

차량검지기 자료 품질관리(QC) 프로세스

장진환

I. 서론

1990년대 초반 고속도로를 시점으로 국내에 도입된 지능형교통체계(Intelligent Transport Systems, ITS)는 더 이상 일반인에게도 낯설지 않게 되었다. 2008년 말 기준으로 고속도로 약 100%, 일반국도 약 15%에 ITS가 구축되었을 뿐만 아니라 유명 관광도시 및 대부분의 광역시 간선 도로에는 ITS가 구축되었다. 텔레비전 뉴스에서도 기상정보처럼 ITS 실시간 교통정보가 없어서는 안 될 필수적인 정보로 자리매김 하였다. ITS가 교통문제 해결을 위한 만병통치약(magic bullet)이 아님에도 불구하고 이처럼 보급률이 급격히 증가한 이유는 ITS가 교통문제를 해결하는 가장 효율적인 방법 중의 하나라는 인식이 확산되었기 때문일 것이다.

ITS의 여러 서비스 중에서도 특히 ATMIS(Advanced Traffic Management and Information System)는 도로변에 설치된 차량검지기 자료를 기반으로 도로 이용자 및 관리자에게 실시간으로 통행시간, 돌발상황 등의 정보를 제공하는 중요한 서비스 분야이다. 개별 관리주체별로 제공되었던 실시간 교통정보의 통합을 위해 국토해양부에서 추진한 ITS 표준화 사업 덕택으로 현재는 전국의 교통정보를 한 곳에서 얻을 수 있게 되었다(<http://www.its.go.kr/>).

이처럼 ITS 구축 확대로 인해 제공되는 교통정보가 양적으로는 크게 증가하였지만, 교통정보의 정확도(accuracy) 및 신뢰도(reliability)는 그에 상응하지 못하고 있는 실정이다. 전술한 바와 같이 ITS 교통정보는 현장에 설치된 차량검지기 자료를 기반으로 하여 생성되기 때문에 차량검지기 자료

의 품질관리(quality control)가 교통정보 정확도 향상에 핵심 요소임은 두말할 나위 없다. 그럼에도 불구하고 국내에서 구축되는 대부분의 ITS 사업을 보면 표준화된 차량검지기 자료 품질관리 과정이 부재한 실정이다. 또한 통계적 신뢰성 기반의 차량검지기 자료 품질관리는 ITS 교통자료의 2차적 활용을 위해서도 필수 불가결한 요소이다. 이에 본稿에서는 국내·외 문헌 검토를 통하여 범용적으로 활용 가능한 차량검지기 자료 품질관리 프로세스를 정립방안에 관해 고찰하였다.

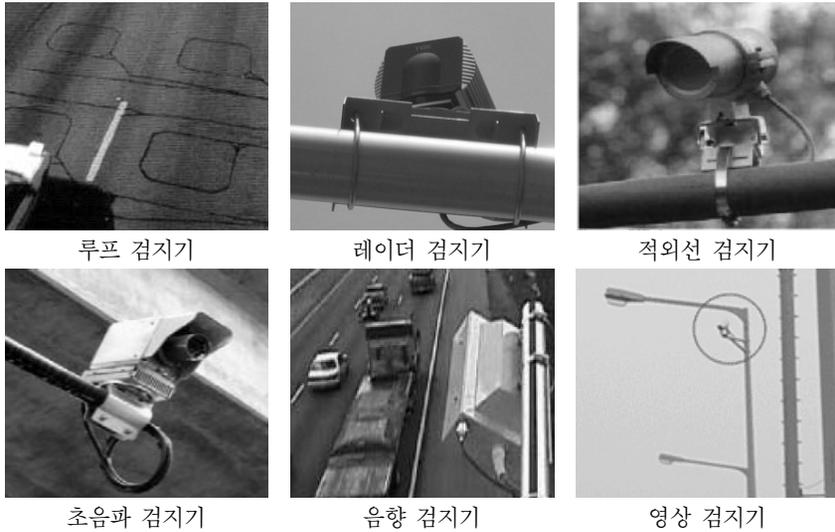
II. 본론

일반적으로 차량검지기 자료의 품질관리는 차량검지기의 설계, 구축, 유지관리의 전 과정에 걸쳐서 이루어져야 한다. 설계/구축과정에서는 해당 구축구간에 적합한 검지기 유형이 결정되어야 하고, 유지관리과정에서는 검지기 자료의 수집/저장, 저장 자료에 대한 오류자료 판별, 판별된 오류자료 처리, 처리된 이력자료의 평가, 평가된 이력자료 제공, 제공된 자료에 대한 이용자 만족도 조사, 개선책 수립 등의 프로세스가 이루어져야 한다.

1. 차량검지기 설계 및 구축

일반적으로 차량검지기는 <그림 1>과 같이 루프(loop), 비디오 영상(video image), 레이더(microwave), 지자기(magnetic), 초음파(ultra-sonic), 음향(acoustic) 등의 다양한 센서기술을 활용하여 만들어진다. 이러한 차량검지기 센서들은 <표 1>과 같이 각기 장·단점을 갖고 있기 때문에 모든 경우(교통, 도로, 기상)에 있어서 최상의 검지기는 존재하지 않고, 단지 구축 대상구간의 교통, 도로, 기상 조건에 최적의 검지기기술이 존재할 뿐이다. 따라서 차량검지기 설계시 구축 대상구간의 제반여건을 면밀히 검토한 후 해당 구간에 적합한 차량검지기 기술을 설계하는 것이 차량검지기 자료 품질관리의 출발점이다.

설계시 아무리 우수한 검지기기술을 설계하고, 최신의 장비를 구축했다 할지라도 해당 검지기가 설치되는 지점에 적합한 교정(calibration)과 평가(evaluation)가 이루어지지 않을 경우에는 검지자료의 정확도는 저하된다. 혹자는 新장비가 구축되었는데, 무슨 검사가 필요한가? 라는 의문을 제기하



〈그림 1〉 검지센서별 차량검지기 종류

〈표 1〉 국내에 보급된 검지센서별 장·단점 비교

센서 유형	설치 형태	장점	단점
루프 검지기	매설식 (intrusive)	- 정확도 우수 - 환경영향 적음	- 유지관리 어려움(센서파손, 교통 방해, 가동률 저하) - 교량에 설치시 정확도 저하 - 포장면 손상
영상 검지기	roadside mounting	- 유지관리 용이 - 노건 제약 없음	- 환경(안개, 강설 등) 영향 큼 - 루프에 비해 정확도 저하
레이더 검지기	side-fire	- 유지관리 용이 - 환경영향 적음	- 노건 제약(3m 이상 확보 필요) - 중앙분리대에 의한 검지율 저하 - 루프에 비해 정확도 저하

는 경우도 있는데, 이는 검지기의 기능(function)과 검지자료 정확도를 좌우하는 성능(performance)을 혼동하는 데에서 발생한다. 새로운 검지기의 경우 하드웨어적인 기능은 최상의 상태일 것이다. 하지만 해당 지점의 교통, 도로, 환경 특성에 맞게 조정해 주어야 하는 다양한 파라미터들 때문에 단지 새로운 검지기라고 해서 최상의 성능을 나타내지는 않는다. 이러한 파라미터 들은 검지기술별로 그 종류가 다양할 뿐만 아니라 공간적 전이성도 없다. 따라서 우리나라를 비롯한 미국, 유럽 등 선진국에서는 검지기 구축시 성능평가를 위하여 자체적인 규격 및 표준을 제정하여 운영하고 있다.

〈표 2〉 차량검지기 성능저하 요인

센서 유형	교통, 도로, 환경적 요인	장비, 시스템적 요인
공통	<ul style="list-style-type: none"> - 덧씌우기, 차선 재도색에 의한 차선 위치 변경(검지영역이 변경) - 돌풍 등에 의한 센서 진동 - 교통사고에 의한 검지기 파손 - 사이클 경기 등 비정상적 교통상황 	<ul style="list-style-type: none"> - 통신 불량(통신장비 등) - 검지기 H/W 및 S/W 불량 - 낙뢰 등에 의한 장비 고장 - 센터DB-장비간 통신 프로토콜 미준수
루프	<ul style="list-style-type: none"> - 일시적 노면온도 급변(인덕턴스 변화) - 노면 굴곡(rutting)에 의한 센서 파손 	
영상	<ul style="list-style-type: none"> - 영상센서 이물질(먼지, 거미줄 등) - 여름철 가로수 옷자람 - 섬광, 일출·몰, 황사, 짙은 안개 등 	

2. 차량검지기 유지관리

구축 대상구간에 최적의 검지기를 설계하고, 구축시 철저한 교정과 평가를 통하여 구축 직후에 검지기 자료의 품질이 최상이었다고 해서 해당 검지기의 운영기간 내내 그 최상 품질의 자료가 유지되는 것은 아니다. 전술했듯이 구축 직후의 검지자료 정확도는 구축 당시의 검지기 하드웨어와 구축 지점의 제반 상황 하에서 최적의 상태로 교정된 것이다. 따라서 검지기 하드웨어의 노후화 및 구축 지점의 교통, 도로, 기상환경 상황이 달라질 경우 이에 적합한 교정과 검사가 주기적으로 이루어져야 한다.

또한 정상적인 차량검지기가 하더라도 〈표 2〉와 같이 교통, 도로, 환경적 요인과 장비, 시스템적 요인에 의한 비정상적인 상황이 발생할 경우 일시적으로 수집되는 자료의 품질이 저하될 수 있기 때문에 센터의 DB에 축적되는(archived) 검지기 자료의 상시적인 오류자료 판별 및 판별된 오류자료를 처리하는 프로세스가 필요하다.

1) 오류자료 판별(validity check)

오류자료 판별이란 구축 당시 양호한 검지기 자료 품질(정확도)이 〈표 2〉와 같이 일시적 요인이나 검지기 노화 등으로 인해 품질이 저하되는지 여부를 판별하는 프로세스으로써 이는 주로 센터 DB나 검지기에 탑재된 프로그램

램에 의해 이루어진다. 현재까지 많은 오류자료 판별 알고리즘이 교통 및 통계학자에 의해서 개발되었는데, 이러한 오류자료 판별 방법론은 크게 세 가지로 나누어진다.

- 단일 또는 다변량 유효성 검사 방법론 : 교통량, 속도, 점유율, 차량길이 등의 단일변량(univariate variable) 또는 단일변량의 결합에 의해 생성되는 다변량(multivariate variable) 자료의 최대·최소값 또는 교통류 및 통계적 이론에 기반으로 하는 합리적인 범위를 벗어나는지를 판별하는 방법론이다.
- 공간적 또는 시간적 일관성 검사 방법론 : 수집되는 교통자료가 공간적(인접 검지기 간 또는 인접 차로 간) 또는 동일 검지기에서 시간(시계열)적으로 일관성을 지니는가를 판별하는 방법론이다.
- 개별차량 자료 기반 유효성 검사 : 검지기가 수집하는 개별차량 단위의 교통자료(속도, 차량길이, 차두시간, 점유시간 등)가 교통류 이론 기반의 합리적 유효범위를 벗어나는가를 판별하는 방법론이다.

흔히 첫 번째와 두 번째 방법론을 거시적(macroscopic) 방법론이라고 하고, 세 번째 방법론을 미시적(microscopic) 방법론이라고 한다. 개별 방법론 별로 구체적인 사례는 내용이 방대하여 본 고에서는 수록하지 않았지만, 참고 문헌에 열거된 문헌을 참고하면 자세한 정보를 얻을 수 있다. 특히 미국을 중심으로 1990년 후반부터 ITS 교통자료의 2차 활용을 목표로 하는 ADMS(Archived Data Management System)가 ITS의 중요한 아키텍처로 자리매김 하면서 상기의 방법론을 적용하여 교통자료를 2차적으로 활용하기 위한 교통자료 Archiving 센터가 <표 3>과 같이 많이 증가하였다. 매년 미국을 중심으로 이러한 ADMS 센터에서 축적되는 교통자료 처리 방법론에 대한 많은 연구가 이루어지고 있고, 특히 ITS 센터 관리청(관)과 학교(학)/연구소(연)를 중심으로 이에 대한 많은 관심을 보이고 있다.

대부분의 센터에서는 연구 논문에서 주장한 정밀하고 복잡한 방법 대신 일반인도 쉽게 예상할 수 있는 유효범위를 갖는 단일 또는 다변량 유효성 검사 방법론을 채택하고 있는데, 이는 기존의 학술 논문에서 제기된 방법론

〈표 3〉 오류자료 판별로직을 탑재한 교통자료 Archiving(ADMS) 센터

ADMS	운영관리 수탁기관(학/연)	운영관리 위탁기관(관)
ADMS 버지니아	University of Virginia	버지니아 교통부
캘리포니아 PeMS	UC Berkeley	캘리포니아 교통부
CATT	University of Maryland	매릴랜드 도로국
Central Florida Data Warehouse	University of Central Florida	플로리다 교통부
FHWA Mobility Monitoring Program	TTI	FHWA
Kentucky ADMS	University of Kentucky	켄터키 교통부
피닉스 RADS	Maricopa County DOT	매리코파 카운티 교통부
PORTAL	Portland State University	오레곤 교통부
WisTransPortal	University of Wisconsin	위스콘신 교통부

들이 범용적으로 사용하기에는 한계가 있거나 또는 빠른 시간 내에 다량의 데이터를 처리해야 하는 센터 DB 처리능력을 고려할 때 현실적이지 않기 때문인 것으로 보인다. 따라서 향후 이에 대한 많은 연구를 통하여 많은 예산을 투입하여 수집하는 교통자료의 활용도를 높여야 할 것이다.

2) 오류자료 처리(Invalid data treatment)

차량검지기 자료 및 차량검지기 자료를 이용하여 제공되는 실시간 교통 정보의 품질향상을 위해서는 상기의 validity check 결과, 오류자료로 판정될 경우 판별된 오류자료에 대한 적절한 처리가 이루어져야 한다. 이러한 처리과정은 다음과 같이 판별된 오류자료의 보정, 대체, 삭제 등의 기법으로 이루어진다.

- 보정(adjusting) : 검지기가 수집한 자료에 적절한 보정계수(차로, 방향 등)를 적용하여 수집된 자료를 보완하는 기법이다. 이는 일부차로나 일부방향의 자료만이 수집된 경우에 적용 가능한 방법으로써, 주로 차로별로 별도의 센서를 설치하는 루프검지기나 지자기검지기 자료에 적용할 수 있다.
- 대체(imputing) : 검지기가 수집한 자료가 전체 차로에 걸쳐 누락되었거나 수집되었다고 하더라도 전체 차로에 대해서 불량 자료로 판명될 경

우 이를 누락 자료로 간주하여 동일 지점의 시계열 패턴 및 동시간대의 인접지점 검지기 자료를 이용하여 누락 자료를 대체하는 기법을 말한다.

- 삭제(erasing or filtering) : 검지기 자료가 동일지점에서 장시간 누락되어서 동일지점의 시계열 패턴 적용이 불가능하거나 동질성을 갖는 인접 검지기 의 동시간대 자료도 모두 누락되어서 통계적 신뢰성을 확보할 수 있는 적절한 대체기법을 적용할 수 없을 경우 해당 자료를 누락상태로 보존하거나 불량 자료가 존재하는 경우 이를 삭제 처리하는 기법을 말한다.

여기서 유의할 점은 오류자료의 보정 및 대체시에는 반드시 보정/대체 여부 및 보정/대체를 위해 사용된 방법론 등을 사용자가 쉽게 알아볼 수 있도록 메타 데이터 생성, 즉 flagging을 해야 한다는 것이다. 왜냐하면 해당 자료를 실시간 교통정보 생성 외에 2차적(교통 계획, 설계, 운영, 안전 등)으로 활용할 경우 사용자가 자신이 사용하는 자료에 대한 생성 과정을 알 수 있어야만 자료의 활용도를 증진시킬 수 있기 때문이다. 극단적인 경우에는 사용자가 보정/대체된 자료를 사용하지 않거나 자신의 보정/대체 방법론을 적용하여 새로운 자료를 생성할 수도 있을 것이다.

3) 수집자료 평가(data evaluation)

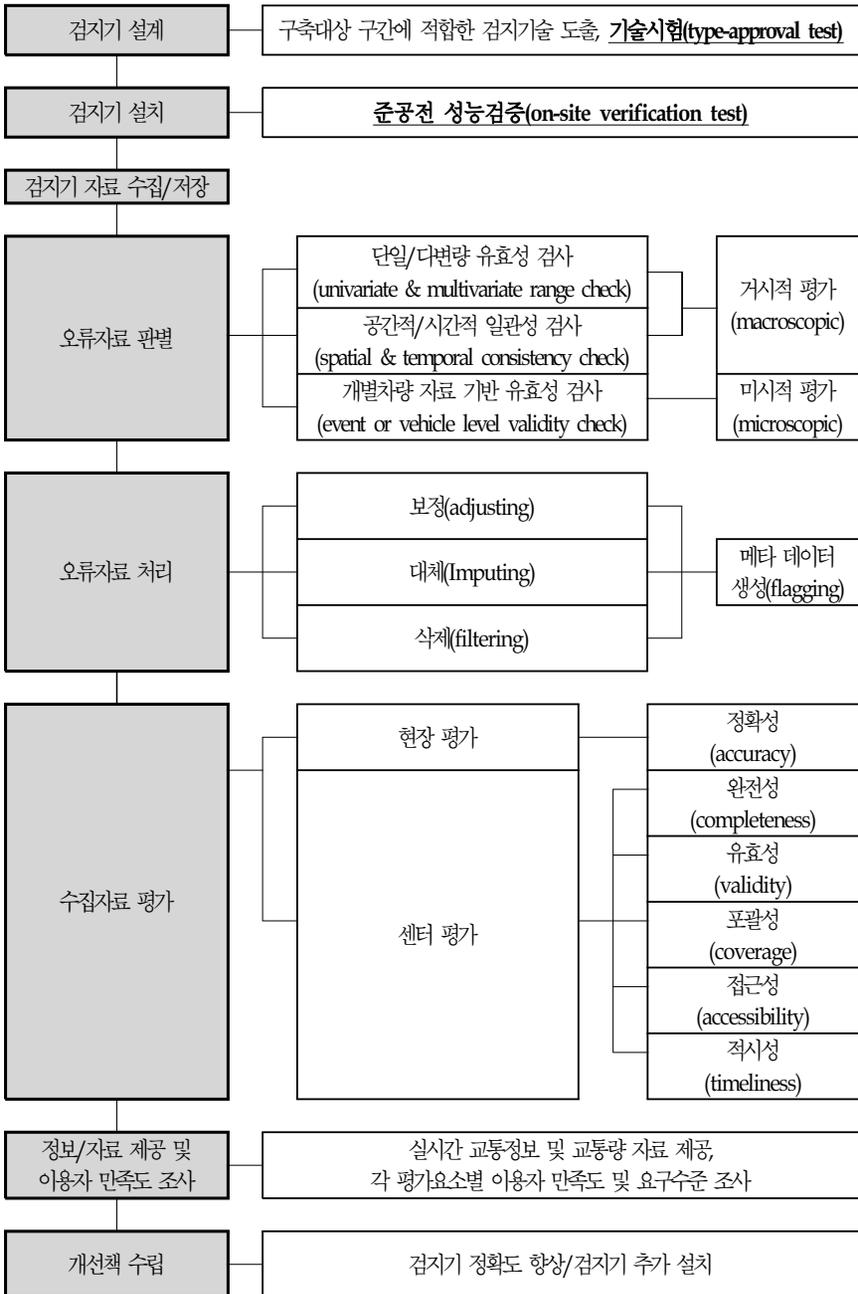
검지기 자료의 품질향상을 위해서는 전술한 오류자료 판별 및 처리과정을 거친 자료를 주기적으로 평가하여 부족한 부분을 보완하는 과정을 거쳐야 한다. 미국의 Battelle 연구소는 교통자료 품질평가 방법론 정립을 위하여 다음의 6가지 검지기 교통자료 품질평가 항목을 정립하였다. 이 중에서 정확성의 경우에는 기준장비(reference standard or baseline data source)를 이용하여 현장에서 수집한 자료를 이용하여 평가하는 것이고, 나머지는 센터 DB에 축적된 자료를 이용하여 평가하는 것이다. 따라서 정확성 평가가 시간/비용/기술적으로 가장 어려운 작업으로써, 이는 현재 국토해양부 차원에서 관련 법·제도를 정비하여 꾸준히 추진하고 있다.

- 정확성(accuracy) : 기준장비에서 수집한 기준값과 검지기가 수집한

측정값의 차이를 분석하여 검지기 자료의 정확한 정도를 평가하는 항목이다.

- 완전성(completeness) : 단위시간 동안 검지기가 수집해야 하는 전체 자료 중에서 오류자료를 포함하여 실제로 검지기가 수집한 자료의 비율 정도를 평가하는 항목이다.
- 유효성(validity) : 단위시간 동안 검지기가 수집한 자료 중에서 2.1장에서 언급한 오류자료 판별로직을 적용한 결과, 유효한 자료로써 판명된 자료의 비율 정도를 평가하는 항목이다.
- 포괄성(coverage) : 검지기가 설치되어야 할 전체구간 중에서 실제로 검지기가 설치된 구간의 정도를 평가하는 항목으로써, 포괄성에는 검지기가 설치된 전체 구간 길이를 평가하는 width of coverage와 검지기 설치간격을 평가하는 breadth of coverage가 존재한다.
- 접근성(accessibility) : 주로 검지기 자료의 2차 활용을 위하여 다양한 매체(책, 인터넷 등)를 통해 교통자료를 제공할 경우 이용자들이 자료에 접근하기 용이한 정도(다운로드 시간 등)를 평가하는 항목이다.
- 적시성(timeliness) : 검지기 자료가 시기적절하게 수집되는 정도를 평가하는 항목으로써, 예를 들어 실시간 교통정보 생성을 위해 전송되어야 할 검지기 자료가 통신 문제 등으로 인해 지연되어 수집될 경우 적시성이 저하된다.

일반적으로 산업공학에서는 품질관리(quality control), 품질보장(quality assurance), 전사적 품질경영(total quality management)란 용어를 사용한다. 이를 검지기 자료에 적용하면 2.1장과 2.2장에서 언급한 오류자료 판별과 오류자료 처리 과정이 quality control에 해당되고, 이에 2.3장의 수집자료 평가 과정까지 합하면 quality assurance가 된다. 그러나 이용자 중심의 품질관리를 위해서는 제공되는 자료/정보에 대한 이용자 만족도 조사를 수행하여야 하고, 조사결과를 분석하여 개선책을 수립하는 feedback 과정을 거쳐야 한다. 이러한 전 과정을 total quality management라고 명명하지만, 검지기 자료 품질관리 관점에서는 흔히 이들 과정의 전체 또는 일부를 품질관리라고 일컫는다. 이러한 차량검지기 자료 품질관리 프로세스를 정리하면 <그림 2>와 같다.



〈그림 2〉 차량검지기 자료 품질관리 프로세스

III. 결론

본 고에서는 범국가적으로 많은 예산을 투입하여 활발히 진행되고 있는 ITS의 핵심요소 장비인 차량검지기가 수집하는 교통자료의 표준화된 품질관리 프로세스를 차량검지기 설계/구축 및 유지관리 부분으로 나누어서 정립하였다. 차량검지기 자료 품질관리를 위해서 차량검지기 설계/구축 부분에서는 차량검지기 유형(센서 종류)별 장·단점과 구축대상구간의 교통, 도로, 환경적 특성을 면밀히 조사·검토한 후 최적의 검지기를 선정하여 구축하고, 구축 직후에는 교정과 평가를 통하여 검지기가 수집하는 교통자료의 정확도를 향상시켜야 한다. 또한 설치된 검지기의 유지관리 부분에서는 다양한 요인으로 성능이 저하될 수 있는 검지기 자료의 오류자료를 판별하고, 오류자료로 판별될 경우 보정, 대체, 삭제 등의 방법론을 이용하여 적절한 처리/가공을 하며, DB에 축적된 자료와 운영 중인 검지기에 대한 주기적인 평가를 통하여 자료 품질향상을 위한 필요사항을 정리하고 이에 대한 조치계획 수립 및 실행과정을 지속적으로 수행하여야 한다.

ITS의 일차적이고 가장 중요한 목표는 신뢰성 있는 교통정보를 실시간으로 제공하는 것이다. 물론 이를 위해서도 본 고에서 제시한 방법론이 유용하게 활용될 수 있지만, 실제로 본 고에서 제시한 방법론은 교통자료의 시계열적 상관성으로 인해 실시간 자료가 아닌 이력자료를 활용하여 적용시 그 효용성이 더욱 증대될 수 있다. 그러나 이력자료의 품질관리를 위해서는 실시간 교통정보 제공을 위한 운영관리 외에 추가적인 인력과 비용이 소요된다. 이로 인해 미국을 비롯한 선진국에서는 실시간 교통정보 센터 외에 <표 3>에서 언급한 ITS용 차량검지기 이력자료 품질관리 및 활용성 증진을 위한 별도의 센터(ADMS 또는 Archiving 센터)를 구축·운영 중에 있다. 따라서 국내에서도 범국가적 교통조사 비용 감소 및 교통자료 신뢰성 증대를 위해 추가적인 인력 및 예산확보를 통한 차량검지기 교통자료의 활용성을 증대하는 방안을 강구해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 오류자료 판별 관련 참고문헌 -

1. Leslie N. Jacobson, Nancy L. Nihan, and Jeffrey D. Bender(1998), Detecting Erroneous Loop Detector Data in a Freeway Traffic Management System, TRR No. 1287, TRB.
2. Shawn Turner, Luke Albert, Byron Gajewski, and William Eisele(2000), Archived Intelligent Transportation System Data Quality: Priliminary Analyses of San Antonio TransGuide Data, TRR No. 1719, TRB.
3. Rick Schmoyer, Patricia S. Hu, and Richard T. Goeltz(2001), Statistical Data Filtering and Aggregation to Hour Totals of Intelligent Transportation System 30-s and 5-min Vehicle Counts, TRR No. 1769, TRB.
4. Sherif Ishak(2003), Fuzzy-Clustering Approach to Quantify Uncertainties of Freeway Detector Observations, TRR No. 1856.
5. Eun Sug Park, Shawn Turner, and Clifford H. Spiegelman(2003), Empirical Approaches to Outlier Detection in Intelligent Transportation Systems Data, TRR No. 1840, TRB.
6. Adolf D. May, Randall Cayford, Benjamin coifman, and Greg Merritt (2003), Loop Detector Data Collection and Travel Time Measurement in the Berkeley Highway Laboratory, UCB-ITS-PRR-2003-17, University of California.
7. Chao Chen(2003), Freeway Performance Measurement System (PeMS), UCB-ITS-PRR-2003-22, University of California.
8. Christos D. Achillides and Darcy M. Bullock(2004), Performance Metrics For Freeway Sensors, FHWA/IN/FTRP-2004/37, Purdue University.
9. Jaimyoung Kwon, Chao Chen, and Pravin Varaiya(2004), Statistical Methods for Detecting Spatial Configuration Errors in Traffic Surveillance Sensors, TRR No. 1870, TRB.
10. Lelitha Vanajakshi and L. R. Rilett(2004), Loop Detector Data Diagnostics Based on Conservation-of-Vehicles Principle, TRR No. 1870, TRB.
11. W. A. M. Weijermars and E. C. Van Berkum(2006), Detection of Invalid Loop Detector Data in Urban Areas, TRR No. 1945, TRB.

12. Lixin Lang and Benjamin Coifman(2006), Identifying Lane-Mapping Errors at Freeway Detector Stations, TRR No. 1945, TRB.
13. ASTM(2008), Standard Practice for Dealing With Outlying Observations, ASTM E 178-08, ASTM International.

- 오류자료 처리(보정, 대체) 관련 참고문헌 -

1. 장진환, 백남철(2005), 교통량 결측자료 대체기법 연구, 2005년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회.
2. 김정연, 이영인, 백승걸, 남궁성(2006), 차량 검지자료 결측 보정처리에 관한 연구 (이력자료 활용방안을 중심으로), 대한교통학회지, 제24권 제7호, 대한교통학회, pp.27~40.
3. 하정아, 박재화, 김성현(2007), 일반국도 상시 교통량자료를 이용한 교통량 결측자료 추정, 대한교통학회지, 제25권 제1호, 대한교통학회, pp.121~132.
4. 김현석, 남두희, 임강원, 이영인(2007), 순환확률분포를 이용한 교통량 결측자료 보정 모형, 대한교통학회지, 제25권 제4호, 대한교통학회, pp.109~121.
5. Brian L. Smith and James H. Conklin(2001), The Use of Local Lane Distribution Patterns to Estimate Missing Data Values from Traffic Monitoring Systems, TRB 2002 Annual Meeting, TRB.
6. Brian L. Smith et al.(2003), Exploring Imputation Techniques for Missing Data in Transportation Management Systems, TRB 2003 Annual Meeting, TRB.
7. Satish Sharma et al(2003), Effect of Missing Value Imputation on Traffic Parameters Estimation from Permanent Traffic Count, TRB 2003 Annual Meeting, TRB.
8. Linh N. Nguyen and William T. Scherer(2003), Imputation Techniques to Account for Missing Data in Support of Intelligent Transportation Systems Applications, UVACTS-13-0-78, University of Virginia.
9. Daigeng Ni, John D. Leonard II, Angshuman Guin, and Chunxia Feng(2005), Multiple Imputation Scheme Overcoming the Missing Values and Variability Issues in ITS Data, Journal of Transportation Engineering, ASCE.

10. Jianwei Wang, Nan Zou and Gang-Len Chang(2008), Empirical Analysis Of Missing Data Issues For ATIS Applications: Travel Time Prediction, 87th TRB Annual Meeting, TRB.

- 오류자료 판별 및 처리 관련 참고문헌 -

1. P. Hu, R. Goeltz, and R. Schmoyer(2001), Proof of Concept of ITS as An Alternative Data Resource: A Demonstration Project of Florida and New York Data, ORNL.
2. Srinivas Peeta and Ioannis Anastassopoulos(2002), Automatic Real-Time Detection and Correction of Erroneous Detector Data with Fourier Transforms for Online Traffic Control Architectures, TRR No. 1811, TRB.
3. Chao Chen, Jaimyoung Kwon, John Rice, Alexander Skabardonis, and Pravin Varaiya(2003), Detecting Errors and Imputing Missing Data for Single-Loop Surveillance Systems, TRR No. 1855, TRB.
4. Zachary R. Wall and Daniel J. Dailey(2003), Algorithm for Detecting and Correcting Errors in Archived Traffic Data, TRR No. 1855, TRB.

- 차량검지기 평가 관련 참고문헌 -

1. 장진환, 박창수, 백남철, 이미영(2004), 차량 속도별 영상검지기 성능분석, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 대한교통학회, pp.105~112.
2. 박상조(2005), 검지자료의 정확도 평가지표, 제46회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, p.190.
3. 장진환, 백남철, 이미영, 최대순(2006), 국가측정체계 소급성 확보를 위한 검지기 성능평가, 교통정책연구 제13권 제1호, 한국교통연구원.
4. 한국건설기술연구원(2009), 2008년 ITS 성능평가사업 업무대행, 최종보고서, 국토해양부
5. 이청원, 송영화(2007), 이분산성을 고려한 영상검지기 정확도 추정, 대한교통학회지, 제25권 제2호, 대한교통학회, pp.7~15.
6. Klein L. A., and M. R. Kelley(1996), Detection Technology for IVHS Volume 1: Final Report Addendum, FHWA-RD-95-100, FHWA.
7. BSI(2000), Traffic Control Equipment-Vehicle Detectors, DD ENV 13563, European Committee For Standardization.

8. Nancy L. Nihan, Xiaoping Zhang, and Yinhai Wang(2002), Evaluation of Dual-Loop Data Accuracy Using Video Ground Truth Data, WA-RD-535.1, Washington State Transportation Center(TRAC), Washington State Department of Transportation.
9. Middleton D., and R. Parker(2002), Vehicle Detector Evaluation, FHWA/TX-03/2119-1, FHWA.
10. Minnesota DOT and SRF Consulting Group(2002), Evaluation of Non-Intrusive Technologies for Traffic Detection, Final Report, SRF No. 3683, FHWA.
11. Brian L. Smith, Ramkumar Venkatanarayana, and Clinton D. Smith (2003), ITS Data Quality: Assessment Procedure for Freeway Point Detectors, Virginia Transportation Research Council.
12. Battelle(2004), Traffic Quality Measurement, Final Report, FHWA
13. Coifman B., and Sudha Dhoorjaty(2004), Event Data-Based Traffic Detector Validation Tests, Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, ASCE.
14. Coifman B.(2005), Freeway Detector Assessment: Aggregate Data from Remote Traffic Microwave Sensor, TRR No. 1917, TRB.
15. Coifman B.(2006), Vehicle Level Evaluation of Loop Detectors and the Remote Traffic Microwave Sensor, Journal of Transportation Engineering Vol. 132, ASCE.
16. ASTM(2006), Standard Test Methods for Evaluating Performance of Highway Traffic Monitoring Devices, ASTM E 2532-06.
17. Battelle(2007), Quality Control Procedures For Archived Operations Traffic Data: Synthesis of Practice and Recommendations, Final Report, FHWA.
18. C. Archur MacCaley(2007), Automated Consensus-based Data Verification in the Caltrans Detector Testbed, TRB Annual Meeting, TRB.
19. Middleton D., R. Parker, and Ryan Longmire(2007), Investigation of Vehicle Detector Performance and Interface, FHWA/TX-07/0-4750 -2, FHWA.
20. Michael Dalglish and Neil Hoose(2008), Highway Traffic Monitoring and Data Quality, Artech House.

21. Luz-Elena Y. Mimbela(2008), Evaluate ASTM Standard for Traffic Monitoring Devices, VDC, New Mexico State University
22. C. Arthur MacClrley(2009), Adaptive Automatic Ground Truth Generation for Testing of Vehicle Detectors, TRB Annual Meeting, TRB.
24. Jinhwan Jang, Namcheol Baik, and Hyoungsoo Kim(2009), A New Evaluation Scheme for Vehicle Detectors Including a Traceability Concept, TRB Annual Meeting, TRB.

- 차량검지기 관련 참고문헌 -

1. AASHTO(1992) AASHTO Guidelines for Traffic Data Programs, American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. ASTM(1994), Standard Practice for Highway-Traffic Monitoring, ASTM E 1442-94, ASTM International.
3. Lawrence A. Klein(2002), Sensor Technologies and Data Requirements for ITS, Artech House.
4. FHWA(2006), Traffic Detector Handbook: Third Edition, FHWA-HRT-06-108, U. S. DOT.
5. ASTM(2007), Standard Practice for the Installation of Inductive Loop Detectors, ASTM E 2561-07a, ASTM International.



장진환