

## 고속도로 교통자료 품질 통합평가지표 개발

박현진<sup>1</sup> · 윤미정<sup>2</sup> · 김해<sup>2</sup> · 오철<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 교통·물류공학과, <sup>2</sup>한국도로공사 ICT센터

### Development of a Novel Integrated Evaluation Index for Freeway Traffic Data

PARK, Hyunjin<sup>1</sup> · YOON, Mijung<sup>2</sup> · KIM, Hae<sup>2</sup> · OH, Cheol<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Transportation and Logistics Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

<sup>2</sup>Information and Communication Technology Center, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi 445-812, Korea

#### Abstract

Evaluation of traffic data quality is a backbone of better traffic information and management systems because it directly affects the reliability of traffic information. This study developed an integrated index for evaluating the quality of archived intelligent transportation systems (ITS) data. Two novel indices including spatio-temporal consistency and severity of missing data were devised and integrated with existing indices such as availability and completeness. An evaluation framework was proposed based on the developed integrated index. Both analytical hierarchical analysis (AHP) technique and entropy method were adopted to derive mixed weighting values to be used for the integrated index. It is expected that the proposed methodology would be effectively used in enhancing the quality of traffic data as a part of traffic information system.

본 연구에서는 고속도로에서 수집되는 차량검지기 자료를 대상으로 자료의 품질에 영향을 미치는 요인을 분석하여, 신뢰성 있는 교통자료의 관리 및 활용을 위한 교통자료 품질 통합평가지표를 개발하였다. 이를 위하여 국내외 자료품질평가에 대한 현황 조사 및 분석을 수행하여 시사점을 도출하였다. 품질관리지표는 기존의 고속도로 검지자료 품질평가에 사용되고 있는 평가지표인 완전성과 유효성뿐만 아니라, 이를 수정·보완한 지표들을 제시하였으며, 교통자료의 특성을 반영한 시공간 일관성 지표와 결측심각성 지표를 신규지표로 제시하였다. 또한, 개별 품질 평가지표들을 통합적으로 관리할 수 있는 통합 평가지표를 개발하고 평가 프레임워크를 제시하였다. 통합 품질평가지표는 쌍대비교를 통한 설문조사 방법으로 가중치를 산출하는 AHP기법과 자료의 변동성을 고려하여 가중치를 산출하는 엔트로피방법을 통합하는 혼합가중치 산출 방안을 적용하여 도출하였다. 본 연구의 결과물은 교통자료의 효율적 관리를 가능하게 하고, 교통자료의 품질을 높일 수 있는 품질관리체계의 중요 구성요소로 활용될 것으로 기대된다.

#### Keywords

archived data, data evaluation, mixed weighting values, traffic data management, traffic data quality  
이력자료, 자료평가, 혼합가중치, 교통자료관리, 교통자료품질

\* : Corresponding Author

cheolo@hanyang.ac.kr, Phone: +82-31-400-5158, Fax: +82-31-400-4239

Received 8 April 2015, Accepted 24 August 2015

© Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도로 이용자에게 제공되는 교통상황, 공사, 기상정보 등은 보다 쾌적한 도로이용 환경을 조성하고 운전자들의 안전하고 빠른 통행을 지원하는 역할을 수행한다. 이를 위해서는 신뢰성 있는 교통정보는 반드시 필요하다. 신뢰성 있는 교통정보의 생산은 질 높은 교통자료 수집 및 가공기술과 더불어 기존 수집된 자료의 효율적 관리 및 활용이 뒷받침되어야 가능하다.

하루에도 방대한 양의 자료가 차량검지기 등 ITS관련 시설로부터 수집, 가공·처리, 저장되고 있다. 이렇게 수집된 자료가 교통안전, 교통계획 등 다양한 교통 응용 분야에 이용되면서 수집된 교통자료의 품질에 대하여 관심이 높아졌다. 국외에서는 ADMS(Archived Data Management System)를 통해 ITS자료를 각각의 응용 분야에 적용하였다. 그 결과, 각 응용분야에서 필요로 하는 자료에 대한 품질을 평가 및 관리하고 이용자에게 평가된 정보를 알릴 필요성이 제기되었다. 위와 같은 배경 하에 미국 FHWA에서 교통자료 품질에 관한 연구(FHWA, 2004)를 수행하였으며, 이 연구가 이 분야의 가장 모범적 연구사례이다.(Sin et al., 2007)

미국 FHWA에서는 교통자료의 품질에 대하여 "수집된 자료가 활용 목적에 얼마나 적합한지를 나타내는 정도"라고 정의하고 이를 정량화하는 방법론에 대하여 제시하였다. 또한 교통자료의 품질 평가를 위한 지표를 제시하였다.(FHWA, 2004)

그러나 지금까지 국내에는 차량검지기 자료의 정확성을 평가하기 위한 장비의 성능평가 연구가 대부분이며, (Sin et al., 2007) 수집된 자료에 대한 오류·결측 검지 및 보정의 정확성 등에 초점이 맞추어져있는 실정이다. 물론 바르지 않은 자료처리과정의 결과는 사용자에게 교통관리를 위한 판단에 혼돈을 주기도 한다. (Cheong, 2008) 또한 신뢰성 낮은 자료를 이용한 자료는 아무리 올바른 자료처리과정을 거치더라도 그 결과에 대해서 신뢰하기 어렵다. 현재 수집되는 교통자료들에 대한 명확한 평가 기준 또는 체계 없이 생성된 교통정보의 신뢰성에 대한 의구심을 제기하며, 교통자료품질평가 및 관리가 필요하다.(Kim et al., 2008)

기존의 많은 연구에서는 교통자료품질평가를 위하여 다양한 품질평가지표를 제시하였다. 이런 다양한 품질평

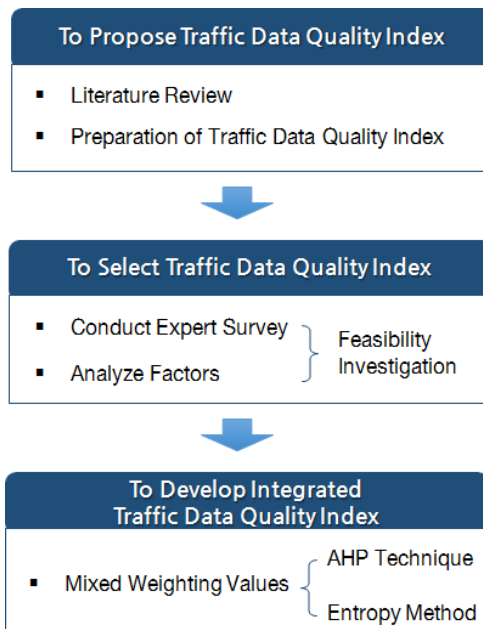


Figure 1. Research framework

가지표를 통합평가·관리할 수 있는 지표를 기존 연구에서는 평균 또는 곱하기 등을 이용하여 도출하였다. 하지만 데이터의 용도와 이용자의 목적에 따라 기준이 다를 수 있기 때문에 동일한 기준을 적용하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 각 항목에 데이터의 용도와 이용자의 목적에 맞게 다른 가중치를 적용하여 종합적으로 품질을 판단할 수 있는 통합품질평가지표가 필요하다.

본 연구는 고속도로에서 수집되는 이력자료를 대상으로 자료의 품질에 영향을 미치는 요인을 분석하여, 신뢰성 있는 교통자료의 관리 및 활용을 위한 교통자료 품질 통합평가지표를 개발하는 것이다. 이를 위한 연구의 흐름을 Figure 1에 나타내었다. 기존의 연구사례를 통하여 품질평가지표들을 도출 및 신규 지표들을 제안하고, 이를 종합적으로 판단할 수 있는 교통자료 품질 통합평가 방안을 제시하였다. 또한 기존의 연구에서의 단순 곱을 이용한 정량화 방법이 아닌, AHP 기법을 통한 전문가의 지식 반영과 엔트로피 방법을 통한 자료가 가지고 있는 자체 특성이 반영된 평가방안을 제안하였다.

### 기존 문헌 고찰

국내외 자료품질평가에 대한 연구를 통하여 자료의

품질관리 지표 종류 및 특성과 품질평가 방법 등을 수집하여 시사점을 도출하였다.

## 1. 검지기 자료 특성 및 처리공

정상적으로 수집된 자료와 비정상적으로 수집된 자료는 그 특징이 다르다. 비정상적으로 수집된 자료는 통계적으로 분산이 퍼져 있는 경우가 많이 있었다. 즉, 불량 검지기에서 수집되는 자료의 산포가 정상 차량검지기 보다 크게 발생하였다(Uddin et al., 2012; Chen et al., 2003). 이러한 자료의 특성을 이용하여 산포가 큰 자료의 경우 검지기의 불량을 판단하거나 자료의 품질이 낮은 것으로 판단할 수 있다.

Cheong(2008)은 현재 한국도로공사의 교통자료 처리공 기법 및 교통자료품질 산출법에 대한 문제점 및 오류를 지적하였으며, 문제점에 대한 해결방안을 제시하였다. 이를 통하여 교통자료 가공처리방안의 효율성을 높이고, 교통자료 품질 향상을 기대하였다. 이와 유사한 연구로 Lee et al.(2013)는 차량검지기 자료의 전처리 과정에서 오류·이상·결측자료에 대한 검지 알고리즘을 재정의하고, 이 자료에 대하여 태그를 부여하였다. 부여된 태그는 품질관련 효과적 산출시 또는 자료 처리 프로세스의 히스토리에 대하여 파악하는 용도로 활용될 수 있다고 하였다.

## 2. 교통자료 품질평가 대상 및 지표

미국의 ITS AMERICA 위원회는 ATIS Data Gaps Workshop을 통해 교통 자료의 종류를 교통센서자료, 사고/이벤트자료, 이미지자료, 도로/환경센서자료 나누었으며 이들을 품질평가 대상으로 정의하였다(DOT, 2000). 또한 Korea Expressway Corporation(2006)와 Sin et al.(2007)는 시간적, 공간적, 내용적인 모든 자료를 평가대상 자료로 선정하고 평가해야한다고 하였다. 이를 평가하기 위하여 FHWA에서 제시한 6가지 평가지표(FHWA, 2004)를 정량화하여 적용하였으나, 자료평가가 가능한 완전성, 유효성, 적시성에 대해서만 평가 프로그램을 구축하였다. ISO/TR 21707 보고서(2008)에서는 원시자료(Raw Data), 가공처리된 자료(Processed Data), 정보(Information)로 생산되기까지 각 단계별 품질평가와 실시간 및 이력자료 등

에 대한 품질평가에 대한 필요성을 언급하였다.

ITS AMERICA 위원회는 수집되는 자료의 품질확보를 위한 중요항목으로 정확성(Accuracy), 신뢰성(Confidence), 지체성(Delay), 가용성(Availability), 포괄성(Breadth/depth of Coverage) 등으로 정의하였다.(DOT, 2000) FHWA(2004)에서는 교통자료의 품질 평가를 위한 척도로 정확성(Accuracy), 완전성(Completeness), 유효성(Validity), 정시성(Timeliness), 포괄성(Coverage), 접근성(Accessibility)을 지표 항목을 제시하였으며, 이들 6개 지표에 대한 정량화 방법론을 제시하였다.

유럽연합의 QUANTIS(2010)는 앞선 지표들을 종합하여, 완전성(Completeness), 유효성(Availability), 진실성(Veracity), 일관성(Consistency), 정확성(Precision), 적시성(Timeliness), 타당성(Relevance)을 자료 평가 지표 항목으로 제시하였다.

## 3. 교통자료 품질평가 방법

Hamad et al.(2014)는 수집된 자료를 유효(Valid)한 자료와 비정상(Abnormal)적인 자료로 구분하여 품질을 평가하였다. 구분 기준으로 속도, 교통량, 점유율의 허용범위를 이용한 물리적 기준과 서로간의 조합한 타당성을 이용한 논리적 기준을 적용하였다. Shi et al.(2014)은 속도, 교통량, 점유율 자료의 물리적·논리적 타당성을 이용하여 오류를 구분 지었으며, 이상자료, 반복자료, 결측자료 등 사례를 제시하였다.

Sun et al.(2014)은 검지기에서 수집된 자료를 이용하여 구축한 고속도로 가상 네트워크 망에 최소화승최적화 방법을 사용한 NFDQP(Network Flow Data Quality Problem) Solution 알고리즘을 적용하여 자료의 품질을 측정하였다.

Ministry of Land Infrastructure and Transport(2008)에서는 교통자료 품질평가 지표로 완전성, 유효성, 적시성, 접근성을 사용하였으며, 교통정보의 신뢰성은 수집된 자료가 완전하면서, 포괄적으로 유효하고, 유효한 자료가 적시에 도착해야 된다고 하였다. 이를 위하여, 평가항목 간 조합평가가 수행되어야 하며, 조합평가 항목으로 완전유효성, 완전적시성, 유효적시성, 유효포괄성을 제안하였다. 조합평가 정량화 방법으로 지표간 곱을 제시하였으며, 종합품질평가 방안으로는 모든 개별

지표들 간의 곱을 제시하였다. 이는 모든 평가지표의 중요도가 일정하게 반영되어 있어 자료의 용도와 이용자의 목적에 따른 가중치를 반영하지 못하고 있다. 반면 유럽 연합의 QUANTIS(2010)에서는 자료의 사용 목적에 따라 평가지표의 가중치를 달리한 종합평가 방안이 필요하다고 하였다.

#### 4. 교통자료 품질평가 기준

FHWA(2004)에서는 품질의 정량적/정성적 척도, 품질의 만족수준, 품질의 평가방법론과 같은 가이드라인을 제시하였다. 그러나 각 평가항목에 따라 유사한 기준을 적용하고 있으며, 제시한 기준에 대한 근거가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

검지장비의 운영 및 관리방안, 설치기준 등은 개발되어 현장에서 적용되고 있다. 반면, 검지기에서 수집되는 교통자료들에 대한 명확한 평가기준 또는 체계가 없이 교통정보로 사용되고 있다. 교통자료의 품질이 어떤지를 모르는 상태에서 그 자료를 바탕으로 이루어진 교통정보의 신뢰성에 대한 의구심이 제기되며, 교통자료품질평가 및 관리가 필요하다(Kim et al., 2008).

또한 장비의 정확도 검사가 2년을 주기로 실시되는데, 정기검사 이후 다음 검사까지 자료품질을 관리할 수 있는 대안이 미흡하다. 따라서 시간과 비용을 절약할 수 있는 교통자료 품질관리 대안으로 교통자료 품질지표를 활용할 필요가 있다(Kim et al., 2013).

#### 5. 시사점 및 차별성

기존의 교통자료 품질 및 신뢰성 관련 연구는 오류자료 검지 및 보정 등에 초점이 맞추어져 있으나, 교통류 특성을 반영한 과학적인 평가지표 개발은 미흡한 실정이다.

국내의 여러 기관에서 수집되는 다양한 자료에 대한 품질평가 연구와 사례는 다양하다. 특히 기상청과 국가수문관측소에서의 자료는 교통자료와 유사한 특징을 가지고 있으며, 이들의 자료품질관리는 체계적이다(Seoul Metropolitan Government, 2008, Han River Flood Control Office, 2008). 그러나 교통자료를 이용한 품질평가 연구는 검지기 성능평가에 한정되어 미흡한 실정이다(Sin et al., 2007). 국외 교통자료품

질평가는 대부분 실시간 자료에 대한 품질평가가 이루어지고 있으며, 한국도로공사의 exTMS의 경우 역시, 현장장비 가동률을 기반으로 한 실시간 자료의 품질척도를 산정하고 있다(Korea Expressway Corporation, 2013).

이력자료를 관리하고 있는 한국도로공사의 교통통합 DB시스템 경우, 자료처리 알고리즘에서 결측과 오류에 대한 판단 후, 완전성과 유효성에 대한 자료품질평가가 실시되고 있다(Oh et al., 2008; Lee et al., 2013). 그러나 자료의 품질을 평가할 수 있는 지표가 제한적이며, 이에 대한 평가기준이 미흡하다. 또한 평가 결과에 대한 실제 활용도도 부족한 상황이다.

#### 교통자료 품질평가 개별 지표 도출 및 정립

교통자료 품질평가 개별지표를 도출하기 위하여 먼저 기존에 사용되고 있는 지표항목에 대하여 조사 및 검토하였다. 이를 바탕으로 수정·보완 지표항목 및 신규지표항목을 제시하였으며, 다양한 지표들에 대하여 전문가 설문조사를 실시한 후 지표들의 중요도를 조사하였다.

또한 지표들 간의 유사성 분석을 위하여 요인분석을 실시한 후, 최종적인 교통자료 품질평가 개별지표를 선정하였다.

#### 1. 기존 지표항목 적용 안 검토

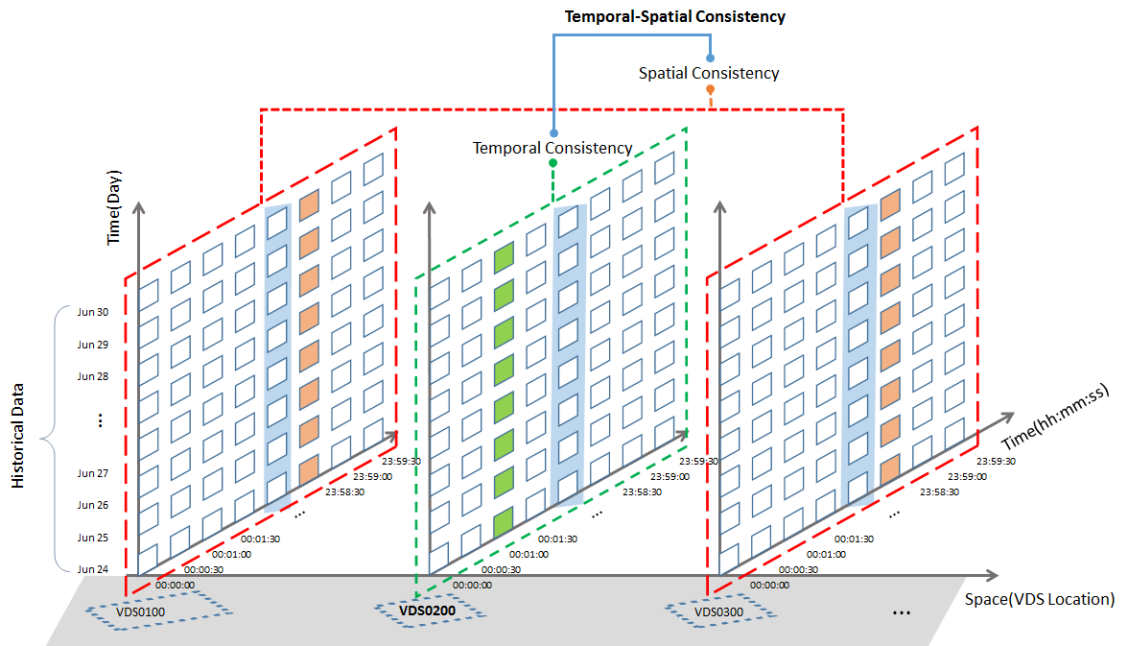
먼저 기존에 사용되고 있는 교통데이터 품질 지표들에 대한 적용 안에 대하여 검토를 실시하였다. 자료의 품질을 평가할 수 있는 항목들은 다양하며 지속적으로 변화되고 있지만, 일반적으로 미국 FHWA에서 제시한 정확성(Accuracy), 완전성(Completeness), 유효성(Validity), 적시성(Timeliness), 포괄성(Coverage), 접근성(Accessibility) 6가지 항목이 사용되고 있다. 이들 중 적용 가능한 항목에 대하여 검토하였다.

완전성과 유효성은 현재 한국도로공사에서 사용하는 기존의 방법을 사용하였다. 완전성은 수집주기동안 결측되지 않고 수집되는 자료의 비율로 식(1)과 같이 나타내며, 유효성은 이용 가능한 자료 중, 오류판단 기준에 의거하여 오류가 없는 자료의 비율로 식(2)와 같이 나타낸다.

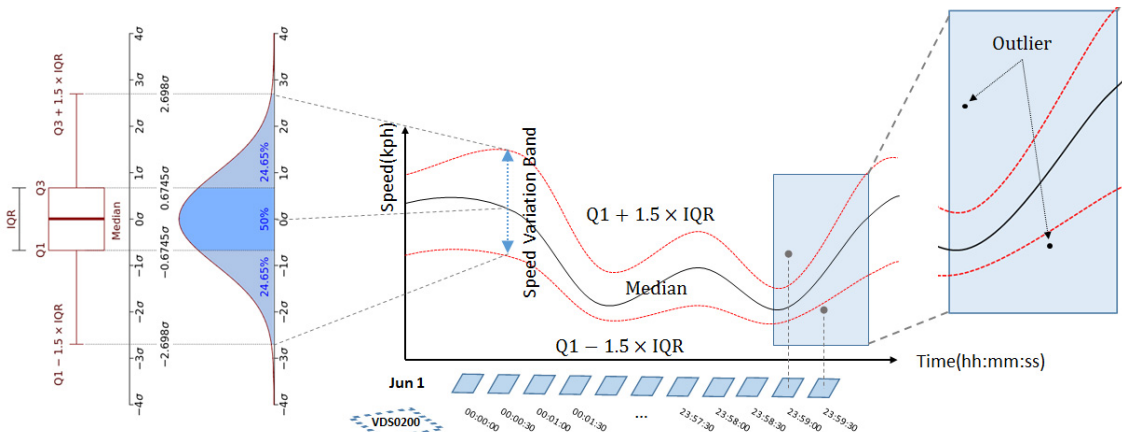
**Table 1.** Derivation of modified indices

Proposal Index	Contents
Availability	$Availability = \frac{(Whole\ Dataset - Missing\ Data) - Error\ Data}{Whole\ Dataset} \times 100$
Practicality	$Practicality = \frac{(Whole\ Dataset - Missing\ Data - Error\ Data) + Corrected\ Data}{Whole\ Dataset} \times 100$
Recoverability	$Recoverability = \frac{Corrected\ Data}{Missing\ Data + Error\ Data} \times 100$
Data Health	$Healthy = \frac{Total\ VD - Number\ of\ Disability\ VD - w_c \times Number\ of\ Suspect\ Disability\ VD}{Total\ VD} \times 100$

note: VD : Vehicle Detector, we : Weighting of Suspect disability Vehicle Detector



(a) Spatio-temporal consistency



(b) Interquartile Range and identification of outlier

**Figure 2.** Conceptual illustration of spatio-temporal consistency index



$$\text{완전성} = \frac{\text{전체처리 Data} - \text{결측 Data}}{\text{전체처리 Data}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{유효성} = \frac{(\text{전체처리 Data} - \text{결측 Data}) - \text{오류 Data}}{\text{전체처리 Data} - \text{결측 Data}} \times 100 \quad (2)$$

포괄성은 루프/지점별 원시자료가 커버할 수 있는 구간의 비율을 뜻한다. 따라서 검지기의 장애검지기 비율을 이용하여 기존의 포괄성을 대체하여 나타낼 수 있을 것으로 판단하였다.

이외에 정확성은 수집된 자료의 참값의 비율을 평가하는 지표로 검지기의 성능평가 부분이다. 또한 적시성과 접근성은 각 자료처리 단계별 가공 시간과 이용자가 데이터에 접근하기까지 걸리는 시간으로 실시간 자료를 대상으로 한다. 따라서 정확성, 적시성, 접근성은 이력자료를 대상으로 하는 본 연구의 범위에서 벗어나므로 제외하였다.

## 2. 수정 · 보완 지표항목 도출

자료의 구성요소들 간의 조합을 통하여 기존의 지표의 정량화 방법을 변화시킨 수정 · 보완지표를 제시하였다. 제시한 지표는 가용성(Availability), 보정성(회복성, Recoverability), 실용성(Practicality), 건강성(양호성, Data Health)이며 Table 1에 나타내었다. 가용성은 기존의 결측 자료(Missing Data)가 제외된 완전성 지표에 추가로 오류 자료(Error Data)도 제외한 지표이다. 즉, 수집주기동안 정상으로 판단되어 수집된 자료의 비율을 뜻한다. 실용성은 결측 자료(Missing Data)와 오류 자료(Error Data)를 보정(Corrected Data) 후, 최종 집계되어 이용 가능한 자료의 비율로, 통계자료 산출 또는 정보를 생산 시 사용할 수 있는 자료의 비율을 뜻한다. 보정성은 결측(Missing Data)과 오류 자료(Error Data) 중 보정(Corrected Data) 처리가 이루어진 자료의 비율로, 보정 프로세스의 처리 품질에 대하여 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 건강성은 포괄성을 대체하는 지표로 장애장비(Disability Vehicle Detector)와 장애의심장비(Suspect Disability Vehicle Detector)를 제외한 정상장비의 비율을 뜻한다. 검지기 운영과 관련된 내용이지만 교통자료의 품질을 나타낼 수 있는 지표중 하나라고 판단된다. 건강성 지표는 교통자료 품질을 대표할 수 있는 지표로 판단되나, 검지장비의

장애여부판단은 검지기 운영에 대한 내용이므로 본 연구의 범위에서 벗어난다.

## 3. 신규 지표 개발

본 연구에서는 교통자료 품질을 평가할 수 있는 지표항목으로 기존에 사용하고 있는 지표와 기존의 지표를 수정 · 보완한 지표 이외에, 신규 지표로 시공간일관성 지표와 결측심각성 지표를 추가로 제안하였다. 시공간일관성 지표는 시간적 · 공간적으로 연속인 교통 특성을 반영한 지표이며, 결측심각성 지표는 자료의 결측이 연속되어 발생하는 정도를 반영한 지표이다.

### 1) 시공간일관성 지표

시공간일관성 지표는 한 지점에서 수집되는 하루동안의 교통량, 점유율, 속도 자료중, 시공간일관성 범위를 벗어난 자료를 제외한 비율로 나타낸다. 여기서 시공간일관성 범위란, IQR(Interquartile Range) 범위보다 1.5배 작은 경우 또는 1.5배 큰 경우를 이상치로 정의하는 Interquartile Range 접근방법을 적용하는 것이다. 이러한 시공간일관성 지표에 대한 개념도를 Figure 2에 나타냈다. Figure 2-(a)를 보면, 어느 한 검지기 지점에서의 수집되는 과거 이력자료의 IQR범위를 시간적 범위라 하며, 이 지점의 상하류부 지점에서 수집되는 과거 이력자료의 IQR범위를 공간적 범위로 정의하였다. 이 두 범위를 이용하여 시간적-공간적범위를 산출하여, 시간적-공간적 IQR범위를 도출하기 위한 방법은 Figure 2-(b)에 나타냈다. 수집된 자료를 이용한 IQR범위를 벗어난 자료를 이상치로 분류하여 시공간일관성 지표값을 도출한다.

하루(TOD)를 기준으로 각 time-step 별로 이 기준을 초과하는 시간대 비율을 자료품질 지표로 적용할 수 있으며, 식(3)으로 나타낼 수 있다. 여기서,  $E_{Q1}$  과  $E_{Q3}$  는 앞서 언급한 일관성 범위를 벗어난 이상치로 정의된다.

$$\text{시공간일관성}(\%) = \left(1 - \frac{E_{Q1} + E_{Q3}}{T_{\text{day}}}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } E_{Q1} &: E_{Q1} \leq Q1 - (1.5 \times IQR) \\ E_{Q3} &: E_{Q3} \leq Q3 + (1.5 \times IQR) \\ Q1 &: \text{First Quartile}(25\text{th}\%) \end{aligned}$$

Q3 : Third Quartile(75th%)  
 IQR : Interquartile Range(Q3-Q1)  
 T<sub>day</sub> : 하루자료(2880개)

시공간일관성 지표 값이 임계값을 벗어날 경우, 오류 데이터로 처리하거나 또는 돌발상황이 발생한 날로 판단 및 활용이 가능하다.

시공간일관성 지표는 분석대상 지점의 시간적 범위만을 고려한 시간적 일관성, 분석대상의 앞뒤 지점을 고려한 공간적 일관성, 분석대상의 앞뒤 지점 및 시간적 범위를 모두 고려한 시공간적일관성으로 나눌수 있다. 본 연구에서는 분석대상의 앞뒤 지점 및 시간적 범위를 모두 고려한 시공간적일관성에 대하여 분석을 실시하였다.

2) 결측심각성 지표

결측심각성 지표는 어느 지점에서 단위 시간동안 수집되는 일일 자료 중 결측이 연속되어 발생하는 정도를 나타낸다. 이는 수집되는 자료의 결측이 시간적으로 연속적이지 않은 구간이 연속인 구간보다 결측에 대한 보정되는 정확도(이하 보정률)이 떨어질 것으로 판단된다. 여기서 연속인 구간이란, Figure 3-(a)와 같이 정상자료 또는 결측자료가 2개 이상 연속으로 관측될 때를 말한다. 예를 들어, Figure 3-(a)와 Figure 3-(b)의 완전성과 유효성의 품질지표 값은 같으나, 결측이 연속되는 배열이 다르다. 이는 Figure 3-(a)의 경우가 자료 품질 보정의 관점에서 보았을 때, Figure 3-(b)의 경우보다 품질이 더 불량할 것으로 판단된다. 이러한 개념을 이용한 결측심각성 지표는 연속된 결측 및 정상 자료에 가중치를 부여하여 전체 자료에서 연속된 결측자료의 비율로 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{결측심각성}(\%) &= \frac{\text{결측}}{\text{정상} + \text{결측}} \quad (4) \\
 &= \frac{\sum_{N=1}^i \sum_{L=1}^j (N \times L \times W_M'')}{\sum_{M=1}^i \sum_{K=1}^j (M \times K \times W_M') + \sum_{N=1}^i \sum_{L=1}^j (N \times L \times W_N'')} \times 100
 \end{aligned}$$

여기서, M×K: M개의 연속된 정상 자료 K개  
 (eg. figure 3-(a) 3개 연속된 정상 자료 1개, 1개 연속된 정상자료 1개)

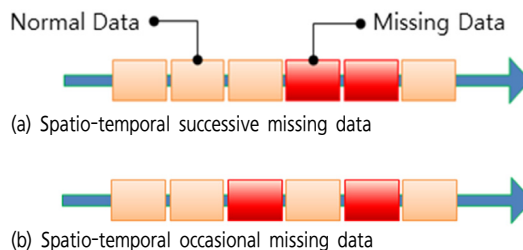


Figure 3. Conceptual illustration of severity of missing data index

- N×L : N개의 연속 결측된 자료 L개  
 (eg. figure 3-(a) 2개 연속된 결측 자료 1개)
- W<sub>M</sub>' : M개의 연속된 자료의 가중치  
 (가중치=연속된 정상 자료개수 ;  
 즉, W<sub>M</sub>' = M)
- W<sub>N</sub>'' : N개의 연속 결측된 자료의 가중치  
 (가중치=연속 결측된 자료개수 ;  
 즉, W<sub>N</sub>'' = N)
- i : 연속 결측수
- j : 자료 개수

연속된 결측구간이 관측되면 연속된 결측 개수에 따라 가중치를 부여하며, 결측 자료뿐만 아니라 정상자료에 대해서도 가중치를 부여한다. 단, 결측의 연속이 12시간 이내인 경우만을 고려한다. 12시간 이상일 경우, 이는 한국도로공사의 자료처리과정 시스템에서 별도의 처리과정을 따르기 때문이다.

4. 개별지표 중요도 및 특성 분석

앞선 연구결과를 바탕으로 본 연구에서 제안하는 교통자료 품질평가 개별지표들은 완전성, 유효성, 가용성, 실용성, 보정성, 시공간일관성, 결측심각성 총 8가지이다. 이에 대하여 8인의 교통자료 전문가를 대상으로 품질지표에 대한 워크샷을 진행한 후 지표간의 중요도 설문조사를 실시하였다. 그 결과, 완전성, 가용성, 유효성, 시공간일관성, 실용성, 결측심각성, 보정성, 건강성의 순으로 지표의 중요도가 나타났다.

또한 제안된 품질평가 개별지표들에 대하여 요인분석을 실시하였다. 요인분석은 변수들 간의 공분산, 상관관계 등 상호연관성을 분석하여, 전체자료를 대변할 수 있

는 변수의 수를 줄이는 방법이다. 이는 제안된 품질평가 개별지표들 간 유사성이 높은 지표들을 추출 및 통·폐합을 통하여 실제 시스템에 적용 시 효율적인 운영을 가능하게 하기 위함이다.

요인분석은 지표의 정의와 정량화 방법이 유사하다고 판단되는 완전성, 유효성, 가용성, 보정성, 실용성, 결측심각성 6가지 지표를 대상으로 하였다. 분석자료는 2014년 1-10월 경부선, 서해안선, 서울외곽선 VDS차로별 30초 집계 자료를 이용하였다. 각 노선별 차로별 일일 교통데이터품질 지표 값을 산출 후, 주성분분석 방법을 이용한 요인분석을 실시하였다.

유사 요인들을 직관적으로 판단할 수 있는 성분도표로 요인분석 결과를 Figure 4에 제시하였다. 각 성분에서 1.0이상인 값들을 서로 하나의 유사 성분으로 판단할 수 있다. 따라서 가용성, 완전성, 실용성을 하나의 요인으로 분류할 수 있으며, 유효성, 보정성, 결측심각성은 각각의 요인으로 분류할 수 있다.

요인분석 결과와 개별 품질 평가지표의 의미를 고려하여 하나의 요인으로 분류된 완전성, 가용성, 실용성 세 가지 지표 중 실용성 지표를 제외하였다. 왜냐하면 완전성 지표는 이미 국내외에서 검증되어 사용되고 있는 대표 지표이며, 실용성 지표는 보정 후, 집계된 자료를 뜻하기 때문에 보정성으로 대체할 수 있을 것으로 판단했기 때문이다.

교통자료 전문가 워크샵을 통한 품질평가 개별지표의 중요도 분석 결과, 건강성 지표를 품질평가항목에서 제외하였다. 또한, 품질평가 개별지표의 특성분석을 위한 요인분석 결과, 실용성 지표를 제외하였다. 따라서 완전성, 유효성, 가용성, 보정성, 결측심각성, 시공간일관성을 교통자료로 품질 개별지표로 선정하였다.

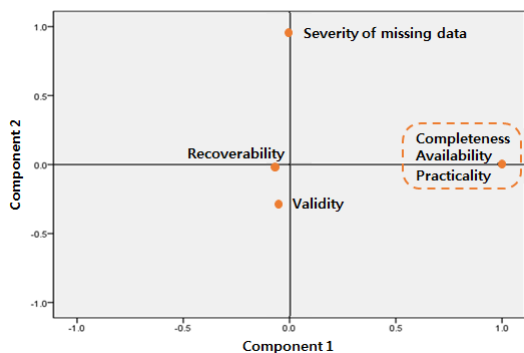


Figure 4. Result of factor analysis

## 교통자료 품질평가 통합지표 산출 방법론

기존 연구에서는 여섯 개의 평가항목에 대하여 동일한 기준을 적용하거나 또는 단순 곱을 적용하는 방법으로 정량화하여 교통자료의 품질의 좋고 나쁨을 판단하고 있다. 이러한 방법은 교통자료를 이용하는 이용자 또는 기관에 따라 항목별 가중치가 다를 수 있기 때문에 바람직하지 않다. 따라서 데이터의 용도와 이용자의 목적에 따라 각 항목별 다른 가중치를 부여하여 종합적으로 판단할 수 있는 지표를 제시하는 것이 합리적이다.

현재 한국도로공사의 교통분석지원시스템에서 사용되는 지점별 완전성과 유효성은 단순히 차로별 평균값을 이용하여 산출하고 있다. 이러한 값을 대푯값으로 사용할 시, 품질지표의 의미와 신뢰성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 이를 종합적으로 고려할 수 있는 방법론을 제시하였다.

### 1. 통합지표 도출방안

교통자료에 대한 이용자의 사용목적별 중요도와 품질 지표의 특성에 따라 가중치를 도출하여 교통자료 품질평가 통합지표 산출 식을 제안하였다. 이를 교통자료 품질평가 통합지표 또는 지수(TDQI : Traffic Data Quality Index)라 지칭하였으며, 식(5)에 제시하였다.

$$TDQI = w_1 \times X_1 + w_2 \times X_2 + \dots + w_k \times X_k \quad (5)$$

여기서,  $TDQI$  : 교통자료 품질평가 통합지표(%)  
(Traffic Data Quality Index)

$X_k$  : 개별평가지표

(eg. 완전성, 유효성 등)

$w_k$  : 개별평가지표의 가중치

본 연구에서는 개별평가지표 가중치를 도출하는 방안으로 AHP기법과 엔트로피 방법을 이용한 혼합가중치 산출방안을 제시한다. AHP기법은 계층화 분석법에서 사용되는 쌍대비교를 통한 설문조사 방법이며, 엔트로피 방법은 엔트로피 식을 이용하여 불확실성을 측정하는 방안이다.

AHP 기법은 목적과 지표를 기반으로 작성된 설문 문항에 대하여 전문가 의견을 반영한다. 이렇게 도출된 가



중치는 전문가의 주관적인 가중치에 대한 일관성 등의 문제가 발생할 수 있다. 또한, 엔트로피를 이용한 가중치 산정방법은 대안을 선정함에 있어 효과적도 간의 중요도를 고려하지 않고 있다. 즉, 각 효과적도 간의 중요도가 모두 같다고 가정하는 오류를 범하게 된다. 이러한 AHP 기법과 엔트로피방법의 각각의 한계점은 엔트로피 기반의 가중치에 AHP기법을 적용하여 상호보완이 가능하다 (Jee, 2000).

## 2. AHP기반 가중치 산출

본 연구에서는 쌍대비교를 통한 설문조사 방법으로 가중치를 산출하였다. 쌍대비교 과정에는 평가자의 판단을 어의적인 표현으로 나타내고, 이에 상응하는 적정한 수치를 부여하는 수량화 과정이 포함된다(Satty, 1979).

한 계층 내에서 비교대상이 되는 n개 요소의 상대적인 중요도를  $w_i (i=1, 2, \dots, n)$ 라 하면, 가중치를 산출하기 위한 쌍대비교행렬을 만든다. 이 쌍대비교행렬에 평가항목 간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터  $w$ 를 곱하게 되면 식(6)과 같이 선형대수론의 고유치방법으로 나타낼 수 있으며, n개의 연립방정식에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제가 된다.

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \tag{6}$$

여기서,  $w$  : 상대적중요도( $w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ )

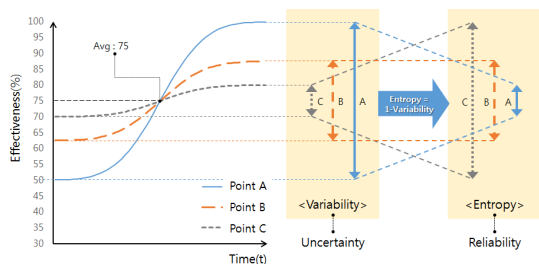


Figure 5. Conceptual illustration of Entropy

$\lambda_{\max}$  : 행렬 A의 최대 고유치

이 작업은  $|A - \lambda I| = 0$  을 만족시키는  $\lambda_{\max}$ 의 값을 구하는 특성방정식을 푸는 과정이다. AHP에서는 일반적으로 고유벡터를 통해 얻어지는 가중치를 기하평균법이나 승수법을 사용하여 계산한다.

## 3. 엔트로피기반 가중치 산출

엔트로피 척도 개념은 일반적으로 불확실성에 대한 척도를 이용한다. 다양한 속성들은 서로 다른 평가치의 구간을 가질 수 있기 때문에 정규화하여 비교·분석이 가능하며 열역학의 엔트로피와 같은 형을 하고 있어 엔트로피라 부른다.(Shannon, 1948)

엔트로피방법 적용 의미의 개념도를 Figure 5에 제시하였다. Figure 5의 지점 A, B, C 모두 유효성 지표값의 평균은 75로 같으나, 변동성은 다르다. 변동성은 엔트로피와 반비례 관계로 나타낼 수 있으며, 변동성이 크다는 의미는 '지표의 신뢰도가 좋지 않다'라는 표현이다. 즉, 엔트로피가 크다는 것은 '지표의 신뢰성이 높다'라고 할 수 있다.

엔트로피 방법을 이용한 가중치 산출과정은 다음과 같다. 어느 지점에서의 자료의 지표값을 산출 후, 정규화한다. 정규화 된 속성 값에 가중치를 반영하기 위하여 엔트로피의 개념을 활용하며, 엔트로피  $E_j$ 의 공식은 식(7)과 같다.  $K=1/\ln m$ 인 상수로 사용하며 이를 통하여  $0 \leq E_j \leq 1$ 이 된다.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \tag{7}$$

다양성 정도(degree of diversification)는 엔트로피로부터  $d_j = 1 - E_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 과 같이 계산되며, 이 다양성 정도를 각 요소에 대하여 정규화 한 것이 그 요소의 가중치이다. 즉, 가중치로 사용하기 위한  $w_j^E$ 은 식(8)과 같다.

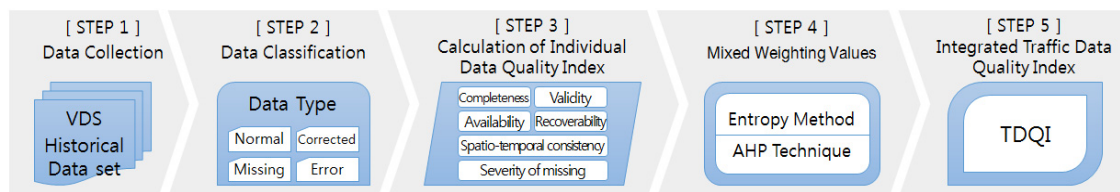


Figure 6. Procedure for deriving integrated traffic data quality index

$$W_j^E = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

엔트로피를 이용한 가중치는 이론적으로 주어진 효과 척도가 각 대안의 평가를 위하여 사용될 때, 각 대안 간 효과척도의 변별력을 나타내는 것으로 변별력이 큰 효과 척도에 더 큰 가중치를 부여하는 방법이다.

### 3. 혼합가중치 산출 방안

혼합가중치는 각 대안별 효과척도 간의 중요도(AHP를 활용한 가중치)와 대안간의 변별력(엔트로피 기반의 가중치) 두가지를 혼합하여 도출할 수 있다. 전문가 의견을 반영하는 AHP기법으로 도출된 가중치를  $W_j^A$ 라고 할 경우, 혼합 가중치는 엔트로피를 이용한 가중치 산출식, 식(14)에 가중치  $W_j^A$ 를 고려하여 식(9)와 같이 계산된다.

$$W_j = \frac{W_j^A d_j}{\sum_{i=1}^n W_i^A d_i} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

### 교통자료 품질 통합평가지표 산출 적용 예시

앞선 교통자료 품질평가 개별지표 산출방안 및 통합지표 연구 결과를 바탕으로 고속도로 교통자료 품질 통합평가지표 산출과정을 Figure 6에 제시하였다. 첫째, 차량검지기를 통하여 자료를 수집한다. 둘째, 가공처리과정으로 수집된 자료를 정상, 보정, 결측, 오류자료로 분류한다. 셋째, 분류된 자료를 이용하여 완전성, 유효성, 가용성 등 개별 품질평가지표 산출한다. 넷째, 혼합가중치를 도출한다. 이때 엔트로피 가중치는 개별품질평가지표를 이용하여 산출하고, AHP가중치는 전문가 쌍대비교 설문조사를 통하여 산출한다. 마지막으로, 개별 품질평가지표에 혼합가중치를 적용하여 교통자료통합품질 지표를 도출한다.

본 연구에서는 실제 2014년 5월 1일 경부선 고속도로 임의의 10개 지점에서 수집된 차로별 VDS 30초 집

계 자료를 이용하여 교통자료 품질 통합평가지표 산출 방법론을 적용해 보았다.

먼저, 각 VDS 지점에서 수집된 자료를 이용하여 자료 분류 후, 완전성, 유효성 등 개별 품질평가지표를 산출하였다. 개별품질지표에 엔트로피 가중치와 AHP가중치를 이용한 혼합가중치를 적용하여 TDQI를 산출하였으며, 그 결과를 Table 2와 Figure 7에 나타냈다.

Table 2에서 VDS ID 6지점을 보면 완전성이 0%로 관측된 자료가 없음에도 보정성과 시공간일관성의 지표값이 높게 산출되었다. 우선, 보정성이 100%로 산출된 이유는 수집되지 않은 지점의 자료에 대해서 모든 자료가 보정처리<sup>1)</sup>가 되어 생산되었기 때문이다. 또한 시공간일관성 지표값이 96%로 관측된 이유는 지표 산출과정에 사용된 자료가 보정된 자료가 사용되었기 때문이다. 따라서 통합품질 평가지표 산출 시 단순히 개별평가 지표를 평균으로 산출하는 방법 대신, 본 연구에서 제시한 혼합가중치 방안을 적용하는 것이 타당하다.

또한 Table 2에서 보정성과 시공간일관성 지표의 혼합가중치 값이 작게 계산되었다. 그 이유는 8인의 전문가가 지표의 중요도를 판단한 전문가 설문조사에서 지표의 중요도가 상대적으로 낮다고 판단되었기에 AHP 가중치가 낮게 도출되었다. 또한 엔트로피 가중치 역시, 낮게 도출되었는데, 이는 임의로 선택한 VDS 10개 지점의 보정성과 시공간일관성 지표의 엔트로피가 작아<sup>2)</sup> 지표의 신뢰도가 낮다'라고 판단되었기 때문이다.

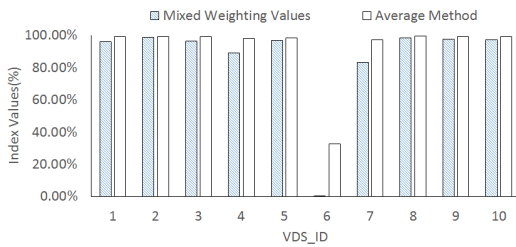
즉, 임의로 선택한 VDS 10개 지점에 대해서는 보정성과 시공간일관성 지표로 품질을 평가되기엔 변별력이 부족하기에 가중치가 낮게 산출되었다. 따라서 VDS ID 6지점의 보정성과 시공간일관성 지표값이 높게 관측되었지만, 본 연구에서 제시한 혼합가중치를 적용하게 되면 낮게 산출된다.

Figure 7에는 본 연구에서 제안한 교통자료 통합품질평가 산출 방법론(Mixed weighting values method)을 적용한 지표 값과 단순평균 산출 방안(Average method)을 적용한 지표 값을 비교하여 제시하였다. 그 결과, VDS ID 6지점에서 큰 차이를 보였다. 이 지점에서는 완전성의 개별품질지표 값이 0으로, 이는 하루종일 자료의 결측이 발생되었다는 뜻으로 통합품질지표 역시 0이 도출되어야 논리적으로 타당하나, 개별 품질평가지표의 단순평균 값을 이용한 결과는 약 32.67% 값이

1) 한국도로공사의 VDS 자료 누락 시, 차로 보정 및 지점보정을 공간적, 시간적 자료 및 이력자료를 활용하여 보정을 실시하고 있음  
2) 변동성이 커서

**Table 2.** Example of calculation of integrated traffic data quality index

		Completeness	Validity	Availability	Recoverability	Severity of missing data	Spatio-temporal consistency	Avg.	Integrated Traffic Data Quality Index (TDQI)
AHP Weight Values		0.3548	0.1697	0.2296	0.0723	0.1001	0.0735		
Entropy Weight Values		0.2443	0.2449	0.2449	0.0000	0.2443	0.0217		
Mixed weighting Values		0.4117	0.1974	0.2671	0.0000	0.1162	0.0076		
VDS ID									
	1	99.97%	99.71%	99.68%	100.00%	99.97%	95.80%	99.19%	99.81%
	2	100.00%	99.73%	99.73%	100.00%	100.00%	95.00%	99.08%	99.84%
	3	100.00%	99.44%	99.44%	100.00%	100.00%	96.00%	99.15%	99.71%
	4	100.00%	99.14%	99.14%	100.00%	100.00%	88.75%	97.84%	99.52%
	5	100.00%	96.85%	96.85%	100.00%	100.00%	96.00%	98.28%	98.51%
	6	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	0.00%	96.00%	32.67%	0.00%
	7	100.00%	99.40%	99.40%	100.00%	100.00%	83.25%	97.01%	99.60%
	8	100.00%	99.95%	99.95%	100.00%	100.00%	98.00%	99.65%	99.96%
	9	99.97%	99.51%	99.48%	100.00%	99.97%	96.33%	99.21%	99.72%
	10	100.00%	99.07%	99.07%	100.00%	100.00%	96.00%	99.02%	99.54%



• Mixed weighting values method :

$$TDQI = 0.4117 \times X_1 + 0.1974 \times X_2 + 0.2671 \times X_3 + 0.0000 \times X_4 + 0.1162 \times X_5 + 0.0076 \times X_6$$

• Average method :  $TDQI = \frac{\sum_{i=1}^6 X_i}{6}$

- $X_1$  : Completeness,  $X_2$  : Validity
- $X_3$  : Availability,  $X_4$  : Recoverability
- $X_5$  : Severity of missing data,
- $X_6$  : Spatio-temporal consistency

**Figure 7.** Comparison of mixed weighting method and average method

산출되는 논리적 오류를 범하고 있다. 본 연구에서 제시한 혼합가중치 산출방안을 적용한 교통자료 통합품질평가 결과는 0으로 지표 값을 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 교통자료 통합품질평가 산출방법론이 단순 평균 값을 이용한 방법보다 타당한 산출 방법론이라 판단된다.

## 결론

본 연구는 고속도로에서 수집되는 차량검지기 이력 자료를 대상으로 기존에 사용되고 있는 품질평가지표 외에 교통자료 품질을 평가할 수 있는 수정·보완지표와 신규 개별지표들을 제안하였으며, 제시된 지표들에 대하여 전문가 설문조사와 요인분석을 통하여 타당성 검증 실시하였다. 또한 선정된 개별지표에 AHP기법과 엔트로피방법을 이용한 혼합가중치 방법을 적용하여 자료의 특성과 이용 목적이 반영되는 교통자료 품질 통합평가지표 산출방안을 제시하였다.

특히, 시공간일관성 지표는 시간적·공간적으로 연속인 교통 특성을 반영하고 있으며, 산출한 지표 값이 어떠한 임계값을 벗어날 경우, 오류데이터로 처리하거나 또는 돌발상황이 발생한 날로 판단이 가능할 것이다. 또한 결측심각성 지표는 교통자료의 연속된 결측의 정도가 보정프로세스의 정확도와 관련 있을 것으로 판단된다. 결측의 연속성에 대한 특성을 결측 자료의 비율만으로 품질을 평가하는 완전성(Completeness) 지표로는 평가가 어렵기 때문에 이러한 결측 연속성 특성을 반영할 수 있는 결측심각성 지표를 제안하였다.

교통자료 통합 품질평가지표 산출방안으로 제시한 혼합가중치 적용방법은 자료의 특성을 가중치로 반영할 수 있는 엔트로피 방법과 전문가의 의견을 반영할 수 있는

가중치 산출방안인 AHP기법으로 구성되어있다. 전문가의 의견을 반영할 수 있다는 말은 즉, 자료를 필요로 하는 이용자의 목적을 반영하여 품질을 평가한다고 할 수 있다. 또한 자료의 특성을 반영한 신뢰도를 가중치로 산출하여 보완하고 있다. 이는 앞선 교통자료 품질정의인 “수집된 자료가 활용 목적에 얼마나 적합한지를 나타내는 정도”와 부합한다.

본 연구의 결과물은 교통자료의 효율적인 관리가 가능할 것이며 자료를 이용하는 이용자관점에서도 질 높은 자료를 제공받아 신뢰도 높은 정보 생산이 가능할 것이다. 또한, 본 연구의 교통자료 품질평가 방법을 활용하여 교통자료 품질관리체계 구축 시 중요한 구성요소로 활용될 것으로 기대된다.

### 향후연구과제

본 연구를 더 발전시키기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 추가 연구가 필요하다. 첫째, 본 연구에서 제시한 통합품질평가 방안을 경부선 고속도로의 임의의 10개 VDS 지점만을 대상으로 분석하였다. 이는 개별지표 산출과 엔트로피 및 혼합가중치 값이 편향되어 산출되었을 가능성이 높다. 따라서 합리적이고 객관적인 지표값과 엔트로피 및 혼합가중치 산출을 위해서는 더 많은 고속도로 VDS 지점 자료를 대상으로 분석되어야 한다.

둘째, 보다 효율적인 교통품질관리를 위해서는 본 연구에서 제시한 통합품질지표 산출방안뿐만 아니라, 교통자료 품질평가 기준에 대한 연구가 필요하다. 미국 FHWA(2004)와 Ministry of Land Infrastructure and Transport(2008)에서 권고하는 기준은 있으나, 이에 대한 근거나 관련 연구가 부족하다. 교통자료의 좋고 나쁨에 대한 기준과 그 근거가 확실해야만 품질관리의 효율성이 증대될 것이다.

셋째, 교통자료 품질을 저해하는 요인에 대한 연구가 필요하다. 품질저해 요소에 대한 연구는 그에 대한 문제를 정의하고 해결방안을 모색할 수 있을 것이며, 이러한 연구가 품질향상과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

마지막으로, 현재 교통자료 품질 평가지표가 VDS자료를 대상으로 고려되었다. 하지만, 고속도로 자료는 VDS뿐만 아니라 AVC, TCS, DSRC 등 다양한 검지기를 통하여 많은 종류의 자료가 수집되고 있으며, 자료의 특징 또한 다양하다. 따라서 이러한 다양한 자료들을 대

상으로 품질 평가지표 및 평가방안에 대한 연구 역시 필요하다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2010-0028693). This work was also supported by a research project of the Korea Expressway Corporation.

### REFERENCES

- Chen C., Kwon J., Rice J., Skabardonis A., Varaiya P. (2003), Detecting Errors and Imputing Missing Data for Single-loop Surveillance Systems, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1855, 160-167.
- Cheong S. (2008), Implementation of Quality Evaluation and Data Processing Method and Imputation of Traffic Data on Expressway, Master's Thesis, The graduate School of Ewha Womans University.
- Department of Transportation, ITS America (2000), Closing the Data Gap: Guidelines for Quality Advanced Traveler Information System (ATIS) Data.
- Federal Highway Administration (2004), Traffic Data Quality Measurement.
- Hamad K., Quiroga C. (2014), Assessment of Quality and Completeness of Archived ITS Sensor Data: TransGuide Case Study, In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (No.14-1318).
- Han River Flood Control Office (2008), Establishment of National Water-Gate Data Quality Management Systems (국가 수문자료 품질관리시스템 구축 용역 (1차)).
- ISO/PDTR 21707 report on Intelligent Transport Systems (2008), Integrated Transport Information Management and Control - Data Quality in ITS Systems, International Organization for Standardization.
- Lee D. H., Kang K. J. (2000), A Method for Optimal Material Selection Aided With Decision Making

- Theory, Materials and Design, 21(3), 199-206.
- Kim G. S., Lee H. P., Kim S. H., Namkoong S. (2013), Introduction to an Expressway Traffic Data Monitoring System Using Traffic Quality Information and Visualization, Transportation Technology and Policy, 10(3), 69-76.
- Kim T. W., Kim S. J. (2008), The Need for Establishment of Traffic Data Assessment Systems, Transportation Technology and Policy, 5(1), 75-97.
- Korea Expressway Corporation (2006), Improvement of Traffic Data Collection, Analysis and Utilization From Vehicle Detection System on Freeway.
- Korea Expressway Corporation (2013), Research for Design of Traffic Information Platform Establishment and Concept of Architecture (교통정보플랫폼 구축 기본설계 및 아키텍처 구상 연구).
- Lee H. P., Namkoong S., Kim S. H., Kim J. (2013), Improvement of A Preprocessing of Archived Traffic Data Collected by Expressway Vehicle Detection System, 12(1), 15-27.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (2008), Research For Improving and Evaluating the ITS Information-Reliability.
- Oh D. W., Oh C., Namkoong S., Joen S. G. (2008), Methodology for Evaluating Freeway Traffic Data Processing Techniques, The 58th Conference of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, 1103-1112.
- QUANTIS (2010), Definition of Key European ITS Services and Data Types.
- Saaty T. L., Erdener E. (1979), A New Approach to Performance Measurement the Analytic Hierarchy Process, Design Methods and Theories, 13(2), 62-68.
- Seoul Metropolitan Government (2008), Manufacture of Climate and Energy Map in Seoul (서울시 기후-에너지 지도 제작(2차년도)).
- Shannon C. E. (1948), A Mathematical theory of Communication, Bell Syst. Tech. J., 27, 379-423.
- Shi X., Parker S. T., Cheng Y., Fang J., Ran B., Noyce D. A. (2014), A Comprehensive Traffic Data Quality Examination Tool-WisTransPortal V-SPOC QAQC Enhancement, In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (No.14-2759).
- Sin S. J., Park D. J., Kim H. S., Baek S. G., Namgung S. (2007), Development of Evaluation Method and Program on Traffic Data Quality, Transportation Technology and Policy, 4(3), 143-157.
- Sun Z., Jin W. L., Ng M. W. (2014), Quality Diagnosis of Sensor Flow Data on a Freeway Network, In Transportation Research Board 93rd Annual Meeting (No.14-3261).
- Uddin M., Goodrum P., Mahboub K., Stromberg A. (2012), Solution to Nonnormality in Quality Assurance and Acceptance Quality Characteristics Data, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2268, 50-58.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제72회 학술발표회 (2015.2.14)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ✉ 주 작성자 : 박현진
- ✉ 교신저자 : 오철
- ✉ 논문투고일 : 2015. 4. 8
- ✉ 논문심사일 : 2015. 6. 12 (1차)  
2015. 8. 24 (2차)
- ✉ 심사판정일 : 2015. 8. 24
- ✉ 반론접수기한 : 2015. 12. 31
- ✉ 3인 익명 심사필
- ✉ 1인 abstract 교정필