

FTMS 상의 루프검지기 오류자료 판단과정 개선에 관한 연구

A study of Improving Detecting Erroneous Loop Detector Data
in a Freeway Traffic Management System

오순미

(서울대환경대학원, 석사과정)

이영인

(서울대환경대학원, 교수)

백승걸

(도로교통기술원 책임연구원)

Key Words : FTMS, Error detecting, Date screening, Date Filtering, Loop Detector

목 차

- | | |
|----------------------|------------------|
| I. 서론 | 3. 오류자료 판단조건의 적용 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 4. 오류자료 판단조건의 선정 |
| 2. 연구의 범위 및 방법 | IV. 적용결과 |
| II. 관련이론 및 선행연구 고찰 | 1. 현장조사 개요 |
| 1. 관련이론 고찰 | 2. 현장자료수집 기준장비 |
| 2. 자료관계평가 선행연구 고찰 | 3. 평가지표 선정 |
| 3. 국내외 사례 고찰 | 4. 수집자료 분석 |
| III. 오류자료 판단과정 개선 | 5. 결과 |
| 1. 자료수집 | V. 결론 및 향후과제 |
| 2. 오류자료 판단조건의 이론적 고찰 | 참고문헌 |

I. 서론

토하는 기존의 오류자료 판단과정을 검토하고 이를 개선함을 그 목적으로 한다.

1. 연구의 배경 및 목적

고속도로교통관리시스템(FTMS)에서 정확한 구간 교통정보 산출 및 유고감지에는 검지기 자료의 신뢰성 확보가 필수적으로 요구된다. 구간정보 산출에 기본이 되는 원시자료에 오류자료가 많이 포함되어 있는 경우 자료의 유효성이 현저하게 떨어져 결국 구간정보의 신뢰성이 떨어지게 된다. 여기서 오류자료(invalid data)는 교통량, 속도, 점유율 등의 속성이 논리적으로 정상적인 상태의 교통류 특성을 나타내는 범위를 벗어난 교통자료를 의미한다.

현재 고속도로교통관리시스템에는 정확한 구간정보 산출을 위하여 원시자료에 포함된 오류자료를 제외시키는 간단한 오류자료 처리과정이 포함되어 있으나, 이에 대한 심도 있는 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

오류자료를 정확하게 판단하지 못한 경우 논리적으로 유효하지 않은 데이터를 기반으로 구간정보를 산출하거나, 유효한 데이터임에도 불구하고 이를 누락시켜 구간정보의 대표성을 떨어뜨리는 등 시스템 전체에 부정적인 영향을 끼치게 된다.

따라서 본 논문에서는 검지기 자료의 논리적 오류를 검

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 다루는 오류자료 판단과정은 루프 검지기 자체에서 시행하는 오류자료 판단과정을 제외하고, 중앙 데이터 센터로 전송되어 시행되는 전체 자료처리과정 중 가장 원시적인 30초 검지기 자료를 대상으로 하는 실시간 오류판단과정으로 그 범위를 한정한다. 이를 위하여 실제 국내 고속도로의 본선 구간 루프 검지기의 30초 자료를 활용하였다.

연구는 기존의 연구 및 국내의 고속도로교통관리시스템 오류자료 판단과정 현황을 고찰한 뒤 이론적인 검토를 통하여 가능한 오류자료 판단조건을 고려하고, 이를 실제 자료에 적용하여 그 결과를 바탕으로 오류자료 판단조건을 선정하는 방법으로 진행되었다.

II. 관련이론 및 선행연구 고찰

1. 관련이론 고찰

1) 오류자료 판단과정의 분류

오류자료 판단과정은 크게 미시적(microscopic) 판단과정과 거시적(macrosopic) 판단과정으로 나뉜다. 미시적 판단과정은 루프 검지기에서 검지하는 펄스를 대상으로 검지기 컨트롤러 자체에서 시행되는 판단과정으로, 검지기 컨트롤러는 검지되는 펄스가 오류일 경우 중앙 컴퓨터로 자료를 전송하지 않거나 오류 정보를 전송하게 된다. 거시적 판단과정은 검지기 컨트롤러로부터 전송된 검지기 속성 자료인 교통량, 점유율, 속도 값을 바탕으로 중앙 컴퓨터에서 시행하는 판단과정을 의미한다.

본 연구의 대상인 거시적 판단과정은 다시 두 가지로 나눌 수 있는데, 이는 각 속성값 하나를 대상으로 하는 자료임계치평가(Data Threshold Test)와 각 속성값 간의 관계를 대상으로 하는 자료관계평가(Data Relation Test)이다.

자료임계치평가는 오류자료 판단과정이 적용된 이래로 가장 폭넓게 사용되어 온 기초적인 판단과정으로, 각 속성값의 임계치를 이용하여 자료의 유효성을 평가한다. 즉, 교통량, 점유율, 속도의 예상 최대값 및 최소값을 설정하고 이 범위에 포함되지 않는 자료를 오류로 판단한다. 예를 들어, 속도의 최대값을 180km/h로 설정했다면 이보다 더 높은 속도의 자료는 오류로 판단될 것이다.

쌍루프 검지기의 경우 속도를 검지하기 위하여 한 차선에 루프 검지기가 두 개씩 설치되어 있으므로, 이 두 검지기의 교통량 또는 점유율 값이 각각 유사한가의 여부를 통하여 오류로 판단하기도 한다. 또한 동일한 자료가 계속적으로 전송되는 경우 이를 오류로 판단할 수도 있다.

이러한 자료임계치평가는 각각의 속성값에 대하여는 오류자료를 판단할 수 있지만, 각 속성값들이 독립적이지 않으므로 속성값 간의 불가능한 조합을 오류자료로 분류해 낼 수 없다. 예를 들어, 30초간 점유율이 2%이고 교통량이 30대인 경우는 자료임계치평가에 의해 오류자료로 분류되지 않으나 논리적으로 불가능한 조합임이 분명하다.

위와 같은 이유로 세 속성값으로 표현되는 자료가 교통류 이론에 입각하여 타당한지의 여부를 평가하는 자료관계평가가 도입되었다.

또한, 시스템의 안정성을 평가하기 위하여 논리적으로 자명하고 간단한 조건에 대한 평가를 시행하기도 하는데, 예를 들어 속도가 0이 아닌데 교통량이 0이라면 오류로 판단하는 조건 등이 이에 속한다. 여기서는 이를 논리 검정이라 명명하였다.

<표 2-1> 오류자료 판단과정의 분류

판단 장소에 따른 분류	평가 속성 수에 따른 분류	종류
미시적 판단과정		
거시적판단과정	자료임계치평가 (Data Threshold Test)	최대값/최소값 검정
		쌍루프 간 유사성 검정
		동일자료 연속검출
	자료관계평가 (Data Relation Test)	논리 검정
		교통류 이론에 근거한 검정

2. 자료관계평가 선행연구 고찰

1990년 Jacobson에 의해 처음 연구된 이래로, 자료관계평가의 방법, 즉 판단조건에 관한 연구가 이루어져 왔다.

Jacobson은 특정 점유율 범위에 대하여 교통량/점유율 비의 범위를 산출하여 이를 판단조건으로 제시하였는데, 실제 교통량/점유율 비는 속도와 관련된 연속적인 값임에도 불구하고 이 값이 불연속적으로 바뀌므로 정상자료 판단 영역이 불연속적으로 산정되는 단점이 있다.

Cleghorn은 이력자료를 이용하여 특정 교통량, 특정 점유율의 속도자료 분포를 구하고 이를 이용하여 특정 교통량, 점유율에서의 속도자료의 최대값과 최소값을 설정하여 이를 판단조건으로 사용하였다. 예를 들어, 30초 교통량 10대, 점유율 10%인 경우 속도의 평균이 70km/h이고 표준편차가 5km/h라면, 속도의 최대값과 최소값은 $70 \pm 3 \times 5$ (km/h)로 설정된다. 이 경우 계속 이력자료를 관리해야 하는 불편함이 있고, 특정 교통량 및 점유율마다 자료의 수 및 속도 자료의 분포가 다르며 속도 자료의 분포가 정규분포를 따르지 않을 경우 적용할 수 없는 한계가 있다.

Turothy의 경우 교통량, 속도, 점유율 값을 이용하여 산출한 차량길이의 최대값 및 최소값을 산정하여 오류자료를 평가하였는데, 이 경우 차량길이라는 분명한 기준에 의하여 최소값과 최대값을 결정할 수 있는 장점이 있으나, 점유율이 밀도와 같은 지표이고 쌍루프에 의하여 구해지는 공간속도가 루프 하나에서의 순간속도와 같다는 가정이 필요하다.

3. 국내외 사례 고찰

본격적인 연구에 앞서 국내외 고속도로관리시스템에서 실제 사용되고 있는 오류자료 판단과정을 조사하였다. 본 논문에서는 이 중 오류자료 판단조건에 관한 부분만 수록하였고 이는 <표 2-2>와 같다.

III. 오류자료 판단과정 개선

1. 자료수집

본 연구에서는 다양한 오류자료의 유형을 포함한 고속도로 검지기 원시자료가 필요하다. 각 검지기별 정상/이상상태 여부 및 오류자료의 포함 내역은 오류자료 판단과정을 거치기 전에는 알 수 없으므로 정상상태 및 이상상태의 검지기를 모두 포함할 수 있도록 가능한 한 많은 지점의 검지기의 자료를 수집하였고, 자료가 결손된 경우에는 오류자료 판단이 불가능하므로 결손자료가 상대적으로 적을 것으로 예상되는 비교적 최근에 검지기가 설치된 고속도로 구간을 대상으로 자료를 선정하였다. 이와 같은 기준에 따라 2006년 2월 4일부터 12일까지 연속 8일간 수집된 경부고속도로 63개소, 서해안고속도로 27개소 지점의 자료를 수집하여 사용하였다.

경부고속도로는 왕복 8차선으로, 쌍루프 시스템으로 한 차선에 두 개의 루프검지기가 설치되므로 지점당 총 16개의 루프검지기 자료가 수집되고, 서해안고속도로의 경우는 왕복 6차선이므로 지점당 12개 루프검지기 자료가 수집된다.

결손자료를 제외하고 8일간 수집된 검지기 자료의 개수는 경부고속도로 23,445,524개, 서해안고속도로 7,762,608개로, 충분히 많은 수의 자료를 확보하였음을 알 수 있다.

2. 오류자료 판단조건의 이론적 고찰

본 연구에서는 국내외 고속도로관리시스템에서 사용된 적이 있거나 사용이 가능한 오류자료 판단조건 10개를 고려하

여 분석하였다. 이는 교통량과 점유율, 속도 임계치 검정, 쌍루프간 유사성 검정, 집계 점유율 검정, 동일자료 연속검출 검정, 논리 검정, 속도/점유율 비 검정, 차량길이 검정으로 이에 대한 이론적인 근거는 다음과 같다.

1) Test 1,2,3: 교통량, 점유율, 속도 임계치 검정

교통량 임계치는 최소값은 0임이 자명하지만 최대값은 그 수치를 정하기가 쉽지 않다. 문헌에서 찾을 수 있는 시간당 최대 교통량은 3,100대/차선/시이다. 이는 약 26대/차선/30초이다. 그러나 1999년 도로용량편람 개선연구의 결과에 따르면 조사단위 시간이 작을수록 동일 조건 하에서 관측되는 최대교통류율이 증가하고, 오류 여부가 불확실할 경우 이를 오류자료로 처리하여 삭제하는 것보다는 추후의 집계 과정 및 평활화 과정에서 보정하는 것이 더 바람직하므로, 최대 임계치는 이 점을 고려하여 30대/차선/30초로 설정하였다.

점유율의 경우 몇몇의 고속도로관리시스템의 경우 100%인 경우를 오류로 처리하고 있으나, 정체가 매우 심한 경우에는 30초 동안 루프검지기가 계속 점유되어 있을 가능성을 배제할 수 없으므로 그 범위를 0%에서 100%로 설정하였다. 단, 1분 이상의 집계 자료에서 점유율이 연속적으로 100%인 경우는 발생하기 힘들기 때문에, 이를 집계 점유율 검정으로 다루었다.

속도 또한 최대값을 정하기가 쉽지 않다. 예를 들어 어떤 지점의 속도가 200km/h인 경우 이것이 과속차량의 실제 순간속도인지 검지기 이상인지는 속도 자료만을 바탕으로는 구분하기 어렵다. 따라서 뚜렷한 논리적 근거에 의해 최대값을 설정할 수 없었고, 기존에 사용되던 임계치 값 중 최대인 180km/h를 그대로 사용하여 분석하였다.

<표 2-2> 오류자료 판단과정의 사례 및 분류

구분		도로공사 고속도로	고속도로 우회국도	서울시 도시 고속도로	천안-논산간 고속도로	Virginia ADMS	AUSTIN, TEXAS	
대상자료주기		30초	30초	30초	30초	1분	20초	
미시적		○	○	×	×	×	○	
거시적	자료 임계치 평가	교통량 임계치	○ (0~30)	○ (0~20)	○ (0~25)	○ (0~19)	○ (0~52)	○ (0~15)
		교통량 쌍루프	○ (2대차이)	○ (2대차이)	×	×	×	×
		점유율 임계치	○ (0~100)	○ (0~100)	○ (0~99)	○ (0~99)	○ (0~95)	○ (0~25)
		점유율 쌍루프	○ (4%차이)	○ (4%차이)	×	×	×	×
		속도 임계치	○ (0~180)	○ (0~180)	○ (0~140)	○ (0~140)	○ (0보다큼)	○ (0~123)
		동일자료 연속검출	×	×	○ (연속4회)	×	×	○ (연속8회)
	자료 관계 평가	논리 검정	○	○	○	○	○	○
		교통류 이론에 근거한 검정 (속도/점유율)	○	×	×	×	○ (차량길이)	×

주) ○ : 적용, △ : 미확인, × : 미적용, 속도 단위는 km/h

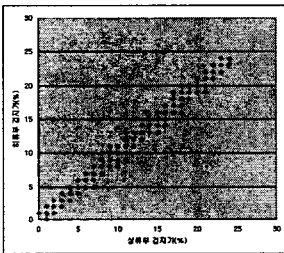
2) Test 4,5: 쌍루프간 유사성 검정

속도를 측정하기 위하여 설치된 쌍루프간의 거리는 5~7m이므로 이 두 루프에서 검지된 자료의 특성이 유사할 것으로 예상된다. 문제는 이 자료들이 얼마나 다를 수 있는가이다.

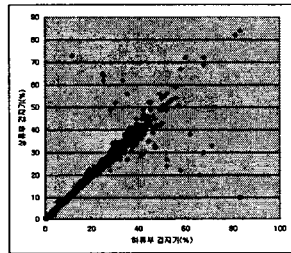
교통량의 경우, 차량이 차선을 바꾸는 경우를 고려하더라도 30초 동안 최대 7m 안에서 두 대 이상의 차량이 차선을 바꿀 수는 없으므로 최대 2대/차선/30초만큼 차이가 생길 수 있을 것이다.

점유율의 경우는 교통량과는 달리 차량이 정체가 되지 않은 경우에는 쌍루프간의 유사성을 기대할 수 있으나 심하게 정체되는 경우에는 두 검지기의 자료가 상이해진다. 이는 정체가 심하지 않은 경우에는 차량이 두 루프를 거의 비슷한 속도로 지나가기 때문에 비슷한 시간을 점유하지만 정체가 생기면 감속 및 가속을 자주하거나 심할 경우 가다서다를 반복하여 두 루프를 점유하는 시간이 달라지기 때문이다.

<그림 3-1, 3-2>는 서해안고속도로 지점 725의 쌍루프간 교통량 및 점유율을 비교한 그래프이다. 이 지점은 다른 오류 판단조건들에 의해 가장 적은 오류가 발생하는 지점이기 때문에 선택되었다. 예상한 결과와 같이 교통량의 경우는 두 검지기간의 차이가 2를 넘지 않으나, 점유율은 그 값이 커질수록(정체가 심해질수록) 두 검지기간의 차이가 커지는 것을 볼 수 있다. 즉, 쌍루프간 유사성 검정에는 교통량은 적합하지만 점유율은 적합하지 않다.



<그림 3-1> 쌍루프간 교통량 비교



<그림 3-2> 쌍루프간 점유율 비교

3) Test 6: 집계 점유율 검정

위에서 언급했듯이 30초 자료의 경우 점유율이 100%도 가능하지만 집계 간격이 넓어질수록 차량이 정지해 있거나 서행할 확률이 적어지므로 점유율이 너무 높은 것은 현실적으로 가능하지 않다. 이 경우, 검지기의 펄스가 계속 점유상태로 표현되는 Stuck-on 현상이 발생한 것으로 예상할 수 있다. Washington주의 FMMS에서는 이와 같은 맥락에서 5분 집계 점유율이 90% 이상이면 이를 오류자료로 분류한다. 본 연구에서도 이 검정 기준을 적용해보도록 한다.

4) Test 7: 동일자료 연속검출 검정

특정 검지기에서 전송된 자료가 정상으로 분석되더라도 불구하고 같은 자료가 연속적으로 계속 검출된다면 이를 검지기 이상 또는 통신오류로 인한 오류자료로 판단할 수 있다.

그러나 우연히 교통량, 점유율, 속도 자료가 모두 동일한 경우가 존재할 수도 있으므로 연속검출 회수를 충분히 크도록 10회, 즉 5분간으로 선정하였다.

5) Test 8, 9: 논리 검정

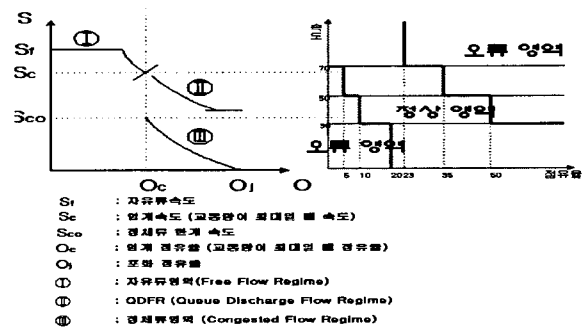
논리 검정은 매우 한정된 범위의 오류만을 검색할 수 있으나 그 논리적 명료함과 간단함 때문에 시스템의 안정성을 평가하기 위하여 사용된다. 국내 고속도로 FTMS에 의해 사용되고 있는 논리 검정의 예로는 교통량이 0일 때 점유율이 0이면 오류(검지기가 점유되지 않은 경우 점유율 기본값은 255), 교통량이 0일 때 속도가 0이 아니거나 교통량이 0이 아닐 때 속도가 0이면 오류 등이 조건이 있다. 이 두 조건을 논리 1 검정, 논리 2 검정이라 하였다. 그러나 논리 2 검정의 경우 쌍루프 사이에서 차량이 차선을 변경한 경우 교통량은 0이 아니지만 속도는 0일 가능성이 존재하기 때문에 수정이 필요하다. 따라서 교통량이 0일 때 속도가 0이 아닌 경우만을 사용하였다.

6) Test 10: 속도/점유율비 검정

일반적인 교통류 이론에 따르면 속도와 점유율은 <그림 3-3>과 같은 관계를 보인다. 따라서 점유율 값에 따른 속도의 범위를 설정하여 오류자료를 판단할 수 있다. 도로공사 고속도로 FTMS에서 사용한 조건은 다음과 같다.

오류	$(O \leq S < 31) \ \& \ (O < 20)$
자료	$(30 < S < 51) \ \& \ (O < 10 \ \text{or} \ O > 50)$ $(50 < S < 71) \ \& \ (O < 5 \ \text{or} \ O > 35)$ $(S > 70) \ \& \ (O > 23)$

본 조건의 경우 임계치에 대한 논리적인 근거를 찾기 어렵고 정상 영역과 오류 영역의 경계가 불연속적으로 나타나 비슷한 자료임에도 불구하고 정상 또는 오류로 분류될 수 있어 기준이 명확하지 않은 단점이 있다.



- Sr : 자유류속도
- Sc : 임계속도 (교통량이 최대일 때 속도)
- Sco : 정상류 임계 속도
- Oc : 임계 점유율 (교통량이 최대일 때 점유율)
- Oj : 포화 점유율
- I : 자유류영역 (Free Flow Regime)
- GDFR : GDFR (Queue Discharge Flow Regime)
- II : 정체류영역 (Congested Flow Regime)

<그림 3-3> 일반적인 교통류 관계와 이에 따른 속도/점유율비 조건

1) 고속도로 교통량의 특성 분석과 그 응용에 관한 연구, 1995, 이의은, 서울대학교 박사학위 논문

7) Test 11: 차량길이 검정

30초 동안 쌍루프 사이를 지나는 차량의 속도가 일정하다고 가정하면 쌍루프 사이의 공간평균속도는 하나의 루프 위에서의 순간속도가 된다. 이 때,

$$\frac{S}{3.6} = \frac{L}{t}, \quad O = \frac{t}{30} \times 100 \text{ 이고,}$$

이를 정리하면

$$L = \frac{S \times O \times 30}{3.6 \times 100} = \frac{S \times O}{12}$$

여기서 :

S : 순간속도 (km/h)

L : 총통과차량길이+루프길이(1.8m)의 합 (m)

O : 30초간 점유율 (%)

t : 총 차량의 루프 통과 시간 (s)

$$L = (l + 1.8) \times V \text{ 이므로,}$$

$$(\min l + 1.8) \times V \leq \frac{S \times O}{12} \leq (\max l + 1.8) \times V$$

여기서 :

l : 통과 차량 길이 (m)

V : 30초간 교통량

최소차량길이는 약 3m, 최대차량길이는 약 12m로 예상할 수 있으나, 30초 동안 쌍루프 사이를 지나는 차량의 속도가 일정하다고 가정하였고, 또한 점유율의 경우 각 루프에 설정된 임계치에 따라 차이가 있을 수 있기 때문에 이로 인한 오차를 고려하여 범위를 좀 더 넓게 설정하였다. 설정한 범위는 다음과 같다.²⁾

$$2.7V \leq \frac{S \times O}{12} \leq 18V$$

3. 오류자료 판단조건의 적용

위에서 검토한 오류자료 판단조건을 경부고속도로 및 서해안고속도로 총 90개소 지점의 일주일간 자료에 적용한 결과가 <표 3-1>과 같다. 적용시 결손된 자료는 총 자료 수에 포함되지 않았다.

총 31,208,132개의 자료 중 3.18%인 995,267개의 자료가 오류자료인 것으로 판단되었다. 또한 그 중 75.80%인 754,475개의 자료는 둘 이상의 판단조건에서 오류로 검출되었다. 이는 각 조건들이 고유한 판단 영역을 가지지 못하고 영역이 중복되고 있음을 시사한다.

교통량 임계치 검정(Test 1)에서 검출된 자료들은 30초 당 평균 97.6대의 교통량을 기록하고 있어 모든 자료에서 검지기

채터링 현상이 나타나고 있음을 알 수 있었다. 즉, 잡음으로 인한 펄스의 진동이 차량으로 인한 진동으로 인식되어 존재하지 않는 교통량이 다수 검출되는 현상을 나타내었다.

속도 임계치 검정(Test 3)의 경우 매우 적은 비율의 자료가 검출되었는데, 검출된 401개의 자료 중 대부분이 255km/h를 나타내고 있어 속도/점유율비 검정에 의해 중복 검출되었다.

교통량 쌍루프 검정(Test 4)에서 검출된 자료들 역시 교통량 임계치 검정과 마찬가지로 검지기 채터링 현상으로부터 연유한다. 이 경우 교통량 임계치로 설정된 30대/차선/30초를 초과하지 않는 범위의 검지기 채터링 또한 검출하기 때문에 검출 자료의 수가 더 많은 것으로 분석된다.

집계 점유율 검정(Test 5) 및 동일자료 연속검출 검정(Test 6)에서는 오류자료가 거의 검출되지 않았다. 특히 집계 점유율 검정에서 오류로 판단된 자료들은 모두 교통량 0, 점유율 100, 속도 0값을 나타내고 있어 교통량 0, 점유율 255, 속도 0인 경우와 마찬가지로 교통량이 전혀 없는 경우를 나타내고 있었다. 따라서 이 두 검정은 논리적으로는 유효하지만 포함되는 자료가 거의 없어 전체 자료처리과정에 미치는 영향이 미미하므로 삭제하여도 무방하다.

논리 1 검정(Test 7), 논리 2 검정(Test 8)의 경우도 검색되는 오류자료가 없으나, 이 검정의 목적은 명백한 조건으로 시스템의 오류를 판단하여 안정성을 유지하기 위한 것이므로 삭제하지 않았다.

속도/점유율비 검정(Test 9)의 경우 다른 조건에 비해 중복비율이 낮고 많은 오류자료를 검색해내는 장점이 있으나, 그 임계치 값의 근거가 불분명하여 오류자료 여부가 모호한 경우가 많았다. 예를 들어, 교통량 5, 점유율 8, 속도 49인 자료의 경우 본 조건에 의하여 오류로 검출되었으나, 속도 49km/h인 4m의 차량이 1.8m의 검지기 위를 지나가는데 약 0.5초가 소요된다고 하면 위의 자료는 실제 교통 상황을 반영한 정상자료일 가능성을 배제할 수 없다.

차량길이 검정(Test 10)의 경우 가장 많은 오류자료를 타 조건과 중복되지 않은 범위에서 검색해내었다. 정상자료가 포함될 가능성을 배제하기 위하여 임계치를 매우 보수적으로 설정하였음에도 불구하고 고유의 오류 판단 영역을 확보하고 있기 때문에 타 조건에 비하여 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 차량길이가 최소값보다 작은 오류자료들은 차량길이 검정 전체 오류자료 중 64.25%를 차지하고 있으며 대부분 교통량과 속도 자료가 존재함에도 불구하고 점유율이 0인 경우를 나타내었고, 차량길이가 최대값보다 큰 오류자료들은 나머지인 35.75%를 차지하며 대부분 교통량이 0임에도 속도 자료가 존재하는 경우 또는 교통량과 속도 자료는 정상으로 보이는데 점유율이 계속 100%를 나타내는 점유율 Stuck 현상을 나타내었다.

2) 임계치는 Turothy의 논문에서 인용하였다. 이 논문에서도 경험적인 방법으로 임계치를 제시하고 있다.

<표 3-1> 오류자료 판단조건 적용 결과

검정		자료 수	오류자료 비율(%)	타조건 중복비율(%)
총 자료 수		31,208,132		
Test 1	교통량 임계치	20,976	0.07	89.35
Test 2	점유율 임계치	6,044	0.02	98.73
Test 3	속도 임계치	401	0.00	95.51
Test 4	교통량 쌍루프	65,234	0.21	96.73
Test 5	집계 점유율	17	0.00	100.00
Test 6	동일자료 연속검출	0	0.00	0.00
Test 7	논리 1	0	0.00	0.00
Test 8	논리 2	0	0.00	0.00
Test 9	속도/점유율비	332,967	1.07	61.42
Test 10	차량길이	835,454	2.68	26.55

4. 오류자료 판단조건의 선정

위에서 언급하였듯이, 기존논문고찰 및 현황 분석을 통하여 고려된 10개의 검정에 관한 이론적 고찰 및 실제 자료 분석을 통하여 성능이 좋고 논리적으로 타당한 6개의 검정을 선정하였다.

선정된 검정은 교통량 임계치 검정, 점유율 임계치 검정, 쌍루프간 교통량 유사성 검정, 논리 1 검정, 논리 2 검정, 차량길이 검정이다.

IV. 적용 결과

1. 현장조사 개요

본 연구에서 선정한 오류자료 판단조건을 평가하기 위하여 기준이 되는 참값을 수집하는 현장조사를 실시하였다. 즉, 특정 지점의 교통량, 점유율, 속도 자료의 참값을 수집한 뒤 루프 검지기의 자료와 비교하여 오류자료 판단조건을 객관적으로 평가한다. 본 연구에서는 경부고속도로 및 서해안고속도로의 검지기 설치 지점을 대상으로 실제 교통량과 속도를 수집하여 이를 검지기 원본자료와 비교 분석하였다. 구체적인 실험 개요는 <표 4-1>과 같다.

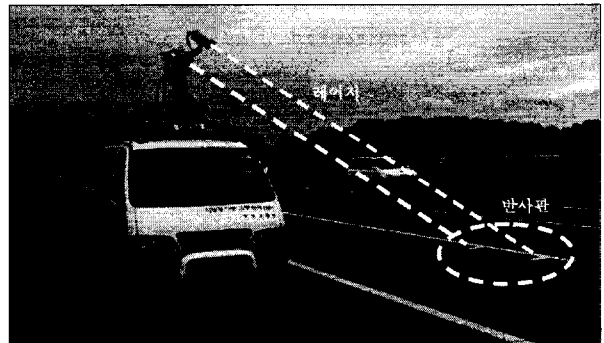
조사지점은 결손자료가 적고 다양한 오류자료표를 포함하고 있어 평가에 적합한지 여부 및 조사지점까지의 거리, 조사차량의 활용가능여부를 고려하여 선정하였다.

<표 4-1> 현장조사 개요

항목	내용	비고
조사일시	2006년 8월 22일	
분석시간	오전 9시~오후 6시 사이 6시간 자료 수집	
조사지점	경부고속도로 지점 255(0010LD3687) - 상행기점 368.7km, 안성SA(서)~외가천교 사이	
기준장비	레이저방식 검지기	현장에서 수집
평가대상	자석식 검지기	센터에서 수집
평가항목	교통량	
분석자료	30초 원시자료	
평가지표	MAPE (Mean Absolute Percentage Error)	

2. 현장자료수집 기준장비

현장자료수집에는 한국건설기술연구원의 고속국도용 레이저방식 검지기를 이용하였다. 레이저방식 검지기의 정확도는 교통량의 경우 100%³⁾이므로 이를 실제의 교통량 및 속도로 가정하고 참값으로 사용하는데 무리가 없고, 설치 및 자료수집 과정이 비교적 간단하여 고속국도에서 사용이 가능하므로 본 실험의 기준장비로 선정하였다.



<그림 4-1> 차량에 탑재된 레이저방식 검지기

3. 평가지표 선정

오류자료 판단과정이 이루어지는 30초 원시자료를 바탕으로 지점별로 수집된 4시간 자료에 대하여 평균절대오차백분율(MAPE)을 사용하여 오류자료를 판별하였다. 평균절대오차백분율은 관측값이 기준값에 대해 어느 정도의 오차를 나타내는지를 평가하는 지표로 개별 차량 또는 분석 시간 간격에 따른 오차백분율의 평균을 의미한다.

3) 이분산성을 고려한 영상검지기 정확도 감소함수 추정, 이청원, 송영화, 2006

<표 4-2> 오류자료 판단 알고리즘의 비교

구분	항 목	Case 1 (한국도로공사 FTMS)		Case 2 (본 논문 제시 알고리즘)	
		자료 임계치평가	교통량	V<0 or V>30 → V,O (BAD)	
Partner와의 차 > 2 → BAD				Partner와의 차 > 2 → BAD	
점유율	O<0 or O>100 → BAD		O<0 or O>100 → BAD		
	Partner와의 차 > 4 → BAD				
	속도	S<0 or S>180 → BAD			
자료 관계평가	단일루프	(V=0 & O=0) → O,V (BAD)			
		(V!=0 & S=0) or (V=0 & S!=0) → V,O,S (BAD)		(V=0 & S!=0) → V,O,S (BAD)	
	쌍루프	(V=0 or BAD) & (O=0 or BAD) → S (BAD)			
		O : BAD → S(BAD)			
	논리검정	(V=0 & O=0) → O,V,S (BAD)		(V=0 & O=0) → O,V,S (BAD)	
		(O<=S < 31) & (O<20) → BAD			
		(30<S<51) & (O<10 or O>50) → BAD		차량길이 이용방법 $2.7V \leq \frac{S \times O}{12} \leq 18V$	
		(50<S<71) & (O<5 or O>35) → BAD			
(S> 70) & (O>23) → BAD					

주) V : 교통량, O : 점유율, S : 속도, BAD : 오류자료를 의미함

$$MAPE(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i} \times 100$$

여기서, $i = i$ 번째 단위시간

$I =$ 얻어진 자료의 총 주기수

$Y_i = i$ 번째 단위시간에서의 기준자료 값

$X_i = i$ 번째 단위시간에서의 대상자료 값

4. 수집자료 분석

제시한 알고리즘의 효과성을 평가하기 위하여 현재 한국도로공사 FTMS의 오류자료 판단 알고리즘을 Case 1, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 Case 2로 정의하여 비교 분석하였다. 두 알고리즘의 자세한 내용은 <표 4-2>와 같다.

5. 결과

수집된 자료를 <표 4-2>에 제시된 기존 도로공사 알고리즘(Case 1)과 본 논문에서 제시한 알고리즘(Case 2)을 통하여 분석 후 참값과 비교하였다. 그 결과는 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 수집자료 분석 결과 (MAPE)

	Case 1		Case 2	
	정상자료	오류자료	정상자료	오류자료
검출 자료수	1174	90	1044	220
검출 비율 (%)	92.88	7.12	82.59	17.41
교통량 MAPE	56.46	83.89	48.99	103.13

분석 결과 Case 1에 비하여 Case 2가 더 많은 오류자료를

검출하고 있으며, Case 1에 의해 정상으로 판별된 자료의 MAPE가 56.46임에 비해 Case 2의 정상자료는 48.99로 작아져 참값에 더욱 가까운 자료들이 정상으로 판별되고 있음을 알 수 있다. 또한 Case 1에 의해 오류로 판별된 자료의 MAPE는 83.89인 것에 비해 Case 2의 오류자료 MAPE 103.13으로 Case 2에 의한 오류자료가 기존에 비해 참값과 많이 상이하다.

레이저방식 검지기에 의해 조사된 차량별 자료를 원시자료와 비교하기 위하여 30초 단위로 집계하는 과정 중 30초의 시작 시점 또는 종료 시점에서 차량이 지나갈 경우 이를 이전 주기 또는 이후 주기에 포함시키는 과정에서 원시자료와 차이가 날 수 있다. 즉 오류가 없더라도 30초 당 교통량이 최대 2대 차이가 발생 가능하다. 따라서 레이저방식 검지기에 의해 조사된 참값과 원시자료를 비교하여 교통량의 차이가 3대 이상인 자료를 오류자료로 정의하고, 차이가 3대 미만인 자료를 정상자료로 정의하였다.

이에 따라 기존 도로공사 알고리즘 및 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 위에서 정의된 정상자료 및 오류자료를 잘 분류하는지 분석하였다. 그 결과는 <표 4-4>과 같다.

<표 4-4> 수집자료 분석 결과 (정확도)

	정상자료		오류자료		정확도	합계
	정확	오관	정확	오관		
참값과 비교	750		514			1264
Case 1	714	36	54	460	60.76%	1264
Case 2	712	38	182	332	70.73%	1264

분석 결과 정상자료의 경우 Case 1 및 Case 2가 모두 대부분

본의 자료를 정확하게 판단해내고 있으나 오류자료의 경우 Case 1이 514개의 오류자료 중 54개만을 오류자료로 판단하고 460개의 자료를 정상으로 판단하는 것에 비해 Case 2는 182개의 오류자료를 검출하였고 332개의 자료를 정상으로 판단하여 Case 2가 Case 1보다 정확도가 9.93% 상승한 것을 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후과제

고속도로관리시스템의 루프검지기로부터 수집되는 자료를 가공하여 구간정보를 산출하는데 있어서 기초적인 신뢰성을 보장하기 위한 30초 원시자료의 실시간 거시적 오류 판단과정은 매우 중요한 것임에도 불구하고 현재까지 국내에서 연구된 바가 거의 없다.

본 연구는 현재 국내의 FTMS의 오류자료 판단과정 및 기존의 연구들을 종합하여 가능한 오류자료 판단조건을 찾아 이론적으로 고찰하고 실제 국내 고속도로 자료에 적용시켜 분석하였음에 그 의의가 있다.

적용 결과 속도 임계치 검정 및 쌍루프간 점유율 유사성 검정, 동일자료 연속검출 검정, 속도-점유율비 검정 등은 현재 국내 FTMS에서 사용되고 있으나 논리적인 근거가 약하거나 검출되는 오류가 거의 없는 것으로 분석되었다.

분석을 통하여 선정된 오류자료 판단과정은 자료의 속성값 하나만을 대상으로 하는 간단한 자료임계치검정과 교통량, 속도, 점유율의 관계식을 이용한 자료관계검정을 모두 포함하고 있다. 특히, 차량길이를 이용한 자료관계검정은 자료임계치검정만으로는 검색할 수 없는 폭넓은 범위의 오류자료를 검색할 수 있으며 그 임계치(최소차량길이 및 최대차량길이)에 대한 논리적 근거가 다른 자료관계검정에 비해 뚜렷하여 우수한 검정 조건으로 판단된다.

본 연구에서는 선정된 오류자료 판단과정의 효과를 평가하기 위하여 현장조사를 통하여 참값을 수집하고 이를 현재 국내에서 시행되고 있는 기존의 알고리즘과 비교 분석하였다. 분석 결과 본 연구에서 제시한 알고리즘이 기존 알고리즘에 비해 정확성이 9.93% 높아 보다 효과적으로 오류자료를 검색하는 것을 알 수 있었다.

그러나 본 연구에서는 각 오류판단조건의 임계치에 관한 심도 있는 연구를 진행하지 못하였다. 국내 실정에 맞는 정확한 임계치의 검토 및 설정은 오류자료 판단과정의 정확성을 높이는데 있어서 매우 중요하다. 향후 오류판단조건의 임계치 설정에 관한 새로운 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국도로공사, 「제2세대 FTMS 구축방안 연구 최종보고서」, 2004
2. 한국도로공사, 「고속도로 우회도로 ITS(1단계) 실시설계 보고서」
3. 천안-논산 고속도로(주), 「실시 설계보고서, 천안-논산 간 고속도로 지능형 교통시스템 설치공사」, 2001
4. 이청원, 송영화, 이분산성을 고려한 영상검지기 정확도 감소함수 추정, 2006
5. Annual Meeting of the Transportation Research Board, November 11, An Investigation of Extraction Transformation and Loading (ETL) Techniques for Traffic Data Warehouses, 2003
6. Leslie N.Jacobson, Nancy L. Nihan, and Jeffrey D.Bender, Detecting Errorneous Loop Detector Data in a Freeway Traffic Management System, TRR 1287
7. Washington D.C DOT, Traffic Data Quality Measurement, September 15, 2004
9. Don Creghorn, Fred L.Hall, and David Garbuio, Improved Data Screening Techniques for Freeway Traffic Management Systems, TRR 1320
10. Battelle, Traffic Data Quality Measurement Fianl Report, 2004
11. Rod E. Turochy and Brian L. Smith, New Procedure for Detector Data Screening in Traffic Management Systems, Transportation Research Record 1727 Paper No. 00-0842, 2000
12. Fred L. Hall and Bhagwant N. Presaud, Evaluation of Speed Estimates Made with Single-Detector Data from Freeway Traffic Management Systems, Transportation Research Record 1232