

생존분석을 활용한 과속방지턱 영향구간 분석

윤규근¹ · 장유림² · 고승영^{3*} · 이철원³

¹서울연구원 교통시스템연구실, ²교통안전공단 교통빅데이터센터, ³서울대학교 건설환경공학부

Identifying Roadway Sections Influenced by Speed Humps Using Survival Analysis

YOON, Gyugeun¹ · JANG, Youlim² · KHO, Seung-Young^{3*} · LEE, Chungwon³

¹Department of Transportation System Research, The Seoul Institute, Seoul 06756, Korea

²Transportation Big Data Center, Korea Transportation Safety Authority, Gimcheon 39660, Korea

³Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

*Corresponding author: sykho@snu.ac.kr

Abstract

This study defines influencing sections as the part of the road section where passing vehicles are traveling with the lower speed compared to speed limit due to speed humps. The influencing section was divided into 3 parts; influencing section before the speed hump, interval section, and influencing section after the speed hump. This analysis focused on the changes of each part depending on installation types, vehicle types, and daytime or nighttime. For the interval section, especially, the ratio of distance traveled with lower speed than speed limit to interval section is defined as effective influencing section ratio to be analyzed. Vehicle speed profiles were collected with a speed gun to extract influencing section lengths. The survival analysis was applied and estimated survival functions are compared with each other by several statistical tests. As a consequence, the average length of influencing section on the 50m sequential speed humps was 75.3% longer during the deceleration than that of isolated speed hump, and 18.9% during the acceleration. The effective influencing section ratio for the 30m and 50m sequential speed humps had a small difference of 81.0% and 76.0% while the absolute values of the section that passing speed were less than the speed limit were longer on 50m sequential speed humps, each being 24.3m and 38.0m. Using the log rank test, it was evident that sequential speed humps were more effective to increase the length of influencing sections compared to the isolated speed hump. Vehicle type was the strong factor for influencing section length on the isolated speed hump, but daytime or nighttime was not the effective one. This research result can be used for improving the efficiency selecting the installation point of speed humps for road safety and estimating the standard of the distance between sequential speed humps.

Keywords: effective influencing section ratio, influencing section, speed hump, speed profile, survival analysis

초록

본 연구에서는 과속방지턱으로 인해 통과차량이 제한속도 이하로 주행하게 되는 구간을 영향구간이라 정의하였다. 이를 과속방지턱 통과 전 구간·사이 구간·통과 후 구간으로 구분한 뒤, 단독 및 연속 설치 여부·차종·시간대 등 다양한 요인들로 인한 변화를 분석하였다. 특히, 사이 구간에서는 구간 내에서 제한속도 이하로 주행한 거리의 비율을 유효영향구간비율로 정의하여 분석하였다. 스피드건으로 과속방지턱을 통과하는 차량들의 속도궤적을 수집하여 영향

J. Korean Soc. Transp.
Vol.35, No.4, pp.261-277, August 2017
<https://doi.org/10.7470/jkst.2017.35.4.261>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 4 July 2016

Revised: 5 October 2016

Accepted: 29 August 2017

Copyright ©
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.

구간의 길이를 산출하였고, 생존분석을 이용하여 추정된 영향구간의 생존함수를 비교하였다. 설치 형태에 따른 변화 분석 결과, 50m 간격 연속형 과속방지턱의 통과 전 평균 영향구간 길이는 단일형보다 75.3% 길었으며, 통과 후 평균 영향구간은 18.9% 긴 것으로 나타났다. 연속형 과속방지턱의 유효영향구간비율은 30m와 50m 간격에서 각각 81.0%와 76.0%로 큰 차이가 없었으나, 제한속도 이하로 주행한 절대적 길이는 각각 24.3m와 38.0m로 50m 간격에서 더 길었다. 차종별로 추정된 영향구간의 생존함수에 대해 로그순위검정을 수행한 결과 연속형 과속방지턱의 영향구간이 단일형 과속방지턱보다 길다는 것이 통계적으로 유의하였다. 차종은 단일형 과속방지턱에서 유의한 차이를 나타냈으나, 주야 시간대는 유효한 요인이 아닌 것으로 판명되었다. 본 연구의 결과는 과속방지턱의 적정 설치 위치 또는 연속형 과속방지턱의 적정 간격 산정의 근거로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어: 과속방지턱, 영향구간, 속도궤적, 생존분석, 유효영향구간비율

서론

1. 연구의 배경 및 목적

과속방지턱은 국내 도로에 보편적으로 설치된 속도저감시설 중 하나로, 운전자들이 과속방지턱을 빠른 속도로 통과하면 수직 방향으로 충격을 가함으로써 탑승자의 불편함을 야기하여 통과 시의 저속 주행을 유도하게 된다. 그러나 운전자들이 과속방지턱 인근에서만 제한속도 이하로 주행한 후 다시 가속하는 경향이 있어, 과속방지턱의 효과는 설치 지점 인근에서만 국소적으로 나타나게 된다. Jung et al.(2014)은 고속도로 구간과속단속시스템이 운영됨에 따라 교통사고 중 중상 이상의 심각사고에 대해 큰 감소효과를 보였다는 점을 지적하였는데, 과속방지턱 또한 특정 지점이 아닌 일정 범위의 구간에 대해 속도저감효과를 발휘할 수 있어야 교통사고 예방 등 도로안전에 기여할 수 있을 것이라고 판단할 수 있다.

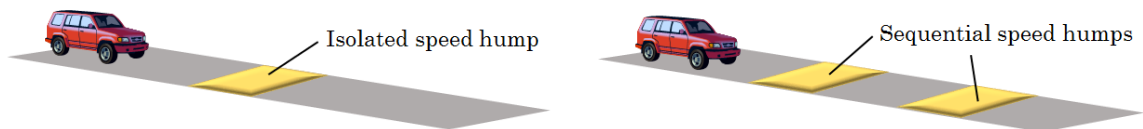


Figure 1. Illustration of isolated/sequential speed humps

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011)에서는 일정 구간 내의 과속방지턱 설치 위치와 개수에 따라서 Figure 1에서와 같이 단일형 과속방지턱과 연속형 과속방지턱으로 구분하고 있다. 한편, Lee and Kum(2015)에서는 DBQ(Driver Behavior Questionnaire)의 속성 중 운전자의 과속행동에 미치는 가장 큰 것이 운전 중 발생할 수 있는 운전자의 동기에 의한 의도적인 규정 위반임을 밝혔다. 따라서 과속방지턱의 속도저감효과를 높이기 위해서는 차량에 대한 물리적 저지보다는 운전자가 과속 의도를 포기할 수 있도록 하는 심리적 영향을 더 강화하는 것이 유리할 것이다. 이러한 면에서, 단일형 과속방지턱보다 복수의 과속방지턱으로 구성된 연속형 과속방지턱에서 속도저감효과가 더 크게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

과속방지턱으로 인한 속도저감이 나타나는 구간을 과속방지턱의 영향구간으로 정의한다면, 이는 과속방지턱의 물리적 조건뿐 아니라 통과 차량 및 시간의 특성에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 속도저감효과를 차량의 통과속도 또는 평균속도의 변화량이 아닌 길이의 차원으로 표현한 영향구간의 길이가 과속방지턱 설치 유형·차종·시간대와 같은 조건들에 의해 어떻게 변화하는지에 대해 분석하였다. 연구 결과는 과속방지턱의 적정 설치 위치 또는 연속형 과속방지턱의 적정 간격 산정의 근거로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 과속방지턱의 영향구간 길이를 실측 조사를 통하여 수집하고, 생존분석을 이용하여 수치적으로 비교 및 분석하였다. 또한 영향구간을 과속방지턱 통과 전 구간·사이 구간·통과 후 구간으로 분리하여, 단일형 또는 연속형 과속방지턱 통과 시 운전자들의 가·감속 행태를 각각 수치적으로 확인하였다. 특히, 사이 구간에서는 유효영향구간비율이라는 개념을 새롭게 정의하여 과속방지턱의 속도저감효과를 계량화하였다. 덧붙여, 통과 차량의 차종과 주·야간 시간대와 같은 외부 요인에 의한 영향구간의 변화를 분석하였다.

연구 수행은 연구의 배경을 파악하고 목적을 제시하는 것으로 시작하였다. 다음으로 과속방지턱 효과 평가와 관련된 기존 연구 및 문헌과 생존분석 관련 이론서 및 응용 연구들을 고찰하였다. 이어서 연구의 시간적·공간적 범위를 설정한 후 차량 속도궤적 자료를 수집하고, 이를 분석하여 과속방지턱 영향구간의 양상을 분석하였다. 마지막으로 연구의 결론을 도출하며, 연구의 한계점, 활용 방안 및 향후 연구 과제를 제시하였다.

이론적 고찰

1. 과속방지턱 효과 평가 관련 선행 연구 검토

Yoo(1994)는 과속방지턱이 설치된 구간을 대상으로 조건에 따른 차량주행속도를 육안으로 측정하여 속도저감 효과를 분석하였다. 분석 대상 조건에는 경찰관 감시 여부, 차종, 주간·야간, 조명시설 유무, 요일별, 시간대 등이 포함되었으며, 경찰차량 정차 시, 대형차, 야간, 조명시설이 있을 시, 평일, 야간 시간대에 속도저감효과가 더 큰 것으로 조사되었다. Kim(2003)은 서울시 성북구의 과속방지턱 187개소의 설치실태를 파악하고, 이를 지침과 비교하였다. 이동식 검지기 NC-97을 이용하여 과속방지턱 통과 시 차량속도변이 및 효과를 분석하여, 평균진입속도, 도로 경사, 과속방지턱의 기하구조 등을 변수로 하는 평균 속도차 예측 선형 모형을 개발하였다. 모형에서 과속방지턱의 폭원, 높이, 길이 등의 물리적 형상은 상대적으로 중요도가 낮은 변수로 간주되었다. Lee et al.(2012)은 어린이 보호구역 내의 교통안전시설물의 설치 타당성을 입증하기 위하여 구간통행속도를 평가지표로 선정하여 비디오카메라 2대를 이용한 촬영을 통해 분석하였으며, 과속방지턱과 고원식 횡단보도가 속도저감에 효과적인 것으로 나타났다. Yeo et al.(2013)는 레이저건을 이용하여 연속으로 과속방지턱이 설치된 구간을 통과하는 차량의 속도궤적을 얻어 내고, 제한속도에 부합하는 설치간격을 산정하기 위한 모형을 개발하였다. 국토해양부 지침에서는 제한속도가 30km/h일 때 적절한 과속방지턱 간 간격을 35m라고 명시했으나, 해당 연구에서는 20m로 제안함으로써 지침보다 설치 간격이 축소되어야 한다고 결론지었다. 다만 준수할 수 없는 현장에서는 70m 이내로 설치해야 연속형 과속방지턱의 효과를 유지할 수 있다고 분석하였다.

Herrstedt(1992)는 교통정온화 기법이 적용된 덴마크 도로 구간에 대하여 속도, 사고, 보행자 및 자전거 보호, 통과차량 및 인접차량의 지연, 소매 거래, 소음 및 대기오염, 에너지 소비, 비용, 이용자 의견 등 다각적인 분석을 실시하였으며, 차량 속도의 유의미한 감소는 매립 검지기로 확인하였다. Gilmore et al.(2013)은 미국 지방부 고속도로 중에서 마을 등의 지점을 통과하여 고속에서 저속으로 차량속도가 변이되는 구간에 대하여, 회전교차로와 노면표시(Transverse Pavement Marking), 환영 표지(Welcome Sign)가 차량의 감속에 미치는 영향을 분석하였다. Traffic Classifier와 레이저건을 이용한 속도궤적 수집을 통해, 이러한 시설물들이 운전자들의 제한속도 준수율을 높여준다는 결론을 도출하였다. Barbosa et al.(2000)은 영국 City of York 내 6개 대상지의 속도저감시설을 대상으로, Pneumatic tube(기송관)를 이용한 지점별 차량 통과시간을 측정하여 속도궤적을 도출하였다. 이 자료로부터 진입 속도, 시설로부터의 거리, 시설별 속도저감효과를 반영한 속도궤적 모형식을 산정하였다. Moreno et al.(2011)은 Speed table을 통과하는 차량들의 평균속도 감소폭을 추정하기 위하여 진출입 경사, 상단의 길이와 같은 기하구조, 인접한 교통정온화 시설과의 거리를 종속 변수로 하는 다중 선형 회귀분석을 수행하였다. 평균속도 감소폭의 85백 분위 값은 Speed table 진입 시의 경사와 이전 교통정온화 시설과의 거리의 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

Moreno and Garcia(2013)는 GPS를 이용하여 획득한 차량의 속도궤적으로부터 안전대리변수(Surrogate Safety Measure, SSM)를 산출하였다. 누적속도균등성(Accumulated Speed Uniformity)과 누적제한속도초과(Accumulated Speeding) 등의 SSM과 속도 및 시설 밀도 간의 관계를 선형 모형으로 표현하였다. 또한, SSM 기준 값에 따라 설치된 시설의 성능을 평가하였다.

선행 연구들의 전반적인 흐름을 살펴본 결과, 교통정온화의 개념 정립과 현실 적용이 해외 국가들에서 먼저 정착되었기 때문에 과속방지턱 관련 연구 주제 및 분석 대상 시설, 방법론 등이 국내보다 풍부하였다. 특히, 연구의 방향이 지점 속도 분석에서 속도궤적으로 옮겨가고, 평균속도 변화가 아닌 다른 지표를 활용하는 등 단편적이었던 분석 방법론이 다변화하고 있었다. 국내 교통 분야에서도 교통안전에 대한 관심이 높아지고 있어, 교통안전시설 중 하나인 과속방지턱에 대한 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 단일형 과속방지턱의 효과를 평가하는 연구와 주야 및 차종 등의 외부 요인을 반영한 연구들이 주로 이루어졌으며, 이를 연속형 과속방지턱에 대하여 적용한 연구는 최근 들어서 등장하기 시작하였다.

한편, 과속방지턱의 효과 분석에 있어 평균통과속도, 평균속도 감소폭과 같은 점(點)적인 지표들은 많이 활용되었지만, 본 연구에서 집중하고자 하는 영향구간 길이와 같이 선(線)적인 지표들은 비교적 많이 활용되지 않았다. 이에 본 연구에서는 기존 연구에서 부족했던 연속형 과속방지턱의 효과에 대한 분석을 수행하며, 선적인 개념이 추가된 영향구간의 길이를 평가지표로써 활용함으로써 차별성을 확보하였다.

2. 생존분석의 개념 및 본 연구에서의 적용

Park(2006)은 생존분석이란 관찰대상을 일정시간 추적하여 특정 사건이 발생하기까지의 시간을 측정할 수 있고 해당 사건 발생에 영향을 미치는 요인이 존재할 때, 이러한 사건발생시간과 요인을 분석 및 평가할 수 있는 통계방법이라고 정의하였다. 생존분석은 과속방지턱 통과 시의 차량속도가 제한속도 이하로 감소한 후 다시 초과하는 사건의 발생에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 본 연구에서도 활용할 수 있을 것으로 판단하였다.

생존분석은 표본이 특정 분포를 따른다는 가정의 여부에 따라 비모수 방법과 모수 방법으로 구분할 수 있다. 비모수 방법은 모수 방법과 달리, 표본의 모수 분포를 가정하지 않고 자료의 순서에만 의존하는 방법을 말한다. 본 연구에서는 백분위수 등 자료의 순서가 더 의미 있을 것이라고 판단하였고, 표본에 대해 비모수 검정을 거친 후 비모수 방법을 선택하였다. 비모수 방법에는 생명표 분석과 Kaplan-Meier(KM) 분석이 있다. Kim(2013)은 측정 단위가 일정한 폭을 가진 구간(분기, 년 등)인 경우와 분석 자료가 시간에 따라 그룹화 되어 있는 경우에 생명표 분석을 사용할 수 있고, KM 분석은 그룹화 되지 않은 개별 사건에 대해 분석하는 경우에 사용된다고 정리하였다. 여기에서는 개별 차량의 속도궤적 자료를 분석하므로 KM 분석을 활용하였다.

KM 분석은 개별 생존시간들이 서로 독립적이라는 가정이 필요하다. 이는 KM 분석에서의 생존함수 추정량이 조건부 확률의 곱으로 표현되기 때문이다. 본 연구에서 수집된 각 차량들의 영향구간은 상호 간에 영향을 주지 않기 때문에 이러한 가정을 위배하지 않는다. 중도절단과 생존시간이 서로 독립이라는 가정도 필요하지만, 본 수집 자료에서는 중도절단이 발생하지 않아 고려하지 않았다.

3. 국내 과속방지턱 관련 지침

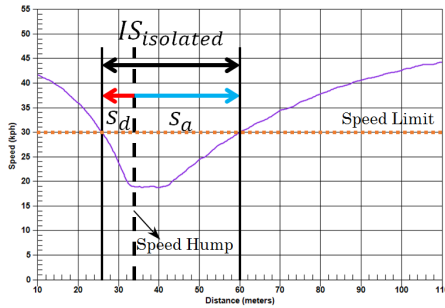
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2011)에는 과속방지턱의 기능·설치장소·구조 등 설치 관련 기준들이 포함되어 있다. 이 지침에서는 과속방지턱 설치 시에 30km/h 이하의 속도에서는 물리적 충격이 비교적 적도록 하고, 차량 주행 속도, 도로 여건 등을 감안한 합리적 설치로 차량 손상이나 과도한 불쾌감을 줄이도록 하였다. 연속형 과속방지턱의 설치 간격에 대한 기준은 자체 실험 결과로부터 도출한 역함수 관계식인 Equation 1에 의하여 산정되었다. 관계식에 의하면 규제속도가 30km/h일 때 적정 설치 간격은 35m이다.

$$Y = 9.7573X^{0.315821} \tag{1}$$

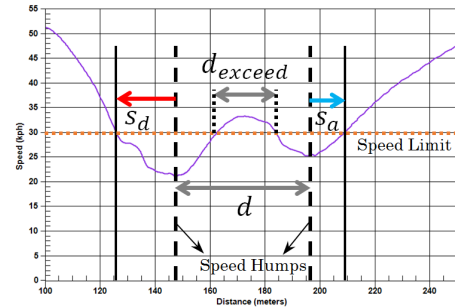
where, Y : 85 percentile vehicle speed (km/h)

X : installation space between two speed humps (m)

과속방지턱의 영향구간



(a) Vehicle speed profile over isolated speed hump



(b) Vehicle speed profile over sequential speed humps

Figure 2. Influencing section of isolated and sequential speed humps

본 연구에서는 과속방지턱의 영향구간을 ‘차량이 과속방지턱을 통과하는 과정에서 발생하는 제한속도 이하 주행 구간’으로 정의하였다. 먼저, Figure 2의 (a)와 같은 단일형 과속방지턱에서는 차량이 과속방지턱 통과 전에 감속하여 제한속도에 도달하는 지점을 시점, 과속방지턱 통과 후에 다시 가속하여 제한속도를 초과하는 지점을 종점으로 하여, 영향구간의 길이를 Equation 2와 같이 계산하였다.

$$IS_{isolated} = s_d + s_a \tag{2}$$

where, $IS_{isolated}$: length of total influencing section over isolated speed hump (m)

s_d : length of influencing section before speed hump (m)

s_a : length of influencing section after speed hump (m)

하지만 Figure 2의 (b)와 같은 연속형 과속방지턱에는 과속방지턱 간의 간격이 존재하므로 Equation 2를 적용하기 어렵다. 일부 차량의 경우에는 과속방지턱 사이 구간에서 제한속도를 초과하여 주행하므로 영향구간의 기본 정의를 위배하게 된다. 따라서 과속방지턱 사이 구간을 온전한 하나의 영향구간으로 간주하는 것이 불가하다고 판단하고, 사이 구간에서 제한속도 이하로 주행하게 되는 거리의 비율을 분석하였다. 이를 유효영향구간비율이라고 정의하고 Equation 3과 같이 산출하여, 영향구간과 동일한 방법론을 적용하여 분석하였다.

$$r_{effective} = \left(1 - \frac{d_{exceed}}{d}\right) \times 100 \tag{3}$$

where, d : length of interval section between two speed humps (m)

d_{exceed} : length of interval section where speed limit was exceeded (m)

$r_{effective}$: effective influencing section ratio (%)

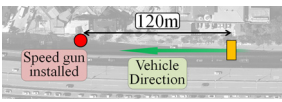
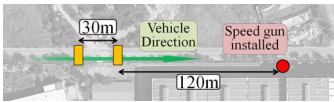
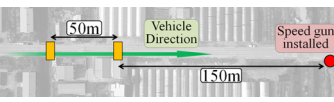
한편, 연속형 과속방지턱 구간에 진입한 운전자는 선행 과속방지턱 이후에도 후속 과속방지턱이 존재한다는 것을 인지하게 되고, 이로 인해 후속 과속방지턱에 도달할 때까지의 가속 의지가 약화되어 단일형 과속방지턱에서와 같이 가속하지는 않을 것이다. 이러한 차이로 인한 단일형 및 연속형 과속방지턱의 속도저감효과의 차이를 확인하기 위하여, 단일형 과속방지턱과 연속형 과속방지턱의 선행 과속방지턱 통과 행태도 비교하였다.

현장 조사 및 분석

1. 조사 지점 선정

실측 조사지점은 타 교통류와의 상충지점과 멀리 떨어져 있고 과속방지턱 통과 후 가속할 수 있는 평탄한 직선 구간이 충분히 확보되어, 과속방지턱 통과 시 횡단 보행자나 합류 차량 등의 방해 없이 운전자들이 자연스럽게 가속할 수 있는 지점을 선정하였다. 온라인 포털 지도 탐색과 사전 답사를 통해 확보한 조사 지점들은 폭 3.5-4m의 편도 1차로 평지구간으로 차로폭, 차로수, 설계속도 등의 도로의 물리적 특성이 유사하였다. 또한 구간 내 과속방지턱들은 도색 수준이 양호하여 운전자들이 충분히 인지할 수 있었으며, 지점에서 제시된 물리적 형상인 길이 3.6m, 높이 10cm와 ±10% 수준의 편차를 보여 운전자의 반응에 큰 영향이 없을 것으로 판단되었다. 최종적으로 단일형·30m 연속형·50m 연속형 과속방지턱 지점 각 1개소를 선정하였다. 이는 각 유형 간 존재할 수 있는 지역적 오차가 분석 결과에 미치는 영향보다 유형별 복수의 지점에서 수집된 표본 간의 지역적 오차로 인한 동일 유형 표본 내 일관성 훼손이 더 큰 문제일 것으로 판단했기 때문이었다.

Table 1. Information of points of investigation

Installation type	Isolated	Sequential (30m)	Sequential (50m)
Location	Seongbuk-gu, Seoul	Deogyang-gu, Goyang, Gyeonggi	Ilsandong-gu, Goyang, Gyeonggi
Length*	300m	700m	380m
Distance**	-	30m	50m
Sidewalk	Exist (one-side)	Exist (one-side)	Exist (one-side)
Point overview			

*Length means the distance between intersections.

**Distance means the distance between speed humps.

2. 현장 조사 방법

조사 일시는 주말을 제외한 평일 주간(11:00~일몰시간)과 평일 야간(일몰시간~23:00)으로 구분하여 시간대에 따른 영향구간의 변화를 비교가 가능하도록 하였다. 승용차·승합차·SUV 등 통과 빈도가 높은 소형차량에 대해서만 속도궤적을 측정하였다. 선행차량이 존재하면 운전자가 안전거리 유지를 위하여 속도를 조절할 것이라고 판단하여, 이를 최소화하기 위하여 단독차량 또는 차량집단의 선두차량에 대해서만 조사를 실시하였다. Moon and Kim(2015)에서는 차두간격이 적어도 4.6초 이상이어야 선행차량에 구속되지 않는 것으로 분류하였는데, 본 연구에서는 과속방지턱과 스피드건 설치 지점 사이에 선행차량이 없을 때에만 측정을 수행하였으므로 주행속도 60km/h를 기준으로 약 7.2초의 차두간격을 확보하였다.

선행 연구 중 Moreno and García(2013)에서는 차량 속도 측정 시 광범위한 지역의 고속주행 차량에 대해 높은 정밀도로 분석이 가능한 GPS 장비를 이용하였다. 하지만 수신기 장착 및 회수의 문제로 인해, 임의 차량 및 운전자에 대한 분석과 자연스러운 반응 유도가 어렵다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 미국 Applied

Concepts Inc.사에서 제작한 STALKER ATS II 스피드건을 사용하였으며, 2,814회/분(46.875회/초)의 레이더파를 송신한 뒤 물체에서 반사된 레이더파와의 주파수 차이를 이용하여 물체의 속도를 측정한다. 최대 측정 거리는 1.75 마일(약 2.8km), 측정 가능 속도 범위는 시속 1~890마일(약 1.6~1,424km)로 본 연구의 조사에 활용될 수 있는 제한이었다. 속도계적 수집 과정은 차량의 구간 진입을 확인한 후 스피드건을 작동시켜 속도를 측정하면서 차종을 기록하고, 차량 통과 후에 측정을 종료하는 식으로 이뤄졌다. 측정 중에는 운전자의 시야에서 벗어남으로써 운전자의 의도적인 차량 감속이 최대한 일어나지 않도록 하였다. 한편, 스피드건과 측정 대상 사이에 장애물이 존재하면 스피드건의 반사 레이더파 수신을 방해하여 측정 대상의 정확한 속도를 수집할 수 없게 되므로, 이러한 교란으로 노이즈가 발생한 자료들은 최종분석에서 제외하였다. 또한 차량 진행 방향과 스피드건 레이더파 송·수신 방향에 각도차가 있을 시 오차가 발생할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 직선 구간을 통과하는 선행차량들을 측정 대상으로 한정하여 이러한 오차 발생을 최대한 방지할 수 있었다.

3. 조사 데이터 처리 방법

스피드건으로 측정된 차량속도 자료는 내부 저장장치에 저장되며, 전용 소프트웨어를 이용하여 PC로 복사한 후 속도계적의 개형을 파악할 수 있다. 보행자나 측정 대상 외의 차량 등 주변 사물의 방해로 인해 국소적으로 노이즈가 발생한 부분을 수정하였고, 심할 경우에는 분석 대상에서 제외하였다. 소프트웨어에서는 측정 시점, 속도, 가속도, 거리 등이 포함된 텍스트 파일 형태로 속도계적을 저장할 수 있다. MS Excel VBA (Visual Basic for Applications)를 이용하여 데이터들을 MS Excel 시트에 입력하고, 여기에 분석에 필요한 데이터 처리 과정들을 적용하여 획득하고자 하는 지표들을 계산하게 된다.

본 연구의 조사 지점들은 구간 제한속도가 표지판 또는 노면표시로 명시되어 있지 않으나, 현행 지침에는 “과속방지턱을 설치할 때, 대부분 통행속도를 30km/시로 제한하고 있다”고 언급하고 있어, 조사지점의 제한속도를 30km/h로 설정하였다. 따라서 제한속도 30km/h 이하로 주행한 거리를 추출하는 코드를 작성하여 영향구간 값을 획득하였다. 그리고 운전자들의 감속 행태와 가속 행태의 차이를 확인하기 위하여 과속방지턱 통과 전과 통과 후의 영향구간을 별도로 수집하였다. 조사 지점별로 통과 전·후 영향구간과 유효영향구간비율을 산출하고 차종에 따라 분류한 후, 이를 SPSS 통계 패키지에 입력하여 결과를 획득하였다. 통계 분석을 통해 영향구간에 대한 평균 및 백분위수, 생존함수 등을 획득하고, 이를 차종 및 지점별로 상호 비교할 수 있었다.

분석 결과 및 해석

1. 측정 결과 개요

현장조사를 통해 수집한 측정 자료의 개요는 Table 2와 같다. 구간별 영향구간을 용이하게 비교하기 위하여, 차종별 표본의 분포가 크게 차이나지 않도록 하였다. 야간에는 차량 교통량의 감소로 인해 동일한 조사 시간 동안 수집할 수 있는 표본 수가 적었기 때문에, 야간 표본은 주간 표본의 50% 수준으로 수집하였다.

Table 2. Vehicle type distribution by sample sections

Vehicle type	Isolated		Sequential (30m)		Sequential (50m)	
	Day	Night	Day	Night	Day	Night
Passenger car	81 (57.0%)	41 (56.2%)	80 (55.9%)	37 (52.9%)	74 (56.1%)	36 (52.9%)
SUV & RV	47 (33.1%)	24 (32.9%)	46 (32.2%)	24 (34.4%)	45 (34.1%)	24 (35.3%)
Freight truck	14 (9.9%)	8 (11.0%)	17 (11.9%)	9 (12.9%)	13 (9.8%)	8 (11.8%)
Total	142	73	143	70	132	68

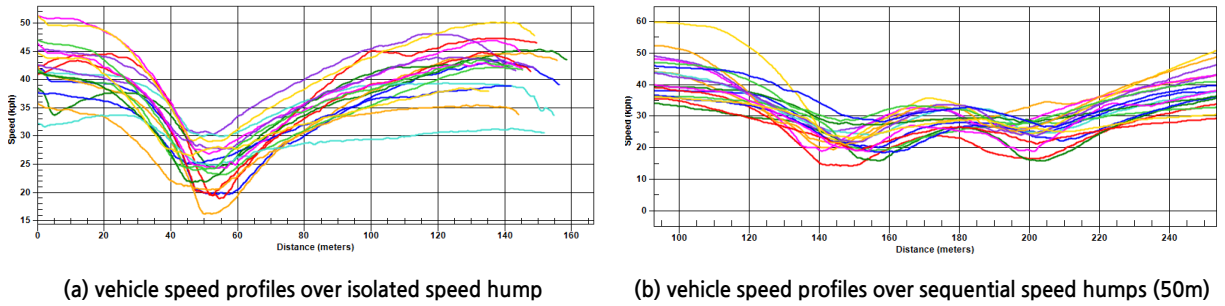


Figure 3. Samples of acquired speed profile data

각 지점에서 측정된 속도궤적들은 Figure 3과 같은 형태를 나타냈다. 궤적들의 개형을 살펴보면, 단일형 과속방지턱에서는 차량 속도가 감소하는 부분이 1개이지만, 연속형 과속방지턱에서는 2개가 나타난다. 과속방지턱 전방에서 감속하고, 다시 가속하여 원래 속도에 도달하는 운전 행태가 잘 반영되어 있으며, 운전자 간의 속도 편차가 최대 25km/h 이상으로 운전자마다 희망하는 주행 속도가 다양하다는 것을 확인할 수 있다.

통과 전·후 영향구간의 길이와 유효영향구간비율에 대하여 KM 분석의 수행이 가능한지 확인하기 위해, 두 분포 사이의 동질성을 검정할 수 있는 콜모고로프-스미르노프 검정(Kolmogorov-Smirnov test, K-S 검정)을 활용하여, 균등분포·정규분포·지수분포 중에 표본이 따르는 모수 분포가 있는지 확인하였다. 표본 분포가 주어진 모수 분포와 동일하다는 것을 귀무가설, 다르다는 것을 대립가설로 설정하여 검정을 수행하였다. K-S 검정 결과는 Table 3과 같았으며, 2개 조건 하에서만 모수분포를 따르는 것으로 나타났다. 이로써 생존분석 중 모수 방법을 활용하기에는 통계적 유의성이 부족하다는 것을 확인하여 KM 분석 수행의 통계적 근거를 확보하였다.

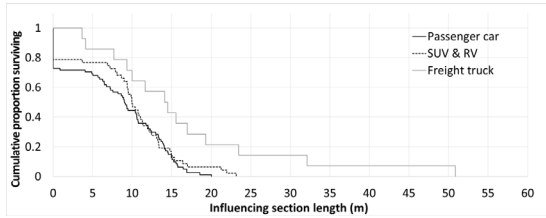
Table 3. Significance probabilities of K-S test for influencing section lengths

Influencing section		Uniform Distribution		Normal Distribution		Exponential Distribution	
		Day	Night	Day	Night	Day	Night
Isolated	s_d	0	0	0	0	0	0
	s_a	0	0	0	0.006	0	0
Sequential (30m)	s_d	0.004	0	0	0.200	0	0
	s_a	0	0	0.001	0.016	0	0
Sequential (50m)	s_d	0	0	0.032	0.004	0	0
	s_a	0	0	0.003	0.200	0	0.007

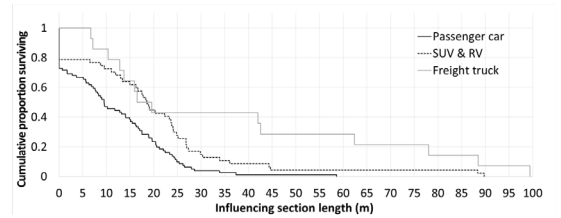
note: significance probabilities of $r_{effective}$ were all '0' by K-S test.

2. 요인에 따른 과속방지턱 영향구간의 변화

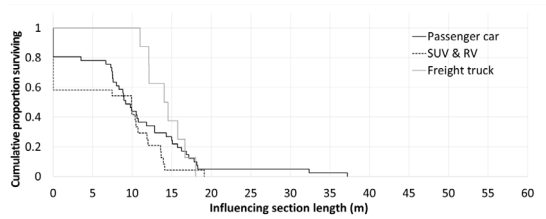
Table 4는 통과 전·후 영향구간에 대하여 과속방지턱 유형별 평균을 추정한 것이며, 주·야간 모든 차종에 대하여 통과 후 영향구간 길이의 평균이 통과 전보다 길었다. 이로부터 생존함수곡선에서 확인하였던 통과 전·후 영향구간의 비대칭성을 정량적으로 확인할 수 있다. 하지만 차종별로 통과 전·후 영향구간의 길이가 더 긴 시간대가 일정한 경향이 나타나지 않아, 시간대의 변화로 인하여 발생하는 효과는 명확히 밝혀낼 수 없었다.



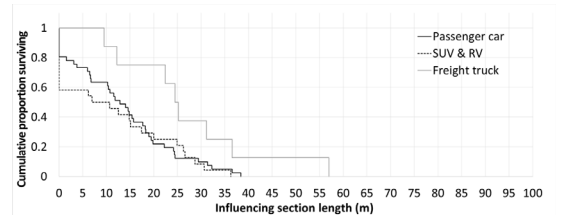
(a) s_d of isolated speed hump, day



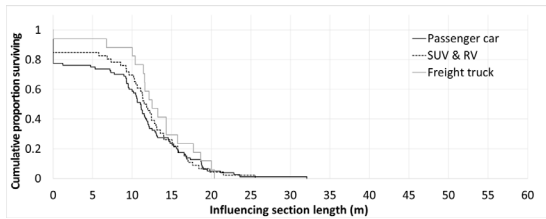
(b) s_a of isolated speed hump, day



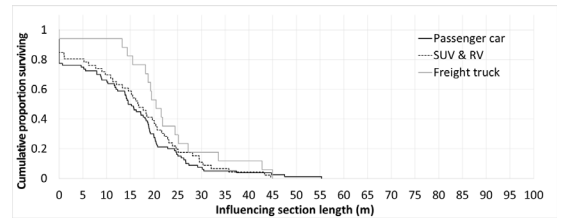
(c) s_d of isolated speed hump, night



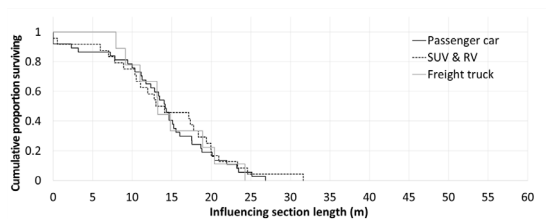
(d) s_a of isolated speed hump, night



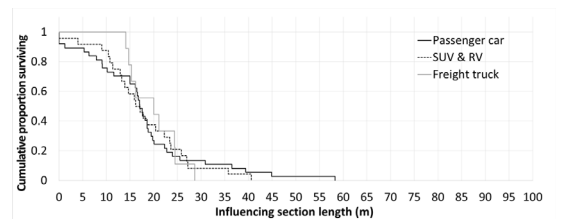
(e) s_d of sequential speed humps(30m), day



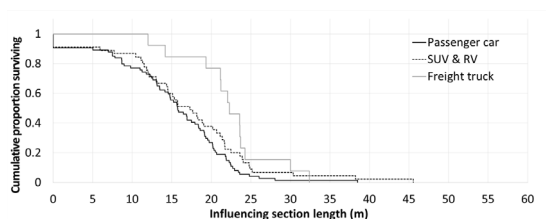
(f) s_a of sequential speed humps(30m), day



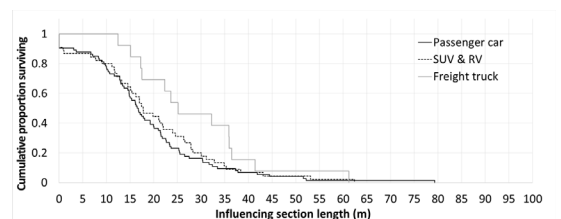
(g) s_d of sequential speed humps(30m), night



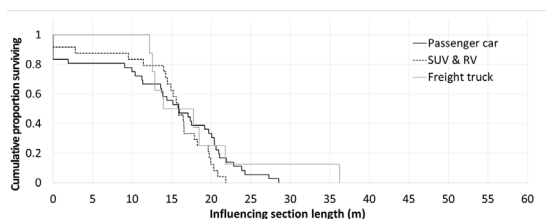
(h) s_a of sequential speed humps(30m), night



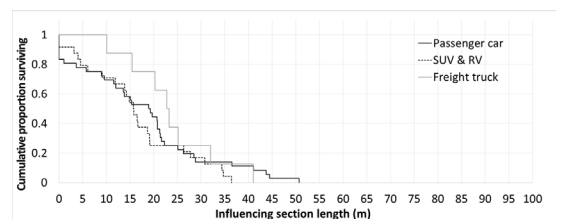
(i) s_d of sequential speed humps(50m), day



(j) s_a of sequential speed humps(50m), day



(k) s_d of sequential speed humps(50m), night



(l) s_a of sequential speed humps(50m), night

Figure 4. Survival functions of influencing sections on speed humps in daytime and nighttime

Table 4. Average of influencing section over isolated and sequential speed humps (unit: m)

Vehicle type	Isolated				Sequential (30m)				Sequential (50m)			
	Day		Night		Day		Night		Day		Night	
	s_d	s_a	s_d	s_a	s_d	s_a	s_d	s_a	s_d	s_a	s_d	s_a
Passenger car	8.16	11.70	10.32	13.48	10.12	14.77	13.62	17.94	15.17	18.78	14.43	17.84
SUV & RV	9.45	20.19	6.97	11.55	11.12	16.40	14.35	17.99	17.03	19.99	14.66	16.40
Freight truck	16.66	36.83	14.29	27.33	12.99	22.40	14.77	19.88	22.29	28.96	18.23	23.75
Total	9.42	16.99	9.65	14.36	10.78	16.20	14.02	18.21	16.51	20.20	14.96	18.03

Figure 4는 과속방지턱의 통과 전·후 영향구간과 유효영향구간비율에 대해 KM 분석을 수행하여 시간대 및 차종별로 생존함수곡선을 그린 것이다. 생존함수곡선이 세로축에 근접할수록 영향구간의 길이가 상대적으로 짧아지는 것을 의미한다. 생존함수곡선의 개형을 통해 시간대, 차종, 통과 전·후 등의 요인이 영향구간의 길이에 미치는 영향을 개략적으로 파악할 수 있다.

먼저 단일형 과속방지턱의 3개 차종별 영향구간을 생존함수곡선으로 나타낸 (a)~(d)를 비교한 결과, 통과 전·후 영향구간 모두 전반적으로 주간보다 야간에 짧아지는 경향이 있었다. 이로부터 운전자들이 과속방지턱에 개의치 않는 운전 행태를 야간에 더 많이 보이는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 통과 전 영향구간보다 통과 후 영향구간에서 더 확연하게 드러났다. 30m 간격 연속형 과속방지턱에서의 통과 전·후 영향구간의 생존함수곡선인 (e)~(h)에서 주·야간 조건을 상호 비교하면 단일형과 50m 간격 연속형 과속방지턱에서만 정도의 차이는 나타나지 않는다. 즉, 30m 간격 연속형 과속방지턱의 속도저감효과는 다른 두 유형의 과속방지턱보다 시간의 변화에 대한 민감도가 낮다고 할 수 있다. (i)~(l)은 50m 간격 연속형 과속방지턱에서의 통과 전·후 영향구간의 생존함수곡선이며, 통과 전·후 영향구간 모두 주간보다 야간에 짧아지는 경향이 두드러졌다. 이러한 경향은 단일형 과속방지턱과 30m 간격 연속형 과속방지턱의 일부 차종에서 나타났으나, 50m 간격 연속형 과속방지턱에서는 더욱 확연하였다.

영향구간의 생존함수곡선을 차종별로 비교하였을 때에는 화물차와 그 외 차종 간의 차이가 두드러졌다. 세 차종 중 화물차의 과속방지턱 통과 전·후 영향구간이 가장 긴 것으로 나타났다. 이는 화물차의 가·감속 성능이 다른 차종에 비해 떨어지거나, 화물 파손의 우려 때문에 운전자가 과속방지턱 통과 시에 더 조심스럽게 운전하기 때문으로 추정된다. 승용차와 SUV 및 승합차 간에도 약간의 차이가 관측되었는데, 시간대의 변화에 따라 일정한 경향을 보이지는 않았다. 주간의 단일형 과속방지턱 통과 시에는 승용차의 영향구간이 SUV 및 승합차에 비해서 짧은 것으로 나타났다지만, 야간에는 이러한 관계가 역전되었다. 승용차보다 SUV 및 승합차가 시간대에 따라 운전 행태가 더 많이 변화하는 것으로 추정된다. 전반적으로 연속형 과속방지턱에서는 단일형에서보다 차종 간의 차이가 줄어드는 것으로 확인되었다.

3. 연속형 과속방지턱의 유효영향구간비율

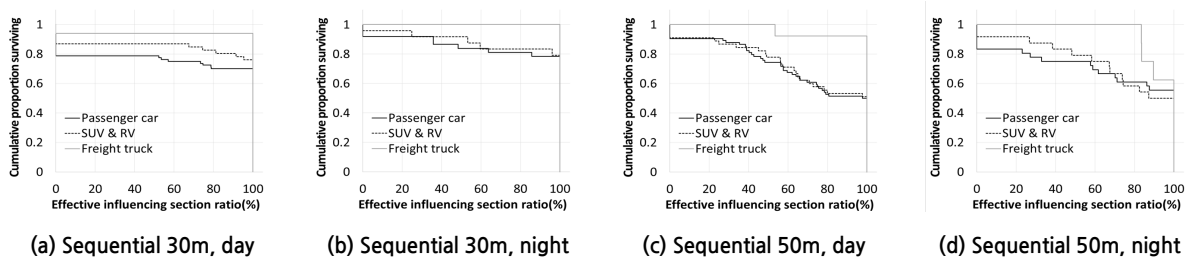


Figure 5. Effective influencing section ratio of sequential speed humps sections

Table 5. Average of effective influencing section ratio over sequential speed humps

Vehicle type	Sequential (30m)		Sequential (50m)	
	Day	Night	Day	Night
Passenger car	75.9% (22.8m)	85.7% (25.7m)	73.3% (36.7m)	71.6% (35.8m)
SUV & RV	85.0% (25.5m)	88.9% (26.7m)	74.5% (37.3m)	76.0% (38.0m)
Freight truck	94.1% (28.2m)	100.0% (30.0m)	96.4% (48.2m)	94.6% (47.3m)
Total	81.0% (24.3m)	88.6% (26.6m)	76.0% (38.0m)	75.8% (37.9m)

note: values in parentheses are the average of absolute lengths that vehicle speed were lower than speed limit.

Figure 5는 과속방지턱 사이 구간에서의 유효영향구간비율에 대한 생존함수곡선이며, 화물차, SUV 및 승합차, 승용차 순으로 높은 수준임을 확인할 수 있다. Table 5는 과속방지턱 설치 간격과 시간대에 따른 평균 유효영향구간 비율의 변화를 나타내고 있다. 전 차종 평균 유효영향구간비율을 보면 30m 간격 연속형 과속방지턱에서 주간 81.0%와 야간 88.6%, 50m 간격에서 주간 76.0%와 야간 75.8%로 나타나, 비율상으로는 30m 간격 연속형 과속방지턱의 속도저감효과가 더 강한 것처럼 보인다. 하지만 실제 거리로 환산하면 30m 간격에서 각각 24.3m, 26.6m에 불과하며, 50m 간격에서는 38.0m, 37.9m로 30m 간격에서보다 더 긴 구간에 대하여 속도저감효과를 발휘한다는 것을 알 수 있다.

과속방지턱 사이 구간 전체에서 제한속도 이하로 주행하여 유효영향구간비율이 100%였던 차량 비율은 30m 간격 연속형 과속방지턱에서는 주간 74.8%, 야간 81.4%였지만, 50m 간격에서는 주간 54.5%, 야간 55.1%였다. 50m 간격에서 제한속도 준수 구간이 길었지만, 구간 전체를 제한속도로 주행하도록 하는 효과는 30m에서 더 크게 나타났다. 한편, 유효영향구간비율이 0%인 것은 해당 차량의 과속방지턱 구간 통과 시 제한속도 이하 주행 구간이 없다는 것을 의미한다. 이러한 차량의 비율은 30m 간격에서 주간 16.8%, 야간 5.7%인데 비해, 50m 간격에서는 주간 8.3%, 야간 11.6%로 나타났다. 과속방지턱의 일반적 목표 제한속도인 30km/h를 준수하지 않은 차량 비율과 과속방지턱 설치 간격 간에는 일관성이 드러나지 않는 것으로 확인되었다.

4. 영향구간 및 유효영향구간비율 차이의 통계적 유의성

앞에서 생존함수곡선의 개형과 평균 비교를 통해 요인별 영향을 분석했지만, 이러한 비교가 유의한 결과를 도출하기 위해서는 통계 검정을 통한 통계적 유의성을 확보해야 한다. 먼저, 두 집단의 생존함수 간 동질성을 검정할 수 있는 로그순위검정으로 과속방지턱 유형, 시간대와 차종에 따른 생존함수곡선의 차이를 분석하였다.

Table 6. Log rank test result of influencing section lengths among speed hump types

Compared Speed hump type		Isolated ↔ Sequential(30m)			Isolated ↔ Sequential(50m)			Sequential(30m) ↔ Sequential(50m)		
		Passenger car	SUV & RV	Freight truck	Passenger car	SUV & RV	Freight truck	Passenger car	SUV & RV	Freight truck
Day	s_d	<u>0.008</u>	0.121	0.285	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	0.185	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>
	s_a	0.106	0.241	0.227	<u>0.003</u>	0.930	0.322	0.167	0.261	0.251
Night	s_d	0.074	<u>0.000</u>	0.467	<u>0.012</u>	<u>0.000</u>	0.138	0.245	0.288	0.525
	s_a	0.168	0.316	0.067	0.078	0.266	0.544	0.718	0.779	0.220

note: values with underlines are significant at $\alpha = 0.05$.

Table 6에서는 과속방지턱 유형에 따라 과속방지턱 영향구간의 차이가 발생하는지 확인하기 위해 통과 전·후 영향구간을 구분하여 각각 통계 검정을 수행하였다. 먼저 주간 분석결과, 통과 전 영향구간의 차이에 대해 유의수준 0.05를 기각하는 경우가 많으며, 50m 간격 연속형 과속방지턱이 다른 유형에 비해 제한속도 이하 주행의 유도에 효과적임을 알 수 있다. 야간의 통과 전 영향구간 비교에서는 단일형과 연속형 과속방지턱 사이의 차이가 비교적 뚜렷하게 나타났으며, 연속형 과속방지턱 간에는 차이가 발생하지 않는 것으로 밝혀졌다. 이는 주간 분석 결과와 다소 차이를 보이는 부분인데, 야간에는 주간보다 운전자의 공간 감각이 둔화되어 과속방지턱 간의 간격보다는 개수에 더 민감하게 반응하기 때문으로 추정되었다.

이와 대조적으로, 통과 후 영향구간은 주야를 막론하고 거의 모든 조건에서 과속방지턱 유형 간의 차이가 없는 것으로 보아, 운전자들이 과속방지턱을 통과한 이후 가속하는 과정에서는 유형에 관계없이 자신의 습관대로 주행하는 것으로 판단되었다. 이를 통해 과속방지턱의 효과는 통과 후 구간보다는 통과 전 구간에서 운전자의 감속을 어느 정도까지 유도해 낼 수 있는지에 달려 있음을 수치적으로 확인할 수 있었다.

Table 7. Log rank test result of influencing section lengths among vehicle types

Compared vehicle type	Passenger car ↔ SUV & RV	SUV & RV ↔ Freight truck	Freight truck ↔ Passenger car	
Isolated	s_d	1.098 (0.295)	<u>6.461 (0.011)</u>	<u>10.578 (0.001)</u>
	s_a	<u>9.751 (0.002)</u>	3.070 (0.080)	<u>12.523 (0.000)</u>
Sequential (30m)	s_d	0.088 (0.767)	0.244 (0.622)	0.525 (0.469)
	s_a	0.364 (0.546)	1.698 (0.193)	2.664 (0.103)
Sequential (50m)	s_d	2.076 (0.150)	1.912 (0.167)	<u>8.424 (0.004)</u>
	s_a	0.490 (0.484)	2.506 (0.113)	3.764 (0.052)

note: p -values are given in parentheses. values with underlines are significant at $\alpha = 0.05$.

Table 8. Log rank test result of influencing section between daytime and nighttime

Vehicle type	Passenger car	SUV & RV	Freight truck	
Isolated	s_d	2.813 (0.094)	1.370 (0.242)	0.443 (0.506)
	s_a	0.540 (0.462)	2.968 (0.085)	0.676 (0.411)
Sequential (30m)	s_d	3.791 (0.052)	3.813 (0.051)	0.991 (0.320)
	s_a	0.528 (0.468)	0.045 (0.833)	0.817 (0.366)
Sequential (50m)	s_d	3.409 (0.065)	<u>4.207 (0.040)</u>	1.539 (0.215)
	s_a	0.815 (0.367)	1.081 (0.298)	1.068 (0.301)

note: p -values are given in parentheses. values with underlines are significant at $\alpha = 0.05$.

Table 7은 차종에 따른 과속방지턱 영향구간의 생존함수 간 차이에 대해 로그순위검정을 수행한 결과이다. 유의수준 0.05에서, 단일형 과속방지턱에서는 6개 중 4개 경우에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 반면 연속형 과속방지턱에서는 1개 경우에서만 유의한 차이를 보였고, 이는 연속형 과속방지턱이 차종 간의 차이를 완화한 결과라고 판단할 수 있다. Table 8의 로그순위검정 결과를 살펴보면, 18개 경우 중에서 1개 경우에서만 통계적으로 유의한 차이가 관측되었으며, 나머지 조건에 대해서는 주·야간의 영향구간 생존함수곡선의 차이가 없다는 귀무가설의 기각이 불가하였다. 야간에도 차량 전조등과 가로등으로 충분히 시야를 확보할 수 있어 통계적으로 의미 있는 차이가 없었던 것으로 추측된다.

단일형 또는 연속형 과속방지턱 통과 전·후의 운전행태 변화를 관찰하기 위해서는 통과 전·후 영향구간에 대한 분석이 필요하다. 측정된 자료들은 비모수 검정으로 정규분포를 따르지 않는다는 것을 확인하였으므로, 분석 대상 표본의 정규분포 가정이 필요한 쌍체 t 검정의 수행은 불가하다. 따라서 두 개의 비모수 표본 간의 분포 차이를 검정할 수 있는 대응 표본 윌콕슨 부호순위검정을 수행하였다. 대응 표본 윌콕슨 부호순위검정은 대응되는 표본 간 차이의 절댓값에 순위를 부여한 후, 이를 차이의 부호별로 합산한 결과를 이용하여 검정통계량을 계산한다. Table 9는 대응 표본 윌콕슨 부호순위검정 결과 산출되는 유의확률을 정리한 것이다. 50m 간격 연속형 과속방지턱을 통과하는 주·야간의 SUV 및 승합차와 야간의 화물차는 통과 전·후 영향구간 간의 차이가 통계적으로 유의하지 않았으며, 나머지 유형에서는 통과 전 영향구간이 더 짧다는 것이 유의하였다.

Table 9. Result of Wilcoxon signed-rank test for matched pairs between s_d and s_a

Compared Speed hump type	Isolated			Sequential (30m)			Sequential (50m)		
	Passenger car	SUV & RV	Freight truck	Passenger car	SUV & RV	Freight truck	Passenger car	SUV & RV	Freight truck
Day	<u>0.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.009</u>	<u>0.000</u>	<u>0.016</u>	<u>0.001</u>	<u>0.039</u>	0.097	<u>0.039</u>
Night	<u>0.015</u>	<u>0.022</u>	<u>0.039</u>	<u>0.007</u>	<u>0.008</u>	<u>0.038</u>	<u>0.016</u>	0.709	0.093

note: p -values are given in parentheses, values with underlines are significant at $\alpha = 0.05$.

Table 10은 유효영향구간비율의 차종 간 로그순위검정 결과를 나타낸 것이다. 30m 간격 연속형 과속방지턱에서는 주간에 화물차가 다른 두 차종과 큰 차이를 보였고, 50m 간격에서는 주간에 승용차와 화물차 간의 차이가 유의하였다. 하지만 야간에는 유효영향구간비율에 대한 차종 간 차이의 영향이 없는 것으로 분석되었다. Table 11에서는 시간대의 차이에 따른 유효영향구간비율의 변화를 검정하였다. 시간대에 대해서는 설치 간격에 무관하게 세 차종 모두 유의수준 0.05에서 차이가 무의미한 것으로 분석되었다.

Table 10. Log rank test result of effective influencing section ratio among vehicle types

Vehicle type	Passenger car ↔ SUV & RV	SUV & RV ↔ Freight truck	Freight truck ↔ Passenger car	
Sequential (30m)	Day	0.018 (0.894)	<u>6.013 (0.014)</u>	<u>6.484 (0.011)</u>
	Night	0.052 (0.819)	0.884 (0.347)	0.410 (0.522)
Sequential (50m)	Day	0.634 (0.426)	2.457 (0.117)	<u>3.986 (0.046)</u>
	Night	0.013 (0.911)	2.053 (0.152)	2.172 (0.141)

note: p -values are given in parentheses, values with underlines are significant at $\alpha = 0.05$.

Table 11. Log rank test result of effective influencing section ratio between daytime and nighttime

Vehicle type	Passenger car	SUV & RV	Freight truck
Sequential (30m)	0.914 (0.339)	0.088 (0.767)	0.529 (0.467)
Sequential (50m)	0.283 (0.595)	0.004 (0.947)	2.474 (0.116)

note: p -values are given in parentheses.

검정 결과에 따르면, 단일형 과속방지턱보다 연속형에서 차종 간의 차이가 줄어드는 양상을 보였다. 이는 과속방지턱 사이 구간의 유무에 원인이 있을 것으로 판단된다. 단일형 과속방지턱의 영향구간을 구성하는 통과 전·후 구간에서는 운전자가 감속 또는 가속하려는 의지를 가지고 있기 때문에 차종별 가·감속 성능이 크게 영향을 미치는 것으로 보인다. 반면, 연속형 과속방지턱에서는 첫 번째 과속방지턱을 통과한 이후에 두 번째 과속방지턱이 추가로 설치되어 있어, 운전자들이 가속 의지를 어느 정도 상실하게 된다. 이런 상태에서 과속방지턱 사이 구간을 주행하게 되기 때문에 차종 간 성능의 차이가 크게 드러나지 않는 것으로 해석할 수 있다.

Table 12. Comparison of influencing section length after the 1st speed hump

Quartiles of influencing section length for isolated speed hump	Cumulative survival proportion	
	Sequential (30m)	Sequential (50m)
2.80m (75% survived)	82.5%	90.9%
14.06m (50% survived)	75.5%	75.8%
23.64m (25% survived)	75.5%	50.0%

속도계적자료를 토대로 첫 번째 과속방지턱을 통과한 이후 차량들의 가속 행태를 추가적으로 분석해 보았다. 단일형 과속방지턱에 대해서는 기존 분석 내용을 준용하였고, 연속형 과속방지턱에서는 선형 과속방지턱에 대하여 별도로 분석하여 차량들의 과속방지턱 통과 후 제한속도 준수 양상을 파악하였다. 단일형 과속방지턱 통과 후 영향구간의 사분위수 추정 값들을 산출한 후, 각 사분위수보다 더 긴 구간에서 제한속도 이하로 주행한 연속형 과속방지턱 통과 차량들의 비율을 분석하였다. 그 결과 Table 12에서처럼 과속방지턱으로부터 동일한 거리만큼 떨어진 지점에서 제한속도 준수율이 단일형 과속방지턱보다 연속형에서 약 7.5-50.5%p 높게 나타나, 연속형 과속방지턱의 속도저감효과가 단일형 과속방지턱보다 더 강력함이 확인되었다.

5. 차량 평균속도와 영향구간 길이 간의 관계

과속방지턱 설치 구간 내 제한속도 초과 여부에 상관없이 통과 전 영향구간의 시점과 통과 후 영향구간의 종점 구간을 전체 영향구간이라고 정의할 수 있다면, 전체 영향구간 내에서의 차량 평균속도와 영향구간의 길이 간에는 Figure 6과 같은 관계가 나타난다. 측정 구간 내에서 30km/h 이하로 주행하지 않아 영향구간이 관측되지 않은 차량은 평균속도와 영향구간의 길이를 모두 0으로 처리하여, 상관관계 분석에서 제외하였다.

단일형 과속방지턱에서는 영향구간이 측정된 표본 중 57.3%가 20-40m의 범위에 속했으며, 상관분석을 통해 산출된 상관계수는 -0.420로 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 30m 간격 연속형 과속방지턱에서는 62.2%의 표본이 50-70m 구간에 속했다. 상관계수는 -0.646으로 음의 상관관계가 단일형 과속방지턱에 비해서는 상대적으로 강함을 알 수 있다. 마지막으로 50m 간격 연속형 과속방지턱에서 측정된 영향구간의 50.4%가 70-90m 범위에 분포하고, -0.684의 상관계수가 산출되어 30m 연속형 과속방지턱에서의 값과 유사하였다. 단일형 과속방지턱과 연속형 과속방지턱 모두 영향구간 내 평균속도와 영향구간의 길이 간의 관계가 음의 상관관계를 가졌으나, 경향성은 연속형 과속방지턱에서 더 강력함을 알 수 있었다.

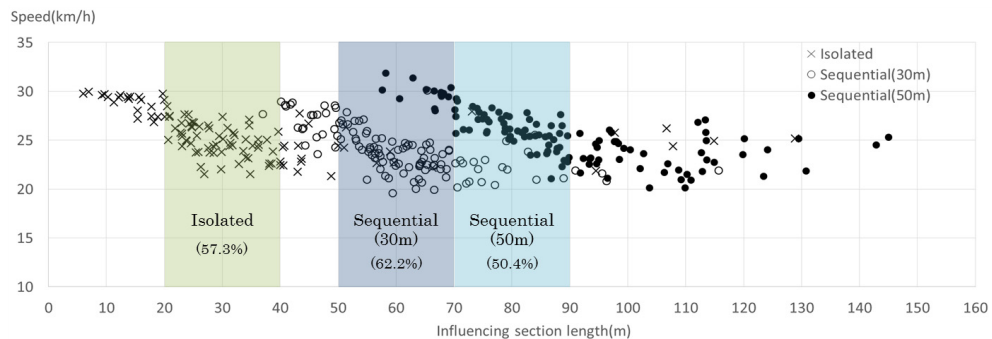


Figure 6. Relationship between total influencing section length and average vehicle speed

결론 및 향후 연구

1. 연구 결론 및 활용 방안

본 연구에서는 단일형 과속방지턱과 연속형 과속방지턱을 통과하는 차량이 제한속도 이하로 주행하는 구간을 과속방지턱의 영향구간이라 정의하고, 그 길이의 변화에 대하여 분석하였다. 아울러, 연속형 과속방지턱의 사이 구간 중 영향구간이 차지하는 비율인 유효영향구간비율에 대해서도 분석을 수행하였다. 분석 결과, 과속방지턱 통과 전·후 간, 주·야간, 차종 간 영향구간의 차이에 대한 결론을 얻을 수 있었다.

먼저 과속방지턱의 유형에 상관없이 과속방지턱 통과 전보다는 통과 후의 영향구간이 긴 것을 확인하였다, 설치 유형 3개·차종 3개·시간대 2개 등 18가지 조건에서 통과 후 영향구간이 통과 전 영향구간에 비해 1.12배~2.21배 까지 연장되었다. 이러한 비대칭성은 원래의 주행속도로 과속방지턱에 최대한 접근한 후, 통과 직전에 감속하여 차량에 가해지는 수직 방향 충격을 완화하려는 운전자들의 행태가 반영된 것으로 보인다. 다만, 50m 간격 연속형 과속방지턱을 통과하는 일부 차종에 대해서는 통과 전·후 영향구간 간의 차이에 대한 통계적 유의성이 확보되지 않았다. 주·야간 여부는 영향구간의 길이 변화에 대해 의미 있는 요인이 아니라고 판단되었다.

통과 차량들을 승용차·SUV 및 승합차·화물차 등 3개 차종으로 구분하여 차종의 영향을 분석하였다. 단일형 과속방지턱에서는 차종별로 통계적으로 유의미한 차이가 있었지만, 30m·50m 간격 연속형 과속방지턱에서는 차종 간 차이가 미미한 것으로 나타났다. 차종별 차량 성능의 차이가 단일형 과속방지턱에서는 영향구간 길이의 차이를 야기했지만, 연속형 과속방지턱에서는 과속방지턱 사이 구간의 영향으로 그 차이가 완화된 것으로 추정된다. 연속형 과속방지턱을 통과하면서 일종의 교통정온화 효과가 발생하여 차종 간의 차이가 감소한 것으로 해석할 수 있을 것이다. 연속형 과속방지턱에 대해서만 산출된 유효영향구간비율에서 나타난 차종 간 차이가 일부 조건에서만 통계적 의미를 가진다는 결과와도 통하는 부분이다.

과속방지턱 설치 유형에 따른 통과 차량의 운전 행태를 비교한 결과, 연속형의 첫 번째 과속방지턱을 통과하는 차량들의 영향구간 길이가 단일형 과속방지턱에서보다 길게 유지되는 비율이 약 7.5~50.5%p 높은 것으로 나타났다. 단일형 과속방지턱보다 연속형 과속방지턱을 설치했을 때, 운전자들의 가속 의지를 약화하고, 과속으로 인한 교통사고 발생률을 낮추는 데에 유리할 것으로 예상된다.

기존 연구에서는 과속방지턱의 속도저감효과를 분석할 때, 평균속도 또는 그 감소폭이 평가지표로써 많이 활용되었다. 하지만 본 연구에서는 속도저감효과를 길이 차원으로 해석할 수 있는 과속방지턱의 영향구간을 정의하여, 과속방지턱으로 인해 제한속도 이하로 주행하게 되는 구간의 길이를 측정 및 분석하였다. 또한, 생존분석 모형을 활용하여 전체 자료의 행태를 효과적으로 표현하였다. 영향구간을 과속방지턱 통과 전·후로 구분하여 분석한 것과 시간대보다는 과속방지턱 설치 유형과 차종이 과속방지턱의 효과에 중요한 요인임을 확인한 것도 의미 있는 결론이라고 판단된다.

본 연구를 가장 잘 활용할 수 있는 방안은 현행 과속방지턱 설치 관련 지침에 연구 결과가 반영되어 실제 과속방지턱 설치 시에 속도저감효과의 영향구간이 고려되는 것이다. 과속방지턱 설치 위치나 연속형 과속방지턱 설치 간격 등의 기준 언급 시에 본 연구의 조사 및 분석 결과 제시가 가능할 것이다. 예를 들어, 과속방지턱 적정 설치 지점 탐색에 참고할 수 있도록 통과 후 가속으로 제한속도 30km/h에 도달하는 거리가 평균 16.99m로 산출되었다는 정보를 제공할 수 있다. 또한, 속도저감효과가 연속형 과속방지턱에서 더 길게 지속된다는 점을 명시하여 단일형 과속방지턱보다는 연속형 과속방지턱을 설치하도록 유도할 수 있을 것이다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 연속형 과속방지턱의 간격을 30m와 50m 두 가지 경우에 대해서만 분석하였기 때문에 과속방지턱 간격 변화에 따른 영향구간 길이의 변화를 일반적인 모형으로 제시하는 데에 어려움이 있었다. 또한 과속방지턱

설치 유형별로 각 1개 지점에 대해서만 조사를 수행하여, 개별 장소의 특수성이 반영되었을 여지가 존재한다. 차종 간의 차이 분석 또한, 일반적인 결론을 도출하기에는 다소 표본 수가 부족할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 일관적 결론이 도출되는지 더 많은 대상 구간에 대해 분석할 필요가 있으며, 표본 수집을 확대하고 연속형 과속방지턱 간격을 다양화한 향후 연구가 이어져야 할 것이다.

본 연구에서 현장조사를 수행한 결과, 조사 구간의 제한속도가 명확히 표시되어 있지 않은 구간이 대부분이었다. 이로 인해 설치 당시의 의도를 확인할 수 없어, 지침을 준용하여 30km/h라는 특정 값으로 가정하고 분석한 부분 또한 연구의 한계이다. 제한속도가 명시되지 않은 이유는 단순히 명시하지 않았거나, 목표 제한속도를 설정하지 않고 과속방지턱을 설치했기 때문으로 추정된다. 따라서 과속방지턱을 설치할 때에는 목표로 하는 제한속도에 따라 설치 위치, 설치 유형, 설치 간격 등이 결정되어야 할 것이며, 의도한 제한속도를 확실히 표현하여야만 설치의 효율성이 증대될 것으로 판단된다.

단일형 및 연속형 과속방지턱을 분석한 본 연구로부터 다양한 연구들이 파생될 수 있다. 먼저, 다양한 과속방지턱 간격에 대하여 유사한 방법론을 적용함으로써, 과속방지턱 설치비용 대비 영향구간이 가장 효율이 높은 간격을 탐색해 볼 수 있다. 과속방지턱 간격과 영향구간의 길이 간의 관계를 파악하고, 운전자들이 연속형 과속방지턱을 각각 별개의 과속방지턱으로 인식하는 과속방지턱 간격의 임계값을 도출할 수 있을 것이다.

다음으로, 본 연구의 통제변인들을 조작하는 분석을 수행할 수 있을 것이다. 일례로, 통제했던 기상 개황 및 구간 경사를 조작 변인으로 전환하여 현장조사를 한 후 결과를 분석하면 각 요인에 따른 영향구간의 변화를 확인할 수 있을 것이다. 본 연구에서 과속방지턱 통과 전·후의 영향구간이 비대칭으로 발생하는 원인을 정확히 규명하지 못했지만, 이 원인을 분석하여 명확히 하는 과정 또한 별도의 연구로 진행될 수도 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is based on the first author's Master's Thesis (in Korean, 2015) at Seoul National University.

알림: 본 논문은 석사학위논문(2015년) “차량 속도궤적 자료를 활용한 과속방지턱의 영향구간 분석”의 내용을 수정·보완하여 작성한 것입니다.

REFERENCES

- Barbosa H. M., Tight M. R., May A. D. (2000), A Model of Speed Profiles for Traffic Calmed Roads, *Transp. Res., Part A*, 34(2), Pergamon, 103-123.
- Gilmore D. K., Bauer K. M., Torbic D. J., Kinzel C. S., Frazier R. J. (2013), Treatment Effects and Design Guidance for High-to Low-Speed Transition Zones for Rural Highways, *Transp. Res. Rec.*, 2348(1), TRB, 47-57.
- Herrstedt L. (1992), Traffic Calming Design—a Speed Management Method: Danish Experiences on Environmentally Adapted Through Roads, *Accid. Anal. Prev.*, 24(1), Elsevier, 3-16.
- Jung Y. I., Beak T. H., Kim Y. H., Park B. H. (2014), Traffic Accident Reduction Effects of Section Speed Enforcement Systems(SSES) Operation in Freeways, *J. Korea Soc. Transp.*, 32(2), Korean Society of Transportation, 119-129.
- Kim J. S. (2003), An Effect Analysis on the Traffic Speed Variations of Vehicles Passing the Speed Hump, Master Thesis, Graduate School of Environmental Studies, Hanyang University, Seoul.
- Kim Y. J. (2013), *Survival Analysis*, Jayu Academy, Paju, South Korea, 33-42.
- Lee C. H., Kum K. J. (2015), A Study on the Speeding Intention and Behaviors Based on a Driver Behavior

- Questionnaire, *J. Korea Soc. Transp.*, 33(2), Korean Society of Transportation, 159-169.
- Lee H. W., Joo D. H., Hyun C. S., Kim D. H., Park B. H., Lee C. K. (2012), An Analysis Effects of Travel Speed Using the Safety Facilities in the School Zones, *J. of Korea Inst. of Intell. Transp. Syst.*, 11(3), Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 124-132.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011), Manual for Installation and Maintenance of Road Safety Measures: Speed Humps (도로안전시설 설치 및 관리 지침 - 과속방지턱 편).
- Moon J., Kim D. (2014), A Study on Headway Distribution Models of Rural Two Lane Roads, *Int. J. Highw. Eng.*, 16(1), Korea Society of Road Engineers, 49-56.
- Moreno A. T., García A. (2013), Use of Speed Profile as Surrogate Measure: Effect of Traffic Calming Devices on Crosstown Road Safety Performance, *Accid. Anal. Prev.*, 61, Elsevier, 23-32.
- Moreno A. T., García A., Romero M. A. (2011), Speed Table Evaluation and Speed Modeling for Low-Volume Crosstown Roads, *Transp. Res. Rec.*, 2203(1), TRB, 85-93.
- Park J. B. (2006), *Survival Analysis: Theory and Practice*, Shinkwang, Seoul, South Korea, 11-14.
- Yeo I., Baek J. G., Choi J. W., Kim Y. S. (2013), The Optimal Spacing of Speed Humps in Traffic Calming Areas, *Int. J. of Highw. Eng.*, 15(3), Korea Society of Road Engineers, 151-157.
- Yoo C. H. (1994), *The Analysis of the Effect in the Vehicle Speed Control Hump: Focused on the NoWon Gu in Seoul*, Master Thesis, Graduate School of Public Administration, Sungkyunkwan University, Seoul.