

디지털 이미지를 이용한 노면표시 및 교통안내표지의 재귀반사 성능 평가 방법론 개발

최기주* · 이승현** · 윤일수*** · 이용주****

Choi, Keechoo*, Lee, Seunghyeon**, Yun, Ilsoo***, Yi, Yongju****

A Methodology Development for Estimating the Retroreflectivity of Pavement Markings and Traffic Guide Signs Using Digital Images

ABSTRACT

This study investigates the methodology to evaluate the quantified performance of pavement markings and traffic guide signs using digital images. This methodology is significant to attempt to quantify their performance without large brightness photometer at the nighttime and bad weather. The retroreflective performance of pavement markings are evaluated through the contrast of gray levels of pavements and markings in collected digital images under the case of rain, dampness, and dryness. In addition, the appraisal of retroreflective performance of traffic guide signs are implemented through the comparison between interior illuminated and the existing retroreflective traffic guide signs using the contrast of luminance extracted from the value of RGB of backgrounds and legends in collected digital images according to geometric design, driving lanes, and the distance between the car and the sign. As a result, the retroreflective performance of pavement markings deteriorates about 3.5 times and 2 times under the case of rain and dampness respectively than dryness. Also, the performance of the existing traffic guide signs is significantly influenced by geometric design, driving lanes, and the distance, otherwise interior illuminated traffic guide signs. This methodology can be utilized to construct objective information of performance of traffic safety facilities to select appropriate position of expensive high reflective pavement markings and interior illuminated traffic guide signs considering diverse weather and geometric design.

Key words : Digital image, Pavement marking, Traffic guide sign, Retroreflectivity, Luminance

초 록

본 연구에서는 디지털 이미지를 이용하여 다양한 기상상황과 기하구조 상에서 노면표시와 교통안내표지의 성능평가 방법론을 제시한다. 이는 기존 방법과 달리 시간과 장소에 구애 받지 않고 대형장비의 도움 없이 교통안전시설의 성능을 정량적이고, 객관적으로 평가할 수 있는 가능성을 제시하는데 의의가 있다. 노면표시의 성능평가는 포장파 노면표시의 회색도 값을 이용한 휘도대비를 바탕으로 우천시, 습윤시, 건조시 시에 재귀반사 성능을 비교하였다. 그리고 교통안내표지 성능평가의 효과지표는 디지털 이미지의 각 픽셀의 RGB값에서 추출된 Y(휘도)값이며, 도로의 기하구조, 주행 차로, 표지로부터 거리에 따라 조명식 교통안내표지와 일반 교통안내표지의 휘도 및 표지 바탕면과 문안간의 휘도대비 변화를 비교하였다. 그 결과, 노면표시의 재귀반사 성능은 건조시에 비해 우천시와 습윤시에 각각 3.5배, 2배 감소하는 것으로 나타났다. 또한 일반 재귀반사 교통안내표지는 내부 조명식 교통안내표지와 다르게 표지로부터 거리, 주행 차로, 도로의 기하구조에 따라 휘도 및 휘도 대비가 급격하게 변화하였다. 본 연구를 바탕으로 차후 기상 및 기하구조 특성을 고려하여 고가의 우천형 노면표시와 내부 조명식 교통안내표지의 적정 설치 위치를 선정하는데 있어서 객관적인 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

검색어 : 디지털 이미지, 노면표시, 교통안내표지, 재귀반사, 휘도

* 정회원 · 아주대학교 교통시스템공학과 교수 (keechoo@ajou.ac.kr)

** 교신저자 · 홍콩대학교 토목공학과 교통공학전공 박사과정 (Corresponding Author · The University of Hong Kong · sngnyini@hku.hk)

*** 정회원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 조교수 (ilsooyun@ajou.ac.kr)

**** 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (srzr2001@ajou.ac.kr)

Received June 14, 2012/ revised October 12, 2012/ accepted July 1, 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

노면표시와 교통안내표지는 각각 연속적인 차선 안내정보(continuous information)와 이산적인 정보(discrete information)로써 운전자가 안전하게 도로를 주행할 수 있도록 도움을 주는 역할을 한다. 주간에는 노면표시와 교통안내표지가 배경과 색상 대조를 이루면서 시인성을 확보하고, 야간에는 배경과 밝기 대조를 이루면서 시인성을 확보하며 야간의 밝기는 휘도로서 측정이 가능하다. 현재 국내 대부분의 노면표시 및 교통안내표지는 주행 차량의 헤드라이트를 광원으로 한 재귀반사 특성을 이용하여 야간 시인성을 확보하고 있지만, 기상상황 및 기하구조에 따라 노면표시와 교통안내표지가 야간에 운전자에게 충분한 차선 안내정보와 이산적인 정보를 제공하지 못하는 경우가 자주 발생한다. 이를 방지하기 위하여 우리나라를 비롯한 세계 각국에서는 굴절률이 큰 유리알을 개발하여 노면표시에 적용하거나 외부 및 내부조명을 이용하여 교통안내표지의 야간 시인성을 확보하고 있다. 하지만, 이런 우천형 노면표시와 조명식 교통안내표지는 현재 쓰이고 있는 제품보다 약 6~20배 정도 비싸기 때문에 쉽게 현장에 적용하지 못하고 있다. 따라서 우천형 노면표시와 조명식 교통안내표지를 현장에 적용하기 위해서는 적정 설치 지역이나 구간, 위치에 대한 연구가 앞서서 선행되어야 하고, 이를 위해서는 현재 도로에 설치되어 운영되고 있는 노면표시 및 교통안내표지에 대한 재귀반사의 성능평가가 선행되어야 한다.

재귀반사의 성능을 평가하는 방법 중의 하나로 디지털 이미지를 이용할 수 있는데, 디지털 이미지를 이용할 경우 자료의 대량 수집이 용이하고, 자료 수집 비용이 절감되며, 각 개체의 지점 휘도가 아닌 면 휘도를 측정할 수 있으며, 이를 통해 개체와 배경간의 밝기 비교를 통해 시인성 확보 여부를 판단할 수 있다. 이외에도 노면표시와 교통안내표지 재귀반사 성능 평가를 위해 기존의 돌출형 외부 측정 장비를 이용하여 주행 중에 재귀반사 성능을 측정할 수 있으나 야간 및 악천후 시 운용하기에는 안전상 문제가 있기 때문에 실제 주행상황에서 야간 및 악천후 시 재귀반사 성능을 측정하기 위해 디지털 이미지 도입을 검토하였다.

본 연구에서는 디지털 이미지를 이용하여 노면표시와 교통안내표지의 시인성 확보 여부를 판단할 수 있는 방법론을 제시한다. 다양한 기상상황 하에서 노면표시의 재귀반사 성능을 측정하여 시인성 확보 여부를 판단하는 방법론과 다양한 종단 경사 및 곡선반경, 주행차로에 따라 교통안내표지의 재귀반사 성능 변화를 측정하는 방법론을 제시하여 기존 교통안전 시설의 위치 적정성을 평가하여 효율적이고 효과적인 안전시설 운영 및 관리에 직접적으로 기여하고, 향후 고가의 안내체계 구축을 위한 적정 설치 구간 및

위치를 선정하는데 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

현재 설치되어 있는 노면표시 및 방향안내표지 일부를 대상으로 디지털 이미지를 이용한 재귀반사 성능 방법론을 수립하였다. 노면표시의 경우 우천시, 습윤시, 건조시 재귀반사 성능을 비교하였으며, 성능 비교를 위한 효과지표는 수집된 디지털 이미지의 회색도를 이용하여 포장과 노면표시 간의 휘도대비를 산출하였다. 회색도란 화상의 각 픽셀에서의 명암(또는 농도)을 표현하는 수치이다.

교통안내표지의 경우 도로의 기하구조, 주행 차로, 표지로부터 거리에 따라 조명식 교통안내표지의 휘도 변화와 일반 교통안내표지의 반사휘도 변화를 비교하였으며, 효과지표는 수집된 디지털 이미지의 각 픽셀의 RGB특성을 YUV 방식으로 변환하여 Y(luminance)를 기준으로 성능을 비교하였다. 여기서 휘도란 면으로부터 복사되는 빛의 밝기의 척도이며, 반사휘도는 물체(광원:光源)에서 나온 빛이 다른 물체에 도달할 경우, 도달한 빛인 입사(入射)광선을 그대로 광원으로 되돌려 반사하는 재귀반사 밝기의 척도이다.

2. 관련 이론 및 문헌고찰

2.1 노면표시 재귀반사 성능 평가

노면표시는 운전자의 안전과 직접적으로 관련이 있기 때문에 지난 수십 년간 다양한 방면에서 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 또한 디지털 이미지를 이용하여 노면표시의 반사휘도를 측정하는 연구도 최근 연구가 이루어지고 있다.

Donnell and Zoltan (2011)은 노면표시의 반사휘도 측정을 위해 2차원의 디지털 이미지를 사용하였다. 노면표시를 설치하는 차량에 부착된 고속 비디오 카메라를 이용하여 촬영하였으며, 반사휘도와 유리알을 뿌리는 각도, 수평 및 수직요소, 그리고 차량의 속도와의 관계를 규명하였다. 이 실험은 초기 설치시의 반사휘도 값뿐만 아니라 차량이 약 100만대가 통과한 1년 후에도 반사휘도를 측정하였으며, 설치시 노면표시의 유리알 비율은 디지털 이미지 처리 알고리즘을 통하여 산출하였다. 설치 차량의 속도는 19~29 km/h, 유리알을 뿌리는 각도는 -90도에서 90도까지 변화시켜 가며 설치를 하였다. 설치 장소에는 제설작업이 없고, 탈색의 원인이 되는 요소가 없었으며 오로지 풍화작용과 차량의 통과로 인한 마모만 존재하였다. 실험 결과 초기에는 최소 250mcd/m²/lux를 만족하는 부분이 없었지만, 90일이 지난 후 바인더가 마르고, 유리알 위에 덮여있던 바인더 물질이 마모된 후에는 반사휘도가 증가하는 현상을 보였다. 설치 후 30~90일까지는 반사휘도가 증가하는 현상을 보이지만, 150~225일 사이에는 반사휘도가 감소하는 경향을 보이고 결국 1년 뒤에는 약 200mcd/m²/lux 이하로 감소하였다.

실험을 통하여 이 연구에서는 노면표시의 반사휘도와 노면표시 설치 요소간의 관계를 회귀분석을 이용하여 분석하였다.

또한 Karwa and Donnell (2011)은 초기 반사휘도, 교통량, 노면표시 종류, 정보 제공 여부의 함수로 노면표시의 반사휘도를 예측하는 모형을 추정하였다. 이 연구는 노면표시의 생애주기에 대한 예측은 노면표시 시스템을 어떻게 관리할 것인가에 대해 보여주고 있으며, 이를 위해 미국 연방 정부는 2007년 약 20억 달러를 들여서 노면표시 반사휘도 값을 수집하였다. 따라서 노면표시의 성능 저하 모형을 개발하고, 노면표시 생애주기에 따라 재도색 시기를 결정하도록 하였다.

Zhang and Wu (2006)은 노면표시의 현장평가를 계획하고 그 과정에 대해 검토하는 연구를 실시하여, 성능 기반 노면표시물질 평가 과정을 개발하였다. 미국과 캐나다 등 북미에서는 노면표시의 성능을 유지하기 위해 상당한 예산을 쓰고 있으며, 적정물질을 사용함으로써 비용을 절감하고, 운전자의 안전을 유지할 수 있다. 이를 위해 AASHTO에서 실내 실험 규정을 제시하고 있지만, 이는 실제 노면표시가 현장에서 발휘하고 있는 성능과 동떨어지며, 반사휘도 최소값이나 초기값만 제시하고, 기간이 지난 후의 성능 수치는 제시하고 있지 않다. 이 연구에서는 날씨, 교통상황, 도로 노면의 유형, 노면표시 설치 방법 등과 같은 외부요인이 중요하다고 제시하고 있으며, 교차로, 램프, 엇갈림 구간, 회전구간, 정지 구간 등에서 특히 노면표시성능평가의 중요성을 강조하고 있다. 이 연구에서 설치한 노면표시 샘플에 대해 28개월 간 반사휘도 변화를 측정된 결과 재설작업 이후에는 반사휘도가 급격히 감소하지만, 재도색 했을 경우에는 크게 증가한다고 결론을 내렸다. 또한 각각의 노면표시 샘플에 대해 객관적 및 주관적 조사를 통하여 복합적으로 성능을 평가하고 있으며, 안전도와와의 관계도 명시하고 있다.

그 밖에도 과거에 노면표시의 현장 성능 평가 방법 및 과정에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 이런 활발한 노면표시 연구를 위해서 현재 설치되어 있는 노면표시의 성능을 평가하는 것이 필수적이라고 볼 수 있다.

디지털 이미지를 이용하여 교통안전시설물의 설치현황을 조사하는 연구도 활발하게 이루어져 왔다. Hagiwara et al. (2004)은 강설 상황에서 디지털 이미지를 이용하여 가시성을 분석하였고, 실내 안개 상황에서 디지털 이미지를 이용하여 가시성을 분석하였다. 또한 Fiorentin (2005)은 디지털 이미지를 이용한 휘도 측정의 특성을 분석하였으며, Siegmann et al. (2009)은 디지털 이미지를 이용하여 주의 표지의 휘도 및 재귀반사 성능을 측정하였다. 국내에서는 Lee et al. (2009)는 DSLR의 면 측정방식을 통해 야간경관 휘도 측정 기법에 대해 연구하며, 야간경관의 기초 정보 습득 자료로써 DSLR의 활용을 언급하였다. 이처럼 디지털 이미지를 이용하여 교통안전시설물에 대한 연구가 활발한 이유는 디지털 이미지의

경우 데이터의 획득 및 분석이 용이하고, 조사비용이 절감되며, 디지털 이미지상의 gray scale 값은 휘도 차이를 의미하고, 이는 교통안전시설물의 시인성 및 관독성에 큰 영향을 미치기 때문이다.

2.2 교통안내표지 재귀반사 성능 평가

Hong et al. (2002)는 광섬유표지가 기존표지에 비해 시인 및 관독성 성능에 비교우위가 있는지를 실험하였고, 규제표지(220, 224), 주의표지(106)의 3종을 대상으로 정지 및 주행상태(시속 60km)에서 설문과 DGPS장비를 이용하여 시인 및 관독거리를 측정하였다. 실험결과, 시인거리는 기존표지보다 광섬유표지가 더 길게 조사되었으나, 관독거리는 두 표지 모두 비슷한 것으로 조사되었으며, 이유는 광섬유 빛이 차량 전조등과 상호 간섭현상에 의해 피실험자의 색도 및 휘도대비효과를 상쇄시킴으로서 관독성을 떨어지게 했기 때문인 것으로 해석하고 있다. 반면 시인성은 야간에 표지의 주변이 어두워서 광섬유 빛이 오히려 대비효과를 증대시킴으로서 기존표지보다 효과가 좋은 것으로 나타났지만, 광섬유표지는 관독성 측면에서 설치타당성이 떨어지는 것으로 판단하고 있으며, 이는 기존표지에 적용하는 관련 규격이 광섬유표지의 특성을 살리지 못하고 있기 때문이라고 언급하였다. 마지막으로 선진 외국에서 이미 사용하고 있는 광섬유표지를 국내 도로환경에 적합하도록 개선한 후, 위험지역과 안개지역 등과 같은 교통안전 효과가 예상되는 곳에 제한적이며 시범적으로 적용하여 장기적으로 연구할 필요가 있다.

Woltman and Szczech (1989)는 표지의 적정 휘도에 관한 연구로 야간 시인성에 대해 운전자 요구와 상응하는 표지의 적정 휘도를 연구하였으며, 이를 통해 운전자에게 알맞은 적정 휘도를 제시하고 안전한 야간 운행을 도와준다고 언급하였다. 그리고 Mercier et al. (1995)는 FHWA에서 제시하였던 시선유도시설 중 경고, 규제, 안내 표지를 대상으로 야간시인성에 관하여 최소 재귀반사 요구 값을 실험을 통해 검증하였고, Zwahlen (1995)는 야간에 다양한 조건에서 커브구간의 도로환경에 따른 운행시 운전자가 시선유도시설물을 얼마나 잘 인지할 수 있는지 연구하고, 이에 대해 운전자에게 야간 시인성에 대한 안전한 기준을 제시하였다.

Tokunaga et al. (2001)은 운전자가 곡선 구간을 운행할 시 주간과 야간시간 대를 구분하여 여러 곡선구간에 대하여 커브구간에 대한 목표물을 인지할 수 있는 시인성에 대하여 연구하였고, Schnell et al. (2009)는 야간 현저성에 대한 평가 척도를 다른 측면에서 개발하기 위하여, 정보를 받아들이는 시간 상 조명 및 글자 크기의 효과에 대해 조사하고, 시물레이션을 통해 정확성을 판단하였다.

2.3 참고문헌 종합

현재 디지털 이미지를 이용하여 노면표시와 교통안내표지의

휘도를 측정하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 하지만, 대부분의 연구가 실내실험, 정지 상태에서의 휘도 측정, 모형식 정립 등에 국한되어 있기 때문에 실제 야간이나 악천후시에 운전자가 느끼는 시인성을 디지털 이미지를 이용하여 측정할 필요가 있다. 또한 국내에서 야간 및 악천후시 노면표시나 교통안내표지의 시인성 확보를 위해 다양한 시도가 있었지만, 아직까지는 높은 가격으로 인하여 시험설치에 그치고 있다. 따라서 이런 고가의 고성능 노면표시와 조명식 교통안내표지의 적정 설치위치를 선정하기 위하여 현재 설치되어 있는 교통안전시설물의 재귀반사 성능에 대한 종합적인 평가가 필요하며, 디지털 이미지를 이용하여 조금 더 편리하고 저렴하게 대량의 자료를 수집 및 분석할 필요가 있다.

3. 재귀반사 성능평가 방법론

3.1 방법론의 개요

본 연구는 크게 다양한 기상상황 하에서 디지털 이미지를 이용한 노면표시의 재귀반사 성능 평가 방법론과 다양한 기하구조상에서 디지털 이미지를 이용한 일반 재귀반사표지와 내부조명식 표지의 휘도 성능 평가 방법론으로 나뉜다.

디지털 이미지를 이용한 노면표시의 재귀반사 성능 평가 방법론은 크게 1) 다양한 기상 상황 하에서 노면표시의 디지털 이미지 자료 수집, 2) 이미지 내 노면표시와 포장면의 평균 회색도 측정, 3) 회색도 비고를 통한 노면표시 성능 평가로 수행된다. 기존의 방법론과 차이가 있다면, 시간과 공간에 구애받지 않고 차량 주행과 동시에 자료를 수집할 수 있는 장점이 있다. 이 방법론을 통하여 실제 운전자가 인지하는 노면표시의 재귀반사 성능 자료를 수집할 수 있다.

디지털 이미지를 이용한 안내표지의 재귀반사 성능 평가 방법론은 위의 노면표시 측정 방법론과 비슷하며, 1) 다양한 기상 상황 및 기하구조 상에서 안내표지의 디지털 이미지 자료 수집, 2) 안내표지 내의 흰색 글자, 녹색 바탕, 그리고 주변 환경의 RGB 값 추출, 3) 추출된 RGB 값을 바탕으로 평균 휘도값 산출, 4) 글자, 바탕, 그리고 환경의 휘도와 각 요소간의 휘도 대비 비교를 통한 안내표지의 성능 평가로 수행된다. 여기서 글자와 바탕의 휘도 대비는 관독성과 관련이 있고, 바탕과 주변 환경의 휘도 대비는 시인성과 관련이 있다.

본 연구에서 제시하고 있는 방법론을 적용해보기 위하여, 노면표시의 자료는 2011년 10월 15일 21시경부터 2011년 10월 16일 01시경까지 수집하였으며, 공간적 범위는 서해안 고속도로의 매송 IC를 출발하여 당진JCT를 지나 당진상주고속도로를 거쳐 회덕 JCT를 지나 경부고속도로와 신갈JCT를 지나 영동고속도로를 주행하였다. 기상정보는 기상청 자료를 2011년 10월 16일 21시부터

2011년 10월 16일 01시까지 5분 간격으로 수집하였고, 이는 GPS의 시간 및 차량 위치 정보를 이용하여 삼성 HMX-S15 캠코더로 수집한 디지털 이미지와 시공간을 일치시켰다.

Table 1. Experimental Overview for Evaluating a Pavement Marking

Temporal background	2011.10.15. 21:08~2011.10.16. 00:47
Spatial background	Maesong IC ~ Ansan IC (300km)
Weather	5 min. weather information from 10.15. 21:00
Position	Recording time and position by using GPS
Pavement marking	Collecting all pavement marking by using HMX-S15 Camcorder

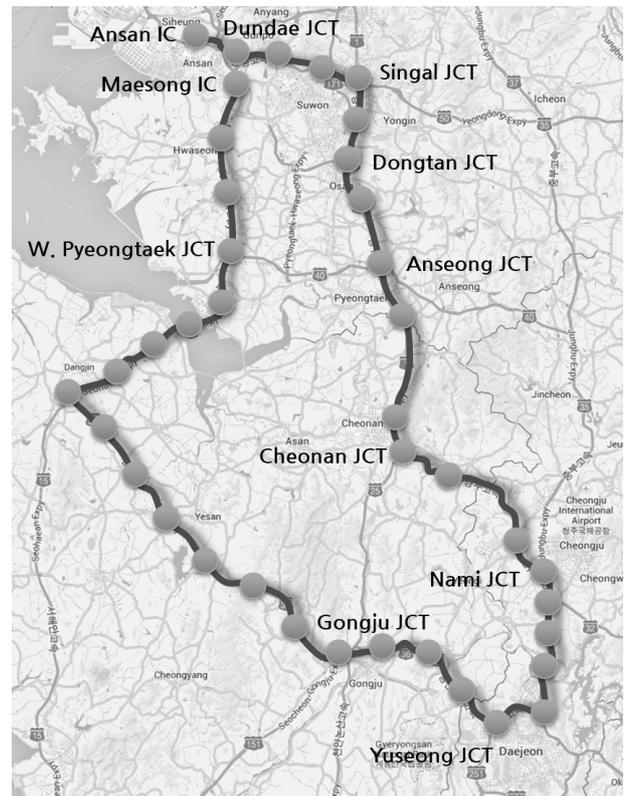


Fig. 1. Spatial Background for the Test

교통안내표지의 자료는 2012년 4월 3일 21시부터 24시까지 수집하였으며, 재귀반사 교통안내표지와 조명식 교통안내표지의 휘도를 비교하기 위해 현재 조명식 교통안내표지가 설치되어 있는 순천완주 고속도로의 구례화엄사IC, 황전IC, 순천JCT를 거쳐 남해 고속도로의 순천IC를 2번 왕복하여 주행하였다. 교통안내표지의 경우 거리에 따른 재귀반사 성능 변화를 측정해야 하기 때문에

차량과 교통안내표지와 정확한 거리를 추정하기 위해 80km/h의 일정한 속도로 주행하였고, GPS를 이용하여 차량의 위치 및 표지의 위치를 측정하였다. 분석에 이용된 재귀반사표지와 조명식 표지는 모두 황전IC에 위치하고 있으며 지주는 내민식 및 문형식으로 설치되어 있다. 또한 1,2차로를 번갈아가면서 주행하였고, 평지, 내리막, 오르막 구간과 곡선부 및 직선부를 주행하며 교통안내표지의 성능을 평가하였다. 디지털 이미지를 이용한 교통안내표지의 성능평가 실험 개요와 각 실험대상 교통안내표지의 특성은 아래 표와 같다.

Table 2. Experimental Overview for Evaluating a Traffic Guide Sign

Temporal background	2012.4.3. 21:00 ~ 24:00
Spatial background	Suncheon-Wanju Expressway GuRyehwaeomsa IC~Suncheon IC
Position	Driving 80km/h with recording position by GPS
Traffic guide sign	Retroreflective sign 3 sets, internal lighting sign 2 sets

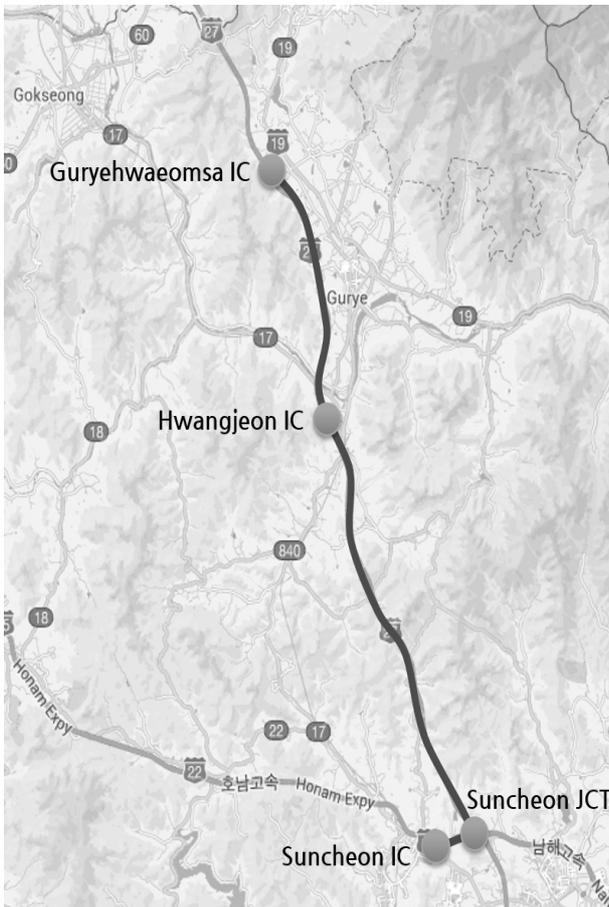


Fig. 2. Spatial Background for the Test

3.2 자료 수집

삼성 HMX-S15 캠코더를 차량에 장착하여 야간 및 악천후시에 노면표시와 교통안내표지의 디지털 이미지를 수집하였다.



Fig. 3. Digital Camera for the Experiment

위와 같이 거치대를 이용하여 장착하였으며, 디지털 캠코더의 조리개 값 및 노출 값을 수동으로 일정하게 설정하여, 주변의 밝기 변화에 따라서 디지털 이미지의 색상, 명도, 채도 값 등이 변화하는 것을 방지하였다.

3.2.1 노면표시 성능평가를 위한 자료 수집

기상청에서 수집한 자료는 시간과 차량의 위치 별로 정리하였다. 2011년 10월 15일 주행실험 공간적 범위 내 주요지역 일강수량은 안산 40.5mm, 화성 24mm, 용인 17.5mm, 청주 14.5mm 이었으며, 기상자료는 행정구역상 읍면동 범위로 시간, 강수유무, 15분 강수량, 60분 강수량, 6시간 강수량, 12시간 강수량, 일강수량, 기온, 풍향, 풍속 등을 수집하였다. 이를 차량이 주행 중인 위치의 시간대 별 행정구역을 파악하여 일치시켰으며, 주행차량은 총 23개 읍면동을 지나갔다. 차량이 주행한 구간을 시군구별로 정렬하면 화성시, 평택시, 당진시, 예산군, 공주시, 대전시, 세종시, 청주시, 천안시, 안성시, 평택시, 오산시, 용인시, 수원시, 군포시, 안산시 순이며, 기상상황은 우천, 습윤, 우천, 습윤, 건조, 습윤, 건조, 우천, 습윤 순으로 변화하였다. 21:20 경 서평택JCT를 지날 때 천둥번개를 동반한 돌풍과 함께 최고 강수량으로 15분 강수량이 약 7mm에 이르렀다. 차량의 위치를 2~3분 별로 확인하여 총 86개 지점으로 분류하였으며, 주요 위치에서 수집된 디지털 이미지의 형태는 아래와 같다.



Fig. 4. Raining Condition Nearby Maesong IC



Fig. 5. Raining Condition on Seohae Grand Bridge

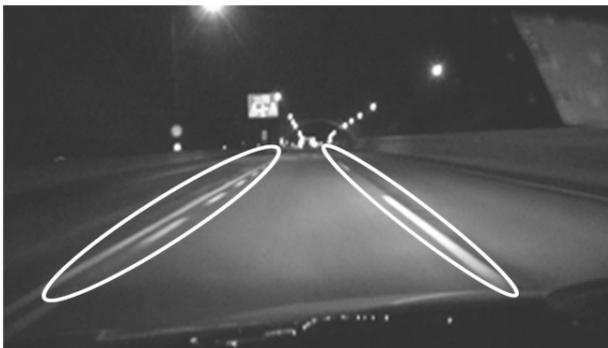


Fig. 6. Dry Condition Nearby Sinpung Service Area



Fig. 7. Wet Condition Nearby Giheung IC

3.2.2 교통안내표지 성능평가를 위한 자료 수집

2개의 내부조명식 교통안내표지와 3개의 재귀반사 교통안내표지의 디지털 이미지를 거리별, 주행차로별로 측정하였으며, 1초 간격으로 차량과 표지간의 거리를 규정하고, 디지털 이미지를 정리 하였다. 5개 교통안내표지의 수집된 디지털 이미지를 대략적으로 정리하면 아래와 같다.

Table 3. Characteristics of Traffic Guide Signs for the Test

No.	Position	Type	Lane	Geometric condition
1	Hwang Jeon IC	Retroreflective	1	Downhill
2	Hwang Jeon IC	Retroreflective	2	Curve part & flatland
3	Hwang Jeon IC	Internal lighting	1	Curve part & uphill
4	Hwang Jeon IC	Retroreflective	1	Curve part & uphill
5	Hwang Jeon IC	Internal lighting	2	Curve part & downhill

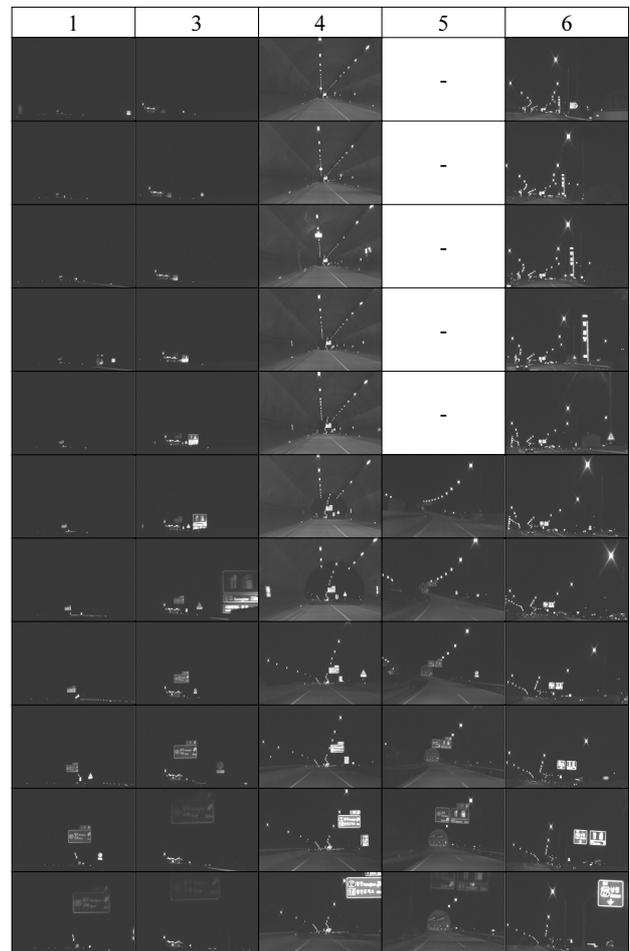


Fig. 8. Five-Examples of Digital Images Collected for the Test

3.3 디지털 이미지 분석 및 성능평가

3.3.1 노면표시 디지털 이미지 분석

노면표시의 디지털 이미지는 포장면과 노면표시의 회색도를 측정하여 휘도대비를 분석하였다. 회색도는 화상의 각 픽셀에서 명암을 표현하는 수치로 디지털 화상에서 흰색을 0, 검은색을 255에 대응시켜 명암 정도에 따라 1~255로 표현되기 때문에, 노면표시와 포장면의 휘도대비를 표현하기에 적합하다. 따라서 수집된 86개의 이미지를 Fig. 9와 같이 노면표시 부분과 포장면으로 분류하여 각 면당 10개 지점을 무작위로 추출하여 회색도 평균 값을 계산하였다. 그리고 이렇게 분석한 포장면과 노면표시의 회색도를 자료 수집 시간 및 위치, 기상상황과 일치시켜 아래와 같은 형식의 표로 정리하였다. 기상상황을 크게 건조시, 습윤시, 우천시로 분류하면 노면표시 평균 회색도는 각각 182.65, 97.13, 51.57이고, 포장면의 회색도는 각각 31.29, 23.24, 22.73이며와 포장면의 휘도 대비가 각각 7:1, 5:1, 2:1이다.

Table 4. Data for Evaluating Pavement Markings

Time	Position	Weather		Grey level		
		Condition	15min. rainfall	contrast	pavement	marking
9:08	Maesong IC	raining	0.5	2	15.0	34.7
9:08	Maesong IC	raining	0.5	3	5.0	16.0
9:10	Bibong IC	wetting	0	12	7.0	81.0
9:11	Bibong IC	wetting	0	10	7.7	76.3
9:11	Bibong IC	wetting	0	6	9.0	56.3
9:12	Bibong IC	wetting	0	6	11.7	73.3
9:15	Hwaseong IC	wetting	0	11	5.7	61.0
9:16	Hwaseong IC	wetting	0	12	5.7	68.7
9:17	Hwaseong IC	wetting	0	2	66.0	108.0
9:18	Balan IC	raining	3	4	14.7	64.0
9:18	Balan IC	raining	3	4	10.7	42.0
.
.
.
12:31	Singal JCT	raining	0	2	50.0	93.7
12:34	E.Suwon IC	raining	0	3	23.7	66.7
12:36	E.Suwon IC	raining	0	4	21.7	89.0
12:37	N.Suwon IC	wetting	0.5	7	27.3	191.0
12:39	N.Suwon IC	wetting	0.5	4	30.0	108.0
12:41	Bugok IC	wetting	0	3	33.7	117.7
12:42	E.Gunpo IC	wetting	0	2	27.0	59.0
12:43	E.Gunpo IC	wetting	0	5	16.7	76.0
12:43	Gunpo IC	wetting	0	3	24.3	79.7
12:44	Dundae JCT	wetting	0	4	26.0	107.0
12:46	Dundae JCT	wetting	0	4	44.0	160.7
12:47	Ansan IC	wetting	0	7	21.7	149.0

Table 5. The Result of Evaluating Traffic Guide Signs

Sign	Retroreflective guide sign								
	Downhill road driving on the first lane			Curve part of road driving on the second lane			Curve and uphill road driving on the first lane		
Type	Surface	Legend	Contrast	Surface	Legend	Contrast	Surface	Legend	Contrast
dis.									
22.2	11.76	52.98	41.22	9.69	21.57	11.88	12.84	36.86	24.02
44.4	27.29	118.15	90.85	9.95	32.93	22.97	22.68	110.17	87.48
88.9	39.58	103.29	63.71	27.46	132.79	105.33	38.13	117.30	79.17
133.3	80.20	146.41	66.21	44.85	135.58	90.74	39.82	90.00	50.18
177.8	78.66	167.58	88.92	38.91	100.91	62.00	35.45	57.96	22.51
222.2	81.67	142.99	61.31	24.25	62.89	38.64	28.16		
266.6	56.01	109.52	53.51	25.56	51.34	25.78			
311.1	57.22			21.13	28.41	7.28			
355.6	59.81			21.25					
400	65.50			16.05					
444.4	58.96			15.65					
avg.	56.06	120.13	66.53	23.16	70.80	45.58	29.51	82.46	52.67
sd.	22.19	37.36	17.98	11.02	46.36	36.71	10.41	34.34	30.21

Sign	Internal lighting guide sign					
	Curve and uphill road driving on the first lane			Curve and downhill road driving on the second lane		
Type	Surface	Legend	Contrast	Surface	Legend	Contrast
dis.						
22.2	84.56	249.22	164.66	96.89	254.94	158.05
44.4	89.39	254.80	165.41	104.93	252.70	147.77
88.9	93.56	254.41	160.85	109.83	252.49	142.67
133.3	92.40	253.09	160.69	109.28	253.39	144.11
177.8	87.98	250.45	162.47	112.28	248.78	136.51
222.2	100.65	242.77	142.12	122.47	251.06	128.59
266.6	115.78	242.85	127.07	133.77	250.40	116.63
311.1	129.56	239.08	109.52	137.77	249.86	112.09
355.6	135.85	236.61	100.76	136.19	246.23	110.04
400	145.00	231.70	86.69	147.16	248.99	101.83
444.4	139.84	234.08	94.23	143.00	246.35	103.35
avg.	110.42	244.46	134.04	123.05	250.47	127.42
sd.	23.29	8.40	31.32	17.25	2.80	19.58



Fig. 9. Collecting Gray Level from Surface and Pavement Markings

3.3.2 교통안내표지 디지털 이미지 분석

교통안내표지는 디지털 이미지의 RGB 값을 추출하여 $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$ 에 적용시켜, Y (Luminance) 값을 계산하여 각 5개 표지의 거리별, 주행차로별 휘도 분포 및 바탕과 글자의 휘도 대비를 비교하였다. RGB값은 바탕과 글자 각각 총 10개 지점을 측정하여 평균 RGB값을 계산한 후 휘도를 계산하였다. 따라서 총 5개 표지의 거리별 휘도 변화를 그래프로 나타내면 아래와 같으며, 각각 바탕(◆), 글자(■), 그리고 바탕과 글자의 대비(▲)를 나타낸다.

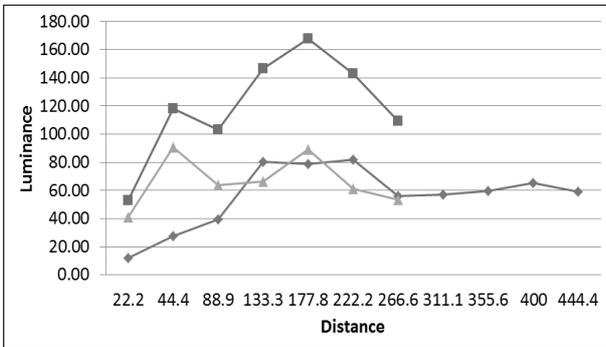


Fig. 10. Sample 1

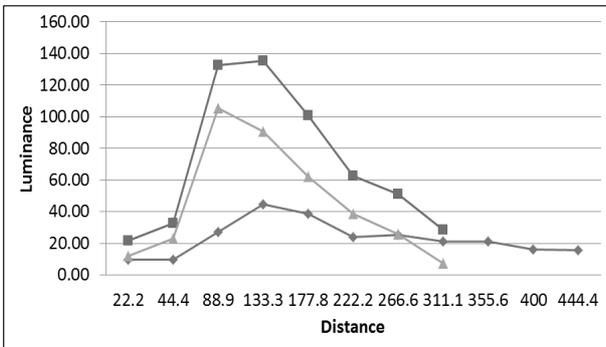


Fig. 11. Sample 2

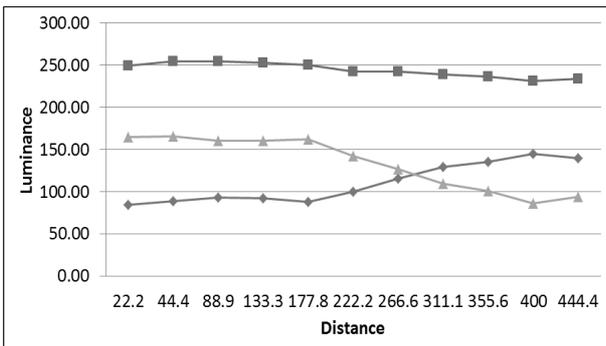


Fig. 12. Sample 3

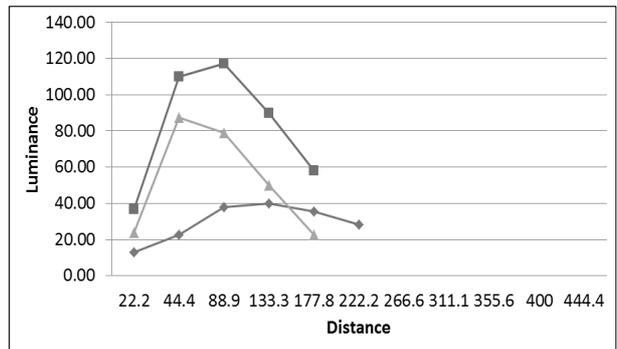


Fig. 13. Sample 4

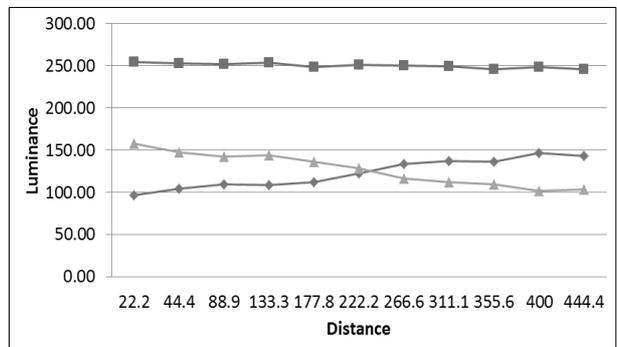


Fig. 14. Sample 5

3.4 분석결과 종합

디지털 이미지의 회색도를 이용하여 노면표시와 포장면의 휘도 대비를 측정된 결과 건조 시 노면표시의 재귀반사 성능이 건조시보다 우천 시에는 3.5배, 습윤 시에는 2배 정도 악화되는 것으로 나타났는데, 이는 우천 및 습윤 시에 노면에 얇은 수막(水膜)이 형성되어 재귀 반사되는 빛의 양과 각도에 영향을 미치기 때문이다. 이 방법론은 악천후 시 시간과 장소에 구애 받지 않으며, 대형장비를 이용하지 않고도 디지털 이미지를 이용하여 손쉽게 객관적이고 신뢰성 있는 노면표시의 재귀반사 성능을 조사하여 객관적인 결과를 제시하였다. 또한 이 방법을 통하여 측정된 노면표시의 재귀반사 성능은 육안으로 확인하는 정성적인 성능평가를 회색도 대비인 정량적인 성능평가가 가능하여 노면표시의 성능을 좀 더 신뢰성 있는 수치로 보여주고 있다. 또한, 디지털 이미지의 Y (Luminance) 값을 이용하여 거리별로 재귀반사 교통안내표지와 내부조명식 교통안내표지가 기하구조나 주행차로의 영향을 받는지 여부에 대해 판단할 수 있었다. 재귀반사 교통안내표지의 글자 및 바탕 휘도는 내리막 도로에서 약 133~222m 범위에서 가장 높은 값을 보였는데, 이는 광원의 역할을 하는 차량의 전조등이 통상 하향으로 설치되어 있기 때문에 내리막 도로의 경우에는 광량이 증가하여 재귀반사 성능이 가장 우수하다. 곡선부에서는 133~177m, 곡선부 오르막

도로에서는 88~133m 사이에서 가장 높은 값을 보였지만, 그 범위가 2~3초에 불과해 표지를 충분히 판독하기에는 부족한 시간이고, 특히 80m 이하의 범위에서는 바탕 및 글자의 휘도가 현저히 감소하여 오히려 표지를 판독하기에 적합한 거리에서 휘도 감소로 인하여 판독하기 어려운 상황이 발생하였다. 하지만, 내부조명식 교통안내표지의 휘도 값 및 휘도대비는 주행차로, 표지로부터의 거리, 기하구조의 영향을 거의 받지 않는 수준이며, 특히 글자(흰색)의 휘도 값은 다른 조건에 상관없이 거의 백색에 가까운 휘도 값을 보여주고 있다.

마지막으로 내부조명식 교통안내표지에서 바탕과 글자의 휘도 대비는 거리나 조건에 따라 94.23~164.66의 값을 가지고, 채귀반사 교통안내표지의 경우 7.28~105.33의 값을 가지므로 운전자는 바탕과 글자의 휘도 대비가 큰 집광식 조명표지를 보다 손쉽게 판독할 수 있다. 노면표시의 성능평가와 같이 디지털 이미지를 이용하여 교통안내표지의 휘도를 측정할 경우 육안으로 확인하는 정성적인 성능평가를 회색도 대비인 정량적인 성능평가가 가능하게 하고 있으며, 이는 채귀반사 교통안내표지의 성능이 제대로 발휘하지 못하여 시인성 및 판독성이 확보되지 않는 지점을 선정하는데 객관적인 자료로 이용될 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다양한 기상상황 및 기하구조 상에서 노면표시와 교통안내표지의 성능평가에 디지털 이미지를 활용하는 방법론을 검토하였다. 지금까지 대형 장비를 이용하여 정확하게 노면표시와 교통안내표시 성능을 평가하거나, 주행 중 육안으로 노면표시와 교통안내표지 성능을 정성적으로 평가하였다면, 본 연구에서 디지털 이미지를 노면표시와 교통안내표지의 성능평가에 활용할 수 있는 방법론을 제시함으로써 시간과 장소에 구애받지 않고, 주행 중 정량적이고 객관적인 평가가 가능함으로 보여주고 있다. 이처럼 디지털 이미지를 활용하여 노면표시와 교통안내표지의 현재 설치 현황과 성능평가를 실시함으로써 차후 기상 및 기하구조 특성을 고려하여 고가의 우천형 노면표시와 내부조명식 교통안내표지의 적정 설치 위치를 선정하는데 있어서 객관적인 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 하지만 본 연구에서 고속도로 약 300km 구간의 노면표시와 채귀반사 교통안내표지 3개, 내부조명식 교통안내표지 2개만을 다루고 있으므로, 향후 다양한 기상상황 및 기하구조 상에서 노면표시와 채귀반사 교통안내표지의 성능을 평가할 필요가 있다. 그리고 향후 추가적인 실험을 바탕으로 다양한 기상상황이나 기하구조에 따른 최소 휘도 기준을 제시함으로써 기존 교통안전 시설의 위치 적정성을 평가하여 효율적이고 효과적인 안전시설 운영 및 관리에 직접적으로 기여할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신-A01)과 2012년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2010-0028693)입니다.

References

Donnell, E. and Zoltan, R. (2011). "Use of digital imaging methods to assess pavement marking retroreflectivity." *TRB 90th Annual Meeting*, Washington D.C.

Fiorentin, P. (2005). "Characterization and calibration of a CCD detector for light engineering." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 54, No. 1, pp. 1087-1092.

Hagiwara, T., Kizaka, K. and Fujita, S. (2004). "Development of visibility assessment methods with digital images under foggy conditions." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1862, pp. 95-108.

Hong, D. P., Kim, J. H. and Kwon, K. H. (2002). "An experimental study for fiber-optic traffic control sign", *J. of the Traffic Safety Research*, Korea Road Traffic Authority (KoROAD), No. 21, pp. 1-19 (in Korean).

Karwa, V. and Donnell, E. (2011). "Predicting pavement marking retroreflectivity using artificial neural networks: Exploratory analysis." *J. Transp. Eng.*, ASCE, Vol. 137, No. 2, pp. 91-103.

Lee, W. S. and Chung, K. W. (2009). "A study on luminance measurement method of lightscape using DSLR." *J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 23, No. 2, pp. 10-17 (in Korean).

Mercier, C., Goodspeed, C., Simmons, C. and Paniati, J. (1995). "Evaluation of proposed minimum retroreflectivity requirements for traffic signs." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1495, pp. 57-67.

Schnell, T., Yekhshtyan, L. and Daiker, R. (2009). "Effect of luminance and text size on information acquisition time from traffic signs." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2122, pp. 52-62.

Siegmann, P., Lopez-Sastre, R., Gil-Jimenez, P., Lafuente-Arroyo, S. and Maldonado-Bascon, S. (2009). "Fundament in luminance and retroreflectivity measurements of vertical traffic signs using a color digital camera." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 57, No. 3, pp. 607-615.

Tokunaga, T., Suzuki, K., Tokunaga, R., Yorozu, N. and Asano, M. (2001). "Field study of driver's curve-detection performance in daytime and nighttime." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1779, pp. 75-85.

Woltman, H. and Szczech, T. (1989). "Sign luminance as a methodology for matching driver needs, roadway variables, and signing materials." *Transportation Research Record: Journal of the*

Transportation Research Board, No. 1213, pp. 21-26.

Zhang, Y. and Wu, D. (2006). "Development of methodologies to predict service lives of pavement marking materials." *J. of the Trans. Res. Forum*, Vol. 45, No. 3, pp. 5-18.

Zwahlen, H. (1995). "Traffic sign reading distances and times during night driving." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1495, pp. 140-146.