Int. J. Highw. Eng. Vol. 18 No. 3 : 109-114 JUNE 2016
http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2016.18.3.109

효율적인 교통량 조사를 계획하기 위한 조사구간의 통계적 특성 분류 연구

Statistical Classification of Highway Segments for Improving the Efficiency of Short-term Traffic Count Planning

정 유 석 Jung, YooSeok | 정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 신진연구원 (E-mail : yooseok@kict.re.kr)
오 주 삼 Oh, JuSam | 정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구소 연구위원 · 교신저자 (E-mail : jusam@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The demand for extending national highways is increasing, but traffic monitoring is hindered because of resource limitations. Hence, this study classified highway segments into 5 types to improve the efficiency of short-term traffic count planning.

METHODS : The traffic volume trends of 880 highway segments were classified through R-squared and linear regression analyses; the steadiness of traffic volume trends was evaluated through coefficient of variance (COV), and the normality of the data were determined through the Shapiro-Wilk W-test.

RESULTS : Of the 880 segments, 574 segments had relatively low COV and were classified as type 1 segments, and 123 and 64 segments with increasing and decreasing traffic volume trends were classified as type 2 and type 3 segments, respectively; 80 segments that failed the normality test were classified as type 4, and the remaining 39 were classified as type 5 segments.

CONCLUSIONS : A theoretical basis for biennial count planning was established. Biennial count is recommended for types 1~4 because their mean absolute percentage errors (MAPEs) are approximately 10%. For type 5 (MAPE =19.26%), the conventional annual count can be continued. The results of this analysis can reduce the traffic monitoring budget.

Keywords
short-term traffic count, interval, linear regression, coefficient of variance, Shapiro-Wilk W-test

Corresponding Author : Oh, JuSam, Research Fellow
ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
Tel : +82.31.995.0812 Fax : +82.31.9100.338
E-mail : jusam@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Feb. 24. 2016 Revised Mar. 03. 2016 Accepted May. 17. 2016

1. 서론

우리나라에서는 1955년부터 전국 규모의 교통조사가 시행되었으며, 1985년 이후 일반국도에 대해서 수시 교통량 조사와 상시 교통량 조사를 병행하여 실시하고 있다. 국도와 국도가 만나는 교차점 또는 국도와 고속국도가 만나는 교차점 사이를 대구간으로, 지방도 또는 주요 시군도가 각각 만나는 교차점 사이의 구간을 소구간으로 설정하여 모든 소구간의 연평균 일교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)을 산정하고 있다. 전국토의 도로 연장이 2000년 88,774km에서 2014년 105,673km로 증가하는 동안(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015a) 교통량 조사구간은 지방도를 포함하여 2000년 2,866구간에서 2014년 3,604구간으로 증가하였다. 한국건설기술연구원에서는 이 중 일반 국도의 621지점의 상시조사지점과 796지점의 수시조사지점에서 교통량을 조사(2015년 기준)하고

있으며 181지점의 수시교통량을 ITS(Intelligent Transport System)를 활용하여 수집하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015). 2016년에는 수시조사 대상구간이 늘어나 총 880개의 소구간이 수시조사 대상지점이다. 이 외에도 2015년 기준으로 한국도로공사가 운영하는 고속도로 43지점, 국가지원지방도 341지점, 각 지자체에서 운영하는 지방도 1,144지점에서 연 1회 24시간 교통량 조사를 실시하고 있으므로 연구 결과를 활용하여 효율성을 증대시킬 수 있을 것이다.

2000년 이후, 연장이 대략 19% 증가하면서 조사구간의 수는 26% 가량 증가하였고, 지속적으로 증가할 것으로 예측된다. 그러나 예산과 조사인력은 한정적이기 때문에 효율적인 조사방법이 요구된다. 수시조사의 경우, 현재까지는 휴대용 차량검지기를 이용하여 매 구간별 연 1회 24시간 교통량을 수집하고 있다. 따라서 제한적인 조사인력과 장비로는 조사 가능한 구간이 한정적이다. 교통량 수시조사 지점을 통계적 특성에 따라 분류하고, 교통량 변동이 예측 가능하도록 꾸준하게 증가·감소하거나 변화가 작은 지점을 분류하여 조사주기를 2년으로 확대한다면 조사효율을 높일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 일반국도의 880개 조사지점에서 10년간 조사한 교통량 자료를 분석하여 교통의 변동특성을 정량화하였다. 교통량 수시조사를 매년 할 때와 비교하여 2년으로 하였을 때 발생하는 오차는 최소화하면서 효율적인 조사계획을 수립하는 것이 목적이다. 우선 조사지점의 특성에 따라 다섯 종류로 분류한다면, 교통량의 연간 변동이 작은 Type1, 매년 꾸준히 증가하는 Type2, 매년 꾸준히 감소하는 Type3, 한차례 변동이 있으나 일반적으로 꾸준하여 변동계수 같은 통계량만 크게 나타나는 Type4, 연간 변동 폭이 큰 Type5로 분류할 수 있을 것이다. 880개 조사 지점의 10년간 교통량 자료의 변동계수, 회귀분석의 결정계수 및 Shapiro-Wilk W-test 결과를 이용하여 특성을 정량화하여 분류하였다. 변동계수는 교통량이 매년 변동하는 지점과 일정한 지점을 분류할 수 있고, 회귀분석은 교통량의 추세를 분석하여 교통량이 꾸준히 증가하는 구간과 감소하는 구간을 분류할 수 있다. 또한 Shapiro-Wilk W-test는 정규성을 검토하는 통계적 기법으로, 표본들이 정규분포를 이루지 않는다면 조사대상 10년 중에 한 번의 큰 변화가 발생하였을 것이다. 이런 구간들은 큰 변동계수를 갖지만 실제 교통량의 변화는 적을 것으로 예상되는 형태를 보였다.

2. 연구배경

수시조사를 실시하여 정확한 교통량을 얻기 위해서는 도로구간을 교통량의 동질성에 따라 나누고, 적당한 위치를 선정하여 조사해야 한다(FHWA, 2013). 일반국도의 경우 도로의 조사구간을 물리적으로 정의하였는데 고속국도의 출입로, 일반국도와 일반국도가 만나는 교차로, 일반국도와 주요 지방도가 만나는 교차로를 기준으로 정한다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013). 그 중 고속국도의 출입로 및 일반국도와 만나는 교차점 구간을 대구간으로 하여 최소 1구간 이상의 상시조사지점을 편성하고 그 외 지방도와 만나는 교차점을 기준으로 소구간으로 분류하여 모든 지점에서 수시조사를 실시하도록 하고 있다. 그 외 차량의 접근이 제한된 고속도로에서는 한 물리적인 구간(roadway segment) 내에서 교통량의 변화가 없기 때문에 동질성구간(homogeneous traffic section)으로 간주할 수 있으나 비교적 자유롭게 접근할 수 있는 지방부도로에서는 1구간을 16km 이내로 제한하도록 하고(FHWA, 2013), 호주에서 최소 25km 당 1곳 이상의 구간에서 수시조사를 실시하도록 규정하고 있는(Bennett et al., 2009) 등 물리적인 기준에 의해 수시조사 구간을 결정하고 있다. 이에 따라 국내에서는 조사효율성을 확보하기 위해 통계적 동질성에 따라 물리적인 구간을 통합하는 연구가 선행되기도 하였다(Jung and Oh, 2015). 한국의 도로교통량 조사지침에서는 수시조사를 연 3~5회 이상 수행하도록 하였으나(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013) 일반 국도의 경우 연 1회 24시간을 일괄적으로 조사해 왔다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015b). AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)는 주말과 연휴를 제외한 주중에 최소 연 1회 24시간 조사를 실시하고 월 및 요일 변동성을 고려하여 AADT를 추정하는 것을 권장하였다(Vandervalk-Ostrander, 2009).

교통량을 조사하는 여러 기관들은 서로 다른 조사계획을 수립하였다. 미국의 Georgia State의 경우에는 약 27,000지점의 교통량 조사구간을 매년 조사할 수 없기 때문에 2년에서 6년 주기로 조사하고, 조사하지 않은 해에는 Growth Factor를 이용하여 산정한다(Wiegand, 2013). Florida State는 도심부(Urban)에서 24시간을 조사하도록 하였으나 지방부(Rural)는 충분한 샘플 수를 얻기 위하여 최소 48시간을 조사하도록 하고 있다(Thomas F. Barry, Jr., 2002). California State에서도 마찬가지로 교통량이 많은 도심부에는 24시간 조사를 하도록 하고 교통량이 적은 지방부는 7일

조사를 하도록 하였다(California DOT, 2013). New Jersey State는 대략 5,430 수시조사 지점에 대해서 3년마다 48시간씩 1차례 조사를 하는데, 400지점 정도의 특별 지점은 매년 조사한다(New Jersey DOT, 2014). New York State에서는 도심부에서는 15분 단위 교통량 자료를 수집하고 지방부에서는 1시간 단위로 수집하도록 한 것이 특징이다(New York State DOT, 2011). 많은 기관에서는 조사효율을 위해서 조사지점의 교통량 특성에 따라 서로 다른 조사계획을 적용해 오고 있었다. 그러나 지점 교통의 변동 특성을 통계적으로 분석하고 정량적인 기준에 따라 나눈 사례는 없었다.

3. 통계적 분류 방법

수시조사는 연평균일교통량(AADT, Annual Average Daily Traffic)을 추정하기 위해 1일 교통량(ADT, Average Daily Traffic)을 수집한다. 각 조사지점에서 10년간 수집한 교통량을 선형회귀분석, 변동계수, Shapiro-Wilk W-Test를 활용하여 분류하였다.

선형회귀분석은 n쌍 관측 값을 이용하여 두 변수의 관계를 통계적으로 설명하기 위한 가장 기본적인 방법이다. 관측 값들이 분산형 그래프로 그려졌을 때, 그 점들과 가장 가깝게 지나는 선을 찾는 방법이다(Seber and Lee, 2012). 본 연구에서는 독립변수 즉, (x)를 조사년도로 하고 종속변수(y)를 교통량으로 하여 분석하였다. 통계적으로 유의한 결과를 보인다면 교통량이 꾸준히 증가하거나 감소하는 추세를 갖는다고 할 수 있다.

변동계수는 표본의 변동성을 나타내는데, 표본들이 평균값과 가까울수록 표준편차의 크기도 작기 때문에 변동계수의 값이 작게 나타날 것이다. 변동계수가 높으면 교통량의 변화폭이 크다는 것이고, 조사주기를 2년으로 늘린다면 변동계수가 작은 지점보다 추정오차가 크게 발생할 것이다. 또한 변동계수는 지점의 특성을 대변한다. 예를 들어 변동계수가 낮으면 Commuter에 가깝고 변동계수가 높으면 Recreational에 가깝다고 할 수 있다.

Shapiro와 Wilk가 제안한 W-test는 정규성을 검증할 수 있는 강력한 방법이다. 샘플수가 3개만 초과한다면 쉽게 적용하고 계산할 수 있기 때문에 본 연구와 같이 샘플수가 10개로 제한적인 경우에 적절하다(Royston, 1992). 표본이 정규분포를 따른다고 한다면 같은 모집단을 갖는다고 할 수 있지만 통계적 유의성이 낮다면 서로 다른 모집단을 갖는 표본일 수 있다. 즉, 도로신설과 같이 어떤 이유로 인하여 조사기간 10년 중 1차례 교통특성이 크게 변한 것을 뜻한다. 이런 상황에서는 변동계수가 크거나 통계적으로 추세가 없다고 판단된다 하더라도 꾸준한 교통량을 보이기 때문에 조사주기를 2년으로 늘릴 수 있다. 본 논문에서는 R package를 이용해 p-value를 계산하였다.

2016년 수시조사 대상인 880개의 소구간을 특성에 따라 5개로 분류할 수 있다. 우선 교통량의 연간 변동이 작은 구간을 Type1으로 분류하고 조사주기를 2년으로 늘릴 수 있다. 꾸준히 증가하거나 감소하는 구간을 각각 Type2, Type3으로 분류하여 2년마다 조사한 후에 과거의 증감률을 이용하여 보정하면 오차를 줄일 수 있다. 또한 도로의 신설 등 특수한 사정에 의해 한차례 변동이 있으나 그 외에는 꾸준하여 변동계수를 비롯한 통계량만 크게 나타나는 구간을 Type4로 분류하여 2년 마다 조사하도록 해야 한다. 그 외 연간 변동 폭이 큰 구간을 Type5로 분류하고, 이 구간들은 현행 방법을 적용하여 매년 조사해야 할 것이다.

Fig. 1은 수시조사지점을 분류하기 위한 과정과 각 Type별로 분류된 지점 수를 나타낸 순서도이다. 우선 880개의 2016년도의 수시조사 대상지점의 과거 데이터는 조사방식에 따라 수시조사로 얻었을 경우 ADT이고, 상시조사로 조사하였을 경우 AADT이다. 각 지점별 2004년부터 2013년까지 10년간 교통량 자료인 10개의 AADT 혹은 ADT 자료를 분석하였다.

첫 번째로 년도를 x, 교통량을 y로 회귀분석하여 결정계수를 나타낸 결과, 20%인 176개 지점이 0.05 이하였고, 절반이 0.3 이하로 추세가 없음을 뜻하는 낮은 쪽

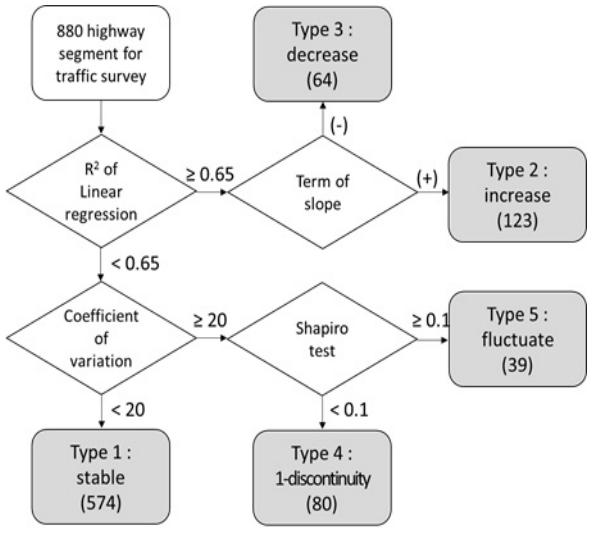

Fig. 1 Flowchart and Result of Classified Segment

으로 치우쳐 분포하였다. 결정계수가 0.31 이상이면 t-value가 2.0 이상이었고, 결정계수가 0.36 이상이면 p-value가 0.05 이하이다. 따라서 0.36 이상의 조사지점(390지점)은 통계적인 유의성이 있다고 할 수 있다. 조사의 효율성을 위해서는 최대한 많은 지점을 선정하기 위해 약 1/4에 해당하는 0.65를 선정하여 187개 지점을 뚜렷한 증감률이 나타나는 지점으로 가정하였다. 그 중 123지점의 추세선 기울기가 양(+)이었고, 64지점 추세선의 기울기가 음(-)이었다.

변동계수를 판단하기 전에 회귀분석을 통해 꾸준히 증감하는 지점을 분류한 이유는 변동계수가 작은 경우라도 추세를 보이는 지점이라면 증감률을 고려하는 것이 추정오차를 줄일 수 있기 때문이다.

두 번째로, Type2, Type3를 분류하고 남은 693지점의 변동계수를 분석하였다. 계급별 빈도를 분석한 결과에 따르면 85%를 초과하는 수의 지점이 변동계수 20 이내였다. 대다수의 지점들이 교통량 변화가 크지 않고 꾸준한 것을 알 수 있다. 변동계수 20 이내라면 매년 조사하지 않더라도 AADT 추정 오차가 제한적일 것이라고 판단된다. 지점의 특성을 정량적으로 분류한 변동계수와 결정계수 기준은 예산과 인력과 같은 제한적인 자원의 규모에 따라 통계적 유의성이 확보되는 범위 내에서 정성적으로 결정하였으므로 상황에 따른 변경의 여지가 있다.

마지막으로 shapiro-Wilk W-test를 이용하여 분류하였다. 변동계수가 큰 지점 중에는, 10년 중 한차례 큰 교통량 변화 이외에는 꾸준한 지점들이 있다. 도로신설이나 노선변경 등의 이유로 도로의 통행량이 급변한 것이다. Shapiro-Wilk W-test로 정규성을 검토하였을 경우, 샘플들이 한 개의 모집단에 속할 확률이 낮을수록 두 부분으로 나뉜다고 할 수 있다. Shapiro-Wilk W-test를 진행한 결과, 116지점 중 80지점의 p-value가 0.1 이내인 것을 알 수 있다. 한정적인 샘플 수이지만 정규분포를 따르지 않는다면 2구간으로 나누어져 있다고 가정하였다.

4. 분석결과

Type 1으로 분류된 지점들 중 6지점의 10년간 교통량을 Fig. 2에 예시로 나타내었다. Type 1전체를 대표한다는 이론적인 배경은 없지만 Type 1으로 분류된 지점들의 꾸준한 교통량 특성을 그래프로 확인할 수 있다. 추세선을 확인해보면 x축과 평행을 이루는 것을 알 수 있고, 그렇기 때문에 선형회귀분석으로 추세가 나타나지 않았다. 이는 Type 2, 3과 차별되는 부분이었다.

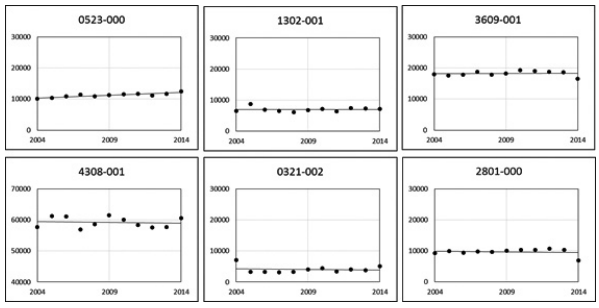

Fig. 2 Example of Traffic Volume Trend Classified as the Type 1

Fig. 3은 Type 2로 분류된 지점 중 예시 그래프로 나타내었다. 증가하는 기울기가 클 경우에는 변동계수가 크게 나오겠지만, 추세를 갖고 증가하는 경우에는 교통량 변동 이유를 추정 가능할 것이고, 증가율을 고려한다면 추정오차도 최소화할 수 있을 것이다. 그렇기 때문에 회귀분석결과를 우선 고려하여 증가하는 추세를 보이는 지점을 변동계수보다 우선 고려하여 분류한 것이다. 이는 Fig. 4에 예시로 나타낸 Type 3 지점들도 마찬가지이다.

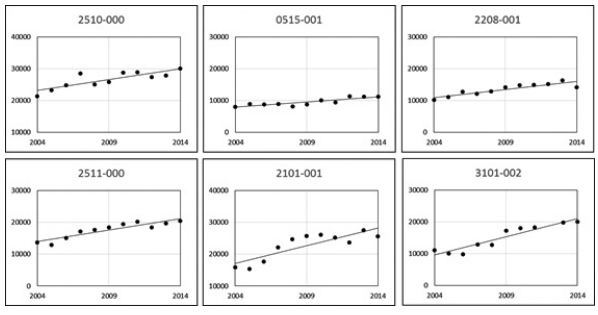

Fig. 3 Example of Traffic Volume Trend Classified as the Type 2

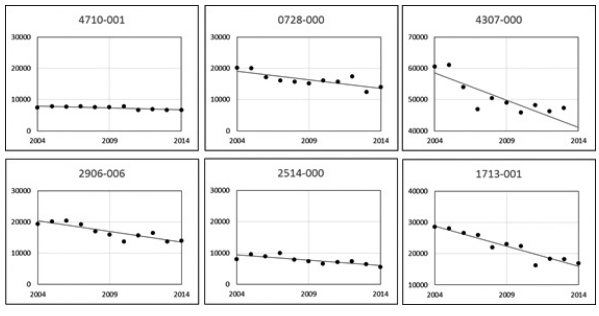

Fig. 4 Example of Traffic Volume Trend Classified as the Type 3

Fig. 5는 Shapiro-Wilk W-test로 변동계수가 큰 지점 중에서 한 차례 큰 변화 때문에 변동계수는 높지만 꾸준한 교통량을 보여주는 지점을 Type 4로 분류한 예

시이다. 예상대로 불연속 구간이 확실하게 보이는 지점들을 발견할 수 있다.

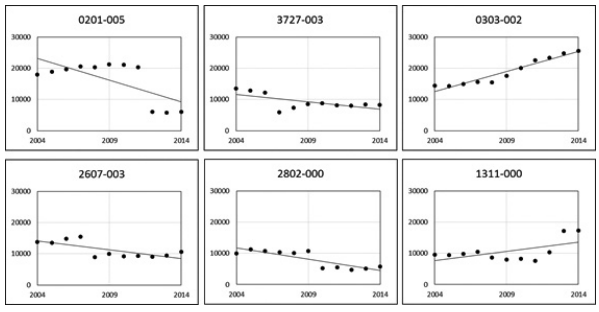

Fig. 5 Example of Traffic Volume Trend Classified as the Type 4

Fig. 6은 Type 5로 분류되어 조사주기를 2년으로 늘리는 것 보다는 매년조사를 권장하는 지점 중 몇 지점을 예시로 나타낸 그래프이다. 교통량의 변화가 크고, 추세도 찾아보기 어렵다.

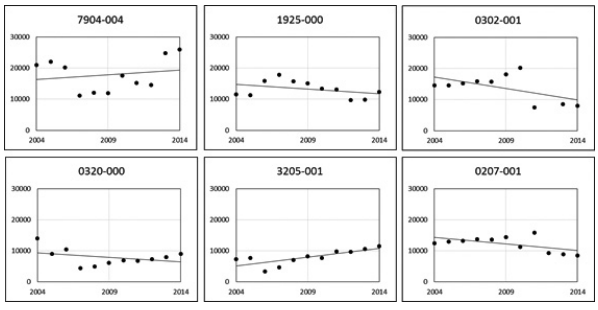

Fig. 6 Example of Traffic Volume Trend Classified as the Type 5

5. 평가

본 연구에서는 Eq. (1)과 같은 절대백분율오차의 평균(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)을 평가에 이용하였다(Wang and Tsai, 2013). 교통량 수시조사 주기를 2년으로 운영하였을 경우에 2013년 조사자료를 활용하여 추정된 2014년 교통량과 실제 2014년 교통량 자료를 비교하여 오차를 평가하였다.

$$MAPE(\%) = \frac{1}{m}\sum_{1}^{m}\frac{|AADT_{mea.l} - AADT_{pre.l}|}{AADT_{mea.l}} \times 100 \qquad (1)$$

여기서, $AADT_{mea.l}$는 l구간에서 교통량 조사를 통한 실제 AADT, $AADT_{pre.l}$는 l구간의 추정 AADT, m은 총 추정 AADT 수이다.

Table 1에 평가결과를 나타내었다. 일반적으로 꾸준한 교통량을 보이는 지점으로 분류된 Type1과 Type4는 10% 내외의 오차가 발생하였다. 교통량 변화에 증감추세를 보이는 지점으로 분류된 Type2와 Type3은 증감률을 고려하였을 경우, 8% 내외의 오차가 발생하였다. 네 타입 모두 교통량 수시조사를 2년마다 실시하였을 때, 허용 가능한 오차를 보였다. 예상대로 변동이 크다고 분류된 Type 5는 20%에 가까운 오차를 나타내므로 매년 조사해야 할 것이다.

Table 1. Evaluation Result by Classified Type

Classification	Feature	Number of segment	Evaluation result (MAPE)	Decision
Type 1	Steady	575	9.98 %	Biennial count
Type 2	Increasing	123	8.23 %	
Type 3	Decreasing	64	7.94 %	
Type 4	Discrete	80	11.34 %	
Type 5	Fluctuant	39	19.26 %	Annual count

6. 결론

지속적으로 증가하고 있는 교통량조사 수요에 비해 제한적인 예산과 인력을 효율적으로 활용하기 위한 노력을 지속하고 있다. 매년 실시하던 수시조사를 지점의 특성에 따라 통계적으로 분류하고, 추정오차가 제한적인 특성을 갖는 지점에 대해서는 오차를 감안하고 교통량 수시조사 주기를 늘려야 한다. 따라서 일반국도의 수시조사 대상 880개의 조사지점의 10년간 교통량자료를 통계적으로 분석하였다. 10년 교통량 자료를 통계적으로 분석한 결과, 다섯 가지 타입으로 분류할 수 있었다. Type 1으로 분류된 지점은 574지점으로 교통량이 꾸준한 지점들로, 회귀 분석 결과 증감 추세가 없는 지점 중 변동계수가 20 이하인 지점 수는 85%를 초과하였다. 이 지점들을 2년마다 수시조사 하였을 경우 매년 조사하였을 때와 비교한 오차는 9.98%로 평가된다. Type 2으로 분류된 지점은 123지점이고, 선형회귀분석 결과 결정계수가 0.65 이상이므로 상대적으로 추세가 있는 것으로 판단되며, 모형의 기울기가 양(+)인 지점이다. 수시조사주기를 2년으로 늘리고, 기울기로 나타난 증가율을 고려하여 교통량을 추정할 때, 8.23%의 오차가 발생하는 것으로 평가된다. Type 3으로 분류된 지점은 64지점이고, Type 2와 마찬가지로 결정계수가 0.65 이상이며, 모형의 기울기가 음(-)인 지점이다. 기울기로

나타난 감소율을 고려하여 교통량을 추정하였을 때 발생하는 오차는 7.94%였다. Type 4는 80지점이 분류되었고, 교통량이 두 구간으로 나누어지는 지점이다. 10개의 교통량 값이 같은 정규분포를 갖는 모집단일 확률이 적은 지점들을 선정하여 변동계수는 크지만 추정교통량의 오차가 작을 수 있는 지점을 선정하였다. 예상대로 오차는 11.34%로 평가되었다. Type 5는 39지점이 분류되었고, 세 가지 통계적 방법에서 모두 걸러진 지점이다. 평균 19.26% 오차가 발생하므로 매년 조사가 권장되는 지점들이다. 제한적인 수의 샘플을 분석한 결과, 분류된 지점들은 예상된 특징을 나타내었고, Type 1, 2, 3, 4로 분류된 지점은 교통량 수시조사주기를 2년으로 시행할 수 있는 근거를 마련하였다.

이 연구결과는 고속도로의 교통량조사를 수행하는 한국도로공사와 지방도의 교통량조사를 수행하는 각 지자체에서 활용될 수 있을 것이다. 추후에 수집하는 데이터가 누적된다면 제한적인 수시조사 교통량 자료 수를 보완한 분석을 진행할 수 있을 것이다.

REFERENCES

California DOT, 2013. Annual Average Daily Truck Traffic on the California State Highway System.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. Traffic Monitoring Guideline.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015. Yearbook of road statistics.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015. 2014 Annual Traffic Volume Report.

New Jersey DOT, 2014. New Jersey Traffic Monitoring Program.

New York State DOT, 2011. Traffic Data Report for New York State.

Royston, P., 1992. Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for non-normality. Stat. Comput. 2, 117-119.

Seber, G.A.F., Lee, A.J., 2012. Linear Regression Analysis. John Wiley & Sons.

Thomas F. Barry, Jr., 2002. Traffic Monitoring Procedure.

Vandervalk-Ostrander, A., 2009. AASHTO Guidelines for Traffic Data Programs. Aashto.

Wang, C. (Ross), Tsai, Y. (James), 2013. Use of Reduction-Effectiveness Ratios to Evaluate Reduced Traffic Data Collection Plans. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 2339, 13-18.

Wiegand, K., n.d. 2013 Georgia Traffic Monitoring Program.

Yoo Seok Jung, Ju Sam Oh, 2015. Determination of a Homogeneous Segment for Short-term Traffic Count Efficiency Using a Statistical Approach. International Journal of Highway Engineering :: Vol.17 No.4 pp.135-141.