

피에조센서의 차량 축 카운트를 활용한 교통량보정시스템

Traffic Correction System Using Vehicle Axles Counts of Piezo Sensors

정승원, 오주삼
한국건설기술연구원

Seung-Weon Jung(jungsw@kict.re.kr), Ju-Sam Oh(jusam@kict.re.kr)

요약

차종별 교통량 자료는 건축·도시·교통 등의 다양한 분야에서 기초 자료로 활용되는 중요한 자료이다. 교통량 자료는 상시조사와 수시조사를 통해 수집되어 도로교통량 통계연보에 매년 연평균일교통량(AATD)으로 제공된다. 상시조사는 매설형 교통량 수집 장비 (AVC)를 통해 수집되며, AVC는 교통량을 검지하는 루프센서와 축수를 검지하는 피에조 센서로 구성되어 있다. 교통량 수집 장비는 매설형의 특성상 검지 장비 고장 등으로 인한 결측자료가 발생된다. 기존방법에서는 과거 데이터와 지점 주변의 교통량 추세를 통해 보정한다. 그러나 이러한 방법은 시간적·공간적 특성을 반영하지 못하고 보정에 활용되는 기데이터 또한 보정값일 수도 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 차량의 축을 검지할수 있는 피에조센서를 활용하여 획득되는 누적 축수를 통해 축보정계수를 산출하여 결측된 교통량을 보정하는 방안을 제안하였다. 이는 기존 방법의 한계점인 시간적·공간적 특성을 반영할 수 있다는 장점이 있으며, 비교 평가 결과 기존의 방법보다 오차율이 더 낮게 도출되었다. 축 카운트를 활용한 교통량보정시스템은 간단한 알고리즘으로 바로 현장 시스템에 적용 가능한 보정방법으로 판단된다.

■ 중심어 : | 교통 | 교통량 | 결측 보정 | AVC | 피에조센서 |

Abstract

Traffic data by vehicle classification are important data used as basic data in various fields such as road and traffic design. Traffic data is collected through permanent and temporary surveys and is provided as an annual average daily traffic (AATD) in the statistical yearbook of road traffic. permanent surveys are collected through traffic collection equipment (AVC), and the AVC consists of a loop sensor that detects traffic volume and a piezo sensor that detects the number of axes. Due to the nature of the buried type of traffic collection equipment, missing data is generated due to failure of detection equipment. In the existing method, it is corrected through historical data and the trend of traffic around the point. However, this method has a disadvantage in that it does not reflect temporal and spatial characteristics and that the existing data used for correction may also be a correction value. In this study, we proposed a method to correct the missing traffic volume by calculating the axis correction coefficient through the accumulated number of axes acquired by using a piezo sensor that can detect the axis of the vehicle. This has the advantage of being able to reflect temporal and spatial characteristics, which are the limitations of the existing methods, and as a result of comparative evaluation, the error rate was derived lower than that of the existing methods. The traffic volume correction system using axis count is judged as a correction method applicable to the field system with a simple algorithm.

■ keyword : | Transportation | Traffic Volume Data | Missing Data | AVC | Piezo Sensor |

I. 서론

교통량은 '일정한 곳을 일정한 시간에 왕래하는 사람이나 차량 따위의 수량'을 의미하는 말로서, 통상적으로 도로를 지나는 차마의 양을, 통행하는 사람은 보행교통량으로 구분되어 사용된다.

교통량 자료는 국토교통부의 「도로교통량 통계연보」를 통해 매년 연평균일교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)으로 제공된다. 이러한 교통량 자료는 도시, 도로의 계획 및 건설, 유지관리, 도로행정과 같은 건축·도시·교통 등의 다양한 분야에서 기초 및 보조 자료로 활용되고 있다. 또한 VMS(도로전광표지: Variable Message Sign), 네비게이션 등을 통해 도로이용자에게 교통정보를 제공하는데 활용된다[1-3].

교통량 자료는 상시조사와 수시조사를 통해 수집되고 있다. 상시조사 자료는 영상 및 루프센서(Loop Sensor)와 같이 통행하는 차량을 검지하고 수집하는 지능형교통체계 (ITS:Inelligent Transport Systems) 장비를 이용한다. 수시조사 자료는 1년 중 특정한 날짜에 인력이 투입되어 직접 교통량을 측정하여 상시조사 장비가 없는 지점 또는, 상시조사 자료를 보완하는데 활용된다.

상시조사를 통한 교통량 데이터는 AVC (차종별 교통량조사장비: Automatic Vehicle Classification)를 통해 수집된다. AVC는 도로에 매설된 루프센서와 피에조센서(Piezo Seonsor)를 통해 통과 차량의 차종(12종), 속도와 함께 교통량 데이터를 검지·수집한다.

그러나 매설형 장비의 특성상 검지 센서 및 장비 고장, 통신 단선 등과 같은 다양한 원인으로 결측자료가 빈번히 발생할 수 있다. 결측자료 발생시 일반적으로 과거데이터를 통해 보정하거나, 교통량 조사 지점 주변의 교통량 추세를 통해 보정교통량을 산출하고 있다[4]. 이러한 방법은 공간적인 조건 또는 해당 시간대의 날씨나 이벤트 등을 고려하지 못하는 단점이 있다.

본 연구는 루프센서 장애로 인한 결측자료가 발생할 경우, 피에조 센서의 축 카운트를 통해 교통량 결측을 줄이는 방안을 제안하려 한다. 교통량 조사 장비는 2개의 루프센서와 1개의 피에조센서, 또는 1개의 루프센서와 2개의 피에조센서를 통해 각각 교통량과 축수 등을

감지한다. 루프센서 결합이 발생하여 결측자료가 발생하더라도 3개의 센서가 모두 고장나는 경우는 흔치 않다. 따라서 루프센서 장애로 인한 결측자료를 피에조센서를 통해 보정하는 방안을 제안한다.

II. 매설형 차종분류용 교통량 장비 구성

1. 교통량 상시조사 장비

교통량 상시조사 장비는 매설형으로 다음과 같은 유의 사항을 고려하여 설치 지점을 선정하고 설치한다.

- ① 전·후방 100m 이상이 직선 도로
- ② 전원 공급 및 통신선 설치 가능
- ③ 주변에 주유소, 휴게소, 버스정류장, 마을과 같은 출입로 없음
- ④ 횡단 보도나 신호등 없음
- ⑤ 노면이 깨지거나 굴곡 없음
- ⑥ 도로의 확·포장 계획 없음
- ⑦ 제어기(함체)의 적절한 설치 공간 확보

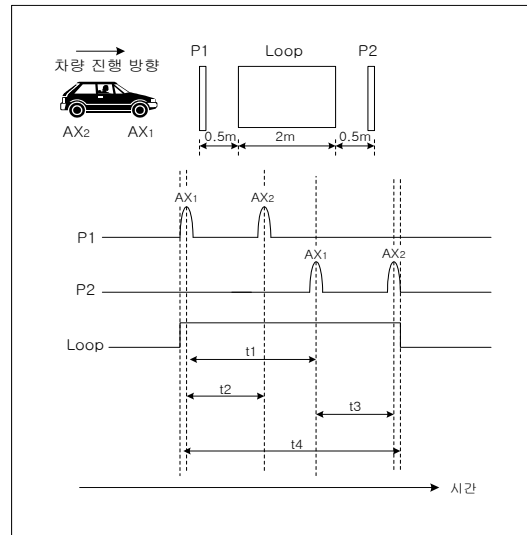


그림 1. 1L2P 장비의 센서 배치 및 반응 신호와 시간

교통량 상시조사 장비인 AVC는 매설된 2개의 루프센서와 1개의 피에조센서로 구성된 시스템(이하 2L1P)과, 1개의 루프센서와 2개의 피에조센서로 구성된 시스템(이하 1L2P)이 있다. 각 시스템은 3개의 센서를 통해 교통량과 속도 데이터를 검지하고, 차종분류를 위해 축수, 축간 거리, 앞내민 길이, 차량 길이를 검지한다. 기

본적으로 루프센서는 교통량을 검지하고, 피에조센서는 축수를 검지한다. 1L2P 장비의 센서 배치 및 검지 과정은 [그림 1]과 같으며, 다음의 공식에 의해 속도와 차종 분류를 산출하여 저장한다.

- 속도(m/s) : $v = 3/t_1$
- 축간 거리(m) : $DT(P1) = (3/t_1) \times t_2$
 $DT(P2) = (3/t_1) \times t_3$
- 평균 DT(m) = $\{DT(P1) + DT(P2)\} / 2$
- 차량 길이(m) : $TL = \{(3/t_1) \times t_4\} - 2m$
- 오버행 비(%) : $\%OH = \{(TL - DT) / TL\} \times 100$

도로 노변에 보호 함체 안에 전자장비가 설치되어 센서에서 수집된 데이터를 저장하며, 1개의 함체가 최대 8차로의 교통량 자료를 수집, 저장, 송출 할 수 있다.

2. 센터 시스템

센터 시스템은 교통량 상시조사 장비로부터 교통량 자료를 수집하여 저장 및 관리하는 통합 DB서버와, 정보를 제공하기 위한 연계서버 및 웹서버 등의 서버시스템, 보안을 위한 방화벽과 침입 탐지 시스템으로 구성되어 있다. 교통량조사시스템의 소프트웨어는 연계 S/W, 웹 정보제공 S/W, 상시수집 S/W 및 운영단말 S/W로 구성되어있다.

3. 프로세스 구성

수집서버 통신프로세스는 [표 1]과 같이 스케줄러, 통신 프로세스, DB저장 프로세스로 구성된다. 스케줄러는 현장 상시데이터 수집 장비에서 1분마다 신규 스케줄을 감지하여 NTMS DB에서 검색한 뒤 변경사항 발생 시 통신프로세스에 전달하는 기능을 한다. 통신 프로세스는 스케줄러에서 전달받은 스케줄에 따른 데이터를 현장장비에 요구하고, DB저장 프로세스를 통해 NTMS DB에 저장한다. DB저장 프로세스는 다수의 현장장비에서 수집되는 정보를 데이터베이스화 하는 과정에서 병목현상을 방지하기 위해 장비ID 별 그룹화를 통한 멀티스레드 방식을 사용한다.

표 1. 소프트웨어 구성 및 기능

소프트웨어	기능	위치	비고
상시수집 S/W	상시장비 교통량정보 수집	수집서버	TicsMain.exe
테이블 스크립트	데이터 저장관리	DB서버	-
전자지도	도로교통량 정보제공	웹서버	Electmap
축 카운트 보정	상시 데이터 관리	운영단말	상시자료점검.exe

III. 기존 교통량 보정 방법

1. 교통량 보정

교통량 자료는 도시, 교통 등의 다양한 분야에서 폭 넓게 활용되는 중요한 자료이다. 대부분의 교통량 자료는 매설형 센서 검지기를 활용하여 상시조사 자료를 활용하고 있으나, 매설형의 특성상 교통량 수집 장비의 고장으로 인한 결측자료가 자주 발생한다. 현재 각 교통량을 수집, 제공하는 기관에서는 이러한 결측자료를 보정하기 위해 AADT를 기반으로 전후일/전후년/전후주 교통량 자료를 활용하거나, 지점을 중심으로 주변 교통량의 공간적 추세를 통해 결측자료를 보정하여 활용하고 있다.

2. 교통량 보정 관련 선행 연구

활용 중인 보정 방법보다 신뢰도를 향상하기 위한 선행연구로 여러 통계적 기법을 활용한 보정 방안들이 제시되고 있다[4-10]. 선행연구에서는 공간적인 통행 흐름을 통한 회귀모형이나, 시공간을 고려하여 텐서를 활용한 모형 등이 제안되고 있다. 이러한 기법들은 과거의 교통량 데이터를 통해 결측 교통량을 예측하는 기법으로 미래교통량 예측 기법 등에 활용되는 방법과 유사하다.

이러한 기존 결측자료 보정방법들은 과거 또는 주변 지점의 데이터를 통해 보정한다는 점에서 날씨, 이벤트, 교통사고, 공사 등 시간적·공간적 특성을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 또한 보정에 활용되는 기데이터 또한 보정된 자료일 가능성도 배제할 수 없으며, 이럴 경우의 보정 교통량의 신뢰도는 매우 떨어질 수 밖에 없다.

본 연구에서는 이러한 전후시간, 전후공간의 자료를 기반으로 보정하는 보정방법이 아닌, 매설형 교통량 검

지기 자체에서 수집되는 피에조센서의 차량 축 데이터를 활용하여 보정하는 방법을 제안한다. 시간적, 공간적 특성을 배제하고 보정하는 기존의 방법과는 달리, 실측되는 보조 데이터를 기반으로 보정하는 방법이므로 공간적·시간적 특성이 반영된다는 점에서 기존 방법론의 단점이 보완된다. 또한, 알고리즘만 적용하면 현장에 바로 적용이 가능한 시스템이므로 교통량을 수집·제공하는 기관에서 바로 활용이 가능한 시스템이다.

IV. 피에조센서의 차량 축 카운트 보정 방법

본 연구는 피에조센서의 축 카운트를 통한 축보정계수를 산출하여 결측자료를 보정하는 방안을 제안하고자 한다. 매설형 교통량 검지 장비는 기본적으로 3개의 센서를 활용하여 교통량과 차종 등의 데이터를 수집하며, 3개의 센서가 모두 고장나는 상황이 아니라면 본 연구의 방법을 활용하여 보정이 가능하다.

피에조센서 축카운트 보정 방법은 루프센서의 교통량 결측값(0)이 검지되거나, 피에조센서의 축 카운트와

차이가 과도하게 발생할 경우(설정 가능), 이상치로 판단하고 피에조센서의 축 카운트를 통해 교통량을 보정하는 알고리즘을 수행한다.

과년도 자료가 있을 경우, 과년도의 일별차종교통량 자료를 토대로 축수를 추정, 축보정계수를 산정한다. 과년도 자료가 없을 경우 피에조센서를 통해 검지된 축 카운트와 루프센서를 통해 검지된 교통량으로 월간 보정계수, 또는 요일 보정계수를 산출한다. 축보정계수 산출 알고리즘은 [그림 2]와 같다.

이상치(결측 교통량) 발생 시 과년도 보정계수, 또는 보정계수를 [그림 2]의 알고리즘을 통해 산출한 뒤, 피에조센서의 축카운트에 보정계수를 적용하여 축보정교통량을 산출한다. 축 보정계수는 월보정계수 또는 요일 보정계수를 사용하며, 과년도의 동일한 월 또는 요일의 교통량 대비 차량의 축 수를 통해 보정계수를 산출하여 적용한다. 시스템 상 산출된 보정계수를 저장하여 활용할 수 있고, 만약 저장된 보정계수가 없다면 과년도 자료를 토대로 산출하여 저장한다.

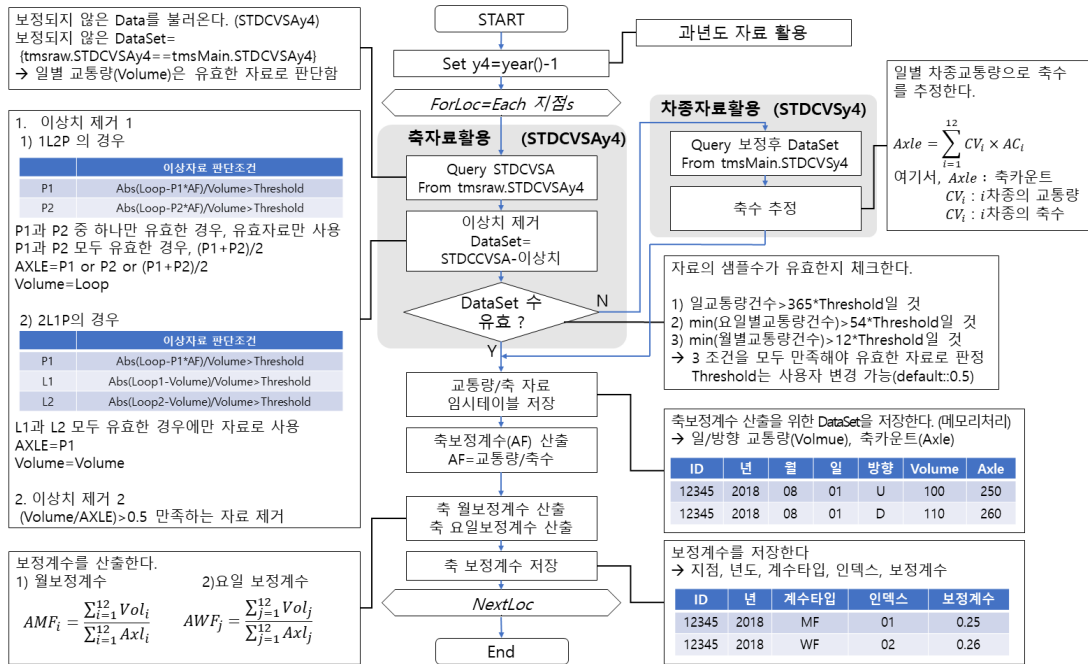


그림 2. 보정계수 생성 흐름도

V. 교통량 축보정 시스템 시험 결과

축보정계수를 통한 보정교통량의 시험 결과는 매설형 차중분류용 교통량 수집 장비(1L2P)의 2018년 8월 1차로 상행 교통량 자료를 기반으로 검토하였다.

[그림 3]은 일주일간(평일) 시간대별 원시교통량과 본 연구에서 제안한 피에조센서 축보정을 통한 보정교통량, 그리고 기존 보정 방법인 평일 전후일(전후주 교통량 반영)보정교통량을 비교한 그래프이다. 전후일보정값은 매일 비슷한 교통량 변화를 보이고 있는 반면, 피에조센서 축보정값은 원시교통량과 유사하게 보정되고 있음을 알 수 있다.

[표 2]는 8월 한달간의 평일 교통량 데이터를 기반으로 전후일보정교통량과 축보정교통량을 비교한 표이다. 비교 지표로는 평균오차(Mean absolute Error), 평균제곱근오차(Root Mean Square Error), 평균절대비율오차(Mean Absolute Percentage Error) 이다. 평균오차는 각 예측 값과 실제 값의 절대값의 차이 평균으로 직관적인 오차 측정 방법이며[식 1], 평균제곱근오차는 오차의 표준편차 값으로 정밀도를 측정하는데 사용되는 방법이다[식 2]. 평균절대비율오차는 평균오차를 백분율로 반환한 값이며 앞의 오차 지표에 비해 특이치

에 덜 민감하다는 장점이 있다[식 3]

표 2. 축보정교통량 오차 지표

오차지표	축보정값	전후일보정값
MAE ¹⁾	11.10	35.95
RMSE ²⁾	14.11	56.29
MAPE ³⁾	8.02	17.00

- 1) Mean absolute Error 평균오차
- 2) Root Mean Square Error 평균제곱근오차
- 3) Mean Absolute Percentage Error 평균절대비율오차

$$\text{평균오차} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i| \tag{1}$$

$$\text{평균제곱근오차} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \tag{2}$$

$$\text{평균절대비율오차} = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right| \tag{3}$$

여기서, x_i = 보정교통량
 \hat{x}_i = 원시교통량
 n = 자료 개수

전후일보정교통량과 축보정교통량을 비교해보면 평균제곱근오차는 전후일보정교통량 35.95, 축보정교통량 11.10, 평균절대비율오차값은 전후일보정교통량 17.00, 축보정교통량 8.02로 본 연구에서 제안한 축보

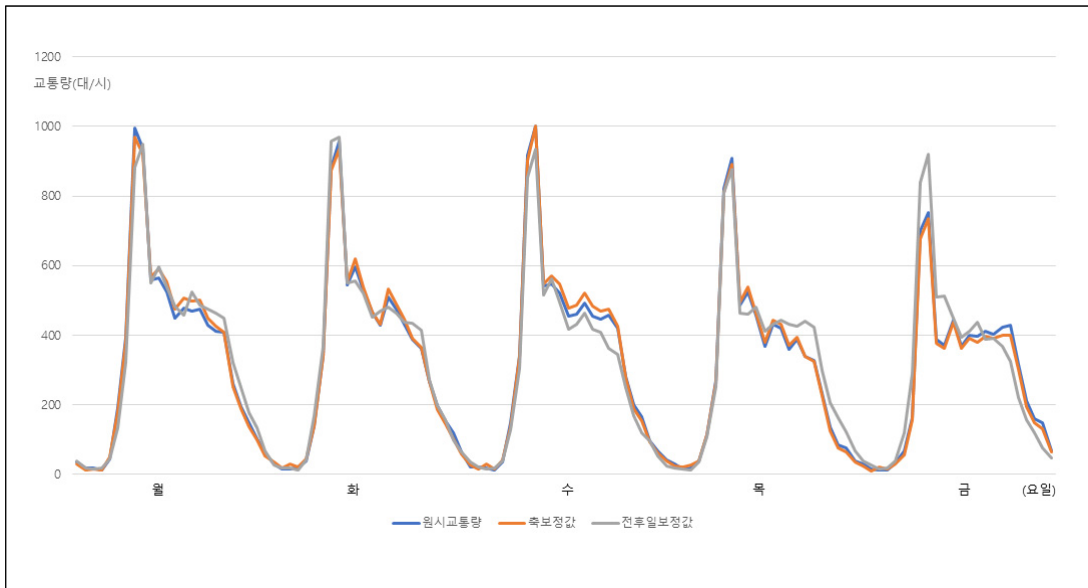


그림 3. 일주일간 원시교통량 및 보정교통량

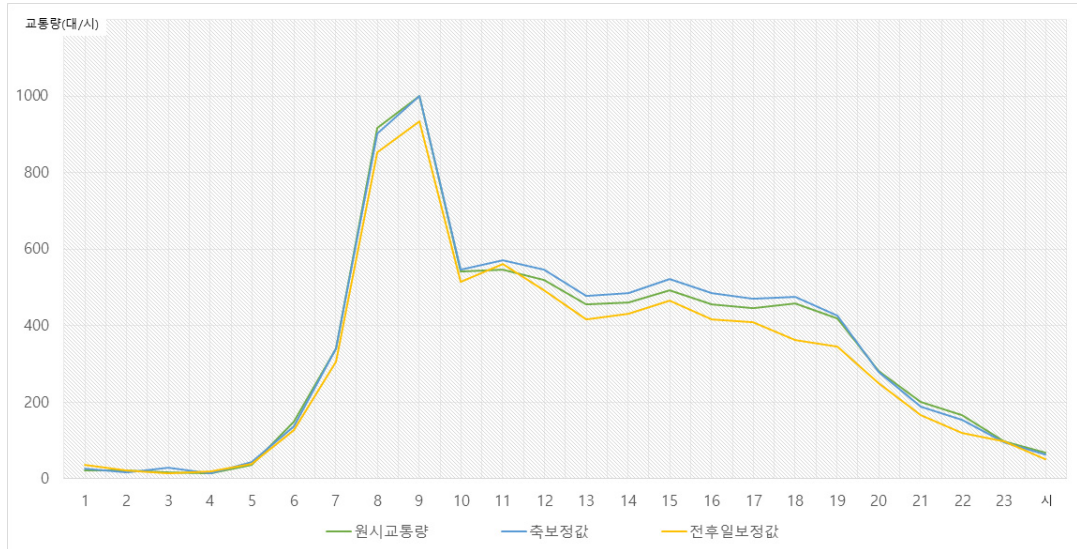


그림 4. 일일 시간대별 원시교통량 및 보정교통량

정 계수를 활용한 보정값이 원시교통량값과 훨씬 더 유사한 결과를 도출하였다. 통상적으로 MAPE 10% 이내의 오차율이라면 일괄적으로 보정할 수 있는 방법을 활용한 보정값으로서는 매우 높은 수준이므로, 교통량 통계자료로서 보정값을 활용하는데 적당하다고 판단된다.

[그림 4]는 일일(수요일) 시간대별 교통량이며, 기존의 평일교통량 보정 방법 중 하나인 전후일보정값과 추보정교통량을 비교한 그래프로, 전후일보정값에 비해 추보정교통량이 원시교통량과 더 유사한 결과값을 보여주고 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 상시조사 교통량 검지기 3개 센서 가운데 정상적으로 작동하는 센서의 누적자료를 활용하여 결측 자료를 보정하는 방안으로, 피에조센서의 축카운트 자료를 활용하여 결측 자료를 보정하는 추보정 시스템을 제안하였다.

AVC장비의 특징은 차로별로 설치된 3개의 센서가 모두 정상 동작할 때 차종별 교통량 자료가 정상적으로 수집된다. 만약 3개 센서 가운데 1개 이상의 센서가 비정상적일 경우 결측이 발생할 수 있다. 기존에는 교통

량 결측자료 보정 방법으로 누적된 과거 자료를 활용하여 보정함으로써 시간적·공간적 특성을 반영하지 못하고 보정에 활용하는 자료가 과거에 보정된 자료일 수도 있다는 한계점이 있다.

본 연구의 추보정 교통량은 동일한 지점, 동일한 시점의 피에조센서의 검지 자료를 토대로 보정계수를 통해 보정하는 방법으로, 기존방법의 한계점을 극복하였을뿐 아니라 오차 또한 기존의 방법에 비해 더 유사한 결과를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 피에조센서의 축카운트 자료를 토대로 결측자료를 보정하는 시스템이므로, 만약 루프센서와 피에조센서 모두 결함이 발생할 경우에는 활용할 수 없다는 단점이 있다. 그러나 일반적으로 3개의 센서가 모두 결함을 보여서 결측 되는 경우는 극히 드물다. 또한, 복잡한 통계기법이 아닌 간단한 알고리즘만 적용하면 어렵지 않게 바로 현장 시스템에 적용하여 운용할 수 있으므로 활용도가 매우 높다고 판단된다.

본 연구에서 제안한 추보정계수는 해당 요일 또는 해당 월의 교통량과 추 보정 값을 활용하여 요일보정 및 월보정계수를 산정하여 활용하고 있다. 본 연구의 알고리즘에서 더 정확하고 유사한 보정값을 선정 또는 산출할 수 있으면 오차 범위를 더 줄일 수 있을 것이다. 향후 보다 유사한 추보정계수를 산출하기 위해 시계열 분

석, 공간회기분석 등의 통계적 기법을 적용하여 축보정 계수산정모형을 개발하면 더 좋은 결과를 보일 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 임성용, 장인혁, 이영주, 임홍우, "AVC에 사용되는 피에조 센서의 고장 모드와 고장 메커니즘을 통한 개선," 공학기술논문지, 제8권, 제2호, pp.135-140, 2015.

[2] 조성윤, 이동균, 류승기, "3-Piezo 센서 기반 교통량 조사시스템의 차종분류방식에 대한 연구," 한국인터넷 방송통신학회논문지, 제13권, 제3호, pp.25-31, 2013.

[3] 한경호, 양승훈, "루프검지기와 피에조 센서를 이용한 차량정보 수집 시스템 설계," 조명·전기설비학회논문지, 제16권, 제6호, pp.102-108, 2002.

[4] 김정연, 이영인, 백승걸, 남궁성, "차량 검지자료 결측 보정처리에 관한 연구 : 이력자료 활용방안을 중심으로," 대한교통학회지, 제24권, 제7호, pp.27-40, 2006.

[5] C. Chen, J. Kwon, J. Rice, A. Skabardonis, and P. Varaiya, "Detecting Errors and Imputing Missing Data for Single-Loop Surveillance Systems," Transportation Research Record, Vol.1855, No.1, pp.160-167, 2003.

[6] B. L. Smith, W. T. Scherer, and J. H. Conklin, "Exploring Imputation Techniques for Missing Data in Transportation Management Systems," Transportation Research Record, Vol.1836, No.1, pp.132-142, 2003.

[7] D. Ni, J. D. Leonard, A. Guin, and C. Feng, "Multiple Imputation Scheme for Overcoming the Missing Values and Variability Issues in ITS Data," Journal of Transportation Engineering, Vol.131, No.12, pp.931-938, 2005.

[8] H. Tan, G. Feng, J. Feng, W. Wang, Y. J. Zhang, and F. Li, "A tensor-based method for missing traffic data completion," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.28, pp.15-27, 2013.

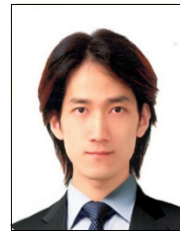
[9] B. Ran, H. Tan, Y. Wu, and P. J. Jin, "Tensor based missing traffic data completion with spatial-temporal correlation," Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol.446, pp.54-63, 2015.

[10] J. Tang, G. Zhang, Y. Wang, H. Wang, and F. Liu, "A hybrid approach to integrate fuzzy C-means based imputation method with genetic algorithm for missing traffic volume data estimation," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.51, pp.29-40, 2015.

저 자 소 개

정 승 원(Seung-Weon Jung)

정회원



- 2009년 2월 : 명지대학교 교통공학과(공학사)
- 2017년 8월 : 홍익대학교 도시공학과(공학박사)
- 2019년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부(연구위원)

〈관심분야〉 : 자율주행, 교통안전, ITS

오 주 삼(Ju-Sam Oh)

정회원



- 1991년 8월 : 중앙대학교 토목공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 중앙대학교 토목공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래융합연구본부(연구위원)

〈관심분야〉 : ITS, AI, 자율주행