

고기능·장수명 차선도료의 교통사고 감소효과 분석

이명환* · 최기주** · 오인섭*** · 김정화****

Lee, Myunghwan*, Choi, Keechoo**, Oh, In Seop***, Kim, Junghwa****

Analysis of Traffic Accident Reduction Performance of High-quality and Long-life Pavement Marking Materials

ABSTRACT

Road conditions which obstruct the driver from seeing road markings, such as in the evening or in the rain, due to the lack of a light source gives way to increasing the risk of traffic accidents. In order to increase road safety, the Korea Expressway Corporation set up a pilot project which used high-quality materials along a section of the Gyeongbu Expressway between Daejeon and Pangyo. There is little research on high-quality materials in the field of pavement marking. This study introduces high-quality materials used in pavement materials, presents the results of a survey conducted to examine the effect of the pilot project and analyzes traffic accident data from before and after the implementation of the pilot project. The survey results show that 87% of the respondents were highly satisfied with the pilot project. With the goal of evaluating the effect of the pilot project, this study used traffic accident data provided by the Korea Expressway Corporation accident data and performed a before-after study of the number of traffic. The results of data analysis show that there were 62 and 48 traffic accidents before and after the implementation of the pilot project. In addition, the result of Empirical Bayes Method indicates that there is an 41.7% decrease in the number of traffic accidents as an effect of High-quality Pavement Marking Materials.

Key words : High functional marking, Long life marking, Lane marking, Pavement marking, Retroreflectivity, Road safety

초 록

광원이 없는 야간이나 비가 오는 날에 차선이 잘 보이지 않아 사고위험이 크게 증가하고 있는 가운데, 한국도로공사에서는 교통안전성을 높이기 위해 경부고속도로 판교~대전에 고기능·장수명 차선도료를 시범 적용하였다. 하지만 이러한 고기능·장수명 차선도료에 대한 실질적인 연구가 부족하였다. 본 연구에서는 고기능·장수명 차선 도료에 대한 소개 및 설문조사에 기반한 기술통계분석과 고기능·장수명 차선도료의 사용에 대한 시범 설치 구간의 사고 자료를 분석하였다. 설문조사 결과 시범적용에 대한 긍정적인 응답이 87%이상으로 높은 만족도를 보였다. 사고 자료 분석은 한국도로공사 교통사고속보자료를 활용하였으며 효과를 평가하기 위한 목적으로 단순사고건수 비교방법과 경험적 베이스 방법을 사용했다. 단순사고건수 분석 결과, 설치 전 62건에서 설치 후 48건으로 사고 감소 효과의 증진이 있는 것으로 확인되었다. 또한 경험적 베이스 방법 분석 결과, 약 41.7%의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

검색어 : 고기능 도색, 장수명 도색, 차선도색, 노면표시, 재귀반사, 도로안전

* 정회원 · 아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (Ajou University · leemh7@ajou.ac.kr)

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

*** 한국도로공사 도로사업처 부장 (Korea Expressway Corporation · oheunse@ex.co.kr)

**** 정회원 · 교신저자 · 아주대학교 TOD 도시교통연구센터 연구교수 (Corresponding Author · Ajou University · dungwa85@ajou.ac.kr)

Received May 28, 2015/ revised June 2, 2015/ accepted June 30, 2015

1. 서론

1.1 연구의 배경

도로의 질적 요소 중 교통안전 측면에서 국내 교통안전 수준은 인구 10만명당 교통사고 사망자수를 기준으로 OECD 30개 국가 중 28위로 최하위 수준이며 이로 인한 도로에서 교통사고 사회적 비용은 연간 총 23조 5,900억원(2012년 기준)으로, 이는 우리나라 연간 GDP의 1.9%, 국가 총예산의 10.6% 수준이다. 또한 도로교통 사고로 총 178만 2996명의 사상자(2012년 기준)가 발생하였으며, 이를 시간별 손실비용으로 환산해 보면 매 18초마다 교통사고로 1명이 죽거나 부상당하고 있으며, 그로 인해 약 767만원의 사회적 비용이 발생하고 있는 실정이다. 전체 교통사고 사망자 중 야간 사망자 수가 주간에 비해 약 1.2배 수준으로, 차대사람 사망사고의 경우 야간의 치사율이 약 1.7배 높고, 과속 사망사고의 경우 야간의 치사율이 약 2.2배 높는데, 야간 교통사고의 주 원인은 야간에 도로교통 시설물에 대한 시인성 악화로 도로의 상황 예측정보 제공량이 극히 낮아져 운전자의 사전인지 반응 작용이 늦어지기 때문이며, 최근 이러한 시인성 확보 문제는 도로의 주행차로를 구분하면서 교통안전 운행을 지원하는 차선표시 부분에서 사회적 이슈가 되고 있다. 차선표시는 도색 후 일정기간이 경과한 후에는 달리는 차량의 타이어나 제설차량 등에 의해 도로 자체의 마모 손실과 재귀반사 기능을 부여하는 글래스 비드)의 마모 및 탈리에 의한 품질 저하가 주요 문제이다. 비가 오는 날에도 자동차를 운전하는 운전자들의 시야가 확보되지 않아 사고위험이 크게 증가하여 교통사고가 맑은 날 보다도 몇 배 발생하게 되는데, 미국 연방도로청(FHWA: Federal Highway Administration)의 연구에 따르면 우천시 또는 도로의 표면이 젖어 있는 경우의 사고발생률이 건조 시에 비해 약 3배로 나타난다고 한다. 그러나 아직까지 우천시 야간 교통사고를 줄이기 위한 차선도색 측면에서의 시인성 향상을 위한 연구는 미비하고, 대부분 일부 중소기업 위주로 내구성 강화를 위한 도료와 고휘도 비드 개발에 제한적으로 진행되고 있는 실정이다



Fig. 1. Before and After the Implementation of the Pilot Project

- 1) 광원으로부터 온 빛이 물체의 표면에서 반사되어 다시 광원으로 돌아가는 반사인 재귀반사를 도로상에서 재현하기 위해 반사체의 재료를 유리로 제작하는 경우임

때문에 시인성 향상 및 내구성 강화를 위한 차선도색 개발이 필요하며, 특히 차선의 식별이 어려운 야간 및 악천후시에도 시인성이 확보되는 고기능성·장수명 차선도색 기술 개발이 시급한 실정이다.

이에 따라 한국도로공사에서는 운전자들의 안전운전을 돕기 위해 2014년 12월에 경부선 판교에서 대전까지 교통량이 많은 다차로(6차로 이상)구간에 고기능·장수명 도료(45종)를 적용, 운영해오고 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 차선도색의 기존 연구와 관련 이론 등을 고찰하고, 야간 우천형 Bead와 고기능·장수명 도료의 시범설치 사례를 소개하고자 한다. 또한 기 운영 중인 고속도로 구간의 이용자 및 전문가 설문조사와 사고자료를 분석하여 고기능·장수명 차선도색 확대 설치에 대한 필요성을 제기하고자 한다.

2. 관련 이론 및 문헌고찰

2.1 차선 인식의 원리(재귀반사)

차선은 주간뿐만 아니라 야간에도 동일한 시인성을 유지해야 하지만 햇빛이 있는 주간에 반해 야간에는 가로등 불빛 일부와 차량의 전조등 불빛 말고는 다른 광원이 없기 때문에 주간과 비슷한 시인성을 확보하기 힘들다. 때문에 차선 도료의 표면에 글래스 비드라는 Bead를 살포함으로써 전조등의 빛을 재귀반사하여 운전자에게 시인성을 확보해주고 있다. 하지만 둥근 Bead인 글래스 비드 특성상 접촉에 한계가 있어 잦은 차로변경, 많은 교통량 등에 의해 탈락되기 쉬우며 이로 인해 야간 혹은 우천시에는 차선이 잘 보이지 않게 된다.

재귀반사의 성능은 차량의 전조등에서 노면표시 방향으로 입사된 광선(lux)에 의하여 노면표시의 단위면적(m²)당 되반사되는 밝기(mcd), 즉 재귀반사명시도를 측정하여 성능을 파악하는데, 차선반사도 측정은 ASTM(American Society Testing and Materials)에서 정의한 mcd/m²·lux로 표현된다. 재귀반사명시도가 낮을수록 잘 안 보이게 되고, 높을수록 시인성이 높아지게 된다.

2.2 기존 연구 고찰

Oh(2007)은 전국의 시간적, 공간적으로 샘플링된 차선반사도 데이터베이스 자료를 이용하여 차선 반사도 성능의 영향변수별 특성에 대하여 연구하였다. 현재 인간공학적인 허용치에 대하여 고속도로의 경우 백색, 황색에 대하여 각각 110, 90mcd/m²·lux으로 정해져 있으나 관찰된 결과는 인간공학적인 허용치를 균일하게 만족시키지 않는 것으로 나타났다. 영향변수인 12개월 변화, 일평균교통량에 따라 그리고 가열형, 내마모성, 변성이크릴, 수용성, 용착성과

같이 재료별로 인간공학적 최소치와 차이가 있음이 관측되었다.

Lee(2012)는 다양한 비율로 혼합된 bead를 국내 고속도로의 길가장자리선에 설치하였을 때 발생하는 각각의 비용 및 편익에 따른 경제성 분석을 수행하였다. 다양한 강수량 변화에도 높은 시인성을 유지하는 대안은 굴절률 2.4가 100% 구성된 차선으로 나타났으며, 경제성이 가장 높게 확보되는 대안은 굴절률 1.5가 80%, 2.4가 20%로 구성된 차선으로 B/C는 약 1.92 수준으로 도출되어 국내 고속도로 길가장자리선의 적용 시 가장 효과적인 대안인 것으로 확인되었다.

Carson(2005)은 노면표시 재귀반사 실험을 실내의 실외로 구분하여 수행하였다. 도로 경사 2%시 수평상태에 비해 재귀반사율이 20% 증가하고 경사도 4%시 수평 상태에 비해 재귀반사율이 50% 이상 증가하는 것으로 연구되어, 지형에 따른 설치기준의 차이가 필요함을 도출하였다.

Gibbons(2007)는 노면표시 방식에 따른 시인거리를 측정하였다. 주변 불빛, 도로 포장 종류, 차량 종류를 구분하여 주행 중 시인거리를 측정결과, 테이프식, Thermoplastic, 대구경 bead 페인트식, 일반 bead 페인트식 순으로 먼 곳에서 노면표시 인식이 가능한 것으로 나타났다. 또한 외부 조명이 존재할 때 콘크리트 포장일 때 운전자의 눈높이가 높을 때 시인거리가 증가하였으며, 시인거리 확보를 위한 적정 수준의 재귀반사율은 200mcd/m²·lux 인 것으로 분석되었다.

Donnel(2009)은 차차로 고속도로에서 백색길 가장자리선의 시인성 개선을 연구하였는데, 재귀반사율 50mcd/m²·lux개선 시마다 사고율이 약 18%씩 감소하는 것으로 추정하였다.

기존 연구문헌 검토 결과 현재 많은 도로가 기준에 못미침을 알 수 있으며 시인성이 높아질수록 사고율이 감소함을 알 수 있다. 또한 대부분 비드와 노면표시 형태에 따른 차선의 재귀반사도를 높이는 방향으로 연구가 진행되어 왔으며, 차선도색의 고성능·장수명을 위한 품질확보 측면의 고기능·장수명 도료를 도입한 사례는 거의 없는 실정임을 알 수 있다.

2.3 관련 기준 고찰

현재 사용 중인 노면표시 도료는 시공법에 따라 5가지 종류로 구분한다. 크게 상온식, 가열식, 용착식으로 나뉘는데, 상온식은 도막의 주요소인 합성수지와 부요소인 건조제에 안료 및 조약소(희석제)를 섞어 상온에서 노면에 바른다. 시공의 안정성을 의미하는 고착력, 변색의 정도인 내후성 및 시공성은 좋으나 교통류의 흐름을 방해하는 단점이 있다.

가열식은 도료를 가열(50~70°C)해서 점도를 낮추어 노면에 분사하여 도착하는 것으로, 야간 반사성능, 내후성, 시공의 신속성 등에서 매우 큰 장점을 갖고 있으나 환경오염과 표시 종별 적용성이 작다.

Table 1. Pavement Marking Standards

Item	White	Orange	Rainy weather		
			White	Orange	
Korean National Police Agency [2012] (Local Road)	240	150	100	70	
Seoul City [2014]	240	150	70	40	
MOLIT [2010] (National Road)	250	175	-	-	
Korea Expressway Corporation [2012] (Expressway)	250	175	250	175	
America	ASTM	250	175	-	-
	Kansas	250	175	-	-
	Alabama	350	275	-	-
Committee European de Normalisation (CEN)	100~300	80~200	-	-	

Table 2. Type of Paint

Type	Paint
Type 1	Room temperature curable paint
Type 2	Waterborne paint
Type 3	Hot spray type paint
Type 4	Adhesive paint
Type 5	Cold plastic paint

용착식은 안료, 체질재 및 반사재로 이루어지는 고체구성과 합성수지로 이루어지는 결합제를 조합한 열가역성 혼합물이다. 상온식 및 가열식과 달리 용제 또는 희석제를 포함하지 않기 때문에 빨리 건조된다. 노면의 고착은 열가역성 혼합물인 도료를 가열(200°C)해서 유동상태로 만들어 이것을 노면에 도포한다. 건조속도가 빠르고 야간 반사성능, 내마모성, 시공속도 등의 시공편의성이 좋지만 포장면 종류나 도로의 균열 등의 조건에 따라 고착력에서 차이가 크다는 단점이 있다. 현재 우리나라는 상온식과 가열식의 시공법이 용착식과 상온 경화식에 비해 보편적으로 쓰이고 있다.

한편 국내에서는 도로 등급에 따라 경찰청, 국토해양부, 한국도로공사에서 각각 다른 기준을 제정해 시행하고 있으며, 그 중 한국도로공사의 고속도로 기준이 국내에서는 가장 높은 수준을 요구하고 있다. 또한 해외에 비해 기준이 낮음을 알 수 있다.

3. 고기능·장수명 차선도로 도입 효과 분석

최근 한국도로공사는 운전자들의 안전운전을 돕기 위해 밝고 오래가는 고기능·장수명 차선도료를 도입했다. 경부선 판교부터 대전까지 연장 137km에 해당하는 구간에 설치했으며, 교통량이

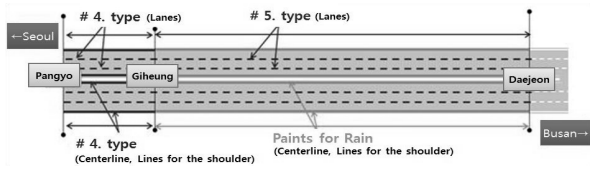


Fig. 2. Study Site

Fig. 3. Survey Format

많은 다차로(6차로 이상)구간에 고기능·장수명 도로(4·5종)를 적용했다. 그중 판교에서 기흥까지는 중앙선, 갓길선, 차로구분선 모두 4종(음착식)을 기흥에서 대전까지는 중앙선, 갓길선은 우천형 (5종 + 우천형 Bead 40vol%이상(전체 도로 무게 중 Bead의 무게가 40%이상)), 차로구분선은 5종을 적용하였다. 이에 따라 차선 밝기가 240mcd/m²·lux에서 420mcd/m²·lux로 1.75배 증가했으며, 내구성능은 2배 증가했다.

3.1 정성적 분석(설문조사)

3.1.1 고기능·장수명 차선도입 설문 개요

2014년 12월 16일부터 19일까지 일반이용객 중 해당 구간의 야간 운전자 1,400명을 대상으로 개별면담 설문을 실시했으며 경찰청 1명, 교수 4명, 교통안전공단 2명, 도로교통공단 1명, 한국교통연구원 1명으로 구성된 전문가 15명을 대상으로 현장실사를 통해 설문 및 자문을 실시하였다.

설문조사 항목은 야간 시인성 만족도, 개선차선 확대적용, 기존 차선대비 시인성 개선으로 3가지 항목이었으며, 야간시인성 만족도와 기존차선대비 시인성 개선 설문은 1점(매우 불만족), 3점(보통), 5점(매우 만족)까지 리커트 척도로, 개선차선 확대적용 설문은 찬성, 반대로 응답하도록 구성되었다.

3.1.2 고기능·장수명 차선도입 설문 결과

설문조사 결과를 요약해보면 고기능·장수명 차선도로 시범적

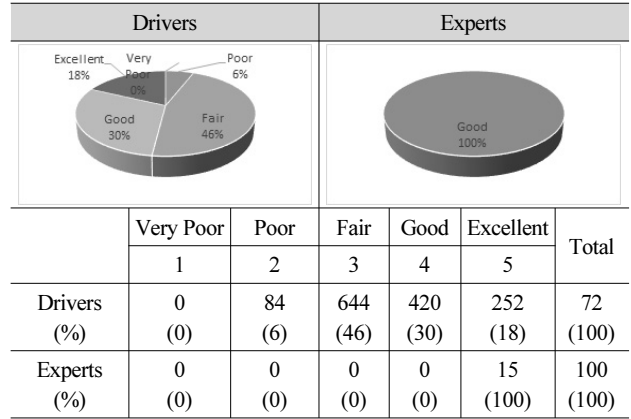


Fig. 4. Survey Results of Satisfaction with Visibility of Lanes (Compared to the Previous Lanes)

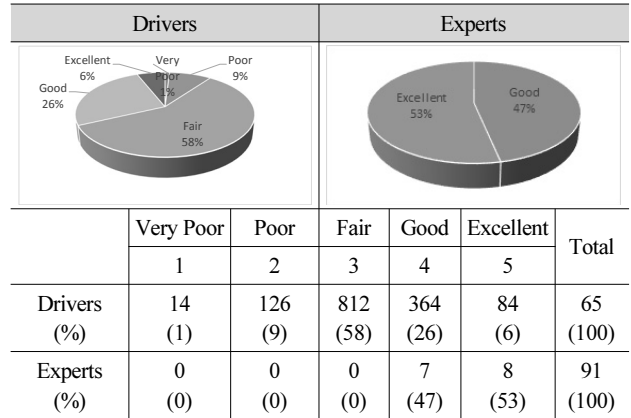


Fig. 5. Survey Results of Satisfaction with Visibility of Lanes at Night

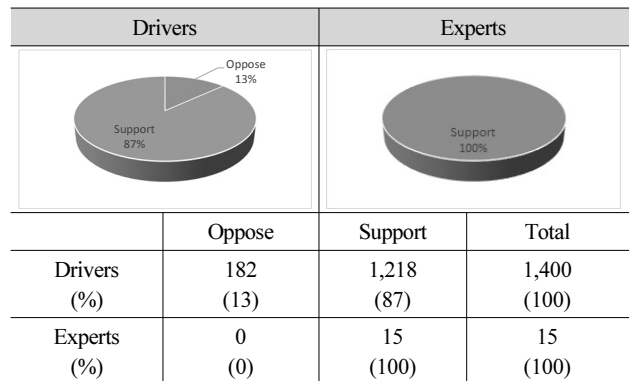


Fig. 6. Survey Results of Whether the Improved Lanes Should be Further Applied

용에 대한 긍정적인 응답이 일반이용객 87%, 전문가 100%에 근접하는 상당히 높은 수준으로 나타났다. 그리고 기존차선대비 시인성 개선에 대해서는 전문가들은 100%인식하고 있지만 일반이용객은 50%수준으로서 홍보 등을 통한 인식도 제고가 필요함을

알 수 있었다.

또한 전문가들은 4·5종(우천형) 도로가 기존 도로 대비 야간 운전시 시인성 향상에 도움이 되며, 고기능·장수명 도로의 현장내 구성을 검증한 이후 도색주기를 결정하는 것이 필요하다는 의견이 있었다. 그리고 비용이 좀 더 소요되더라도 투자와 유지는 계속되어야 한다고 강조하였다.

4·5종(우천형) 도로의 기존 차선대비 시인성 개선에 관해 일반이용객은 72점으로 48%가 개선되었다고 응답하였고, 전문가는 모두 매우 개선된 것으로 응답하였다.

야간 시인성 만족도 점수는 일반이용객이 65점으로 32%만이 만족하는 것으로 응답한 반면, 전문가는 91점으로 전부 만족하는 것으로 응답하였다. 또한 고기능·장수명 차선도로 도입의 확대 적용에 관해 일반이용객은 87%, 전문가는 100% 동의 하였다.

3.2 정량적 분석(단순비교 평가)

선행연구를 통해 시인성과 사고율, 도로 차선 밝기의 중요성을 고찰하였으며, 고기능·장수명 도로 도입에 따른 이용자들의 체감 효과를 제시하였다.

고기능·장수명 차선도로가 적용된 구간을 대상으로 해당 구간에 대한 교통사고를 수집·비교·분석함으로써, 고기능·장수명 차선도로 도입으로 인한 교통사고 감소 효과를 계량적으로 제시하고자 한다.

3.2.1 사고자료 개요

고기능·장수명 차선도로 도입 시기는 2014년 10월말로 도입 직후인 6개월(14년 11월~15년 4월)의 자료와 전년도 동기간인 2012년 11월~13년 4월을 분석 대상으로 선정하였다.

우선 2013년 하반기 및 2014년 하반기에 경부 고속도로에서 발생한 사고발생자료를 수집하여 분석대상구간인 판교에서 대전까지에서 발생한 사고 자료를 추출하였으며, 교통사고 효과분석 방법으로 단순사고건수 비교 방법을 활용하여 사고감소 계수를 도출하였다.

3.2.2 교통사고 분석 방법

단순사고건수 비교방법은 동일지점 혹은 구간의 개선효과를 사업 전과 후의 사고건수로 단순 비교하는 방법으로써 현재 도로교통공단에서 「교통사고 잦은 곳 개선사업」에 사용되고 있으며, 도로안전성을 평가하는데 실질적으로 널리 사용되어지는 방법이다. 반면, 교통 사고변화의 시계열적 추세나 도로선형 등과 같은 외부변화 요인을 고려하지 못하는 한계를 지니고 있다.

본 연구에서는 보다 정밀한 분석을 수행하기 위해 구간 교통량, 구간거리, 도로선형 등의 외부변화요인을 검토하였으며, 시간적범

위가 1년으로 짧은 구간거리 및 차로수 등의 기하구조 변동은 없었으나, 구간별 교통량의 차이가 확인되었다. 그러나 이러한 교통량의 차이는 청원IC-청원JCT, 오산IC-동탄JCT, 수원IC-신갈JCT의 3개 구간을 제외하고는 모두 3%미만으로 분석되었다.

또한, 교통사고 발생 지점 차이와 교통량 변동을 고려하기 위해 구간별 10만 대당 사고 건수를 도출하였고, 이를 단순사고건수 비교방법으로 사고감소 계수를 산정하였다.

3.2.3 단순비교 평가 결과

고기능·장수명 차선도로를 적용한 구간을 대상으로 설치 전·후 사고데이터를 비교한 결과 중앙선, 갓길선, 차로구분선 모두 4종(육착식)을 적용한 판교~기흥은 10만대당 사고 건수 기준 8.6건에서 3.5건으로 58.7%의 감소 효과가, 중앙선, 갓길선은 우천형(5종 + 우천형 Bead 40vol%이상), 차로구분선은 5종을 적용한 기흥~대전은 39.3건에서 40건으로 약 1.6%의 증가효과가 있는 것으로 확인되었다.

단순 건수 비교만으로는 4·5종 모두 사고 감소 효과가 있는 것으로 보이나, 구간별 10만대당 사고 건수로 환산한 수치는 오히려 증가함을 알 수 있다. 이를 바탕으로 5종보다는 4종이 더욱 효과적임을 알 수 있다.

Table 3. Comparison of Traffic Volumes by Section

Route	ADT		Rate of Change(%)
	2013	2014	
Biryong JC~Daejeon IC	70,233	71,730	2.1
Daejeon IC~Hoedeok JC	82,745	83,212	0.6
Hoedeok JC~Sintanjin IC	92,908	95,032	2.3
Sintanjin IC~Chungwon IC	106,450	108,029	1.5
Chungwon IC~Chungwon JC	106,515	95,352	-10.5
Chungwon JC~Nami JC	130,291	129,467	-0.6
Nami JC~Cheongju IC	71,140	72,676	2.2
Cheongju IC~Mokcheon IC	82,667	84,162	1.8
Mokcheon IC~Cheonan JC	81,705	82,281	0.7
Cheonan JC~Cheonan IC	146,490	148,209	1.2
Cheonan IC~N.Cheonan IC	159,906	163,833	2.5
N.Cheonan IC~Anseong IC	156,453	159,620	2.0
Anseong IC~Anseong JC	160,425	165,287	3.0
Anseong JC~Osan IC	158,236	157,284	-0.6
Osan IC~Dongtan JC	158,078	173,910	10.0
Dongtan JC~Giheung IC	162,163	167,307	3.2
Giheung IC~Suwon IC	194,053	199,657	2.9
Suwon IC~Singal JC	205,669	190,134	-7.6
Singal JC~Pangyo JC	206,090	206,736	0.3

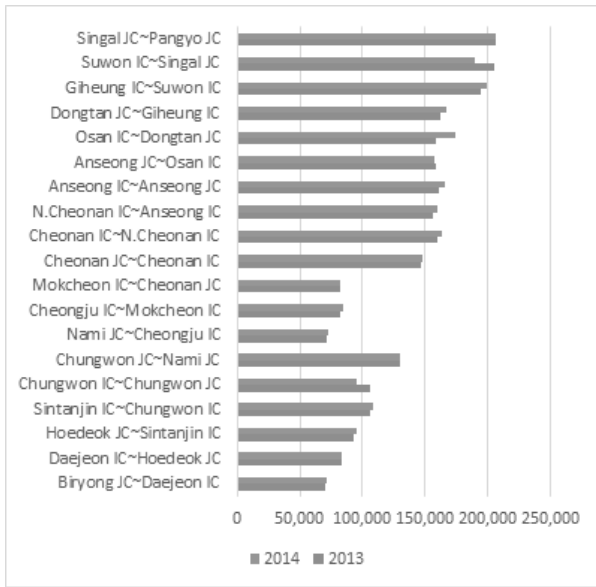


Fig. 7. Comparison of Traffic Volumes by Section

Table 4. Number of Traffic Accidents

	Number of traffic accidents		Adjust number of traffic accidents		Change in the number of traffic accidents		
	Before	After	Before	After	ARF	(%)	
Total	62	48	47.9	43.5	0.09	9.2	
4	Pangyo JC~Giheung IC	17	7	8.6	3.5	0.59	58.7
5	Giheung IC~Daejeon IC	45	41	39.3	40.0	-0.02	-1.6

3.3 정량적 분석(경험적 베이즈 평가)

3.3.1 방법론 고찰

앞서 수행한 단순비교 평가에서 고기능·장수명 차선도로의 교통사고 감소효과를 확인하였지만 보다 계량화적인 효과 산출을 위해 Abbess(1981)에 의해 처음 제안된 경험적 베이즈 방법(before-after study with empirical bayes method, EB 방법)을 통한 분석을 추가적으로 수행하였다.

Mun(2012)는 그의 연구에서 EB 방법이 대상구간에 대응하는 비교그룹을 교통량, 통행특성 및 기하구조 등에서 유사한 속성을 가진 개체군 그룹을 선정한다는 점에서 비교그룹에 의한 사전사후 평가법과 같으나 비교그룹의 개체군이 가진 속성(교통량 F_i , 구간 길이 L_i 등)자료를 모형에 의해 반영한다는 점에서 비교그룹평가

법과 구별된다고 언급하고 있다. 또한, 교통사고는 통계적으로 독립적인 확률사건이므로 Eqs. (2) and (3)과 같이 음이항분포를 가정한 모형을 적용해야 한다.

$$E[k|K] = \alpha E[k] + (1 - \alpha)K \quad (1)$$

$$E[k] = \mu_i = \alpha_0 L_i^{\beta_1} F_i^{\beta_2} \quad (2)$$

$$\ln(\mu_i) = \ln(\alpha_0) + \beta_1 \ln(L_i) + \beta_2 \ln(F_i) \quad (3)$$

여기서, $E[k|K]$ 는 K건의 이력사고에 대한 기대사고건수 k 의 추정치, $E[k]$ 는 고기능·장수명 차선도로 적용 전의 사고예측 모형에 의한 기대사고건수 k , α 는 가중치로서 0에서 1사이의 값을 가지며 Eq. (4)에 의해 산출된다. 여기서 $Var(k)$, $E(k)$ 은 고기능·장수명 차선도로 적용 전의 교통사고 실측치 K 의 평균과 분산이다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{VAR(k)}{E(k)}} \quad (4)$$

Eq. (1)에 의해 대상노선의 고기능·장수명 차선도로 적용을 통한 기대사고건수 $E[k|K]$ 가 추정되면 이 값을 활용하여 계량적인 개선효과를 평가한다. 사전사후평가의 연구시에는 동일한 분석 기간과 동일한 교통 환경이 고려되어야 하며, 분석기간은 각 6개월로 동일하나, 대상구간의 일교통량(AADT)에는 분석시점에 따라 차이가 있었으므로 본 연구에서는 이에 대해 아래와 같이 보정계수를 고려하였다.

$$Adj_i = \frac{AADT_{after,i}}{AADT_{before,i}} \quad (5)$$

Adj_i 는 IC로 구분되는 구간 i 의 AADT간의 사전사후 비율 값이며, 이는 구간 i 의 기대사고건수 $E[k|K]_i$ 에 적용되어 교통량 차이로 인한 산출 값의 오차가 보정된다. 따라서 고기능·장수명 차선도로가 적용된 사후기간(2014년 11월-2015년 4월)의 관측된 AADT 및 교통환경에 기반한 기대사고건수 π_i 는 Eq. (6)과 같이 표현되어 질 수 있다. 또한 구간 i 에서 고기능·장수명 차선도로의 적용 후 실측된 사고건수를 K_i 로 정의한다면, 교통사고 발생량 감소에 고기능·장수명 차선도로가 미치는 영향 θ_i 는 Eq. (7)에 의해, 그 효과지수는 Eq. (8)에 의해 산출된다.

$$\pi_i = E[k|K]_i Adj_i \quad (6)$$

$$\theta_i = \frac{K_i}{\pi_i} \quad (7)$$

$$E_i = 100 * (\theta_i - 1) \quad (8)$$

3.3.2 경험적 베이저안 평가 결과

경부고속도로 판교Jct에서 대전IC까지 IC기준의 총 19개 구간을 분석대상으로 선정하였으며, 모형구축을 위해 구간별 교통량과, 구간 연장을 설명변수로 고려하였다.

사전분석기간의 교통사고 발생건수의 평균과 분산 $Var(k)$, $E(k)$ 에 의해 α 는 0.222로 산출되었다. 고려된 설명변수인 일평균 교통량 F_i 와 구간연장 L_i 를 고려하여 모형의 기본식은 Eq. (9)과 같으며, 통계프로그램 STATA 13.0을 이용하여 모형을 구축하였다.

$$E[k] = \mu_i = \alpha_0 L_i^{\beta_1} F_i^{\beta_2} \quad (9)$$

$$\ln(\mu_i) = \ln(\alpha_0) + \beta_1 \ln(L_i) + \beta_2 \ln(F_i)$$

사전분석기간에서 교통사고가 발생하지 않은 3개의 구간(비룡 JCT-대전IC, 청원JCT-남이JCT-청주IC)을 제외한 16개 구간을 대상으로 최대우도법(MLE)기반의 모형을 구축하였으며, 추정된 결과는 Table 6과 같다.

상수 및 2개의 독립변수에 대해 추정된 계수값이 신뢰수준 5% 미만으로 도출되었으며, 우도값, AIC, BIC 값 모두 유의한 것으로 나타났으므로 추정된 모형의 적합도는 매우 뛰어난 것으로 판단된다.

구축된 모형을 통해 도출된 고기능·장수명 차선도료의 효과평가 결과는 Table 7 and 8과 같다. 이와 같이 EB 방법으로 고고기능·장수명 차선도료가 교통사고 발생량 저감에 미치는 영향을 계량학적으로

Table 5. Comparison of Traffic Volumes by Section

Item	Contents
Links	Pangyo Jct~Daejeon IC (total 20 segments)
Time Period (before)	Nov. 2013~Apr. 2014 (6 months)
Time Period (after)	Nov. 2014~Apr. 2015 (6 months)
Independent Variables	AADT, Length(km)

Table 6. Results of Estimated Model

Coefficient		St.D	z	p-value
α_0	-9.315394	3.850782	-2.42	0.016
β_1	1.268571	0.1726459	7.38	0.000
β_2	0.6634364	0.3228192	2.06	0.040
LL(0)	-20.540728	LL(full)	-8.4777024	
AIC	25.29349	BIC	29.15644	

Table 7. Comparison of Traffic Volumes by Section

Link i	L_i	Adj_i	$\ln(\mu_i)$	$E[k]_i$	$E[k K]_i$	π_i	θ_i
Biryong JC~Daejeon IC	3.6	1.030	-0.259	0.772	0.949	0.978	1.022
Daejeon IC~Hoedeok JC	5.9	1.018	0.462	1.588	0.353	0.359	0.000
Hoedeok JC~Sintanjin IC	4.1	1.029	0.085	1.089	1.020	1.049	0.953
Sintanjin IC~Chungwon IC	11.1	1.018	1.431	4.181	4.818	4.904	1.020
Chungwon IC~Chungwon JC	3.5	0.897	-0.116	0.890	0.198	0.177	0.000
Chungwon JC~Nami JC	3.9	1.007	0.227	1.255	1.835	1.847	1.083
Nami JC~Cheongju IC	4.6	1.038	0.054	1.055	0.234	0.243	0.000
Cheongju IC~Mokcheon IC	24.8	1.027	2.285	9.824	16.963	17.428	1.090
Mokcheon IC~Cheonan JC	3.5	1.016	-0.214	0.807	0.957	0.972	1.029
Cheonan JC~Cheonan IC	6.7	1.026	0.997	2.709	1.379	1.416	0.706
Cheonan IC~N.Cheonan IC	8.4	1.042	1.347	3.845	3.188	3.321	0.903
N.Cheonan IC~Anseong IC	11.6	1.035	1.742	5.710	5.158	5.336	0.937
Anseong IC~Anseong JC	4.8	1.046	0.646	1.908	0.424	0.443	0.000
Anseong JC~Osan IC	13.3	0.990	1.906	6.726	3.827	3.787	0.792
Osan IC~Dongtan JC	3.9	1.094	0.413	1.511	0.336	0.367	0.000
Dongtan JC~Giheung IC	5.1	1.027	0.731	2.077	0.461	0.473	0.000
Giheung IC~Suwon IC	5.1	1.031	0.852	2.343	1.298	1.339	0.747
Suwon IC~Singal JC	2.7	0.932	0.016	1.016	0.226	0.210	0.000
Singal JC~Pangyo JC	13.1	1.024	2.081	8.016	4.892	5.011	0.798

Table 8. Results of Estimated Model

Effect Index	Total	4	5
		Pangyo JC~Giheung IC	Giheung IC~Daejeon IC
Average θ_i	0.583	0.515	0.596
E	-41.68%	-48.50%	-40.40%

산출하였으며, 분석 대상구간 전체를 평가했을 때 약 41.7%의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 4종 도료가 적용된 판교Jct-기흥IC구간은 5종 도료가 적용된 기흥IC-대전IC 구간의 40.4%보다 약 8%가 높은 48.5%의 감소효과를 보이고 있으며, 이는 앞장의 단순비교 평가결과와 동일한 결과로 5종보다는 4종이 교통사고 발생량 감소에 더욱 효과적이라고 판단할 수 있겠다.

4. 결론 및 향후 연구과제

Bead는 차량의 전조등 불빛을 운전자에게 재귀반사하여 노면표시의 시인성을 높여주는 역할을 한다. 하지만 야간 및 우천시에는 제기능을 하지 못해 시인성이 떨어진다. 둥근 구형으로 생긴 Bead 특성상 차선에서 이탈되었거나, 비가 와 표면에 수막이 형성되었기 때문이다. 이러한 시인성 악화는 야간에 운전자에게 도로 상황을 예측할 수 있는 정보 제공량이 낮아지게 되고 사전에 대처할 수 있는 시간도 적어지게 해 결국 교통사고의 위험을 키우게 된다.

이에 본 연구에서는 한국도로공사에서 최근에 설치한 고기능·장수명 차선도료(4종, 5종+우천형)에 대해 소개함과 동시에 사고 자료를 분석하여 야간 및 악천후시 차선의 시인성 향상을 위한 기존 차선도색의 문제점을 개선할 수 있는 신 차선도색 기술에 대한 필요성을 제기하고자 하였다.

일반 이용객 1,400명, 전문가 15명을 대상으로 한 설문조사 결과를 요약해보면 고기능·장수명 차선도료 시범적용에 대한 긍정적인 응답이 일반이용객 87%, 전문가 100%에 근접하는 상당히 높은 수준으로 나타났으며 4·5종(우천형) 도료에 관해 야간시인성 만족도는 일반이용객은 90%(만족32%, 보통58%)로 대체로 긍정적인 것으로 나타났으며 전문가들은 만족100%로 응답하였다.

정량적 분석으로 단순 사고건수를 비교했을 때 62건에서 48건으로, 10만대당 환산사고건수를 비교해보았을때도 설치전 47.9건에서 설치후 43.5건으로 사고 감소 효과가 있는 것으로 확인되었다.

경험적 베이스 방법 분석으로 대상구간 전체를 평가했을 때 약 41.7%의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 4종 도료가 적용된 판교Jct-기흥IC구간은 5종 도료가 적용된 기흥IC-대전IC 구간의 40.4%보다 약 8%가 높은 48.5%의 감소효과를 보여 5종보다는 4종이 교통사고 발생량 감소에 더욱 효과적이라고

판단할 수 있겠다.

연구의 한계점으로는 아직 고기능·장수명 도료를 사용하여 차선도색한 구간이 많지않고 설치를 시작한 후 오랜 기간이 경과하지 않아 충분한 사고 데이터를 확보할 수 없는 점이다.

최근 한국도로공사는 고속도로 운전자들의 안전운전을 돕기 위해 올해 차선도색 예산을 예년보다 2배 가까이 늘려 중앙차선과 갓길차선에는 우천형 Bead가 혼합된 기능성 도료를 사용해 물기가 있어도 Bead가 불빛에 반사돼 야간 빗길에서도 차선이 잘 보이게 할 계획을 발표했다. 경부고속도로 대전~옥천 구간, 영동-영천 구간 등 대전 이남 196km와 서울외곽순환도로 일산~퇴계원 구간 92km, 서해안고속도로 안산~당진 구간 71km, 영동고속도로 서창-여주 구간 88km 등 전국 고속도로 578km 구간의 중앙차선과 갓길차선이 이른바 하이 라인²⁾으로 교체된다.

향후 야간 및 악천 후시에도 시인성이 확보되는 고기능·장수명 차선도색 설치가 더욱 확대되어 도로의 이미지 개선과 도로교통 안전성에 대한 신뢰를 높여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(14CTAP-C078004-01)과 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원에 의해 수행되었습니다(NRF-2010-0028693) (NRF-2014R1A1A3052320).

References

Abbess, C., Jarret, D. and Wright, C. C. (1981). Accidents at blackspots: estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the "regression-to-the-mean" effect. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 22, No. 10, pp. 535-542.

Chris, D. and Paul, C. (2007). Updates to Research on Recommended Minimum Levels for Pavement Marking Retroreflectivity to Meet Driver Night Visibility Needs, Publication No. FHWA-HRT-07-059 OCTOB, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Eric, T. D., Vishesh, K. and Sudhakar, S. (2009). "Analysis of effects of pavement marking retroreflectivity on traffic crash frequency on highways in north carolina."

KNPA (Korean National Police Agency) (2012). Traffic Signal Setting & Management Manual (in Korean).

Korea Road Traffic Authority (2011). Statistical analysis for traffic accidents (in Korean).

Lee, C. G., Lee, H. S. and Oh, H. U. (2012). "High performance glass beads for traffic marking in wet weather." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 9-16 (in

2) 도로공사가 명명한 고기능·장수명 도료를 사용한 차선

- Korean).
- Lee, C. G., Park, J. H. and Oh, H. U. (2011). "Abrasion-resistant road markings for improved durability lane to wear simulators test." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 13, No. 3, pp. 75-82 (in Korean).
- Lee, S. K., Lee, S. H. and Choi, K. C. (2012). "Optimal mixtures of roadway pavement marking beads under various weather conditions." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp. 131-140 (in Korean).
- Mar, S., Reginald, R. Souleyrette, Daniel J. Ormand, Neal Hawkins (2008), "Pavement marking retroreflectivity: Analysis of Safety Effectiveness."
- Mun, S. R. (2012). "Evaluation of road safety audit on existing freeway by empirical bayes method." *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 117-129 (in Korean).
- Oh, H. U. (2007). "Retroreflectivity performance characteristics under environmental roadway conditions based on influencing factors." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 3D, pp. 289-295 (in Korean).
- Park, B. H., Yoo, D. S., Yang, J. M. and Lee, Y. M. (2008a). "Analysis of accident characteristics and development of accident models in the signalized intersections of cheongju and cheongwon." *Journal Korean Soc. Transp., Korean Society of Transportation*, Vol. 26, No. 2, pp. 35-46 (in Korean).
- Paul, J. Carlson, Jeffrey D. Miles, Michael P. Pratt, and Adam M. Pike (2005). "Evaluation of wet-weather pavement markings: First Year Report."
- Road Traffic Authority Traffic Science Institute (2013). Studies on the pavement marking performance standards.
- Ronald, B. Gibbons, and Jonathan Hankey (2007). "Wet night visibility of pavement markings: dynamic experiment," *Transportation Research Board of the National Academies*, Washington, D.C., 2007, pp. 73-80.