

# 라틴방격분석법을 이용한 단속류도로에서의 유고감지기법 개발

## Development of Incident Detection Method for Interrupted Traffic Flow by Using Latin Square Analysis

모무기\* · 김형진\*\* · 손봉수\*\*\* · 김대훈\*\*\*\*

Mo, Mooki · Kim, Hyung Jin · Son, Bongsoo · Kim Dae Hun

### Abstract

In this study, a new method which can detect incidents in interrupted traffic flow was suggested. The applied method of detecting the incident is the Latin Square Analysis Method by using traffic traits. In the Latin Square Analysis, unlike other previously tried methods, the traffic situation was analyzed, this time considering the changes in traffic traits for each lane and for each time period. The data used in this study were the data observed in the actual field with fine weather. The traffic volumes, the vehicle speed and the occupancy rate were collected on the interrupted flow road. The data were collected in normal and incident situations. The incidents occurred on the second lane, the time of persistent incidents was set to 10 minutes. The Latin Square Analyses were performed using the collected data with the traffic volume, with the vehicle speed or with the occupancy rate. As a result in this study, in case of detecting the traffic situations with Latin Square Analysis, it will be more successful to apply traffic volume to detect the traffic situations than to apply other factors.

**Keywords :** interrupted flow, incident detection, Latin Square Analysis, incident detection rate, false alarm rate

### 요 지

본 연구에서는 단속류 도로에서의 유고상황을 감지할 수 있는 새로운 유고감지기법을 제시하였다. 유고감지를 위하여 적용된 방법은 교통특성들을 이용한 라틴방격(Latin Square)분석법이다. 라틴방격분석법을 이용하여 기존 연구사례에서 시도했던 방법과는 다르게 차로별, 시간대별 교통특성의 변화를 분석하여 유고상황을 감지하였다. 사용된 교통특성자료는 맑은 기상상태에서 정상운영시 또는 유고발생시 관측된 교통량, 속도, 점유율 자료이며, 유고시 자료는 2차로에서 10분간 유고가 발생했던 자료이다. 정상운영시 및 유고발생시에 대한 교통상황을 감지하기 위하여 교통량, 속도 및 점유율 등을 기준으로 각각 라틴방격분석을 시행했다. 분석결과, 라틴방격분석을 이용하여 교통상황을 감지하는 경우, 교통량을 기준으로 교통상황을 감지하는 것이 다른 교통특성을 기준으로 교통상황을 감지하는 것보다 감지능력이 우수한 것으로 나타났다.

**핵심용어 :** 단속류, 유고감지, 라틴방격분석, 유고감지율, 유고오보율

### 1. 서 론

유고발생시 신속히 유고상황을 감지하고 유고상황에 적합한 교통처리를 하는 것이 중요하다. 고속도로와 같은 연속류의 경우, 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법이 다양하게 연구되어 있으나, 단속류 도로에서 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법에 대한 연구는 연속류에 비하여 다양하지 않다. 단속류 도로에서는 연속교통류 운영조건과는 다르게 신호등, 이면도로 진출입 등 교통운영조건에 따라 교통특성이 다양하게 나타나기 때문이다. 그러나, 연속류 도로는 물론 단속류 도로에서도 유고발생시 신속히 감지하여 유고상황에 대한 교통영향을 최소화할 수 있도록 해야 한다. 따라

서, 단속류 도로에서 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 단속류 도로에서의 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법을 제시하는데 있다. 단속류 도로의 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법은 유고발생시 신속한 교통처리대책을 수립하고, 유고상황에 적절한 교통관리전략을 수립하는 데 활용될 수 있다.

본 연구에서 이용된 교통특성자료는 한국건설기술연구원에서 수행된 「2005년도 수도권 국도교통관리시스템 운영관리 업무 대행」사업에 의해 수집된 교통특성자료이다. 편도 3차로 단속류 도로에서 수집된 자료이다.

본 연구에서는 먼저, 차로별 교통량, 속도 및 점유율자료

\*정회원 · 교신저자 · (주)엠케이이엔지 대표이사 (E-mail : mkeng05@kornet.net)

\*\*연세대학교 도시공학과 교수 (E-mail : hyungkim@yonsei.ac.kr)

\*\*\*정회원 · 연세대학교 도시공학과 교수 (E-mail : sbs@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\*정회원 · (주)평화엔지니어링 교통계획부 전무이사 (E-mail : kbig@hanmir.com)

등 교통특성자료를 1분 단위로 수집하였으며, 정상운영시와 유고시에 각각 수집하였다. 유고가 발생한 시간은 오전 8시에서 오전 9시 사이이며, 2차로에서 유고가 발생하였고, 유고발생지속시간은 10분간 지속되었다. 둘째, 수집된 자료를 이용하여 라틴방격(Latin Square)배치 자료를 구축하였다. 셋째, 각각의 라틴방격배치에 따라 라틴방격분석을 실시하였다. 넷째, 각 교통특성별 분단위 시간의 변화에 따라 유고 및 정상운영상태에 대한 분석결과를 비교하였고, 유고 및 정상운영상태에 대한 감지능력을 비교하였다. 다섯째, 교통량, 점유율 및 속도 등 유고상황을 가장 잘 설명하는 교통특성을 파악하므로써 단속류 도로에서의 유고감지기법을 제시하였다.

## 2. 기존연구 사례

### 2.1 유고감지방법

기존의 연구사례에서 유고상황을 감지하기 위한 방법은 두 가지로 분류된다. 관측된 교통특성을 임계치와 비교하여 유고를 판단하는 방법과 유고감지모형에 의해 유고를 판단하는 방법이다. 관측치를 임계치와 비교하는 방법은 도로에서 관측된 교통특성을 임계치와 비교하여 임계치를 초과하거나, 임계치 미만이면 유고로 판단하는 방법이다.

기존 연구사례에서 관측치를 임계치와 비교하여 유고를 판단하는 방법은 표 1과 같다. 그런데, Bell 등(1988)의 연구에서는 교통량이 용량의 30% 이하인 경우 유고감지가 곤란하였다. Han 등(1989)의 연구에서는 모형이 제시되지 않고 알고리즘만을 제시하였으며, 유고판단을 위한 한계치를 제시하지 못하였다. 한계치는 검지기 위치, 교차로 구성요소, 시간, 기후, 기타 조건 등에 따라 달라지므로 한계치 결정이 어려움을 설명하였다. Bretherton 등(1991)의 연구에서는 정상상태를 유고상황으로 오보내는 사례가 있어 도시내도로에서 유고감지에 대한 한계를 제시하였다. Yorgos(1995)는 교

표 1. 임계치 비교에 의한 유고감지 기법 사례

구 분	유고 판단 방법	적용 지표
Bell & Thacanamootoo (1988)	• 상류부 점유율이 상한치를 초과하고, 하류부 점유율이 하한치 미만이면 유고선언	점유율
Han & May (1989)	• 유고감지 알고리즘을 제시 • 교통량과 점유율간의 관계에서 혼잡수준을 설정하고 혼잡수준에 따라 유고판단	교통량 점유율
Bretherton & Bowen (1991)	• 상류부 및 하류부 교통량이 감소하고, 상류부 점유율 증가 및 하류부 점유율 감소시 유고 판단 • 정확한 유고감지를 위해서는 링크상 2개 이상의 검지자료를 동시에 비교하여야 한다고 제시	교통량 점유율
Yorgos (1995)	• 교차로 유고감지 알고리즘 제시 • 개방된 차로와 폐쇄된 차로에서의 교통량 차이를 이용하여 유고발생 감지	교통량 점유율
Michael & Fred (1997)	• 과거 3개 주기동안 교통지표의 평균± 표준편차(또는 평균)을 기준치로 이용 • 혼잡영역과 비혼잡영역을 구분하는 LUD(Lower Bound of Uncongested Data)선을 이용하는 기법 제시	교통량 점유율

차로에서의 유고감지알고리즘을 제시하였으나, 개방된 차로와 폐쇄된 차로를 우선 판단해야 하며, 교차로에서는 차로수 제공의 검지기가 필요한 한계가 있어 적용이 곤란하였다. Michael 등(1997)은 하류부에서 신호등의 영향에 의한 간섭으로 유고감지가 어렵다는 한계를 설명하였다.

임계치를 비교하는 방법과는 다르게 유고감지모형에 의해 유고를 감지하는 방법으로서 판별모형, 귀속함수(membership function), 확률모형 등을 이용한 단속류 도로 유고감지 연구 사례가 있다. 기존 유고감지 모형에 의한 유고감지 연구사례는 표 2와 같다.

Sethi 등(1995)의 연구에서는 판별모형을 이용하였으며, 조사차량의 운영이 요구되었다. Lee 등(1998)은 귀속함수를 이용하였으며, 1차로유고시 낮은 검지율(42%)을 보였고, 귀속함수가 계속 갱신되어야함을 제시하였다. 황준환(2000)은 유고감지확률모형을 제시하였으며, 정지선 부근의 관측자료를 모형에 적용시 검지율이 20%수준으로 나타났고, 혼잡도가 60% 이상인 경우에 대한 자료만을 이용하였다.

표 2. 유고감지 모형 사례

구 분	유고판단방법	적용 지표
Sethi & Bhandari & Koppelman (1995)	• 판별분석을 이용하여 유고 판단 • 검지기자료와 조사차량(Probe vehicle)이 수집한 자료를 이용하여 유고를 판단 • 교통량과 점유율 등을 결합한 교통지표 이용시 신뢰성 높음	교통량 점유율 속도
Lee & Krammes & Yen (1998)	• 유고판단시 퍼지이론을 도입 • 평균대기행렬길이와 대기행렬의 증가율을 이용하여귀속함수(member-ship function)를 제시	대기 행렬
황준환 (2000)	• 유고시 점유율과 비유고시 점유율의 차이를 나타내는 유고발생시 교통특성치에 대한 모형식을 개발	점유율

### 2.2 자료수집 방법

Bell 등(1988)은 신호등의 신호주기에 의해 교통특성이 구분되어 나타나므로 신호주기를 자료수집 시간단위로 설정한다고 하였다. Bretherton 등(1991)의 경우도 자료수집의 단위를 신호주기로 설정하였다. Michael 등(1997)도 도시내 도로에서 자료를 집계하는 기준은 20초 등의 짧은 간격보다는 신호등의 신호주기 속성에 따라 1주기 또는 3주기 등으로 집계하여 사용하는 것이 타당하다고 하였다.

Bell 등(1988)과 Bretherton 등(1991)은 유고감지 알고리즘을 개발하기 위하여 영국에서 시행한 도시교통통제시스템인 SCOOT(Split Cycle Offset Optimization Technique)자료를 이용하여 현장에서 관측된 자료를 이용하였다. Yorgos(1995)는 TRAF-NETSIM는 시뮬레이션자료를 구축하기에 적합한 프로그램이라고 제시하고, 시뮬레이션에 의해 수집된 자료를 이용하였다. Lee 등(1998)은 TexSIM을 사용하여 시뮬레이션자료를 수집하여 이용하였으며, Sethi 등(1995)도 시뮬레이션에 의해 수집된 자료를 이용하였다.

단속류의 교통특성상 신호등의 신호주기에 의해 영향을 많이 받으나, 신속한 유고감지를 위해서는 신호주기 이하의 분단위 집계자료를 이용할 수 있어야 한다. 그러나, 단속류도

로에서 분단위집계자료에 의한 유고감지방법에 대한 연구가 많지 않았다. 또한, 기존 연구사례에서 실측자료를 이용한 경우는 주로 SCOOT에서 수집된 자료를 이용하는 경우가었고, 기타 연구에서는 자료 수집의 한계가 있어 시뮬레이션자료를 이용하였을 뿐 현장에서 수집된 자료를 이용한 연구사례는 많지 않았다.

### 2.3 라틴방격(Latin Square)분석법

#### 2.3.1 라틴방격의 구조

장석환(2002)에 의하면, k개의 숫자 또는 글자를 어느 행, 어느 열에도 하나씩만 있게끔 나열하여 총행 k개씩의 숫자 또는 글자가 4각형이 되도록 배치한 것을 k \* k 라틴방격(Latin square)배치라 하였다. 이와 같은 배치는 실험계획의 기본 원리인 랜덤화 및 블록화에 적합하며, 분석시 편이(bias)되지 않도록 하여 불편추정량에 의한 분석이 가능하도록 한다. 송서일(2001)은 라틴방격법을 적용하는데 있어 다음과 같이 3가지 요인(factor)에 대하여 k개의 수준(level)에 의한 라틴방격을 예를 들었다. 3가지요인을 A, B, C라하는 경우 그림 1과 같은 표준라틴방격배치를 얻을 수 있다.

	$A_1$	$A_2$	$A_3$			$A_k$
$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_{k-1}$	$C_k$
$B_2$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	...	$C_k$	$C_1$
$B_3$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	...	$C_1$	$C_2$
	$\vdots$					
$B_k$	$C_k$	$C_1$	$C_2$	...	$C_{k-2}$	$C_{k-1}$

그림 1. 3가지요인 k개수준 라틴방격행렬

즉, 관측값에 영향을 주는 요인이 A, B, C 3가지 요인이고, 관측조건이 각 요인별로 k개의 조건에서 수집된 자료를 라틴방격배치한 사례가 그림 1과 같다. 예를 들어, 그림 1의 행렬에서 1행 1열의 셀값은  $A_1, B_1, C_1$ 조건에서 관측된 값이며, 1행 2열의 셀값은  $A_2, B_1, C_2$ 조건에서 관측된 값이다. 또한, 3행 1열의 셀값은  $A_1, B_3, C_3$ 조건에서 관측된 값을 수집하여 배치한 사례이다.

#### 2.3.2 적용 및 분석방법

라틴방격배치에서 수정항(CF:Correction Factor), 요인별 변동(Sum of Square) 등을 다음과 같이 구할 수 있다(송서일, 2001).

$$CF = \frac{T^2}{k^2}$$

$$S_T = \sum_i \sum_j \sum_l (x_{ijl} - \bar{x})^2 = \sum_i \sum_j \sum_l x_{ijl}^2 - CF$$

$$S_A = \sum_i \sum_j \sum_l (x_i - \bar{x})^2 = k \sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = \sum_i \frac{T_i^2}{k} - CF$$

$$S_B = \sum_i \sum_j \sum_l (x_j - \bar{x})^2 = k \sum_j (\bar{x}_j - \bar{x})^2 = \sum_j \frac{T_j^2}{k} - CF$$

$$S_C = \sum_i \sum_j \sum_l (x_l - \bar{x})^2 = k \sum_l (\bar{x}_l - \bar{x})^2 = \sum_l \frac{T_l^2}{k} - CF$$

$$S_E = S_T - (S_A + S_B + S_C)$$

여기서,  $T, \bar{x}$ : 총 k<sup>2</sup>개의 데이터의 합과 평균

$T_i$ :  $A_i$  수준에서 측정된 k개의 데이터의 합

$\bar{x}_i$ :  $T_i/k$  ( $T_i$ 의 평균)

다음과 같이 각 요인별 불편분산은 요인별변동( $S_A$ )과 오차항( $\phi$ )의 비로 산출되고, 각 요인별 불편분산비  $F_0$ 는 각 요인의 불편분산과 오차항( $\phi$ )의 불편분산의 비로 산출된다.

$$V_i = \frac{S_i}{\phi}, F_0 = \frac{V_i}{V_E}$$

여기서,  $V_i$ : i요인(A, B, C)의 불편분산

$S_i$ : i요인(A, B, C)별 변동

$\phi$ : i요인(A, B, C)별 오차항

$F_0$ : 각 요인별 불편분산비

$V_E$ : 오차항의 불편분산

이와 같은 과정에 의해 표 3과 같이 라틴방격에 의한 분산분석표를 얻을 수 있다.

표 3. 라틴방격법의 분산분석표

요인	S	$\phi$	V	$F_0$
A	$S_A$	K-1	$V_A$	$V_A/V_E$
B	$S_B$	K-1	$V_B$	$V_B/V_E$
C	$S_C$	K-1	$V_C$	$V_C/V_E$
E	$S_E$	(K-1)/(K-2)	$V_E$	
T	$S_T$	$K^2-1$		

$V_i$ 는 i요인에 의해 관측된 관측치들의 분산을 의미하며,  $V_E$ 는 관측치들의 오차에 대한 분산을 의미한다. 여기서, 요인의 분산 대비 오차의 분산 비율이 충분히 크면, 통계적으로 관측값의 차이를 발생시키는 영향측면에서 오차에 의한 영향보다 요인에 의한 영향이 크다고 판단할 수 있다.

예를 들어, 요인 A에 대하여  $F_0 = (V_A/V_E) > F(\phi_A, \phi_E; \alpha)$ 이면, 유의수준  $\alpha$ 에서 A 요인에 의한 관측치 변동이 오차요인에 비하여 통계적으로 유의한 영향을 준다고 판정한다. 즉, A 요인의 영향이 유의하며, A 요인의 변동이 주는 효과가 관측치에서 유의한 차이가 있게 한다고 해석된다(송서일, 2001; 장석환, 2002).

## 3. 자료수집 및 자료특성

### 3.1 자료수집 방법

#### 3.1.1 도로 및 교통여건

본 연구의 조사대상구간은 국도 1호선 평택시 구간 중 평택시 비전사거리~법원입구사거리구간이다. 구간내 도로특성은 표 4 및 그림 2와 같다. 평택비전사거리~법원입구사

표 4. 본 연구의 조사대상 구간의 특성

구간	연장(km)	차로수(차로)	교차로(개)	신호등(개)	검지기(개)	검지기 평균 간격(m)
비전사거리~법원입구사거리	3.1	6	8	8	8	775

거리구간 내에는 주공아파트 단지, 현대 아파트 단지, 태산 그린 아파트, 한성아파트 단지 등으로 진출입하기 위한 진출입로가 연결되어 있으며, 김스클럽과 뉴코아 백화점 등이 도로변에 접해있고, 도로변으로 근린생활시설들이 입지하고 있다.

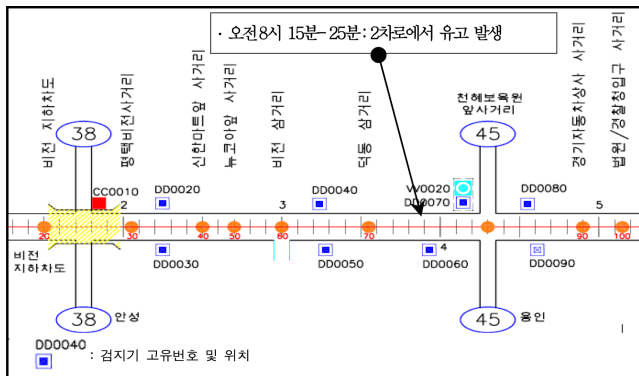


그림 2. 유고발생지점 및 유고발생시간

### 3.1.2 자료수집 방법 및 교통특성

#### 3.1.2.1 교통자료 수집시간 및 기상상태

먼저, 본 연구에서 수집된 자료는 오전 8시부터 오전 9시 까지 조사된 자료이며, 정상운영시와 유고발생시 교통특성자료를 수집하였다. 정상운영시 교통특성자료는 2005년 11월 16일 오전 8시부터 오전 9시까지 교통특성자료이며, 유고시 교통특성자료는 2005년 11월 17일 오전 8시부터 오전 9시 까지 교통특성자료이다. 자료를 수집하기 위한 자료수집 시간단위는 60초(1분)로 하였다.

표 5. 교통자료수집 대상 시간

구간	교통자료 수집 시간		수집단위
비전사거리 ~ 법원입구사거리	정상 운영시	2005년 11월 16일 오전 8시 ~ 오전 9시	60초 (1분)단위
	유고 발생시	2005년 11월 17일 오전 8시 ~ 오전 9시	

주) 1. 양일간 기상상태 : 맑음  
2. 17일 2차로 유고발생외에 통행제한 조건 없음

#### 3.1.2.2 교통자료 수집 방법

##### ① 정상운영시

유고가 발생되지 않는 정상운영시 교통특성자료를 조사대상 범위내 설치된 검지기로부터 차로별로 1분간격으로 수집하였다.

##### ② 유고발생시

유고상황은 편도 3차로 중 2차로에서 유고가 발생되었으며, 유고발생시 교통특성자료를 수집하였다. 유고발생 지속시간은 10분이었다.

표 6. 유고발생상황

유고발생시간	유고발생지점	유고발생 차로	비고
오전 8시 15분 ~ 오전 8시 25분	천혜보육원 앞 사거리에서 덕동삼거리방향	2차로	

### ③ 자료수집 대상 검지기

유고시 및 비유고시 교통자료를 수집·비교하기 위하여 유고가 발생한 지점에서 가까운 DD0070검지기부터 자료를 수집하였다. 검지기는 영상검지기로로서 도로에 측주식으로 설치되어 있는 검지장치이다.

#### 3.1.2.3 교통특성

교통량, 평균통행속도 및 점유율 등 수집된 자료를 차로별 일자별로 비교한 결과는 표 7과 같다. 16일 및 17일 양일간 교통특성이 차로별로 각각 다소 다르나, 16일과 17일의 교통특성 차이는 크게 다르지 않는 것으로 나타났다.

표 7. 차로별 일자별 교통특성(08시~09시)

구분	1차로	2차로	3차로	비고
교통량 (대/시)	16일	324	488	433
	17일	210	363	542
속도 (km/시)	16일	74.2	70.0	63.1
	17일	66.5	73.3	69.2
점유율 (%)	16일	24	22	35
	17일	39	28	43

주) 1. 유고시는 2차로에서 유고발생  
2. 유고시는 17일 8시15분부터 10분간 유고발생

## 4. 라틴방격배치

### 4.1 자료의 구성

본 연구에서는 오전 8시부터 오전 9시까지의 교통특성자료를 수집하였다. 그런데, 라틴방격분석법을 이용하여 교통상황을 감지하기 위하여, 본 연구에서 분석에 사용된 자료는 유고가 발생한 시점을 전후로 하는 1분단위의 관측자료들을 이용하였다.

또한, 3가지 교통특성을 분리하여 각각의 교통특성에 라틴방격분석을 적용하는 방법과 3가지 교통특성을 동시에 라틴방격분석에 적용하는 방법을 수행했다.

#### 4.1.1 요인설정 및 자료구성 방법

교통량, 속도, 점유율 등 3가지 교통특성을 분리하여 각각의 교통특성에 라틴방격분석을 적용하는 경우, 라틴방격분석을 적용하기 위한 3가지 요인은 차로요인, 분단위시간요인, 단위시간요인으로 설정하였다. 차로요인과 분단위시간요인은 차로별로 또는 분단위시간 변화에 따라 교통특성이 차이를 보이기 때문에 설정한 요인이다. 또한, 단위시간요인은 3개 요인으로 구성된 라틴방격배치 구성을 위해 설정한 세 번째 요인으로서, 1단위시간은 분단위 관측치 3개를 하나의 단위시간으로 정의하여 적용한 요인이다. 즉, 최초 1분, 2분 및 3분을 1단위시간으로 설정하였고, 4분, 5분 및 6분을 2단위시간으로 설정하였으며, 그리고 7분, 8분 및 9분을 3단위시간으로 설정하여 입력자료를 구축하였다. 이와 같은 설정에 의하여 1회의 라틴방격분석을 위해서는 차로별로 9개(9분간)의 자료가 필요하며, 1분단위로 시간이 변화함에 따라 자료가 갱신되어 분석되었다.

교통량, 점유율, 속도를 동시에 라틴방격분석에 적용하는

경우, 라틴방격분석을 적용하기 위한 3가지 요인은 차로요인, 분단위시간요인, 교통특성요인으로 설정하였다. 차로별로, 시간의 변화에 따라 교통특성이 변화함으로 이와 같은 3가지요인을 설정하였다. 교통특성 각각에 대하여 자료를 구성하는 경우와는 달리 자료의 구성은 차로별로 3개(3분간)의 자료가 필요하며, 1분단위로 시간이 변화함에 따라 자료가 갱신되어 분석되었다.

#### 4.1.2 자료구성 사례

라틴방격분석 1회를 수행하기 위해 구성된 자료사례는 표 8과 같다. 표 8의 자료는 교통량, 속도, 점유율 각각에 대하여 라틴방격분석이 1회 수행되고, 3가지 교통특성이 동시에 적용된 라틴방격분석이 1회 수행될 수 있는 자료이다.

교통량, 속도, 점유율 등 3가지 교통특성을 분리하여 적용하는 경우, 표 8과 그림 1을 비교하면, 그림 1에서 A요인은 표 8에서 분단위시간요인이고, 각각 B요인은 차로요인, C요인은 단위시간요인으로 설명될 수 있다. 또한, 교통량, 속도, 점유율 등 3가지 교통특성을 동시에 적용하는 경우, 표 8과 그림 1을 비교하면 그림 1에서 A요인은 표 8에서 교통특성요인이고, 각각 B요인은 차로요인, C요인은 분단위시간요인으로 설명될 수 있다. 이와 같은 자료는 시간의 경과에 따라 분단위로 갱신되어 분석되었다.

표 8. 라틴방격배치를 위한 자료구성 사례

구분	1차로 검지기			2차로 검지기			3차로 검지기			
	1분	2분	3분	1분	2분	3분	1분	2분	3분	
교통량 (대/60초)	1단위시간	6	1	0	13	4	3	20	2	7
	2단위시간	6	13	0	7	18	2	8	23	1
	3단위시간	7	6	4	12	3	7	4	6	4
속도 (km/시)	1단위시간	71	68	0	65	67	61	62	76	57
	2단위시간	66	77	0	67	63	65	68	54	55
	3단위시간	76	75	77	74	70	70	86	73	58
점유율 (%)	1단위시간	23	21	0	23	22	22	34	36	35
	2단위시간	25	20	0	21	23	21	39	45	54
	3단위시간	20	27	26	20	22	20	31	40	48
교통량, 점유율, 속도		교통량	속도	점유율	교통량	속도	점유율	교통량	속도	점유율
	1분	7	76	21	12	74	21	4	86	31
	2분	6	75	27	3	70	22	6	73	41
	3분	4	78	26	7	71	20	4	58	48

주) 1. 기타 분석시간대별로 별도의 자료를 구성  
2. 유고시도 정상운행시와 동일하게 자료를 구성

## 4.2 라틴방격배치

### 4.2.1 교통량, 속도, 점유율을 이용한 라틴방격 배치

차로 및 시간요인에 대한 라틴방격분석을 위하여 수집된 교통특성자료별로 표 9에서와 같이 라틴방격배치를 하였다.

### 4.2.2 교통량, 속도, 점유율을 동시에 고려한 라틴방격 배치

차로, 주기 및 교통특성 등 3가지 요인으로 라틴방격배치를 하는 경우에는 교통량, 점유율 및 속도 등 교통특성 각각에 대한 라틴방격배치와는 달리, 교통량 관측값, 점유율 관

표 9. 라틴방격배치 예

- 수집자료

구분	1차로 검지기			2차로 검지기			3차로 검지기		
	1분	2분	3분	1분	2분	3분	1분	2분	3분
1단위시간	20	0	20	23	21	20	45	20	31
2단위시간	27	26	19	22	20	17	40	48	33
3단위시간	0	30	20	19	22	20	53	30	29

### - 라틴방격배치

구분	1분	2분	3분	
1차로	1단위시간	2단위시간	3단위시간	⇒ 20 26 20 22 22 20 53 20 33
2차로	2단위시간	3단위시간	1단위시간	
3차로	3단위시간	1단위시간	2단위시간	

주) 각 교통특성별 및 분석시간대별로 자료 구성

측값 및 속도 관측값을 동일하게 비교하여 분석할 수 없다. 따라서 교통량, 점유율 및 속도 자료를 동일한 기준으로 비교할 수 있도록 각각 수집된 값을 다음과 같이 '표준정규분포(Standard Nomal Distribution)'화하여 표준화값을 산출하여 적용하였다.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

여기서,  $z_i$ :  $i$ 분 교통특성 표준화값

$x_i$ :  $i$ 분 교통특성값

$\bar{x}$ : 분석시간대  $x_i$ 의 평균값

$\sigma$ : 분석시간대  $x_i$ 의 표준편차

## 4.3 분석시간대 설정

본 연구에서는 오전 8시부터 오전 9시까지의 교통특성자료를 수집하였다. 그런데, 라틴방격분석법을 이용하여 교통상황을 감지하기 위하여, 본 연구에서 분석에 사용된 자료는 유고가 발생한 시점을 전후로 하는 1분단위의 관측자료들을 이용하였다.

먼저, 교통량, 속도 및 점유율 각각에 대한 자료를 구성하기 위해 적용한 분석시간대는 표 10에서 보는 바와 같이 오전 8시 7분에서 8시 24분까지의 분단위 자료이다. 유고시 자료는 오전 8시 7분부터 8시 15분까지 정상운영되었다가 8시 15분부터 유고가 발생했던 자료이다.

정상적으로 운영되다가 최초로 유고가 발생되어 유고자료가 투입된 시간은 8시 15분부터 8시 16분까지의 자료이다. 라틴방격배치를 위해 표 8과 같이 9개(9분)의 자료를 구성하기 위해서는 최초로 유고자료가 투입된 시간대를 포함한 이전 9분간의 자료가 적용되어야 함으로 분석시간대를 8시 7분부터로 설정하였다. 또한, 유고발생이후 9분간까지를 분석

표 10. 분석시간대 구성내역(교통량, 속도 및 점유율을 분리할 경우)

교통상황	분석시간대	정상운영	유고발생	유고차로
유고시	08:07~08:24	08:07~08:15	08:15~08:24	2차로
정상운영시	08:07~08:24	08:07~08:24	-	-

하여 8시 24분까지 분석시간대를 설정하였다. 정상운영시는 유고시와의 비교를 위하여 동일한 시간대를 설정하였다.

분석을 위한 시간대구성은 표 11과 같다. 유고시 시간대구성을 보면, 유고상황이 8시 15분부터 발생되었고, 최초로 유고시 자료가 투입되는 8시 7분부터 8시 16분(8시 15분부터 유고발생)까지를 유고발생 1분후로 설정하였다. 또한, 유고발생 후 2분간인 8시 15분부터 8시 17분까지의 자료가 투입되는 8시 8분부터 8시 17분까지의 자료를 유고발생후 2분후로 설정하였다. 이후 유고발생 9분후까지 자료를 구성하였다. 정상운영시에도 유고발생시와 비교될 수 있도록 동일한 시간대로 자료를 구성하였다.

표 11. 자료 분석 시간대 (교통량, 속도 및 점유율을 분리할 경우)

유고발생여부		분석시간대
유고시(17일)	정상운영시(16일)	
유고발생 1분후	정상운영 1분후	08:07~08:16(1분후)
유고발생 2분후	정상운영 2분후	08:08~08:17(2분후)
유고발생 3분후	정상운영 3분후	08:09~08:18(3분후)
유고발생 4분후	정상운영 4분후	08:10~08:19(4분후)
유고발생 5분후	정상운영 5분후	08:11~08:20(5분후)
유고발생 6분후	정상운영 6분후	08:12~08:21(6분후)
유고발생 7분후	정상운영 7분후	08:13~08:22(7분후)
유고발생 8분후	정상운영 8분후	08:14~08:23(8분후)
유고발생 9분후	정상운영 9분후	08:15~08:24(9분후)

주) 1. 유고시는 2차로에서 유고발생  
2. 유고시는 8시15분부터 유고발생

그리고, 교통량, 속도 및 점유율을 동시에 적용하기 위해 적용한 분석시간대는 표 12에서 보는 바와 같이 오전 8시 13분에서 8시 18분까지의 분단위 자료이다. 유고시 자료는 오전 8시 13분부터 8시 15분까지 정상운영되었다가 8시15분부터 유고가 발생했던 자료이다.

정상적으로 운영되다가 최초로 유고가 발생되어 유고자료가 투입된 시간은 8시 15분부터 8시16분까지의 자료이다. 라틴방격배치를 위해 표 8과 같이 3개(3분)의 자료를 구성하기 위해서는 최초로 유고자료가 투입된 시간대를 포함한 이전 3분간의 자료가 적용되어야 함으로 분석시간대를 8시 13분부터로 설정하였다. 또한, 유고발생이후 3분간 까지를 분석하여 8시 18분까지 분석시간대를 설정하였다. 정상운영시는 유고시와의 비교를 위하여 동일한 시간대를 설정하였다.

표 12. 분석시간대구성내역(교통량, 속도 및 점유율을 비분리하는 경우)

교통상황	분석시간대	정상운영	유고발생	유고차로
유고시	08:13~08:18	08:13~08:15	08:15~08:18	2차로
정상운영시	08:13~08:18	08:13~08:18	-	-

교통량, 속도, 점유율을 동시에 고려할 경우 분석을 위한 시간대구성은 표 13과 같다. 유고시 시간대구성을 보면, 유고상황이 8시 15분부터 발생되었고, 최초로 유고시 자료가 투입되는 8시 13분부터 8시 16분(8시 15분부터 유고발생)까지를 유고발생 1분후로 설정하였다. 또한, 유고발생 후 2분

간인 8시 15분부터 8시 17분까지의 자료가 투입되는 8시 14분부터 8시 17분까지의 자료를 유고발생후 2분후로 설정하였다. 이후 유고발생 3분후까지 자료를 구성하였다. 정상 운영시에도 유고발생시와 비교될 수 있도록 동일한 시간대로 자료를 구성하였다.

표 13. 자료 분석 시간대(교통량, 속도 및 점유율을 비분리하는 경우)

유고발생여부		분석시간대
유고시(17일)	정상운영시(16일)	
유고발생 1분후	정상운영 1분후	08:13~08:16(1분후)
유고발생 2분후	정상운영 2분후	08:14~08:17(2분후)
유고발생 3분후	정상운영 3분후	08:15~08:18(3분후)

주) 1. 유고시는 2차로에서 유고발생  
2. 유고시는 8시15분부터 유고발생

## 5. 라틴방격분석결과 및 유고감지지표 결정

본 연구에서는 라틴방격분석 적용시 시간, 차로, 교통특성 등의 요인을 적용하였다. 적용된 요인 중 어느 하나의 요인이라도 유고로 분석되는 경우에는 유고상황인 것으로 판단하였다.

### 5.1 라틴방격분석결과

#### 5.1.1 정상운영시 라틴방격분석결과

정상운영시 자료를 이용하여 라틴방격분석을 적용한 결과는 표 14와 같다. 분석시간대 1분후 분석결과에서는 점유율을 기준으로 분석한 결과가 차로 요인에서 '유고'인 것으로 분석되어 유고판단시 '유고'인 것으로 오보를 나타냈다. 교통량, 속도 및 3가지교통특성(교통량, 점유율 및 속도)을 모두 고려하여 분석한 경우에는 3가지 요인에서 '정상'을 나타내어 유고판단시 '정상'인 것으로 나타났다.

이후 분석시간대 4분 경과후부터 9분경과후에 대한 라틴방격분석 결과, 유고 또는 정상운영 상태를 바르게 감지하거나 오보로 분석되는 등 다양한 결과를 나타냈다.

#### 5.1.2 유고시 라틴방격분석결과

유고시 자료를 이용하여 라틴방격분석을 적용한 결과는 표 15와 같다. 유고발생 1분후 분석결과에서는 점유율을 기준으로 분석한 결과와 3가지교통특성(교통량, 점유율 및 속도)을 모두 고려하여 분석한 경우에 '유고'로 분석되어 유고상황을 감지하는 것으로 나타났다. 반면에 교통량, 속도 등을 기준으로 분석한 경우에는 '정상'으로 분석되어 오보를 나타냈다.

이후 유고발생 4분경과후부터 9분경과후에 대한 라틴방격분석 결과, 유고 또는 정상운영 상태를 바르게 감지하거나 오보로 분석되는 등 다양한 결과를 나타냈다.

### 5.2 유고감지지표 결정

#### 5.2.1 분석시간대별 감지결과

전술한 과정에 의해 교통특성별 유고감지결과는 표 16과 같다. 교통량을 기준으로 유고를 감지한 결과, 정상운영시의 경우 분석시간대 6분후에서 1회의 오보를 나타냈고, 다른 분

표 14. 정상운영시 라틴방격분석결과

1분후				2분후				3분후			
적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단	적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단	적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단
교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상
속도	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	속도	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	속도	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고
점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고	점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고	점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고
교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	정상 정상 정상	정상	교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	정상 정상 정상	정상	교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	정상 정상 정상	정상

주) 4분후에서 9분후 결과 생략

표 15. 유고시 라틴방격분석결과

1분후				2분후				3분후			
적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단	적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단	적용된 교통특성	요인	분석 결과	유고 판단
교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고	교통량	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고
속도	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	속도	수집시간 차로 단위시간	유고 유고 유고	유고	속도	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고
점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 정상	유고	점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 정상 정상	정상	점유율	수집시간 차로 단위시간	정상 유고 유고	유고
교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	유고 정상 유고	유고	교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	정상 정상 정상	정상	교통량, 점유율, 속도	교통특성 차로 수집시간	정상 정상 정상	정상

주) 4분후에서 9분후 결과 생략

석시간대에서는 정상으로 분석되었다. 유고시의 경우, 2분후, 3분후, 5분후, 7분후 및 8분후에 유고를 감지하였고, 다른 분석시간대에서는 오보를 나타내었다. 속도를 기준으로 유고를 감지한 결과, 분석시간대 9분간 유고시 4회의 오보를 나타내었고, 정상운영시 2회의 오보를 나타내었다. 점유율을 기준으로 유고를 감지한 결과, 분석시간대 9분간 유고시 5회의 오보를 나타내었고, 정상운영시 7회의 오보를 나타내었다.

표 16. 차로별 교통특성별 시간경과에 따른 유고감지결과

기준 특성	교통 상황	1분단위 경과후 유고감지 결과								
		1분	2분	3분	4분	5분	6분	7분	8분	9분
교통량	유고	정상	유고	유고	정상	유고	정상	유고	유고	정상
	정상	정상	정상	정상	정상	유고	정상	정상	정상	정상
속도	유고	정상	유고	유고	정상	유고	정상	유고	유고	정상
	정상	정상	정상	유고	정상	유고	정상	정상	정상	정상
점유율	유고	유고	정상	유고	정상	유고	정상	정상	유고	정상
	정상	유고	유고	유고	유고	유고	유고	정상	정상	유고

교통량, 속도 및 점유율을 동시에 고려하여 유고를 감지한 결과, 유고시 1분후에서만 유고를 감지하였고, 정상운영시에는 모든 정상으로 감지하였다.

표 17. 차로별 시간경과에 따른 유고감지결과(3가지특성을 동시에 적용시)

교통 상황	1분단위 경과후 유고감지 결과		
	1분후	2분후	3분후
유고	유고	정상	정상
정상	정상	정상	정상

5.2.2 유고감지결과 비교

차로별 분석시간대별 유고감지결과에 따라 유고감지율, 유고오보율 및 교통상황 감지율을 비교하였다. 유고감지율은 총 유고발생건수에 대한 실제유고시 유고감지건수 비율이며, 유고오보율은 총 유고판단건수에 대한 오보건수비율이다. 또한, 교통상황 감지율은 총분석대상 건수 중 정상운영 및 유고상황을 바르게 감지한 건수로 정의하였다.

$$\text{유고감지율} = \frac{\text{실제 유고시 유고감지건수}}{\text{총 유고발생건수}} \times 100$$

$$\text{유고오보율} = \frac{\text{오보건수}}{\text{총 유고판단건수}} \times 100$$

$$\text{교통상황 감지율} = \frac{\text{실제상황 판단건수}}{\text{총 분석대상건수}} \times 100$$

교통량을 기준으로 유고감지결과를 보면, 표 18에서와 같이 유고감지율 55.6%, 유고오보율 16.7% 및 교통상황 감지율 72.2%인 것으로 나타났다. 속도를 기준으로 유고감지결과를 보면, 유고감지율 55.6%, 유고오보율 28.6% 및 교통상황 감지율 66.7%인 것으로 나타났다. 점유율을 기준으로 유고감지결과를 보면, 유고감지율이 44.4%, 유고오보율이 63.6%, 교통상황 감지율이 33.3%인 것으로 나타났다. 교통량, 속도 및 점유율을 동시에 고려하여 유고를 감지한 결과, 교통상황 감지율이 66.7%로 나타났으나, 유고감지율이 33.3%인 것으로 나타나 제일 낮은 감지율을 보였다.

표 18. 유고판단결과(건, %)

교통상황		유고감지 결과			유고 감지율	유고 오보율	교통상황 감지율
		유고	정상	계			
교통량 기준	유고	5	4	9	55.6	16.7	72.2
	정상	1	8	9			
속도 기준	유고	5	4	9	55.6	28.6	66.7
	정상	2	7	9			
점유율 기준	유고	4	5	9	44.4	63.6	33.3
	정상	7	2	9			
3가지 특성 기준	유고	1	2	3	33.3	0.0	66.7
	정상	0	3	3			

### 5.3 유고감지 지표 결정

교통량을 기준으로 라틴방격분석을 이용하여 교통상황을 감지한 결과는 표 19와 같다. 즉, 교통량을 기준으로 교통상황을 감지한 결과, 유고발생후 9분간 9건의 분석시간대에서 5건의 유고를 감지하여 유고감지율이 55.6%를 나타내었다. 정상운영시 9분간 9건의 분석시간대에서 1건의 오보를 나타내었으며, 정상운영시 및 유고시 총 18건의 분석에서 정상운영상황과 유고상황을 오보없이 판단한 건수는 13건으로 교통상황 감지율이 72.2%로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 2차로에서 유고가 발생한 경우 교통량을 지표로 교통상황을 감지하는 것이 다른 교통특성을 이용하여 교통상황을 감지하는 것 보다 우수한 것으로 나타났다.

표 19. 유고시 교통량 기준 교통상황 감지결과(건, %)

교통 상황	유고감지 결과			유고 감지율	유고 오보율	교통상황 감지율
	유고	정상	계			
유고	5	4	9	55.6	16.7	72.2
정상	1	8	9			

## 6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 단속류 도로에서의 유고상황을 감지할 수 있는 유고감지기법을 제시하였다. 유고를 감지하기위하여 라틴방격(Latin Square)분석법을 적용함으로써 기존 연구사례에서 시도했던 방법과는 다르게 차로별, 시간대별 교통특성의 변화를 분석하여 유고상황을 감지하였다. 기존 선행된 연구 사례들에서는 시간의 경과에 따라 교통특성이 달라지는 것을 감안하였으나, 차로별로 교통특성이 달라지는 것에 대한

연구가 미비하였다. 본 연구에서는 시간의 경과에 따른 차로별 교통특성변화를 감안한 방법을 제시하여 기존연구와는 차별성을 갖는다. 또한, 기존 연구에서는 임계치와 비교하거나 모형식에 의해 유고를 감지하는 기법이 연구되었으나, 교통 특성변화를 통계적으로 검정하는 방법에 대한 연구는 미비한 실정이었다. 특히, 실험계획법(design of experiment)을 적용한 사례는 없었으며, 본 연구에서는 실험계획기법을 적용하여 통계적으로 검정함으로써 교통상황을 감지하는 기법을 제시하여 기존 연구와는 차별성을 갖는다. 이에 따라, 본 연구를 통해 제시된 유고감지기법은 기존에 연구된 연구사례와 다른 새로운 접근방법으로서 제시하였다.

본 연구에서는 2차로에서 유고가 발생했던 현장 관측자료를 적용하여 분석한 결과, 교통량을 기준으로 유고를 감지하는 것이 다른 교통특성을 기준으로 유고를 감지하는 것보다 감지능력이 우수한 것으로 나타났다.

라틴방격분석법은 교통상황 및 유고상황을 감지하기 위한 기법으로 적용하기에 타당한 기법으로 판단되나, 라틴방격분석법을 발전시키기 위해서는 본 연구에서 적용된 관측치들보다 더 많은 지점과 시간대를 설정하여 결과를 도출하기에 충분한 관측치를 이용하여 검증해야 할 것이다. 또한, 본 연구에서는 기존 연구사례와는 다른 접근방법으로 교통상황을 감지하는 기법을 제시하였으나, 동일한 자료를 기존 알고리즘을 이용하여 결과를 비교함으로써 본 연구에서 제시된 기법의 타당성을 검증하기 위한 지속적인 연구도 필요하다.

그리고, 라틴방격분석법은 단속류도로에서의 적용뿐만 아니라 연속류도로에서도 적용이 가능한 기법으로서 연속류도로에서도 적용이 가능한지에 대한 향후 연구가 필요하다. 단속류 또는 연속류에서의 적용가능성이 입증될 경우, 실제 현장에서의 적용을 위해서는 현재 현장에서 적용되고 있는 알고리즘이 개선 및 보완될 수 있는 연구가 필요하다. 현장에서는 하드웨어가 현재 설치되어 있거나 지속적으로 확충되고 있다. 향후 연구되는 알고리즘에 의해 소프트웨어를 개선하는 경우, 라틴방격분석법은 현장에 바로 적용될 수 있을 것이다. 또한, 비침투식 또는 기상상태가 양호하지 않은 상태에서의 유고감지연구가 확장되어야 할 것이다. 이와 같은 자료가 수집된다면, 이후 본 연구에서와 같은 연구절차를 수행하여 진행될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 송서일(2001) 실험계획법, 한경사
- 장석환(2002) 실험계획과 응용, 교우사
- 황준환(2000) 간선도로 돌발상황 감지기법 개발연구, 박사학위논문, 서울시립대학교
- Bell, M. G. H. and Thancanamootoo, B. (1988) Automatic incident detection within urban traffic control systems, *Proceedings of the Roads and Traffic 2000 Conference*, Vol. 4, No. 2, pp. 35-38.
- Bretherton, R. D. and Bowen, G. T. (1991) Incident detection and traffic monitoring in urban areas, *Advanced telematics in road transport*, Vol. 1, pp. 740-751.
- Cullip, M. J. and Hall, F. L. (1997) Incident detection on an arterial roadway, *Transportation Research Record 1603*, TRB, pp. 112-118.
- Han, Lee D. and May, Adolf D. (1989) Artificial intelligence



- approaches for urban network incident detection and control, *Proceedings of the Engineering Foundation Conference on Traffic Control Methods*, pp. 159-176.
- Lee, Sibok and Krammes, Raymond A. and Yen, John (1998) Fuzzy-logic-based incident detection for signalized diamond interchanges, *Transportation Research Part C*, Vol. 6, No. 5-6, pp. 359-377.
- Sermons, M. William and Koppelman, Frank S. (1996) Use of vehicle positioning data for arterial incident detection, *Transportation Research Part C*, Vol. 4, No. 2, pp. 87-96.
- Sethi, Vaneet and Bhandari, Nikhil and Koppelman, and Schofer, Joseph L. (1995) Arterial incident detection using fixed detector and probe vehicle data, *Transportation Research Part C*, Vol. 3, No. 2, pp. 99-112.
- Stephanedes, Yorgos J. and Vassilakis, George (1994) Intersection Incident Detection For IVHS, *74th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

(접수일: 2007.9.18/심사일: 2007.10.13/심사완료일: 2011.6.3)