택 모형의 효용함수 추정과 동일한 방법으로 파라메타를 추정할 수 있다. 이때 활용될 수 있는 파라메타 추정 방법에는 크게 최소자승법(Least square method)을 이용하는 방법과 최우추정법(maximum likelihood method)이 이용되며, 특히 최우추정을 활용한 분석이 갖고 있는 특성 때문에 일반적으로 활용된다(Moshe Ben-Akiva와 Steven R, Lerman, 1987).

이 같은 최우추정법에는 경사추정방법(gradient method)과 Davidon-Fletcher-Powell(DFP)방법, Berndt-Hall-Hausman(BHHH)방법이 널리 활용된다. 특히 경사추정 방법중 널리 활용되는 Newton-Raphson 알고리즘은 1계도함수가 단조증가나 감소하는 경우에 최우추정법을 비교적 원활하게 수행하여 원하는 파라메타를 추정하는 장점이 있다.

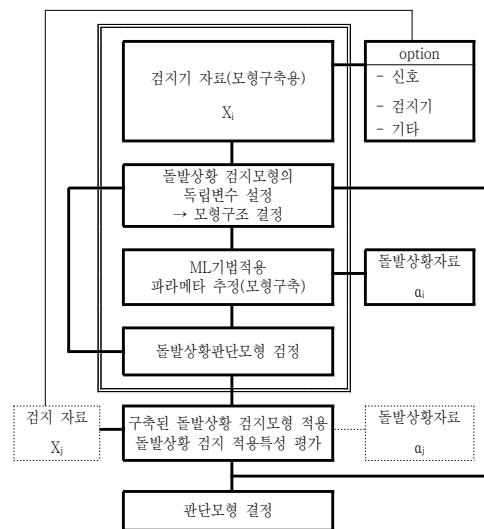
4.3 돌발상황 검지모형 작성 및 돌발상황

검지 알고리즘

(1) 돌발상황 검지모형 작성체계

간선도로 특성을 반영한 돌발상황 검지모형을 위해서는 <그림 7>에 제시되는 바와 같은 검지모형 작성체계가 활용될 수 있다.

모형 구축에 앞서 모형작성과 평가에 활용되는 자료를 구축한다. 자료는 검지기 자료와 돌발상황자료로 구성된다. 자료가 구축되면 다음으로 돌발상황 검지모형 구조를 결정하고 독립변수를 설정하며 파라메타를 추정하는 모형구축과정이 이어진다. 이때 모형검정은 모형구축과 동시에 진행된다. 검정결과, 타당하다고 파악되는 모형은 적용특성을 분석하여 최종적으로 돌발상황 검지에 활용할 수 있는 돌발상황 판단모형이 된다.



<그림 7> 돌발상황 검지모형 구축체계도

(2) 돌발상황 검지 알고리즘

작성된 돌발상황 검지모형을 활용하여 다음 4단계의 돌발상황 판단알고리즘을 이행하여 돌발상황을 검지한다.

- 1 단계 : 돌발상황 판단구간의 검지자료를 수집/가공한다.
- 2 단계 : 작성된 검지모형을 이용하여 돌발상황($a=1$ 이면 1차선돌발상황, 2이면 2차선 돌발상황 같이)별 특성값($\xi^{n+1}(a)$)을 파악한다.

80 이영인 · 황준환

$$\xi^{n+1}(a) = \sum_j \sum_i a_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^{n+1} + \sum_j \sum_i b_{j,i}^a \cdot occ_{i,j}^n + \sum_j \sum_i c_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^n + \sum_j \sum_i d_{j,i}^a \cdot q_{i,j}^{n-1} + e_a$$

• 3 단계 : 2단계에서 구한 돌발상황 특성치 값을 아래 돌발 상황 발생확률식에 대입하여 돌발상황별 돌발상황 발생확률을 산출한다.

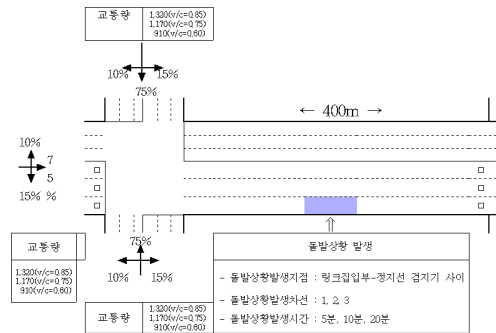
$$P(a,n) = \frac{e^{\xi^n(a)}}{\sum_{k \in K} e^{\xi^n(k)}}$$

여기서 $\xi^n(a)$, $\xi^n(k)$ = a , k 돌발상황이 n 시간에 발생하는 특성치

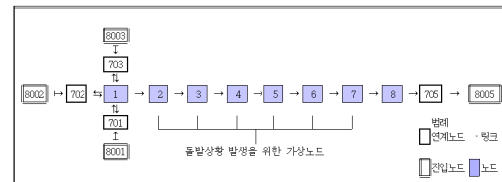
K = 전체 돌발상황 경우

• 4 단계 : $P(a,n)$ 이 최대가 되는 다음 경우를 돌발상황으로 인정

$$\text{돌발상황} = \max[P(a,n)]$$



<그림 8> 시뮬레이션 네트워크



<그림 9> 시뮬레이션 네트워크의 NETSIM 표현

V. 돌발상황 검지모형 구축 및 평가

5.1 분석자료 구축을 위한 실험계획

(1) 시뮬레이션 네트워크의 자료수집

분석자료 작성을 위해 교차로와 횡단보도로 구성된 편도 3차로의 전형적인 신호간선도로의 시뮬레이션 네트워크를 <그림 8>과 같이 설정하였다. 시뮬레이션 네트워크를 본 연구에서 활용한 시뮬레이션 프로그램인 NETSIM에 적합하도록 <그림 9>에 제시하는 바와 같이 4개의 진입노드와 12개의 가상적인 내부노드를 설정하였다. 검지기는 교차로와 횡단보도의 정지선에 차선별로 설치하였으며, 교통량, 속도, 점유율 자료를 주기단위로 합산하여 받도록 설치하였다.

교차로와 횡단보도의 신호계획은 <그림 10>에 제시하는 바와 같다.

구 분	1현시	2현시	3현시	4현시	주기 (offset)
교차로 신호	 17(3)	 37(3)	 17(3)	 37(3)	120초 (0초)
횡단 보도 신호	 97(3)	 17(3)			

<그림 10> 시뮬레이션 신호계획

(2) 돌발상황 시나리오

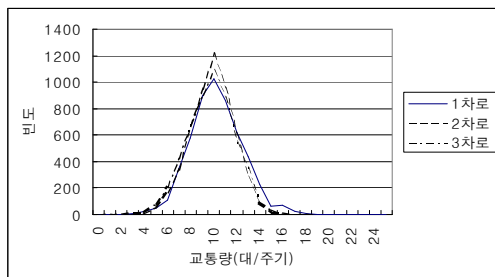
돌발상황은 링크중간의 가상노드사이에서 발생하도록 하였으며, 돌발상황 시나리오와 네트워크 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 돌발상황지속시간을 변화 : 5분, 10분, 20분
- 돌발상황발생지점 : 상류부, 중간, 하류부
- 돌발상황발생차선 : 1차로, 2차로, 3차로
- 중차량비 : 0, 10, 20%
- 구간유입교통량(v/c 기준) : 0.85, 0.75, 0.60

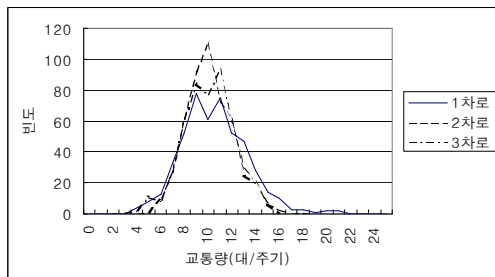
5.2 구축된 자료

243가지 시나리오 경우에 대해 각각 1시간씩 2분단위로 6개의 검지기에서 검지된 자료를 정리하면 <그림 11~14>에 제시하는 바와 같다.

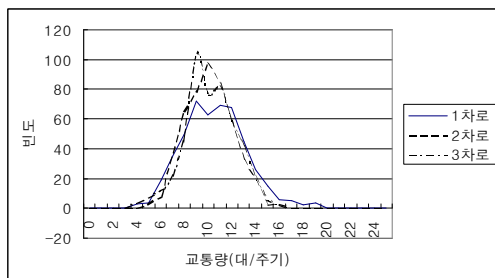
<그림 11, 12>는 정상 또는 1, 2, 3차로의 돌발상황에서 상류부 교차로 정지선 검지기에서 파악된 주기별 교통량과 점유율 자료이다. 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 정상 또는 1, 2, 3차로의 돌발상황이나 여부에 거의 관계없이 분포가 일정한 것을 알 수 있다.



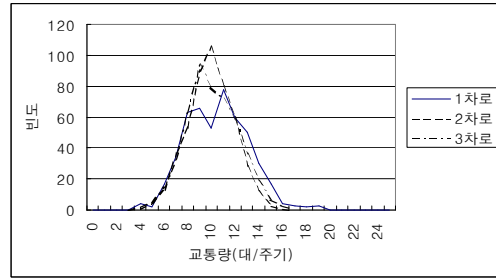
(a) 정상 상태



(b) 1차로 돌발상황

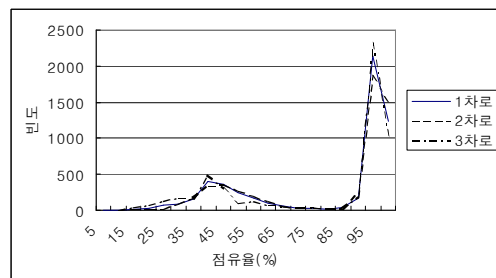


(c) 2차로 돌발상황

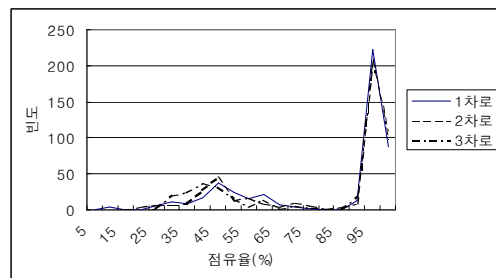


(d) 3차로 돌발상황

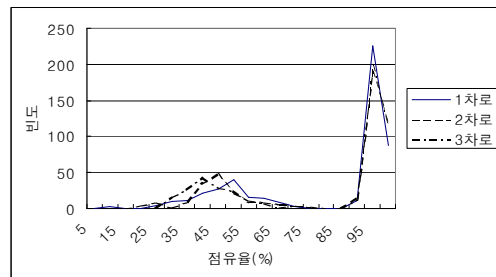
<그림 11> 상류부 정지선에서 파악한 교통량 분포



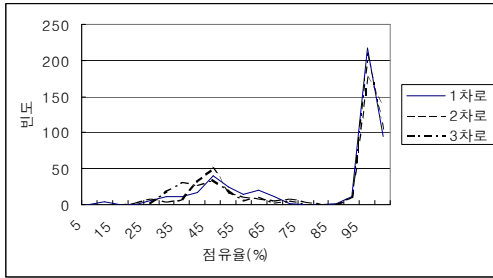
(a) 정상 상태



(b) 1차로 돌발상황



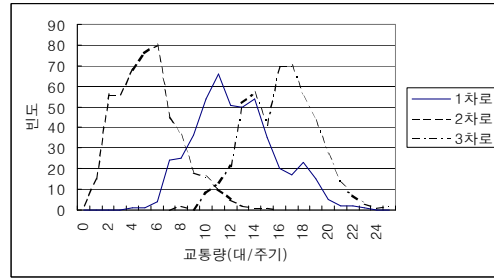
(c) 2차로 돌발상황



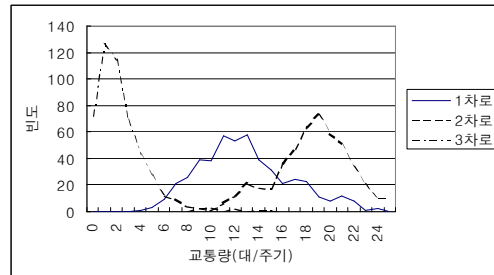
(d) 3차로 돌발상황

<그림 12> 상류부 정지선에서 파악한 점유율 분포

반면, <그림 13, 14>는 하류부(횡단보도) 정지선 검지기에서 파악된 주기별 교통량과 점유율 자료이다. 상류부 자료와는 달리 정상 또는 1, 2, 3차로 돌발상황이냐에 따라 분포곡선 형태의 현격한 차이가 있다.

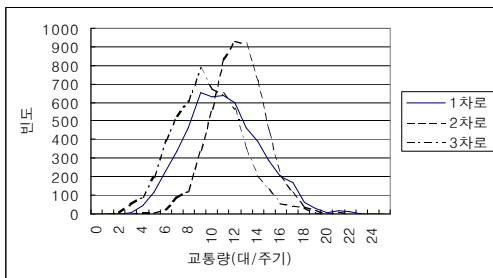


(c) 2차로 돌발상황

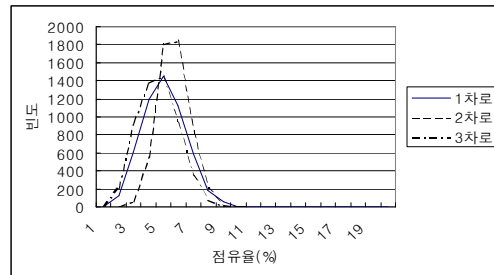


(d) 3차로 돌발상황

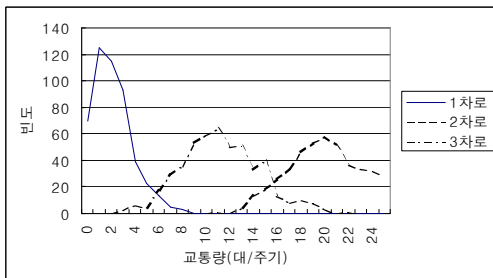
<그림 13> 하류부 정지선에서 파악한 교통량 분포



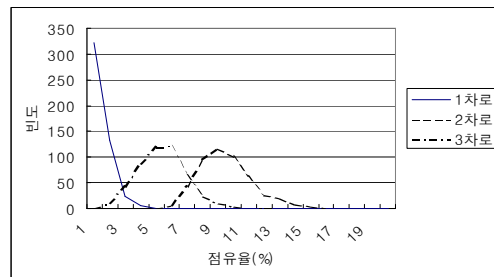
(a) 정상 상태



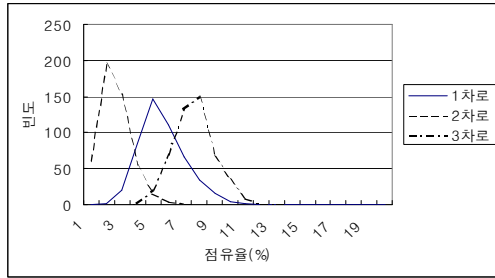
(a) 정상 상태



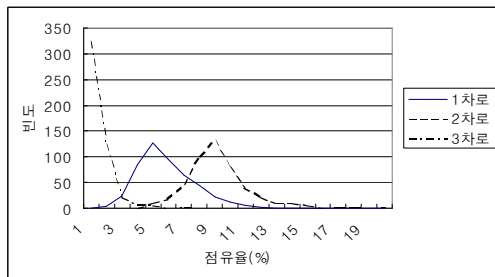
(b) 1차로 돌발상황



(b) 1차로 돌발상황



(c) 2차로 돌발상황



(d) 3차로 돌발상황

<그림 14> 하류부 정지선에서 파악한 점유율 분포

5.3 돌발상황 검지모형 구축

돌발상황 검지모형은 5분 돌발상황과 20분 돌발상황 발생 시나리오의 주기단위 검지기 교통량, 점유율 자료를 이용하여 구축하였다. 돌발상황별 상류부 교차로 정지선 교통량과 점유율의 분포 특성이 현격하게 변화되지 않으므로 영향이 적은 것으로 파악되어 하류부 횡단보도 정지선 검지기 자료를 이용하여 <식 9>의 일반식을 설정하였다.

$$\xi^{n+1}(a) = C_{a,1}^a \cdot q_{a,1}^{n+1} + C_{a,2}^a \cdot q_{a,2}^{n+1} + C_{a,3}^a \cdot q_{a,3}^{n+1} + a_{a,1}^a \cdot occ_{a,1}^{n+1} + a_{a,2}^a \cdot occ_{a,2}^{n+1} + a_{a,3}^a \cdot occ_{a,3}^{n+1} + e_a$$

- - - <식 9>

여기서 $\xi^{n+1}(a)$ = 돌발상황 a 가 n+1 시간에 발생할 특성치(또는 효용값)

$occ_{a,1}^{n+1}$ = n+1 시간에 하류부, 1차선의 점유율

$q_{a,1}^{n+1}$ = n+1 시간에 하류부, 1차선의 교통량

(‘하’는 하류부를 나타내며, 1, 2, 3은 차선을 의미함)

$a_{a,1}^a, C_{a,1}^a, \dots, e_a$ = 파라메타

본 연구에서는 돌발상황 검지모형식 작성에

Newton-Raphson 알고리즘을 적용하는 William H. Greene(1991)의 LIMDEP (LIMited DEpendent variable models) 프로그램을 활용하였다. 모형구축 결과는 <표 3>에 제시되는 바와 같다.

<표 3> 특성치(효용)식의 매개변수와 통계 특성

변수	1차로 돌발상황			2차로 돌발상황			3차로돌발상황		
	파라메타	t-ratio	유의수준	파라메타	t-ratio	유의수준	파라메타	t-ratio	유의수준
Const	-17.03	-5.66	0.000	-1.72	-1.54	0.125	-7.68	-8.13	0.000
$q_{a,1}^{n+1}$	-0.78	-1.94	0.053	-0.19	-1.24	0.215	0.18	1.73	0.083
$q_{a,2}^{n+1}$	0.05	0.27	0.786	0.06	0.30	0.764	-0.12	-1.12	0.265
$q_{a,3}^{n+1}$	0.69	2.76	0.006	0.08	0.60	0.546	-0.02	-0.12	0.903
$occ_{a,1}^{n+1}$	-2.00	-2.43	0.015	0.45	1.33	0.183	0.20	0.81	0.417
$occ_{a,2}^{n+1}$	2.23	5.98	0.000	-3.50	-7.04	0.000	1.41	6.47	0.000
$occ_{a,3}^{n+1}$	0.32	0.60	0.546	2.00	5.62	0.000	-1.94	-4.56	0.000
모형 통계 특성	L(B) = -356.04, L(0) = -3614.68 $\chi^2(18) = 6517.29, \chi^2(18, 0.05) = 28.87$								

t-test와 χ^2 -test 결과, 대부분의 매개변수가 통계적으로 유의하며, 모형 자체적으로도 유의한 것을 알 수 있다.

5.4 돌발상황 검지기법 평가

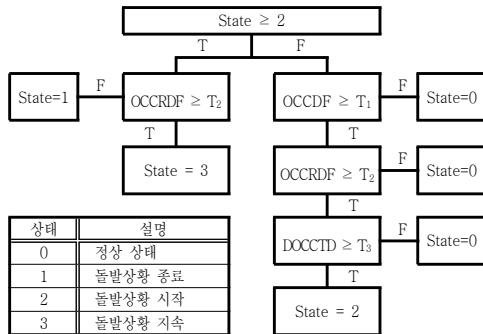
(1) 비교기법

본 연구에서 제안하는 돌발상황 검지기법과 적용특성을 비교평가하기 위해, 캘리포니아 7번 알고리즘을 도시부 가로에 활용할 수 있도록 변형한 변형된 캘리포니아 알고리즘과 neural network기법을 적용하였다.

변형된 캘리포니아 알고리즘의 구조는 <그림 15>에 제시되는 바와 같다. 제안된 기법의 모형 구축에 활용되었던 5분 돌발상황과 20분 돌발상

84 이영인 · 황준환

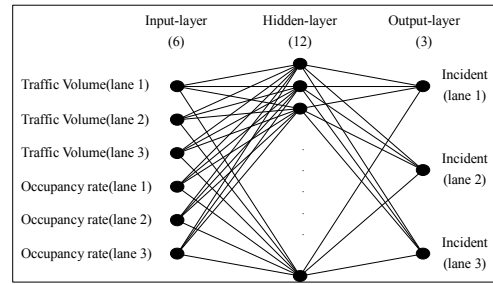
황 자료를 이용하여 자료의 통계적인 특성을 이용하여 임계치를 설정한 결과, 하류부 점유율(DOCC), 점유율의 공간적 차이(OCCDF), 하류부 점유율의 시간적 차이(DOCCTD)는 각각 79.005, -0.0421, 7.060이 됨을 알 수 있었다.



- 점유율의 공간적인 차이 : $OCCDF(i,t) = OCC(i,t) - OCC(i+1,t)$
- 점유율의 상대적 공간적 차이 : $OCCDRF(i,t) = OCCDF(i,t) / OCC(i,t)$
- 하류부 점유율의 상대적 시간적 차이 : $DOCCTD(i,t) = (OCC(i+1,t-1) - OCC(i+1,t)) / OCC(i+1,t-1)$

<그림 15> 변형된 캘리포니아 알고리즘 판단체계

Neural network 기법 적용을 위해 SNNS Simulator 프로그램을 사용하였다. neural network의 기본구조는 입력층 6, hidden층 12, 출력층 3으로 설정하여 <그림 16>에 제시하는 바와 같다. neural network는 5분 돌발상황과 20분 돌발상황 자료를 이용하여 hidden과 output layer의 출력은 sigmoid함수를 이용하고 random basis로 학습패턴을 결정하여, back-propagation법으로 학습을 시켜 neural의 연결가중치를 결정하였다.



<그림 16> Neural network의 기본구조

(2) 비교기법과 평가

본 연구에서는 <표 4>에 제시하는 바와 같이 2가지 유형의 자료로 구분하여 돌발상황 검지기법 정립과 평가에 활용하였다. set 1 자료는 변형된 캘리포니아 알고리즘의 임계치를 설정, Neural network 기법의 가중치 설정, 제안된 기법의 매개변수를 추정하는데 활용하였다.

<표 4> 활용된 자료 유형별 특성 및 활용

유형	특성	sample	활용
set 1	- 조사시간 1시간 중 5분, 20분 돌발 상황 발생자료	4,860	- 임계치, 가중치, 모형구축에 활용
set 2	- 조사시간 1시간 중 10분 돌발상황 발생자료	2,430	- 기법의 적용 특성 평가

반면 set 2 자료는, set 1 자료로 판단 근거가 설정되면, 돌발상황을 추정을 평가하는데 동일하게 활용되었다.

이 같이 동일한 조건에서 변형된 캘리포니아 알고리즘과 Neural network기법, 제안하는 기법의 돌발상황 검지의 적합성을 검지율(관찰기간 내 돌발상황 발생여부를 검지하는 비율)과 오경보율(모든 경보중 잘못 경보한 비율)을 이용하여 평가해보았다.

본 연구에서 제안하는 기법은 주기별 교통량과 점유율 자료를 이용하여 특성치(또는 효율) 값을 구하고 돌발상황이 발생할 확률을 파악하

는 것으로 <표 5>에서 제시하는 바와 같이 분석된다. 식 8>을 통하여 확률값으로 전환된다. 이때 가장 발생확률이 높은 경우가 발생된다고 보고, 돌발상황 발생여부와 어느 차로에 돌발상황이

<표 5> 제안된 기법으로 평가자료를 분석하는 결과(예)

주기	돌발 상황 현황*	입력 자료						추정 결과									돌발 상황 추정 결과	적합 여부
		교통량			점유율			특성치(효용)			발생 확률(돌발상황지표)							
		1차선	2차선	3차선	1차선	2차선	3차선	1차선	2차선	3차선	정상	1차선	2차선	3차선	incident			
14	0	10	10	7	3.6	4	2.9	-16.9	-9.04	-6.47	0.998	0.000	0.000	0.002	0.002	0	Ok	
15	0	22	13	12	8.3	6.2	6.3	-26	-9.51	-7.33	0.999	0.000	0.000	0.001	0.001	0	Ok	
16	1	8	21	12	2.7	8.9	4.8	2.069	-21.4	-5.2	0.112	0.887	0.000	0.001	0.887	1	Ok	
17	1	0	27	8	0	10.8	2.8	14.89	-31.7	-1.23	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	1	Ok	
18	1	2	24	9	0.5	9.3	3.3	9.666	-25.7	-3.53	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	1	Ok	
19	1	2	21	14	1	8.5	5.9	11	-17.2	-9.37	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000	1	Ok	
20	1	2	17	8	0.7	7	2.9	2.95	-18.8	-5.11	0.050	0.950	0.000	0.000	0.950	1	Ok	
21	0	18	14	9	7.7	5.3	3.6	-26.6	-11.5	-4.24	0.986	0.000	0.000	0.014	0.014	0	Ok	
267	0	22	13	12	8.3	6.2	6.3	-26	-9.51	-7.33	0.999	0.000	0.000	0.001	0.001	0	Ok	
268	2	16	5	19	6.8	1.9	7.4	-23.2	8.34	-16.1	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	2	Ok	
269	2	15	8	16	6.5	2.9	5.7	-22	1.413	-11.9	0.196	0.000	0.804	0.000	0.804	2	Ok	
270	2	12	3	19	4.3	1	6.7	-17.4	9.611	-17	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	2	Ok	
271	2	10	5	16	3.5	2	6.5	-14	5.591	-15.9	0.004	0.000	0.996	0.000	0.996	2	Ok	
272	2	11	5	14	4.3	1.8	5.3	-18.6	3.893	-13.5	0.020	0.000	0.980	0.000	0.980	2	Ok	
273	0	11	13	7	4	5.3	2.8	-15.4	-13.6	-4.54	0.989	0.000	0.000	0.011	0.011	0	Ok	
575	0	14	13	11	5.4	4.9	5	-18	-7.43	-8.64	0.999	0.000	0.001	0.000	0.001	0	Ok	
576	3	9	15	1	3.6	6.8	0.3	-14.5	-24.1	1.9	0.130	0.000	0.000	0.870	0.870	3	Ok	
577	3	15	19	2	5.4	8.8	0.8	-17.3	-30.1	4.7	0.009	0.000	0.000	0.991	0.991	3	Ok	
578	3	11	19	1	4.1	7.8	0.3	-14.6	-27.5	3.304	0.035	0.000	0.000	0.965	0.965	3	Ok	
579	3	9	15	4	4.2	6	1.4	-15.1	-18.5	-1.31	0.788	0.000	0.000	0.212	0.212	0	-	
580	3	9	21	2	3.4	9.3	0.6	-7.45	-31.9	4.077	0.017	0.000	0.000	0.983	0.983	3	Ok	
581	0	17	9	8	6.4	3.7	3	-27.9	-7.83	-5.17	0.994	0.000	0.000	0.006	0.006	0	Ok	

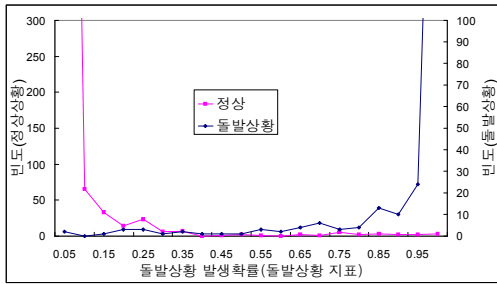
*돌발상황 현황 0 : 정상 상태
1, 2, 3 : 1, 2, 3차로 돌발상황

<표 5>에서 돌발상황 현황은 돌발상황 발생 여부와 어느 차선에 돌발상황이 발생하였는지를 나타내는 것이다. 16주기에서 20주기 사이에 1차로에 돌발상황이 발생되었고, 268주기에서 272주기에는 2차로에 돌발상황이 발생하고, 576주기에서 580주기에 3차로에 돌발상황이 발생하였다.

해당주기의 차선별 교통량과 점유율 자료를 이용하여, 앞서 <표 3>을 통하여 파악한 모형식을 통하여, 각 돌발상황 발생에 대한 특성치(또는 효용값)을 계산한다. 계산된 특성치는 <

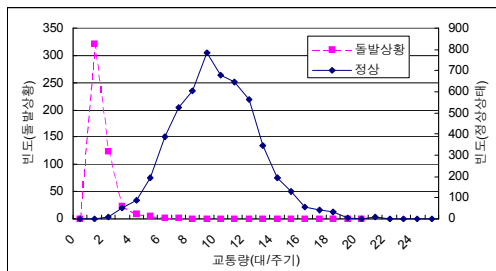
발생하였는지를 파악한다. 이 결과 <표 5>의 돌발상황 추정결과를 제시해 줄 수 있다. 돌발상황 추정의 적합 여부는 현황과 추정결과를 비교하여 제시한다. <표 5>의 사례에서는 579주기의 추정만이 현황과 차이가 있는 것을 알 수 있다.

<표 5>의 평가분석을 토대로 <그림 17>의 돌발상황 발생확률(돌발상황 지표)별 정상과 돌발상황 분포곡선을 작성할 수 있다.



<그림 17> 돌발상황 발생확률별 정상과 돌발상황 분포

이는 다음 <그림 18>의 3차로 돌발상황에 대한 3차로의 교통량분포를 보았을 때 돌발상황과 정상상태의 겹쳐지는 부분이 보다 많이 있지만, 정상상태의 분포를 우측으로 보다 이동시켜 줄 인 것과 유사한 형태를 보여준다.



<그림 18> 3차로 돌발상황에서 3차로 교통량 분포

이와 동일한 방법으로 변형된 캘리포니아 알고리즘과 Neural network기법도 평가하여 종합하면, <표 6>에 제시된 것과 같이 본 연구에서 제안하는 기법은 비교적 낮은 오경보율에서 다른 기법들에 비해 높은 수준의 검지율을 나타내는 것을 알 수 있다.

<표 6> 돌발상황 검지기법 적용 특성 평가결과

기법(알고리즘)	검지율	오보율
제안 기법	92.1	7.2
Neural network	63.4	2.6
변형된 캘리포니아	40.0	74.6

VI. 결론

돌발상황 검지는 돌발상황과 정상상황을 구분하는 것이다. 대부분의 기존의 간선도로에 적용된 돌발상황 검지기법은 고속도로와 같은 연속류에서 용량의 변화가 있는 경우에 적용되는 기법을 변형하여 적용하였다. 이 같은 기존 돌발상황검지기법은 다음과 같은 한계가 있었다.

- 검지에 활용되는 자료가 제한적임
- 교통특성 변화반영이 미약
- 현장적응력이 떨어짐

기존 연구들의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 돌발상황으로 인해 변화되는 간선도로의 교통여건을 반영하는 돌발상황 검지기법을 개발하였다.

개발된 기법은 NETSIM으로 시뮬레이션한 자료를 이용하여 변형된 캘리포니아 알고리즘과 neural network기법과 비교평가해 보았다. 비교평가 결과, 다른 기법에 비해 낮은 오경보율하에서 높은 수준의 검지율을 보였다. 또한 돌발상황 검지기법 개발이 목적을 두고 있는 돌발상황과 정상상황의 분포곡선 분리를 상당수준 실현하였다.

이상에서 돌발상황 검지기법 개발을 새롭게 시도한 본 연구가 보다 빛을 내기 위해서는 다음 사항들이 향후 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

- 검지기 자료 이외의 일기, 도로여건, 주변의 토지이용 등의 자료 적용
- 보다 확장된 네트워크에서 적용 분석
- 실제 현장자료를 이용한 돌발상황 검지기법 구축

<참 고 문 헌>

1. Chien-Hua Hsiao, Ching-Teng Lin, Michael Cassidy, "An Application Fuzzy Set Theory to Incident Detection", TRB No.

930571, 1993.

2. Allen R. Cook and Donald E. Cleveland, Detection of freeway capacity-reducing incidents by traffic-stream measurements. Highway research record 495, Highway research board, National research council, Washington, D. C. pp 1-11, 1974.

3. Amalia Polydoropoulou, "Modeling the Inference of Traffic Information on Drivers' Route Choice Behavior", MIT, 1993. 1.

4. Ana I. Gall and Fred L. Hall, Distinguishing between incident congestion and recurrent congestion: A proposed logic. Transportation research record 1232, TRB. National research council, Washington, D. C., pp. 1-8, 1989.

5. A. R. Cook and D. E. Cleveland, Detection of freeway capacity - reducing incidents by traffic-stream measurements, Transportation research record 495, TRB Washington D. C. , pp 1-11, 1974.

6. A. S. Willsky, E. Y. Chow, S. B. Gershwin, C. S. Greene, P. K. Houpt, and A. L. Kurkjian, Dynamic Model-Based techniques for the detection of incidents on freeways, IEEE transaction on automatic control Vol. AC-25 No. 3 June, pp 347-359, 1980.

7. Bhagwant N. Pers명 and F. L. Hall, Catastrophe theory and patterns in 30-second freeway traffic data, Implications for incident detection, Transportation research. Part A: General, Vol. 23, No. 2, March, pp. 103-113, 1989.

8. B. N. Persaud and F. L. Hall, Catastrophe theory and patterns in 30-second freeway traffic data implication for incident detection, Transportation research Vol. 23A

No. 2, pp 103-113, 1989.

9. Conrad L. Dudek, Carroll J. Messer, and Nelson B. Nuckles, Incident detection on urban freeways, Highway research record 495, Highway research board, National research council, Washington, D. C., pp 12-24, 1974.

10. Collins, J.F., C.M.Hopkins and J.A.Martin, Automatic Incident Detection-TRRL Algorithms HIOCC and Patreg. Department of Environment Department of Transport, TRRL Report SR 526. Crowthorne, 1979.

11. Deborah A. Mitta and Dennis J. Folds, Incident Detection System Design; The effects of High False Alarm Rate on Operator Performance, I.T.S. 4rd World Congress, 1997. 10.

12. Federal Highway Administration (FHWA), Intelligent vehicle highway system(IVHS) projects in the United States, Office of traffic operations and IVHS, Washington, D. C., 1992.

13. H. J. Payne, E. D. Helfenbein, and S. L. Cohen, Improved techniques for freeway surveillance, Transportation research record 1112, TRB, Washington D. C., pp 52-60, 1987.

14. John Naylor Ivan, Real-Time Data Fusion for Arterial Street Incident Detection Using Neural Networks, Evaston, Illionois, 1994.

15. Kaan Ozbay, Pushkin Kachroo, Incident Management in Intelligent Transportation Systems, Artech House, 1999.

16. Kaman Science Corporation, TSIS User's Guide, FHA, 1997.

17. K. G. Courage and M. Levin, A freeway corridor surveillance information and

- control system, Texas transportation Institute Texas A&M University College station, Res. Rept 488-8, 1968. 12.
18. Ian Catling, Advanced Technology for Road Transport IVHS and ATT, Arthech House INC, 1994.
19. Incident Detection on Surface Streets Using Artificial Neural Networks, Sarosh I. Khan and Stephen G. Ritchie, Pro. Int'l Conference on Advanced Technologies in Transportation and Traffic Management Singapore, 1994.
20. L. Aultman-Hall, F. L. Hall, Y. Shi, and B. Lyall, A catastrophe theory approach to freeway incident detection, applications of advanced technologies in transportation engineering, proceedings of the second international conference, Sponsored by ASCE, Minneapolis Minnesota, pp 373-377, 1991. 4.
21. L. D. Han and A. D. May, Automatic detection of traffic operational problems on urban arterials, Research Report, Institute of transportation studies, University of California at Berkeley, UCB-ITS-RR-89-15, 1989.
22. M. Levin and G. M. Krause, A Probabilistic Approach to incident detection on urban freeways, traffic engineering and control, Vol. 20 No. 3., pp 107-109, 1979. 3.
23. M. Levin and G. M. Krause, Incident detection : A Bayesian approach, Transportation research record 682, TRB, Washington D. C., pp 52-58, 1979.
24. Mark Dougherty, "A Review of Neural Networks Applied to Transport", TR-C Vol 3. No. 4 pp247-260, 1995.
25. Markos Papageorgin, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation System, Pergamon Press, 1991.
26. Mosh Ben-Akiva and Steven R. Lerman, Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, MIT Press, 1987.
27. Raymond H. Myers, Classical and modern regression with applications 2nd, Duxbury, 1990.
28. R. D. Bretherton and G. T. Bowen, Incident Detection and traffic monitoring in urban area, Drive conference, Brussels Belgium, Advanced telematics in road transport, Vol. I pp 740-751, 1991
29. R. H. Whitson, J. H. Buhr, D. R. Drew, and W. R. McCasland, Real time Evaluation of freeway Quality of traffic service, Highway research record 289, 1969.
30. Samer Madanat and Pen-chi Liu, Model For Real-Time Incident Prediction, IVHS-IDEA Project, TRB, 1994.
31. Sarosh I. Khan and Stephen G. Ritchie, Incident Detection on Surface Streets Using Artificial Neural Networks, Proceeding of the International Conference on Transportation and Traffic Management, May 18-20, 1994. 261-268
32. Sarosh I. Khan and Stephen G. Ritchie, Statistical and neural classifiers to detect traffic operational problems on urban arterials, Transportation Research C6, 1998. 291-314.
33. S. Cohen, Comparative assessment of conventional and new incident detection algorithms, Road traffic monitoring and control conference, Publication No. 391. April 26-28 pp. 156-159, 1994
34. Sherif S. Ishak, Haitham M. Al-Deek, "Application of Artificial Neural Networks to

- Freeway Incident Detection", I.T.S. 3rd World Congress, 1996. 5.
35. Sherif S. Ishak, "application of Artificial Neural Networks to Automatic Freeway Incident Detection, Dissertation at the University of Central Florida, 1998.
36. Sibok Lee, Raymond A. Kammes, John Yen, Fuzzy-logic-based incident detection for signalized diamond interchanges, Transporation Research C6, 1998. 359-377.
37. SNNS, Stuttgart Neural Network Simulator, User Manual, Version 4.1, Report No. 6/95, Institute of Parallel and Distributed High Performance Systems.
38. S. Sellam, A. Boulmakoul, and J. C. Pierrelee, A distributed real time knowledge-based system using vedio image processing for junctions automatic incident detection, Applications of advanced technologies in transportation engineering, Proceedings of the second international conference, Sponsored by ASCE, Minneapolis, Minnesota, pp 388-392, 1990. 4.
39. S. Subramaniam, Literature Review of incident Detection Algorithms to incidents on a signal-controlled road Network, Transport Operations research group, Research report No. 76, Department of civil engineering, University of Newcastle upon Tyne, 1988. 6.
40. Stephen G. Ritchie and Ruey L. Cheu, "Simulation of Freeway Incident Detection Using Artificial Neural Networks", TR-C Vol 1. No.3 pp203 217, 1995.
41. Vaneet Sethi, Nikhil Bhandari, Frank S. Koppelman and Joseph L. Schofer, "Arterial Incident Detection Using Fixed Detector and Probe Vehicle Data", TR-C Vol 3. No.2 pp99 112, 1995.
42. Virginia Polytechnic Institute and State University, Incident detection Issue-Part1, 1992.
43. Wirasinghe S. C., Determination of Traffic Delays from Shock-Wave Analysis, Transporation Research, Vol. 12 343-348, 1978.
44. William H. Greene, LIMDEP; User's Manual and Reference Guide Version 6.0, 1991.
45. W. E. Schaefer, California freeway surveillance system, California division of highways, Dept. of Public Highways, 1969. 11.
46. Yorgos J. Stephanedes and Athanassios P. Chassiakos, "Freeway Incident Detection Through Filtering", TR-C Vol 1. No.3 pp219-233, 1995.
47. Yorgos J. Stephanedes and George Vassilakis, Intersection Incident Detection For IVHS, 74th Annual Meeting of TRB, 1995.
48. Y. j. Stephanedes and A. P. Chassiakos, A low pass filter for incident detection, Applications of advanced technologies in transportation engineering, Porceedings of the second International Conference, Sponsored byASCE, Minneapolis, Minnesota, pp 378-382, 1991. 4.