

## 연속류도로 단기 적체 교통량 개념 기반 돌발상황 자동감지 알고리즘 개발

### Development of an AIDA(Automatic Incident Detection Algorithm) for Uninterrupted Flow Based on the Concept of Short-term Displaced Flow

이 규 순\*  
(Kyu-Soon Lee)  
(DongRim TNS)

신 치 현\*\*  
(Chi-Hyun Shin)  
(Kyonggi University)

#### 요 약

기존의 많은 돌발상황 자동감지 알고리즘은 복잡한 구조와 계산 과정, 수많은 매개변수, 그리고 필터링/평활화 같은 선 작업 때문에 지속적인 유지관리가 사실상 중단된 상태이고 오보율 또한 높아 많은 교통관리센터로부터 기피 대상이 되고 있는 등 돌발상황감지의 주력 수단으로서 자동 알고리즘의 지위가 위태해진 현실은 매우 우려할만하다.

본 연구에서는 상대 점유율과 속도 향을 활용하여 적체 교통량이라는 신 개념을 도입, 구조가 아주 간단하면서도 검측 원시자료의 보정이 거의 필요 없는 DiFI(Displaced Flow Index) 기반의 돌발상황 자동감지알고리즘을 개발하였다.

DiFI 알고리즘의 성능평가는 2003년도 내부순환로 검지기자료를 활용하여 검증을 수행하였으며, 2011년도 경부고속도로 검지기 자료를 수집·정리하여 이식성 검사를 이행하였다. 성능평가는 검지율, 오보율, 평균검지시간, 기타 CR, CI, PI를 사용하였는데 100%의 검지율과 2.99%의 낮은 오보율, 1분을 약간 초과하는 평균검지시간을 보였다. 이는 SAO는 물론 국내 현장에 가장 많이 적용된 APID 및 DELOS 등과 비교해서도 모든 면에서 우월한 성능을 보이는 것이었다.

핵심어 : 돌발상황자동감지알고리즘, 검지율, 오보율, 평균검지시간, 종합성능지표

#### ABSTRACT

Many traffic centers are highly hesitant in employing existing Automatic Incident Detection Algorithms due to high false alarm rate, low detection rate, and enormous effort taken in maintaining algorithm parameters, together with complex algorithm structure and filtering/smoothing process. Concerns grow over the situation particularly in Freeway Incident Management Area

This study proposes a new algorithm and introduces a novel concept, the Displaced Flow Index (DiFI) which is similar to a product of relative speed and relative occupancy for every execution period. The algorithm structure is very simple, also easy to understand with minimum parameters, and could use raw data without any additional pre-processing.

To evaluate the performance of the DiFI algorithm, validation test on the algorithm has been conducted using detector data taken from Naebu Expressway in Seoul and following transferability tests with Gyeongbu Expressway detector data. Performance test has utilized many indices such as DR, FAR, MTTD (Mean Time To Detect), CR (Classification Rate), CI (Composite Index) and PI (Performance Index). It was found that the DR is up to 100%, the MTTD is a little over 1.0 minutes, and the FAR is as low as 2.99%. This newly designed algorithm seems promising and outperformed SAO and most popular AIDAs such as APID and DELOS, and showed the best performance in every category.

**Key words** : Automatic incident detection algorithm, DR, FAR, MTTD, PI

\* 주저자 : (주)동림TNS 교통계획부 대리

\*\* 교신저자 : 경기대학교 도시·교통공학과 교수

† Corresponding author : Chi-Hyun Shin(Kyonggi University), E-mail chshin@kgu.ac.kr

‡ Received 30 October 2015; Reviewed 16 December 2015; Accepted 7 April 2016

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

고속도로 돌발상황 자동감지는 통상 인접한 차량검지기의 교통류 특성 자료를 비교, 분석함으로써 이루어진다. 하지만 같은 교통류 상황이라도 검지기 종류, 정산노력, 노후화, 도로 기하구조 등에 따라 인접 검지기간 검측 값 차이가 기본적으로 발생하기 때문에 실제로는 상황 오인이나 높은 돌발상황 오보율로 이어진다[1, 2]. 이러한 오보율 때문에 많은 연속류 관리센터에서는 돌발상황 자동감지 알고리즘(Automatic Incident Detection Algorithm, 이하 AIDA) 가동을 기피하는 것이 작금의 현실인데, 이는 세월호사건 이후 Golden Time이라는 용어가 세간에 크게 회자되고 있는 분위기와는 크게 상치되는, 격정스러운 국면이라 아니할 수 없다.

물론 돌발상황의 감지 방법이 다양화 된 것도 사실이다. 역할을 대체한다고 주장되는 CCTV, 제보 등은 제한된 coverage와 지속적인 육안 관찰의 어려움, Kitty Genovese syndrome으로 불리는 소위 긴급한 상황의 전파를 주변인에게 미루는 보통 사람의 행태 등에서 볼 수 있듯이 고속도로의 각종 상황을 감지하는데 결코 주력 수단이 될 수 없다.

본 연구는 검지기 기반 알고리즘이 앞으로도 상당 기간 동안 돌발상황감지의 중심 수단이 되어야 함에도 그렇지 못한 국내 현실에 대한 자성의 일환으로 시작되었다. 특히 국내에 도입되어 중점적으로 사용되어 왔으나 현재에는 기피되고 있는 다수 AIDA들의 오보율 문제나 이해 부족, 변수관리노력 및 필터링 작업 과다 등 제 문제들에 대한 해결책을 모색코자 하였다. 따라서 본 연구를 통해 알고리즘 구조가 간단하면서도 양 검지기의 상대 점유율과 상대 속도 향을 융·결합하여 오보율을 크게 감소시킨, 전술한 여러 문제점에 대응력을 신장시킨, 개선된 개념의 AIDA를 제안하고자 한다.

### 2. 연구의 방법

본 연구에서는 우선 국내외 돌발상황 알고리즘

에 대한 연구와 기 개발된 알고리즘에 대한 고찰을 통하여 여러 가지 문제점을 파악하는데 노력하였다. 또 노정된 문제점을 개선하기 위하여 CORSIM 시뮬레이션을 통하여 DiFI(Displaced Flow Index) 라는 개념을 정립, 알고리즘을 개발하고, 4 세트의 잘 정리된 내부순환로 검지기 자료를 활용하여 알고리즘 검증과 튜닝을 수행하였다. 또한 도시고속도로가 아닌 지방부 고속도로에서도 적용가능한지 확인하기 위해 10 세트의 경부고속도로 검지기 자료를 활용하여 이식성 검사를 이행하였다.

### 3. 연구의 차별성

국내에서 활용되고 있는 기존 AIDA는 복잡한 구조와 수많은 변수 및 어려운 계산과정으로 인하여 운영자가 알고리즘을 이해하지 못하는데다 낮은 검지율과 높은 오보율로 인하여 알고리즘의 유지관리는 사실상 종료되고, 알고리즘 가동 자체도 중단한 경우가 허다하다. 알고리즘에 따라 필터링 작업이 그 같은 상황에 추가 부담이 되는 경우도 적지 않다. 따라서 본 연구는 검지기에서 수집되는 원시자료는 아주 쉬운 전처리 후 사용하되 구조가 아주 간단하면서도 오보율을 낮출 수 있는 AIDA 개발을 목적으로 한다.

본 연구의 의의라면 돌발상황 발생자료로부터 유추, 학습된 알고리즘을 만들기 보다는 교통류이론과 검지기 자료의 내재적 가변성에 대한 이해를 바탕으로 간결한 이론을 우선 정립하고, 모의실험 환경에서 핵심 변수를 테스트 한 다음, 이후 실제 도시 및 지방부 고속도로 자료로 검증을 거친, 자료 특성에 크게 의존하지 않는 단순한 변수체계를 갖춘 새로운 기법을 소개한다는 점이다. 특히 점유율 기반의 많은 알고리즘과는 달리 양 검지기서 동시 측정된 30초 점유율과 속도 값들 각각의 상대 차이를 산정하게 하되, 분모에 특정 위치 측정값이 아닌 양 검지기 값을 더해 사용하게 하여 검측 값의 심한 변동을 진정시킴과 동시에 그렇게 변형된 상대 점유율 향과 속도 향을 곱하게 함으로써 다소 새로운 개념을 정립한 것에 특징을 찾을 수 있겠다.

## II. 관련 문헌 고찰

### 1. 기존 알고리즘 고찰

1960년대 중반 이후로 AIDA는 많은 개선이 있어 왔으나 현장의 한두 개 매설 검지기로부터 짧은 시간 동안 수집되는 점유율을 주된 입력 변수로 한다는 사실에는 변화가 없었다. 초창기 AIDA는 주로 통계학(statistical)과 패턴인식(pattern-based)을 기반으로 한 것들인데, 자세한 비교(comparative) 알고리즘, 통계(statistical) 알고리즘, 시계열 및 필터링(time-series and filtering) 기반 알고리즘, 교통류이론(traffic flow theory) 기반 알고리즘 등 네 개 그룹으로 통상 분류할 수 있다[3].

비교식 알고리즘은 특정 자료 변수의 거동과 그 패턴의 발견을 통해 돌발상황의 상태를 인식하는 패턴인식에 의존하는 특징을 가지며 대표적인 것이 APID(All Purpose Incident Detection) 알고리즘을 낳게 된 California Algorithm family라 할 수 있다[4].

통계학적 알고리즘은 표준의 통계기법을 사용하여 차로점유율과 같은 변수의 거동에 갑작스런 변화를 찾아내는 것으로 SND (Standard Normal Deviate)와 Bayesian 알고리즘이 대표적인 예이다[5].

시계열과 필터링 알고리즘은 결정 변수를 추적하는 시계열 이론 개념에 의존하고 있는데 ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) 알고리즘, 지수 평활화 알고리즘, 칼만 필터링 알고리즘이 대표적인 예이다[6, 7].

교통류이론을 기반으로 한 알고리즘은 교통류 특성 변수간의 시공간적 상관관계를 구별, 상황을 인식하는 방식으로 만들어 졌는데 McMaster 알고리즘이 가장 대표적이다[8].

기존 분류 범주에 넣기에 모호하지만 시뮬레이션 자료 생성을 기반으로 짧은 시간동안 특정 검지기를 떠난 차량들이 time 또는 event 스캔 기법을 활용, 적정 통행시간(예상 time interval) 내에 하류 검지기에 도착하는가를 기초로 돌발상황을 판단하거나 최적 검지기 간격을 모색하는 연구와[9] UCB 알고리즘이라 불리며 양 검지기의 누적 점유율 차

이를 robust한 추적 변량으로 하여 오보율을 줄이려 연구[10] 등도 눈 여겨 볼만한 방법론들을 보여 주고 있다.

국내에 보급된 고속도로 AIDA는 2000년 이전에 개발된 것이 주류이고 성능과 현장 적용성, 유지관리 소요노력 등을 따져 현장에 적용되어 제한적으로 가동되고 있는 알고리즘은 APID, DES, DELOS, McMaster 정도에 그친다.

APID는 California 알고리즘에 압축과 검사 및 지속성 검사 등의 항목을 수행하여 돌발상황을 판별하며, DES(Double Exponential Smoothing)는 교통류 특성변수 값들에 지수 평활화를 두 차례 수행하고 추적 값과 임계값을 비교한다. 미네소타 알고리즘으로 알려진 DELOS(DEtection Logic w/ Smoothing)는 세 가지(이동평균, 중앙값, 지수 필터) 기법으로 평활화한 점유율 값의 시공간(temporal and spatial) 별 차이가 한 두 개 이상에서 임계값을 초과하면 돌발상황으로 선언한다. 또 McMaster는 교통류이론을 적용하나 교통량-점유율 관계 네 가지 영역의 추가적 분할, 지점별 정산(LUD 즉 line under data와 같은 교통량-점유율 관계 곡선)이 필요하고 높은 사용료를 요구한다[11-14]. 이들 모두 대체로 매개변수 관리, 이식성 및 오보율 문제, 비용 등으로 국내에서 외면당하거나 사용을 꺼리고 있다.

### 2. 최근 국내·외 문헌 고찰

Kim and Kim(2008)은 속도변수를 기준으로 생성된 수정교통량-점유율 관계를 이용하여 교통류상태를 5개 영역으로 구분하고 돌발상황 알고리즘 개발하였다. 또한 성능평가 결과 McMaster 알고리즘보다 우수한 성능을 보인다고 제시하였다.

Choi et al.(2012)는 내부순환로와 경부고속도로의 검측자료를 활용하여 간단한 산술계산기법(SAO, Simple Arithmetic Operations)을 기반으로 한 AIDA를 개발하였는데 도시부와 지방부로 시설을 구분하고 임계치를 달리 설정하였으며, 이 역시 기존 비교 대상 AIDA보다 성능이 우월하다 주장하고 있다.

Chen et al.(2009)는 통행패턴을 인식해 돌발상황

을 검지하는 모형으로 SVM(Support Vector Machine) 모형을 도입하였다. SVM은 돌발상황의 검지율과 관련된 문제를 해결하기 위해 제안되었으며, 검지율, 오검지율, 평균검지시간 외에 CR(Classification rate) 등의 성능평가를 수행하였다.

그 외에도 fuzzy-set theory, neural network, genetic algorithm과 같이 인간의 사고나 행태를 모사한 적지 않은 알고리즘들이 또 다른 갈래로 분류되면서 연구가 계승되고 있다[18].

최근에 소개된 기법들은 고속도로 현장에 적용되어 성과와 함께 운영 효과를 판단할만한 기회를 얻은 바 없는데, 그 이유는 개별 알고리즘의 문제라기보다는 기존 AIDA를 대체하고자 하는 운영자의 관심과 노력, S/W 유지관리 사업이 거의 사라진 것에 기인한다고 보는 것이 합리적인 추론일 것이다.

### III. 돌발상황 검지기 자료 수집과 정리

본 연구에서 수집한 검지기 자료는 <Table 1>에서와 같이 4건의 돌발상황이 포함된 2003년도 내부순환로 검측자료와 <Table 2>에 정리된 2011년도 경부고속도로 10건의 검측자료로서 개발된 알고리즘의 검증에 사용되었다. 자료는 30초 단위로 수집된 교통량, 속도, 점유율 등으로 구성되어 있으며 참고로 내부순환로의 검지기 설치간격은 평균 500m, 경부고속도로의 경우는 평균 1.0km이다.

<Table 1> Naebu Expressway Detector Data

Incident Case #	Section (Detector St.)	Incident Date	# of period*
1	Jungneung Tunnel(Inner)	2003.02.05	317 (74)
2	Jungneung Tunnel(Inner)	2003.02.06	360 (54)
3	Banpo~Dongjak(Inner)	2003.02.07	202 (51)
4	DK10005~DK10006	2003.02.07	240 (41)

\* includes stable flow periods (1 period = 30s)  
Number in ( ) represents incident duration

참고로 본 연구에서 사용한 자료 DB는 선행연구 [16]에서 사용하였던 자료를 일부 재사용하고 또 추

가로 확보하기도 하였는데, 사전 평가 및 튜닝용으로 활용한 내부순환로 자료로는 돌발상황 2건 자료를 추가하여 총 8건의 자료 군을 확보하되 결측 값, 이상치, 짧은 IC구간 및 하부 신호교차로 영향으로 인한 역류 현상, 복수의 돌발상황 존재, 반복정체와 돌발상황의 혼재 등의 상황을 재검점하여 비교적 깨끗하다고 판단되는 4건의 자료 군만 선택하였다. 이식성 검사 및 본격 성능평가에 사용된 경부고속도로의 자료는 알고리즘 평가의 개연성을 높이기 위해 5건의 돌발상황 자료를 추가 추출하여 총 10건의 돌발상황 자료 군을 구성하였다.

<Table 2> Gyeongbu Expy. Detector Data

Incident Case #	Section (Detector St.)	Incident Date	# of period*
1	G·Dongtan IC~Dongtan JC	2011.07.16	360(182)
2	G·Dongtan IC~Giheung IC	2011.07.25	330(165)
3	G·Dongtan IC~Dongtan JC	2011.08.02	543(197)
4	Dongtan JC~G·Dongtan IC	2011.08.03	481(151)
5	Suwon IC~Giheung IC	2011.08.25	481(59)
6	Dongtan JC~Osan IC	2011.07.21	75(35)
7	Dongtan JC~Osan IC	2011.07.21	231(39)
8	Osan IC~Anseong JC	2011.07.21	360(118)
9	Anseong JC~Anseong IC	2011.08.07	541(43)
10	Osan IC~Anseong JC	2011.09.11	421(114)

\* includes stable flow periods (1 period= 30s)  
Number in ( ) represents incident duration

경부고속도로 돌발상황 자료는 돌발상황이라 확인되어 VMS를 통하여 상황문구가 실제 표출된 시기의 원시자료와 돌발상황 메시지를 구체적으로 비교하여 추출하였다. 원시자료는 돌발구간이 확인·특정된 것이 아닌, 발생 구간을 포함한 상·하류 여러 검지기 구간들에서 수집된 자료들을 구분 없이 제공한 것이어서 교통 특성변수가 시공간적으로 급격한 변화가 있었는지를 30초 마다 세심하게 반복해서 확인하는 시간 소모적 과정을 거쳐야 했다.

내부순환로와 경부고속도로의 개별 돌발상황 자료는 3개 검지기 station(다수 차로를 하나로 통합한)에 대한 자료 묶음으로 돌발상황 발생 구간과

발생 바로 상류 구간 자료로 구성되어 있다. 동시에 반 이상의 period가 정상류 상황으로, 돌발상황 발생 전후에 붙어 있기 때문에 기본적인 상황 전이가 같이 포함되어 있다. 참고로 <Table 2>의 돌발상황 자료 1에는 3개 검지기 station \* 360 period, 즉 1,080 period 중 결측 치가 9건, 이상치가 2건 있었으며, 돌발상황 자료 2에는 총 990 period 중 결측 치가 13건 있었고 이상치는 없었다. 이 같은 결측 값 및 이상치에 대한 보정은 가장 단순하게 바로 전 period 값을 그대로 사용하도록 하였다.

#### IV. DiFI 알고리즘 개발

##### 1. DiFI 항의 개념과 기능

적체교통량지수는 돌발상황으로 발생하는 병목으로 인하여 정상상황에 견주어 이동하지 못하고 짧은 시간동안 적체되는 교통량과 관계가 깊다고 할 수 있다. 본 연구에서는 점유율의 상대적 차이 (OCCRDF<sub>(i,t)</sub> ; relative difference in occupancy for station i & period t) 항에서 분모에 하류부 점유율을 더하는 항의 형태(SAO 식)에, 같은 방식으로 만든 상대속도 항을 곱하여 추적변수 항 DiFI를 만들었다.

<Table 3> Formula for DiFI Term

Item	Expression or Formula
OCCRDF <sub>(i,t)</sub>	$\frac{OCC_{(i,t)} - OCC_{(i+1,t)}}{OCC_{(i,t)}}$
SAO	$\frac{OCC_{(i,t)} - OCC_{(i+1,t)}}{OCC_{(i,t)} + OCC_{(i+1,t)}}$
DiFI	$\frac{OCC_{(i,t)} - OCC_{(i+1,t)}}{OCC_{(i,t)} + OCC_{(i+1,t)}} \times \frac{Spd_{(i+1,t)} - Spd_{(i,t)}}{Spd_{(i,t)} + Spd_{(i+1,t)}}$

OCCRDF : 인접한 검지기의 점유율 차이를 상류부에서 관측된 점유율로 나눈 값

SAO : 인접한 검지기의 점유율 차이를 점유율의 합으로 나눈 값

DiFI : SAO 항에 동일 구간 검지기간 속도 차를 속도의 합으로 나누어 다시 곱한 값

DiFI의 displaced에 대한 적당한 우리말은 찾기 어렵고 물리학에서의 변위, 일반적인 의미로 이격,

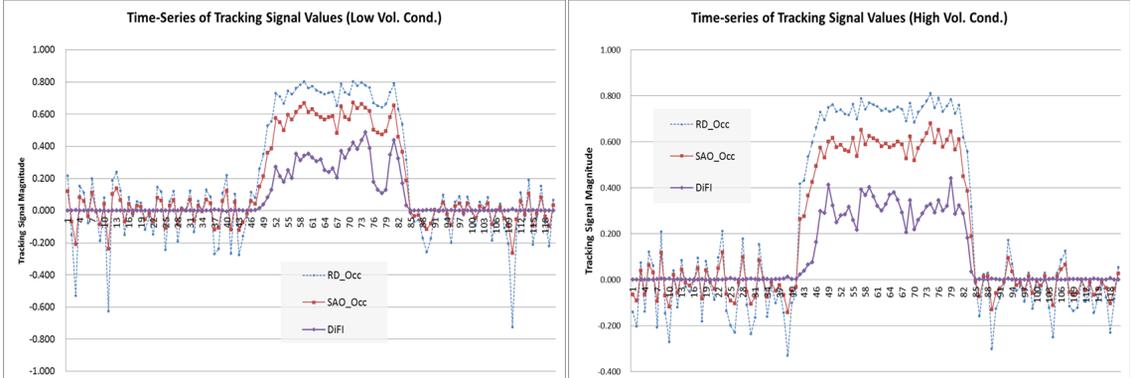
치환, 구축 또는 건축(축출 당함) 등 한자 용어가 선택 범위에 있으나 마땅치 않아 보인다. 그런데 DiFI는 구성 식으로 볼 때, 변형된 상대점유율과 상대속도의 product이고 짧은(30초) 매 계산 주기마다 정상상황에 대비하여 미처 통과시키지 못해 적체되는 교통량과 관련지은 개념을 지수로(index) 표시한 것이므로 적체(積滯)란 용어를 제안한다.

구체적으로는 구간 양 지점의 검지기에서 바로 측정되는 점유율과 속도의 상대적인 차이를 각각 구하고 분모에 값을 더하는 융합을 하면 정상상황에서는 각각의 값이 0에 가깝고, 이를 곱하면 더욱 작은 값이 계산된다. 굳이 점유율과 속도의 상대 값을 계산할 때 특정 검지기의 값 대신 두 개의 값을 융합해 분모로 쓰는 것은 양 검지기에서 추출되는 변수 값의 내재적 차이를 (기하구조, 검지기 종류, 정산 등에서 기인) 극복하면서 안정적인 분모 값을 유지하기 위함이다. 항의 분자에서 상류 검지기의 점유율 값을 앞에 놓고 하류 검지기의 값을 뒤에 놓은 (속도의 경우는 거꾸로) 이유는 우선 정상 흐름상황에서는 큰 음수 값의 출현을 배제하고, 돌발상황 발생이나 진행과정에서는 양(+)의 값을 공고히 하며, 돌발상황의 해제 국면에서는 오히려 작은 음수(-)값을 보이도록 제어코자 하였기 때문이다.

<Fig. 1>의 그래프는 실제 돌발상황의 전후 시간을 대상으로 양 구간에서 측정된 점유율과 속도를 기초로 구성한 것으로, DiFI 항과 다른 주요 알고리즘의 추적 신호 항의 거동을 잘 비교하여 보여주고 있다. 그래서 교통량 값이 아닌 상대적인 의미로서 지수라고 한 것이며, 정상상황에서는 시간의 흐름에 따라 0을 중심으로 상대적으로 미동을 보이고, 돌발상황의 징후나 발생 시에는 0.00 보다는 큰 특정 값에서 1.00 사이의 값을 보이게 된다.

##### 2. DiFI 알고리즘 개발

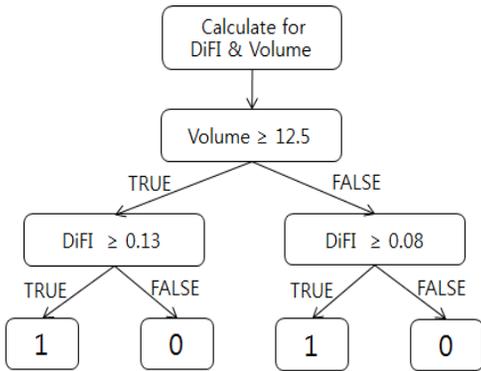
본 연구에서 제시한 DiFI 알고리즘은 기 도입된 몇 개 알고리즘이 수행하는 평활화나 필터링이 없이 검지기의 원시자료를 간단한 전처리 후 사용하도록 하여, 알고리즘을 유지관리 하는데 필요로 하는 노력 및 시간을 줄일 수 있도록 하였다. 임계값



<Fig. 1> Time Series of Tracking Signals for Selected AIDAs

설정은 교통량 수준에 따른 적용력과 성능의 제고를 위해 내부순환로 4건의 돌발상황 자료를 활용하여 교통량 1500 vphpl를 기준으로 Med\_Vol과 High\_Vol으로 이원화하여 설정하였다.

본 연구에서 설정한 DiFI 알고리즘의 임계치는 off-line 상태에서 내부순환로 자료만을 사용하여 결정된 것이나 <Table 5>에서의 오보율을 보면 임계치의 변화에 따라 심한 변화는 없어 0.10과 같은 단일 값을 사용하여도 큰 문제가 되지 않을 수 있다. 다만 단일 값이 고속의 연속류에 적용될 때는 변화 필요성이 대두될 수도 있으므로 1500 vphpl 이하의 수준에서는 0.07~0.08을, 초과 수준에서는 0.12~0.14의 사이 값 중에서 선택하도록 구성하여 향후 현장 적용력과 성능을 높이도록 설계하였다.



$$DiFI = \frac{OCQ_{(i,t)} - OCQ_{(i+1,t)}}{OCQ_{(i,t)} + OCQ_{(i+1,t)}} \times \frac{Spd_{(i+1,t)} - Spd_{(i,t)}}{Spd_{(i,t)} + Spd_{(i+1,t)}} \quad 0 = \text{incident free} \quad 1 = \text{incident}$$

<Fig. 2> Flow Chart for DiFI Algorithm

<Fig. 2>의 흐름도에선 임계값을 30초당 12.5대로 표현하였는데 1500 vphpl 수준이 차량 상호작용의 본격적 발생 여부를 가르는 고속도로 서비스수준 C의 끝자락 교통량 값이기 때문이다.

<Table 4> Threshold values for DiFI algorithm

Item	Flow Level	THR_value
TH_Med_q	L.T. 12.5 veh/30s/lane	0.08
TH_High_q	12.5 veh/30s/lane or more	0.13

<Table 5> FAR vs. Threshold values (%)

THR_value	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
Incident 1 1192 vphpl	1.26	1.58	2.21	2.21	2.21	2.52	2.52	2.52
Incident 2 1409 vphpl	2.50	2.78	3.89	4.72	5.56	6.39	6.94	8.33
Incident 3 1549 vphpl	4.95	4.95	3.96	3.47	3.47	2.97	2.48	2.97
Incident 4 1537 vphpl	5.96	5.96	5.50	4.59	4.13	3.67	2.75	3.21

DiFI 알고리즘은 구조가 매우 간단하며, 임계값도 하나 또는 두 개이고 간단한 전처리만 요구되어 운영자의 알고리즘에 대한 이해가 높아질 수 있으며 알고리즘의 개발 및 튜닝과정에서 보인 성능은 센터가 유지·보수에 경주할 노력을 절감할 가능성을 충분히 보여준다 하겠다.

## V. DiFI 알고리즘 성능평가

### 1. 비교대상 알고리즘 임계값 설정

본 연구에서는 DiFI 알고리즘의 성능평가를 위해 국내에서 가동 경험이 있거나 사용료가 없는 APID, DELOS, SAO 알고리즘만을 비교의 대상으로 삼았다. McMaster는 사용료 문제 외에도 학술지면에 소개되는 내용보다 교통량-점유율 공간 구획을 추가로 해야 하고 비교 검지기 수도 많아지기 때문에 비교 대상에서 선 제외하였고, 한 개 지점 검지기 자료만을 사용하기 때문에 낮은 성능을 보이는 DES도 대상에서 제외하였다.

〈Table 6〉 Threshold values for AIDAs

AIDA	Comparative Parameters		Threshold Values	
APID	TH_ID1 (Heavy Traffic 1)		10.2	
	TH_ID2 (Heavy Traffic 3)		0.5	
	TH_ID3 (Heavy Traffic 3)		28.8	
	TH_MED_ID1 (Medium Traffic 3)		0.5	
	TH_MED_ID2 (Medium Traffic 2)		0.1	
	TH_LIT_ID 1 (Light Traffic 1)		0.5	
	TH_LIT_ID 2 (Light Traffic 2)		0.1	
	TH_LIT_ID 3 (Light Traffic 3)		15	
	TH_INC_CLR (Termination)		0.31	
	TH_CW1 (Comp. Wave THR 1)		30	
	TH_CW2 (Comp. Wave THR 2)		0.5	
TH_PT (Persistence Check)		0.5		
DELOS	Default / THR Item	M.A.	MED	Expo
	Window_size_past	5	5	5
	Window_size_curr	3	3	3
	smoothing_factor	0.00	0.00	0.05
	TH_DELOS_ID1	0.40	0.40	0.15
TH_DELOS_ID2	0.20	0.20	0.05	
SAO	THR Item	Urban	Rural	
	TH_Low_Q	~ 500vph	~ 600vph	
	TH_Med_Q	600 ~ 1,150vph	600 ~ 1,350vph	
	TH_High_Q	1,150vph +	1,350vph +	
	TH_AS_1	10 %		
	TH_AS_2	22 %		
	TH_AS_3	33 %		
TH_TS	0.25			

APID에는 기본적으로 사용되는 기정 임계값을 적용하였으며 따로 튜닝을 수행하지 않았다. DELOS는

몇 개의 매개변수 후보군을 만들고 시행착오를 통해 성과를 평가, 가장 좋은 성능을 내는 값들 사용하였다. SAO에는 임계값은 교통량 변화 수준에 따라 정해진 값을 적용하였다.

### 2. 알고리즘 성능평가 척도

AIDA의 성능을 측정하기 위한 평가 척도로는 효과를 측정하는 지표로 사용되는 검지율(Detection Rate, DR)과 오검지율(False Alarm Rate, FAR), 효율성을 나타내는 지표인 평균검지시간(Mean Time To Detect, MTTD)이 가장 기본적인 지표인데 모두 성능평가 항목으로 채택하였다.

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

$$FAR = \frac{\text{전체알람건수} - \text{검지된알람건수}}{\text{알고리즘수행건수} \times \text{station 건수}}$$

$$\text{Type1 FAR} = \frac{\text{돌발상황기간중 미검지된 Alarm 건수}}{\text{돌발상황 station 건수}}$$

$$\text{Type2 FAR} = \frac{\text{돌발상황오보건수}}{\text{전체 station 개수} - \text{돌발상황 station 개수}}$$

$$MTTD = \frac{\sum(\text{돌발상황발생시간} - \text{경보시작시간})}{\text{총 돌발상황 발생건수}}$$

또 FAR와 반대되는 개념인 CR(Classification Rate)과 여러 가지 성능평가척도를 결합, 종합하여 하나의 평가지표로 나타내는 CI(Composite Index), PI(Performance Index)도 주요 평가척도에 속한다.

$$CR = \frac{\text{number of instances correctly classified}}{\text{total number of instances}} \times 100$$

$$CI = \frac{DR \times (1 - FAR)}{MTTD}$$

$$PI = (1 - DR/100)^m \times FAR^n \times MTTD^p \times (1 - CR/100)^q$$

### 3. AIDA 알고리즘 성능평가 비교 분석

본 연구가 제안하는 알고리즘의 튜닝에 사용된 4 세트의 내부순환로 돌발상황 원시자료를 활용하여 모형검증을 위한 성능평가를 수행하였으며, 이어 10 세트의 경부고속도로 자료를 활용하여 이식성

검사를 포함한 본격 성능평가를 이행하였다.

1) 모형검증을 위한 성능평가 (내부순환로)

가장 기본적인 척도인 검지율, 오보율, 평균검지 시간과 함께 오보율과 반대되는 개념인 CR, 여러 가지 평가척도를 하나의 성능평가 지표로 만든 CI와 PI 모두를 성능평가 척도로 선택하고 비교·평가를 수행하였다. 성능평가 결과, 검지율 부문에서는 4가지 알고리즘 모두 100%의 검지율을 보였다.

<Table 7> FAR for Naebu Expressway Data

Index Class	APID	DELOS	SAO	DiFI
Type1 FAR (%)	25.00	86.82	13.64	10.91
Type2 FAR (%)	1.00	1.45	2.22	0.33
FAR (%)	5.66	18.04	4.77	2.41

1종 오보율은 DiFI 알고리즘이 10.91%로 가장 낮아 제일 우수한 것으로 분석되었으며, 2종 오보율의 경우에도 DiFI 알고리즘이 0.33%로 가장 좋은 성능을 보였으나 SAO 알고리즘은 2.22%로 가장 낮은 성능을 보였다. 종합오보율 역시 DiFI 알고리즘이 2.41%로 가장 우수한 것으로 분석되었다. DELOS는 돌발상황 발생 구간의 상류에 위치한 검지 구간 자료가 입력되면 혼잡이 상류로 전파되는 것을 돌발상황과 구별하지 못하기 때문에 높은 오보율을 보이는 것으로 판단된다.

<Table 8> MTTD/CR for Naebu Expy. Data

P. Index	APID	DELOS	SAO	DiFI
MTTD (min)	1.5	1.75	1.5	1.38
CR (%)	94.72	81.23	94.89	97.56

평균검지시간은 DiFI 알고리즘이 1.38분으로 가장 신속함을 보이며 CR 평가에서도 DiFI 알고리즘이 97.56%로 가장 좋은 성능을 나타냈다.

<Table 9> CI/PI for Naebu Expy. Data

P. Index	APID	DELOS	SAO	DiFI
CI	148.20	117.22	148.44	156.34
PI	5.35	19.06	5.18	2.47

CI는 평가지표가 높을수록 좋은 성능을 나타내는 지표로 DiFI 알고리즘이 156.34로 가장 좋은 성능을 보였다. PI는 지표 수치가 낮을수록 좋은 성능을 의미하게 되는데, 역시 DiFI 알고리즘이 2.47로 가장 우수한 것으로 분석되었다.

2) 이식성 검사 (경부고속도로 자료군)

DiFI 알고리즘이 내부순환로와 같이 복잡한 도시가 아닌, 지방부 고속도로에서도 여전히 적용 가능한지 판단하기 위하여 10 세트의 경부고속도로 돌발상황 검측자료를 확보·정리·보정하여 교통량 수준에 따라 구분한 다음, 이식성 검사를 수행하였다.

<Table 10> FAR for Gyeongbu Expy. Data

Class		APID	DELOS	SAO	DiFI
High Vol	Type1 FAR	4.91	80.64	3.32	2.52
	Type2 FAR	3.77	3.62	3.91	1.74
	FAR	4.17	30.83	3.70	2.01
Med Vol	Type1 FAR	24.42	77.33	14.24	17.15
	Type2 FAR	2.03	2.42	6.47	1.40
	FAR	6.76	18.24	8.11	4.73

1종 오보율은 DiFI 알고리즘이 High Volume 상황에서 2.52%로 가장 좋은 성능을 보이고 있으며, Med Volume 상황에서는 14.24%로 분석된 SAO 알고리즘 다음으로 DiFI 알고리즘이 17.15%로 집계되어 약간 뒤처지는 성능을 보였다. 2종 오보율에서는 DiFI 알고리즘이 교통량 수준에 관계없이 각각 1.74%, 1.40%로 가장 낮아 최상의 성능을 보였으며, 종합 오보율에서도 마찬가지로였다.

<Table 11> MTTD for Gyeongbu Expy. Data

Class	APID	DELOS	SAO	DiFI
High_Vol	1.40	1.80	1.40	1.10
Med_Vol	1.80	2.20	1.40	1.40

평균검지시간 부문에서도 DiFI 알고리즘이 High Volume 상황에서 1.10분, Med Volume 상황에서 1.40분을 나타내 가장 우수한 것으로 평가되었다.

〈Table 12〉 CR/CI/PI for Gyeongbu Expy. Data

Index	Vol level	APID	DELOS	SAO	DiFI
CR	High_Vol	95.64	66.75	95.93	97.77
	Med_Vol	90.04	78.29	91.58	94.15
CI	High_Vol	149.49	64.58	149.43	167.12
	Med_Vol	122.82	78.29	164.88	177.92
PI	High_Vol	4.31	34.18	3.98	2.14
	Med_Vol	10.37	22.95	8.85	5.85

검지율을 상세하게 뜯어보는 샘플인 CR 부문에서도 DiFI 알고리즘이 교통량 수준에 상관없이 각각 97.77%, 94.15%를 보여 가장 우수한 것으로 분석되었다. CI 부문 성능평가에서도 DiFI 알고리즘이 High Volume 상황에서 167.12, Med. Volume 상황에서 177.92을 보여 타 알고리즘을 능가하는 성능을 보여 주었으며 PI 부문에서 역시 DiFI 알고리즘이 High Volume 상황에서 2.14, Med. Volume에서 5.85을 보여 가장 우수한 것으로 분석되었다.

## VI. 결 론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다수의 매개변수 관리에 드는 노력을 최소화하고 전처리나 필터링 등의 작업이 거의 필요치 않은, 동시에 동일한 교통 흐름 상황에서도 발생하는 지점간 검측 자료값 차이 극복을 통해 오보율을 낮추는, 교통류이론을 기초로 한 돌발상황 자동감지 알고리즘을 개발하였다.

알고리즘의 성능평가에서는 보편적으로 사용되는 검지율, 오보율, 평균검지시간과 함께 CR, CI, PI 산정을 추가 수행하였다. 분석 결과, 검지율의 경우 4가지 알고리즘 모두 100%의 검지율을 보였는데 이는 분석에 사용한 샘플이 돌발상황이라 확실히 판단되는 자료를 사용하였기 때문이다. 하지만 오보율의 경우는 DiFI 알고리즘이 가장 낮은 오보율을 보였으며, 검지시간 또한 DiFI 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보였다. CR, CI, PI 성능평가에도 DiFI 알고리즘이 기존의 비교 대상 알고리즘들을 넘어서는 성능을 보이는 것으로 평가되었다.

비교 대상을 국내에서 적용한 알고리즘으로 한

정하고 알고리즘들의 매개변수 튜닝과정이 충실하지 못한 약점을 가지고 있으나 본 연구에서 제안하는 AIDA가 고속도로와 같은 전형적인 연속류도로에서 돌발상황을 감지하고 상황전이를 추적하는데 기존의 알고리즘보다 더 효과적이고 경제적인 수 있다는 충분한 가능성을 보여 주었다고 판단한다. 다만 제한된 스케일의 시공간적 자료를 바탕으로 off-line에서 알고리즘을 수행하고 성능평가를 실시하였기 때문에 on-line 상태에서 적용하여 장시간동안 DiFI 알고리즘의 성능을 평가할 필요가 있다고 사료된다. 특별히 반복정체 상황이 적절히 포함된 온/오프라인 상태에서의 추가 검증과 그에 따른 보완과 개선도 뒤따라야 할 것이다. 본 연구가 강조하는 간결함과 유지관리의 용이함과는 거리가 있으나 AI, Neural Network 기반의 알고리즘과도 비교되어 볼 수도 있으며 동료 연구자들에 의해 가장 최신의 자료로 다양한 방법으로 비교·분석되는 과정도 필요할 것이다. 구조가 간결하고 유지관리 노력이나 비용 등으로부터 상대적으로 자유로운 알고리즘에 대한 인식 변화와 함께 모니터링이 필요한 구간들을 중심으로 적합한 AIDA가 채택되고 또 활용되기를 바란다.

## REFERENCES

- [1] Seo J.(2003), *A Comparative Study of ILDs and VIPs as Data Collection Methods for Freeway Congestion Management*, Master's Thesis, Kyonggi University.
- [2] Kim S.(2004), *A Study of FAR Reduction Methods for AIDAs by Adjusting Data Discrepancy Between Video Image Detector Stations*, Master's Thesis, Kyonggi University.
- [3] Dudek C., Messer C. and Nuckles N.(1974), "Incident Detection on Urban Freeways," *TRR-495*, pp. 12-24.
- [4] Payne H. and Tignor S.(1978), "Freeway Incident-Detection Algorithms Based on Decision Trees with States," *TRR-682*, pp. 30-37.

- [5] Levin M. and Krause G.(1978), "Incident Detection: A Bayesian Approach," *TRR-682*, pp. 52-58.
- [6] Cook A. and Cleveland D.(1974), "Detection of Freeway Capacity-Reducing Incidents by Traffic-Stream Measurements," *TRR-495*, pp 1-11.
- [7] Chow E. et. al.(1977), *Dynamic Detection and Identification of Incidents on Freeways Volume I: Summary*, ESL-R-764 EE Lab., MIT.
- [8] Persaud B., Hall F. and Hall L.(1990), "Congestion Identification Aspects of the McMaster Incident Detection Algorithm," *TRR-1287*, pp. 167-175.
- [9] Dudek C., Weaver G., Ritch G. and Messer C.(1975), "Detecting Freeway Incidents under Low-volume Conditions," *TRR-533*, pp. 34-43.
- [10] Lin W. and Daganzo C.(1997), "A Simple Detection Scheme for Delay-inducing Freeway Incidents," *Transportation Research* 31A(2), pp. 141-155.
- [11] Ozbay K. and Kachroo P.(1999), *Incident Management in Intelligent Transportation Systems*, Artech House.
- [12] Stephanedes Y. and Chassiakos A.(1993), "Freeway Incident Detection Through Filtering," *Transp. Research-C*, vol. 1, no. 3, Pergamon, pp 219-233.
- [13] FHWA(1996), *Traffic Control Systems Handbook*, USDOT.
- [14] FHWA(1997), *Freeway Management Handbook*, USDOT.
- [15] Kim S. and Kim Y.(2008), "Development and Evaluation of AIDA Using Modified Flow-Occupancy Diagram," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 4, pp. 229-239.
- [16] Choi J., Shin C. and Kang S.(2012), "Development of an AIDA for Uninterrupted Flow by Diminishing the Random Noise Effect of Traffic Detector Variables," *Journal of the Korea Institute of ITS*, vol. 11, no. 2. pp. 29-38.
- [17] Chen S., Wang W. and Zuylen H.(2009), "Construct Support Vector Machine Ensemble to Detect Traffic Incident," *Expert Systems with Application*, vol. 36, Issue 8, pp.10976-10986.
- [18] Brumback T., Fonseca D. and Moynihan G.(2011), "A Mathematical Model for Freeway Incident Detection and Characterization: a Fuzzy approach," *IJDS*, vol. 2, no. 1. pp. 1-16.

저자소개



**이 규 순 (Lee, Kyu-Soon)**

2013년 2월 : 경기대학교 도시·교통공학과 석사  
2013년 2월 ~ 2013년 9월 : (주)세인시스템 개발팀  
2013년 11월 ~ 2014년 11월 : 도로교통공단 교통과학연구원 연구원  
2014년 11월 ~ 현 재 : (주)동림TNS 교통계획부 대리  
e-mail : ehxodnm@naver.com



**신 치 현 (Shin, Chi-Hyun)**

1993년 6월 : NYU Tandon School of Engineering (교통공학 박사)  
1993년 7월 ~ 1996년 2월 : 한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구원  
1996년 3월 ~ 현 재 : 경기대학교 도시·교통공학과 교수  
e-mail : chshin@kgu.ac.kr