

ITS 有故檢知 시스템 設計 및 具顯

(Design and Implementation for Incident Detection Algorithm in Intelligent Transportation System)

전성주(Seong-Ju Jeon)¹⁾ 백청호(Cheong-Ho Baek)²⁾ 최진탁(Jin-Tak Choi)³⁾

요 약

ITS(지능형교통시스템 : Intelligent Transportation System)는 첨단 정보통신, 전자제어, 교통공학 등의 기술을 기반으로 실시간 교통정보를 이용자에게 제공하는 시스템이다. ITS의 운영효율을 높이기 위해서는 유고(사고, 고장차량, 행사, 통제 등) 발생시 신속히 발견하고 조치할 수 있는 체계를 갖추는 것이 중요하다. 그러나 지금까지 개발된 ITS 유고검지 시스템 중에서 신뢰성이 높은 것은 많지 않다. 이 연구에서 제시한 유고검지 시스템은 운영자가 유고판단에 필요한 모수들을 가급적 정확하게 추정할 수 있도록 의사 서비스수준(Pseudo level of service)의 개념에 기초한 범위(Range)를 설정함으로써, 기존의 유고검지 시스템의 문제점을 개선하였다.

ABSTRACT

ITS(Intelligent transportation system) provides users with realtime traffic information based on technologies such as advanced information & telecommunication, electronic control and transportation engineering. To operate efficient ITS, it is necessary to quickly identify and take actions for incidents(accidents, broken vehicles, public functions, traffic control, etc.). However, there have been few reliable incident detection algorithms developed so far. The algorithm presented in this study greatly resolved the problems in the existing incident detection algorithms, which determine incidents according to the input of constant values, by defining ranges based on the concept of pseudo level of service. With this improvement, operators can determine the incident detection parameters more accurately.

1) 정회원 : 강원대학교

2) 정회원 : 강원대학교

3) 정회원 : 인천대학교

논문접수 : 2004. 3. 9.

심사완료 : 2004. 3. 17.

본 연구는 한국 과학 재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

I. 서론

사회가 발전함에 따라 교통문제는 더욱 심각해져 국가발전에 악영향을 미치고 있다. 이에 대한 대책으로 추진되어 왔던 교통시설 건설, 수요억제 등 양적 관리에 중점을 둔 교통정책 대신, 최근에는 교통시설의 효율적 활용이라는 시각에서 접근한 지능형 교통시스템(ITS : Intelligent transportation system)이 새롭게 주목받고 있다.

ITS는 첨단정보통신, 전자제어, 교통공학 등의 기술을 기반으로 실시간 교통관련정보를 VMS(Variable message sign : 도로전광표지), 인터넷, ARS(Automatic response system : 전화 자동응답 시스템) 등을 통해 이용자에게 제공하여, 속도개선, 교통체증 완화, 교통사고예방 및 신속한 사고처리, 교통공해 감소 등 교통문제를 해결하기 위한 시스템이다.

국내 ITS 추진현황은 1999년 제정된 ITS 구축 및 운영, 연구개발, 산업화 및 표준화, ITS 기본계획수립 등의 내용을 담고 있는 '교통체계효율화법'에 근거하여, 2001년에 'ITS 기본계획 21'이 수립되었다. 이 계획에는 2001년부터 2020년까지 3단계로 나누어 약 8조3천억원의 예산을 투입하며, 7개 분야 62개의 단위서비스를 추진할 예정이다.

ITS의 운영효율을 높이기 위해서는 교통혼잡의 근본원인을 제거해야 하며, 정체 발생 시 신속히 발견하여 필요한 조치(우회유도, 사고처리, 도로통제 등)하여야 한다. ITS에서 교통정체를 조기에 검지하기 위한 수단이 바로 유고검지 시스템이다.

이 연구는 ITS 이용자에게 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있는 유고검지 시스템을 제시하는 데 그 목적이 있다.

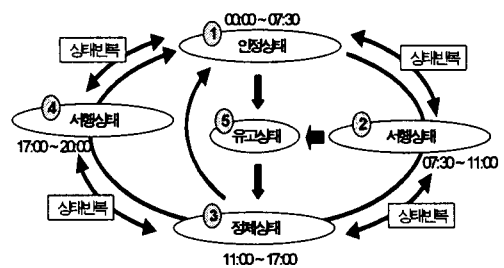
이를 위해 교통수요 기반의 유고검지 시스템 연구모형을 설계하고, 모의시험과 현장검증 및 성능평가를 수행하였다.

'유고(有故 : Incident detection)'라 함은 정상적인 교통류에 교란(Disturbance)을 일으키는 요인으로써, 사고, 고장, 행사, 도로의 일부 차단 등 도로의 용량을 감소시키는 사건으로 정의한다. 교통류(交通流 : Traffic flow)란 도로상에서 차량군(車輛群 : Platoon)의 진행을 말한다.

유고는 교통혼잡에 의한 유고와 사고에 의한 유고로 분류한다. 전자는 지역적·시간적 특성으로 교통혼잡이 일상적으로 발생하는 반복정체(Recurrent congestion)로서 유고검지 대상에 포함하지 않으며, 후자는 사고, 고장, 행사 등의 비반복정체(Non-recurrent congestion)로서 유고검지 대상에 포함한다.

유고발생 시 교통흐름의 특성은, 상류(출발지점)에서 높은 점유율과 낮은 속도의 정체영역이 발생되고, 하류(도착지점)에서는 낮은 점유율과 높은 속도의 비정체영역이 발생된다.

교통류는 연속적인 흐름의 특성을 갖기 때문에 일반적인 혼잡발생 시 <그림 1>과 같이 교통류는 ①→②→③→④의 순서로 전이되거나, ①→②→③ 또는 ①→②의 순서로 전이된다. 따라서, 교통상황이 안정상태에서 정체상태로 급진전되는 경우가 유고상황 이외에는 발생하지 않는다.



<그림 1> 유고상황 시 교통류 전이도

II. 유고검지 이론 비교

2.1 유고검지 개요

2.2 기존 유고검지 알고리즘의 종류

1) 비교 또는 형태인식 알고리즘

① 캘리포니아 알고리즘

점유율의 차이가 유의하다고 판단되면 유고 발생으로 선언한다.

② 다목적 유고검지 알고리즘(APID)

(All purpose incident detection algorithm)

캘리포니아 알고리즘을 확장·통합한 구조로서, 압축과 검사와 지속성 검사 기능을 갖추고 있다.

2) 통계학적 알고리즘

① Standard normal deviation 알고리즘

과거의 평균차선 점유에 대한 기록과 SND (평균에서 구한 표준편차들의 수)를 비교하여 유고를 검지한다.

② Bayesian 알고리즘

하류부 차선의 차단에 의해 유고신호가 발생할 확률을 계산하기 위하여 Bayesian 통계기법을 이용한다.

3) 시계열 알고리즘

① DES(Double exponential smoothing)

하나의 교통변수를 시계열에서 불규칙성을 찾아내기 위하여 단기 예측기법을 이용한다.

② Dynamic model

속도, 교통량, 밀도의 교통변수를 전개시킴에 있어, Dynamic 모형을 이용한다.

4) 파국이론 알고리즘

① McMaster 알고리즘

교통류에 파국이론(Catastrophe)을 적용한 것으로서, 비혼잡에서 혼잡으로 교통상황이 이동할 때 교통류와 점유율은 순조롭게 변화하는 반면 속도는 급격하게 변하게 된다.

현재 3단계 버전까지 발전되었고, 초기버전인 McMaster-I은 검지율에 초점을 맞춰 정체시 유고상황에 대한 문제를 극복하지 못했으나, McMaster-III은 오검지율을 최소화하는 것에 초점을 맞추어 정체시 유고검지 문제를 극복하였다.

2.3 유고검지 알고리즘 적용사례

1992년 한국도로공사에서 시행한 FTMS

(Freeway transportation management system : 고속도로 교통관리시스템)에 국내 처음으로 유고검지 알고리즘이 도입되었으며, 최근에는 도시부 교차로 및 고속화도로 등의 ITS 사업에 다양한 모형들을 적용하고 있다.

<표 1> 유고검지 알고리즘 적용사례

사업명	사업범위	구축년도	적용년도	적용모형
서울시 ITS 1공구	내부순환도로	2000~02	2002년	APID McMaster
서울시 ITS 2-1공구	북부간선도로 강변북로	2001~04	2004년	APID McMaster
서울시 ITS 2-2공구	올림픽대로 한강교량 노들길	2003년~	-	APID McMaster
전주시 ITS 모델도시	전주시	2002~03	2003년	APID
대전시 ITS 모델도시	대전시	2002~03	2003년	APID
제주시 ITS 모델도시	제주시	2002~03	2003년	APID
울산시 ITS 사업	16km구간	2002년~	-	APID
한국도로공사 FTMS 구축	경부선 서울-대전	1992~94	1994년	APID, DES DELOS
고속도로 우회국도 ITS 구축용역	480km 국도구간	2003년~	-	APID, DES McMaster DELOS ADVANCE

위의 표에서 나타난 바와 같이, 국내 모든 ITS 사업에서 유고검지를 위해 APID가 필수적으로 적용되고 있다.

즉, APID를 통한 유고검지를 기본요건으로 하고, 다른 알고리즘의 수행결과를 부가적으로 참조하는 소위 찬반방식(Voting technique)을 적용하고 있다.

III. 유고검지 시스템 연구

3.1 의사 LOS 개념의 도입

교통공학에서 서비스 수준(LOS : Level of service)은 일반인들이 교통류 상황을 빠른 시간안에 관측할 수 있도록 정의한 것으로서, 교

통소통상황에 따라 A등급에서부터 F등급까지 분류하고 있다.

TRB, Highway capacity manual special report 209에 의하면 LOS와 관련하여 밀도와 점유율의 상호 관계를 다음 <표 2>와 같이 정의하고 있다.

<표 2> 밀도 및 점유율에 따른 LOS 기준

Density	Occ.	LOS	Flow condition	
0~12	0~5	A	Free Flow Operations	Uncongested Flow Conditions
12~20	5~8	B	Reasonable Free Flow Operations	
20~30	8~12	C	Stable Operations	
30~42	12~17	D	Borders on unstable operations	
42~67	17~28	E	Extremely unstable flow operations	Near-Capacity Flow Conditions
67~100	28~42	F	Forced/break down operations	Congested Flow Conditions
> 100	> 42		Incident situation operations	

일반적으로 LOS A~D등급까지는 소통원활 상태로서 일반적으로 한산상태로 정의한다. E의 경우에는 지체상태이며, F는 정체상태를 정의한다.

LOS 등급은 밀도를 기준으로 분류하므로, ITS에서 수집되는 교통자료인 교통량 및 속도를 활용하여 실제 교통상황을 정확하게 구별하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제는, 기존의 여러 ITS 사업을 통해 확인된 바와 같이, 유고검지 성능을 떨어뜨려, ITS 운영효율을 낮게 하는 문제를 야기시키고 있다.

따라서, 본 연구에서는 교통상황을 보다 명확히 구분할 수 있도록 다음 <표 3>과 같이 속도와 밀도의 관계를 통하여 교통상황을 구분하는 의사 서비스수준(PLOS : Pseudo LOS)을 새롭게 정의하였다.

<표 3> 속도 및 밀도에 따른 PLOS 기준

PLOS	Index	Speed (Km/h)	Density	Density Ratio	Density (%)	Traffic Status
A	1	85이상	9.6	0.2	25%	Free Flow
B	2	65~85	13.4	0.3	34%	
C	3	45~65	18.7	0.5	48%	Near Capacity
D	4	25~45	26.0	0.7	66%	
E	5	10~25	33.4	0.8	85%	Congestion
F	6	0~10	39.5	1.0	100%	Jam Status

현장 수집자료를 분석한 결과, 임계속도 (Critical speed)는 약 25km/h, 임계밀도 (Critical density) 약 26대/Km 수준에서 나타나므로, 기존 LOS 기준에 비해 매우 현실적인 교통상태 판단기준으로 보인다. 여기서 임계 (Critical)값이란, 교통상태를 한산상태와 혼잡상태로 판단하는 기준을 말한다.

유고를 검지하는 기준을 PLOS 2등급으로 설정하면, 속도 20km/hr~40km/hr 이상의 단위시간당 평균속도의 편차를 전제하므로, 교통류의 급격한 변동요인을 충분한 판단할 수 있는 기준이 된다.

이러한 유고검지 기준은 실제 계측되는 현장의 교통정보를 토대로 운영자가 필요시 조정할 수 있으며, 만약 설정된 기준이 민감하여 오검지가 급격히 증가하는 경우에는 PLOS를 한 등급씩 증가시킴으로써, 오검지율을 감소시킬 수 있다.

상기의 Template은 APID와 같이 교통류 패턴이 있는 경우에 요일별·시간대별로 적용기준을 재설정하여 전략적으로 적용할 수 있으며, 위에 제시한 PLOS의 정의를 운영자의 필요에 따라 등급을 A~F 이외에 더욱 세분화하여 재정의할 수도 있다.

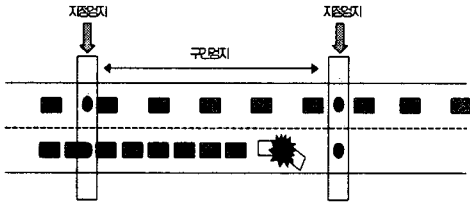
3.2 지점 및 구간 유고검지 모형

유고검지는 일반적으로 지점검지와 구간검지로 구분된다.

지점검지는 한 지점에서 옆 차로간 LOS 차이를 한산상태와 근포화상태에서 검지하는 것이며, 과포화 상태에서도 검지효과를 기대할 수 있다.

구간검지는 상류부와 인접하는 하류부의 교

통상태를 비교하여 검지하는 것이며, 판단 기준은 역시 LOS의 차이가 된다.



<그림 2> 유고상황 정의 개념도

유고상황은 지점유고와 구간유고를 수행하므로, 특정상황에서는 구간 및 지점유고가 동시에 검지될 수도 있다. 알고리즘 특성상 지점유고가 선행하여 검지되고, 이후 구간유고가 검지되는 것이 정상적인 결과이다.

유고검지 알고리즘은 다음의 Greenberg model을 기초로 하며, 지점내 각 차선별 밀도 변화에 의한 유고판단과 지점간 밀도변화에 의한 유고판단을 매 주기마다 수행한다.

$$U = U_m \times \ln\left(\frac{K_i}{K}\right)$$

$$K = K_i / \exp\left(\frac{U}{U_m}\right)$$

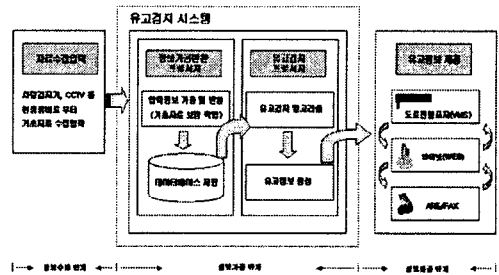
단, $U = \text{Speed}$
 $U_m = \text{Critical speed}$
 $K = \text{Density}$
 $K = \text{Jam density}$

이 Model은 각 지점의 임계속도와 최대밀도를 필요로 하며, 여기에 필요한 모수들은 ITS에서 현장으로부터 실시간으로 수집되는 교통자료에 의하여 자동 생성된다.

IV. 유고검지 시스템 설계 및 구현

4.1 유고검지 시스템 설계

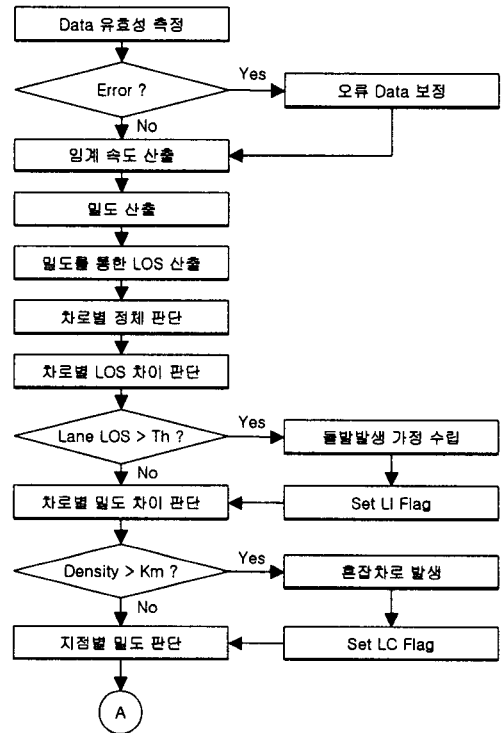
유고검지 시스템의 기본적인 구성도는 <그림 3>과 같다.

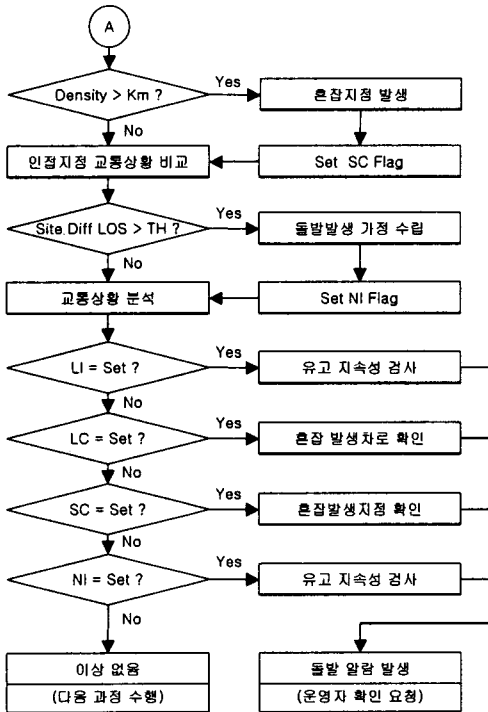


<그림 3> 유고검지 시스템 구성도

4.2 유고검지 시스템 구현

앞서 설명한 유고검지 시스템의 알고리즘 흐름도는 <그림 4>와 같다.





<그림 4> 유고검지 시스템 알고리즘 흐름도

1) 데이터 유효성 측정

플링 주기마다 수집되는 자료(교통량, 속도, 점유율, 차두 간격 등)를 기준으로 자료의 한계성 측면의 신뢰도를 검증한다.

2) 오류 데이터 보정

수집 데이터가 신뢰할 수 없다고 판정될 경우, 현재의 자료를 Missing data로 간주하고, 인접차로 혹은 상 하류부의 수집정보를 이용하여 보정처리를 한다.

3) 임계속도 산출

'교통량이 최대인 시점에서의 속도'를 임계속도로 정한다.

4) 밀도산출

Greenberg model에 의하여 해당 지점의 속도를 기반으로 추정한다.

5) LOS 값 산출

산출된 밀도를 이용하여, 앞서 제시한 PLOS 테이블에 따라 LOS의 값을 산출한다.

6) 차로(지점)별 정체판단

차로(지점)별 속도 및 교통량 그리고 점유율

에 대한 패턴여부에 따라 정체판단 여부를 결정한다.

7) 차로별 LOS 판단

해당 차로간 LOS의 차이가 유고판단 기준보다 높으면 정체로 간주한다. 임계값은 기본적으로 2이상이며, 유고로 판정될 경우 Flag로 처리한다.

8) 차로별 밀도 판단

해당 차로에서 산출된 밀도가 유고판단 기준보다 높으면, 정체로 판단한다.

9) 차로(지점) 밀도 및 LOS

차로(지점)의 밀도가 임계값보다 높으면, 이를 정체상황으로 간주한다. 이때, 정체는 차선간 국지적 현상일 수 있으므로 Local congestion 프래그에 남긴다.

10) 인접 지점간 LOS 차이 산출

기준 지점을 대상으로 하류부 지점에서의 산출된 LOS의 차이를 구한다. 산출 결과, 상류부-하류부의 LOS 차이가 임계치보다 크면 이를 유고로 간주한다.

11) 유고경보

유고경보(Incident alarm)는 Local incident flag가 Set 되었으면, 요건에 따라 경보를 발생한다.

12) 정체경보

지점 정체이면 이를 경보하여 운영자가 모니터링한 후, 유고를 확인할 수 있도록 한다.

13) 유고지속성 검사

유고지속성 검사(Call tentative accident alarm)는 경보가 발생하면, 지속성 검사를 실행할 수 있으며, 지속성 검사는 LI Flag의 연속 Counter를 증가시켜 유고판단 기준이상이면 이를 실제 유고로 간주하도록 한다.

V. 성능평가 및 분석

5.1 성능평가 방법

유고검지 시스템의 성능평가 항목은 유고검지 관리범위와 운영 및 대응 목적에 따라 차이가 있을 수 있으나, 일반적으로 높은 유고 검지율의 확보와 낮은 오검지율을 기본요건으로 평가한다.

<표 4> 유고검지 시스템 성능평가 항목

평가항목	수 식	실 명
검 지 율	· 유고검지 시스템에 의해 검지된 유고건수 / 실제 유고 발생건수 × 100%	· 대상구간의 도로상에서 실제 유고가 발생한 총 건수 중에서 유고검지 시스템으로 유고가 검지된 건수의 백분율
오검지율	· 유고검지 시스템에서는 유고라고 판단하였으나, 실제로는 유고가 아닌 건수 / 유고검지 시스템에서 유고라고 판단한 총 건수 × 100%	· 유고검지 시스템의 수행 결과에 대한 비진실율. 즉, 시스템에서 유고라고 판단하여 알람을 발생시킨 총 건수 중에서 실제로는 유고가 아니었던 건수의 백분율

본 연구에서 제시한 유고검지 시스템은 '서울시 남산권 교통정보시스템'에 구현하였으며, 성능평가를 위해 다음 <표 5>와 같은 자료를 활용하였다.

<표 5> 유고검지 시스템 성능평가 자료 및 방법

구분	내 용	비 고
분석 기간	· 약 1개월간 (02.11.6.~12.2)	· 상황실 운영결과 자료활용
분석 대상	· 유고상황 기록일지 · 유고상황 기록 DB · 알고리즘 수행결과	· 유고상황 기록일지 및 DB상의 유고상황 선연내용과 알고리즘 수행기록자료를 비교하여 사전에 검지된 유고상황을 기준으로 검지수와 오검보수를 분석 · 교통사고 및 고장차량 기준
분석 항목	· 검지율 · 오보율 · 일평균 경보수 · 시간당 경보수 · 경보대비용고비용	

5.2 성능평가 결과분석

유고검지 성능평가 결과, 검지율 77.4%, 오검지율 56.4%로 조사·분석되었다.

<표 6> 유고검지 성능평가 결과

유고발생 건수	총 경보 건수	검지 건수	오검지 건수	검지율	오검지율
31	55	24	31	77.4%	56.4%

성능비교를 위해, 타 시스템의 유고검지 성능을 살펴보면, APID, AIDA, McMaster 등 3개의 알고리즘을 종합한 다중화 알고리즘을 적용하고 있는 '서울시 도시고속도로 교통관리시스템'의 경우, 유고 검지율 38.7%, 오검지율 78.7% 정도이다.

<표 7> 서울시 도시고속도로 교통관리시스템의 유고검지 성능

유고검지 시스템 종류	유고 발생 건수	총 경보 건수	검지 건수	오검지 건수	검지율	오검지율
APID	333	8,869	94	6,978	28.2%	78.7%
AIDA		21,416	24	21,219	7.2%	99.1%
McMaster		18,699	129	16,563	38.7%	88.6%
총 합	-	-	-	-	38.7%	78.7%

이외의 다른 교통정보시스템의 경우에도 이와 비슷한 수준을 보이고 있으며, 대부분 10~40% 정도의 검지율과 70~80% 정도의 오검지율을 나타내고 있다.

따라서, 본 연구에서 제시한 유고검지 시스템은 타 시스템에 비해 검지율은 월등히 높아지고, 오검지율은 현저히 낮아지는 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

본 연구에서는 속도와 밀도의 변화를 기준으로 하는 의사 서비스수준(PLOS : Pseudo level of service)의 개념에 기초하여 유도검지 시스템을 설계하고 이를 구현하였다.

설계 및 구현된 유도검지 시스템의 성능평가를 분석한 결과를 정리하면 아래와 같다.

첫째, 유도 검지율 약 77.4%와 오검지율 56.4%로 분석되어, 기존 국내에서 적용된 타 유도검지 시스템(검지율 10~40%, 오검지율 70~80%) 보다 성능이 우수한 것으로 판단되었다.

둘째, 기존의 유도검지 알고리즘들은 모수판단 기준치를 결정할 때, 운영자로 하여금 상수값을 적용하도록 요구함으로써, 급격히 변화하는 교통류 특성을 갖는 교통류의 경우 운영자가 적절한 모수를 설정하는데 어려움이 있거나 불가능한 경우가 빈번히 존재하였다. 하지만, 이 연구에서는 모수판단 기준치를 상수값이 아닌 범위(Range)로 설정할 수 있도록 함으로써, 운영자가 교통류 특성을 융통성 있게 해석하도록 편리성을 확보하여 기존 시스템들의 단점을 극복할 수 있었다.

이와 같이 검지율 및 오검지율 개선뿐만 아니라, 운영자의 편리성 측면에서 충분한 개선 효과가 입증되어, 향후 지속적인 시스템 안정화를 통해 오검지율을 낮추고 미비점을 보완하면, 더욱 신뢰성 있는 교통정보시스템 구현이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국 정보통신교육원, 지능형 교통시스템, 2003.
- [2] 서울시 시설관리공단, 서울시 도시고속도로 교통관리시스템 개발감지 알고리즘 성능 평가 및 튜닝방안 연구, 2002.
- [3] 한국도로공사, 고속도로 교통관리시스템 구축을 위한 소프트웨어 개발 및 시스템관리 용역보고서, 1995.
- [4] 백용현 외, FTMS관련 공무국의여행 귀국 보고서, 한국도로공사, 1994.

- [5] Ministry of Transportation and Communications Ontario Highway 401, "Freeway Traffic Management System Software Specification", 1987.
- [6] Frederic R. Harris, Incident Detection Issues-part 1, 'Polytechnic Institute and State University', 1995.
- [7] Martin T. Hagan. Howard B. Demuth." Neural Network Design", PWS Publishing, pp.2-11, Boston, 1996.

: 전 성 주 .



서경대 경제학과졸(경제학사)
연세대 산업대학원 전산전공(공학석사)
강원대 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학박사)

백 청 호



서울대학교 수학교육(학사)
성균관대학교 EDPS(석사)
경기대학교 생산관리(박사)
캐나다 토론토대학교 객원교수
현 재 강원대학교 교수

최 진 탁



경희대학교 대학원전자공학과 졸업(工學博士)
미국
University of Pennsylvania
객원교수
현 재 인천 대학교 컴퓨터공학과 교수

전공 및 연구분야 : 데이터베이스, 정보보호 및 암호학, 전산통계