

단속류 구간소통정보산출 알고리즘의 적합성 진단

Study on The Diagnosis of Suitability for estimating Link Travel Information on the condition of the interrupted

이상건 (국토연구원, 연구위원) 이용중 (국토연구원, 연구위원) 고용석 (국토연구원, 연구위원)

Key Words : 단속류, 구간소통정보, DSRC, VDS, GPS, 통행속도, 알고리즘, RMSE, 추세반영, 제공값, 실측값

목 차

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| I. 서론 | 2. 분석방법 |
| II. 문헌고찰 및 국내 적용검지체계의 특성 | IV. 분석결과 |
| 1. 문헌고찰 | 1. RMSE분석 |
| 2. 검지체계별 알고리즘 현황분석 | 2. Paired t-test |
| III. 현장실험 환경 및 분석방법 | 3. 검지체계별 빈도수(제공 - 실측) 분 |
| 1. 조사대상지점 선정근거 | V. 결론 및 향후 연구과제 |

I. 서론

선진국에서만 뿐만 아니라 우리나라에서도 경제적, 사회적 발전에 따른 교통혼잡으로 교통의 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 이러한 시대적 요구와 범국가적인 관심을 해결하기 위한 하나의 방법으로 지능형 교통시스템이 발전하게 되었고 우리나라에서도 많은 투자와 연구를 아끼지 않고 있다.

지능형 교통체계(ITS)의 개별시스템 중에서 첨단교통관리시스템(ATMS)과 첨단여행자정보시스템(ATIS)은 핵심요소중의 하나이며 서비스이용자 측면에서도 중요한 부분으로 이러한 시스템 구축을 위해서 반드시 해결되어야 하는 문제는 도로의 실시간 링크통행시간 정보수집체계를 구비해야 하고, 이를 통한 신뢰성 있는 교통정보가 서비스이용자에게 제공되어야 한다는 것이다.

과거에는 전세계적으로 루프검지기를 기반으로 수집한 지점정보를 토대로 교통정보제공과 교통신호제어를 함으로서, 교통수요예측의 한계성과 교차로 기하구조 및 운전행태의 다양성을 잘 고려하지 못하였다. 이러한 점을 극복하기 위한 끊임없는 노력의 일환으로, 현재에는 교통검지기술이 급격히 발달하게되어 다양한 검지기가 교통신호제어와 교통정보제공에 적용되었고, 지점정보수집방식의 한계를 보완한 구간정보수집을 위한 여러 가지 검지방식들이 실제로 교통정보수집에 활용되고 있다.

그러나 이러한 많은 연구와 노력에도 불구하고 아직도 각각의 검지체계의 특성을 제대로 파악하지 못한 채, 각 도로별 기하구조나 검지특성을 충분히 고려하지 못하고, 검지기 설

치·운영, 검지방식에 대한 충분한 고려없이 검증되지 않은 알고리즘을 적용함으로써 실제 교통현황과 제공정보간의 차이가 발생하는 등 전반적인 시스템의 효율성 저하시키고 있다.

이를 해결하기 노력의 일환으로, 본 연구에서는 이미 구축된 검지시스템에 의해 운영되어 제공되어지고 있는 교통정보의 신뢰성을 더욱 보완하는 차원에서 각 검지체계별 알고리즘에 대한 연구를 실시하였다. 많은 검지체계 중에서도 현재, 우리나라의 단속류 구간에서 대표적으로 사용하고 있는 GPS 방식, VDS(Loop)와 DSRC방식으로 크게 분류하고 현장조사와 시스템 개발자, 센터운영자와의 직접 면담을 통해 그 진단을 실시하였다.

II. 문헌고찰 및 국내 적용검지체계의 특성

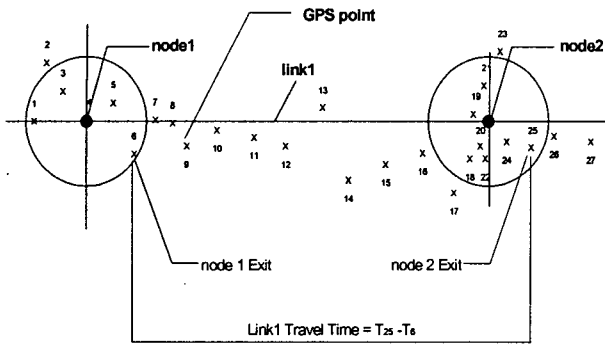
1. 문헌고찰

국내에도 구간소통정보산출과 관련한 많은 연구가 있었고 지금도 구간소통정보산출을 위해 통행시간과 관련하여 많은 연구가 진행되고 있다. 이 중에서 대한교통학회지에 발표된 몇 가지 대표적인 사례를 간단히 살펴보면 다음과 같다.

- 1) GPS probe 및 루프검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발(정연식 외, 대한교통학회지, 1998.8)
 - 목적 : 수집된 통행시간 자료/정보에 대하여 링크별 최적

통행시간 정보 추정을 위한 퓨전 알고리즘의 제시하였다.

- 알고리즘 : 가중평균기법, 퍼지회귀기법, Bayesian 기법을 퓨전 알고리즘에 적용하였고 GPS probe vehicle을 이용한 통행시간 추정 알고리즘(두 노드간의 시간 차이로 계산함)을 이용하였다.



<그림 1> GPS probe vehicle을 이용한 통행시간 추정 알고리즘

- 결론 : 다양한 수집체계로 수집된 교통정보의 통합을 위해 단순 산술평균을 적용하는 것보다 데이터 퓨전기법을 적용하는 것이 보다 신뢰도가 높은 것으로 나타났다.
- 한계점
 - 소통상황이 원활한 경우, 데이터 퓨전알고리즘의 효과가 미비한 것으로 나타났다.
 - 75개의 데이터 퓨전 기법이 있지만, 이 논문에서는 3가지 기법만을 적용하였다.
 - 특정지역, 2가지 수집체계만을 고려하여 알고리즘을 분석하였다.
 - 여러 가지 교통소통상황의 LOS를 고려한 알고리즘 개발이 요구되었다.

2) AVL을 이용한 구간통행시간 산출기법 개발(김성인 외, 대한교통학회지, 1999.6)

- 목적 : 수집한 자료를 가지고 교통 소통정보를 산출하는 알고리즘을 개발, 검지기나 비콘을 설치하여 교통정보를 수집할 경우, 차량인식을 할 때에 검지기가 제공하는 정보의 신뢰도가 낮고, 검지기나 비콘을 설치하고 운영하는 데 많은 비용이 들므로, 이를 보완하기 위해 개발하였다.
- 알고리즘
 - 실시간 분석통계알고리즘 : 연속하는 세 개 구간의 통행패턴을 이용해서, 가운데 구간의 통행시간을 산출하는 방법을 제시하였고,
 - 과거자료분석 알고리즘 : 회귀분석을 이용해서 시간대별 통행시간 평균과 분산을 구하고, 이 결과를 바탕으로 인접 구간 상관도 정보를 오프라인으로 구하는 알고리즘으로서
 - 자료융합 알고리즘 : 실시간 자료융합(실시간에 가까운 자료원의 실시간 분석 통계 알고리즘 결과 패턴과 인접구간 상관도 정보를 이용한 구간통행시간 추정 결과를 이용해서 패턴에 따라 다른 방법으로 융합하는 알고리즘) & 최

종 자료융합(실시간 자료융합 결과와 회귀분석 결과의 패턴을 이용해서 구간 통행시간을 산출함 노드간의 시간 차이로 계산함)으로 나뉜다.

- 결론
 - 구간통행시간 산출하기 위해 해석기법, 회귀분석, 인공지능 및 전문가 시스템, 통계분석을 이용하여 믿을 수 있는 구간 통행시간을 산출할 수 있다.
 - 개발 알고리즘의 평가를 위해 시뮬레이션과 실제 주행조사를 실시하였고 각각의 오차율이 2%미만, 5%정도로 나타났다.
- 한계점
 - AVL기법을 이용할 경우, 처리해야 할 자료의 양을 줄더라도 자료량이 방대하여 실시간에 정보를 산출하는 것이 힘든 것으로 나타났다.
 - 통신이 어려운 지대의 경우, 정보를 얻기가 힘들고, 조사차량의 대수가 많아지면 통신비용이 증가한다.
 - 개발한 구간통행시간은 실시간 자료를 가지고 산출한 최근 정보일 뿐, 구간통행시간을 예측하거나 최적경로를 제공하는 것은 힘든 것으로 나타났다.

2. 검지체계별 알고리즘 현황분석

본 연구에서는 현재 우리나라에서 대표적으로 사용하고 있는 GPS방식, VDS(Loop 기반)방식, 그리고 DSRC방식으로 한정하고 각 검지체계별 알고리즘에 대해 개략적으로 설명하면 다음의 표와 같다.

<표 1> 각 검지체계별 알고리즘(개략적 사항)

| 구분 | 알고리즘(개괄적 내용) |
|--------------|---|
| GPS방식 | <ul style="list-style-type: none"> • Probe 차량을 이용하여 자료를 수집 • 퍼지회귀를 이용하여 데이터 퓨전을 실시함 • 정보제공단위는 5분임 |
| VDS(Loop) 방식 | <ul style="list-style-type: none"> • 각 검지기에서 30초 주기로 차로별 원시자료를 수집 • 검지기 데이터를 1, 2차 처리함 • 누락/오류가 된 자료의 시점에서 이전 시점으로 5분 자료를 평균하여 누락된 시점의 자료를 추정 • 지수이동평활법을 이용하여 평활화 수행 • 지점별 30초, 5분, 15분, 1시간, 일별 자료의 생성 • 지점속도, 구간속도, 구간통행시간 등의 정보산출 • 정보제공단위는 5분임 |
| DSRC방식 | <ul style="list-style-type: none"> • Probe 차량이 주요교차로 및 혼잡지역 등을 통과하여 교통자료수집 • 정보제공주기는 5분임 • 정보제공주기 내에 Probe 차량의 통과대수가 1대 이하인 경우의 데이터를 사용하지 않음(과거의 이력자료를 이용) • 존재하지 않는 노변장치나 차량장치의 ID정보는 버림 |

III. 현장실험 환경 및 분석방법

1. 조사대상지점 선정근거 및 특성

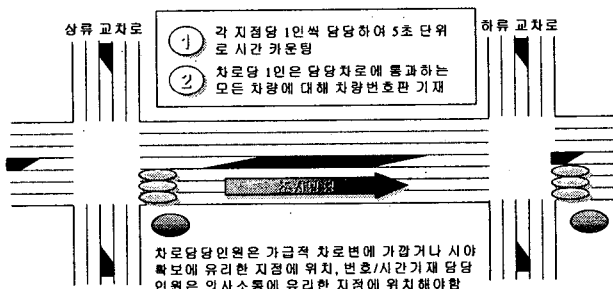
단속류 검지체계의 운영현황 및 수준, 지역별 및 검지체계별 시스템의 특성을 파악한 후, 다음과 같은 항목들을 고려하여 조사대상지점을 선정하였고, 특성은 다음의 표와 같다.

- 고려항목 : 축 대표성, 기하구조 적정성, 도로이용 적정성, 신호운영 적정성, 자료협조 여부 등
- 조사시간 : 오전 7시~9시, 오후 2시~4시

<표 2> 조사대상지점 특성

| 구분 | A지역 | B지역 | C지역 | |
|----------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------|
| 적용 검지체계 | DSRC방식에 의한 프로브 차량의 소통 정보 수집 | VDS 지점검지방식에 의한 소통정보 수집 | GPS 방식에 의한 프로브 차량의 소통 정보 수집 | |
| 축대표성 | 남북간 주요 교통축 | 남북간 주요 교통축 | 남북간 대로 | |
| 기하구조 적정성 | 조사교차로수 | 5개 | 7개 | 4개 |
| | 축연장 | 1656m | 3886m | 2055m |
| | 차로수 | 왕복6~8차로 | 왕복8~10차로 | 왕복6차로 |
| | 버스전용차로 유무 | 없음 | 없음 | 없음 |
| | 축내 교차로수 | 7개 | 10개 | 6개 |
| 도로이용 적정성 | 가로교통량 약 2,826대/시 | 가로교통량 약 2,867대/시 | | |
| 신호운영 적정성 | 신신호시스템, 연동제어구간 | 신신호시스템, 연동제어구간 | 신신호시스템, 연동제어구간 | |

- 조사항목 : 조사구간을 통행한 차량들의 평균통행시간
- 조사방법 : 차량번호판 조사방법을 사용함



<그림 2> 차량번호판 조사방법

2. 분석방법

센터 제공값과 현장 실측값의 비교는 RMSE분석, paired t-test 분석, 추세반영분석, 대표치분석, 교통축 분석 등을 이용하였다.

IV. 분석결과

GPS방식, VDS(Loop)와 DSRC방식으로 크게 분류하고, 교통정보센터에서 서비스 이용자들에게 제공하는 5분단위의 제공값과 현장에서 조사원들의 차량번호판 조사를 통한 실측값에 대해 분석방법에서 제시한 분석항목들에 대해 비교/분석하였다.

1. RMSE분석

모형의 추정력 평가를 위한 척도로서 RMSE 방법이 있으며 각 계급별 실측치와 추정치간 차이의 크기로 산출되는 RMSE 값에 의해 추정력을 평가하는 방법으로서, 그 값이 작을수록 모형의 추정력이 우수함을 나타냄

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i (X(t) - \bar{X}(t))^2}{n}}$$

(단위 : 속도, kph)

$X(t)$: 추정치, 검지체계로부터 처리된 제공정보값
 $\bar{X}(t)$: 실측치, 현장조사로부터 얻어진 실측정보값
 N : 표본수, 추정 및 실측정보 비교시에 자료수

RMSE 값에 의한 모형의 분포비교가 교통현상을 객관적으로 묘사한다고 볼 수는 없지만 다(多)분포의 상호간 비교에서 RMSE 값에 의해 통계적으로 추정력이 우수한 모형을 객관적으로 찾아낼 수 있는 장점이 있다.

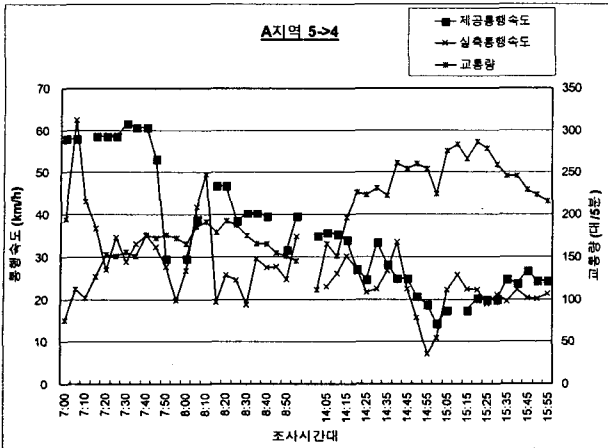
<표 3> 각 검지체계별 RMSE값

| 구분 | A지역(DSRC) | | | | B지역(VDS) | | | | C지역(GPS) | | |
|------|-----------|-------|------|-------|----------|-------|-------|-------|----------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 링크 | | | | | | | | | | | |
| RMSE | 14.18 | 16.88 | 9.08 | 11.08 | 19.75 | 20.27 | 22.85 | 28.46 | 7.64 | 5.67 | 8.40 |

2. Paired t-test

1) A지역

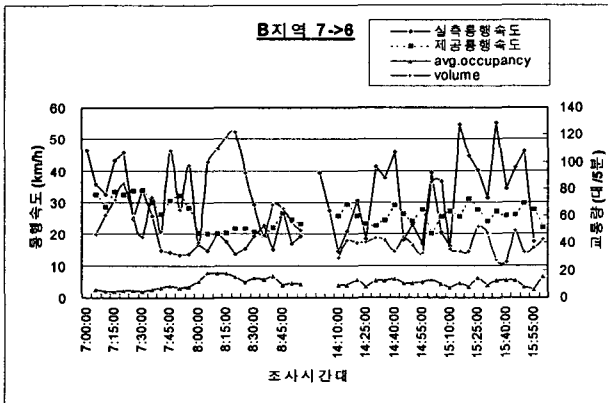
- 짝지은 두 평균치를 비교하는 모수적 통계방법의 하나로써, 표본의 모집단 반영여부를 알 수 없어 모집단을 대표할 수 없는 경우에 주로 사용한다.
- 유의수준별 t-value로 기각영역내 존재 여부를 파악함으로써, 실측치와 추정치의 유사정도를 파악할 수 있다.



<그림 3> A지역(DSRC방식) 제공통행속도 VS. 실측통행속도

- 대전시 DSRC방식은 택시의 운행특성과 신호에 의한 단속 여부에 따라 많은 진폭을 보이고 있으나, 교통량이 많아 프로브차량(택시)의 검지자료가 많은 경우, 실제 도로상황에 적합한 제공속도를 산출하는 것으로 판단된다.

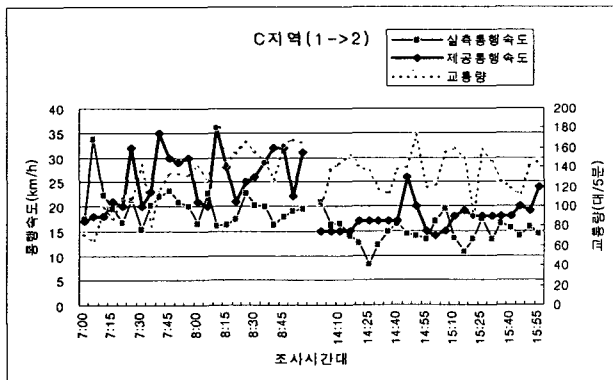
2) B지역



<그림 4> B지역(VDS방식) 제공통행속도 VS. 실측통행속도

- VDS방식은 비포화상태의 교통소통상황에서 교통량이 일정한 상황에 대한 제공통행시간이 추정력이 우수한 것으로 사료되며 교통상황의 민감한 변화에 대한 추정력엔 한계를 보이는 것으로 판단된다.

3) C지역

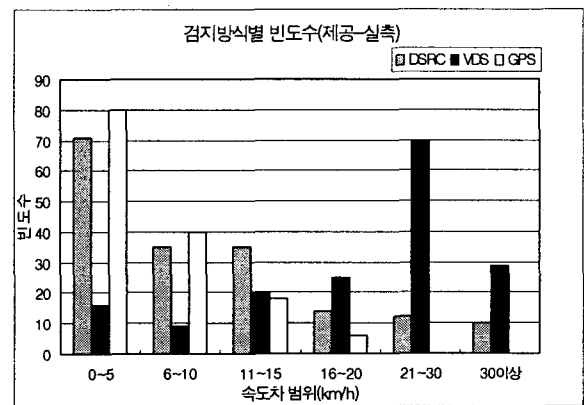


<그림 5> C지역(GPS방식) 제공통행속도 VS. 실측통행속도

- GPS방식의 경우, 택시와 버스의 운행특성과 신호에 의한 단속여부에 따라 많은 진폭을 보이고 있으나, 교통량이 많아 프로브차량(택시)의 검지자료가 많은 경우, 실제 도로상황에 적합한 제공속도를 산출하는 것으로 판단된다.

3. 검지체계별 빈도수(제공 - 실측) 분석

- 현재 이용자들에게 실제 제공되고 있는 제공통행속도와 현장에서 실제로 관측한 실측통행속도와의 속도차에 대한 각 속도범위 계급값에 대한 빈도수를 나타내면 다음과 같다.



<그림 6> 검지방식별 제공-실측 속도차의 빈도수

- 제공통행속도와 실측통행속도의 속도차가 5km/h 이하인 빈도수가 GPS방식은 약 56%, DSRC방식은 약 49%이고, 10km/h 이하인 빈도수는 GPS방식은 약 83%, DSRC방식은 약 56%로 GPS방식이 다른 방식에 비해 비교적 정확한 제공통행속도를 제공함으로써 실제 교통현황을 잘 반영하고 있다고 판단가능하다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

도로여건, 교통상황, 기하구조(링크길이, 구배, 차로수 등) 등이 각기 다르고 조사한 지역이 제한적이기 때문에 각 방식에 대한 비교에서 수치적인 데이터가 절대적인 기준이 될 수 없지만 VDS방식(지점검지방식)이나 DSRC방식(post - to post 방식)에 비해 GPS방식이 실제 현장을 잘 반영하는 것으로 판단된다. 그리고 DSRC와 GPS방식의 경우에는 교통량이 극히 적어 프로브 검지자료가 부족할 때, ① 매우 큰 진폭의 검지자료를 입력받게 되므로 평활화 과정을 거치면서 소통현황에 가장 가까운 프로브 통행자료를 왜곡하게 되고 ② 패턴데이터의 소통정보 추정력이 다소 떨어짐을 알 수 있고, VDS의 경우에는 ① 교통량이 많아지거나 교통량의 변화폭이 심한 경우는 제공속도의 현황 추정력이 다소 떨어지고, ② 검지기 자체가 산출하는 속도는 구간통행속도가 아닌 지점속도

이기 때문에 교통량과 밀도, 속도관계에 의한 알고리즘 구현에 한계성을 가짐을 알 수 있다.

향후에는, 입력자료(raw data) 구득과 분석을 통한 도로유형별 적정한 필터링 기준(상한 및 하한값) 결정방법론 재정립과 우수한 검지기 입력자료가 예외상황을 산출하는 경우에 대한 면밀한 분류를 통해 축 내에 신호교차로의 존재유무와 개수, 그리고 링크내 대기행렬, 버스나 택시 등의 측면마찰로 인한 요인 등을 고려하여 각 검지방식의 장점을 토대로 조사 site에 대한 특성을 반영하고, 검지기 설치근거를 반영한 case별 알고리즘 구축이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김 성인 외, AVL을 이용한 구간통행시간 산출기법 개발, 대한교통학회지, 17(2), 91-103, 1999.
 2. DSRC를 이용한 ETC서비스 및 ITS서비스 방안정립, 한국전파진흥협회, 2000
 3. 정연식 외, GPS probe 및 루프검지기 자료의 융합을 통한 통행시간추정 알고리즘 개발, 대한교통학회지, 1998.8
 4. 이 승재, 장 현호, CA모형을 이용한 단기 구간통행시간 예측에 관한 연구, 대한교통학회지, 21(1), 91-102, 2003.
 5. A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems, 2000. Fall.
 6. Field Test of Monitoring of Urban Vehicle Operations using Non-intrusive Technologies, 1997. 5.
 7. F. Dion and H. Rakha, Estimating spatial travel times using automatic vehicle identification data, TRB 2003.
1. 김 성인 외, AVL을 이용한 구간통행시간 산출기법 개발, 대