

자유류 상태에서 고속도로 구간과속단속구간 및 대조구간 간의 교통류 특성 비교

심지섭¹ · 장기태¹ · 정성봉² · 박신형^{3*}

¹한국과학기술원 조천식녹색교통대학원, ²서울과학기술대학교 철도전문대학원, ³계명대학교 교통공학과

Comparison of Section Speed Enforcement Zone and Comparison Zone on Traffic Flow Characteristics under Free-flow Conditions in Expressways

SHIM, Jisup¹ · JANG, Kitae¹ · CHUNG, Sung Bong² · PARK, Shin Hyung^{3*}

¹The Cho Chun Shik Graduate School for Green Transportation, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

²Graduate School of Railroad, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

³Department of Transportation Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

The Korean government introduced an automated speed enforcement system (ASES), which uses traffic enforcement cameras, to counteract safety issues that are caused by speeding. As the information of the traffic enforcement camera locations is provided to the drivers via navigation systems and mobile applications in a timely manner, drivers can avoid enforcement by momentarily diminishing their speeds only near the camera locations. To prevent drivers' evasional behavior and improve the effectiveness of ASES, section control, which enforces speeding vehicles by measuring their average travel speeds over a stretch of road and checking against the speed limit, has been recently implemented. In this study, Section Speed Enforcement Zone and Comparison Zone are compared in terms of traffic stream characteristics under free flow conditions. To this end, loop detector data were obtained from the three study sites and analyzed. The study results demonstrated that drivers maintain their speeds below the speed limit over the enforcement section with a lower variance of speeds.

무인과속단속시스템은 속도위반 차량을 효과적으로 단속하기 위해 도입되었으나, 기존의 지점 과속단속시스템의 경우 차량 내비게이션, 스마트폰 등을 통해 제공되는 위치정보 서비스로 인해 단속 효과가 현격히 낮아지게 되었다. 구간 과속단속시스템은 지점 과속단속카메라 설치 지점에서 나타나는 카메라 전후에서 급감속 및 재가속을 반복하는 회피 거동으로 인한 여러 가지 부정적인 문제점을 보완하기 위해 도입되어 설치를 확대해 나가고 있다. 이에 본 연구에서는, 국내 고속도로 상에 설치된 구간 과속단속시스템에서 나타나는 교통류 특성에 대해 대조 구간을 설정하여 비교 분석하였다. 이를 위해 구간의 특성 등을 고려하여, 중부내륙선, 대전-통영선, 영동선 내의 구간 과속단속 시행구간에 대해 VDS 검지기 데이터를 수집하였으며, 데이터필터링을 통해 비교분석에 용이한 조건을 설정하고 자유속도 상태에서의 교통류 특성을 분석하였다. 분석 결과, 구간 과속단속구간 내에서는 대조 구간에 비해 속도 평균 및 속도 분산이 낮아지는 경향을 보였으며, 통계적 검정 방법을 이용하여 이를 확인하였다.

Keywords

automated speed enforcement system, cross-sectional analysis, kangaroo effect, section speed enforcement, traffic flow 과속단속, 횡단분석, 캥거루 드라이빙, 구간단속, 교통류

* : Corresponding Author
shpark@kmu.ac.kr, Phone: +82-53-580-5285, Fax: +82-53-580-5259

Received 28 November 2014, Accepted 27 February 2015

서론

1. 연구의 배경 및 목적

과속은 교통사고의 주원인 중 하나로, 과속으로 인해 발생하는 사고는 많은 경우에 있어 인명피해 및 재산피해를 수반한다. Nilsson(1982), Elvik et al.(2004) 등에 따르면 사고 시 과속 여부와 인명피해의 정도는 직접적인 관련이 있는 것으로 밝혀졌으며, Evans(2005)는 속도가 1% 증가함에 따라 사망 위험도는 4-12% 증가한다고 보고하였다. 또한 Gambard et al.(1997)에 의하면 전체 교통사고의 약 25% 정도가 과속으로 인해 발생하는 것으로 나타났으며, 고속도로에서는 50%까지 그 비율이 높아지는 것으로 조사되었다.

이러한 심각성을 보완하기 위한 방법의 일환으로 무인과속단속시스템이 도입되기 시작하였으며, 우리나라에서는 1997년 속도위반 단속카메라가 처음 등장한 후로 현재 5,500대 이상의 카메라가 설치 및 운영되고 있다. 그러나 차량 내비게이션 기기 및 스마트폰 등을 통해 단속카메라에 대한 정보를 거의 모든 운전자가 제공받게 되어, 대부분의 차량이 단속카메라 직전 위치에서 속도를 급격히 줄이고 해당 지점을 통과한 후에 다시 과속을 하는 형태의 단속 회피 거동을 보이게 되었다. ‘캥거루 드라이빙’으로도 불리는 이러한 주행 패턴은 지점 과속단속시스템의 문제점으로 대두되었고 단속카메라의 실효성 문제를 야기하게 되었다. 이러한 문제를 보완할 수 있는 수단으로 1990년대 후반 네덜란드에서 ‘구간 과속단속시스템’을 처음 도입하였고, 2000년대 들어서면서 영국, 호주, 한국 등 다른 나라에도 보급되기 시작하였는데, 차량 속도의 정온화와 더불어 사고, 배기가스, 소음 감소 등에 효과가 있는 것으로 보고되었다(ETCS, 2009).

하지만 구간 과속단속시스템은 비교적 최근에 도입되어 운영기간이 충분하지 못하며, 이로 인해 해당 시스템에 대한 연구 또한 미미한 수준이다. 즉 우리나라의 경우 2003년도에 서울시 내부순환도로에 최초의 구간 과속단속시스템이 시범적으로 설치되었으나, 본격적으로 단속을 시행한 것은 2007년 이후였기 때문에 현재까지 수행된 연구는 많지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 구간 과속단속시스템 도입 이후 충분한 기간동안 운영이 이루어진 시점에서 도입효과 분석을 실시하였으며, 이를 통해 해당 시스템 내에서 차량의 주행패턴이 어떻게 변화하는지 알아보았다.

2. 연구의 내용 및 방법

먼저 기존의 지점 과속단속시스템과 새로이 도입되고 있는 구간 과속단속시스템의 개요 및 현황에 대해 살펴 보았다. 이어 선행연구사례 고찰을 통해 본 연구의 방향 및 목표를 탐색하였으며, 그에 따라 연구의 범위를 설정 하였다. 차량 속도 및 통행량 자료 등 연구 범위에 해당하는 고속도로 지점검지기 자료를 수집하였고, 데이터 필터링을 통해 보다 신뢰성 있는 데이터를 도출하였다. 선행 연구에서는 대부분 구간 과속단속시스템의 도입 전후 기간에 대해 사전·사후 분석을 실시하였다. 반면 본 연구에서는 구간 과속단속시스템의 효과를 비교하기 위해 해당 시스템이 적용된 구간과 적용되지 않은 대조구간을 각각 설정하였다. 최종 연구 대상 지역으로는 중부 내륙선, 대전-통영선, 영동선의 총 3개 구간을 설정하였으며, 각각의 노선 내에 비교구간을 설정하여 분석을 실시하였다. 아울러 시행구간 및 대조구간에서의 교통류 특성 차이를 검증하기 위해 통계적 검정 방법을 이용하여 이를 확인하였다.

시스템 현황 및 선행연구 고찰

1. 구간 과속단속시스템의 국내 설치 현황 및 개요

구간 과속단속시스템은 2007년 4대의 단속 장비 설치를 시작으로 현재까지 꾸준히 늘어나고 있다. Table 1은 고속도로 및 국도를 포함한 국내 도로 상의 과속단

Table 1. State of traffic enforcement equipment by year (unit: number)

Year	Fixed Camera		Mobile Camera
	Spot	Section	Normal
2003	1534	0	135
2004	1834	0	231
2005	2219	0	290
2006	2344	0	484
2007	2527	4	483
2008	2185	34	395
2009	2401	38	387
2010	2521	54	377
2011	2689	67	372
Ratio	23.1%	97.1%	-5.8%

note: Ratio means the ratio of change (last 4 years)

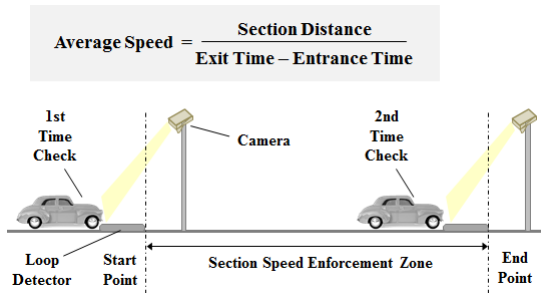


Figure 1. Illustration of a section speed enforcement

속장비 증감 현황을 보여주는데, 구간 과속단속시스템은 타 단속시스템에 비해 매우 급격한 성장세를 보이고 있는 것을 알 수 있다(Police Science Institute, 2012). 한편, 고속도로 상에 설치된 구간 과속단속시스템은 2013년까지 총 10개 구간으로, 2007년 2개소, 2008년 5개소, 2009, 2011, 2012년에 각 1개소가 설치되었다.

구간 과속단속시스템은 각 차량이 특정 구간을 지날 때 구간의 처음과 끝 지점에서 통과 시각을 기록한다. 즉 구간을 통과하는 총 소요 시간을 측정한 뒤 구간의 길이를 이용하여 해당 구간 내에서의 평균속도를 계산한다. 계산된 평균속도가 구간의 제한속도보다 높은 경우 단속 대상이 되지만, 구간 내에서 일시적으로 과속하는 경우는 고려하지 않는다. Figure 1은 해당 내용을 도식화한 것으로 도로 상에 매설된 루프 검지기 및 카메라의 동작을 통한 구간 과속단속의 원리를 보여주고 있다.

2. 선행연구 고찰

구간 과속단속시스템의 적용 효과에 대한 연구는 비교적 도입 기간이 오래된 해외에서 활발하였다. ETCS (2009)의 보고서에서는 구간 과속단속시스템이 가지는 여러 가지 시행효과에 대해 기술하였으며, 각국의 구간 과속단속시스템 도입에 따른 효과에 대해 종합적으로 기술하였다. 해당 보고서에 따르면 구간 과속단속시스템은 대부분의 국가에서 구간 내 교통 혼잡 감소, 소음 감소, 배기가스 배출량 감소, 사고 감소 효과를 보이는 것으로 나타났다. 한편 Charlesworth(2008)는 지점 과속단속시스템과 구간 과속단속시스템의 도입 효과를 비교하였다. 해당 연구는 지점 과속단속시스템이 설치되어 있던 장소를 구간 과속단속시스템으로 바꾼 경우 사전·사후 분석을 수행하였는데, 결과적으로는 구간 과속단속시스

템이 도입된 후 사고율이 급격하게 낮아졌으며 교통 흐름을 원활하게 해주는 역할도 하는 것으로 보고하였다. Cascetta et al.(2010)의 연구에서도 구간 과속단속시스템에 관한 사전·사후 분석이 수행되었으며, 차량 간 속도편차 감소 및 병목현상 해소에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 국내 연구의 경우 Park et al.(2008)에 의해 구간 과속단속시스템 도입 이후 변화된 교통류 특성에 대한 연구가 이뤄졌다. 해당 연구 역시 사전·사후 분석을 수행하였으며 구간 과속단속구간 내에서 차량 평균속도와 분산이 감소하여 구간 내 교통 흐름에 긍정적인 변화를 가져오는 것으로 확인하였다. Yun et al.(2011)의 연구에서는 기존 연구와는 달리 사고 건수만 대상으로 분석하여 구간 과속단속시스템이 교통안전에 기여하는 효과에 대해 밝혔다.

3. 시사점

앞서 살펴본 바와 같이 국내·외를 막론하고 구간 과속단속시스템의 효과 분석에 대한 대부분의 기존 연구는 사전·사후 분석이 주류를 이루었다. 이와 달리 본 논문에서는 구간 과속단속구간을 대조구간과 비교하는 횡단분석(Cross-sectional Analysis)방법을 적용하였다. 이는 기존에 시도되지 않았던 방법으로, 종단분석(Longitudinal Analysis)의 결과와 비교하여 구간 과속단속시스템의 설치 효과를 새로운 방법으로 분석해볼 수 있다는 점에 의의가 있다.

아울러 선행연구들에서 검토한 바와 같이 구간 과속단속시스템의 적용 후 효과에 대한 연구는 도입 사례가 많은 해외에서 비교적 활발히 이루어졌으며, 국내에서는 드물게 수행되었다. 특히 본 연구에서 분석하고자 하는 교통류 특성 변화를 다룬 논문은 매우 적었다. 일부 관련된 국내 연구의 경우에도 도입 후 시행 기간이 충분하지 못한 상태 혹은 시범 운영기간에 수집된 자료를 토대로 연구가 수행된 까닭에 운전자가 구간 과속단속시스템에 대해 충분히 숙지하지 못한 상태에서의 자료가 수집되었을 가능성이 있다. 또한 초창기에 도입된 국내 구간 과속단속구간은 해당 구간 내에 고속도로 휴게소가 위치하는 등 데이터 분석에 적합하지 못하며 신뢰성이 떨어진다는 약점을 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 연구 범위 설정 및 자료 수집에 있어 신뢰성을 높이고, 데이터를 활용 시 일련의 논리적인 처리과정을 거쳐 분석의 정확도를 높이고자 하였다.

연구방법론

1. 연구범위 설정

앞서 살펴본 바와 같이 국내 고속도로 상에 설치 및 운영되고 있는 구간 과속단속구간은 총 10개 구간이며, Figure 2에 각 구간이 표시되어 있다. 그 중 음영 박스로 표시된 부분이 본 연구에서 선정한 연구지역에 해당한다. 연구 대상 지역을 선정한 첫 번째 기준은 대조구간 선정에의 적절성 여부이다. 본 연구에서는 구간 과속단속구간에 대해 대조구간을 설정하여 분석하기 때문에 단속 구간 내에 터널이나 교량과 같은 시설을 포함하는 경우는 비교 분석에 적절하지 않은 구간으로 판단하였다. 구간 과속단속구간 내에 급격한 커브 구간이 존재하는 경우에도 같은 이유로 연구 대상 지역에서 배제하였다. 대상 지역 선정의 두 번째 기준은 데이터 수집의 용이성 및 시스템 도입 시기이다. 가장 최근에 설치된 서울-양양 구간 과속단속구간의 경우 실제 단속이 시작된 것은 2013년 7월 이후로 도입 이후 적용 기간이 매우 짧아

분석에 이용하기 어려웠다. 이외 구간에서는 모두 데이터 수집이 가능하였고, 최종적으로 중부내륙선, 대전-통영선, 영동선(강릉방향 215.2-226km 구간)을 대상 지역으로 선정하여 데이터를 수집하였다.

다음으로 선정된 노선 내 단속구간에 대해 각각의 대조구간을 설정하였다(Table 2 참조). 먼저 모든 대조구간은 터널이나 교량을 포함하지 않는 구간으로 설정하였다. 중부내륙 고속도로의 경우 구간 과속단속이 시행되는 구간은 223.9-209.8km(약 14.1km)이고, 해당 구간의 앞·뒤로 동일한 길이의 대조구간(239.0-224.9km : 대조구간 I, 208.8-194.7km: 대조구간 II)을 설정하였으며, 나머지 대상 지역도 같은 기준을 따라 대조구간을 설정하였다. 이 때 단속구간과 대조구간 사이의 간격은 1km로 하였는데, 이와 같이 가까운 위치에 대조구간을 설정한 이유는 각각의 구간을 동일한 운전자가 주행하는 경우를 최대한 많이 포함시키기 위해서다. 영동선의 경우는 단속구간 이전의 대조구간만을 설정하였는데, 이는 단속구간이 고속도로의 종점 부근에 위치하여 동일한 길이의 대조구간을 양쪽에 설정할 수 없었기 때문이다. 따라서 영동선 내 연구 대상에 대해서는 대조구간 I만 설정하였다.

설정된 세 개 노선의 단속구간 및 대조구간에 대한 데이터는 모두 2013년 5월(2013년 5월 1일 - 2013년 5월 31일)에 수집되었으며, 영동선 데이터만 2011년 11월부터 2012년 1월까지의 데이터를 추가로 수집하였다. 영동선만 추가로 데이터를 수집한 까닭은 대조구간과의 비교 분석 결과가 사전·사후 분석에서의 결과와 같은 결론을 이끌어내는지 여부를 확인하기 위함이다. 영동선 내 구간 과속단속구간의 경우 2011년 12월 7일자로 단속을 시행하였으며, 사전·사후 분석을 위한 데이터로 사전 기간은 2011년 11월 한 달 간 데이터, 사후 기간은 2012년 1월 한 달 간 데이터를 사용하여 분석하였다.

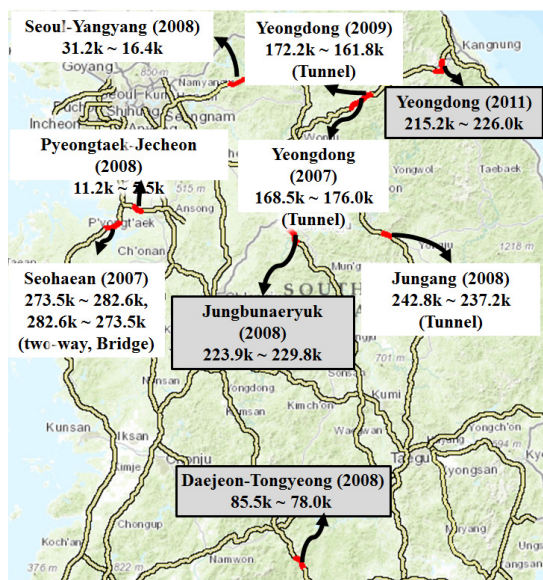


Figure 2. State of section speed enforcement system in Korean expressways

2. 데이터 필터링

시·공간적 연구범위를 설정한 후, 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 일련의 필터링 기법을 적용하였다. 연구

Table 2. Descriptions of enforcement zones and comparison zones in study sites

Route Name	Comparison Zone 1	Enforcement Zone	Comparison Zone 2	Other details
Jungbunaeryuk	239.0k → 224.9 k	223.9k → 209.8k	208.8k → 194.7k	Spot Camera (236.4k, 205.1k)
Daejeon-Tongyeong	94.0k → 86.5k	85.5k → 78.0k	77.0k → 69.5k	Spot Camera (90.8k)
Yeongdong	203.4k → 214.2k	215.2k → 226.0k	X	

대상 지역에서 수집된 지점검지기 데이터는 5분 단위로 집계되었으며, 연구 지역 내 모든 차량의 검지기 데이터를 포함하고 있다. 본 연구에서는 I·C 및 휴게소 진·출입 차량의 영향을 최소화하기 위하여 각 지역의 1, 2 차로에서 수집된 데이터만을 분석에 이용하였다. 즉 진·출입에 의해 속도 감소 효과가 나타날 수 있는 차량은 배제하였으며, 과속이 용이한 1, 2차로만을 분석 대상으로 하였다.

수집된 데이터는 모두 속도, 교통량, 점유율 정보를 포함하고 있다. 이에 교통량 및 속도 데이터를 근거로 밀도를 계산하여, 혼잡구간 및 완화구간으로 구분하였다. 완화구간은 자유속도구간으로, 각각의 차량이 주변의 차량으로 인해 속도의 제약을 받지 않는 구간을 말한다. 두 구간을 나누는 기준은 Figure 3에 표시된 바와 같다. Figure 3은 속도(Speed)와 밀도(Density) 사이의 관계를 나타내고 있는데, 이 때의 속도, 밀도, 통행량(Flow) 사이의 관계를 이용하여 변곡이 발생하는 지점에서의 임계밀도(k_0)를 파악하였다. 해당 다이어그램에서 밀도가 임계밀도를 넘으면 혼잡구간으로, 넘지 않으면 완화구간으로 분류한다(Daganzo, 1997).

많은 경우에 있어 특정 구간 내에서 차량 속도 변화를 관측하기 위해 주중·주말 또는 첨두·비첨두 시간을 구분한다. 첨두 시간에는 거의 모든 구간에서 차량 밀도가 매우 높은 까닭에 차량 간 속도 분산은 매우 작으며 과속을 할 수 있는 여건을 갖추지 못한다. 따라서 과속 통행 패턴 분석을 위해서는 요일 및 시간대를 구분할 필요가 있다. 하지만 본 연구에서는 시간대 및 요일을 구분하여 데이터를 관측하는 방법 대신 임계밀도 이전 밀도, 즉 자유속도 하에서의 데이터만을 추출하여 분석을 수행하는

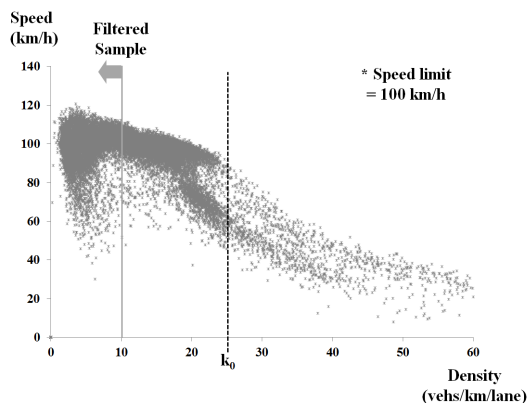


Figure 3. Data filtering using speed-density diagram

Table 3. Error types of daily statistics algorithm

Error Type	Description	Likely Cause
1	Occupancy and flow are zero	Stuck off
2	Non-zero occupancy and zero flow	Hanging-on
3	Very high occupancy	Hanging-on
4	Constant occupancy and flow	Stuck on/off

방법을 적용하였다. 즉 주중·주말이나 첨두·비첨두 시간을 구분하지 않고 교통기본도 하에서 구한 밀도 조건만을 통해 데이터를 필터링하였다. 시간대별 구분을 할 경우 첨두시간대로 설정한 시간 범위 내에 밀도 및 교통량이 매우 적은 상태로 운행되는 구간이 있을 가능성이 있다. 본 연구에서는 임계밀도 이하의 조건에서만 데이터를 추출하였으며, 해당 범위 내에서는 시간이나 요일에 상관없이 과속이 가능한 조건에서의 차량 속도를 관측할 수 있다. 그런데 임계밀도를 결정하는 데 있어 정확히 최대 교통량인 시점에서 완화구간이 끝난다고 단언할 수 없으므로, 교통기본도 상에 나타난 임계밀도보다 충분히 작은 10 vehs/km/lane 이전의 구간만을 분석용 데이터로 활용하였다. 해당 밀도가 도래하기 이전 시점은 확실히 임계밀도에 도달하지 않았다고 할 수 있으므로 모든 차량이 자유속도 조건 하에 놓여있다고 봐도 무방하다. 즉, 필터링 된 데이터 상에는 과속이 가능한 조건 하에서의 차량 속도 정보가 포함되어 있다.

마지막으로 비정상적인 값을 가지는 검지기는 분석 대상에서 제외하였는데, Chen(2003)이 적용한 바 있는 Detector Health 판별 알고리즘인 DSA(Daily Statistics Algorithm)를 이용하였다. DSA는 이전 일자의 검지기 데이터와 주변 검지기 데이터를 이용하여 특정 검지기의 오류 여부를 판별하는 알고리즘으로, Table 3에 명시된 검지기 데이터 상의 오류를 찾아낸다. 해당 알고리즘을 통한 데이터 필터링은 모든 연구 대상지역에 동일하게 적용하였다.

방법론 적용 및 분석

1. 가설 설정 및 연구 진행방향

Ross(1982)에 의하면, 구간 과속단속시스템에 의한 속도 및 분산의 변화는 'General Deterrence'에 의해 영향을 받을 수 있다. 'General Deterrence'란 무인 단속의 도입으로 인해 차량 과속과 같은 불법적인 행동을 스스로 억제하려는 노력이 많은 사람들에게 실질적인 변

화를 가져오고 효과를 나타내는 것을 말한다. 즉 시스템의 도입으로 구간 과속단속구간에서는 차량 속도 및 분산이 대조구간에 비해 줄어든 것으로 가정하였으며, 본 연구에서는 해당 내용에 대해 통계적 검정 방법을 통해 확인하고자 하였다.

2. 중부내륙선

중부내륙선 상에 구간 과속단속시스템이 설치된 구간은 Figure 2에서 살펴본 바와 같이 약 14.1km에 걸쳐 있다. 단속구간의 시작지점 이정은 223.9k, 종료지점 이정은 209.8k로 창원 방면으로 진행되는 구간이다. 단속구간 전·후 1km 떨어진 지점으로부터 각각 대조구간 I, 대조구간II를 설정하였으며, 2013년 5월 한 달 간 자료를 이용하여 분석을 시행하였다. 단속구간 내 검지기 개수는 1, 2차로에 12개씩 존재하였으며, 대조구간 I에는 13개, 대조구간II에는 7개가 각각 분포하였다.

Figure 4는 중부내륙선 단속구간 및 대조구간 내 검지기별 차량 속도 분포를 보여준다. 각각의 검지기에서 수집된 차량 속도 집계데이터를 기준으로 Boxplot을 그렸다. 각각의 Boxplot에서 가운데에 있는 직사각형 상자 부분은 전체 속도 데이터의 1사분위수(Q1)부터 3사분위수(Q3)까지를 나타낸다. 즉 상자의 밑변은 Q1, 상자의 윗변은 Q3이다. 상자의 가운데에 위치한 짧은 가로선은 2사분위수(Q2=중앙값)를 의미한다. 상자 위·아래에 이어진 세로선의 끝부분에 위치한 짧은 수평선은 펜스(fence)값으로, 위쪽 펜스는 $Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$, 아래쪽 펜스는 $Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$ 로 구한다.

대조구간 I, 대조구간II와 비교하여 단속구간에서 Box의 길이가 상하로 더 짧은 것을 볼 수 있다. 이는 단속구간 내에서 차량 간 속도의 편차가 크지 않음을 의미한다. 또한 Figure 5에서 볼 수 있는 바와 같이 단속구간 내에서 차량이 이동할 때에는 각각의 검지기를 거칠 때 나타나는 속도 변화가 크지 않은 것을 볼 수 있는데, 이는 단속구간을 통과할 때 속도의 변화를 일으키지 않고 정속 주행하는 차량이 많아짐을 의미한다. 즉 Figure 4의 결과와 마찬가지로 Figure 5를 통해서도 단속구간 내의 속도 평균 및 분산이 대조구간에 비해 상대적으로 훨씬 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

Table 4는 구간 과속단속구간 및 대조구간 내 차량 속도의 기술통계량을 보여준다. 즉 앞선 두 개의 그림에서 나타난 수치를 표로 정리한 것이다. 본 연구에서는 각

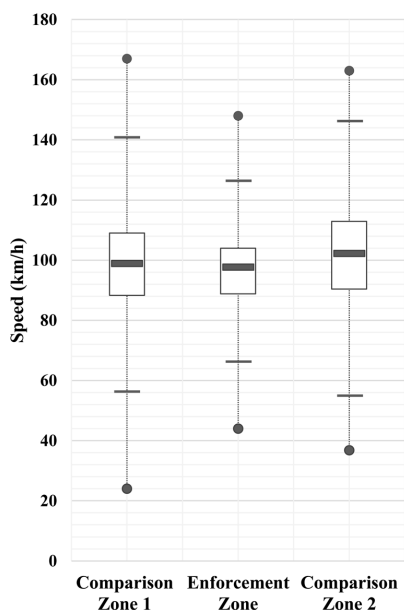


Figure 4. Speed distribution in each study zone of Jungbunaeryuk expressway

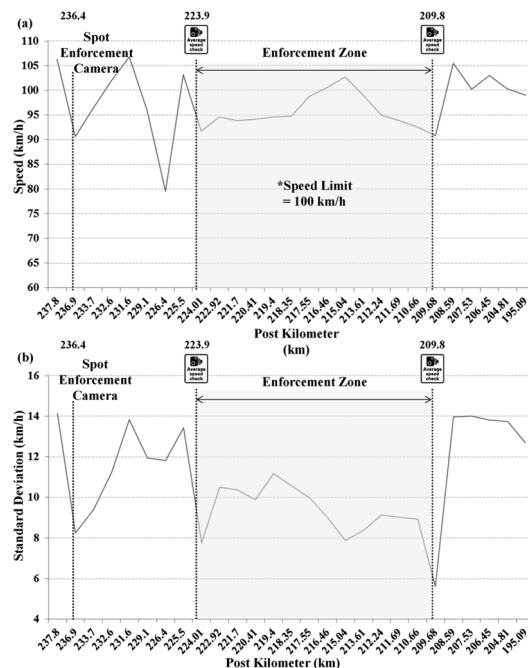


Figure 5. Mean and variance of vehicle speeds at each loop detector in Jungbunaeryuk expressway

그룹 간의 평균속도 및 속도분산이 통계적으로 의미 있는 차이를 가지는지 확인하기 위해 t-test 및 F-test를 수행하였다. 이 때 95% 유의 수준에서 t-test 및 F-test

Table 4. Descriptive statistics in Jungbunaeryuk expressway

	Comparison Zone1	Enforcement Zone	Comparison Zone 2
AADT	56,395	20,708	13,926
Mean	98.7	96.2	101.6
Variance	227.4	101.9	192
Min	24	44	36.83
25%	88.3	88.8	90.4
50%	98.9	97.7	102.2
75%	109.0	104.0	112.9
Max	167	148	163
Sample	112,054	194,443	82,289

unit: km/h (except for AADT, variance and sample)

모두 p-value가 약 0.001로 단속구간 및 대조구간에서 속도의 평균 및 분산이 통계적으로 유의미한 차이를 가지는 것을 확인하였다.

3. 대전-통영선

대전-통영선의 단속구간 길이는 7.5km로 85.5km부터 78.0km 구간까지 통영 방면으로 이어진다. 해당 노선 역시 대조구간 I, 대조구간II가 설정되었다. 검지기는 단속구간 및 대조구간 I 내에 각각 7개, 대조구간II에 8개가 설치되어 있다.

Figure 6은 대전-통영선 내 검지기에서 수집된 차량 속도 집계데이터의 Boxplot을 표시하고 있다. 해당 지역 역시 중부내륙선에서 살펴본 바와 마찬가지로 단속구간 내에서 차량 간 속도 차이가 크지 않은 것을 알 수 있으며, 평균적으로 속도가 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 대전-통영선 구간에는 연구 대상 지역 내 검지기의 오류가 없어 이상 검지기를 제거하는 전처리 과정 없이 모든 데이터를 활용할 수 있었으며, 중부내륙선에서 도출된 결과와 비교하여 단속구간과 대조구간 내 Boxplot 형태의 차이가 두드러지는 것을 관찰할 수 있다.

Figure 7에서는 앞선 Figure 5에서와 같이 단속구간 내에서의 속도 평균 및 분산이 확연히 줄어드는 모습을 보여준다. 아울러 Figure 5 및 Figure 7에서는 구간 과속 단속구간에서 나타나는 교통류 특성 변화뿐만 아니라 단속구간 시종점에 설치된 카메라 부근에서의 급격한 속도 변화를 관찰할 수 있으며, 그로 인해 대조구간 전체에 걸친 차량의 속도가 불규칙하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

Table 5는 각 구역 내의 속도 평균, 분산 등을 기술하고 있다. 차량속도 및 분산의 차이가 단속구간과 대조

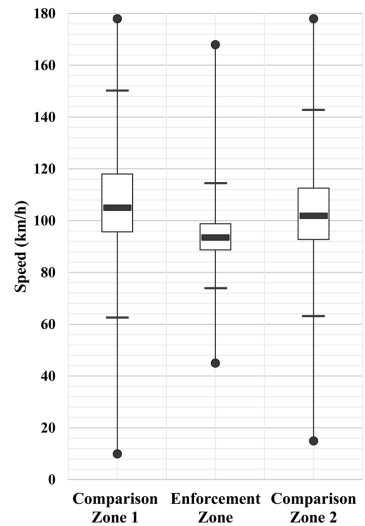


Figure 6. Speed distribution in each study zone of Daejeon-Tongyeong expressway

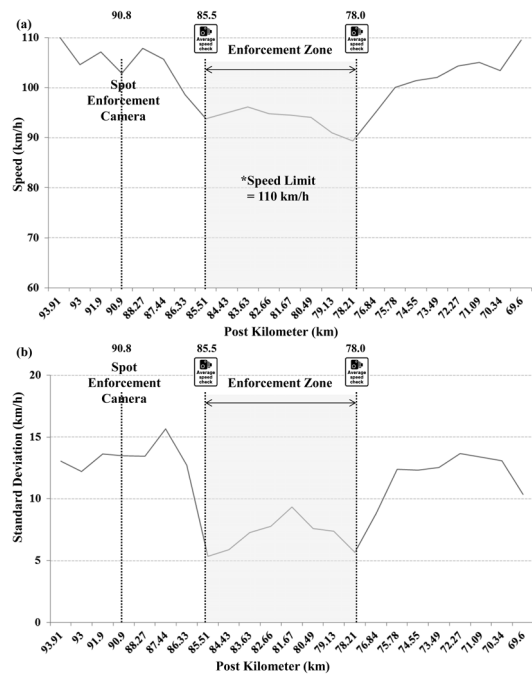


Figure 7. Mean and variance of vehicle speeds at each loop detector of Daejeon-Tongyeong expressway

구간에서 매우 확연한 차이를 보였는데, 이러한 차이의 통계적 유의성을 검정하기 위해 t-test 및 F-test를 수행한 결과 95% 유의 수준에서 약 0.001의 p-value를 보였다. 이는 각 구간의 속도 평균 및 분산의 차이가 통계적으로 유의미함을 의미한다.

Table 5. Descriptive statistics in Daejeon-Tongyeong expressway

	Comparison Zone1	Enforcement Zone	Comparison Zone 2
AADT	22,626	27,058	27,058
Mean	106.5	93.6	102.5
Variance	191.3	59.4	163.8
Min	10	45	15
25%	95.7	88.8	92.71
50%	105.0	93.5	101.88
75%	118.0	98.8	112.55
Max	178	168	178
Sample	101,778	135,306	135,105

unit: km/h (except for AADT, variance and sample)

4. 영동선

영동선은 강릉방면으로 215.2k 지점부터 226.0k 지점까지 총 10.8km 구간에서 구간 과속단속을 시행하고 있다. 영동선의 경우 앞서 언급한 바와 같이 구간 과속단속 종료 지점 이후 얼마 지나지 않아 노선의 연장이 끝나는 까닭에 대조구간 I 만을 설정하여 데이터를 분석하였다. 검지기 개수는 단속구간에서 5개, 대조구간에서 12개씩 각 차로별로 분포하였으며, 최종 분석은 오류 검지기를 제외한 11개(단속구간 4개, 대조구간 7개) 검지기에서 이루어졌다. 앞선 노선들과 마찬가지로 대조구간과 비교 분석함에 있어 2013년 5월 검지기 자료를 이용하였으나, 영동선에서는 추가로 2011년 11월부터 2012년 1월까지의 자료를 수집하였다. 영동선의 구간 과속단속 시행일자는 2011년 12월 7일로, 시행 전·후 한 달간 데이터를 이용해 사전·사후 분석을 수행하였다. 이는 Cross-sectional 분석의 일환인 대조구간 비교 분석과 Longitudinal 분석 방법인 사전·사후 분석의 결과를 비교하여 본 연구에서 적용한 분석 방법의 타당성을 검증하고자 함이다.

Figure 8은 앞선 두 지역에서 수행하였던 것과 같이 대조구간을 설정하여 단속구간과 비교한 Boxplot 그래프를 보여준다. 해당 그래프에서도 단속구간 내 차량 간 속도 편차가 확연히 줄어드는 것을 확인할 수 있으며 중앙값 또한 대조구간에 비해 낮은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

Figure 9에서도 단속구간에서의 차량속도 평균 및 분산이 대조구간에 비해 낮게 나타나는 것을 관찰할 수 있으며, Table 6의 기술통계량을 통해 수치적 비교가 가능하다. 영동선에서도 t-test 및 F-test를 통한 검증

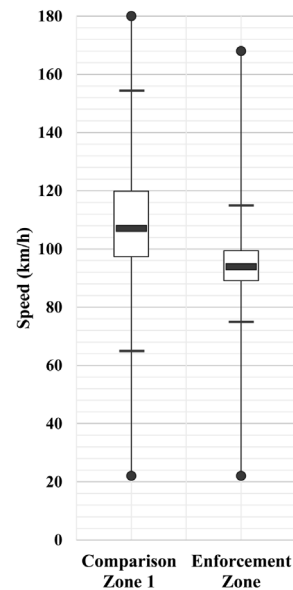


Figure 8. Speed distribution in each study zone of Yeongdong expressway

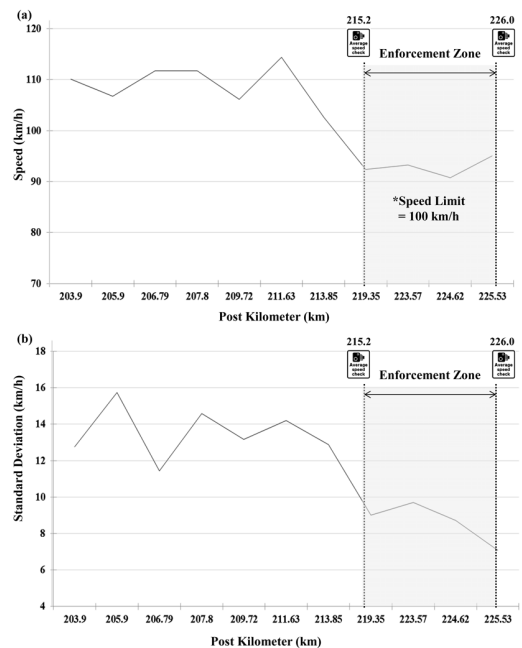


Figure 9. Mean and variance of vehicle speeds at each loop detector of Yeongdong expressway

을 수행하였는데, 95% 유의수준에서 약 0.001의 p-value를 보여 대조구간과 단속구간 사이에 통계적으로 의미 있는 속도 평균 및 분산의 차이가 존재함을 확인하였다.

다음으로 횡단분석의 결과가 종단분석의 결과와 일치

Table 6. Descriptive statistics in Yeongdong expressway

	Comparison Zone1	Enforcement Zone	Comparison Zone 2
AADT	105,967	438,703	X
Mean	109.6	92.9	
Variance	197.0	77.4	
Min	22	22	
25%	97.4	89.1	
50%	107.0	93.9	
75%	119.9	99.4	
Max	180	168	
Sample	172,393	75,476	

unit: km/h (except for AADT, variance and sample)

Table 7. Descriptive statistics in Yeongdong expressway - before-and-after analysis

	Before	After
AADT	419,408	414,666
Mean	96.0	93.1
Variance	165.4	98.7
Min	23	23
25%	90.1	88.6
50%	96.7	94.0
75%	104.3	99.5
Max	170	162
Sample	38,002	66,678

unit: km/h (except for AADT, variance and sample)

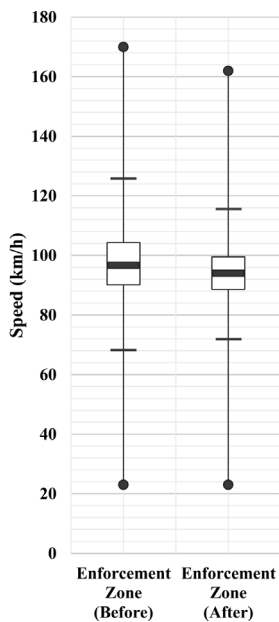


Figure 10. Speed distribution in enforcement zone before-and-after the section speed enforcement

성을 지니는지 검증하기 위해 영동선 구간 내의 단속 시행 전·후 데이터를 비교하였다. Figure 10은 영동선 내 구간단속 시행 전·후 차량 속도 분포를 나타내는 Boxplot이며, Table 7은 해당 그래프가 나타내는 통계량을 수치적으로 보여준다. 이 때 사전·사후 비교 분석을 통해서도 횡단분석 결과와 마찬가지로 단속구간과 대조구간의 속도 분산 및 평균의 차이가 존재하는 것을 확인하였으며, 특히 단속구간 내 차량속도의 분산이 크게 줄어든 것을 볼 수 있다. 아울러 단속 시행 전·후 차량속도 평균 및 분산에 대해서도 t-test 및 F-test를 수행한 결과 수치적으로 나타난 차이가 통계적으로 유의미한 결과임을 확인하였다.

결론

1. 연구의 의의

본 연구에서는 고속도로 내 구간 과속단속구간에서 교통류 특성이 변화하는 것을 통계적 검정 방법을 이용해 확인하였다. 선행 연구에서 조사된 구간 과속단속시스템의 다양한 도입 효과 중 교통류 특성 변화에 초점을 맞추어 분석을 수행하였으며, 관련 연구가 많지 않은 실정에서 국내 도입 효과에 대한 분석 연구를 수행했다는 데에 본 연구의 의의를 둘 수 있다. 아울러 대부분의 기존 연구는 구간 과속단속시스템 도입 효과에 대해 사전·사후 분석을 수행하였으나, 본 연구에서는 횡단분석(Cross-sectional Analysis) 방법을 적용하여 차별성 있는 분석을 수행하였다.

중부내륙선, 대전-통영선, 영동선 총 3개 노선에 대해 각 단속구간에 상응하는 대조구간을 설정하여 각각의 구간에서 변화하는 차량 속도의 분포를 관찰하였으며, 분석에 앞서서는 체계적인 데이터 필터링을 수행하여 결과의 신뢰성을 제고하는데 주력하였다. 분석 수행 결과, 단속구간 내에서는 차량들 간 속도 편차가 줄어들어 속도 분산이 작아지고 평균 속도 또한 줄어든다는 것을 밝혔으며, 통계적 검정 방법을 이용하여 이를 확인하였다.

2. 향후 연구 방안

본 연구에서는 구간 과속단속시스템 도입으로 인한 교통류 특성 변화에 초점을 맞추어 분석을 수행하였다. 방대한 교통 데이터의 특성상 장기간 데이터를 수집·저장하는 것이 용이하지 않아 비교적 짧은 기간의 데이터를

가지고 분석을 수행하였으나, 향후 연구에서는 보다 장기적인 관점에서 도입 효과를 분석할 수 있을 것으로 판단된다. 연구방법 중 데이터필터링 및 교통류 완화구간을 가정하는 부분에 있어서도 향후 발전된 연구를 수행할 여지가 있다. 본 연구에서는 속도-밀도 그래프를 토대로 임계 밀도를 추산하여 자유속도 하의 교통류를 가정하였는데, 이는 밀도에 따른 교통서비스수준(Level of Service)별 속도 특성 비교 등으로 보다 구체화 될 수 있다. 아울러 본 연구의 결과로 밝힌 단속구간 내 속도 평균 및 분산의 감소가 가져오는 교통안전 측면에서의 효과 분석 역시 향후 연구를 통해 수행될 수 있을 것으로 사료된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government (MSIP) (NRF-2010-0028693).

REFERENCES

- Cascetta E., Punzo V. Marcello M. (2011), Empirical Analysis of Effects of Automated Section Speed Enforcement System on Traffic Flow at Freeway Bottlenecks, Trans. Res. Rec.: J. Trans. Res. Board 2260(1), Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 83-93.
- Charlesworth K. (2008), The Effect of Average Speed Enforcement on Driver Behaviour, Road Transport Information and Control-RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference, IET. 1-5.
- Chen C. (2003), Freeway Performance Measurement System (PeMS), California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH). p.123.
- Daganzo C. F. (1997), Fundamentals of Transportation and Traffic Operations, Elsevier Science Inc., New York. p.80.
- Elvik R., Christensen P., Amundsen A.(2004), Speed and Road Accidents: An Evaluation of the POWER Model, TØI report, 740, 9. p.1.
- ETCS (2009), Section Control: Towards a More Efficient and Better Accepted Enforcement of Speed Limits, ETCS Speed Fact Sheet, 2.
- Evans L. (2005), Traffic Safety, Science Serving Society, USA, 418. p.11
- Gambard J., Fabre M., Boulanger P. (1997), An Automatic Speed Recording System on French Motorways: The Speed Observatory, Paper Presented at 4th World Congress on ITS, Germany. Paper No. 2258.
- Nilsson G. (1981), The Effects of Speed Limits on Traffic Crashes in Sweden, In Proceedings of the International Symposium on the Effects of Speed Limits on Traffic Accidents & Fuel Consumption, Organization for Economic Co-operation and Development, Ireland.
- Park J. J., Lee Y. M., Park J. B., Kang J. G. (2008), The Effect of Point to Point Speed Enforcement Systems on Traffic Flow Characteristics, J. Korean Soc. Transp., 26(3), Korean Society of Transportation, 85-95.
- Police Science Institute (2012), A Research of the Proper Number of National Traffic Control Equipment, p.58. (전국 교통단속장비 적정 운영수량 연구)
- Ross H. L. (1982), Detering the Drinking Driver: Legal Policy and Social Control, MA: Lexington Books, New York, USA. p.68
- Yun I., Park S. H., Oh B. S., Oh Y. (2011), Study of the Effect of the Point-to-Point Speed Enforcement System Using a Comparison-Group Method, J. Korean Soc. Road Engineers, Korean Society of Road Engineers, 13(4), 177-185.
- 알림 : 본 논문은 대한교통학회 제69회 학술발표회(2013. 10.26)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.
- ✉ 주 작성자 : 심지섭
 ✉ 교신저자 : 박신형
 ✉ 논문투고일 : 2014. 11. 28
 ✉ 논문심사일 : 2015. 1. 19 (1차)
 2015. 2. 27 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2015. 2. 27
 ✉ 반론접수기한 : 2015. 8. 31
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필