

## McMaster 알고리즘의 파라메타 민감도 분석에 관한 연구

김상구\* · 김창현\*\* · 김영춘\*\*\*

### A Sensitivity Test of McMaster Algorithm Depending on the Changes in Parameter Values

Sang Gu Kim\* · Chang Hyun Kim\*\* · Young Chun Kim\*\*\*

**요약** : 현재 사용되고 있는 여러 개의 돌발상황 검지 알고리즘 중에서 교통류 모형과 수학적 모델에 근거하여 돌발상황을 검지하는 대표적인 모형인 McMaster 알고리즘에는 교통량-점유율 교통기본도와 몇 개의 파라메타를 이용하여 교통류 상태를 구분하고 정체교통류와 정체원인을 판정하는 로직이 포함되어 있다. 4개의 교통류 영역을 구분하기 위하여 사용되는 파라메타들은 LUD곡선, 임계점유율(Ocrit), 임계교통량(Vcrit)이 있다. 이러한 파라메타들은 검지기 자료를 바탕으로 정산되는데 각 파라메타들은 분석가에 의해 경험적이고 직관적으로 결정되는 문제점을 갖고 있다. 또한, 차로별로 다른 차종구성비의 영향으로 파라메타 값을 결정하기가 쉽지 않고, 도로조건, 기후조건에 의하여 알고리즘 성능지표의 효율성이 저하되기도 한다. 따라서, 본 연구의 목적은 파라메타 값들의 변화에 따라서 알고리즘의 성능지표의 변화를 살펴봄으로써 파라메타값들이 알고리즘의 성능을 결정하는 정도를 살펴보고자 한다. 파라메타의 민감도 분석을 위해서, 시뮬레이션 프로그램(VISSIM)을 선정하여 실제 고속도로 구간인 영동선과 같은 네트워크 및 교통량자료를 구축하였으며 모형의 검증을 위해 실제 영동선의 검지기자료와 시뮬레이션 모형의 검지기자료(교통량, 평균속도, 점유율)를 수집하여 t-Test 검정을 수행한 후 시나리오별 교통변수를 수집하였고, 컴퓨터 언어를 사용하여 McMaster 알고리즘의 모형을 구축하고 돌발상황 검지에 대한 시나리오별 성능지표를 산출하였으며 또한 파라메타 민감도분석을 수행하였다. 구축된 알고리즘 수행결과, 검지율, 오보율 등 성능지표의 값은 파라메타 값들의 변화에 따라 다르게 나타났으며 이러한 결과들에 대한 통계적 검증 분석을 수행하여 일정수준의 신뢰도를 갖는 파라메타의 범위를 결정하였다. 본 연구결과는 향후 McMaster 알고리즘의 수행시 파라메타에 대한 신뢰도를 결정할 수 있으며 파라메타 정산에 대한 일정한 가이드라인을 제공함으로써 McMaster 알고리즘의 좀 더 손쉬운 활용을 가능하게 할 것으로 기대된다.

**주제어** : 돌발상황, 민감도, 알고리즘, 검지율, 오보율

**ABSTRACT** : Among many incident detection algorithms used in real world, the McMaster incident detection algorithm is one of the most popular algorithms, which shows the high performance of incident detection. The McMaster algorithm is based on describing the relationship between volume and occupancy in order to classify the traffic states. The traffic state is categorized by 4 areas, which are based on the lower bound of uncongested data(LUD), the critical occupancy(Ocrit), and the critical volume(Vcrit). However, when the volume-occupancy diagram is plotted on the basis of the traffic data obtained by detector, the traffic data is too dispersive to identify the LUD line composed by a regression method. In addition, the calibration procedure to establish the parameters such as Ocrit and Vcrit tends to be affected by operator's subjectivity. According to the various parameter values,

\* 전남대학교 교통물류학부 부교수(Associate Professor, Division of Transportation and Logistics, Chonnam National University), 교신저자 (E-mail: kim-sg@chonnam.ac.kr, Tel: 061-659-3343).

\*\* 전남대학교 교통물류학부 조교수(Assistant Professor, Division of Transportation and Logistics, Chonnam National University).

\*\*\* 전남대학교 교통물류연구소 연구원(Researcher, Institute of Transportation and Logistics, Chonnam National University).

the boundaries of traffic states can be changed and this leads to the low performance of incident detection. Because the traffic states are entirely dependent on this LUD line and parameters, they have an great influence on the performance of McMaster algorithm. For this reason, the studies on identifying LUD line and parameters should be still undertaken to achieve the high performance of incident detection. The study investigates the variations of performance index of McMaster algorithm depending on the changes of algorithm by various parameter sets and provides the guidance that a fit parameter set can be established in the calibration procedure. In this study, the incident traffic data was produced by the simulation model of VISSIM under various conditions in accordance with research objective. In addition, the McMaster algorithm was built in order to measure the detection rate and false alarm. As the parameter value changes within a certain range, the detection rate and false alarm are measured to evaluate the performance of detection. Result shows that the detection rates are different each other depending on the changes of parameter values. Finally, this study gives the direction that can improve the McMaster incident detection algorithm on the basis of the selection of proper parameters and provides a guideline that can calibrate the parameters used in the algorithm more precisely.

**Key Words** : incident, sensitivity, algorithm, detection rate, false rate

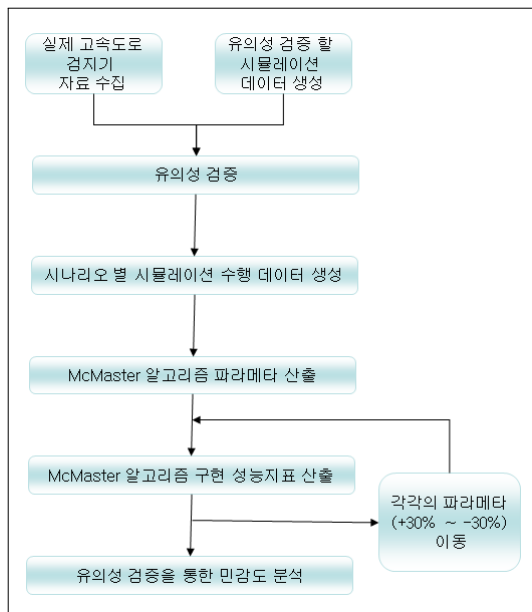
## I. 서론

교통사고, 고장차량, 낙하물 등 예측이 불가능한 비반복정체에 신속하게 대응하기 위하여 도로상의 돌발상황을 정확하고 신뢰성 있게 감지하는 것은 교통운영관리에 있어서 매우 중요하다. 현재 사용되고 있는 여러 개의 돌발상황 감지 알고리즘 중에서 교통류 모형과 수학적 모델에 근거하여 돌발상황을 감지하는 대표적인 모형이 McMaster 알고리즘이다. 이 알고리즘은 교통량-점유율 교통기본도를 기준으로 4개의 파라메타를 가지고 교통류 상태를 구분하여 정체교통류를 결정하고 또한 정체원인을 판정하는 로직을 포함하고 있다. 4개의 교통류 영역을 구분하기 위하여 사용되는 파라메타들은 LUD곡선, 임계점유율(Ocrit), 임계교통량(Vcrit), 초기점유율(Oint)이 있다. 이러한 파라메타들은 감지기 자료를 바탕으로 정산되는데 각 파라메타들은 분석가에 의해 경험적이고 직관적으로 결정되는 문제점을 갖고 있다. 또한, 차로

별로 다른 차종구성비의 영향으로 파라메타 값을 결정하기가 쉽지 않고, 도로조건, 기후조건에 의하여 알고리즘 성능지표의 효율성이 저하되기도 한다. 따라서, 본 연구의 목적은 파라메타 값들의 변화에 따라서 알고리즘의 성능지표 변화를 살펴봄으로써 파라메타값들에 대한 알고리즘의 성능 민감도를 살펴보고자 한다.

파라메타의 민감도 분석을 위해서, 실제 고속도로 돌발상황 자료를 바탕으로 시뮬레이션 모형(VISSIM)에 네트워크를 구축하여 실제 고속도로 감지기 자료와 시뮬레이션 모형을 통해 수집된 자료의 동일성 여부를 통계적인 방법인 유의성 검증을 통하여 시뮬레이션 모형의 적합성을 검증한다. 검증된 시뮬레이션 모형의 네트워크를 이용하여 다양한 도로 및 교통 조건의 교통류 변수자료(교통량, 평균속도, 점유율)를 수집하고, 컴퓨터 언어를 사용하여 McMaster 알고리즘의 모형을 구축하고 각각의 파라메타를 변화시켜서 돌발상황 감지에 대한 성능지표(감지율, 오보율, 감지시간)를

산출한다. 구축된 알고리즘 수행결과에 따른 검지율, 오보율 등 성능지표의 값에 대한 통계적 검증 분석을 수행하여 일정수준의 신뢰도를 갖는 파라메타의 범위를 결정하고 McMaster 알고리즘 수행시 파라메타 정산에 대한 일정한 가이드라인을 제공하고자 한다.



〈그림 1〉 연구수행 흐름도

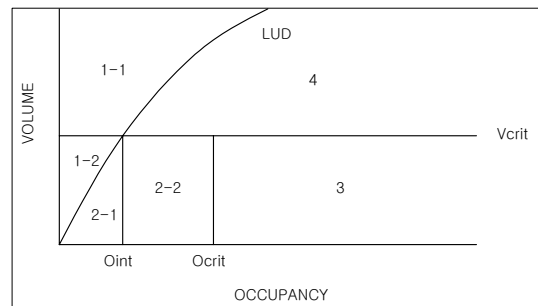
## II. 관련문헌 고찰

### 1. McMaster 알고리즘

McMaster 알고리즘은 교통상태를 묘사할 수 있는 수학적 모델에 근거하여 지속적인 교통변수의 측정 및 보정과정을 통해 돌발상황을 검지하는 교통류 모형 및 이론 알고리즘으로서, 교통량-점유율 관계도를 이용하여 돌발상황을 검지하는 대표적인 알고리즘이다(Hall et al., 1991).

McMaster 알고리즘은 우선 각 지점검지기에

맞는 파라메타를 산정하고 영역을 4개로 구분하여 정체교통 상태를 판정한 후 하류부 지점의 검지기 자료의 교통상태와 비교하여 정체원인을 결정하여 돌발상황을 검지하는 방식이다(Hall et al., 1991). 〈그림 2〉는 McMaster 알고리즘에서 사용하는 교통량-점유율 관계도에 따른 영역구분을 나타낸다.



〈그림 2〉 McMaster 알고리즘의 파라메타와 교통류영역 구분

〈그림 2〉에 나타난 각각의 영역은 LUD 곡선 (혼잡교통류와 비혼잡교통류의 경계),  $V_{crit}$  (대기행렬 풀림교통류의 최소교통량),  $O_{crit}$  (임계점유율),  $O_{int}$ 에 의해 구분된다.

#### 1) LUD 곡선

고속도로 지점 검지기의 1주일 정도의 off-line 자료 중 안정류 자료만으로 회귀분석을 통하여  $y = ax^2 + bx + c$  형태의 표준이차함수로 나타낸다. 이때, 실제 검지기 자료에서 안정류와 불안정류를 구분하기 위한 기준으로 기준속도를 결정한다. 기준속도의 결정 순서는 돌발상황이 발생하지 않은 2일 속도 자료의 평균과 표준편차를 구하고 2일 속도 자료 중 [평균-표준편차]와 [평균+표준편차]사이의 자료만을 추출하고 이 순서를 반복적으로 수행하는데 [평균-표준편차]의  $n$ 번째 값과  $n+1$ 번째 값의 차이가  $0.5\text{km/h}$ 보다 작게 나오면  $n+1$ 번째 값을 기준속도로 결정한다. 기준속도로

구분한 안정류 자료 중 점유율이 3보다 작게 나온 값은 자료의 신뢰성을 높이기 위해서 제거한다. 남은 자료의 교통량과 점유율자료를 가지고 회귀 분석을 수행하여 표준이차함수식을 결정하고 이렇게 결정된 표준이차함수식을 안정류 상태에 있는 교통량-점유율 자료가 모두 포함될 수 있도록 오른쪽으로 평행이동시켜서 수정된 LUD 곡선을 만들게 된다(Persaud and Hall, 1989).

#### 2) Ocrit 산정

한 지점 검지기의 일주일 자료 중 교통량이 가장 높게 나타났을 때의 점유율로 Ocrit를 결정한다(Persaud and Hall, 1990).

#### 3) Oint 산정

Ocrit값을 기준으로 10을 뺀 값으로 Oint를 결정한다(Hall et al., 1991).

#### 4) Vcrit 산정

한 지점에서 돌발상황이 일어나지 않은 교통류 자료를 가지고 대기행렬 상태에 있다가 풀려났을 때 나타나는 교통량 중 가장 낮은 교통량으로 결정한다(Persaud and Hall, 1990).

### 2. VISSIM 프로그램

#### 1) 시뮬레이션 모형 선정

본 연구에서 사용될 시뮬레이션 모형은 교통공학적 알고리즘을 갖추고 있어 교통망이나 차량흐름을 실제 상황과 가능한 근사하게 미시적으로 구현할 수 있고 많은 데이터 생성을 위해 빠른 시뮬레이션 수행시간이 필요한 미시적 시뮬레이션 프로그램이 적합할 것으로 판단된다. 미시적 시뮬레이션 프로그램 중 상용화된 프로그램으로는 VISSIM,

PARAMICS, NETSIM, COSIM, INTEGRATION 등이 있으나, 본 연구에서는 실제 고속도로 기하구조와 차량의 성능 등을 개별적으로 구현할 수 있는 VISSIM을 선택하여 시뮬레이션 데이터를 생성하였다.

#### 2) VISSIM 프로그램의 특징

VISSIM 프로그램은 행태기반 미시적 모의 실험 모형으로써 교통류를 모사하는 traffic simulator(차량 추종모형, 차로변경모형)와 signal state generator로 구성되어 있고, 내부 모형으로 차량길이, 최대 속도, 잠재적 가속도, 운전자 Psycho-physical 민감도 한계값, 운전자 기억(memory) 등의 운전자 특성 및 차량특성을 반영하며, Wiedemann(1974, 1991)에 의해 개발된 Psycho-physical 추종행태 모형과 강제차로변경 모형과 선택차로변경 모형을 적용하였다.

### III. 자료수집 및 시나리오 설정

#### 1. 자료수집

본 연구에서는 시뮬레이션 자료의 검증을 위해서 고속도로검지기 자료와 돌발상황의 발생위치, 시간 그리고 기하구조를 포함하는 기초자료가 필요하다. 따라서 수정된 국내 고속도로의 본선구간의 검지기 자료 중 돌발상황의 영향이 가장 잘 나타나는 영동선의 돌발상황 상류부(VDE03461)와 하류부(VDE03341)의 검지기 자료를 분석하였다. 자료 수집 기간은 2004년 4월 14일부터 2004년 4월 20일간의 일주일 자료로서 이 중 돌발상황이 발생한 4월 18일 자료를 선택하여 활용하였다.

### 1) 교통량 자료

본 연구에서 시뮬레이션 프로그램에 사용된 자료는 돌발상황이 발생한 실제 고속도로 검지기에서 수집된 교통량 자료를 1시간 자료로 집계한 24시간의 각 교통량 자료로 구축하였다.

### 2) 네트워크 자료

네트워크 자료는 실제 영동선 고속도로의 위성사진을 토대로 도로의 선형, 도로 길이, 도로 폭, 차선 폭, 합류구간 등을 고려하여 구축하였다.

〈표 1〉 영동선 교통자료 내역

상류부 지점ID	하류부 지점ID	차로수	차로당 교통량 (대/시)	일자
vde 03461	vde 03341	3	1,135	4월 18일
이정(km)	돌발시간	돌발내용	대상차로	방향
34.2	09:30- 10:30	터널청소	3	강릉

### 3) 자료 처리과정

본 연구에서 사용한 자료의 집계시간 단위는 고속도로에서 수집된 검지기의 원시 집계간격인 30초를 그대로 사용하였다. 그 이유는 모든 돌발상황 검지 알고리즘들은 고속도로 교통관리 시스템(FTMS)에서 polling cycle과 동일하게 실시간으로 수집되는 교통변수 자료들을 가지고 알고리즘이 운영되므로 FTMS 검지기 수집간격인 30초를 교통특성 분석에서 동일하게 사용하였다. 수집된 검지기 30초 원시자료의 차로별 속도, 교통량, 점유율 자료에서 오류가 나타난 자료(-999)를 공백으로 처리한 후 같은 시간의 교통량이 0이면서 속도가 100으로 나타나면 그 시간대의 속도, 교통량, 점유율 자료 모두 공백으로 처리하였다.

이러한 이유는 본 연구에서 교통량, 속도, 점유

율의 세 변수 값들을 이용하여 분석하기 때문에 모든 변수 값들이 계측된 교통류 자료만을 수집하기 위함이다.

## 2. 시뮬레이션 데이터 검증

실제 돌발상황이 발생한 고속도로의 도로 및 교통 조건과 동일한 조건으로 시뮬레이션을 수행하여 데이터를 생성하였다. 실제 고속도로 검지기는 자료수집 간격이 30초이고 각 차로별 속도, 교통량, 점유율 자료를 24시간 동안 생성하므로 시뮬레이션의 검지기 자료 역시 30초 간격으로 각 차로별 속도, 점유율, 교통량 자료의 24시간 자료를 생성하였다. 또한, 모형의 검증을 수행하기 위하여 고속도로의 최대속도 및 최저속도, 차량의 가감속도를 이용하여 모형정산을 하였으며 고속도로 검지기 자료와 시뮬레이션 검지기 자료의 30초 간격의 교통량, 속도, 점유율 자료를 5분 단위로 집계하여 교통량, 속도 점유율 각각의 변수에 대한 유의성 검증을 수행하였다.

생성된 시뮬레이션 검지기 데이터와 실제 고속도로 데이터와의 동일여부를 판단하기 위하여 속도데이터에 대한 t-Test를 이용하여 유의성 검정을 다음과 같이 실시하였다. 귀무가설( $H_0$ )은 “검지기 실제데이터와 시뮬레이션 검지기 데이터는 같다”이며, 유의수준( $\alpha$ ) 0.05에서 양측검정을 실시하였다. 자유도(d.f)가 546일 때 유의수준 0.05의 t 기준값이 +1.964와 -1.964이고 속도의 t 통계량 값이 0.210, 교통량의 t 통계량 값이 0.682, 점유율의 t 통계량 값이 -1.763로 세 변수 모두 t 기준값 범위 안에 포함되므로 귀무가설을 채택하여 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

〈표 2〉 교통량, 속도, 점유율의 t 통계량

구 분	t 통계량 값	t 기준값( $\alpha=0.05$ )
교통량	0.682	+1.964 -1.964
속 도	0.210	
점유율	-1.763	

### 3. 시나리오 설정

McMaster 알고리즘에서 사용되는 파라메타의 민감도 분석을 위하여 검증된 시물레이션 모형과 네트워크를 활용하여 다양한 시나리오를 설정하여 테스트하고자 한다.

파라메타의 민감도에 영향을 미칠 것으로 예상되는 4가지 변수인 교통량, 발생차로, 돌발상황 위치, 돌발상황 지속시간에 따라 개별시나리오를 설

정하였다. 교통량은 실제 고속도로에서 수집한 교통량자료를 수정할 수 없기 때문에 교통량이 적은 시간대를 선택하여 돌발상황을 발생시켰다. 교통량 소는 새벽시간대인 1,400대/시/방향, 교통량 중은 밤 시간대 2,600대/시/방향, 교통량 대는 오후시간대인 3,800대/시/방향에 돌발상황을 발생시켰다. 돌발상황은 1, 2, 3차로에 각각 발생시켰으며 돌발상황 위치는 실제 돌발상황을 중심으로 두 검지기 사이가 900m이므로 상류부 검지기 지점으로부터 돌발상황 발생지점을 200m, 500m, 800m의 위치에 발생시켰으며 돌발상황 지속시간은 30분과 1시간인 두가지 경우를 고려하였다.

이와 같은 조합에 의하여 총 54개의 시물레이션 시나리오가 설정되었으며, 각 시나리오는 VISSIM 프로그램으로 시물레이션을 수행하여 돌발상황 상

〈표 3〉 시물레이션 시나리오

교통량	차로	돌발상황위치	돌발지속시간	교통량	차로	돌발상황위치	돌발지속시간	교통량	차로	돌발상황위치	돌발지속시간
소 ( 1400 대/시 )	1	200m	30분	중 ( 2600 대/시 )	1	200m	30분	대 ( 3800 대/시 )	1	200m	30분
			60분				60분				60분
		500m	30분			500m	30분			500m	30분
			60분				60분				60분
		800m	30분			800m	30분			800m	30분
			60분				60분				60분
	2	200m	30분		2	200m	30분		2	200m	30분
			60분				60분				60분
		500m	30분			500m	30분			500m	30분
			60분				60분				60분
		800m	30분			800m	30분			800m	30분
			60분				60분				60분
	3	200m	30분		3	200m	30분		3	200m	30분
			60분				60분				60분
		500m	30분			500m	30분			500m	30분
			60분				60분				60분 <sup>1)</sup>
		800m	30분			800m	30분			800m	30분
			60분				60분				60분

주: 1) 교통량\_대, 3차로, 돌발상황위치\_500m, 돌발상황지속시간\_60분의 시나리오는 유의성 검증에서 사용했던 실제 검지기 자료내용임.

류부와 하류부의 가상검지기에서 30초 단위의 교통량, 속도, 점유율 데이터를 생성하게 된다.

#### IV. 파라메타 민감도 분석

##### 1. McMaster 알고리즘 구현

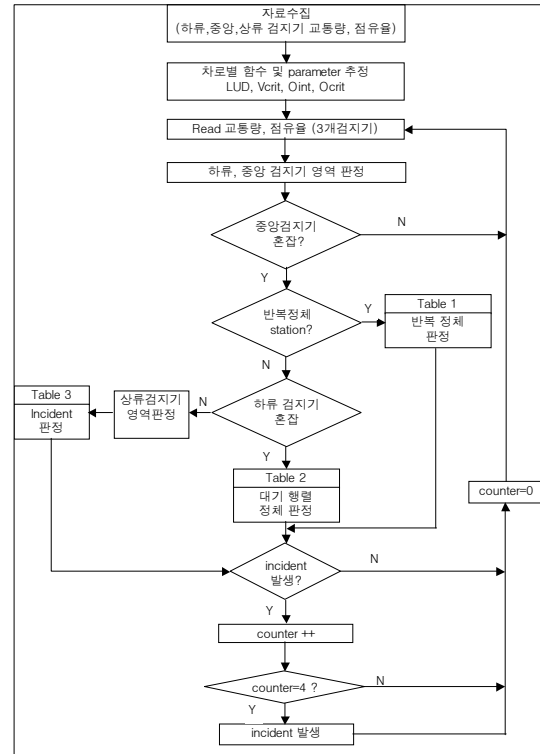
McMaster 알고리즘 구현에 앞서 각각의 검지기에서 알고리즘에 사용될 파라메타를 산정해야 한다. 영동선 상류부(vde03461)와 하류부검지기(vde03341)의 파라메타를 McMaster 알고리즘에서 제시하고 있는 방법대로 결정하였다.

〈표 4〉 McMaster 알고리즘 파라메타

검지기	LUD함수	Ocrit	Oint	Vcrit
상류부	$y = -0.0067x^2 + 1.3517x - 4.2708$	17	7	15
하류부	$y = -0.0083x^2 + 1.6007x - 3.787$	18	8	15

또한, 각 시나리오별 돌발상황 검지 성능지표를 산출하고자 McMaster 알고리즘을 다음과 같이 구현하였고 이에 대한 전반적인 과정과 알고리즘 흐름도는 〈그림 3〉에 제시되어 있다.

- ① 단계 1) 중앙 검지기를 중심으로 상, 하류 검지기 등 2개 검지기의 교통량, 점유율 데이터의 차로별 과거 이력 자료를 준비함. 이 데이터들은 McMaster 알고리즘에서 사용하는 계수들을 추정하기 위함.
- ② 단계 2) 준비된 데이터 가운데 돌발상황이 발생하지 않은 일자들을 선택하여 검지기별, 차로별 교통량-점유율 관계도로부터 LUD 곡선의 이차방정식  $ax^2 + bx + c = 0$  ( $a < 0$ )의 계수와 Vcrit, Oint, Ocrit 값을 추정함.



〈그림 3〉 McMaster 알고리즘 흐름도

- ③ 단계 3) 돌발상황 발생여부를 검사하고자 하는 데이터 세트를 대상으로 한 Polling Cycle의 교통량과 점유율을 읽어들임.
- ④ 단계 4) 상류 검지기와 하류 검지기가 교통량-점유율 관계도상에서 해당하는 영역을 판정함. 〈그림 2〉의 왼쪽 영역(1-1, 1-2)은 비혼잡, 오른쪽 영역(2-1, 2-2, 3, 4)은 혼잡이 발생한 교통류 영역을 의미함.
- ⑤ 단계 5) 기준검지기의 교통류 상태가 혼잡 영역에 해당되는지를 판단하고 만일 상류검지기가 비혼잡 영역에 있으면 단계 3)으로 넘어가며, 혼잡영역으로 판정하면 다음 단계를 수행함.
- ⑥ 단계 6) 기준 검지기의 특성을 파악하여 사전에 지정된 반복정체 Station이면, 단계 4)

에서 구하여진 상류 검지기와 하류 검지기의 영역으로 반복 정체여부 판정을 함. 기준 검지기가 반복 정체 Station이 아니면, 다음 단계로 넘어감.

- ⑦ 단계 7) 하류 검지기의 교통류 상태를 판정하여 혼잡영역에 있으면 대기행렬내의 돌발상황 검지로부터 대기행렬 정체여부 판정을 받고, 그렇지 않으면 상류 검지기의 영역을 판정하여 반복 정체 station 및 대기행렬 발생 지점외의 지점에서의 돌발상황 판정을 받고 이후 다음 단계로 넘어감.
- ⑧ 단계 8) 돌발상황 발생 여부를 판정하여 돌발상황 발생이 되지 않았으면 단계 3)으로 넘어가고, 돌발상황이 발생되면 돌발상황이 얼마나 지속되는가에 대한 지속성 검사를 위한 횡수를 카운팅함.
- ⑨ 단계 9) 지속성 검사 횡수가 4번이면 돌발상황이 발생한 것으로 선언하고, 그렇지 않으면 단계 3)으로 넘어가서 다음 Polling Cycle의 교통량과 점유율을 읽어들임.

## 2. 성능지표 산출

본 연구에서는 McMaster 알고리즘 파라메타의 민감도를 분석하기 위한 변수로서 알고리즘 성능지표인 검지율(DR), 오보율(FAR), 검지시간(DT)을 산출하여 평가하고자 한다.

- 검지율(DR) =  $\frac{\text{검지된 돌발상황건수}}{\text{전체 돌발상황건수}} \times 100$
- 오보율(FAR) =  $\frac{\text{전체 Alarm건수} - \text{검지된 Alarm건수}}{\text{알고리즘 수행건수}} \times 100$
- 검지시간(DT) = 돌발상황 발생시간 - 알고리즘 검지시간

시나리오별 시뮬레이션을 수행하여 얻어진 데이터들 <표 4>에서 결정된 파라메타를 이용하여 성능지표를 산출하고 각각의 파라메타를 -30~+30% 범위로 수정된 파라메타 값으로 다시 알고리즘을 수행하여 각각의 파라메타에 따른 성능지표를 산출하였다.

<표 5> 수정된 파라메타

파라메타	-30%	-25%	-20%	-15%	-10%	-5%	기준
LUD(const)	2.45	2.63	2.8	2.98	3.15	3.33	3.5
Ocrit	11.9	12.75	13.6	14.45	15.3	16.15	17
Vcrit	10.5	11.25	12	12.75	13.5	14.25	15
Oint	4.9	5.25	5.6	5.96	6.3	6.65	7
파라메타	+30%	+25%	+20%	+15%	+10%	+5%	
LUD(const)	4.55	4.39	4.2	4.03	3.85	3.65	
Ocrit	22.1	21.25	20.4	19.55	18.7	17.85	
Vcrit	19.5	18.75	18	17.25	16.5	15.75	
Oint	9.1	8.75	8.4	8.05	7.7	7.35	

## 3. 민감도 분석

본 연구에서는 McMaster 알고리즘 파라메타의 민감도를 분석하기 위하여 각각의 수정된 파라메타에 의해 산출된 성능지표를 가지고 최초로 산정된 기준 파라메타와 비교하면서 유의성 검증을 실시하였다.

McMaster 알고리즘 방법에 따라 최초 산정된 기준 파라메타에 따른 성능지표와 수정된 각각의 파라메타에 따른 성능지표의 차이를 판단하기 위하여 t 검증을 실시하였다. 귀무가설(Ho)은 “기준 파라메타에 따른 성능지표와 수정된 파라메타에 따른 성능지표는 같다.”이며 유의 수준( $\alpha$ ) 0.05(신뢰도 95%)에서 양측검정을 실시하였다.

3개의 성능지표 중에서 오보율을 대상으로 파라메타 민감도 분석을 한 결과는 <표 6>에 제시되



〈표 6〉 파라메타에 따른 오보율 t 통계값

파라메타	-30	-25	-20	-15	-10	-5	5	10	15	20	25	30	기준치
LUD	-2.53	-2.26	-1.87	-1.33	-1.15	-0.86	0.93	1.14	1.34	1.53	1.82	2.12	+2,005 7 -2,0057
Ocrit <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vcrit	2.71	2.25	2.21	1.82	1.34	0.86	-0.79	-1.10	-1.36	-1.54	-1.96	-2.46	
Oint	-2.78	-2.43	-2.06	-1.86	-1.65	-1.38	1.41	1.66	1.86	2.25	2.60	2.78	

주: 1) “-”는 오보율의 변화가 없는 것을 의미함.

2) 음영으로 처리된 부분은 통계적으로 귀무가설이 기각되어 성능지표의 차이가 존재함으로 의미함.

어 있다. 임계점유율(Ocrit) 파라메타는 파라메타 값의 변화에 대한 오보율의 차이가 없어서 가장 둔감한 파라메타로 결정되었다. 4개의 파라메타 중 가장 민감하게 변화하는 파라메타는 Oint로서  $\pm 15\%$  정도만 차이가 발생하여도 알고리즘의 검지 성능에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 또한, LUD 함수의 경우 약  $+25\% \sim -20\%$  정도 차이가 나면 알고리즘 성능이 달라지는 것을 알 수 있다.

파라메타 민감도 분석결과, 각 파라메타의 값들이 변화하면서 알고리즘 성능이 변화하는 것을 확인할 수 있었고, Oint, Vcrit, LUD, Ocrit 파라메타 순으로 민감도가 낮아지는 것으로 분석되었다. 기존에 McMaster 알고리즘의 단점으로 지적되었던 분석가의 직관적이고 주관적인 파라메타 정산의 문제점을 이번 민감도 분석을 통하여 확인하는 계기가 되었다. 따라서, 앞으로 McMaster 알고리즘의 파라메타를 정산할 때 Oint 파라메타를 가장 신중하게 정산하여야 할 파라메타로 결정되었고 이 파라메타는 Ocrit 파라메타에 의해 결정되는 변수로서 기존에 알려진 Ocrit에서 천편일률적으로 10을 빼는 것은 문제가 있는 것으로 보인다.

이번 민감도 분석을 통하여 기준이 되는 최초의 파라메타 정산에 의한 알고리즘의 성능결과보다 수정된 파라메타를 적용한 알고리즘의 성능평가가 더 좋게 나와서 파라메타 정산에 관한 좀 더 정밀하고 신뢰성있는 방법론을 개발할 필요가 있다.

알고리즘의 성능지표 측면에서 가장 좋은 파라메타 조합은 다음과 같이 분석되었다.

- LUD\_const는  $-20\%$
- Vcrit는  $-25\%$
- Ocrit는  $0\%$
- Oint는  $-15\%$

〈표 7〉에서 보는 바와 같이, 최적인 파라메타 조합을 가지고 성능지표의 평균을 비교해 보면 검지율은 66.6%로 기존과 수정된 파라메타 모두 같은 결과를 나타냈고, 오보율 지표를 살펴보면, 최초 파라메타에 의한 오보율인 8.39%보다 수정된 알고리즘의 오보율 1.64%로 나와서 훨씬 우수한 성능을 보여주었다. 검지시간을 보면 교통량이 소일 때는 두 알고리즘 모두 검지하지 못했으며 교통량이 중과 대일 때의 평균을 보면 최초 알고리즘이 237초로 수정 알고리즘의 192초보다 검지하는데 더 오래 걸리는 것으로 나왔다.

이상의 민감도 분석결과, McMaster 알고리즘에서 사용하고 있는 파라메타들은 돌발상황 검지에 있어서 아주 중요한 역할을 담당하고 있으며, 앞으로는 각 파라메타 변수의 특성을 잘 파악하여 교통류 상태를 가장 잘 구분할 수 있는 파라메타가 도출될 수 있도록 하여야 한다.

〈표 7〉 알고리즘 성능평가 결과

교통량	차로	위치	돌발지속 시간	검지율 (0:비검지, 1:검지)		오보율 (%)		검지시간 (초)	
				최초	수정	최초	수정	최초	수정
소	1	200m	30분	0	0	8.57	1.63	-	-
			60분	0	0	8.71	1.62	-	-
		500m	30분	0	0	8.58	1.61	-	-
			60분	0	0	8.38	1.55	-	-
		800m	30분	0	0	8.93	1.61	-	-
			60분	0	0	8.38	1.58	-	-
	2	200m	30분	0	0	8.38	1.66	-	-
			60분	0	0	8.40	1.67	-	-
		500m	30분	0	0	8.39	1.71	-	-
			60분	0	0	8.40	1.60	-	-
		800m	30분	0	0	8.81	1.68	-	-
			60분	0	0	8.04	1.69	-	-
	3	200m	30분	0	0	8.37	1.54	-	-
			60분	0	0	8.48	1.56	-	-
		500m	30분	0	0	8.48	1.52	-	-
			60분	0	0	8.70	1.63	-	-
		800m	30분	0	0	8.38	1.54	-	-
			60분	0	0	8.49	1.64	-	-
중	1	200m	30분	1	1	8.60	1.49	320	222
			60분	1	1	8.05	1.43	311	245
		500m	30분	1	1	8.26	1.49	345	278
			60분	1	1	8.39	1.51	345	289
		800m	30분	1	1	8.39	1.71	369	299
			60분	1	1	8.73	1.59	389	312
	2	200m	30분	1	1	8.60	1.57	323	221
			60분	1	1	8.65	1.58	312	255
		500m	30분	1	1	8.05	1.53	346	245
			60분	1	1	8.15	1.60	354	289
		800m	30분	1	1	8.06	1.59	378	289
			60분	1	1	8.36	1.70	398	322
	3	200m	30분	1	1	8.16	1.64	321	233
			60분	1	1	8.15	1.48	313	233
		500m	30분	1	1	8.04	1.62	345	257
			60분	1	1	8.82	1.56	367	280
		800m	30분	1	1	8.26	1.61	388	289
			60분	1	1	8.82	1.80	380	324
대	1	200m	30분	1	1	9.36	2.04	121	131
			60분	1	1	9.49	1.98	65	51
		500m	30분	1	1	9.80	2.10	156	165
			60분	1	1	9.71	2.05	96	60
		800m	30분	1	1	9.80	2.15	198	198
			60분	1	1	9.71	1.96	123	60
	2	200m	30분	1	1	9.49	2.23	123	144
			60분	1	1	7.56	1.52	66	41
		500m	30분	1	1	7.60	1.60	156	189
			60분	1	1	7.61	1.53	86	50
		800m	30분	1	1	7.71	1.54	188	210
			60분	1	1	7.71	1.47	111	64
	3	200m	30분	1	1	7.82	1.40	120	140
			60분	1	1	7.68	1.61	66	42
		500m	30분	1	1	7.48	1.40	165	188
			60분	1	1	7.05	1.31	96	50
		800m	30분	1	1	7.04	1.52	199	199
			60분	1	1	7.26	1.37	108	63
평균				66.6%	66.6%	8.39%	1.64%	237	192

주: 1) “-” : 돌발상황을 검지하지 못함.

2) 최초: 최초 결정된 파라메타를 이용한 알고리즘

3) 수정: 수정된 파라메타 중 최적의 성능을 나타내는 파라메타를 이용한 알고리즘

## V. 결 론

본 연구에서는 최근 국내에서 많이 사용하고 있는 고속도로 돌발상황 감지 알고리즘인 McMaster 알고리즘의 파라메타의 민감도를 분석하여 일정 수준의 신뢰도를 갖는 파라메타의 오차범위를 결정하여 제시하고자 하였다.

파라메타의 민감도 분석을 위해서, 시뮬레이션 모형(VISSIM)을 사용하여 교통류 변수자료(교통량, 평균속도, 점유율)를 수집하였고, 컴퓨터 언어를 사용하여 McMaster 알고리즘의 모형을 구축하고 돌발상황 감지에 대한 성능지표를 산출하였다. 구축된 알고리즘 수행결과, 오보율, 검지시간 등 성능지표의 값은 파라메타 값들의 변화에 따라 다르게 나타났으며, 통계적인 민감도 분석결과 성능지표들 중 오보율이 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 또한, 오보율을 기준으로 Oint 파라메타가 가장 민감하게 성능변화를 보이는 것으로 분석되었고 Ocrit는 파라메타 변경에 따른 수행지표의 결과가 변경전과 동일하게 나와서 가장 민감하지 않은 파라메타로 판명되었다. LUD 함수는 파라메타 변화량에 비하여 비교적 안정적인 성능결과를 보였다.

본 연구결과를 통하여 향후 McMaster 알고리즘의 수행시 검증된 파라메타를 결정할 수 있으며 파라메타 정산에 대한 일정한 가이드라인을 제공함으로써 McMaster 알고리즘의 좀 더 손쉬운 활용이 가능할 것으로 기대된다. 향후 연구과제로는 더 많은 지점과 다양한 유형에 대한 McMaster 알고리즘 파라메타의 민감도 분석에 관한 연구와 각 교통상황에 따른 최적 파라메타 조합범위에 대한 적합성 검토가 추가로 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- 강수구 · 도철웅 · 손봉수 · 이시복, 2001, “고속도로 돌발상황 감지 알고리즘 성능 개선기법에 관한 연구”, 『대한교통학회지』, 제19권 제6호, p.107.
- 교통개발연구원, 2004, 『고속도로 돌발상황관리시스템』.
- Gall, A. and Hall, F. L., 1989, “Distinguishing Between Incident Congestion and Recurrent Congestion: A Proposed Logic”, *TRR*, 1232: 1~8.
- Hall, F. L., Shi, Yong, and Atala, George, 1991, “On-Line Testing of the McMaster Incident Detection Algorithm Under Recurrent Congestion”, *TRR*, 1394: 1~7.
- Persaud, B. N. and Hall, F. L., 1989, “Catastrophe Theory and Patterns in 30-Second Freeway Traffic Data-Implications for Incident Detection”, *Transportation Research(A)*, 23A: 103~113.
- Persaud, B. N. and Hall, F. L., 1990, “Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm”, *TRR*, 1287: 167~175.
- PVT, 2004, “VISSIM User Manual-Version 4.00”
- Wiedemann, R., 1974, “Simulation des Straßenverkehrsflusses”, *Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8*.
- Wiedemann, R., 1991, “Modelling of RTI-Elements on multi-lane roads”, in the Commission of the European Community(ed.), *Advanced Telematics in Road Transport*, DG XIII, Brussels.

원 고 접 수 일 : 2008년 2월 21일

1차심사완료일 : 2008년 3월 18일

최종원고채택일 : 2008년 5월 20일