

■ 論 文 ■

돌발상황 검지알고리즘의 실증적 평가 (APID, DES, DELOS, McMaster를 중심으로)

Evaluation of Incident Detection Algorithms focused
on APID, DES, DELOS and McMaster

남 두 희

(교통개발연구원 책임연구원)

백 승 걸

(한국도로공사 도로교통기술원
책임연구원)

김 상 구

(여수대학교 교통물류시스템공학부
조교수)

목 차

- I. 서론
- II. 돌발상황 검지알고리즘
- III. 자료수집 및 교통류분석
 - 1. 자료수집
 - 2. 교통류 특성분석
- IV. 분석 및 평가결과
 - 1. 평가시나리오
- 2. 평가척도
- 3. 검지알고리즘별 Alarm특성
- 4. 시나리오별 알고리즘 세부평가
- 5. 시뮬레이션을 이용한 알고리즘평가
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : APID, DES, DELOS, McMaster, 돌발상황관리시스템

요 약

돌발상황으로 인한 지체를 감소시키기 위한 돌발상황의 신속한 검지, 확인 및 대응은 고속도로를 비롯한 교통관리의 중요한 요소이며, 고속도로 본래의 기능을 효과적으로 유지하기 위해서는 고속도로 교통관리 시스템 중 돌발상황 관리시스템이 매우 중요한 역할을 차지하고 있다. 현재 고속도로에는 3종류의 돌발상황 검지알고리즘(APID, DELOS, DES 알고리즘)을 사용하고 있으며, 내부순환도로, 강변북로, 올림픽대로 등에 설치된 검지알고리즘의 경우와 마찬가지로 국내 도로 및 교통상황에 적합한 파라미터의 검증 없이 그대로 사용하고 있고 있어, 검지기 자료의 유효성이 낮은 점 등과 함께 문제로 지적되고 있다. 본 논문에서는 McMaster를 포함한 돌발상황 검지알고리즘의 평가를 위해 방법론 및 시나리오를 구성하여 교통여건별, 시나리오별로 평가하였다. 모든 조건을 만족하는 하나의 돌발상황 검지알고리즘을 개발한다는 것은 어려우며 각 도로 및 교통조건에 맞추어 최적의 알고리즘을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 돌발상황 검지알고리즘 개발은 교통류 분석에서 살펴본 바와 같이 전체차로의 검지기 데이터를 적용하기보다는 개별차로 검지기 데이터 중심의 검지알고리즘이 요구되는데 기존 알고리즘의 수행능력의 한계도 있지만 기본적으로 검지기 자료의 신뢰성이 문제가 되고 있으며, 기존 고속도로에 적용하기 위해서는 1분 이상의 집계간격 검지기 자료를 이용하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 이중검지기간 특성차이를 반영한 검지기별 파라미터 적용과, 위치별 교통류 특성에 따른 최적 파라미터의 사용이 이루어져야 한다.

I. 서론

돌발상황관리시스템은 국가 ITS 아키텍처의 사용자 서비스 대분류에서는 교통관리최적화서비스에 해당하며, 도로관리영역에서는 간선도로, 도시고속도로, 국도, 지방도에 적용하는 서비스시스템으로 도로에서 발생하는 교통사고, 차량고장, 공사 등 비정상적 교통상황에 관한 정보를 실시간으로 수집·관리하고 체계적으로 대응·처리하는 서비스이다. 돌발상황으로 인한 지체를 감소시키기 위한 돌발상황의 신속한 검지, 확인 및 대응은 고속도로를 비롯한 교통관리의 중요한 요소이며, 고속도로 본래의 기능을 효과적으로 유지하기 위해서는 고속도로 교통관리 시스템 중 돌발상황 관리시스템이 매우 중요한 역할을 차지하고 있다. 돌발상황검지의 경우 국내에서는 APID, DELOS, DES 알고리즘과 McMaster를 사용하고 있으나 국내 도로 및 교통상황에 적합한 파라미터의 충분한 검증 없이 그대로 사용하고 있고, 검지기 자료의 유효성이 낮은 점 등이 문제로 지적되고 있다. 본 논문에서는 실제 사용되는 돌발상황 검지알고리즘의 평가를 위해 교통여건, 시나리오별로 평가하였다. 또한 교통여건별로 적합한 파라미터를 도출하여 평가하였고 실질적인 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 돌발상황 검지알고리즘

기존에 연구·개발되었던 돌발상황 검지기법은 크게 패턴인식, 통계, 교통류모형, 기타 기법으로 분류되고, 각 기법에 대한 세부 알고리즘의 종류는 다음과 같다.

- 패턴인식: California, APID기법, 패턴인식 등
- 통계: S.D, Baysian, 시계열분석, 필터링모형 등
- 교통류 모형: 동적기법, McMaster 등
- 기타기법: 신경망, Fuzzy, AVI 등

이와 같은 많은 검지알고리즘 기법들이 있으나 실제 시스템으로 운영되어 활용되고 있는 알고리즘으로는 APID, DES, DELOS, McMaster 알고리즘이며 기타 알고리즘 기법들은 연구결과로만 발표되고 대부분 실제 운영되지는 않고 있다.

1) APID(All Purpose Incident Detection)

APID는 토론토 COMPASS 첨단교통관리시스템에

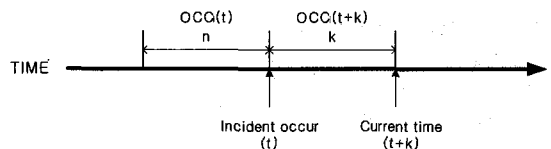
사용하기 위해 개발되었고, 여러 종류의 캘리포니아 알고리즘을 하나의 구조로 통합 발전시켜 제반 교통상황에서도 알고리즘의 적용성을 향상시킨 기법이다. 하류, 상류 두 지점의 점유율 및 속도를 비교하는 캘리포니아 알고리즘을 기본으로 하고, 추가로 압축파(Compression Wave) 검사와 지속성(Persistence) 검사를 모두 실행한다. 잠재 돌발상황이 감지되면, 압축파 검사 알고리즘으로 오류를 검증하고, 지속성 검사 알고리즘으로 짧은 교통류 변동을 돌발상황과 구분함으로써 오류를 방지하는 구조를 가지고 있다.

2) DES(Double Exponential Smoothing)

이 알고리즘은 미래교통상태를 예측하기 위해 과거와 현재 점유율 관측치에 가중치를 주는 기법을 사용한다. 과거 관측치에 가중치를 준 평활상수와 함께 단순 또는 이중지수평활함수처럼 수학적으로 표현될 수 있다. 속도, 점유율, 교통량을 통한 단기예측기법을 사용하며, 이 같은 기법으로 계산된 하류부의 예측값과 하류감지지점의 실제 교통자료와의 불균형 정도를 계산하여 돌발상황을 판단한다. 돌발상황상태는 예측값과 실제값과의 차이를 누적한 것과 평균절대편차와의 비가 임계치를 초과하면 돌발상황으로 인식하게 되며 돌발상황감지 수행방법은 추적신호(Time Tracking)에 의존한다.

3) DELOS(Detection Logic with Smoothing)

짧은 지속시간을 가지는 일시적인 교통흐름의 변화를 돌발상황과 구별하기 위하여 점유율 측정치를 이동평균, 중앙값, 지수평균 등으로 평활하여 사용한다. 2개의 평활값이 사용되는데 돌발상황의 발생시점을 t 로 하였을 때 현재의 교통상태를 나타내는 $OCC_k(t+k)$ 와 돌발상황 이전의 교통상태를 나타내는 $OCC_k(t)$ 로 구성되고, k 는 평활시 사용될 데이터의 갯수를 나타내게 되며, 과거의 교통상태는 n 개의 데이터를 평활하여 사용하게 된다. 단기간 변동(Fluctuation)에 의한 영향



〈그림 1〉 DELOS 알고리즘 변수 개념도

을 최소화 할 수 있으나 감지시간이 길고 점유율만을 이용한다.

각각의 smoothing 방법에 따라 다음 세 가지 식(기법)을 선택하여 사용한다.

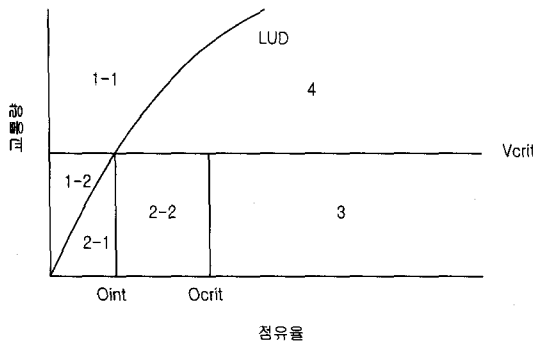
① moving average : $OCC_i(t) = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} O_i(t-l)$

② statistical median :
 $OCC_i(t) = median [O_i(t), O_i(t-1), \dots, O_i(t-L)]$

③ exponential :
 $OCC_i(t) = \alpha \cdot O_i(t) + (1-\alpha) \cdot OCC_i(t-1)$

4) McMaster

속도, 교통량, 점유율 등과 같은 교통변수를 수학적 모형인 Catastrophe 이론의 변수로 할당, 세 변수간의 관계가 수식과 그래프의 형태로 도출하여 세 변수가 임계치를 초과하면 돌발상황으로 감지하는 알고리즘이



파라메타	정의	산출방법	비고
Vcrit	불안정류 상태에서 최대교통량	교통량-점유율 관계도에서 용량 이후 불안정류로 전환될 때의 교통량 추출	0~25
Ocrit	최대교통량을 보이는 점유율	안정류 용량에 해당하는 점유율 값	0~100
Oint	Vcrit와 LUD곡선이 만나는 점의 점유율	교통량-점유율 관계도에서 최대 교통량이 나타날 때의 점유율 값 추출	0~100

구분	영역	설명
비혼잡	1-1	소통원활 속도 이상으로 운영되는 비혼잡상태
	1-2	일반적인 혼잡 상태
	2-1	비정상적인 혼잡 상태에서 사고나 돌발로 인한 혼잡 상태
	2-2	불안정류의 혼잡 상태
혼잡	3	용량에 근접한 교통량을 가진 혼잡 상태(주로 램프 합류부 전방 지점)
	4	

<그림 2> McMaster 개념도

다. 정체상태에서 비정체상태로 전환시 속도는 빠르게 변화하고 교통량과 밀도의 변화가 적을 때 속도는 불연속적이며 급작스런 변화를 기본전제로 한다. 교통량-점유율의 관계를 설정한 곡선을 작성하여 특정 교통상태에 관하여 4영역으로 구분하여 판정한다. 임계치보다 낮은 속도로 검지기를 통과하는 차량의 두 연속적인 검지로 돌발상황 경보를 발생하는데 해당지점의 교통량, 점유율 자료를 이용하여 소통상태를 구분하고 하류부 소통상태를 구분하여 반복정체인지 돌발상황에 의한 정체인지를 구분한다.

III. 자료수집 및 교통류분석

1. 자료수집

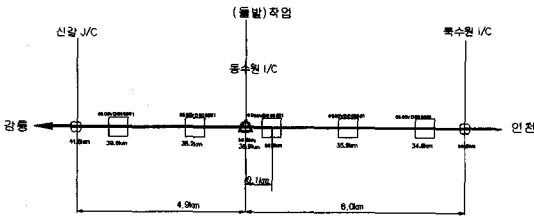
2003년 11월 현재 한국도로공사에서 관리하고 있는 고속도로에 설치되어 있는 검지기는 총 1,880개이며, 이중 Loop가 1,118(62%)개로 가장 많고 영상식이 539개(30%), 자석식이 143개(8%)이다.

한국도로공사의 돌발상황에 관한 Alarm Log 파일과 문자정보자료를 분석하고 이를 원시데이터 파일의 검지기 log파일과 대조하여 돌발상황에 해당하는 검지기를 분류하였다. 2004년 4월 한 주 동안의 돌발상황 발생건수는 총 580건이나 자료의 신뢰성 보장을 위해 연속적인 동종검지기로 구성이 되고 돌발로 판정한 건수 중 돌발상황에 영향을 받은 검지기의 자료가 연속적으로 확보가 되는 구간의 30초 단위 원시데이터를 수집하였다. 본 연구에서는 중심검지기를 사이에 두고 상류방향 2개 검지기, 하류방향 2개 검지기를 각각 정리하여 5연속 검지기 자료를 확보하였고, 5연속 검지기 자료를 모두 확인하여 검지상태가 양호한 자료를 선정하였다. 이에 따라 수집된 5연속 검지기 전체 개수는 160개이다.

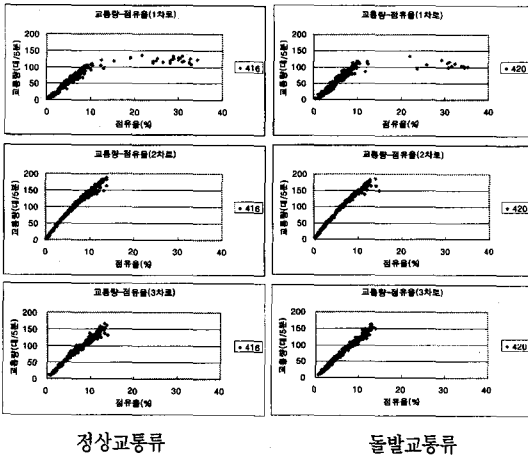
2. 교통류 특성분석

1) 차로별 교통특성 분석

돌발상황이 발생하지 않은 정상교통류와 돌발상황이 발생한 돌발교통류의 교통류특성을 분석하였다. 영동고속도로 강릉방향 38.2km 지점의 검지기 자료를 이용하여 분석하였으며, 이 지점은 편도 3차로 구간으로서,



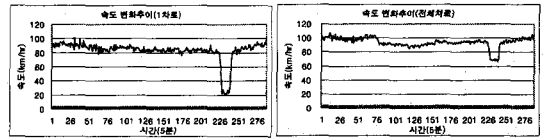
〈그림 3〉 돌발상황 발생 지점 및 검지기 위치



〈그림 4〉 상태별 교통량-점유율 관계

고속도로 작업으로 인해 돌발상황이 36.9km 지점에서 발생하여 교통류에 영향을 보인 구간이다.

다차로 도로의 경우, 차로별 운전자들의 선호와 중차량의 영향 등으로 인하여 차로별로 다른 교통류 특성을 보인다. 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 1차로를 제외하고는 거의 유사한 형태를 보이고 있으며, 가운데 차로인 2차로의 교통량이 가장 높게 나타나서 운전자들이 이 2차로를 가장 선호하고 있다. 따라서 교통류 특성이 차로별로 다를 경우, 기존 알고리즘은 이를 반영하는 루틴을 포함하여야 하나, APID, DES, DELOS는 전체차로 개념으로 교통변수를 받아들여서 이를 반영할 수 있는 모형이 필요함을 보이고 있다. McMaster 알고리즘과 같이 교통류 모형을 이용한 알고리즘의 경우, 교통류 상태 판정을 위하여 차로별 교통류 특성 파악은 매우 중요한 요소이고, 차로별로 교통류 영역을 구분하여 돌발상황을 감지하므로 이에 대한 영향을 반영할 수 있는 알고리즘으로 분류된다. 차로별 교통류 특성 중 가장 큰 차이는 안정교통류에서 점유율에 대한 교통량 변화 기울기가 다르다는 것으로서, 1차로의 기울기가 더 크게 나타나고 있다. 고속차



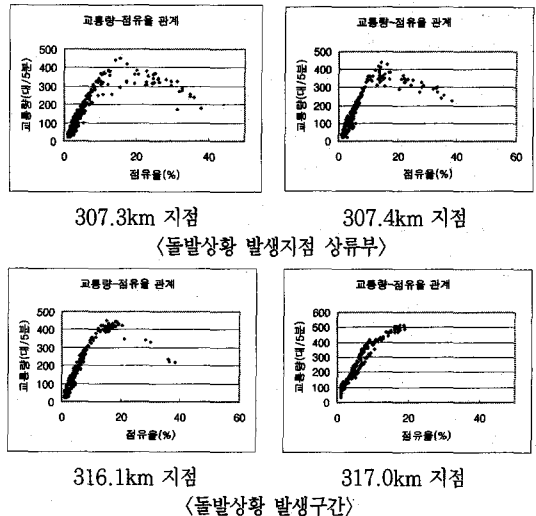
〈그림 5〉 1차로와 전체차로 속도변화 추이 비교(돌발교통류)

량인 승용차의 비율이 높기 때문에 1차로의 Ocrit와 Vcrit의 값이 2차로보다 상대적으로 높은 값을 보인다.

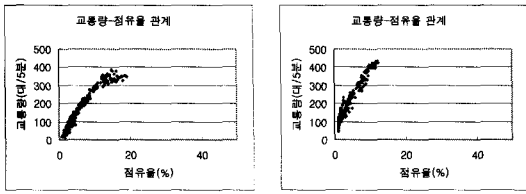
돌발상황 발생으로 인한 교통류 영향을 살펴보고자 전체차로와 1차로 교통류를 중심으로 속도변화 추이를 비교분석하였다. 〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 1차로의 경우 돌발상황 발생으로 인하여 교통류 영향이 매우 크게 나타나는 반면에 전체차로로 분석할 경우 교통류 영향이 완화되는 것을 보여주고 있다. 전체차로로 교통류 상태를 파악할 경우, 위에서 언급한 것과 같이 교통외해가 발생하지 않은 타 차로로 인하여 교통류 영향이 희석되고, 특히 교통량이 한산한 경우의 돌발상황은 감지하기가 쉽지 않음을 보이고 있다. 따라서, 전체차로의 교통류 특성을 파악하여 교통외해를 판정하는 것보다는 차로별로 판단하는 것이 좀 더 명확하게 교통류 상태를 파악할 수 있으며, 돌발상황 발생여부도 좀 더 쉽게 검지할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 검지기 위치별 교통특성 분석

돌발상황 발생 후의 교통류의 변화를 검지기의 위치별로 살펴보았다. 돌발상황이 317.0km 지점에서 발생하여 교통류가 변화하는 것을 보여주는 〈그림 6〉은 상류부에서 돌발상황 발생 후 교통류가 정체류로 전이되는



〈돌발상황 발생구간〉



320.0km 지점 320.7km 지점
 <돌발상황 발생지점 하류부>

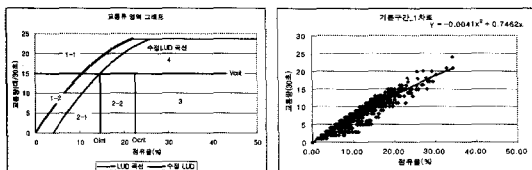
<그림 6> 검지기 위치별 교통량-점유율

현상을 극명하게 보여주다가 하류부 지점들에서는 대기 행렬 풀림현상으로 안정류를 보여주는 현상을 나타낸다. 검지기 위치별 교통류 분석은 기존 검지 알고리즘이 낮거나 높은 교통량 수준에서 성능이 떨어지는 문제를 극복하기 위해 상하류부 검지기 위치의 교통류 패턴 변화를 고려해야 함을 보여준다. 교통와해(Breakdown) 시각 차이를 각 차로 검지기 자료와 전체차로 자료와 비교함으로써 낮은 교통량 수준에서도 검지시각의 신뢰성을 제고시키고, 각 차로별 파라메타 값을 돌발상황 검지 알고리즘에 반영해야 함을 보여준다.

3) 임계치 추정

임계치 추정은 돌발상황을 판정할 때 주요한 파라메타로 사용된다. 특히, 교통류 모형인 McMaster 알고리즘의 경우, 돌발상황 교통기본도(교통량-점유율 관계)의 파라메타를 추정하여 교통류 상태를 결정하는 역할을 교통량, 점유율의 임계치로 결정하게 되고, 임계치는 차로별 검지기의 정상교통류 자료를 가지고 교통량-점유율 관계도에서 산출되며, 혼잡과 비혼잡을 구분하는 LUD(Lower Uncongested Data) 곡선이 결정되어야 한다.

LUD 곡선은 각 차로별 검지기 자료를 가지고 회귀 분석을 통해 산출되며 본 연구에서는 2차다항식을 이용하여 산출하였고, LUD 곡선의 왼쪽 영역은 비혼잡, 오른쪽 영역은 혼잡이 발생한 교통류 상태를 의미한다. 점유율의 변동폭을 고려하여 혼잡영역과 비혼잡영역을 명확하게 구분하기 위하여 본 연구에서는 오른쪽으로



<그림 7> LUD곡선과 임계치

좌표이동한 수정 LUD 곡선을 도출하였다.

수정 LUD 곡선 :

$$y = -0.0297x^2 + 1.9667x - 7.3916, V_{crit} = 15,$$

$$O_{int} = 14, O_{crit} = 22$$

IV. 분석 및 평가결과

1. 평가시나리오

검지 알고리즘을 평가하는 방법은 실제 돌발상황이 발생하였을 경우 주변 검지기에서 생성되는 자료를 이용하는 방법과 가상적으로 돌발상황을 발생시켜 시뮬레이션 모형에 의한 자료를 이용하는 방법으로 구분하였다. 1차적으로 평가대상 알고리즘을 실제 돌발상황이 발생한 고속도로의 검지기 자료를 가지고 평가하였으며, 다양한 돌발상황 시나리오를 위한 검지기자료를 수집이 어려운 유형은 시뮬레이션 자료를 이용하였다.

돌발상황 검지 알고리즘 세부평가를 위한 분석 시나리오를 표와 같이 분류하였다. 시나리오 분류는 돌발상황 유형(사고, 작업 등 4가지), 도로조건(차로수, 기하구조), 교통량 수준 등과 같은 기준으로 분류하였다.

<표 1> 평가 시나리오

구분	돌발상황	차로수	기하구조	교통량
내용	사고	2차로	기본구간	소: $V/C \leq 0.45^*$
	작업	3차로	합류구간	중: $0.45 < V/C \leq 0.8$
	기타	4차로	분류구간	대: $V/C > 0.8^{**}$

주: * LOS B 기준, ** LOS D 기준

2. 평가척도

돌발상황 검지 모형의 성능평가에 사용하는 척도가 각 연구마다 다르게 정의되기 때문에 제안된 각 알고리즘끼리의 비교를 더 어렵게 한다. 검지 척도가 명시적으로 나타나 있는 인용된 문헌을 살펴보면 검지율은 "모형에 의해 돌발상황이라고 판단된 건수 대비 실제 돌발상황 건수의 비율"로 모든 기준문헌들이 동일하다. 그러나, 오검지율의 경우 오검지에 대한 정의가 다르다. 모형이 돌발상황으로 예측하였으나 실제로는 정상상태인 경우인 1종 오류와 실제로는 돌발상황이 발생하였으나 모형에서는 정상상태로 판단된 경우인 2종 오류로 나눌 수 있다. 그러나 대부분의 문헌에서는 1종 오류 즉, 모형이 돌발상황으로 예측하였으나 실제로는

정상상태인 경우만을 오보율로 정의하여 사용하고 있다. 본 연구에서 돌발상황검지 알고리즘별 수행성능을 위한 평가 MOE를 다음과 같이 정의하였다.

평균감지시간(Mean Time to Detect: MTD) =

돌발상황 발생시각과 감지시각의 차이

검지율(Detection Rate: DR) =

$$\frac{\text{검지된 돌발상황건수}}{\text{전체 돌발상황건수}} \times 100$$

오보율(False Alarm Rate) =

$$\frac{\text{전체 Alarm건수} - \text{검지된 Alarm건수}}{\text{알고리즘 수행건수} * \text{Station개수}} \times 100$$

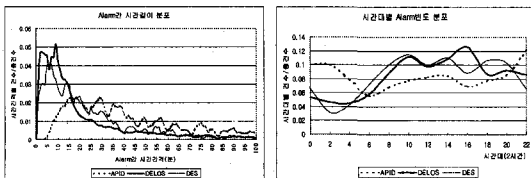
3. 검지알고리즘별 Alarm특성

〈표 2〉는 돌발상황검지 알고리즘별 수행성능 평가결과를 보여주고 있으며, 평균감지시간은 APID가 가장 빠르게 나타났으며, 검지율은 DELOS가 가장 높게, 그리고 오보율은 APID가 가장 낮게 나타났다. 〈그림 8〉는 돌발상황검지 알고리즘별 Alarm간 시간길이 분포와 돌발상황검지 알고리즘별 시간대별 Alarm빈도 분포를 보여준다.

DELOS는 Alarm간 시간길이가 40분 이내에서 높은 빈도를 보이고 있어 DR은 상대적으로 우수한 반면 FAR는 높게 나타났다. APID의 Alarm간 시간길이는 10~80 사이로 다양하게 나타나고 있으며, DR은 상대적으로 낮은 편이나 FAR는 3개 알고리즘 중 가장 낮게 나타났다. DELOS와 DES는 교통량이 많은 주간시간대에 Alarm빈도가 높게 나타나고 있으며, APID는 교통량이 적은 야간시간대에 Alarm빈도가 높게 나타났다.

〈표 2〉 수행성능 결과비교

MOE	APID	DELOS	DES
평균감지시간(MTD분)	9.222	9.957	11.067
검지율(DR, %)	6.498	16.968	5.415
오보율(FAR, %)	0.067	0.181	0.145



〈그림 8〉 Alarm간 시간길이의와 시간대별 분포

〈표 3〉 Alarm누적분포 분석 단위: 건(%)

구분	APID	DELOS	DES
95% 이내	735(56.9)	3,253(45.2)	3,988(47.0)
95% 이상	557(43.1)	3,939(54.8)	4,496(53.0)
전체 건수	1,292	7,192	8,484

기존 돌발상황검지 알고리즘의 한계와 검지기의 검지에러 때문에 특정 Station은 지속적이거나 빈번한 Alarm을 발생함으로써 검지율(DR)을 떨어뜨리고 오보율(FAR)증가시킨다. 〈표 3〉은 누적분포 95%를 경계로 돌발상황검지 알고리즘별 Alarm건수를 보여주고 있다. 누적분포곡선의 95% 이상에 해당하는 Station의 Alarm을 차단할 경우 APID 43.1%, DELOS 54.8%, DES 53.0%의 Alarm건수를 줄일 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 검지 알고리즘별 Alarm특성을 분석하여 이상 Alarm을 지속적이거나 빈번하게 발생하는 검지기를 선정하고 이상검지기의 Alarm을 사전에 차단함으로써 돌발상황검지 알고리즘별로 DR을 향상하고 FAR을 적정수준으로 유지할 수 있는 것을 보여준다.

4. 시나리오별 알고리즘 세부평가

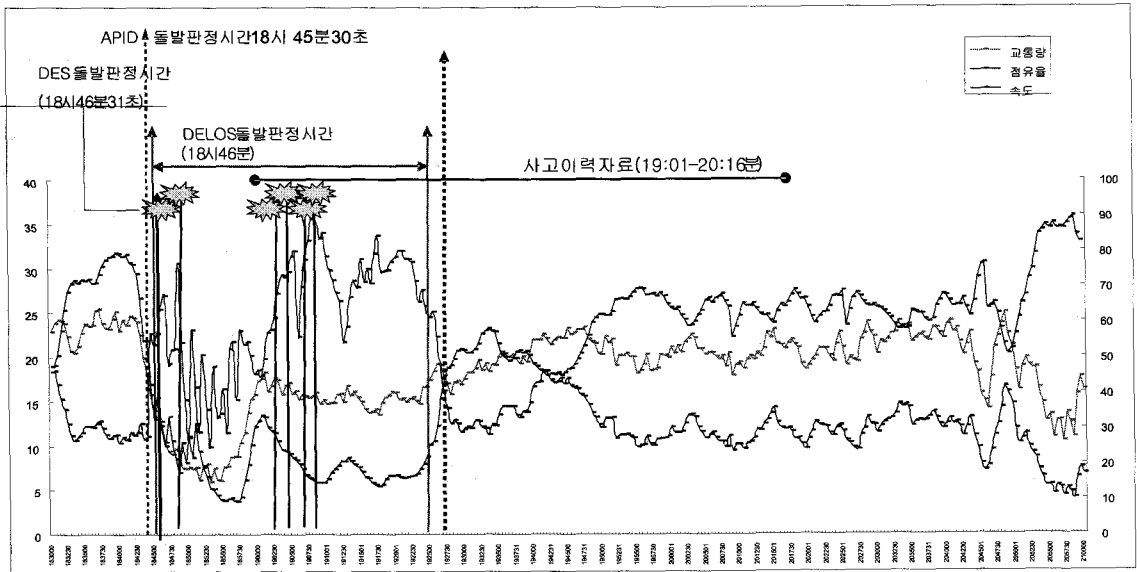
1) 평가결과

APID, DES, DELOS, McMaster 알고리즘의 파라미터를 특성에 따라 각각 5개로 도출하여 성능을 평가하였다. APID 알고리즘이 수행한 돌발상황에 대한 오보율과 검지시간은 〈표 4〉과 같다.

3차로 기본구간의 중간 정도의 교통량에서 오경보는 없으나 상대적으로 매우 긴 검지시간을 나타내었고, 다른 돌발상황 유형에서는 비슷한 검지시간(2분 30초~7

〈표 4〉 APID 평가지표

유형	차로 수	교통량	Parameter Type				
			0	1	2	3	4
사고	2	소	0초 0.000	0초 0.000	7분30초 0.000	7분30초 0.000	- 0.123
		중	-	-	-	-	-
		대	0.167 2분30초 0.200	0.167 2분30초 0.200	0.198 6분30초 0.100	0.198 6분30초 0.100	0.065 -
작업	2	중	-	-	-	-	-
		3	중	69분 0.000	69분 0.000	-	-
		대	-	-	-	-	-



〈그림 9〉 돌발상황 검지시간 비교

〈표 5〉 DES 평가지표

돌발 유형	차로 수	교통량	Parameter Type				
			0	1	2	3	4
사고	2	소	-	-	-	-	-
		중	0.625	0.59	22.976	0.628	4.589
		대	4.240	20.675	0.876	4.28	32.347
작업	3	중	7분	3분30초	-	3분30초	3분30초
		대	0.200	0.100	1.083	0.200	0.200
		중	-	-	-	-	-
3	3	중	6.532	17.012	4.987	6.703	23.482
		중	-	-	-	-	-
		대	3.623	20.31	3.841	3.653	23.564
3	3	대	-	-	-	-	-
		대	0.035	57.850	3.542	0.035	57.876

〈표 6〉 DELOS 평가지표

돌발 유형	차로 수	교통량	Parameter Type			
			0	1	2	3
사고	2	소	-	10분	1분	0초
		중	92.348	0.139	1.100	22.600
		대	0초	14분	15분	0초
작업	3	중	80.000	18.000	4.000	14.000
		대	0초	-	0초	0초
		대	73.000	38.000	21.600	75.700
3	3	중	0초	5분	0초	30초
		중	92.700	83.600	4.000	3.900
		대	0초	-	0초	0초
3	3	대	90.200	32.038	0.300	0.900
		대	0초	16분	-	19분
		대	80.800	42.600	0.700	5.300

분 30초)과 오보율(0.1~0.2)을 나타냈었다. APID의 임계치 설정은 각 검지기별 교통량의 임계치를 설정하는데 중요한 역할을 하고, 상·하류부에 공간 및 시점의 자료가 필수적이다.

DES 알고리즘은 2차로 기본구간의 교통량이 많은 경우를 제외하고는 돌발상황을 검지하지 못하는 성능을 보였고, 검지결과는 〈표 5〉와 같다. DES 알고리즘의 검지시간은, 검지된 경우 파라메타 Type 0을 제외하고는 5분 이내로 검지되어 양호한 것으로 분석되었고, 오보율도 0.1~0.2%로서 비교적 우수하였다.

DES 알고리즘의 오보율과 검지시간이 가장 우수한 파라메타 Type은 1번으로서 3분 30초 범위 내에서 오보율이 0.100인 것으로 나타났다. APID 알고리즘과 비교하여 낮은 검지율을 보였으나 돌발상황을 검지한 경우에는 비교적 우수한 검지시간과 오보율을 나타내었다.

DELOS 알고리즘은 파라메타 Type별로 APID 및 DES 알고리즘보다 우수한 검지성능을 보여주었으며 파라메타 Type 3의 경우 모든 시나리오에서 돌발상황을 검지하여 가장 적절한 파라메타 Type으로 보인다. DELOS의 오보율과 검지시간은 〈표6〉과 같다. 파라메타 Type 0의 경우 매우 우수한 검지시간을 보인 반면에 오보율이 80%대를 보였다. 2번 파라메타 Type이 검지시간과 오보율 측면에서 다른 Type보다 상대적으로 우수한 것으로 분석되었다.

McMaster 알고리즘에서 필요로 하는 관련 파라미

〈표 7〉 McMaster 평가지표

유형	차로수	교통량	검지여부	검지시간	오검지율(%)
사고	2	소	O	3분30초	0.000
		중	O	30초	0.538
		대	O	30초	0.538
작업	2	중	O	0초	0.174
		중	O	54분	0.301
	3	대	X	-	0.764

터들의 추정은 앞서 언급한 바와같이 1주일 이상의 검지기 자료 중에서 정상 교통류 상태를 보이는 데이터를 바탕으로 하여, $ax^2 + bx + c = 0$ ($a < 0$)와 같은 이차방정식 형태의 LUD 곡선을 추정하였다. 그리고, Vcrit, Oint, Ocrit 계수는 교통류 상태 영역을 판정할 때 필요로 하는 임계치로서 교통량-점유율 관계도에서 결정하였다. McMaster 알고리즘의 경우, 각 차로별 검지기에서 최적 파라미터를 추정하므로 파라메타 Type별 효과적도는 산출할 수 없다.

위 표에서 오검지율의 계산은 알고리즘에서 발생한 오검지 경보회수의 합을 전체 Polling Cycle 수로 나누어서 구한 값이다. 검지시간의 경우 2개의 시나리오를 제외하고는 3분 30초 이내로서 성능면에서 우수한 것으로 판단되며 돌발상황을 확인한 평균 검지시간은 13분 10초로 나타났다.

2) 분석

APID 알고리즘의 경우, 상하류부의 점유율로 돌발상황을 판단하므로 2개 이상의 연속적인 검지기의 성능이 우수하여야 하고 교통량의 변화에 의한 점유율 차이를 보이는 합·분류부에서는 실제적인 적용이 어려운 내생적인 문제점을 가지고 있다.

DES 알고리즘의 경우, 1개의 검지기를 가지고 하류부의 단기에측값을 실제 교통변수값과의 비교를 통하여 돌발상황을 검지하는 지점 교통상태 변화에 의존하므로 검지시간이 길어지고 낮은 감지율을 나타낼 수밖에 없다. 임계치사용여부에 따라라도 민감도가 다르게 나타나며 주 영향을 미치는 교통변수로는 점유율로 나타났다.

DELOS 알고리즘의 경우, 2개 시점의 점유율을 가지고 시간에 대하여 3개의 평활화기법을 사용하여 돌발상황을 감지하므로 단기간 교통류의 변동에 의한 영향을 최소화할 수 있다는 장점은 있으나 평활화로 인하여 신속한 감지가 어렵고 오보율이 높을 수가 있다. 특

히 점유율만을 기준으로 알고리즘이 구성되어 있기에 점유율의 신뢰도가 높아야하고, 이전시점의 개수(n), 현시점기준 예측개수(k)에 따라서 민감도가 많이 달라지는 알고리즘이다. 운영자에 의해서 평균이동, 중위수, 지수법을 선택하게 되어 있는데 전반적으로 이동평균법과 지수법을 시점과 공간적으로 활용한 파라메타 2가 양호한 검지율을 나타내었다.

McMaster 알고리즘의 경우, 이론상 가장 우수한 알고리즘으로 평가되나 각 차로별 파라메타 추정이 필요하고 신뢰성있는 검지기 성능이 요구되므로 기존 고속도로에서 적용하기에는 어려움이 예상된다.

5. 시뮬레이션을 이용한 알고리즘 평가

Paramics 프로그램을 이용하여 27개 시나리오의 데이터 세트를 이용하여 각 도로별, 구간별, 교통량별로 APID, DELOS, McMaster의 성능을 비교 평가하였다.

1) APID알고리즘

APID의 경우 평균검지율은 37%, 검지시간은 22분, 오보율은 50%인 것으로 나타났다.

구간별로 구분하여 본 결과 기본구간의 검지율이 높고, 특히 4번 타입은 검지시간이 가장 빠른 것으로 나타났다으며 합류부에서는 검지가 되지 않았으며, 분류구간에서도 검지율과 검지시간이 우수한 것으로 나타났다. 기본구간과 분류구간에서 검지율이 높으나 오보율 또한 높은 것으로 나타났다. 각 특성별 교차분석은 검지율이 높은 2번 타입 위주로 분석한 결과 3, 4차로 기본구간에서는 100%의 검지율을 보이고 합류부에서는 검지하지 못한 것으로 나타났다.

〈표 8〉 구간에 의한 APID 평가지표

구분유형	타입	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
기본	0	66.66	34분03초	0.00
	1	-	-	-
	2	66.66	44분43초	0.00
	3	66.66	44분43초	0.00
	4	66.66	14분 26초	0.00
합류	All	0.00	-	-
분류	0	55.55	32분 12초	1.27
	1	x	x	x
	2	55.55	21분18초	1.12
	3	55.55	20분 52초	1.11
	4	55.55	13분35초	1.01

〈표 9〉 도로-구간에 의한 APID 평가지표

도로구분	구간구분	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
3차로	기본	100	26분26초	0
	합류	-	-	-
	분류	100	7분20초	1.86
4차로	기본	100	13분10초	0
	합류	-	-	-
	분류	66.66	41분 15초	0

〈표 10〉 구간-교통량에 의한 APID 평가지표

구간구분	교통량	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
기본	소	50	21분30초	0
	중	100	12분	0
	대	100	24분26초	0
합류	All	0.00	-	-
분류	소	28.57	11분	1.27
	중	66.66	8분30초	1.12
	대	75	38분15초	2.79

2) DELOS 알고리즘

DELOS 알고리즘의 최대 검지시간은 20분 14초인 것으로 집계되었으며 평균검지율은 78.7%, 평균검지시간은 6분 45초, 그리고 오보율은 28.1%로 나타났다

〈표 11〉 구간에 의한 DELOS 평가지표

구분유형	타입	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
기본	0	100	23초	59.47
	1	100	0	68.84
	2	100	3분03초	2.53
	3	88.9	3분37초	11.54
합류	0	55.6	6초	40.73
	1	66.7	20분14초	35.48
	2	22.2	17분45초	1.56
	3	55.6	1분6초	12.59
분류	0	88.9	23초	47.32
	1	88.9	11초	48.91
	2	88.9	1분44초	14.70
	3	88.9	1분07초	20.90

〈표 12〉 도로-구간에 의한 DELOS 평가지표

도로구분	구간구분	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
2차로	기본	100	2분20초	13.70
	합류	66.7	30초	13.89
	분류	100	1분39초	24.32
3차로	기본	66.7	6분30초	8.88
	합류	33.3	30초	6.77
	분류	100	20초	28.39
4차로	기본	100	2분59초	12.05
	합류	66.7	1분	17.09
	분류	66.7	1분30초	10.00

〈표 13〉 구간-교통량에 의한 DELOS 평가지표

구간구분	교통량 구분	검지율(%)	검지시간	오보율(%)
기본	소	100	1분49초	14.05
	중	100	5분39초	12.50
	대	66.7	3분15초	8.08
합류	소	0	0	0
	중	100	49초	24.41
	대	66.7	1분29초	13.34
분류	소	66.7	2분15초	15.68
	중	100	60초	20.44
	대	100	30초	26.68

다. 구간별로 구분하여 본 결과 기본, 합류, 분류구간의 1번타입이 검지율과 시간이 양호하며, 오보율은 2번 타입이 낮은 것으로 나타났다.

각 특성별 교차분석은 검지율이 높은 3번 타입 위주로 분석한 결과 2, 3, 4차로 기본, 합류, 분류구간에서는 높은 검지율을 보이고 있다.

3) McMaster 알고리즘

시뮬레이션 자료 27개의 데이터 세트를 이용하여 McMaster 알고리즘을 수행시켜 본 결과 평균검지율은 59.3%, 검지시간 13분 3초 그리고 오보율은 0.062로 나타났다.

합류구간에서의 검지율과 오보율은 가장 낮은 반면 검지시간은 가장 길게 나타났고, 기본구간의 검지율은 분류구간과 같지만 검지시간과 오보율은 높은 것으로 나타났다.

교통량이 적을 경우에는 구간에 관계없이 검지율이

〈표 14〉 구간에 의한 McMaster 평가지표

구간유형	검지율	검지시간	오보율
기본	77.8	28분 9초	0.176
합류	22.2	35분 29초	0.051
분류	77.8	17분 26초	0.145

〈표 15〉 도로-구간별 McMaster평가지표

도로구분	구간구분	검지율	검지시간	오보율
2차로	기본	66.7	27분 29초	0.116
	합류	-	-	0.027
	분류	66.7	25분 19초	0.050
3차로	기본	66.7	37분 39초	0.162
	합류	-	-	0.012
	분류	66.7	19분 19초	0.089
4차로	기본	100.0	19분 18초	0.251
	합류	66.7	26분 29초	0.116
	분류	100.0	7분 38초	0.297

〈표 16〉 구간-교통량 McMaster평가지표

구간 구분	교통량 구분	검지율	검지시간	오보율
기본	소	33.3	7분 49초	0.008
	중	100.0	56분 49초	0.197
	대	100.0	19분 49초	0.324
합류	소	-	-	0.015
	중	33.3	40분 19초	0.112
	대	33.3	6분 9초	0.027
분류	소	33.3	1분 59초	0.031
	중	100.0	11분 19초	0.143
	대	100.0	38분 59초	0.262

가장 낮게 기록되고 있고, 교통량에 의한 평가지표에서 살펴본 바와 같이 교통량이 보통이거나 많을 경우에는 구간에 관계없이 검지율이 동일한 것을 볼 수 있다.

2, 3, 4 전 차로의 기본, 분류 구간에서의 검지율은 동일하게 나타났고, 2, 3차로 합류 구간에서는 돌발상황을 전혀 검지하고 있지 못하며, 이보다 넓은 4차로에서는 검지하고 있으나, 4차로에서의 기본, 합류 구간보다는 낮은 것으로 관찰되었다.

V. 결론 및 향후 연구과제

4개의 알고리즘 중 돌발상황 검지능력과 검지시간 측면에서는 McMaster 알고리즘이 가장 우수한 것으로 평가되며 평균검지시간과 오보율 측면에서는 APID가 우수한 알고리즘으로 나타났으며, 검지율 측면에서는 DELOS 알고리즘이 우수한 것으로 나타났다. APID type은 0과 1타입이 우수한 것으로 나타났으며, DES는 1번이, DELOS는 2번 타입이 우수한 것으로 나타나 파라메타 Type에 의해 수행되는 3개의 알고리즘들(APID, DES, DELOS)은 각 유형별 최적 파라메타 set을 검증하여야 함을 보이고 있다.

McMaster 알고리즘은 파라미터를 추정할 때 과거 이력 데이터를 바탕으로 이루어지기 때문에 경험적인 시행착오를 많이 필요로 하지 않으나, 검지기별, 차로별로 파라미터의 추정이 이루어져야 하기 때문에 파라미터 추정 과정을 자동화할 필요가 있다. 시뮬레이션 자료를 이용한 McMaster 알고리즘의 수행 결과를 살펴본 바에 따르면, 교통 흐름에 영향을 미치는 요인(차로수, 구간유형, 교통량 유형)에 따라 개별적으로 또는 복합적으로 알고리즘에 작용을 하여 평가지표가 다르게 집계된다는 것을 관찰할 수 있었다. 교통류 모형을 기본으로 하는 McMaster 알고리즘의 이론을 확장하여

다양한 교통류 모형의 개발, LUD 함수 결과와 검지기 자료의 지속적인 확보, 파라메타 추정 작업을 통하여 고속도로 돌발상황 검지 알고리즘은 신뢰성을 갖을 수 있을 것으로 보인다. 기존 McMaster 알고리즘은 속도 변수를 돌발상황 판정에 고려하고 있지 않다. 그러나, 속도 변수는 직관적인 이해가 쉽고 교통류 분석에서 주요한 변수로 사용되므로 McMaster 알고리즘의 기본 로직을 확장하여 점유율-속도 및 교통량-속도 관계도를 추가로 도출하여 이들 관계도를 이용하여 점유율-속도, 교통량-속도에 따른 혼잡, 비혼잡 영역을 구분한 후, 3개 검지기가 차지하는 영역을 비교하여 돌발상황 발생 여부를 판단하도록 하는 것이다.

모든 조건을 만족하는 하나의 돌발상황 검지알고리즘을 개발한다는 것은 어려우며 각 도로 및 교통조건에 맞추어 최적의 알고리즘을 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

돌발상황 검지 알고리즘 개발은 교통류 분석에서 살펴본 바와 같이 전체차로의 검지기 데이터를 적용하기 보다는 개별차로 검지기 데이터 중심의 검지 알고리즘이 요구되는데 기존 알고리즘의 수행능력의 한계도 있지만 기본적으로 검지기 자료의 신뢰성이 문제가 되고 있으며, 기존 고속도로에 적용하기 위해서는 1분 이상의 집계간격 검지기 자료를 이용하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 이중검지기간 특성차이를 반영한 검지기별 파라메타 적용과, 위치별 교통류 특성에 따른 최적 파라미터의 사용이 이루어져야 한다.

참고문헌

1. 강수구·도철용(1999), "고속도로 돌발상황 검지를 위한 통합 알고리즘 구축에 관한 연구", 한양대학교, 대한교통학회 제36회 학술발표회.
2. 이영인·황준환(2001), "간선도로 돌발상황 검지기법 개발연구", 대한교통학회지, 제19권 제2호, 대한교통학회, pp.73~87.
3. 한국도로공사(2000), "교통관리시스템 S/W 기능개선 용역-교통알고리즘 기능개선 부문.", 최종보고서.
4. Abdulhai, Baher and Ritchie, Stephen G. (1999) Enhancing the universality and transferability of freeway incident detection using a Bayesian-based neural network, Transportation Research Part C, Vol.7.

5. Dia, Hussein and Rose, Geoff(1997) Development and evaluation of neural network freeway incident detection models using field data, Transportation Research Part C, Vol. 5C.
6. Gall, Ana I., and Hall, Fread L.(1989) Distinguishing between incident congestion and recurrent congestion: a proposed logic, Transportation Research Record 1232.
7. Persaud, Bhagwant N., and Hall, Fread L.(1989) Catastrophe theory and patterns in 30-second freeway traffic data - implications for incident detection, Transportation Research Part A, Vol.23A.

✉ 주 작 성 자 : 남두희
✉ 논문투고일 : 2004. 10. 13
 논문심사일 : 2004. 10. 29 (1차)
 심사관정일 : 2004. 10. 29
✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30