

끼어들기 무인단속시스템 구현 및 평가

An Implementation and Evaluation of the Automatic Enforcement System for Regulating the Illegal Cut-in Vehicles

윤병주

(비즈니스 연구소 연구소장)

장명순

(한양대학교 교통공학과 교수)

정용기

(안산시 교통기획과 팀장)

Key Words : Cut-in Vehicles Detection, Multi Tracking, Plate Recognition, Automatic Enforcement System, Image Processing

목 차

- I. 서론
 - II. 시스템 구현
 - III. 성능평가
 - IV. 결론
- 참고문헌

I. 서론

도시간선도로와 시가지도로로 연결되는 주요 램프 구간 등에서의 정체현상이 발생하는 지점에서 흔히 볼 수 있는 불법 끼어들기는 혼잡지체를 가중시키는 주된 원인이기도하지만 사고발생 위험을 초래하기 때문에 법으로 엄격히 금지하고 있으나 인력단속이 어려워 좀처럼 근절되지 않고 있다. 따라서 선진교통문화 정착의 일환으로 불법 끼어들기 차량을 단속하기 위한 무인단속시스템을 개발하였다¹⁾.

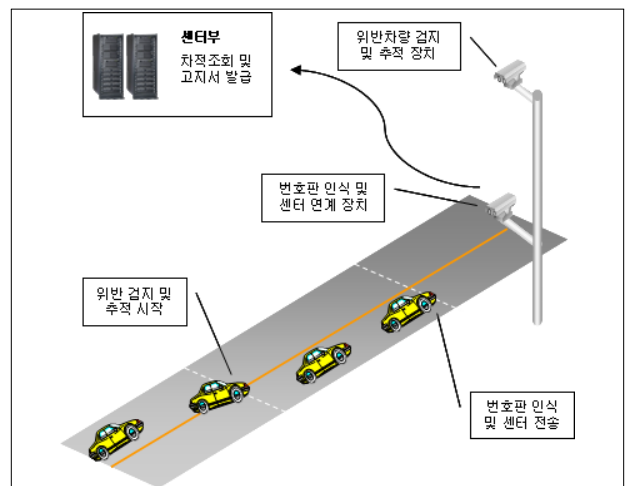
끼어들기 무인단속시스템은 두 개의 카메라 영상 처리 장치로 구성된다. 하나는 위반차량 검지와 추적을 위한 카메라 영상처리 장치이고 다른 장치는 위반차량 번호판 인식과 고지서 발급을 위한 센터 자료연계 기능을 주로 한다. 위반차량 검지와 추적 장치는 끼어들기 금지 구간을 침범하는 차량을 검지하여 추적을 계속하다가 번호판 인식을 위한 장치에서 대상 차량의 영상을 획득할 수 있도록 트리거 신호를 전달하는 기능을 수행한다. 트리거 신호를 받은 번호판 인식 장치는 위반차량의 번호판 인식을 위한 영상을 획득하고 번호판을 인식한 후 차량 조회를 통한 벌금고지서 발급을 위해 무인단속센터에 인식결과와 증거 영상을 전달하는 기능을 수행한다. 구현된 끼어들기 무인단속시스템은 정체를 판단하고, 정체 시에 단속 기능을 수행하며 동시에 다수의 위반차량을 단속할 수 있는 성능을 가지고 있다.

구현된 시스템의 성능평가는 한남대교 남단과 영동대교 북단의 두 곳에 실제 시스템을 설치하여 이루어졌다. 성능평가 결과로서 번호판 인식 성공까지를 포함하는 최종 인식률은 영동대교 북단에 설치된 시스템에서는 85%, 한남대교 남단에 설치된 시스템에서는 83.5%로 각각 평가되어 요구된 신뢰성

기준인 인식률 80%이상을 만족한 것으로 분석되었다²⁾.

II. 시스템 구현

끼어들기 차량의 검지와 동시에 단속을 하기 위해 현장에는 검지용 카메라와 단속용 카메라를 설치하며, 검지용 카메라는 1차 월선감지선 검지영역과 2차 가상루프선 검지영역을 설정한 후 끼어들기 구간의 통행차량을 검지한다. 구현된 끼어들기 무인단속시스템의 구성은 <그림 1>과 같다.

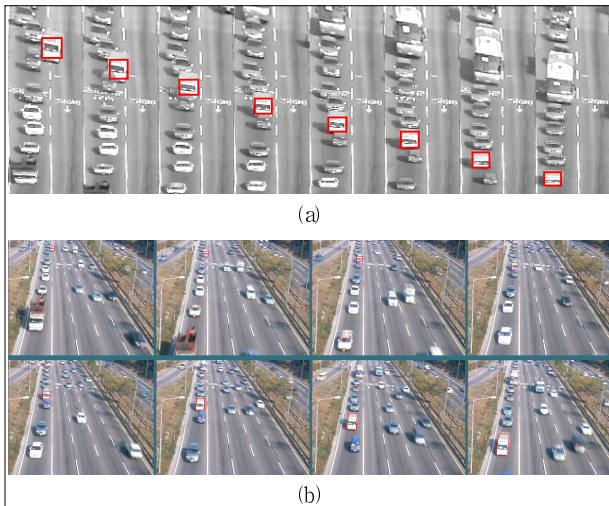


<그림 1> 끼어들기 무인단속시스템 구성

끼어들기 무인단속시스템은 기존의 과속 무인단속시스템에서 과속을 검지하는 루프 검지기를 대신하여 끼어들기 검지 및 추적 장치를 설치하여 구현하였다. 즉, 위반차량 검지와

추적 장치는 끼어들기 금지 구간을 침범하는 차량을 감지하여 추적을 계속하다가 번호판 인식을 위한 장치에서 대상 차량의 영상을 획득할 수 있도록 트리거 신호를 전달하는 기능을 수행한다. 트리거 신호를 받은 번호판 인식 장치는 위반차량의 영상(위반사항, 장소, 시간, 영상 등)을 중앙처리센터로 전송하여 자동적으로 범칙금 납부고지서를 발부하는 기능을 수행한다. 본 논문에서 구현된 번호판 인식 장치는 기존의 과속 및 신호위반을 단속하는 장치에서와 동일한 장치를 사용하였다.

끼어들기 무인단속시스템에서 새로이 구현된 끼어들기 감지 및 추적 장치의 기능을 상세히 설명하면 다음과 같다. 끼어들기 감지 및 추적 장치는 감지영역의 면적대비 감지영역 내의 차량 객체 길이에 의해 점유율을 계산하여 정체 상태를 판단하고, 정체 시에 1차 월선감지선 감지 영역 내 불법 끼어들기 차량 진입을 감지한다. 감지된 위반 차량을 계속 추적하다가 위반 차량이 2차 가상루프선 감지영역을 통과할 때, 시리얼 통신을 이용하여 디지털 단속용 카메라에게 트리거를 전송한다. 트리거 전송과 더불어 전송되는 위반 차량의 증거 영상은 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 끼어들기 위반 증거 영상 (a : 변환된 영상, b : 실제 영상)

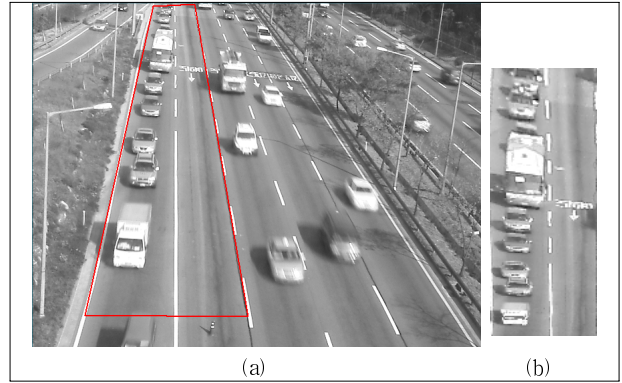
새로이 구현된 끼어들기 위반차량 감지 및 추적 장치의 주요 알고리즘은 다음과 같다.

1. 위반차량 감지

끼어들기 위반차량 감지는 영상인식 알고리즘을 통해 감지 영역 내의 차량들을 구분하고, 차선을 넘는 차량을 검출하는 기능으로 다수의 동시위반 차량 검출 능력과 동영상 연속촬영 기능을 갖추도록 구성하였다.

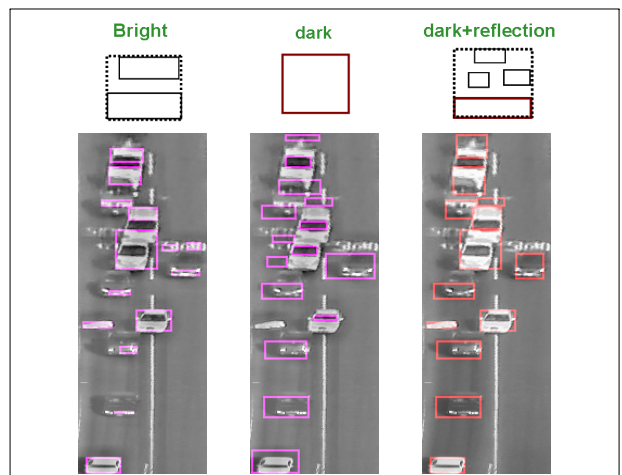
끼어들기 단속시스템은 차선변경이 가능한 구간 즉, 차선이 점선으로 되어 있더라도 정체가 되면 끼어들기를 금지하는 도로교통법 23조에 의거 단속을 하도록 하고 있으며, 정체가 되지 않으면 단속을 하지 않도록 구성하였다.

구현된 시스템에서는 끼어들기 위반차량의 정확한 감지를 위해 먼저 기하학적 영상보정⁷⁾을 사용하였다. 이것은 원거리의 영상을 카메라에서 원근 변환하여 획득하는데 원거리와 근거리의 동일한 크기의 물체를 동일한 크기로 보이게 하기 위해서 다시 역원근 변환을 수행하여 보정하였으며, 기하학적 영상보정을 취한 영상은 <그림 3>과 같다.



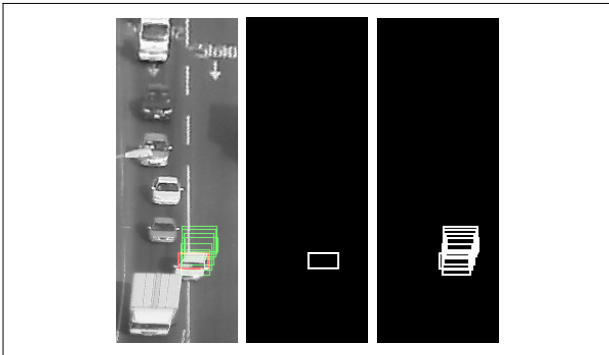
<그림 3> 역원근 변환 (a : 원 영상, b : 변환 영상)

카메라에서 획득된 영상은 대부분 국부적인 조명 차이를 보인다. 이러한 국부적인 조명 차이가 보상되지 않으면 전역 임계치로 물체를 검출하는 것은 어렵다. 따라서 이러한 국부적인 조명을 보상해야하는데, 가장 간단한 방법은 국부 DC (평균)을 제거하는 방법으로 DC-notch 필터를 적용할 수 있다. DC-notch 필터를 적용하여 얻어진 영상은 또다시 <그림 4>와 같이 밝은 영역과 어두운 영역으로 구분된다. 밝은 영역의 검지는 Bright Evidence Detection으로 어두운 영역의 검지는 Dark Evidence Detection으로 검출되는데, 위 방법은 DC-notch 필터링 된 영상의 임계치 이진화로 검출될 수 있다⁸⁾. 검출된 밝은 영역의 증거와 어두운 영역의 증거는 모두 독립된 차량으로 구분할 수 없다. 즉, 한 대의 밝은 차량은 여러 개의 밝은 영역 증거를 가질 수 있기 때문이다. 따라서 <그림 4>와 같이 밝은 영역과 어두운 영역의 증거를 조합하여 독립 차량을 구분한다.



<그림 4> 독립 차량 구분

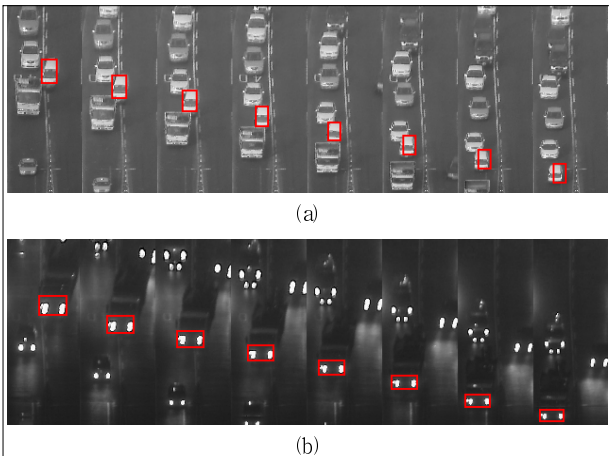
끼어들기 위반차량의 검지는 구분된 차량이 차선 변경 금지선(월선 감지선)을 침범할 경우, 침범 위치에서 Backward tracking하여 불법 끼어들기 위치에서 진입된 차량임을 판별한다. 다음 <그림 5>는 Backward tracking을 이용한 위반차량 검지 방법을 나타내고 있다. Backward tracking은 역방향 추적으로 현재의 검출된 차량으로부터 이전에 검출된 차량을 정합하여 추적하는 기법이다. 위반차량 검지의 정확도를 높이고 오단속을 최소화하기 위해 전체 영상 중 끼어들기 검지영역을 분리 후 영상 처리를 하고 각각의 프레임마다 끼어들기 위반차량 존재여부를 판단하였다.



<그림 5> 위반차량 검지

2. 위반차량 추적

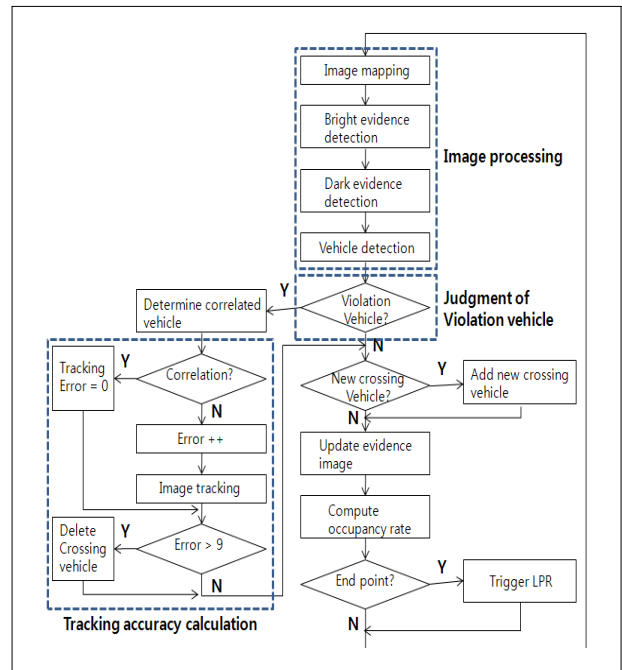
검지된 위반차량은 끼어들기를 시작한 시점부터 완료된 시점까지 추적해야 하는데, 본 논문에서는 추적 방법 중 가장 많이 사용되는 영역 기반 추적을 사용하였다. 이것은 검출된 차량의 유사도(크기, 위치, 진행 방향 등)를 판별하여 추적하는 방법이다. 또한 정확한 위반차량 단속을 위해 영역 기반 추적으로 추적이 어려운 대상(검출된 차량이 겹쳐서 나타나거나 분리되는 경우)에 대해서는 화소의 밝기 값으로 정합하여 추적하는 블록 정합 방법도 고려하였다. 다음 <그림 6>은 각각 주간과 야간의 위반차량 추적 결과를 나타내고 있다.



<그림 6> 추적 결과 (a : 주간, b : 야간)

3. 위반차량 검지 및 추적 알고리즘

끼어들기 위반차량이 존재 시 매 프레임마다 차량을 트래킹하며 해당 프레임에서 차량 트래킹이 실패할 경우 Error Count를 분석하여 최종 트리거 전송 후 정확도를 전송하도록 하였다. 또한 추적된 차량이 2차 가상루프선 검지영역을 통과할 때, 번호판 인식을 위한 트리거 신호를 단속을 위한 처리 장치로 전달하여 위반차량 번호판 인식과 고지서 발급을 위한 센터 자료연계가 가능하도록 하였다. 위반차량 검지 및 추적 기능을 종합한 끼어들기 위반차량 단속시스템의 검지 및 추적 알고리즘은 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 위반차량 검지 및 추적 알고리즘

구현된 시스템의 위반차량 검지 및 추적 알고리즘은 동시에 다수의 위반차량 단속이 가능한 구조로 설계하였다.

III. 성능평가

끼어들기 위반차량 단속시스템의 신뢰성과 장비의 성능을 검증하기 위해 서울시 소재 강변북로 영동대교 북단 진출램프와 올림픽대로 한남대교 남단 진출램프에 시스템을 각각 설치하였으며, 단속시스템으로서의 신뢰성 확보여부를 판단하기 위해 위반차량 인식률 80% 이상(현재 무인교통단속장비의 인식률을 기준으로 함)을 기준으로 하여 단속과정부터 실제 단속차량의 번호인식을 통해 고지서가 발부되기까지의 모든 과정의 정확도와 인식률 및 단속오류 전반의 과정을 평가한 결과 <표 1>과 같이 영동대교 북단에 설치된 시스템은 인식률 85%, 한남대교 남단에 설치된 시스템은 인식률 83.5%로 각각 평가되었다.

로 장비 설치에 따른 효과로 평가된다.

<표 1> 성능평가 결과

설치장소	위반대상 차량 (대)	위반고지 출력 (건)	오단속률	오인식률	인식률
영동대교	133	113	0	0	85%
한남대교	139	116	0	0	83.5%

끼어들기 단속시스템의 설치효과를 분석하기 위해 장비설치 전후 설치지점의 교통패턴을 분석하여 그 효과를 분석하였으며, 특히 끼어들기로 인한 램프구간에서 교통정체가 가중되어 주행속도 저하, 램프 통과차량수의 저하로 이어지는 교통문제가 장비의 설치로 개선되어 장비 설치 효과가 있는지를 분석하였다. 끼어들기 단속시스템의 효과분석을 위해 Before-After Analysis로 장비설치 전후의 설치지점 주행속도, 램프구간의 차량통과 대수, 끼어들기 위반차량의 변화를 분석하였다. 효과분석을 위한 현장조사는 장비 설치 전 4일(평일2일, 주말2일)을 선택하여 오전첨두 07:00~09:00, 비첨두 13:00~15:00, 오후첨두 18:00~20:00의 시간대로 장비설치 전 교통상황을 조사하였다. 장비 설치 전 조사가 끝나면 장비를 설치하고 1주일 후 동일한 요일을 선택하여 설치 전 조사항목과 같이 조사하고 장비 설치 전/후의 교통흐름패턴 및 위반현황을 분석하였다.

1. 끼어들기 차량 수의 변화

끼어들기 무인단속시스템의 설치에 따른 효과 평가 항목 중 끼어들기 차량 수의 변화는 <표 2>에서와 같이 영동대교의 경우 설치 전 1,121대의 끼어들기 차량에서 설치 후 432대의 끼어들기 차량 수가 줄어 61%가 감소되었다. 한남대교의 경우 설치 전 2,465대에서 설치 후 591대로 76%로 감소되어 전체적으로 끼어들기 단속장비의 설치에 따라 끼어들기 위반차량의 수가 급격히 감소된 것으로 분석되었다.

<표 2> 끼어들기 차량 수의 변화

설치장소	설치 전 (대)	설치 후 (대)	변화율
영동대교	1121	432	-61%
한남대교	2456	591	-76%

2. 통과차량 대수의 변화

통과차량 대수의 변화에 있어서는 <표 3>의 결과와 같이 영동대교의 경우 단속시스템 설치 전 18,420대에서 설치 후 21,192대로 15.05% 통과 차량대수가 증가하였고, 한남대교의 경우는 설치 전 32,595대에서 설치 후 34,103대로 4.63% 통과 차량대수가 증가하였다. 끼어들기 단속시스템 설치 전후 램프구간의 통과차량대수를 조사한 결과 장비 설치지점 램프구간 모두 통과차량대수가 소폭이나마 증가한 것으

<표 3> 통과차량 차량 대수의 변화

설치장소	설치 전 (대)	설치 후 (대)	변화율
영동대교	18,420	21,192	15%
한남대교	32,595	34,103	4.63%

3. 평균 주행속도의 변화

끼어들기 단속시스템 설치 운영 전과 후에 대해 평균 주행속도의 변화에 대한 비교분석을 위해 통계적 검증(T-test)을 실시한 결과는 <표 4>와 같다. 평균주행속도에 대해서는 시간별로 3분 간격으로 조사하였으며, 영동대교 램프구간의 평균주행속도는 장비 설치 전후 차이가 없는 것으로 분석되었고, 영동대교 본선과 한남대교 램프구간, 한남대교 본선은 장비 설치 전후 차이가 있는 것으로 분석되었지만 설치 전보다 설치 후 속도가 조금 떨어지는 것으로 분석되었다. 한남대교 본선의 경우에만 장비 설치 전보다 설치 후에 평균주행속도가 개선된 것으로 분석되었다. 특히 영동대교의 경우 끼어들기 단속시스템의 램프진입시점 전에 끼어드는 차량으로 인해 본선에 영향을 준 것으로 분석되며, 한남대교 본선의 경우는 한남대교 램프구간이 본선에 영향을 미치지 않는 긴 램프 길이로 설계되어 램프구간 끝 지점에서 끼어드는 차량의 수가 줄면서 전체적으로 본선의 속도가 개선된 것으로 판단된다.

<표 4> 평균 주행속도 변화에 대한 T-test 결과

구분	대응차					t	자유도	유의확률 (양쪽)
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95% 신뢰 구간				
				하한	상한			
영동램프 설치 전후	1.5158	24.5642	1.1212	-0.6873	3.7188	1.352	479	.177
영동본선 설치 전후	5.9877	13.9233	.6355	4.7390	7.2364	9.422	479	.000
한남램프 설치 전후	7.688014	25.768916	1.176185	5.376894	9.999133	6.536	479	.000
한남본선 설치 전후	-3.17775	19.27226	.87965	-4.90621	-1.44930	-3.613	479	.000

IV. 결론

본 연구에서는 주요 도시고속도로 램프 진출입구간에서 끼어들기 위반차량에 의한 사고발생 위험과 혼잡지체가 가중되는 현상을 방지하고 선진교통문화 정착과 선량한 운전자의 피해를 방지하기 위해 개발된 끼어들기 무인단속시스템의 구현에 대한 주요 알고리즘에 대하여 고찰하고 설치에 따른 성능평가와 효과분석을 실시하였다.

끼어들기 무인단속시스템은 위반차량 검지와 추적을 위한 카메라 영상처리 장치를 신규로 개발하고, 종래의 무인단속시

시스템을 변경한 위반차량 번호판 인식과 고지서 발급을 위한 센터 자료연계 장치에 연계하여 시스템을 구현하였다. 위반차량 검지와 추적 장치는 끼어들기 금지 구간을 침범하는 차량을 검지하여 추적을 계속하다가 번호판 인식을 위한 장치에서 대상 차량의 영상을 획득할 수 있도록 트리거 신호를 전달하는 기능을 수행하도록 하였다. 트리거 신호를 받은 번호판 인식 장치는 위반차량의 번호판 인식을 위한 영상을 획득하고 번호판을 인식한 후 차량 조화를 통한 벌금고지서 발급을 위해 무인단속센터에 인식결과와 증거 영상을 전달하는 기능을 수행하였으며, 최종 구현된 끼어들기 무인단속시스템은 정체를 판단하고, 정체 시에 단속 기능을 수행하며 동시에 다수의 위반차량을 단속할 수 있는 성능을 가지도록 하였다.

두 곳에 설치한 끼어들기 무인단속시스템의 성능을 평가한 분석결과는 영동대교 복단에 설치된 시스템에서는 85%, 한남대교 남단에 설치된 시스템에서는 83.5%로 각각 분석되어 인식률 80%이상 기준을 만족한 것으로 분석되었다.

또한 끼어들기 단속시스템의 효과를 분석하기 위해 끼어들기 위반 차량 수의 변화, 램프차로의 통과교통량 변화, 램프차로 및 본선차로의 평균주행속도의 변화를 분석하였는데, 시스템 설치 후 끼어들기 위반차량 수가 현격히 줄어들었으며, 끼어들기 위반차량의 감소에 따라 통과교통량도 시스템 설치 전 보다 소폭이나마 증가한 것으로 분석되었다. 특히 통과교통량의 증가는 끼어들기 위반차량이 줄어들면서 동일 시간대에 더 많은 차량이 램프구간을 통과한 것으로 단속시스템의 효과가 있는 것으로 분석된다. 그리고 끼어들기 단속시스템의 설치에 따라 본선과 램프차로의 평균주행속도를 분석한 결과에서는 한남대교 본선의 경우 시스템 설치 후 평균주행속도가 증가한 것으로 분석되었다.

이번 연구는 국내외에서 최초로 영상처리 기술을 응용하여 끼어들기 위반차량을 단속하는 시스템을 개발하여 현장에 직접 적용한 것에 큰 의미가 있으며, 분석된 설치효과를 고려할 때 개발된 시스템의 지속적인 성능 향상을 통한 전면적인 시스템의 확대 설치가 추진될 필요가 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 비즈로시스, “끼어들기 무인단속시스템 개발보고서”, 2008
2. 도로교통안전관리공단, “무인교통단속장비(끼어들기) 성능평가 및 설치효과 분석 연구”, 2008
3. 권준식 외 7인, “디지털 영상처리 이론 및 응용”, 홍릉과학출판사, 2002
4. Loaiza, H. Triboulet, J. Lelandais, S. Barat, C., “Matching Segments in Stereoscopic Vision”, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, PP.37~42, 2001.
5. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital Image Processing”, 1993.
6. Pal NR, Pal SK, “A review on image segmentation techniques,” Pattern Recognition, 26(9):1277-1294,1993.
7. Inigo RM, “Application of machine vision to traffic monitoring and control,” IEEE Trans. on Vehicular Tech. 38(3), pp. 112-122, 1989
8. Inigo RM, et al., “Machine vision applied to vehicle guidance,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell. Vol. 6, No. 6, pp. 820-826, 1984
9. Schlutmeyer AP, et al., “Wide area detection system (WADS),” JPL Final Rep. for FHWA, pp. 83-115, 1982
10. Micalopoulos P, Wolf B, Benke R, “Testing and field implementation on the Minnesota video detection system (AUTOSCOPE),” Transportation Research Record 1287, pp.176-184, 1990
11. Micalopoulos P, “Vehicle detection through video image processing: the AUTOSCOPE system,” IEEE Trans. on Vehicular Tech. 40(1), 1991
12. Y. Park, “Shape-resolving local thresholding for object detection,” Pattern Recognition Letters, Vol. 22, No. 8, pp. 883-890, 2001
13. O. Masoud, et al., “The Use of Computer Vision in Monitoring Weaving Sections,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 2, No. 1, pp.18-25, 2001
14. L.D. Stefano and E. Viarani, “Vehicle Detection and Tracking Using the Block Matching Algorithm,” Proceeding of 3rd IMACE/IEEE, Vol. 1, pp. 4491-4496, 1999
15. F. Bartolini, V. Cappellini and C. Giani, “Motion Estimation and tracking for Urban Traffic Monitoring,” Proceedings of International Conference on Image Processing '96, Vol. 3, pp. 787-790, 1996
16. S.Mantri and D. Bullock, “A Neural Network Based Vehicle Detection and Tracking System,” Proceedings of the Twenty-Seventh Southeastern Symposium on System Theory, pp. 279-283, 1995
17. D. Gao, J. Zhou and L. Zin, “SVM-based Detection of Moving Vehicles for Automatic Traffic Monitoring,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings,” pp. 745-749, 2001
18. Kiyotaka H. and Katsush iI. ,“Detection of Street-Parking Vehicles from Panoramic Street Image,” The IEEE 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems, October 2003
19. Zhu,C.H, Hirahara, K., and Ikeuchi, K., “Street-parking vehicle detection using line scan camera,” Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE, pp.575 - 580, 2003
20. Luong QT, Faugeras OD, The Fundamental matrix: theory, algorithms, and stability analysis, IJCV, 1995