

야간 및 악천후시 차선 시인성 확보를 위한 고기능성 장수명 차선도색 기술 개발 최종보고서

2017. 8. 30.

주관연구기관 / (주)평화엔지니어링
공동연구기관 / 대동안전(주)
공동연구기관 / 아주대학교산학협력단

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘야간 및 악천후시 차선 시인성 확보를 위한 고기능성·장수명 차선도색 기술 개발’(연구개발
기간 : 2014. 07. 18 ~ 2017. 07. 17) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 08. 30.

주관연구기관명 : (주)평화엔지니어링 (대표자) 권 재 원 (인)
공동연구기관명 : 대동안전(주) (대표자) 정 봉 성 (인)
공동연구기관명 : 아주대학교산학협력단 (대표자) 최 경 희 (인)

주관연구기관책임자: 김 상 태
공동연구기관책임자: 정 왕 성
공동연구기관책임자: 최 기 주

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16CTAP-0078004-03	해당 단계 연구 기간	2014.07.18 ~ 2017.07.17	단계구분	(1/1)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	야간 및 악천후시 차선 시인성 확보를 위한 고기능성·장수명 차선도색 기술 개발			
연구책임자	김 상 태	총 연구기간 참여 연구원 수	총: 15명 내부: 15명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:900,000천원 기업:305,000천원 정부 외: 천원 계:1,205,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)평화엔지니어링 / 연구원 대동안전(주) / 연구소 아주대학교산학협력단			참여기업명 오성산업개발(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요 약				보고서 면수 135페이지	

- 야간 시인성 향상을 위해, 조명이 부족한 원거리에서는 측광에 의한 시인성을 확보하고, 전조등이 도달하는 근거리에서는 재귀반사를 통한 시인성을 확보하는 측광노면표시 개발과 더불어, 기존 수동식 차선도색 기술의 문제점을 해결할 수 있는 고기능·장수명 차선도색 기준 개발과 이러한 기준을 만족시킬 수 있는 자동화 차선도색 장비 개발을 통하여 고기능·장수명 차선도색 기술을 개발하였으며, 주요 핵심성과는 다음과 같음
 - 고기능·장수명 차선도색 기준 개발을 통한 차선도색 전과정 시스템 구축(기준, 장비, 가이드라인)
 - 야광안료를 이용한 야광차선 도색기술 개발을 통한 측광차선도로 개발 및 시험시공을 통한 도로 노면표시 검증
 - 신 차선도색기술의 비용·편익 분석 방법론 개발 및 야광차선도색 경제적 타당성 검토
- 측광 노면표시 기술은 자동차 전조등 빛이 닿지 않는 구간인 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간 등 조명이 부족한 구간의 노면표시는 물론 골목길, 횡단보도 등과 각종 도로교통 안전표시에 활용 가능하며, 자전거도로, 산책로 등의 생활도로의 안전표시와 더불어 재해시 통상의 전원이 작동하지 않는 상황에서 피난유도표시 등에도 활용가치가 기대됨

〈 국 문 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	○ 연구의 목적 - 야간 시인성 향상을 위해, 조명이 부족한 원거리에서는 축광에 의한 시인성을 확보하고, 전조등이 도달하는 근거리에서는 재귀반사를 통한 시인성을 확보하는 축광노면표시 개발과 더불어, 기존 수동식 차선도색 기술의 문제점을 해결할 수 있는 고기능·장수명 차선도색 기준과 이러한 기준을 만족시킬 수 있는 자동화 차선도색 장비 개발을 통하여 고기능·장수명 차선도색 기술을 개발하고자 함 ○ 연구내용 (1) 고기능·장수명 차선도색 기준 개발 (2) 야광안료를 이용한 야광차선 도색기술 개발 (3) 신 차선도색 기술의 교통/인간공학적인 검토 및 비용·편익 분석
연구개발성과	(1) 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 - 고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정 • 고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정; 내구성, 품질관리, 재귀반사, 축광휘도 - 고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안개발 • 차선도색장비 성능 개량; 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 개발 및 성능평가 • 도료 및 비드의 품질확보 방안 도출 - 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축 • 노면표시 현장시험 성능검증; 도막두께, 함침율, 재귀반사, 축광휘도 성능검토 • 고기능·장수명 차선도색 가이드라인 작성 (2) 야광안료를 이용한 야광차선 도색기술 - 야광차선도료 최적배합 설계 (1단계) • 야광차선 적용범위 설정 및 야광안료 비교분석·선정 • 야광차선도료 배합 기초실험; 축광안료 최적배합비 도출 - 야광차선도료 최적배합 설계 (2단계) • 재료 배합비별 노면표시 최적배합비 도출; KS기준 부합여부 검토 • 야광차선도료(KS기준만족 축광차선도료)성능시험; 비드굴절률, 도막두께, 광원 밝기, 광원조사시간에 따른 재귀반사도 및 축광휘도 분석 • 공용도로 시험시공(1차;평택시)후 현장 성능분석 - 야광차선도색 시험시공 및 모니터링 • 시험시공 및 모니터링; 시험시공(2차;포천시)후 재귀반사, 축광휘도, 미끄럼 저항 6개월간 모니터링 • 야광차선도색 설계·시공 시방서 작성; 축광차선 도료 배합비 제시, 재귀 반사도, 축광휘도 품질기준 추가 (3) 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석방법 - 신 차선도색 기술의 교통·인간공학적인 검토 • 신 차선도색 기술 시범 설치구간(경부선 고급 차선도료적용) 사례 검토 • 사고감소 효과 분석(6개월간 사고자료 분석); - 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석 • 신 차선도색기술 편익산정 • 노면표시 재도색주기(내구수명 증가)에 따른 생애주기비용 도출 • 고기능·장수명 차선도색 기술 경제적 타당성 검토

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 축광 노면표시 기술은 자동차 전조등 빛이 닿지 않는 구간인 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간 등 조명이 부족한 구간의 노면표시는 물론 골목길, 횡단보도 등과 각종 도로교통 안전표시에 활용 가능하며, 자전거도로, 산책로 등의 생활도로의 안전표시와 더불어 재해시 통상의 전원이 작동하지 않는 상황에서 피난유도표시 등에도 활용가치가 기대됨 ○ 따라서, 본 과제에서 개발한 축광차선도료는 기존의 재귀반사 기능 뿐만 아니라 축광 기능을 겸비한 고기능·장수명 차선도료로 NET 신제품을 인증을 거쳐 상용화를 추진할 계획이며, 또 하나의 최종성과품인 소형 융착식 차선도색 자동화 장비는 축광 차선도료 뿐만 아니라 일반 융착식 차선도료를 이용한 시공이 가능하며, 특히 대형장비 투입이 곤란한 도심지 등에서 활용가치가 크므로, 이를 NET 신기술 인증을 추진할 계획임				
핵심어 (5개 이내)	야광차선도색	야광도료	고기능성·장수명	야간 시인성	비용·편익 분석

〈SUMMARY〉

Purpose & Contents	○ Purpose - To develop phosphorescent line marking that ensures visibility through phosphorescence in a long distance where lighting is insufficient and visibility through retro-reflection in a short distance where headlights reach providing enhanced night visibility, and to develop high-performance and long-life line marking standards that can address issues with the existing manual line marking techniques, and to develop high-performance and long-life line marking technology with development of an automated line marking equipment satisfying these standards. ○ Contents (1) Development of high-performance and long-life line marking standards. (2) Development of the technology for phosphorescent line marking using phosphorescent pigment. (3) Cost-benefit analysis of the new line marking technology.
Results	(1) Development of the High-performance and long-life line marking for life cycle system - Establishment of the performance criteria for the high-performance and long-life line marking • Performance criteria for the high-performance and long-life line marking: durability, quality control, retro-reflection, and phosphorescent luminance. - Development of quality assurance measures for the high-performance and long-life line marking • Performance improvement of the line marking equipment; development and performance evaluation of the automated compact hot-melting type line marking equipment. • Development of the quality assurance measures of paint and beads. - Implementation of high-performance and long-life line marking for life cycle system • On-site line marking tests; performance evaluation of coating thickness, impregnation rate, retro-reflection, and phosphorescent luminance. • Development of guidelines for the high-performance and long-life line marking. (2) Development of phosphorescent line marking technology using phosphorescent pigment - Optimal mix design for the phosphorescent line marking paint (the 1st Phase) • Establishment of the application scope of phosphorescent line marking, and selection of the phosphorescent pigment through comparative analysis. • Basic experiments on the phosphorescent line marking paint mixture; optimum mixture-ratio of the phosphorescent pigment - Optimal mix design for the phosphorescent line marking paint (the 2nd Phase) • Establishment of the optimum mixture-ratio of the line marking paint by ingredient; review on compliance with KS standards. • Performance test of the phosphorescent line marking paint that complies with KS standards; analysis of retro-reflectivity and phosphorescent luminance based on bead refractive index, coating thickness, light source, brightness, and light source irradiation time. • On-site performance analysis after the pilot application on public road. (the 1st Phase, Pyeongtaek City) - Pilot application & monitoring of the phosphorescent line marking paint • Pilot application & monitoring; monitoring of retro-reflectivity, phosphorescent luminance, and slip resistance for 6 months after the application. (the 2nd Phase, Pocheon City) • Development of Design & Application Specifications for the phosphorescent line marking paint; Suggestion of the optimum mixture-ratio for the phosphorescent line marking paint included, the quality criteria for the added retro-reflectivity and phosphorescent luminance. (3) Cost-benefit analysis of the new line marking technology - Traffic & ergonomic review on the new line marking technology • Case study of the application of the new line marking technology (application of the premium line paint in Gyeongbu Line). • Accident reduction analysis (analysis of accident data for 6 months); - Cost-benefit analysis of the new line marking technology • Benefit estimation of the new line marking technology. • Estimation of the life-cycle costs based on the increased life span of the line marking. • Economic feasibility on the high-performance and long-life line marking technology.

Expected Contribution	○ The phosphorescent line marking technology can be applied for various traffic signs used on roads such as alleyways and crosswalks, and for safety signs used in other roads such as bike path and walkway, for evacuation guidance signs where power outage can occur during a disaster, and for line marking on mountain roads or other heavily curved roads where headlights do not reach. ○ Hence, the phosphorescent line marking paint developed in this project will be commercialized through the NEP certification of a new product as the high-performance and long-life line marking paint that applies phosphorescence to the existing retro-reflection capability. Another final research product, the automated compact hot-melting type line marking equipment, can be utilized not only for the phosphorescent line marking paint, but also for the general hot-melting type line marking paint especially for the application in urban areas where it is difficult to deploy large-sized equipments. Thus, it will go through the NET new technology certification process as well.				
Keywords	Phosphorescent Line Marking	Phosphorescent Pigment	High Performance & Long-Life	Night Visibility	Benefit-Cost Analysis

< 목 차 >

제 1장. 연구개발과제의 개요	1
제 2장. 국내외 기술 개발 현황	4
제 3장. 연구 수행 내용 및 성과	14
제 4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	119
제 5장. 연구개발성과의 활용 계획	122
제 6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	124
제 7장. 연구개발성과의 보안등급	127
제 8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	127
제 9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	128
제 10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	129
제 11장. 기타 사항	130
제 12장. 참고 문헌	131

제1장. 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

- 노면표시의 야간 시인성을 확보하기 위해, 비드를 차선도료에 혼입하거나 또는 도막면에 살포하여 자동차 전조등의 채귀반사를 이용하고 있으나, 전조등의 도달거리에 따른 시인 거리에 한계가 있고, 전조등 빛이 닿지 않는 구간인 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간에서 시인거리가 극히 제한될 수밖에 없음
- 또한, 현행 노면표시의 시인성 및 내구성 문제점은 재료적인 측면외에 차선도색 시공기술의 낙후성에서도 비롯되는 것으로 이를 해결하기 위한 차선도색 성능기준 설정과 기존 차선도색 장비의 개선이 필요한 실정임
- 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는, 조명이 부족한 원거리에서는 축광에 의한 시인성을 확보하고, 전조등이 도달하는 근거리에서는 채귀반사를 통한 시인성을 확보하는 축광노면표시 개발과 더불어, 기존 수동식 차선도색 기술의 문제점을 해결할 수 있는 고기능·장수명 차선도색 기준과 이러한 기준을 만족시킬 수 있는 자동화 차선도색 장비 개발을 통하여 고기능·장수명 차선도색 기술을 개발하고자 함.



(기존)



(개발 목표)

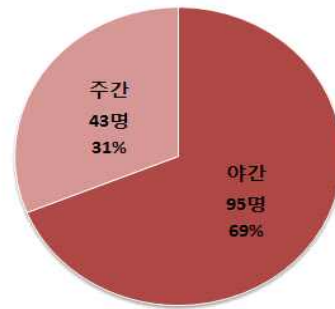
<그림 1.1> 축광기능을 부가한 노면표시 개념

제 2 절 연구개발 필요성

- 최근 교통사고 통계자료에 의하면, 현재 국내 교통안전 수준은 인구 10만명당 교통사고 사망자수를 기준으로 OECD 국가 중 최하위 수준이고, 이로 인한 교통사고 사회적비용은 연간 약 24조원에 달하는 막대한 비용이 발생하고 있음.
- 야간교통사고 발생건수는 전체사고의 약 48%로 절반에 미치는 수준이며, 더욱이 야간 교통사고 사망자 수는 전체 교통사고 사망자의 절반이상을 차지하는 수준이며, 야간 교통사고 치사율은 1.3배 정도로 야간 교통사고의 심각한 수준임



(a) 차대사람 사망사고



(b) 과속 사망사고

<그림 1.2> 주·야간 교통사고 사망률 비교(2010년 기준)

- 또한, 우천시에는 운전자들의 시야가 확보되지 않아 사고위험이 크게 증가하여 맑은날보다 몇 배 교통사고가 발생하게 되며, 미국 FHWA의 연구에 따르면 약 3배 정도에 이르는 연구결과도 있음.
- 야간 및 악천후시 교통사고의 주 원인은 도로시설물에 대한 시인성 악화로 도로의 상황 예측정보 제공량이 극히 낮아져 운전자의 사전인지 반응이 늦어지기 때문이며, 최근 이러한 시인성 확보 문제는 국민의 삶의 질에 대한 요구와 이상기후 현상에 따른 도로 기상조건 악화현상, 고령화에 따른 고령 운전자 증가에 따른 차선시인성 관련 민원증가 등으로 사회적 이슈가 되고 있음.
- 그러나, 아직까지 우천시 야간 교통사고를 줄이기 위한 차선도색 측면에서의 시인성 향상을 위한 연구는 미비하고, 대부분 일부 중소기업체 위주로 내구성 강화를 위한 도료와 고휘도 비드 개발이 제한적으로 진행되고 있는 실정임
- 따라서, 시인성 향상과 내구성 강화를 위한 차선도색 기술 개발이 필요하며, 특히 차선의 식별이 어려운 야간 및 악천후시에도 시인성이 확보되는 고기능성·장수명 차선도색 기술 개발이 시급한 실정임

제 3 절 연구개발 범위

- 본 연구에서 추진하고자 하는 기술은 고기능·장수명 차선도색 기술 개발로, 야간 및 악천후 시 차선의 시인성을 향상하기 위하여 다음과 같은 절차를 통하여 목표를 달성하고자 함

· 고기능·장수명 차선도색 기준 개발

- 고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정
- 고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안 개발
- 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축

· 야광안료를 이용한 야광차선 도색 기술 개발

- 야광차선도료 최적배합 설계 (1단계)
- 야광차선도료 최적배합 설계 (2단계)
- 야광차선도색 시험시공 및 모니터링

· 신 차선도색 기술의 교통/인간공학적 검토 및 비용·편익 분석

- 인간공학 측면의 노면표시를 통한 기능개선 방안
- 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석 방법 개발

제2장. 국내 외 기술 개발 현황

제 1 절 국내 기술 개발 현황

1. 차선도색 기술

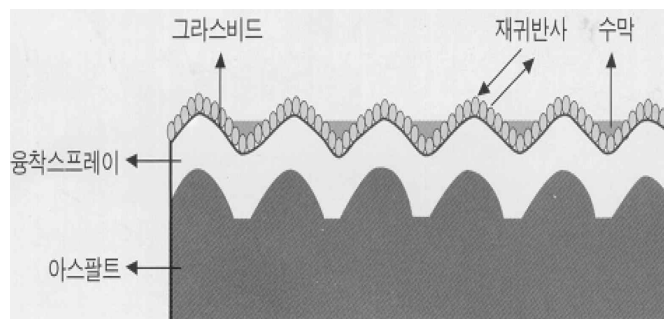
- 노면표시 차선도색 기술의 경우 시공과 관련된 장비에 관한 기술과 도료 및 글라스비드 등과 같은 조성물의 노면표시 기술로 분류 할 수 있음
- 국내의 장비관련 기술의 현황을 파악하기 위해 건설신기술 검토 결과는 다음과 같음

<표 2.1> 차선도색 관련 건설신기술 현황

구분	신기술명	보호기간
신기술지정 제554호	• 고휘도 용착식 스프레이 시스템을 이용한 노면표지 시공방법	08.06.13~ 17.06.12
신기술지정 제570호	• 용착식 조성물 및 제조기술을 이용한 물방울 모양의 요철형 차선표시 시공 방법	09.03.03~ 14.03.02
신기술지정 제666호	• 3액형 도색 조성물을 전용 시공장비로 다중 도포하는 차선도색 공법	12.06.21~ 17.06.20

■ 고휘도 용착식 스프레이 시스템을 이용한 노면표지 시공방법¹⁾

- 본 신기술은 전 공정을 자동화 시공이 가능하도록 특수하게 제작된 기계식 자동 마킹차량을 이용한 환경친화적인 특수 용착식 도료와 고휘도 유리알을 사용하여 자동화된 설비에 의해 분사함으로써 기계식 시공으로 도료의 일정한 분포 및 그에 상응하는 비드건을 통한 글라스비드의 일정한 함침작용으로 휘도가 최상임
- 아스팔트 포장의 표면굴곡에 따라 도색되어지기 때문에 노면의 굴곡에 따라 도막이 형성되어 쉽게 물이 배수되고 도료 위에 글라스비드가 살포되므로 야간 및 특히 우천시 시인성이 뛰어남



<그림 2.1> 용착식 스프레이 차선의 도막 형성 비교

1) 건설신기술 554호 관련 자료

○ 신기술의 기술적 파급 효과는 다음과 같음

- 차량에 장비를 탑재하여 시공함으로서 시공성이 높고, 차량탑승으로 안전한 조건에서 시공이 이루어짐
- 시공인력의 소모가 적어 단가가 저렴하며, 자동화된 설비에 의한 도색으로 깔끔하며 내구성이 우수함
- 용착식 차선도색 재료를 사용하여 내구성이 우수하며, 용융된 도료를 고압으로 살포하여 도로표면의 굴곡을 따라 시공함으로 차량의 슬립을 방지함
- 용융성/점착성을 지닌 도로포장재를 사용하여 시공시 폐기물의 발생이 없고 글라스비드의 함침력이 높음

○ 신기술의 주요 장치 및 시공 장비는 다음과 같음



(a) 도색 장치



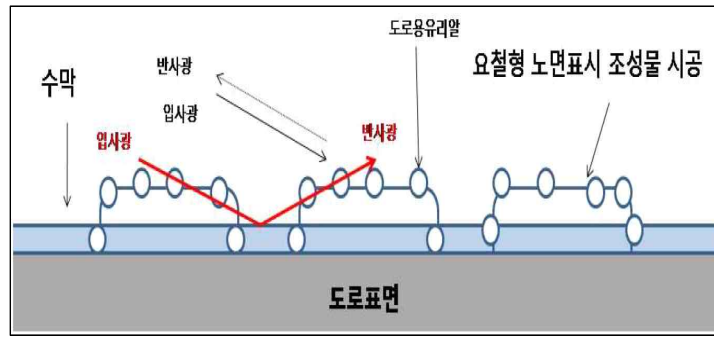
(b) 시공 장비

<그림 2.2> 주요 장치 및 시공 장비(신기술 554호)

■ 용착식 조성물 및 제조기술을 이용한 물방울 모양의 요철형 차선표시 시공 방법²⁾

- 본 신기술은 점 형태로 시공되는 요철형 노면표시로서 점과 점 사이는 배수로의 역할을 하게 되며 이로 인하여 각각의 점은 수막위로 들어나게 됨. 이때 돌출된 부위의 표면에 살포된 도로용 유리알에 조사되는 차량의 전조등은 재귀반사 효과를 내며 운전자의 시인성을 높이게 됨
- 배수면적을 최소화하고 재귀반사를 나타내는 조성물 부위를 80% 이상 나타낼 수 있도록 하여 야간 우천시 시인성을 향상하였음

2) 건설신기술 570호 관련 자료



<그림 2.3> 수막현상 및 조성물에 의한 반사효과

○ 신기술의 기술적 파급 효과는 다음과 같음

- 매우 신속한 빗물의 배수효과
- 평상시는 물론 야간 우천시의 반사효과
- 장기간에 걸친 차선의 마모 후에도 유지되는 탁월한 시인성
- 탁월한 내마모성능
- 지속적인 미끄럼저항 구현
- 가벼운 소음으로 청각적 효과, 줄음방지 효과

○ 신기술의 주요 장치 및 시공 장비는 다음과 같음



(a) 용작 요철형 노면표시 시공장치



(b) 시공 장비

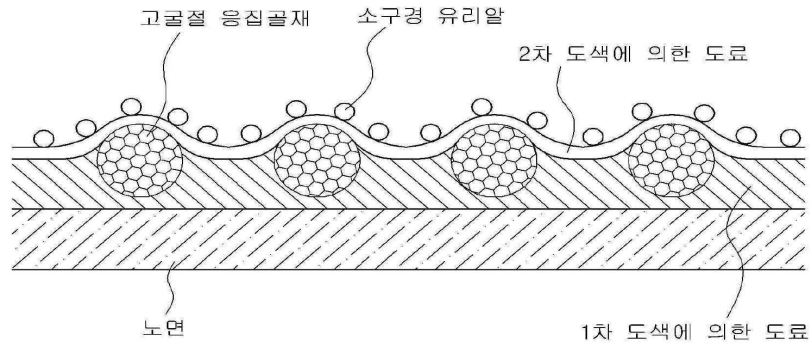
<그림 2.4> 주요 장치 및 시공 장비(신기술 570호)

■ 3액형 도색 조성물을 전용 시공장비로 다중 도포하는 차선도색 공법³⁾

- 본 신기술은 다중 도색장치를 이용하여 도료 분사부와 비드 분산부가 한 쌍 이상 구비되어 차선에 비드와 도료가 연속적으로 도포됨으로써 재료의 손실을 줄이고 내구성을 높임
- 또한, 다양한 종류의 비드를 도료 도포와 함께 연속적으로 차선에 도포함으로써 재료의 손

3) 건설신기술 666호 관련 자료

실을 줄이고 골재 탈락현상을 줄임. 다중도포 공법으로 외부 충격에 의해 2차 도색에 의한 비드의 탈리가 발생되더라도 1차 도색에 의한 비드가 남아 있어, 비드 탈리에 의한 차선 시인성이 저하되는 것을 방지할 수 있음



<그림 2.5> 다기능 복합형 차선의 단면도

○ 신기술의 기술적 파급 효과는 다음과 같음

- 재귀반사성능이 높은 특수 글라스비드와 크기가 다른 글라스비드를 사용함으로써 야간이나 우천시에도 운전자의 시인성 확보
- 물성을 개선한 3액형 차선도색 조성물을 이용함으로써 글라스비드 및 도로면과의 접착력을 높여 내구성을 대폭 향상
- 전용 시공장비를 사용하여 공사시 글라스비드의 손실을 최소화하고 작업인력수를 줄였으며, 재도색 및 유지보수에 필요한 비용을 절감하여 경제성 면에서 경쟁력을 확보함
- 경화시간이 빨라 차량통제로 인한 교통체증 문제를 줄임
- 사용되는 재료가 인체 및 환경에 무해하며 시공시에도 유독가스 발생이 없음

○ 신기술의 주요 장치 및 시공 현황은 다음과 같음



(a) 차선 도색장치 분사구



(b) 시공 현황

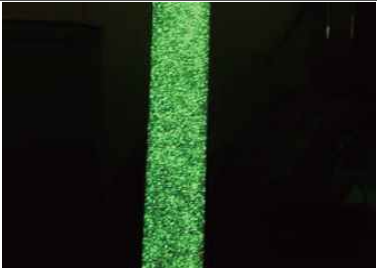
<그림 2.6> 주요 장치 및 시공 현황(신기술 666호)

2. 노면표시 기술

■ 축광펠렛 및 축광비드를 활용한 노면표시 기술

- 도로교통공단 교통과학연구원(2014)에서 축광물질을 이용하여 노면표시 및 안전표지 시작품을 개발하였고, 기능 평가 및 활용을 위한 기능성을 검토한 사례가 있음
- 축광펠렛 형태와 축광비드 형태로 노면표시에 적용하였지만 상용화를 위해서는 야간 색도나 휘도개선과 시공방법에 대한 보완이 필요한 것으로 확인됨

<표 2.2> 축광노면표시 및 표지판 시작품

구분		주간	야간
축광 노면표시 시작품	축광 비드		
	축광 펠렛		
축광 표지판	시트 형태		

■ 고내구성·고효율 노면표시 기술 개발

- 한국건설기술연구원(2016)에서 고내구성·고효율 노면표시(5종 상온 경화형 플라스틱 노면재료 및 발광체 적용 노면표시)를 위해 폴리우레탄 투명바인더를 활용하여 노면표시 재료를 개발하고 현장 적용성을 위한 실험을 진행하였음
- 차선도색 전문장비의 적용성 검토 및 신기술 인증을 추진 중인 것으로 확인됨



<그림 2.7> EL-tape을
활용한 발광차선



<그림 2.8> 포장가속 시험 전



<그림 2.9> 포장가속 시험 후

(자료 : 한국건설기술연구원(2016), 야간 운전자 시인성 확보 기술 개발)

■ 내부조명식 표지

- 한국도로공사 도로교통연구원(2013)에서 기상조건 등의 외부·환경적 요인에 의해 재귀반사표지의 야간 시인성의 확보가 어려운 구간에 적용하기 위해 내부조명식 표지 설치를 위한 교통공학적 실험 및 성능기준을 검토하였음
- 메타크릴 수지판, 섬유판, 섬유시트 등을 이용하여 표지판의 내측에 내장되어 있는 광원의 빛이 표지판을 투과하여 발광하는 기술로 주간과 야간의 경우 재귀반사 기능을 이용하고 야간의 경우 광원을 이용하여 시인성을 향상시키는 기술



<그림 2.10> 면발광조명방식 이정표시



<그림 2.11> 문자발광식 이정표시

(자료 : 한국도로공사 도로교통연구원(2013))

제 2 절 국외 기술 개발 현황

1. 차선도색 기술

■ 미국 Graco

- 국외에서는 다양한 업체에서 대형 마카차가 아닌, 소형 차선도색 자동화 장비를 개발하여 시공
- 대표적인 사례로 미국의 Graco에서 개발한 차선도색 장비를 살펴보면 별도의 용해로 차량이 필요 없이 단독으로 재료를 용해하면서 작업할 수 있고, 라인드라이버 장치를 장착하면 분당 약 25미터의 속도로 빠르게 작업이 가능함
 - 트리-프레임 다이 히트 시스템 : 3방향 다이 가열시스템으로 재료 용해 상태를 유지함
 - 비드 디스펜스 시스템 : 스마트한 비드 분배기로 비드폭과 양 조절 가능
 - 이지스티어 핸들 바 시스템 : 작업시 운전이 편하고, 사람에 따라 핸들바의 높낮이 조절 가능
 - 프로멜트 테크놀로지 : 4개 챔버로 골고루 용해 가능함. 특히, 메인버너의 가열 성능 (100,000 BTU)으로 빠른 용해가 가능



(a) 용착식 차선 도장장비



(b) 라인 드라이버 설치시

<그림 2.12> 용착식 차선 도장장비

- 앞의 차선도색 장비의 주요 장비 사양은 다음과 같음

<표 2.3> 차선도색 장비 사양

구분	사양
재료용적	• 140 kg (20 kg 재료 최대 6포~7포 용해 가능)
비드용적	• 40 kg
사용연료	• LP Gas
장비무게	• 159 kg
장비크기	• 1.3m×1.83m×1.22m(높이×길이×폭)
용해시간	• 40분 ~ 1시간
메인버너	• 100,000BTU
분당 작업거리(미터)	• 사람이 밀면서 작업시 : 분당 약 7미터 작업 • 라인드라이버 장착시 : 분당 약 25미터 작업

■ 유럽 Hofmann社

- 유럽의 차선도색 업체인 Hofmann社에서도 소형 차선도색 장비를 개발하여 사용하고 있으며, 각 장비별 사진은 다음 그림과 같음



<그림 2.13> 유럽 Hofmann社 소형 차선도색 자동화 장비

2. 노면표시 기술

■ 독일

- 독일의 NightTec社는 축광안료를 사용하여 주로 보도용, 주차장용으로 제품을 개발하여 판매하고 있는데, 실내 및 실외와 상관없이 콘크리트, 아스팔트, 합성수지, 자연석 등 다양한 대상에 적용이 가능하다고 제시하고 있음(한국건설기술연구원, 2013)

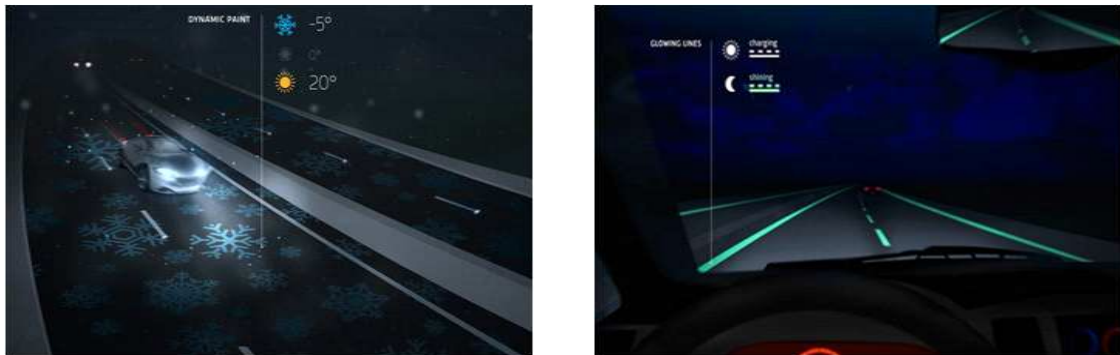


<그림 2.14> 보행로 및 주차장 야간표시 사례(독일)

■ 네덜란드

- 국외에서는 야간에 도로선형을 쉽게 인지할 수 있도록 야광도료를 노면표시에 적용하는 프로젝트를 추진 중에 있음. 그 대표적인 예로서 네덜란드의 야광 고속도로 프로젝트임
- 네덜란드의 Heijmans社는 광루미네선스라는 효과를 지닌 분말이 포함된 도료로 도색된 차

선은 최대 10시간 동안 스스로 빛을 낼 수 있다고 보고하고 있음. 이 회사는 실제 네덜란드 OSS지역의 N329(Regional Highway) 노선(500m)에 야광차선을 시험·시공하여 성능기준을 수립하고 있음

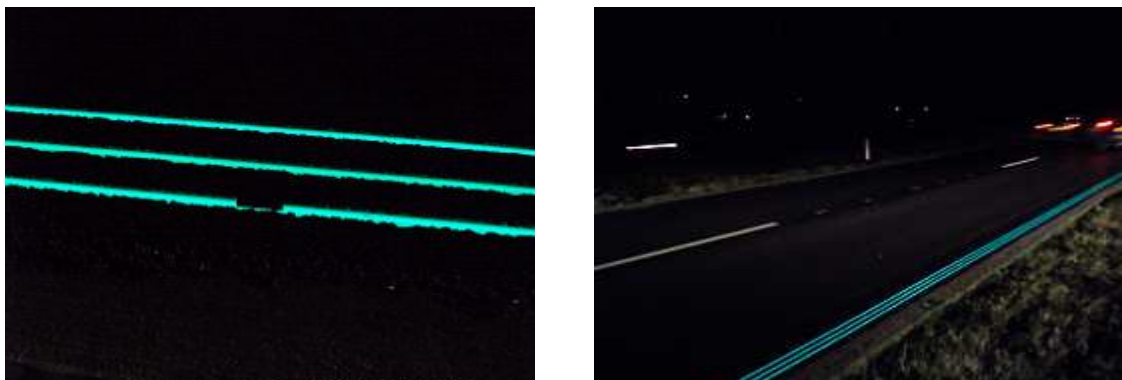


<그림 2.15> 네덜란드 야광 고속도로 프로젝트

- 실제 현장조사(2014.11) 결과, 시공된 야광차선은 <그림 2.16>에서 보는바와 같이 기존 차선 도포방식과는 다르게 세 줄의 줄눈(폭 약 1.5cm/시공 후 깊이 약 0.3cm)을 파서 야광도료를 채우는 형식으로 시공하였음



(a) 주간 야광 노면표시 모습



(b) 야간 야광 노면표시 모습

<그림 2.16> 야광 노면표시 현장조사(Netherlands Oss N329)

- Heijmans社は 야광차선의 효과로 차선의 시인성 향상으로 인한 주행안전성 확보 및 기존 조명시설 대체로 인한 설치 및 운영비 저감과 동시에 조명시설 소비전력 저감에 따른 CO₂ 저감 등을 기대하고 있음

■ 미국

- 미국의 뉴욕의 경우 「New York City Building Code Reference Standard RS 6-1 and 6-1A(2004)」를 통해 축광유도표지 및 축광 위치표지의 설치기준을 표준화하여 상용전기와 비상전력이 끊긴 상태의 건물에서 피난출구와 계단, 및 장애물 등을 확인시켜 주도록 하고 있음(도로교통공단 교통과학연구원, 2014).
- 또한, 철도차량에 적용하는 비상용 설비로써 LLEPM(Low-Location Exit Path Marking) System은 Active System과 Passive System으로 구분되는데 이중 Passive System은 전기적 에너지를 이용하지 않고 주로 고성능 축광(High Performance Photo Luminescent, HPPL) 재료를 적용함
 - HPPL 요구조건 : ASTM E-2073-07 'Standard Test Method for Photopic Luminance of Photoluminescent (Phosphorescent) Markings'(야광(인광) 표식 휘도 시험방법) 시험에 의거, 야광 물질에 일정시간 빛을 쬔 후 그 빛을 제거하여 1.5 시간 이후에 그 야광 물질의 휘도를 측정했을 때, 7.5 mcd/m² 이상의 발광 성능을 내는 물질



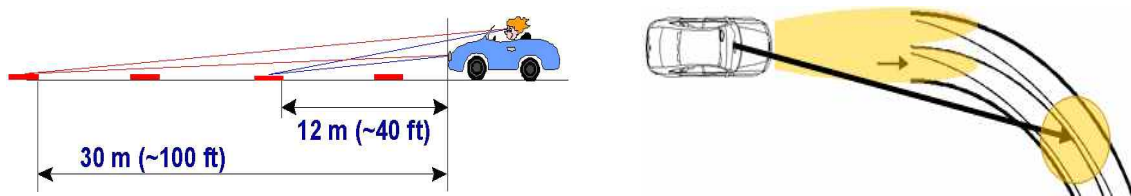
<그림 2.17> Passive LLEPM

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

제 1 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발 최종목표

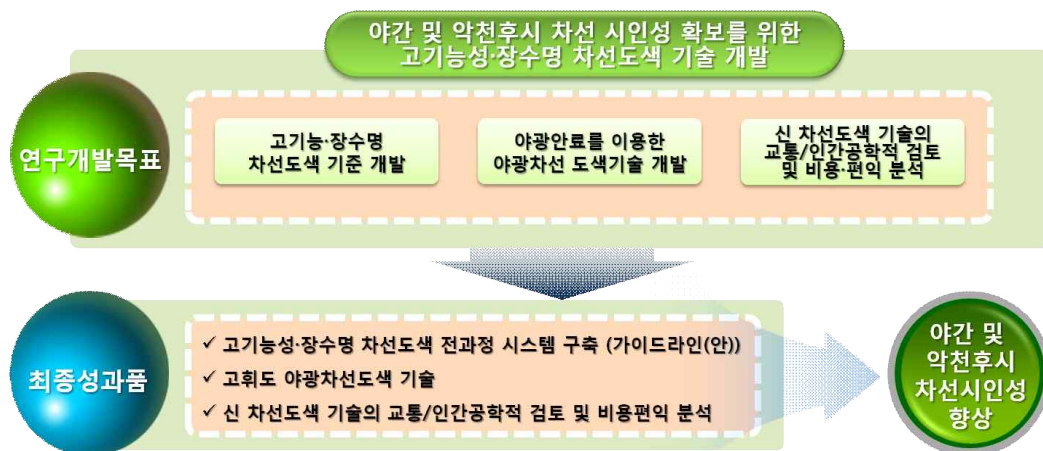
- 본 연구의 최종목표는, 조명이 부족한 원거리에서는 축광에 의한 시인성을 확보하고, 전조등이 도달하는 근거리에서는 재귀반사를 통한 시인성을 확보하는 축광노면표시 개발과 더불어, 기존 수동식 차선도색 기술의 문제점을 해결할 수 있는 고기능·장수명 차선도색 기준과 이러한 기준을 만족시킬 수 있는 자동화 차선도색 장비 개발을 통하여 고기능·장수명 차선도색 기술을 개발하고자 함



<그림 3.1> 노면표시 재귀반사에 따른 시인성 확보

○ 목표 성능기준

- 재귀반사 : 시공직후 $600 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{Lux}$, 3년 후 $100 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{Lux}$
내마모도시험 P7(400만회)후 R5($RL \geq 300$), RW4($RL \geq 75$)등급 이상
- 축광휘도 : 최소 7 mcd/m^2 이상, 3시간 이상
- 내구성: 비드함침율 40~60%, 자주식 스프레이 시공기(도막두께 2mm)
- 품질관리: 자주식 가열형 180~200℃, 소형모터 장착 교반기



<그림 3.2> 연구개발 최종목표

2. 연차별 연구개발 내용

연차	세부연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정	○ 차선도색 기술 조사 및 분석 ○ 고기능·장수명 요소기술 분석 ○ 고기능·장수명 목표 성능기준 도출
	■ 야광차선도료 최적배합 설계 (1단계)	○ 야광안료 메카니즘 분석 ○ 야광차선 적용범위 설정 ○ 야광안료 비교분석 및 선정 ○ 야광차선도료 배합 기초실험
	■ 인간공학 측면의 노면표시를 통한 기능개선방안	○ 해외 노면표시 기준 검토 ○ 노면 표시를 통한 시인성 개선방안 도출
2차년도	■ 고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안 개발	○ 차선도색장비 성능 개량 ○ 도료 및 비드의 품질확보 방안 도출
	■ 야광차선도료 최적배합설계 (2단계)	○ 축광을 고려한 최적 노면표시 배합 설계 ○ 야광차선도료 성능 시험
	■ 신 차선도색 기술대안의 비용·편익 분석	○ 재귀반사의 시인성 증가에 따른 사고편익 도출 ○ 노면표시 수명연장에 따른 생애주기비용 도출 ○ 차선도색기술 대안별 비용·편익 분석
3차년도	■ 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축	○ 노면표시 현장시험 ○ 고기능·장수명 차선도색 가이드라인 작성
	■ 야광차선도색 시험시공 및 모니터링	○ 시험시공 및 모니터링 ○ 야광차선도색 설계·시공 시방서 작성

제 2 절 주요 연구성과 요약

1. 핵심성과별 연구내용 요약

가. 핵심성과1 : 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템

세부연구성과	연구내용 요약
■ 고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정	○ 차선도색 기술 조사 및 분석 - 필수 성능항목 도출(시공서, 내구성, 품질관리) ○ 고기능·장수명 요소기술 분석 - 고기능성 차선도색 요소기술 도출(15개) ○ 고기능·장수명 목표 성능기준 도출 - 내구성: 함침율40~60%, 도막두께 2mm - 품질관리: 시공온도180~200℃, 소형모터식교반 - 재귀반사기능: 시공직후600, 3년후 100 mcd/m² - 축광회도기능: 최소 7 mcd/m² 잔광 3시간이상
■ 고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안 개발	○ 차선도색장비 성능 개량 - 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 개발 - 개발장비 성능평가: 생산성 달성비율 156.3%, 안정성 향상율 49.8%, 품질향상율 47.2% ○ 도료 및 비드의 품질확보 방안 도출 - 소형 용착식 차선도색 자동화 장비를 통한 시공 및 재료 품질관리 방안에 대한 제반 사항 규정
■ 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축	○ 노면표시 현장시험 성능검증 - 시공후 균일한 도막두께: 2.60~2.76mm - 내마모도시험 (P7=400만회)후, · 재귀반사: 건조시 488, 습윤시 135 mcd/m² 이상 · 축광회도: 3시간후 건조시 9, 습윤시 5mcd/m² 이상, 5시간후 건조시 3, 습윤시 2mcd/m² 이상 → 400만회 기준 140개월 기능 유지로 추정 - SEM분석: 시공직후 글라스비드 함침율 58% 수준 ○ 고기능·장수명 차선도색 가이드라인 작성 - 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 개요, 구성 및 기능, 시공절차

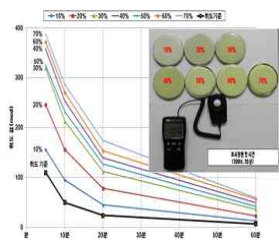


고기능·장수명 목표 성능기준 정립

재귀반사 기능: - 시공직후 600 mcd/m ² ·Lux 이상 - 3년후 100 이상 - 내마모도시험 400만회후 → 건조시 300, 습윤시 75 이상
축광 기능: - 축광회도 3시간후 7mcd/m ² 이상 12시간후 3mcd/m ² 이상



나. 핵심성과2 : 야광안료를 이용한 야광차선 도색기술

세부연구성과	연구내용 요약	
■ 야광차선도료 최적배합 설계(1단계)	- 야광차선 적용범위 설정 - 야광 정의 및 국내와 야광 적용 사례분석 - 횡단보도, 커브구간, 조명시설이 부족한 지방도, 국도 등 - 야광안료 비교분석 및 선정 - 내고온성이며 용착도료와 배합가능 축광안료 검토; 잔광시간 120분 축광휘도 $22\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lx}$ - 야광차선도료 배합 기초실험 - 축광안료 최적배합비 40% 도출 - 발광시간 3hrs후 최소 7mcd/m^2 유지	 
■ 야광차선도료 최적배합설계(2단계)	- 축광을 고려한 최적 노면표시 배합 설계 - 재료 배합비별 자체물성시험을 통한 최적배합비 도출(노면표시용 도료 KS M 6080 기준 만족) - 야광차선도료(KS기준만족 축광차선도료)성능시험 - 비드굴절률, 도막두께, 광원밝기, 광원조사시간에 따른 재귀반사도 및 축광휘도 분석 - 공용도로 시험시공(1차;평택시)후 현장 성능분석	 
■ 야광차선도색 시험시공 및 모니터링	- 시험시공 및 모니터링 - 공용도로 시험시공(2차;포천시)후 재귀반사, 축광휘도, 미끄럼저항 6개월간 모니터링 · 재귀반사: 건조시 614~505, 습윤시 312~181mcd/m^2 · 축광휘도: 일몰 12시간후 최소 3 mcd/m^2 이상 유지 · 미끄럼저항: 41BPN 이상 유지 - 야광차선도색 설계·시공 시방서 작성 - 축광차선 도료 배합비 제시 - 재귀반사도 품질기준: 시공후 420 $\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lx}$, 1년후 240, 우천시 140(권장) - 축광휘도 품질기준 추가: 일몰 1시간후 7 $\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lx}$, 일몰후 12시간후 3 $\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lx}$ 이상 권장	  

다. 핵심성과3 : 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석방법

세부연구성과	연구내용 요약															
■ 인간공학 측면의 노면표시를 통한 기능개선방안	○ 신 차선도색 기술 시범 설치구간 사례분석 – 한국도로공사 경부선 관교~대전 구간에 고급 차선도료(4,5종) 적용·운영(2014) → 차선밝기 2배, 내구성 1.75배 증가 – 설문결과: 고급 차선도입 일반인87%, 전문가100% 동의 ○ 사고감소 효과 분석(6개월간 사고자료 분석) – 단순건수: 설치전 62건 설치후 48건 – 10만대당 환산: 설치전 47.9건 설치후 43.5건 – 경험적 베이스: 41.7% 교통사고 감소효과	■ 시공검소요과·경험적 베이스 방법 추정 결과 <table><tr><th rowspan="2">효과 적도</th><th rowspan="2">전계</th><th>4 종</th><th>5 종</th></tr><tr><th>관교 JC - 가동 IC</th><th>가동 IC - 대전 IC</th></tr><tr><td>평균치</td><td>0.583</td><td>0.515</td><td>0.596</td></tr><tr><td>E</td><td>-41.68%</td><td>-48.50%</td><td>-40.40%</td></tr></table>  	효과 적도	전계	4 종	5 종	관교 JC - 가동 IC	가동 IC - 대전 IC	평균치	0.583	0.515	0.596	E	-41.68%	-48.50%	-40.40%
효과 적도	전계	4 종			5 종											
		관교 JC - 가동 IC	가동 IC - 대전 IC													
평균치	0.583	0.515	0.596													
E	-41.68%	-48.50%	-40.40%													
■ 신 차선도색 기술대안의 비용·편익 분석	○ 신 차선도색기술 편익산정 – 시인성향상에 따른 교통사고절감 편익, 공사중 교통혼잡 및 사고절감 편익, 자율주행차 장비가격 절감 편익 등 ○ 노면표시 재도색주기(내구수명 증가)에 따른 생애주기비용 도출 – 기준 일반차선 대비 축광노면표시 3.6배 비용증가 ○ 고기능·장수명 차선도색 기술 비용·편익 분석: (재도색주기 3년) : B/C≥1	○ 편익률 Atometric1 Fit of 편익 $y = 252.88 \times t^{-0.4524}$ $R^2 = 0.8798$ 편리수준 또는 불만편인기준 최적 사용기간 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Figure 1 High-visibility scenarios include: • High-visibility challenges continue in key markets • Active and visible technical solutions for improved • Consistent and realistic and willing to pay High-visibility scenarios for conditional or better autonomy (L2+) High-visibility scenarios for full autonomy (L4) Low-visibility scenarios for conditional or better autonomy (L2+) Low-visibility scenarios for full autonomy (L4) Journal of the Science Society of Korea Engineers ISSN 1226-3091 (print)ISSN 1226-3092 (online)DOI: 10.1007/s12204-016-0000-0 Effectiveness Analysis of Phosphorescent Pavement Markings for Improving Visibility and Design Standards: Focusing on Expressway Accident Hot Spots 최종호, 김민준,														

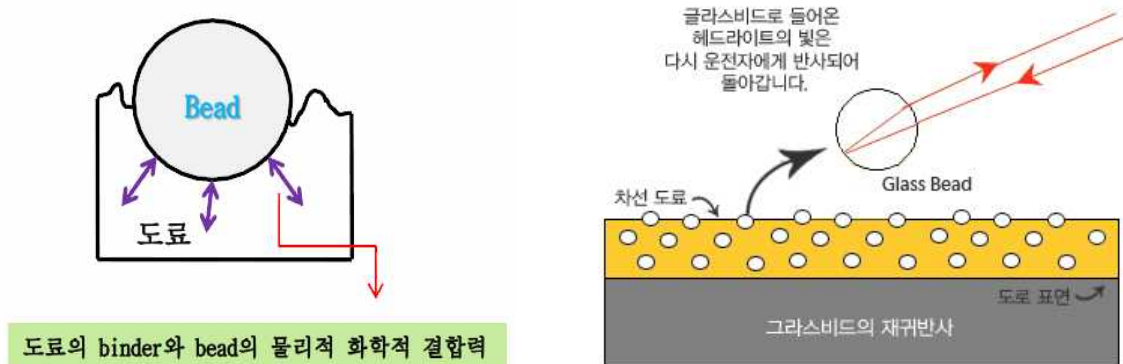
제 3 절 주요 연구 수행 내용

1. 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템

1-1. 고기능 장수명 차선도색 목표 성능 기준 설정

가. 차선도색 기술 조사 및 분석

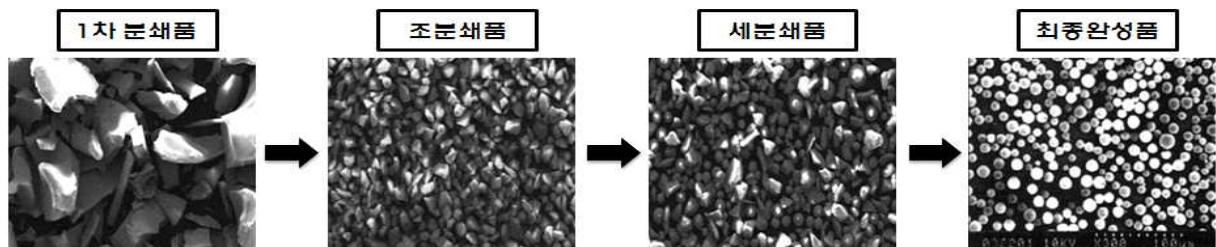
- 차선도색 기술에는 크게 유리알 광학(glass bead optics) 기술과 바인더(binder) 기술로 이루어져 있음
 - 현행 노면표시는 노면에 도료 및 유리알을 도포하며, 야간에 차량의 전조등의 재귀반사에 의해 운전자가 식별하고 있음



<그림 3.3> 바인더 기술(좌) 및 유리알 광학 기술(우)

■ 글라스비드⁴⁾

- 글라스비드란 고순도의 세라믹에 근접한 글라스비드를 말함. 다양한 크기의 글라스비드는 각종 도로차선 및 교통표지판에 주로 사용되고, 공업적으로는 연마 및 여과용으로 사용되고 있음
- 글라스비드는 기본 원료를 조분쇄, 세분쇄하고, 최종 열처리 과정을 통해 입자 크기별로 선별하여 제조함



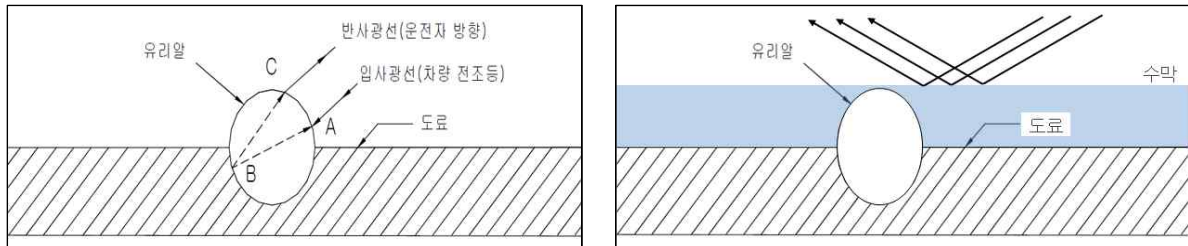
<그림 3.4> 글라스비드의 제조과정

4) 3액형 도색 조성물을 전용 시공장비로 다중 도포하는 차선도색 공법, 2012.6

<표 3.1> 글라스비드의 화학성분

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MGO	CaO	K ₂ O
함유량(%)	70~73	1.0~2.0	10~15	1.0~4.5	7~13	0.5~1.5

- 건조상태에서는 글라스비드의 재귀반사는 문제가 없으나, 우천시 야간은 빗물의 수막현상에 의하여 빛의 전반사가 이루어져 재귀반사 저감으로 인한 차선 시인성의 급격한 감소가 발생함



<건조상태에서 비드 빛의 반사>

<수막에 의한 빛의 전반사>

<그림 3.5> 수막에 의한 빛의 전반사 현상

■ 도료

○ 도료의 정의

- 물체 표면의 보호, 겉모양·모양의 변화, 그 밖의 것을 목적으로 하여 사용하는 재료의 일종으로 유동 상태에서 물체의 표면에 바르면 얇은 막이 되고, 해당 건조 방법에 따라 건조시키면 물체 표면에 고착되어 고체의 연속적인 도막이 형성되는 것을 말함

○ 도료의 구성

- 도료는 수지, 안료, 용제, 첨가제로 구성되어 있음
- 수지 : 수지는 도료의 화학적, 물리적 물성을 좌우하는 가장 기본적인 성분으로서 피착체에 도포되어 필름을 형성시키는 물질임
- 안료 : 용제에는 용해되지 않고 분산되어 있는 옥사이드나 실리케이트와 같은 무기 화합물을 말함. 착색안료와 체질안료로 구분되는데, 착색안료는 색깔을 부여하거나 불투명하게 만들어지며, 체질안료는 색을 부여하거나 불투명성을 만드는 것과 관련없이 도막의 기계적인 성능을 개선시키고 도료의 가격을 낮추는 작용을 함
- 용제 : 용제는 도료를 도장하기에 알맞은 유동상태를 부여하기 위하여 사용되는 성분이며, 도료의 점도 및 도장상태를 좌우함. 용제는 도료가 도장된 뒤에는 휘발되므로 도막성분으로 남지는 않음
- 첨가제 : 도료의 물성을 증진시키기 위하여 첨가되는 성분으로, 첨가제는 필요한 기능에 따라 소포제, 건조제, 산화방지제, 분산제, 침전 방지제 등 여러 가지 첨가제가 사용됨

○ 차선도색 도료의 종류

- 현재 사용중인 차선도색 도료의 종류는 성상과 시공방법의 차이에 따라 상온건조형, 수용성형, 가열형, 융착식, 상온경화형 도료로 구분됨

<표 3.2> 도료의 종류 및 시공법

종류		명칭	시공법
일반형	1종	상온건조형 노면표시용 도료	상온식
	2종	수용성형 노면표시용 도료	상온 및 가열식
	3종	가열형 노면표시용 도료	가열식
융착식 도료	4종	융착식 노면표시용 도료	융착식
상온 경화형 플라스틱 도로	5종	상온경화형 플라스틱 도로	상온 경화식

- 차선도색 도료 1종, 3종은 재귀반사가 필요 없는 주차장 및 제설작업 후 비정상적인 마모의 경우에 사용하고, 재귀반사능력이 요구되는 차선도색용 도료는 2종, 4종, 5종임
- 차선도색 도료 중에 내구성과 반사성이 가장 우수한 도료는 5종이지만, 비용이 4종에 비해 몇 배 이상이고, 시공이 가능한 업체도 제한적으로 문제가 있음
- 현재 사용 중인 도로 표지용 도료의 성능 및 특징은 다음과 같음

<표 3.3> 도로 표지용 도료의 성능 및 특징

구분	항목	상온식	가열식	융착식
성능	내마모성	적다	보통	크다
	야간반사	보통	크다	보통
	유효수명	짧다	중간	길다
시공성	시공성	좋다	나쁘다	보통
	시공속도	보통	빠르다	빠르다
	교통지장도	크다	보통	작다

나. 현행 차선도색 문제점

■ 기술수준 낙후

- (바람막이) 유리알 살포시 시공장비 노즐에 바람막이가 설치되지 않아, 유리알이 바람에 날려 도로에 정확하게 밀착되지 않음(도로교통공단, 2009)
- (온도조절) 노면표시 시공시 도로의 온도 유지(180~200℃)가 중요함에도 불구하고 장비의 한계로 인하여 주변 온도에 영향을 받아 도로의 온도가 낮아지고 이에 점도가 높아져 비드가 도로에 함침이 되지 않음
 - 미국 Texas주 교통국의 연구결과에 따르면 최적의 유리알의 함침률은 40~60%임
- (두께 조절 곤란) 도로 살포시 일정한 두께(2mm)로 시공되어야 비드의 함침률이 일정하지만, 스크리드 형식으로 인하여 노면상태에 따라 시공되어 두께 조절이 어려움
- (비드 수작업 살포) 차선도색 도로 분출 후 수작업으로 유리알 살포시, 유리알의 고착이 불균일하여 노면표시로서의 기능이 떨어짐



<그림 3.6> 수작업으로 유리알 살포시 결합

■ 내구성

- 차선도색 후 교통 개방에 의하여 자동차 바퀴와의 마찰로 인해 글라스 비드의 탈락과 마모 및 파손에 의해 차선도색이 1년여의 수명으로 차선의 내구성 취약의 문제가 제기되고 있음
- 특히 용착식 도료는 포장면 종류나 도로의 균열 등의 조건에 따라 노면 접착력이 저하되고, 용융점도가 높아서 아스팔트나, 콘크리트와의 밀착 접착성이 부족함. 이에 도료의 표면에 Crack이 다량 발생하고 마모가 발생하는 단점이 있음



<그림 3.7> 용착식 차선의 Crack 및 마모

■ 장비개발 환경

- 현재의 수동식 장비 개선 없이는 차선의 내구성 확보가 어려움에도 불구하고, 장비개선에 많은 비용이 필요하고 대부분의 업체가 영세하기 때문에 장비개발에 한계가 있음
- 차선도색 기준상 기계식 장비에 대한 명시는 되어 있으나 대부분의 업체가 기준에 미달되기 때문에 실제 시공시 재귀반사성능 기준에 맞출 수 없음. 이에 현 기준을 만족할 뿐만 아니라, 재귀반사성능 기준을 만족할 수 있도록 현대화된 도색장비가 필요한 실정임

다. 고기능 장수명 요소기술 분석

■ 건설신기술

- 건설신기술은 국내에서 최초로 개발한 건설기술 또는 기존 건설기술을 개량한 것으로 국내에서 신규성·진보성 및 현장적용성 등이 있다고 판단되는 건설기술임
- 국내 차선도색 관련 건설신기술은 3건으로 아래 표에서 보는바와 같음

<표 3.4> 차선도색 관련 건설신기술 현황

구분	신기술명	보호기간
신기술지정 제554호	• 고휘도 용착식 스프레이 시스템을 이용한 노면표지 시공방법	08.06.13~ 17.06.12
신기술지정 제570호	• 용착식 조성물 및 제조기술을 이용한 물방울 모양의 요철형 차선표지 시공 방법	09.03.03~ 14.03.02
신기술지정 제666호	• 3액형 도색 조성물을 전용 시공장비로 다중 도포하는 차선도색 공법	12.06.21~ 17.06.20

- 고휘도 용착식 스프레이 시스템을 이용한 노면표지 시공방법 : 캡슐화된 비정질 실리카로 구성되어 크롬산납의 독성을 완화시킨 용착식 도료와 고휘도 글라스비드 및 포대의 폐기없이 도료와 함께 가열 용융시켜 사용할 수 있도록 비닐 아세테이트 5~50몰%와 에틸렌 50~95몰%의 비닐아세테이트-에틸렌 공중합체를 첨가하여 조제된 포대를 사용하여, 컴퓨터 시스템에 의해 자동화 시공이 가능하도록 제작된 기계식 자동 마킹차량을 통한 도료의 일정한 분포 및 비드건을 통한 글라스비드의 일정한 함침이 가능한 고휘도 용착식 스프레이 시스템을 이용한 노면표지 시공방법임
- 용착식 조성물 및 제조기술을 이용한 물방울 모양의 요철형 차선표시 시공 방법 : 용착식 차선표시 조성물의 품질 향상, 차선표시 기능의 극대화, 시공성 개선 등을 구현하고자 개발된 조성물, 조성물 제조기술, 시공방법에 관한 것으로 요변성 기능의 용착식 차선표시 조성물은 물방울 모양을 나타내는 요철 형상으로 시공되며 야간의 시인성은 물론 우천시 조성물 사이의 배수효과로 인하여 수막위로 노출되어 재귀반사에 의한 시인성을 극대화함 또한 조성물은 펠렛 상태의 고휘도로 제조되어 이전의 분말 조성물에 나타났던 현장 비산먼지를 제거하는 등 환경 친화적인 물방울 모양의 요철형 차선표시 시공방법임
- 3액형 도색 조성물을 전용 시공장비로 다중 도포하는 차선포색 공법 : 상온경화형 PMMA 수지 등을 혼합하여 만든 3액형 차선포색 조성물, 우천형 고굴절 응집반사체 및 고휘도 글라스비드를 전용 시공장비로 2중 이상 도포하는 차선포색 공법으로서, 작업효율이 높고 야간 및 우천시에도 높은 휘도를 발휘하는 고품질, 장수명 제품을 구현하여 안전하고 경제성 있는 도로 환경을 조성하는 기술임

■ 핵심 특허

- 최근 국내외 특허 출원 동향을 파악하였으며 핵심 특허는 다음과 같음

－ 핵심특허 1

출원번호	10-2014-0121230	출원일자	2014년09월12일
발명의 명칭	미끄럼 방지 기능과 시인성이 향상된 노면표시선용 도료 조성물 및 이를 이용한 노면표시선 시공방법		
국제특허분류	C09D 201/00, C09D 7/12, E01C 11/24		
기술분야	· 석유수지, 고무상 중합체, 충전제, 유리 비드 및 점도 조절제를 포함하는 노면표시용 도료 조성물 및 그 도료 조성물을 이용하여 시공 · 노면표시용 도료 조성물은 미끄럼 방지 기능 및 시인성이 뛰어날 뿐만 아니라, 내마모성 및 내충격성이 우수하므로, 간단한 공정으로 차선, 갯길 표시선, 과속방지턱 표시선 또는 횡단보도 표시선과 같은 표시선을 시공할 수 있음		

－ 핵심특허 2

출원번호	10-2013-0168421	출원일자	2013년12월31일
발명의 명칭	속건성, 시공성 및 재귀반사비드와의 결합력이 우수한 도로노면 표시용 조성물 및 이를 이용한 시공방법		
국제특허분류	C09D 7/12, C09D 4/02, C09D 133/04, E01F 9/04, C09D 175/02		
기술분야	· 속건성, 시공성 및 재귀반사비드와의 결합력이 우수한 도로노면 표시용 조성물을 이용한 시공 방법에 관한 기술 · 속건성 수지를 이용함으로써 경화속도를 높여 시공의 편리성을 개선하면서도, 우수한 재귀반사비드와의 결합력을 나타내고, 내마모성 및 내충격성 면에서도 우수한 물성을 나타내어, 장기간 휘도 유지가 가능함		

－ 핵심특허 3

출원번호	10-2013-0099006	출원일자	2013년08월21일
발명의 명칭	내구성 및 우천 시 야간 시인성이 우수한 도로용 차선 및 이의 시공방법과 이에 사용되는 노면 표시 조성물		
국제특허분류	E01C 26/16, C09D 133/00		
기술분야	· 시인성이 우수한 도로용 차선 시공을 위해 굴절률이 1.93이상이고 400~800μm인 코아 글라스 비드와, 백도(Whiteness)가 96 이상인 티타늄 디옥사이드 또는 내광성 황색 안료가 혼합하여 살포 · 글라스비드의 45~70%, 광반사체 30~55%의 비율로 비반응성 열경화수지 조성물 제작 · 0.1~1.5중량%의 비율로 첨가되는 요변성 부여제와, 0.1~1.5중량%의 비율로 첨가되는 반응촉진제와, 0.1~1.0중량%의 비율로 첨가되는 첨가제를 포함하는 특징임		

－ 핵심특허 4

출원번호	14346776	출원일자	2012년09월28일
발명의 명칭	Flexible Pavement Markings		
국제특허분류	E01F 9/04		
출원인	3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY		
기술내용	· 본 발명은 일반적으로 가요성 포장 표시, 가요성 포장 표시의 제조방법과 가요성 포장 표시의 조성물과 관련됨		

－ 핵심특허 5

출원번호	14234230	출원일자	2012년08월30일
발명의 명칭	Pavement Marking Materials and Methods		
국제특허분류	E01F 9/04		
출원인	3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY		
기술내용	· 본 발명의 열가소성 차선 도색기와 차선도색 조성물은 에틸렌아크릴산 중합체의 혼화성 혼합물을 포함하고, 결정화 개시 온도를 65.6° C. (150° F.)보다 더 큰 냉각에 이루어지게 함		

출원번호	23097085	출원일자	2011년04월25일
발명의 명칭	路面標示用水性塗料固着促進劑、路面標示形成方法、塗料キット及び塗裝装置 (노면 표시 용수성 도료 고착 촉진제, 노면 표시 형성 방법, 도료 킷 및 도장 장치)		
국제특허분류	C09D 201/00 (2006.01.01) E01F 9/08 (2006.01.01) E01C 23/20 (2006.01.01) C09D 7/12 (2006.01.01) C09D 5/00 (2006.01.01) B05D 7/24 (2006.01.01)		
출원인	SEKISUI JUSHI CO LTD		
기술내용	· 응고 촉진제를(칼슘 아세 아세테이트 또는 마그네슘 아세테이트 입자) 사용하여 내수성이 뛰어난 차선도색(코팅 필름) 형성하는 방법 및 코팅 키트, 응고 촉진제의 코팅 장치를 제공하는 기술		

라. 고기능 장수명 목표 성능 기준 설정

- 고기능 장수명의 목표성능 기준은 차선도색 기준 및 지방서 조사를 통하여 각 기준에서 법적으로 요구하고 있는 필수 성능항목 및 기준에 대해서 분석하고, 차선도색 기술 조사 및 분석을 통해 도출된 문제점과 고기능성 차선도색 요소기술을 통해 활용하여 고기능·장수명 목표 성능기준 설정하고자 함

■ 성능항목에 대한 기준 연구

- 차선도색 기술의 특성상 재료 배합 및 시공장비에 따라 기술이 다양하여 각각이 가지는 성능항목이 다르기 때문에, 일반적으로 도로에 가장 많이 적용되고 있는 4종 용착식 차선도색 기술이 고기능·장수명을 위해 기본적으로 보유하여야 하는 성능항목을 도출할 필요가 있음
- 기준별 성능항목을 요약하면 아래와 같음

<표 3.5> 기준별 성능항목 요약

성능 항목	경찰청 (교통노면표시 설치·관리 매뉴얼)	서울시 (노면표시 시방서)	국도해양부 (차선도색 특별 시방서)	한국도로공사 (장수명 차선도색 시험시공 특별시방서)
시공 속도	· 도로 분사장치가 차량 좌, 우측 이용 가능	· 도로 분사장치가 차량 좌, 우측 이용 가능 · 백색 및 황색 동시 도색	· 도로 분사장치가 차량 좌, 우측 이용 가능 · 백색 및 황색 동시 도색 · 시험시공 기준속도 (5 km/h)	· 도로 분사장치가 차량 좌, 우측 이용 가능 · 자동, 반자동, 수동 설정 가능한 전자제어장치 · 차선폭 설정 전자제어장치 · 시험시공 기준속도 (10 km/h)
시공 온도	· 도료를 용해할 때 200℃까지 온도를 높임	· 자동계측장치 (타코메타) 부착 · 200℃ 용융	· 자동계측장치 (타코메타) 부착	· 자동계측장치 (타코메타) 부착
비드 합침	· 유리알 강제 살포식	· 유리알 자동 분사	· 유리알 자동 분사	· 비드 스프레이 방식
도료 살포	· 스프레이 방식으로 균일한 두께 시공 · 자주식(엔진구동 방식) 시공기			· 도막두께 따른 차선타입 의 분사압력자동 조절 · 스프레이 방식 · 도료 살포량 설정 전자제어장치 · 차선타입 설정 전자제어장치
시공 안전	· 자주식(엔진구동방식) 시공기			
재료 혼합	· 소형 Motor 장착 교반기	· 소형 Motor장착 교반기 사용 · 도료탱크 기계식 전동기	· 도료탱크 기계식 전동기	· 차선도색 재료 정밀혼합장치 · 경화제량 정밀혼합 전자제어장치
환경 성	· VOC 유의			
시공 편의				· 백업기능 전자제어장치 · 주제와 경화제 별도 보관 탱크 보유 · 도색작업내용 보고서 (DATA) 출력 전자제어장치

- 국내 차선도색 관련 성능기준을 분석한 결과 요구하는 필수 성능항목은 대부분 동일하고, 그에 따른 성능기준 또한 비슷하게 요구되는 것으로 나타났음. 이는 최근 차선도색에 대한 시인성 향상 민원 증가로 각 기관에서 기준을 상향했기 때문임

<표 3.6> 기준분석을 통한 필수 성능항목

분류	성능항목
시공성	시공속도
	시공안전
	시공편의
내구성	도료살포
	비드함침
품질관리	재료혼합
	시공온도
	환경성

■ 고기능 장수명 목표 성능기준 설정

- 현행 차선도색의 문제점은 대부분 시공장비의 한계로 인해 발생하는 것으로, 차선도색 업체가 대부분 영세하고, 저가낙찰 환경에 따른 저렴한 제품 개발로 인하여 장비에 대한 투자가 어렵기 때문에 현장에서는 시공장비 기준을 만족하지 못함에도 불구하고 여전히 공사의 시급성으로 인하여 기존 시공장비로 차선도색이 지속되고 있는 실정임
- 이에 본 연구에서는 업체별 고유기술인 차선도색 재료를 제외하고 차선도색 성능기준을 개선할 수 있는 고기능·장수명 시공장비 기술개발에 대한 목표 성능기준을 설정하고자 함
- 법적인 필수 성능항목에 따라 도출된 현행 차선도색 문제점을 분류하였고, 경찰청의 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에서 제시하는 성능기준과 실제 현장에서 사용되는 시공장비의 기술수준을 분석하였음

<표 3.7> 현행 차선도색 문제점의 성능항목 분류

성능항목		문제점	경찰청 성능기준	실제 시공장비 기술수준
내구성	비드함침, 도료살포	- 바람막이 - 두께조절 곤란 - 비드 수작업 살포	자주식 스프레이 시공기	기준 불만족
품질관리	시공온도, 재료혼합	온도조절	자주식 가열형	기준 불만족
		수동식 혼합	소형 Motor 장착 교반기	기준 불만족

- 법적인 필수 성능항목에 따라 고기능성 차선도색 요소기술을 분류하였음. 재료 관련 요소기술은 제품별 고유기술로 성능항목에 대해서만 검토하였고, 성능기준에서는 제외하였음

<표 3.8> 고기능 차선도색 요소기술의 성능항목 분류

성능항목		요소기술	비 고
내 구 성	비드함침, 도료살포	● 자동화된 설비에 의해 도료 및 비드 분사	요소기술-1
	도료살포	● 용융된 도료를 고압으로 살포	요소기술-2
		● 물방울 모양으로 요철형 노면표시 시공	요소기술-4
		● 다중 차선 도색장치	요소기술-8
		● 차선 도막두께 조절	요소기술-11
내구성, 시공성, 품질관리[환경성]		● 재료 관련	etc.

- 따라서 현행 도색 기술의 문제점, 요소기술 및 국내외 기준을 종합하여 검토한 결과 고기능·장수명을 위해 보유해야 하는 최종 목표 성능 기준은 다음과 같음

<표 3.9> 고기능·장수명 목표 성능기준

성능항목		고기능·장수명 목표 성능기준	기대효과
내구성	비드함침, 도로살포	- 비드함침율 40~60%	유리알 분포 및 함침 균일
		- 자주식 스프레이 시공기 (도막두께 2mm)	균일한 도막 두께 [노면 요철, 재시공]
품질 관리	시공온도, 재료혼합	- 자주식 가열형 (180~200℃)	시공온도 유지
		- 소형 Motor 장착 교반기	균일한 도로 및 비드 혼합
재귀반사 성능		- 시공직 후 600mcd/(㎡·lx)이상 ¹⁾ - 3년 후 100mcd/(㎡·lx)이상 ¹⁾ - 내마모도시험 P7(400만회) 후 건조시 300mcd/(㎡·lx)이상 ²⁾ 습윤시 75mcd/(㎡·lx)이상 ²⁾	시인성 향상
축광성능		- 축광휘도 3시간후 7mcd/㎡이상 ³⁾ - 축광휘도 12시간후 3mcd/㎡이상 ⁴⁾	재해시 피난유도표시 등 활용 가능

주 : 목표 설정을 위한 근거는 다음과 같음

¹⁾ 한국도로공사 장수명 차선도색 시험시공 특별시방서 하자검사기준 준공시 3구간

²⁾ KS M 6080

³⁾ 축광유도표지 성능시험

⁴⁾ 일본 JIS Z 9098 재해종별피난유도표식시스템

- 재귀반사 성능의 경우 차선도색기술의 시인성에 해당하는 성능중 하나로 재귀반사의 성능이 높을 경우 고기능으로 판단할 수 있으며, 국내외 제시된 기준 중 가장 높은 성능기준을 제시하고 있는 「한국도로공사 장수명 차선도색 시험시공 특별시방서」의 5. 품질하자관리 중 3구간의 하자검사기준인 600mcd/(m²·lx)이상을 목표로 설정하였음(한국도로공사 장수명 차선도색 시험시공 특별시방서에 따르면 구간별로 450~600mcd/(m²·lx)이상으로 제시하고 있으나, 현행 기술을 고려했을 때 450mcd/(m²·lx)이상일 경우 고기능으로 분류하고 있음)
- 축광휘도의 경우 국내의 축광유도표지 성능시험 기준에서 제시하고 있는 200lx 밝기의 광원을 20분간 조사시킨 상태에서 다시 주변 조도를 0lx로 하여 60분 후의 휘도가 1m²당 7mcd이상으로 제시하고 있으나 현장에서의 조도와 통행 패턴을 고려하여 일몰 3시간 후 7mcd이상으로 설정하였으며 또한 일본의 재해종별피난유도표식 시스템에서 제시하고 있는 12시간 후 3mcd를 적용하여 축광성능의 최종 목표를 설정하였음
- 국내 대형 도색기는 고기능·장수명 목표 성능기준을 만족하는 도색 시스템이 확보되어 있지만, 이는 업체가 제한적이며 주로 고속도로 등에 시공되고 있고 대량 물량 위주로 한계가 있음
- 도심지에서 주로 사용되는 소형도색기의 성능기준 만족을 위한 시공장비 기술개발을 통해 내구성 및 품질을 확보할 수 있도록 하여 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템을 구축하려고 함

1-2. 고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안 개발

가. 도료 및 비드의 품질확보 방안

- 재료 품질관리 방안은 각종 기준 및 규정을 통해 제시되어 있어 관련 기준 검토를 통해 개발한 소형 용착식 차선도색 자동화 장비로 시공한 후 시인성이 저하되지 않도록 재료 품질 관리, 점검 및 도포 교체 등의 유지관리에 관한 제반사항을 규정하고, 이를 통해 재료 품질 관리 방안을 마련하고자 함
- 용착식 플라스틱 도료의 주성분 C5의 용융온도가 200℃ 장시간 유지할 경우 탄화현상이 발생하기 때문에 용해조에는 온도계를 설치하여 200℃ 이상 올리지 않아야 하며, 최소 200℃에서 4시간 이상 정치시키지 않고 주의하여 시공하여야 함
- 야간 및 우천시 시인성 향상을 위해 유리알을 살포하는데, 4종의 용착식 플라스틱 도료는 살포 시 굳어지는 현상 때문에 즉시 유리알을 살포하여 양질의 품질을 확보하여야 함
- 차선 도료용 유리알의 품질은 KS 제품일지라도 유리알의 탁도, 정형률, 기포형성 및 입도에 따라 재귀반사도에 크게 영향이 있으므로 사전에 재귀반사성능을 확인하여야 함
- 차선 도료용 유리알로 국외 제품 등을 사용할 수 있으나, KS 제품과 비교하여 동등 이상의 재귀반사성능을 구현하여야 함
- 차선의 품질관리를 위하여 차선의 육안관찰평가 및 재귀반사성능 검사(노면표시 도색 7일 경과 후)를 준공검사 이전에 실시하여 차선의 품질을 확보하여야 함
- 육안관찰 및 재귀반사 성능검사에 따라 반사성능기준에 미달되는 차선이 발견되는 즉시 적합한 차선재료 및 유리알(우천형 유리알 포함)을 선택하여 재시공함으로써 차선의 교통안전 시인성을 확보하여야 함
- 차선도색공사의 시공은 동절기 시공에는 온도조건에 영향을 크게 받음으로 도막의 건조, 유리알(우천형 유리알 포함)의 부착력 등 품질관리에 주의를 요하며, 일반적으로 온도 측정 시 5℃ 이상에서 시공하여야 함
- 개발한 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 재료는 용착식 도료, 유리알로 구성되어 있으며 품질관리 기준은 다음과 같음

<표 3.10> 유리알 품질 규정

구분	가호	나호	다호
비중	2.4 이상		
입도	표준 망체 850 μ m에 남는 것 0% 850 μ m를 통과하고 600 μ m에 남는 것 5~30% 600 μ m을 통과하고 300 μ m에 남는 것 30~80% 300 μ m를 통과하고 106 μ m에 남는 것 0~5%	표준 망체 600 μ m에 남는 것 0% 600 μ m를 통과하고 300 μ m에 남는 것 4~90% 150 μ m을 통과하는 것 0~5%	표준 망체 1.7mm에 남는 것 0~10% 1.7mm를 통과하고 1.4mm에 남는 것 1~35% 1.4mm를 통과하고 850 μ m에 남는 것 30~95% 850 μ m를 통과하고 600 μ m에 남는 것 0~30%

겉모양	구상의 입자로서 타원, 예각, 불투명, 공기 혼합물, 이물 및 입자간의 융착 등의 결점이 있는 총계가 20% 이하일 것		해당 없음
유리알 성능	1종	1호 굴절률 1.50 이상 ~ 1.64 미만 2호 굴절률 1.64 이상 ~ 1.80 미만 3호 굴절률 1.80 이상 ~ 재귀반사성능 (건조 상태) 18 (cd/m ²)/lx 미만 (다만, 1.81이상 베케라인 표준 용액은 수급 불가함)	
	2종	1호 재귀반사성능 (건조 상태) 18(cd/m ²)/lx 이상 2호 재귀반사성능 (물 잠김 상태) 5(cd/m ²)/lx 이상 [다만, 고굴절(1호) 또는 우천형(2호)의 경우 베케라인으로 측정 불가 하므로 재귀반사성능으로 측정]	
방습 코팅	코팅의 유무를 확인할 것		
위험 물질	비소(As) 200ppm이하, 납(Pb)200ppm이하, 안티몬(Sb)200 ppm 이하 일 것		
내수성	0.01N 염산의 소비량이 10 mL 이하이고 유리알의 표면에 흐림이 없을 것		

※ 유리알의 규격은 KS L 2521:2015 도로표지 도로용 유리알 품질기준에 준함

<표 3.11> 도로의 품질 규정

항목			종류		
			4종		
납(비휘발분 중 %)			0.06 이하		
카드뮴(비휘발분 중 %)			0.01 이하		
연화점(℃)		SP3	≥ 95		
		SP4	≥ 110		
내열처리 후	압입 시간	IN 3	2분 ~ 5분		
		IN 4	6분 ~ 20분		
		IN 5	≥20분		
저온 충격성		등급	검사온도(℃)	최공	검사통과 시료수
		CI2	-10±3	(66.8±0.2) g	6
		CI3	-10±3	(110±0.2) g	6
불점착 건조성			3분 후에 도로가 불점착 시험기의 타이어에 붙지 않아야 한다.		
도막의 겉모양			주름, 얼룩, 부풀음, 갈라짐, 떨어짐이 없어야 한다.		
내알칼리성			수산화칼슘 포화 용액에 18시간 침지시켜도 갈라짐 및 변색이 없어야 한다.		
휘도율	UV 노화 전 (β)	흰색	0.80 이상		
		노란색	0.40 이상		
	UV 노화 후 (Δβ)	흰색	0.05 이하		
		노란색	0.05 이하		
색도 좌표	초기, 내열처리 후, 제논아크 노화 후	흰색	CIE 색도좌표 범위 내에 들어올 것 x : 0.355, 0.305, 0.285, 0.335 y : 0.355, 0.305, 0.325, 0.375		
		노란색	CIE 색도좌표 범위 내에 들어올 것 x : 0.494, 0.545, 0.465, 0.427 y : 0.427, 0.455, 0.535, 0.483		
내열처리 후	휘도율 차 (Δβ)	흰색	0.10 이하		
		노란색	0.10 이하		
	연화점 변화((ΔSP)		±10℃ 이내		
내열처리 후	제논아크 노화 후 휘도율 차(1000시간)(Δβ)	흰색	0.05 이하		
		노란색	0.05 이하		
유리알 함유량(wt %)			제조사 제시값 이상		
내마모도 시험 ^a (건조한 노면 조건) (제조사 제시 교통량 등급 통과 후)			내마모도 시험 후, 노면이 건조한 상태에서의 재귀반사도 성능(R _L)에 따라 흰색은 R3≥150, R4≥200 및 R5≥300 으로 노란색은 R3≥150 및 R4≥200으로 표시한다		
내마모도 시험 ^a (젖은 노면 조건) (제조사 제시 교통량 등급 통과 후)			내마모도 시험 후, 노면이 젖은 상태에서의 재귀반사도 성능(R _L)에 따라 RW2≥35, RW3≥50 및 RW4≥75로 표시한다		

※ 도로의 규격은 KS M 6080:2014 노면표지용 도로 품질기준에 준함

나. 차선포색 장비 성능 개량

■ 현행 차선포색 장비의 문제점

- 현행 차선포색 장비가 가지고 있는 문제점을 분석하여 개량시 요구 성능조건을 분석하였음
 - 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼 상에는 기계식 장비에 대한 기준이 명시되어 있음
 - 현행 차선포색 장비는 대부분 수동식 장비로 대부분의 업체가 기준에 미달되기 때문에 실제 시공시 재귀반사성능 기준에 맞출 수 없음

<표 3.12> 수동식 차선포색 장비 문제점

구 분	교통노면표시 설치·관리 매뉴얼	수동식 차선포색 장비 문제점
교반기	작업 중에는 도로 안에 있는 비드가 균일하게 교반이 가능하도록 소형 Motor 장착 교반기를 사용하도록 함	작업자가 현장에서 작업 중 지속적으로 교반함으로 인해 작업의 연속성이 중단되며, 도로 안에 비드가 균일하게 교반이 안됨
유리알 살포	유리알은 부착력 강화를 위한 실란 코팅된 유리알을 사용하되 규격에 따르는 유리알을 강제 살포식으로 균일하게 시공하여야 함	유리알 살포시 시공장비 노즐에 바람막이가 설치되지 않아, 유리알이 바람에 날려 도로에 정확하게 밀착되지 않음(도로교통공단, 2009)
온도 유지	용착식 도로표지용 도료를 용해할 때에는 약한 불로 서서히 녹여 200℃까지 온도를 높임(작업이 완료될 때 까지 200℃를 유지해야 함)	노면표시 시공시 도료의 온도 유지(180~200℃)가 중요함에도 불구하고 장비의 한계로 인하여 주변 온도에 영향을 받아 도료의 온도가 낮아지고 이에 점도가 높아져 비드가 도료에 함침이 되지 않음
두께 조절	시공기는 도료의 정량 투입 및 일정 두께(스프레이 장비 사용)를 위하여 공사 착수 전 감독관에게 분출구 조절을 점검 받은 후 시공하여야 함	도료 살포시 일정한 두께(2mm)로 시공되어야 비드의 함침률이 일정하지만, 스크리드 형식으로 인하여 노면상태에 따라 시공되어 두께조절이 어려움

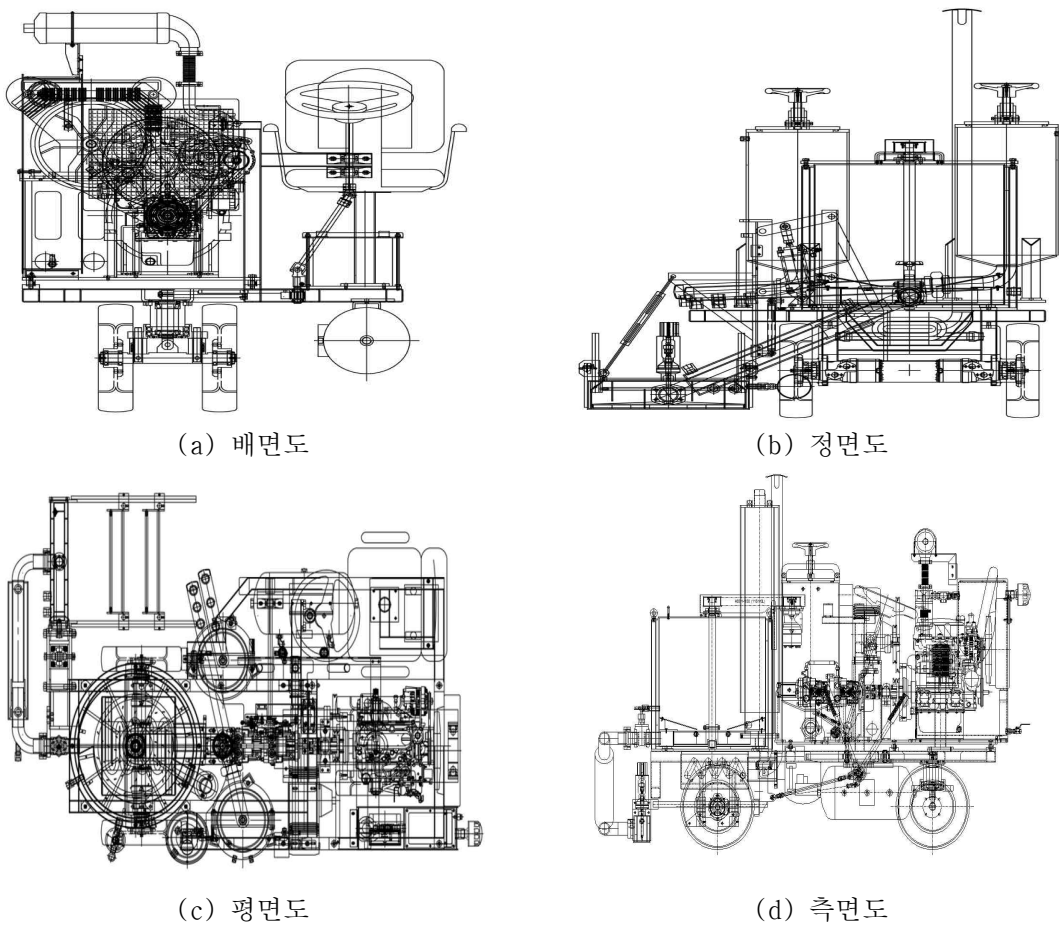
■ 장비의 설계 및 제작

- 개발 장비는 노면을 따라 주행시 도료가 압출방식에 의해 노면에 도포된 후, 도료의 도포층에 글라스비드가 연속적으로 분사되므로 노면에 광폭의 차선포색막을 짧은 시간 안에 용이하게 도색할 수 있도록 한 소형 차선포색 자동화 장비임
 - 개발 장비는 크게 도료 저장탱크, 글라스비드 저장탱크, 압출식 도색유닛, 비드 분사유닛, 승강조절부로 구성되어 있음

<표 3.13> 차선토색 장비 사양

구분	사양	
장비크기	1.502 m × 2.268 m × 1.464m(높이×길이×폭)	
무게	1,000 kg	
사용연료	경 유	
도료탱크	110 L	
비드탱크	38 L × 2	
최대속력	전진 : 30 km/s	후진 : 20 km/s

○ 개발 장비의 디자인 및 도면은 다음과 같음



<그림 3.8> 장비 도면



<그림 3.9> 소형 용착식 차선도색 자동화 장비

○ 개발 장비의 주요 제원은 다음과 같음

- 도료 저장탱크 : 도료 저장탱크의 내부에는 교반기가 회전가능하게 설치되어 있고, 차선도색을 위한 용착식 도료가 보온이 유지되도록 저장이 가능함
- 글라스비드 저장탱크 : 차선의 야간 반사를 위한 글라스비드 저장탱크 2개가 설치되어 있음
- 압출식 도색 유닛 : 도료 저장탱크로부터 압출되어 도료 공급관로를 통해 공급되는 용착식 도료를 도료 인젝터에 의해 노면에 임의 폭으로 도포함 차선의 폭이 15~45cm 인 광폭의 차선, 또는 15cm 이하의 일반 차선을 도포할 수 있음
- 비드 분사유닛 : 용착식 도료가 노면에 도포된 도포층 위에 비드 분사유닛의 비드 분사노즐에 의해 일정한 양과 압력으로 글라스비드를 분사시킬 수 있음
- 승강조절부 : 프레임에 고정된 압출식 도색유닛 및 비드 분사유닛을 노면에 대해 미세한 높낮이 조절이 가능함
- 히트오일탱크 및 보온관 : 도료 저장탱크의 바닥면에 설치되는 코일형태의 열매체 순환파이프에 열매체를 순환시켜 도료 저장탱크에 저장되는 용착식 도료의 응고를 방지함 이로 인해 저장탱크로부터 압출되는 도료가 압출식 도색유닛의 분사노즐에 의해 노면에 도포되기 직전까지 최적의 온도를 유지할 수 있게 됨



(a) 도료 저장탱크



(b) 글라스비드 저장탱크



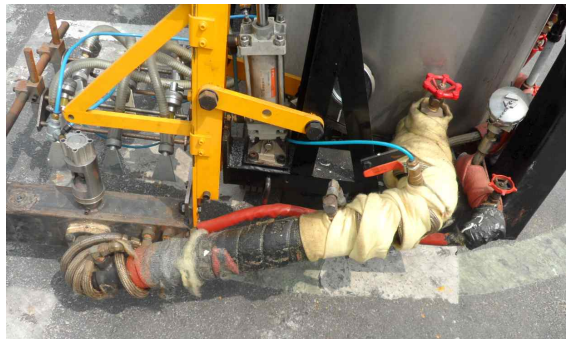
(c) 압출식 도색 유닛



(d) 비드 분사 유닛



(e) 승강조절부



(f) 보온관



(g) 히트 오일 탱크

<그림 3.10> 장비의 주요 장치

다. 시공 및 점검 품질확보 방안

■ 시공 품질 확보 방안

- 개발한 소형 용착식 차선도색 자동화 장비를 통해 시공하는 경우의 조성물, 시공장비, 시공 방법, 안전관리, 하자관리에 관한 제반사항을 규정하고, 이를 통해 고기능·장수명 차선도색을 위한 시공 품질관리 방안을 마련하고자 함
- 노면표지 설치 공사에는 다음과 같은 사항에 유의하여야 함
 - 신속한 시공이어야 함
 - 시공편의성이 있어야 함
 - 안전에 주의해야 함
 - 노면표지의 종류, 도로조건, 교통조건 등에 적합한 시공이어야 함
- 소형 용착식 차선도색 자동화 장비와 관련된 설계기준 및 시방기준은 다음과 같음

<표 3.14> 설계기준 및 시방기준

설계 및 시방기준	기준명	관리기관
설계기준	KS M 6080:2014 노면표지용 도료	산업통상자원부 국가기술표준원
설계기준	KS L 2521:2015 도로표지 도료용 유리알	산업통상자원부 국가기술표준원
시방기준	차선도색 특별 시방서(표준안)(2010.9)	국토해양부 도로정책관
시방기준	교통노면표지 설치·관리 매뉴얼(2012)	경찰청

■ 점검 품질 확보 방안

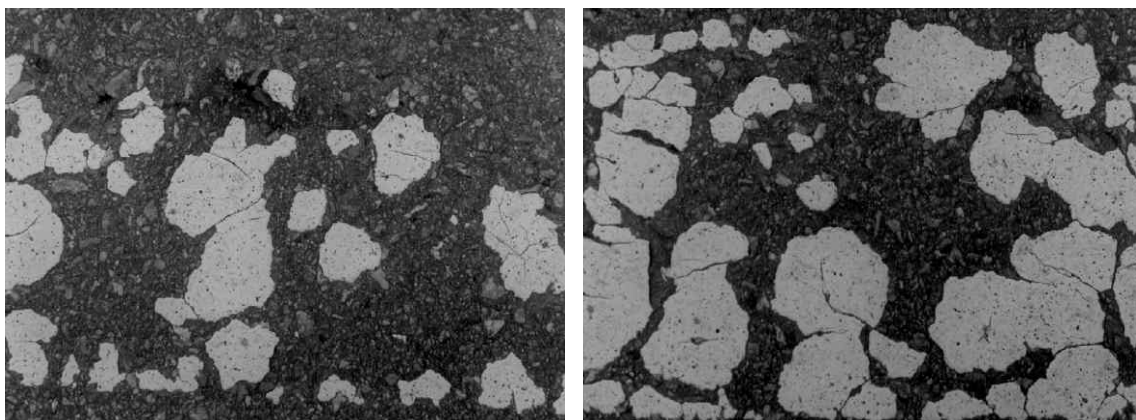
- 노면표지는 주야를 불문하여 명확하게 식별되어야 하며, 적설지역에서는 용설 후에 정기적인 점검을 실시하여야 하며 노면표지의 점검항목은 다음과 같음
 - 박리, 오염 등에 의한 선명하지 못한 부분의 유무
 - 마모에 의한 선명하지 못한 부분의 유무
 - 야간 시인성의 유무
 - 우천(습윤)시 야간 시인성의 유무
- 점검에 의해 노면표지의 일정구간 또는 문자, 기호 등에 대하여 선명하지 못한 부분이 당해 구간의 반 정도에 이른다고 인정된 경우 또는 야간의 시인성이 현저하게 떨어지는 경우는 신속하게 재 도포 하여야 함
- 도포 교체에 있어서는 재래 노면표지와 차이가 생기지 않도록 주의하여야 함

- 도로의 상황, 교통상황에 따라 야간의 시인성을 확보할 필요가 있는 곳에서는 도포교체 시에 유리알이 적절히 혼입된 도로의 사용 또는 기능성 노면표시재를 사용하는 것이 좋음
- 제설로 인하여 노면표시가 손상되었을 경우는 내구연한을 고려하여 전면 재 도포하거나 부분 재도포를 선택할 수 있음
- 노면표시의 평가는 공법, 도로 조건(너비, 곡선반지름 등), 교통조건(교통량, 대형차량 혼입율), 기상조건(온도, 적설 등) 등 여러 가지 요인에 따라 달라짐
- 5인 이상의 관측자가 약 3m 떨어진 지점에서 노면표시를 보고 그 느낌에 따름

<표 3.15> 노면표시의 유지·관리

평가등급	ASTM ^{주)}	보충
5	충분히 만족	시공 초기와 다름없이 양호
4	약간 만족	약간 변색이 있지만 표시기능은 충분
3	일부 불만족	더러움, 변색, 블리드 등이 인정됨
2	약간 불만	더러움, 변색 등이 뚜렷함
1	불만족	원형이 없어지고 더러움이 있어서 시인성 나쁨

주) ASTM : American Society for Testing Materials



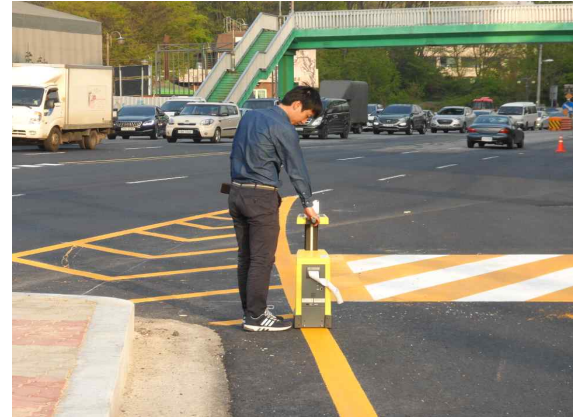
<그림 3.11> 노면표시의 마모상황 (경찰청, 2012)

- 휴대용 노면표시 휘도측정기를 이용하여, 노면표시 측정결과 재 도포 기준치에 미달되면 노면표시를 재 도포하는 것이 바람직함

<표 3.16> 도로형 노면표시 반사성능

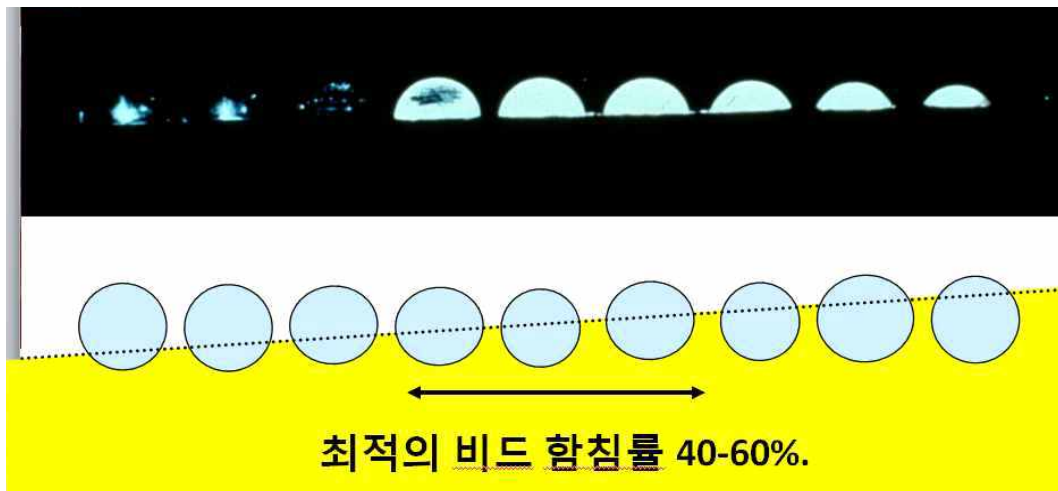
(단위 : mcd/(m²·lx))

조사각	관측각	구분	최소재귀반사성능			비고
			백색	황색	청색	
88.76° (1.24°)	1.05° (2.29°)	설치시	240	150	80	기준
		재설치 시기	100	70	40	권장
		우천(습윤)시	100	70	40	권장

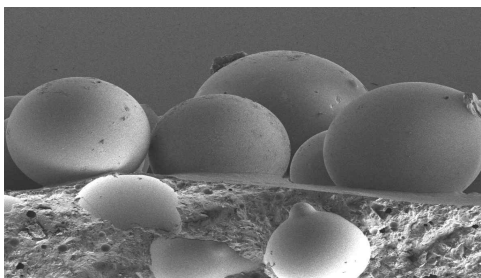


<그림 3.12> 재귀반사 측정

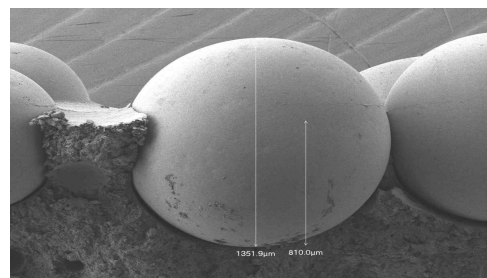
- 차선도색 공사 착공 전 시험시공을 통해 도로 살포 후 유리알 도료 내 함침률 확인(시인성 향상을 위한 최적의 유리알의 함침률은 40~60%임)



<그림 3.13> 유리알의 함침률에 따른 시인성 (도로교통공단, 2013)



<그림 3.14> 유리알이 도로에 함침이 안된 경우



<그림 3.15> 유리알이 도로에 함침이 잘된 경우

라. 차선도색 장비의 기능 및 성능평가

■ 생산성 평가

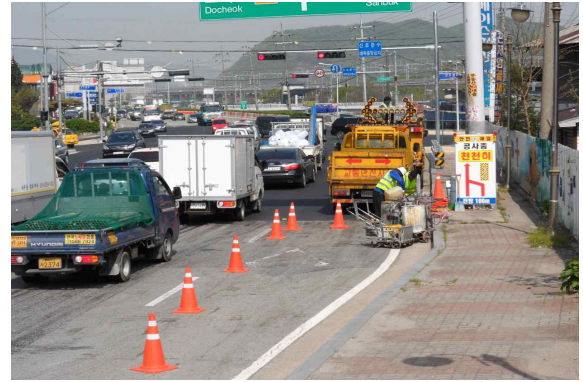
- 생산성 달성비율 분석을 통해 자동화 장비 이용시 수동식 방식의 생산성 달성 여부와 생산성 향상 정도를 분석할 수 있음
 - 생산성 달성비율(Productivity Achievement ratio; PAR) : 현재 생산성과 획득가능한 생산성의 비
 - 현재 생산성(Actual Productivity) : 현재 실제로 획득한 생산성
 - 획득가능 생산성(Obtainable Productivity) : 기존 방식으로 얻을 수 있는 최대 생산성
- 생산성 향상 정도를 도출하기 위한 비교군은 현재 차선도색에서 가장 일반적으로 사용되는 장비와 절차를 설정하였음(국내 등록된 도장 업체의 수는 대한전문건설협회(KOSCA)에서 확인이 가능하며, 2017 8월 현재 등록 업체수는 2,848개 인 것으로 확인됨. 이중 소형자동화 장비를 보유한 업체수는 5%내외로 소형자동화 장비의 보급이 이루어지지 않은 상황이므로 일반적으로 시공에 사용되고 있는 수동식 장비를 비교군으로 설정하였음)
- 본 연구에서는 차선도색 자동화 방식의 생산성을 현재 생산성으로 설정하고, 수동식 방식의 생산성을 획득가능 생산성으로 설정하여 생산성 달성비율을 산출하였음
- 생산성 데이터는 기하구조(종단 및 횡단) 및 교통량 등과 같은 측정 환경이나 기타 여건에 따라 많은 영향을 받음. 따라서 수동식 방식과 자동화 방식의 생산성을 측정하기 위해서는 동일한 작업환경에서 차선도색 작업이 수행되도록 해야 함

(1) 수동식 차선도색 장비의 생산성 측정

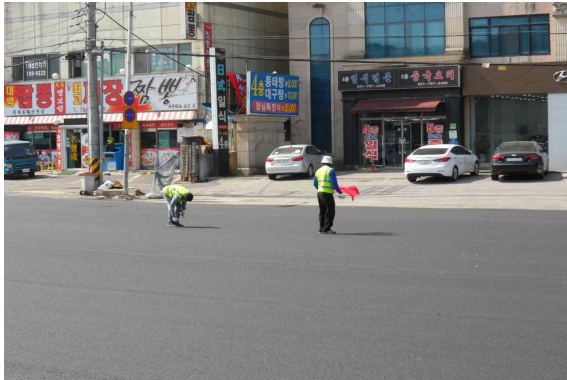
- 차선도색 현장은 경기도 광주시 곤지암사거리 횡단보도 및 차선을 도색하는 현장임. 현장에 대한 기본 사항은 다음과 같음
 - 장소 : 경기도 광주시 곤지암 사거리
 - 작업인원 : 총 8인 - 특별인부 4인, 보통인부 4인,
 - 트럭 : 트럭(용해기 및 장비트럭) 2대
 - 주요 도색 노면표시의 종류: 횡단보도, 중앙선, 차선, 유턴구역선, 유도선, 길가장자리 구역선 도색
 - 현장특성: 아스팔트 재포장 구간임: 중차량이 많은 공용구간으로 교통차단에 어려움이 많아 작업 일정이 늦어짐



(a) 공사현장 전경



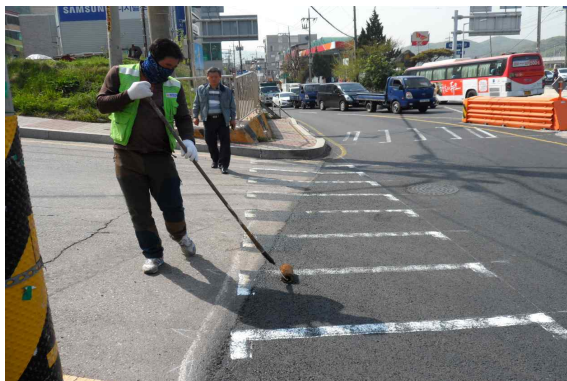
(b) 교통유도·차량·자재 배치



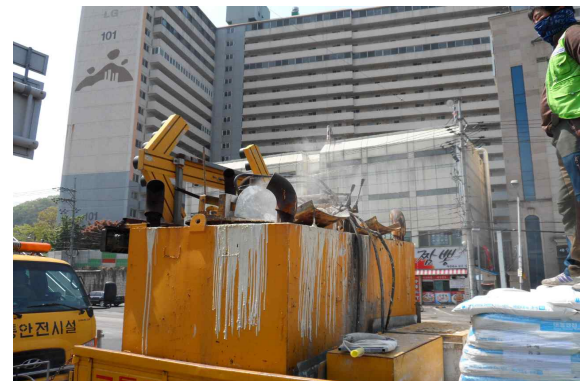
(c) 노면 청소



(d) 계측·작도



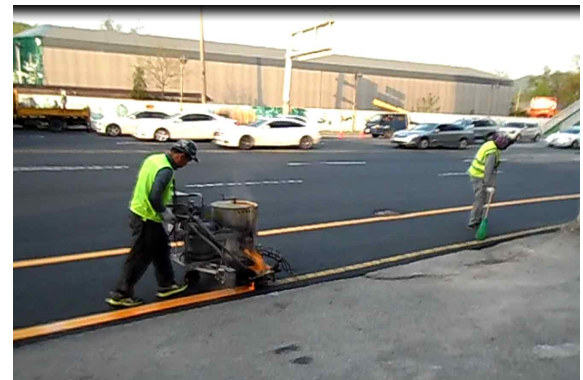
(e) 프라이머 도포



(f) 분말 또는 과립형 자재 용융



(g) 설치기기에 도로 이입



(h) 도포 설치

<그림 3.16> 수동식 차선도색 현장

- 생산성 측정은 도로 설치 공정을 중심으로 데이터를 수집하였음. 수동식 차선도색 장비의 생산성 측정 결과는 다음 표에서 보는바와 같음

<표 3.17> 수동식 차선도색 방식의 현장 생산성 측정

NO	단위 작업물량		실작업 소요시간(sec)	단위 작업물량 생산성	
	길이(m)	면적(m ²)		(m/sec)	(m ² /sec)
1	14.7	2.2	25	0.588	0.088
2	8.5	1.3	14	0.607	0.091
3	18.2	2.7	26	0.700	0.105
4	11.1	1.7	22	0.505	0.076
5	26.9	4.0	36	0.747	0.112
6	6.9	1.0	11	0.627	0.094
7	22.8	3.4	27	0.844	0.127
8	42.1	6.3	47	0.896	0.134
9	18.4	2.8	30	0.613	0.092
10	25	3.8	46	0.543	0.082
11	40.3	6.0	55	0.733	0.110
12	18.1	2.7	43	0.421	0.063
합계	253	38.0	382	0.652	0.098

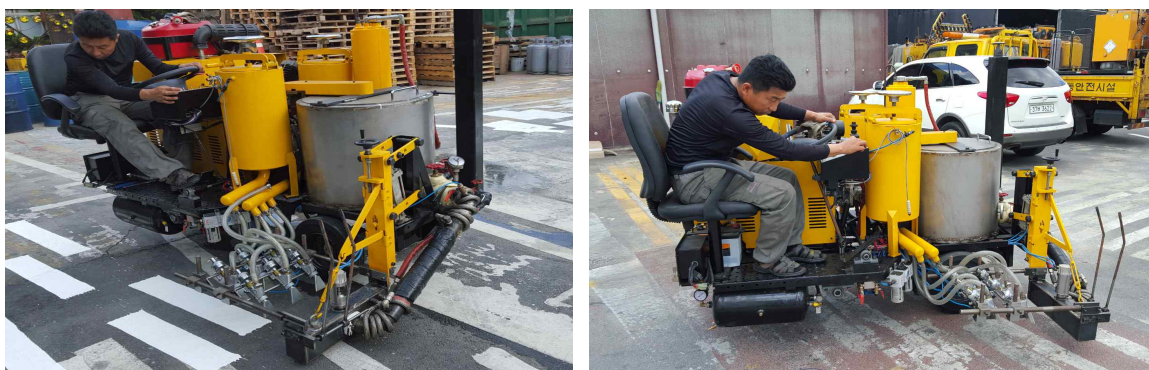
- 단위 작업물량 생산성은 차선도색 단위 작업구간의 작업물량(길이m 또는 면적m²)을 작업 소요시간(sec)으로 나누어 산출하였음
- 생산성 측정시 면적기준은 노면표시의 폭 15cm를 곱하여 도출한 값임
- 단위 작업물량의 평균 생산성을 분석한 결과, 거리기준 총 253m(면적기준 38.0m²)를 도색하는데 비 작업시간(이동시간 및 장비정비 시간 등)을 제외한 실작업 소요시간은 382초가 소요되었음
- 따라서 수동식 차선도색 방식의 현장 생산성을 계산하면 거리기준 0.652m/sec(면적기준 0.098m²/sec)가 산출됨. 이를 분당 생산성으로 환산하면 거리기준 39.12m/min (면적기준 5.87m²/min)이 됨
- 수동식 차선도색 현장 생산성 측정 결과를 1일 8시간 작업을 수행할 경우의 일당 생산성으로 환산하면 다음 표와 같음
- 현장 생산성 측정 결과, 수동식 차선도색 방식의 작업은 일반적으로 도로 용해기 트럭 1대, 장비 트럭 1대, 그리고 작업 여건에 따라서 노무자는 8인까지 구성되며 1일 8시간 동안 거리기준 평균 18,229.6m(면적기준 2,819.6m²)의 작업 물량을 수행하는 것으로 조사되었음

<표 3.18> 수동식 차선도색 방식의 생산성 측정 결과

구분		평균 생산성
생산성	거리	39.12 m/min
	면적	5.87 m ² /min
일당 생산성	거리	18,779.6 m/day
	면적	2,816.9 m ² /day

(2) 자동식 차선도색 장비의 생산성 측정

- 자동화 장비의 생산성은 수동식 장비와 최대한 유사한 작업환경과 여건을 설정하였으며, 자동화 장비가 프로토타입 장비라는 점과 현장실험 참여자와 노무자의 안전성 등을 고려하여 업체의 앞마당을 실험구간으로 선정하였음
- 실험구간에서 자동화 장비의 현장실험을 통하여 자동화 방식의 생산성을 측정하였음



<그림 3.17> 자동식 차선도색 실험

- 실험은 길이 10m, 폭 15cm인 실선을 기준으로 10개의 단위 작업물량으로 하였음. 수집된 차선도색 자동화 방식의 생산성 데이터는 아래 표와 같음

<표 3.19> 자동식 차선도색 방식의 현장 생산성 측정

NO	단위 작업물량		실작업 소요시간(sec)	단위 작업물량 생산성	
	길이(m)	면적(m ²)		(m/sec)	(m ² /sec)
1	10	1.5	12	0.833	0.125
2	10	1.5	10	1.000	0.150
3	10	1.5	10	1.000	0.150
4	10	1.5	10	1.000	0.150
5	10	1.5	10	1.000	0.150
6	10	1.5	9	1.111	0.167
7	10	1.5	10	1.000	0.150
8	10	1.5	10	1.000	0.150
9	10	1.5	8	1.250	0.188
10	10	1.5	10	1.000	0.150
합계	100	15.0	99	1.019	0.153

- 단위 작업물량의 평균 생산성을 분석한 결과, 거리기준 총 100m(면적기준 15.0m²)를 도색 하는데 비 작업시간(이동시간 및 장비정비 시간 등)을 제외한 실작업 소요시간은 99초가 소요되었음

- 따라서 자동식 차선도색 방식의 생산성을 계산하면 거리기준 1.019m/sec(면적기준 0.153 m²/sec)가 산출됨. 이를 분당 생산성으로 환산하면 거리기준 61.17m/min (면적기준 9.18 m²/min)이 됨

<표 3.20> 자동식 차선도색 방식의 생산성 측정 결과

구분		자동화장비 생산성
생산성	거리	61.17 m/min
	면적	9.18 m ² /min
일당 생산성	거리	29,360.0 m/day
	면적	4,404.0 m ² /day

(3) 생산성 달성 비율

- 자동식 차선도색 방식의 일일 생산성은 거리기준 29,360.0m/day(면적기준 4,404.0m²/day)로, 수동식 방식의 생산성 거리기준 18,779.6m/day(면적기준 2,816.9m²/day)와 비교해 볼 때 10,580.4m/day(면적기준 1,587m²/day)가 높은 것으로 분석됨
- 이를 토대로 차선도색 자동화 방식의 생산성 달성 비율(PAR)을 산출하면 다음과 같음

$$\begin{aligned}
 & \text{생산성 달성 비율(Productivity Achievement Ratio; PAR)} \\
 & = \text{Obtainable Productivity(OP)} \div \text{Actual Productivity(AP)} \\
 & = 29,360.0 \div 18,779.6 = 156.3\%
 \end{aligned}$$

- 생산성 달성 비율을 분석한 결과, 현재 생산성(수동식 방식의 생산성)대비 획득 가능한 생산성(자동식 방식의 생산성)이 156.3%인 것으로 분석되었음
- 이는 수동식 차선도색 방식을 자동화 방식으로 대체할 경우 56.3%의 생산성 향상 효과를 얻을 수 있는 것을 의미함
- 즉 수동식 방식의 1일당 생산성(거리기준 18,779m/day, 면적기준 2,816.9m²/day)과 동일한 물량의 차선도색을 자동화 방식으로 도색할 경우 5시간 7분 1초가 소요되어 결국 2시간 52분 59초의 작업시간 절감효과를 얻을 수 있다는 것을 의미함

■ 안전성향상 평가

(1) 평가항목 선정

- 소형 차선도색 자동화 장비 도입시 안전성 향상을 정량적으로 측정하기 위해 차선도색 시공 흐름도에 따라 단위작업을 크게 노면청소, 프라이머 도포, 설치기기에 도료 이입, 도포

설치로 구분하였고, 각각의 단위작업에서 안전에 영향을 미치는 안전성 요인 12개를 전문가 자문 및 문헌고찰을 통해 4개 단위작업에 대하여 12개의 요인을 도출하였음

<표 3.21> 안전성 평가항목 선정

단위 작업	안전성 요인
A. 노면청소	FS-01 도로 복사열로 인한 열사병 위험
	FS-02 이물질, 먼지 등에 의한 인체 해로움
	FS-03 주변 교통으로 인한 사고 위험
B. 프라이머 도포	FS-04 도로 복사열로 인한 열사병 위험
	FS-05 화기에 의한 화재 위험
	FS-06 주변 교통으로 인한 사고 위험
C. 설치기기에 도로 이입	FS-07 높은 온도로 인한 화상 위험
	FS-08 주변 교통으로 인한 사고 위험
D. 도포 설치	FS-09 도로 복사열로 인한 열사병 위험
	FS-10 높은 온도로 인한 화상 위험
	FS-11 화기에 의한 화재 위험
	FS-12 주변 교통으로 인한 사고 위험

(2) 안전성 요인 중요도 산정

- 각 단위작업에서 도출된 안전성 요인은 사고발생에 미치는 영향에 차이가 있음
- 따라서, 본 절에서는 AHP 기법을 활용하여 전문가 평가를 바탕으로 각 단위작업의 안전성 가중치를 쌍대비교(Pairwise Comparison)함으로써 산출하였고, 각 단위작업 내 안전성 요인에 대해서도 동일한 방법으로 산출된 가중치를 앞서 산출한 단위작업의 안전성 가중치를 반영하여 안전성 요인의 중요도를 산정하였음
- 단위작업의 안전성 가중치 분석결과, 도포 설치가 52.3%로 안전에 미치는 영향이 가장 높은 단위작업으로 분석되었고, 다음으로 프라이머 도포 21.4%, 노면청소 16.8%, 설치기기에 도로 이입 9.5% 순으로 도출되었음
- 산정된 가중치에 대한 일관성 비율(C.R; Consistency Ratio)은 0.06623으로 0.1 보다 작게 나타나 일관성이 있는 분석으로 나타났음

<표 3.22> 단위작업의 안전성 가중치 산정

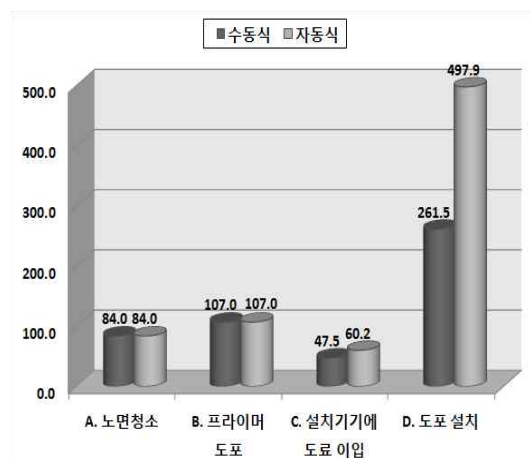
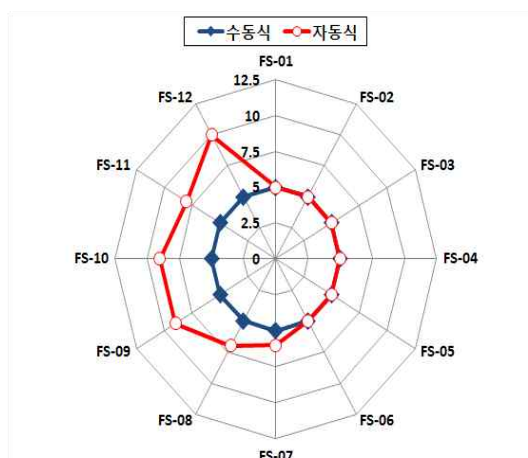
구분	A	B	C	D	가중치	확정 가중치
A	1	1/2	3	1/4	0.168	16.8%
B		1	2	1/3	0.214	21.4%
C			1	1/4	0.095	9.5%
D				1	0.523	52.3%
C.I = 0.05961, C.R = 0.06623					1.000	100.0%

(3) 안전성 향상률 평가

- 차선도색 전문가 평가를 바탕으로 수동식 장비와 자동화 장비의 안전성 평가항목별 등급을 활용하여 평가하였으며, 이를 통해 평가항목별 성능지수를 산정하였음
- 각 단위작업의 안전성 향상률은 설치기기에 도로 이입 26.7%, 도포 설치 90.4%로 산출되어, 전체적으로 수동식 방식에 비해 자동화 방식이 49.8%의 안전성 향상률을 기대할 수 있는 것으로 분석되었음

<표 3.23> 안전성 향상률 평가

단위작업	안전성 요인	중요도	등급		성능	
			수동식	자동식	수동식	자동식
A. 노면 청소	FS-01	0.040	5	5	20.0	20.0
	FS-02	0.023	5	5	11.5	11.5
	FS-03	0.105	5	5	52.5	52.5
	계	0.168	15	15	84.0	84.0
B. 프라이머 도포	FS-04	0.052	5	5	26.0	26.0
	FS-05	0.029	5	5	14.5	14.5
	FS-06	0.133	5	5	66.5	66.5
	계	0.214	15	15	107.0	107.0
C. 설치기기에 도로 이입	FS-07	0.063	5	6	31.5	37.8
	FS-08	0.032	5	7	16.0	22.4
	계	0.095	10	13	47.5	60.2
D. 도포 설치	FS-09	0.067	5	9	33.5	60.3
	FS-10	0.092	5	9	46.0	82.8
	FS-11	0.046	5	8	23.0	36.8
	FS-12	0.318	5	10	159.0	318.0
	계	0.523	20	36	261.5	497.9
합계		1.000	60	79	500.0	749.1
안전성 향상률					△ 249.1 (▲ 49.8%)	



<그림 3.18> 안전성 요인 등급 및 성능 평가

■ 품질 향상률 평가

(1) 품질 평가항목 선정

- 안전성 향상률 분석에서 분개된 단위작업을 바탕으로 각 단위작업에서 품질에 영향을 미치는 품질 요인 10개를 전문가 자문 및 문헌고찰을 통해 4개의 단위작업에 대하여 10개 품질요인을 도출하였음

<표 3.24> 품질 평가항목 선정

단위 작업	품질 요인
A. 노면청소	FQ-01 이물질 제거 정도
B. 프라이머 도포	FQ-02 프라이머 살포량 과다 및 부족
	FQ-03 프라이머 건조 부족
C. 설치기기에 도료 이입	FQ-04 용융조의 찌꺼기 혼입
	FQ-05 과다 가열에 의한 변색
D. 도포 설치	FQ-06 도료와 비드의 균일 혼합(침전)
	FQ-07 시공시 도료 용해온도
	FQ-08 유리알 살포시 비드 함침율
	FQ-09 유리알 살포량
	FQ-10 일정한 도막 두께

(2) 품질 요인 중요도 산정

- 각 단위작업에서 도출된 품질 요인도 차선도색 전체 품질에 영향을 주는 정도가 다르기 때문에, 앞절의 위험성 요인 중요도 산정 방법론과 동일하게 품질 요인의 중요도를 산정하였음
- 단위작업의 품질 가중치 분석결과, 도포 설치가 50.1%로 품질에 가장 높은 영향을 미치는 단위작업으로 분석되었고, 다음으로 노면청소 24.7%, 프라이머 도포 15.8%, 설치기기에 도료 이입 9.4% 순으로 도출되었음
- 산정된 가중치에 대한 일관성 비율은 0.03241로 0.1 보다 작게 나타나 일관성이 있는 분석으로 나타났음

<표 3.25> 단위작업의 품질 가중치 산정

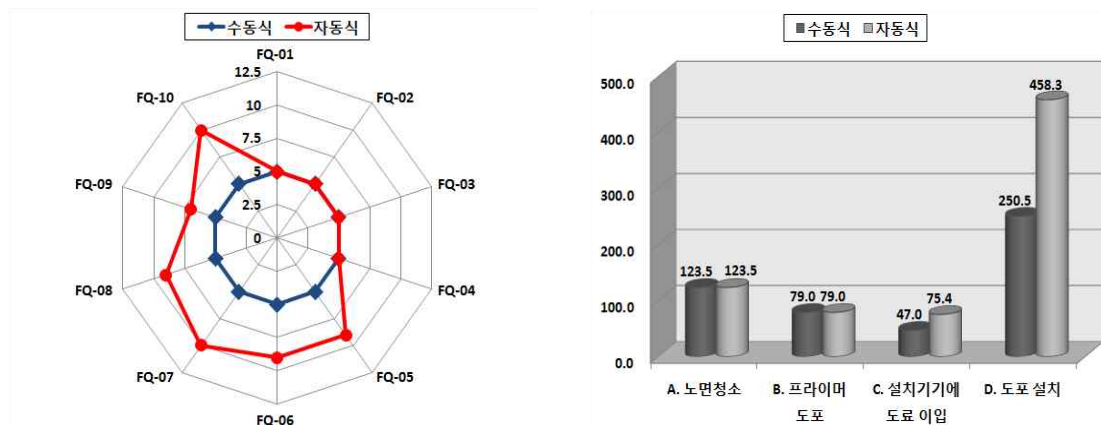
구분	A	B	C	D	가중치	확정 가중치
A	1	2	3	1/3	0.247	24.7%
B		1	2	1/3	0.158	15.8%
C			1	1/4	0.094	9.4%
D				1	0.501	50.1%
C.I = 0.02917, C.R = 0.03241					1.000	100.0%

(3) 품질 향상률 평가

- 차선도색 전문가 평가를 바탕으로 수동식 장비와 자동화 장비의 품질 평가항목별 등급을 활용하여 평가하였으며, 이를 통해 평가항목별 성능지수를 산정하였음
- 각 단위작업의 품질 향상률은 설치기기에 도로 이입 60.4%, 도포 설치 83.0%로 산출되어, 전체적으로 수동식 방식에 비해 자동화 방식이 47.2%의 품질 향상률을 기대할 수 있는 것으로 분석되었음

<표 3.26> 품질 향상률 평가

단위작업	품질요인	중요도	등급		성능	
			수동식	자동식	수동식	자동식
A. 노면청소	FQ-01	0.247	5	5	123.5	123.5
	계	0.247	5	5	123.5	123.5
B. 프라이머 도포	FQ-02	0.032	5	5	16.0	16.0
	FQ-03	0.126	5	5	63.0	63.0
	계	0.158	10	10	79.0	79.0
C. 설치기기에 도로 이입	FQ-04	0.023	5	5	11.5	11.5
	FQ-05	0.071	5	9	35.5	63.9
	계	0.094	10	14	47.0	75.4
D. 도포 설치	FQ-06	0.031	5	9	15.5	27.9
	FQ-07	0.167	5	10	83.5	167.0
	FQ-08	0.099	5	9	49.5	89.1
	FQ-09	0.099	5	7	49.5	69.3
	FQ-10	0.105	5	10	52.5	105.0
	계	0.501	25	45	250.5	458.3
합계		1.000	50	74	500.0	736.2
품질 향상률					△ 236.2 (▲ 47.2%)	



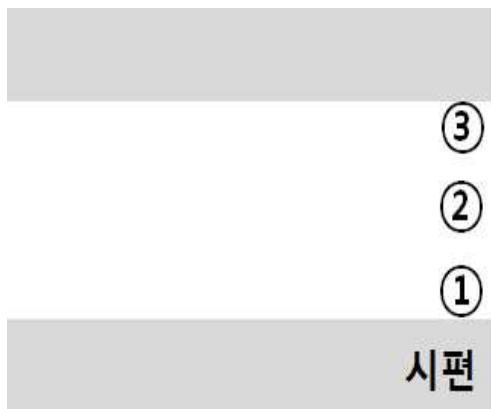
<그림 3.19> 품질 요인 등급 및 성능 평가

1-3. 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축

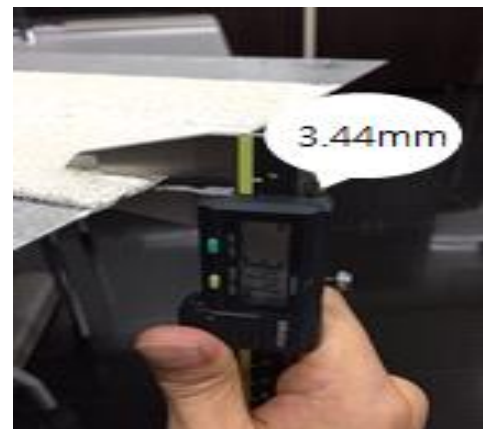
- 지금까지의 연구결과를 종합하여 공용도로에 적용함으로서 연구성과의 성능 및 기능을 검증하고, 가이드라인과 시방서를 통해 차선도색 기술의 전과정의 시스템을 구축하고자 함 (단, 시방서의 축광휘도 및 재귀반사의 기준 등 가이드라인 보다는 시방서에 기술하는 것이 적합할 것으로 판단되어 “고휘도 야광차선 도색기술”에서 제시하였음)
- 시험시공 후 차선도색 기술의 성능 및 기능을 검증하기 위해 연구기간 내 가능한 범위인 6개월을 설정하여 모니터링을 계획하였으며, 연구의 기간 내 검증이 불가능한 부분에 대해서는 동일한 방법으로 시편을 제작하여 성능 및 기능을 검증하고자 함
- 시편을 통한 현장의 시공의 성능검증은 크게 세 가지로 첫째, 차선도색 기술의 품질확보에 대한 부분으로 균일한 도막의 두께(2mm 이상)를 검증하는 것임
- 둘째, (장수명) 시공 이후 시간 경과 및 차량에 의한 마모, 파손 등을 확인할 수 있는 내마모도 시험 후 재귀반사 및 축광휘도의 성능 변화를 통해 장수명을 검증하는 것임(내마모도 시험에 포함되어 있지 않은 축광휘도의 경우 내마모도 시험이 종료된 시편을 실내실험을 통해 검증하고자 하였음)
- 셋째, (고기능) 차선도색에서 시인성에 가장 큰 영향을 미치는 글라스 비드의 함침율을 확인하기 위한 것으로 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)을 통해 시공 시 최적 함침율을 검증하는 것임

가. 노면표시의 도막 두께 품질 검증

- 도막 두께의 측정을 위해 가장 널리 쓰이는 장비는 버니어 캘리퍼스와 전자식 도막두께 측정기가 있음
- 전자식 도막두께 측정기는 사용이 용이하나 지면에 따라 상이한 값을 보이기 때문에 보다 정확한 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하고자 함
- 도막 두께의 측정은 시편 당 3개 지점을 측정하였음



<그림 3.20> 도막 두께 측정 지점



<그림 3.21> 도막 두께 측정 지점

<표 3.27> 도막 두께 측정

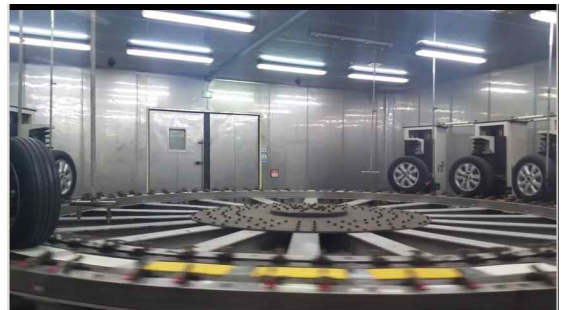
구분	시편1	시편2	시편3
①	3.44	3.40	3.60
②	3.45	3.42	3.55
③	3.41	3.40	3.57
평균	3.43	3.40	3.57
시편	0.80	0.80	0.81
최종	2.63	2.60	2.76

- 제작한 시편의 측정 결과 2.63mm, 2.60mm, 2.76mm의 결과로 비교적 균일하게 도포된 것을 확인 할 수 있음(함침된 글라스 비스 : 0.5mm 내외 포함)

나. 노면표시의 내마모도(재귀반사) 검증

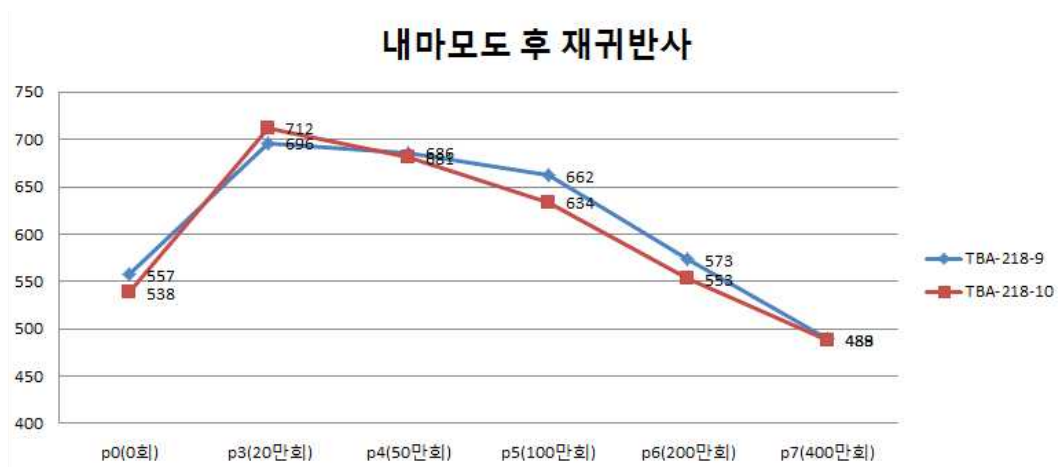


<그림 3.22> 노면표시 현장 시험을 위한 시편



<그림 3.23> 운하중내마모성 시험기를 통한 시험 장면

- 내마모도 시험 재귀반사 측정 결과는 20만회 측정시 696-712mcd/(m²·lx), 50만회 측정시 681-684mcd/(m²·lx), 100만회 측정시 634-662mcd/(m²·lx), 200만회 측정시 553-573mcd/(m²·lx), 400만회 측정시 488-489mcd/(m²·lx)의 값을 보이는 것으로 나타났음



<그림 3.24> 내마모도 시험 후 재귀반사

<표 3.28> 내마모도 시험 후 재귀반사도(TBA-218-9)

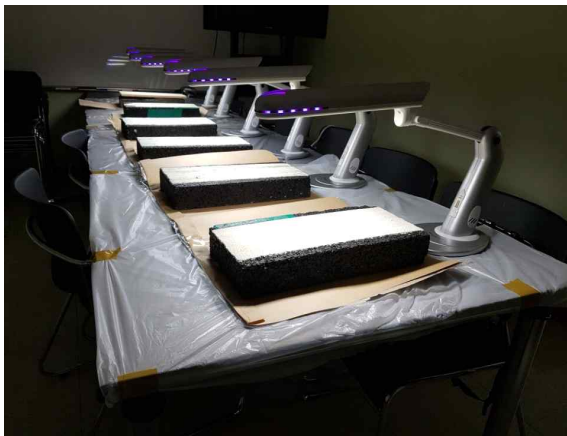
구분	바퀴 회전수	측정조건	재귀반사(mcd/(m ² ·lx))
초기	0회	건조한 노면	557
		젖은 노면	—
P3	20만회	건조한 노면	696
		젖은 노면	111
P4	50만회	건조한 노면	686
		젖은 노면	101
P5	100만회	건조한 노면	662
		젖은 노면	91
P6	200만회	건조한 노면	573
		젖은 노면	101
P7	400만회	건조한 노면	489
		젖은 노면	139

<표 3.29> 내마모도 시험 후 재귀반사도(TBA-218-10)

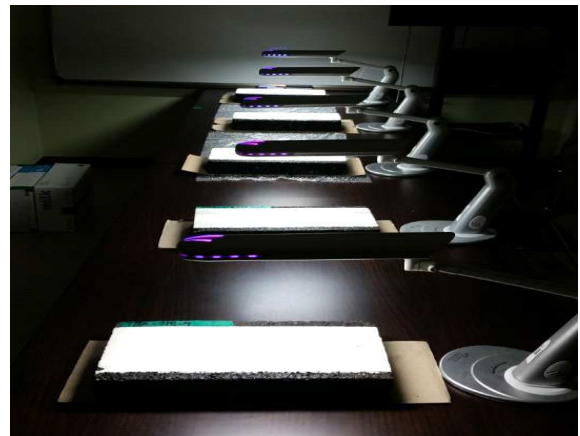
구분	바퀴 회전수	측정조건	재귀반사(mcd/(m ² ·lx))
초기	0회	건조한 노면	538
		젖은 노면	—
P3	20만회	건조한 노면	712
		젖은 노면	114
P4	50만회	건조한 노면	681
		젖은 노면	116
P5	100만회	건조한 노면	634
		젖은 노면	109
P6	200만회	건조한 노면	553
		젖은 노면	110
P7	400만회	건조한 노면	488
		젖은 노면	131

다. 노면표시의 축광휘도 검증

- 시공 이후 차량 직간접적인 충격에 의한 마모, 파손 등에 따른 축광휘도의 성능 변화를 살펴보기 위하여 내마모도시험이 종료된 시편을 수거 후 실내에서 축광휘도를 측정하였음
- 실내 축광휘도 측정 결과 건조한 노면의 경우 초기 0.522~0.003의 값을 보였으며 p7의 경우 0.447~0.004의 값을 보였음
- 젖은 노면의 경우 0.464~0.003의 값을 보였으며, P7의 경우 0.293~0.003의 값을 보였음
- 두 조건 모두 초기값의 차이는 축광휘도가 성능이 초반 빠르게 감소하는데 이러한 부분이 영향을 미친 것으로 판단되면 30분 후의 값을 비교 결과 마모에 따른 축광성능의 감소는 없는 것으로 판단됨



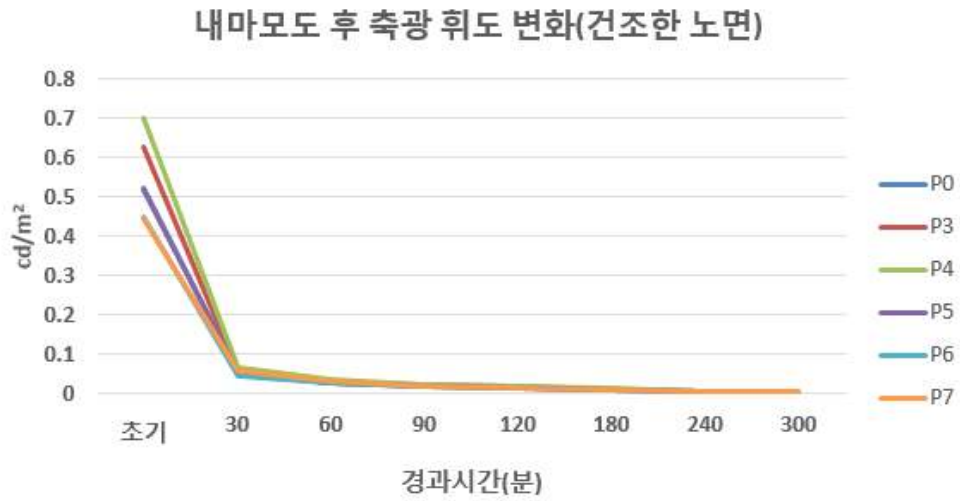
<그림 3.25> 습윤



<그림 3.26> 건조

<표 3.30> 건조한 노면의 축광휘도

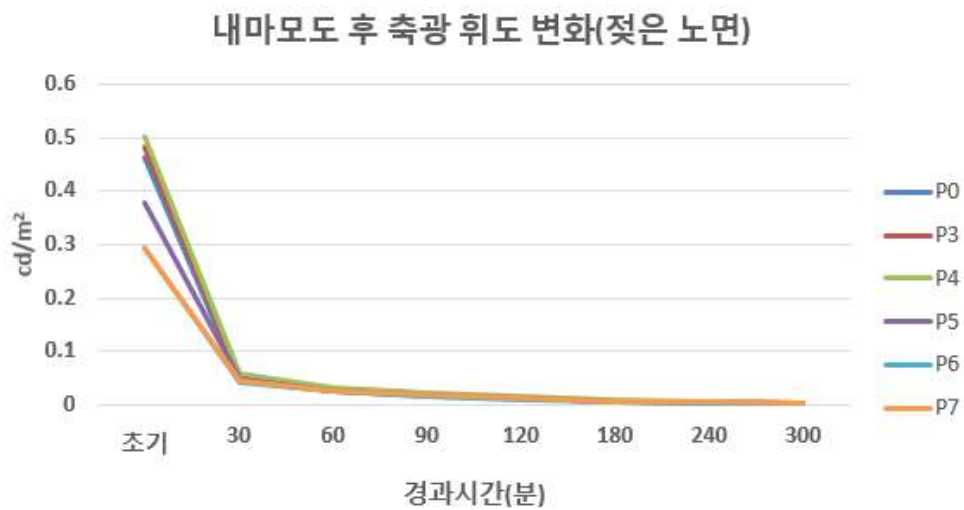
구분	초기	+30	+60	+90	+120	+180	+240	+300
P0	0.522	0.051	0.026	0.018	0.015	0.009	0.006	0.003
P3	0.627	0.056	0.029	0.022	0.017	0.011	0.006	0.003
P4	0.702	0.068	0.036	0.024	0.020	0.013	0.007	0.004
P5	0.520	0.055	0.028	0.021	0.016	0.010	0.006	0.003
P6	0.449	0.047	0.028	0.017	0.014	0.009	0.007	0.003
P7	0.447	0.056	0.030	0.020	0.015	0.010	0.007	0.004



<그림 3.27> 내마모도 시험후 측광휘도(건조)

<표 3.31> 젖은 노면의 측광휘도

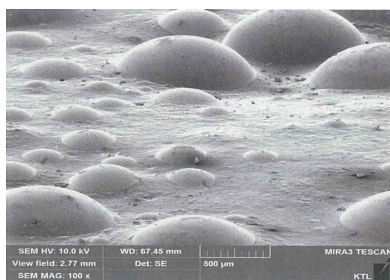
구분	초기	+30	+60	+90	+120	+180	+240	+300
P0	0.464	0.045	0.026	0.016	0.013	0.006	0.005	0.003
P3	0.483	0.052	0.030	0.019	0.014	0.007	0.005	0.003
P4	0.502	0.057	0.032	0.022	0.016	0.008	0.006	0.003
P5	0.378	0.048	0.026	0.018	0.012	0.006	0.004	0.003
P6	0.293	0.043	0.026	0.016	0.011	0.005	0.004	0.003
P7	0.293	0.045	0.025	0.018	0.012	0.007	0.005	0.003



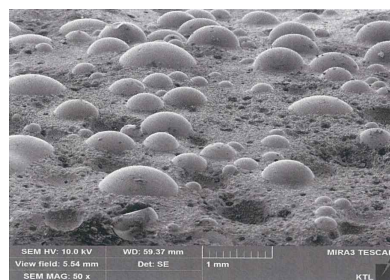
<그림 3.28> 내마모도 시험후 측광휘도(습윤)

라. 노면표시의 함침율 검증

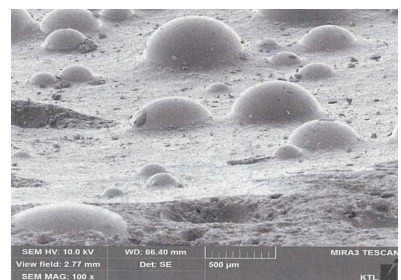
- SEM분석은 육안으로 확인이 불가능한 부분인 비드의 함침율, 탈리, 표면의 마모, 깨짐 등을 확인하기 위한 분석 방법 중 하나임
- 내마모도 시험 후 SEM분석을 실시하여 바퀴 회전수에 따른 변화를 살펴 보고자하였음
- 초기값인 P0(바퀴회전수 0회)인 경우 시공시 도포된 글라스 비드의 함침률은 58%(684.79/1171.35 μm) 수준으로 확인되며, 표면은 매끄럽고 깨짐 등은 없는 것을 확인 할 수 있음
- 바퀴회전수 20만회인 P3의 글라스 비드의 함침률은 초기값 대비 함침율의 변화는 없으며, 표면의 거칠기가 시공대비 거칠어짐을 확인 할 수 있음
- 바퀴회전수 50만회인 P4의 글라스 비드의 함침률은 표면의 마모로 인해 초기값 대비 다소 낮게 나타났으며, 도료 내부 글라스 비드가 표면위로 올라온 것을 확인할 수 있으며, 표면의 일부에서 박리의 초기 현상을 확인할 수 있음
- 바퀴회전수 100만회인 P5의 글라스 비드의 함침률은 P4의 결과와 큰 차이를 보이지 않으나, 일부 비드의 경우 마모 및 박리로 인해 탈리된 모습을 확인 할 수 있음 또한 시공 대비 표면이 거칠고 도료 내부 다수의 글라스 비드가 표면위로 올라온 것을 확인 할 수 있음
- 바퀴회전수 200만회인 P6의 글라스 비드의 함침률은 육안으로 확인해 보아도 비드의 함침이 다양하게 나타났으며, 비드의 탈리 현상을 다수확인할 수 있으며 일부 비드에서 차량에 의한 마모를 확인 할 수 있음 표면의 경우 거친부분과 매끄러운 부분이 혼재되어 있으며, 일부 깨짐 현상을 보임
- 바퀴회전수 400만회인 P7의 글라스 비드는 도료 속 내포되어 있던 비드가 표면의 마모로 인해 상당부분이 올라오기 시작하며 표면의 경우 거친부분과 매끄러운 부분이 혼재되어 있으며, 박리 및 깨짐 현상이 나타남



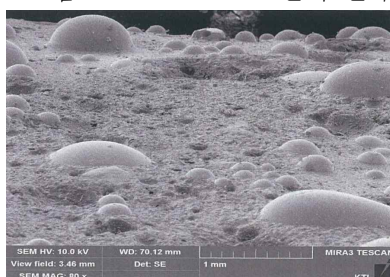
<그림 3.29> P0 SEM 분석 결과



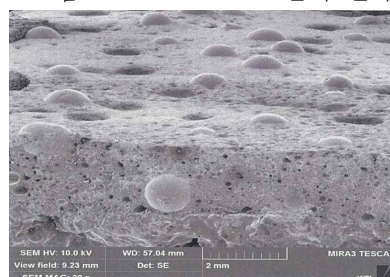
<그림 3.30> P3 SEM 분석 결과



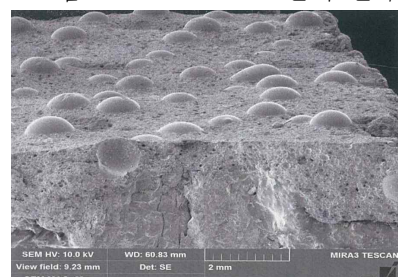
<그림 3.31> P4 SEM 분석 결과



<그림 3.32> P5 SEM 분석결과



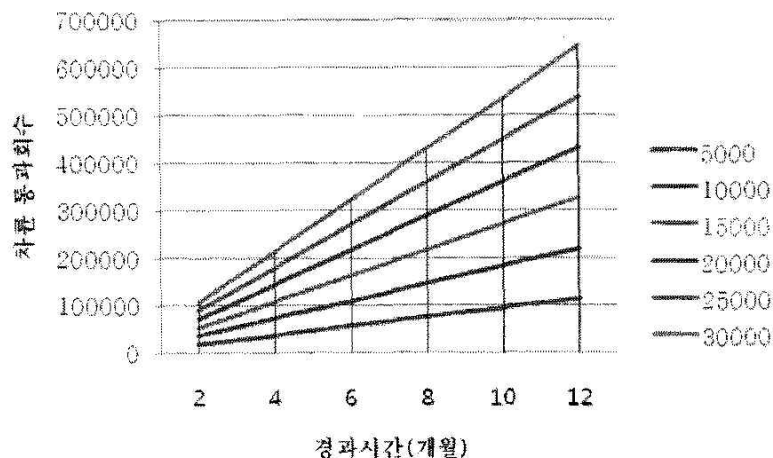
<그림 3.33> P6 SEM 분석결과



<그림 3.34> P7 SEM 분석결과

마. 노면표시의 내구연한 추정

- 내마모도 시험과 재귀반사, 측광휘도의 측정 값, SEM분석을 종합한 결과를 토대로 노면표시 기술의 성능에 대해 제시하고자 함
- 개발된 노면표시 기술의 장수명을 검증하기 위해 내마모도 시험 규정상 최대치인 400만회 (60km/h, 300N)를 실시하였음
- 공용도로와 내마모도 시험의 경우 차량의 속도, 하중, 궤적 등이 상이하나 시험장법의 한계로 바퀴의 회전수에 대해서만 언급하기로 함
- 또한 내마모도 시험의 데이터를 이용하여 현장에서의 내구연한을 추정하는 방법은 기존의 교통량에 의한 방법과 차량의 궤적을 이용한 방법으로 추정하고자 함
- 교통량에 의한 추정 방법은 기존 문헌(차선재료의 내구성 향상을 위한 내마모성 시험 적용연구, 이창근 외 2, 2011.09, 한국도로학회)에 따르면 일반 차로의 AADT가 약 1,100대, 고속도로의 AADT가 45,000대를 감안하여 평균 15,000대를 기준으로 200,000회(P3)는 약 7개월로 추정한 바 있음



<그림 3.35> AADT별 차륜 통과 회수 대비 경과시간

(자료 : 한국도로학회, 이창근 외 2인, 2011.09, 차선재료의 내구성 향상을 위한 내마모성 시험 적용연구)

- 상기의 연구 결과를 활용할 경우 4,000,000(P7)회의 차륜 통과회수는 140개월로, 11년 8개월의 시간 경과에 해당하는 수치임
- 따라서 시공 후 11년 8개월 후의 노면표시 상태를 추정해 보면 (SEM 분석)비드의 함침율은 표면의 마모로 인한 함침율의 상승, 탈리, 도로 속의 비드가 표면으로 올라와 고르지 못한 함침율을 보이며, 표면은 마모와 깨짐 현상으로 인해 거칠 표면상태를 보일 것으로 추정됨
- (내마모도 시험) 이때 재귀반사 값은 건조한 노면의 재귀반사 값은 487~489mcd/(m²·lx), 젖은 노면의 재귀반사 값은 131~139mcd/(m²·lx)의 값으로 최고 등급 R5/RW4을 넘어서는 것으로 추정됨

- (실내축광휘도 측정) 또한 건조한 노면의 경우 축광휘도 값은 0.447~0.004, 젖은 노면의 축광휘도 값은 0.293~0.002의 값으로 초기값의 86%의 성능을 보일 것으로 추정됨

바. 고기능 장수명 차선도색 전과정 시스템 소결

- 차선도색 기술의 전과정 시스템을 구축하기 위하여 국내외 차선도색 기술의 동향 및 문제점 등을 파악하고 개선하기 위해 고기능 장수명 차선도색 기술의 목표 성능 기준을 설정하였음
- 고기능 장수명 차선도색의 목표 성능은 크게 재료 부분과 장비부분으로 장비의 경우 시공 시 도료의 균일한 살포를 위한 바람막이, 도료의 두께조절, 비드의 균일한 살포, 시공의 최적 온도 유지 및 자동 교반기를 통한 촉매 혼합 등임
- 재료의 경우 여러 기준 및 규정을 통해 이미 제시되어 있기 때문에 개발된 장비로 시공시 시인성이 저하되지 않도록 재료의 품질 관리 및 점검, 유지관리에 관한 사항을 제시함으로써 재료의 목표 성능을 제시하였음
- 차선도색 기술의 기능 및 성능 평가 결과 생산성 및 안전성, 품질 향상성 등에서 기존 기술 대비 우수성을 확인하였으며 현장 시공을 통해 성능을 검증하고자 하였음
- 노면의 현장 시험은 크게 3가지로 도막의 두께, 함침율의 확인, 시인성(재귀반사, 축광휘도)에 대한 부분으로 구분됨
 - ① 도막 두께의 경우 2.6~2.7mm 소형 자동화 장비로 시공시 기존 수동식 장비 대비 도료가 균일하게 도포됨이 검증 되었음
 - ② 함침율의 경우 바퀴회전수에(마모 수준) 따라 함침율 및 표면의 거칠기가 다르게 나타났는데 표면의 비드가 탈리되더라도 도표속의 비드가 표면위로 올라와 비교적 균일한 함침율을 보이는 것이 검증 되었음
 - ③ 시인성에 영향을 미치는 재귀반사의 경우 글라스 비드의 비교적 고른 함침율로 인해 바퀴회전 수 400만회 이후에도 높은 재귀반사 성능을 갖는 것으로 검증되었으며, 축광휘도 경우 역시 높은 성능을 유지하는 것으로 검증되었음
- 지금까지의 검증 결과를 종합하여 개발된 기술을 현장에 적용시 내구연한을 추정해 보면 약 11년의 내구연한을 갖을것으로 추정됨
- 차선도색 기술의 발전 및 안전한 교통환경의 구축을 위해 가이드 라인과 시방서 등을 제시함으로서 고기능 장수명 차선도색 기술의 전과정 시스템을 구축하였음

부록. 고기능 장수명 차선도색 가이드라인(안)



- 목 차 -

제 1 장 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 개요	4
1.1. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 정의	4
1.2. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 목적	4
1.3. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 주요 제원	4
제 2 장 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 설계도	5
2.1. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 배면도	5
2.2. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 정면도	6
2.3. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 평면도	7
2.4. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 측면도	7
제 3 장 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 구성 및 역할	8
3.1. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 구성 항목	8
3.2. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 구성의 제원	11
3.3. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비 구성의 역할(기능)	34
3.4. 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 구동방법	38
제 4 장 소형 용착식 차선도색 자동화 장비의 시공	46

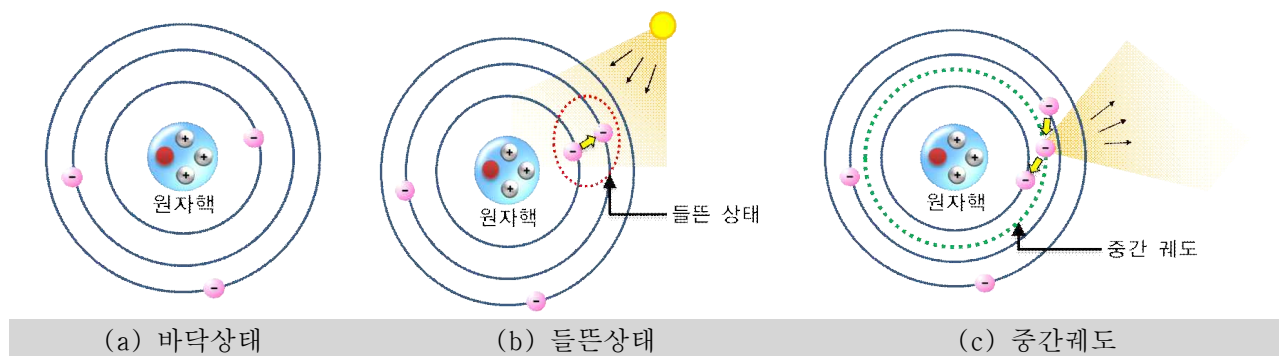
<그림 3.36> 측광 노면표시 설계·시공 시방서(안)

2. 고휘도 야광차선 도색 기술

2-1. 야광차선도료 최적배합 설계(1단계)

가. 야광안료 메카니즘 분석

- 야광의 정의를 살펴보면, 발광의 유지시간에 따라 형광(fluorescence)과 축광(phosphorescence)으로 나누며, 발광 유지시간인 10^{-8} sec 이하로 짧은 것을 형광이라 하고 그 이상의 긴 것을 축광으로 구분함
- 축광은 흡수한 빛을 저장하여 적은 양의 빛으로 천천히 방출하는 현상으로, 본 연구에서는 헤드라이트가 없는 곳에서 차선의 시인성 제고를 통한 안전성 향상을 목표로 하고 있기 때문에, 빛이 없으면 시인성 제고가 불가능한 형광보다는 축광을 활용한 야광차선을 개발하고자 함
- 축광의 원리를 살펴보면 원자는 원자핵(양성자+중성자)과 원자핵 주위를 도는 전자로 이루어져 있고 전자는 각 궤도에서 안정적으로 운동하고 있는데, 빛을 흡수하면 전자는 에너지를 받게 되어 그 에너지로 원래에 있던 바닥상태보다 더 높은 상태인 들뜬 상태가 됨
- 들뜬 상태가 된 전자는 빛이 없어지면 다시 원래 바닥상태로 되돌아가게 되는데, 이 과정이 서서히 이루어지면서 방출한 에너지가 빛으로 보이게 됨. 이는 야광 물질은 특수한 전자궤도가 있어 들뜬 상태의 전자가 바닥상태와 들뜬 상태의 중간궤도를 돌면서 빛을 내다가 다시 바닥상태로 돌아가기 때문임



<그림 3.37> 야광 원리

- 축광안료가 흡수할 수 있는 에너지원으로는 태양광, 수은등, 형광등 및 백열등 등 일상에서 사용되는 자연광 및 인조광이 있음. 흡수율의 순서를 살펴보면 태양광, 수은등, 형광등 순으로 백광색이 많이 포함된 빛의 순으로 나타남. 즉, 가시광선 영역의 높은 에너지를 가진 빛(400nm) 부근의 광원일수록 에너지 흡수율이 높음
- 따라서 축광안료는 빛의 세기에 따라 축광 효율의 차이가 발생하며 태양광처럼 강한 빛에는 적은 시간에도 충분한 흡수가 이루어지지만 상대적으로 약한 빛에서는 보다 많은 시간의 축광 시간이 필요함

- 기본적으로 축광재는 독성, 방사성 물질을 포함하고 있지 않아 인체와 환경에 무해하며, 기존 야광재료와 다르게 휘도가 밝고 잔광이 뛰어난

나. 야광안료 적용 사례

■ 국내 적용사례

- 국내 적용 사례로는 도로교통공단 교통과학연구원(2014)에서 축광물질을 이용하여 노면표시 및 안전표지 시작품을 개발하였고, 기능 평가 및 활용을 위한 기능성을 검토한 사례가 있음
- 축광펠렛 형태와 축광비드 형태로 노면표시에 적용하였지만 상용화를 위해서는 야간 색도나 휘도개선과 시공방법에 대한 보완이 필요한 것으로 확인되었음
- 그 밖에 도로회사 등에서 자발광 도로에 대한 연구나 한국화학연구원과 한국지질자원연구원 등에서 녹색 산화물계 축광소재에 관하여 연구한 사례는 있으나 개발 초기단계이고, 축광안료를 수입하여 타일, 의류, 야광표시 부품 등의 상품화 위주로 개발하고 있는 실정임 (서울시립대학교, 2010)
- 이외에도 축광을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있지만 기존 노면표시용 도료와 축광안료를 혼합한 기술개발 사례는 거의 전무함

■ 해외 적용사례

- 네덜란드의 Heijmans社는 광루미네선스라는 효과를 지닌 분말이 포함된 도료로 도색된 차선은 최대 10시간 동안 스스로 빛을 낼 수 있다고 보고하고 있음. 이 회사는 실제 네덜란드 OSS지역의 N329(Regional Highway) 노선(500m)에 야광차선을 시험·시공하여 성능기준을 수립하고 있음
- 실제 현장조사(2014.11) 결과, 시공된 야광차선은 <그림 3-32>에서 보는바와 같이 기존 차선 도포방식과는 다르게 세 줄의 줄눈(폭 약 1.5cm/시공 후 깊이 약 0.3cm)을 파서 야광도료를 채우는 형식으로 시공하였음



<그림 3.38> 네덜란드 야광 노면표시 현장(Netherlands Oss N329)

다. 야광차선도료 배합 기초실험

■ 축광안료의 선정

- 기존 노면표시 도료에 축광안료 최적 배합비를 도출하기 위해서 우선적으로 융착식 도료와 배합가능한 축광안료를 선정하고 배합비별 시간에 따른 휘도 변화를 비교하여 최적 배합비를 도출하였음
- 축광안료를 배합하기 위해 선정한 노면표시용 도료는 일반적으로 도로에 가장 많이 적용되고 있는 4종 융착식 도료임로 배합가능한 축광안료를 선정하기 위해서, 우선적으로 고온에 견딜 수 있고 융착도료와 배합이 가능한 축광안료를 대상으로 성적서를 기준으로 잔광시간을 비교 분석하였음

<표 3.32> 제품별 시간경과에 따른 잔광휘도

시간(분)	A사	B사	C사
2	1,597	1,051	1,547
10	333	243	357
30	97	65	108
60	44	29	48
120	19	13	22

- 시간에 따른 잔광휘도 비교결과, A사의 초기휘도가 C사보다 높지만 10분 이후부터 C사의 잔광휘도가 비교 안료 중에 가장 높게 나타남. 이에 C사의 축광안료를 이용하여 융착식 도료와 배합하고자 함
- 융착식 도료의 성질을 유지하면서 배합이 가능한 최대 축광안료 비율은 70% 수준으로, 이에 융착식 도료의 재료 비율을 제외하고 축광안료 비율만을 10% 단위로 변화시켜가며 7개(배합비 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70%)의 시편을 제작하였음



<그림 3.39> 축광 노면표시 시편



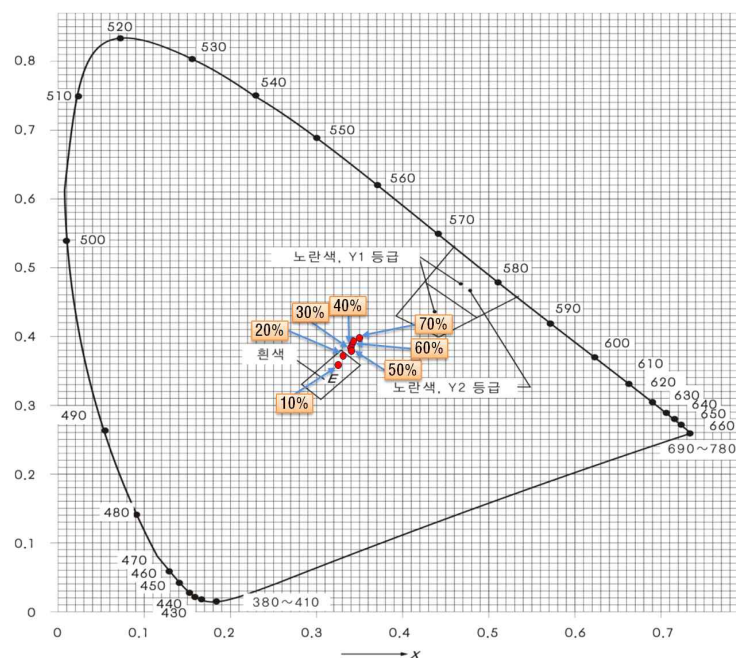
<그림 3.40> 분광측색계 색도시험

■ 색좌표

- 측광 노면표시 시편의 색좌표 시험 결과, 측광안료 배합비 10%, 20%만 「KS M 6080 : 2014」 한국산업표준의 백색 기준을 만족하고 측광안료 배합비 30% 이후 부터는 색좌표를 벗어나는 것으로 나타남

<표 3.33> 측광 노면표시의 색좌표

꼭지점(corner points)		1	2	3	4	5	6	7
측광 노면표시	x	0.3250	0.3340	0.3395	0.3424	0.3390	0.3442	0.3486
	Y	0.3556	0.3734	0.3835	0.3889	0.3824	0.3907	0.3961



<그림 3.41> 색좌표 시험 결과

■ 재귀반사

- 노면표시의 시인성은 「교통안전표지 및 노면표시 설치·관리 매뉴얼(경찰청, 2012)」의 반사성능 기준을 만족하여야 함

<표 3.34> 교통안전표지 및 노면표시 설치·관리 매뉴얼 반사성능

입사각	관찰각	구분	반사성능 (mcd/m ² ·lx)			비고
			백색	황색	청색	
88.76° (1.24°)	1.05° (2.29°)	설치시	240	150	80	기준
		재설치시기	100	70	40	권장
		우천(습윤)시	100	70	40	권장

■ 측광휘도

- 기존 노면표시 기준상 측광에 대한 성능시험 기준이 부재하기 때문에, 측광안료 배합 도료의 시인성을 유사 측광 성능기준인 「측광유도표지 및 측광위치표지에 대한 성능시험기술 기준」을 기준으로 실시하였음
- 구체적인 휘도시험 기준은 다음과 같음

□ 제9조(휘도시험) 측광유도표지 및 측광위치표지의 표시면을 0 lx 상태에서 1시간이상 방치한 후 200 lx 밝기의 광원으로 20분간 조사시킨 상태에서 다시 주위조도를 0 lx로 하여 휘도시험을 실시하는 경우 다음 각 호에 적합하여야 한다.

1. 5분간 발광시킨 후의 휘도는 1㎡ 당 110mcd 이상
2. 10분간 발광시킨 후의 휘도는 1㎡ 당 50mcd 이상
3. 20분간 발광시킨 후의 휘도는 1㎡ 당 24mcd 이상
4. 60분간 발광시킨 후의 휘도는 1㎡ 당 7mcd 이상

- 조사는 기준에 따라 200 lx 밝기의 광원으로 20분간 조사하였음. 휘도 측정은 「피난유도선 성능 인증 및 제품검사의 기술기준」에서 제시하고 있는 주위조도 0 lx의 조건에서 휘도계(LS-100)의 측정각을 1도인 상태로 하여 표시부 전면 1m 거리에서 측정을 기준으로 실시하였음



<그림 3.42> 조사 광원 및 시간 (200lx, 20분)

- 휘도 성능기준 시험 결과, 측광안료 배합 비율이 모두 기준을 만족하는 것으로 나타났음
- 휘도 값은 전체적으로 20분까지 급격하게 감소하였고, 이후부터는 감소폭이 서서히 줄어드는 것으로 나타났음
- 기존 도료(4종 용착식)에 측광안료 최적 배합비를 결정하기 위하여 휘도 감소율에 대한 분석을 실시하였음
- 조사광원은 ANSI(American National Standards Institute, 미국표준협회) 밝기의 기준에서 바로 비치는 햇빛을 측광조사 광원으로 채택하였음

○ 조사시간은 정오부터 일몰시간까지 7시간 조사하였음



<그림 3.43> 조사 광원 및 시간(바로 비치는 햇빛, 7시간)

- 휘도측정 결과, 배합비 10%와 배합비 20% 중 5분에 측정한 휘도값이 「축광유도표지 및 축광위치표지에 대한 성능시험기술기준」의 기준 값보다 낮게 나타났는데, 이는 일몰이 완전해지기 전에 주위 조도가 떨어지면서 축광안료가 발광을 시작했기 때문인 것으로 판단됨
- 휘도 값은 200 lx 시험결과와 동일하게 전체적으로 20분까지 급격히 감소하는 것으로 나타났고, 20분 이후부터는 서서히 감소하는 것으로 나타났음

<표 3.35> 휘도 시험 결과(바로 비치는 햇빛, 7시간)

시간 (분)	축광안료 배합비율						
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
1	185	292	411	531	485	576	617
2	85	134	177	214	232	270	308
5	59	91	124	169	175	215	248
10	39	61	85	120	120	164	194
20	21	34	55	74	76	105	127
30	15	24	35	58	53	75	95
60	5	13	20	32	32	46	57
120	2	5	10	15	18	22	29
180	1	4	6	10	12	12	13
360	1	3	2	3	4	7	8

- <표 3.35>의 시간경과에 따른 휘도 변화에 대한 관계식은 $\ln L_t$ 와 $\ln T$ 의 직선관계로 (식 2-1)과 같이 표현될 수 있음

$$\ln L_T = a \ln T + b \quad (\text{식 2-1})$$

여기서, L_T = T분 후 휘도 값(mcd/m²)

T = 측정 시간(min)

a = 휘도감소율

b = 초기 휘도 값(mcd/m²)

○ 위 식을 통한 초기시간(T_i)과 종료시간(T_f)의 휘도 관계식 다음과 같음

$$\ln L_{T_i} = a \ln T_i + b \quad (\text{식 2-2})$$

$$\ln L_{T_f} = a \ln T_f + b \quad (\text{식 2-3})$$

○ 위의 (식 2-2)와 (식 2-3)을 정리하여 a를 계산하면 (식 2-4)가 도출되며, 이 식을 이용하여 휘도감소율을 구할 수 있음

$$a = \frac{\ln\left(\frac{L_{T_i}}{L_{T_f}}\right)}{\ln\left(\frac{T_i}{T_f}\right)} \quad (\text{식 2-4})$$

- 초기 휘도값은 1분과 2분 사이에 평균 감소율이 50% 이상으로 1분을 초기 휘도값으로 하여 모형화시에는 관계식의 신뢰성이 떨어지기 때문에, 2분 후 측정 값을 초기 휘도 값으로 정하였음
- 휘도 감소율은 「측광유도표지 및 측광위치표지에 대한 성능시험기술기준」의 최소 휘도 기준인 7mcd까지 지속되는 휘도감소율을 비교분석 하였음
- 측광안료 배합비에 따른 휘도감소율(a)은 (식 2-4)를 이용하여 계산하였으며, 그 결과는 다음 <표 3.36>과 같음

<표 3.36> 휘도 감소율(a)

배합비율	휘도 감소율 (a)
10%	-0.833
20%	-0.803
30%	-0.752
40%	-0.681
50%	-0.658
60%	-0.703
70%	-0.703

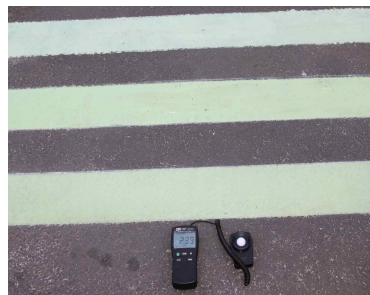
- 휘도감소율 비교결과, 축광안료 배합비 50%에서의 휘도 감소율이 가장 낮은 것으로 나타났으나 40%의 휘도감소율과 차이가 크지 않고 배합비 40%에서부터 휘도감소율이 수렴되는 것으로 판단하여, 경제성을 고려할 때 축광안료가 고가인 점을 감안하여 축광안료 배합비 40%를 최적 배합비로 정하는 것이 가장 적합한 것으로 판단됨
- KS M 6080 : 2014에 따라 축광안료 배합비 40%, 70%에 대하여 도로 물성 시험을 수행하였음
- 분석결과, 축광안료 배합비 40%, 70% 모두 저온충격성과 축광안료의 특성상 색도를 제외하고는 KS M 6080 기준을 만족함

다. 야광차선도로 배합 현장 실험

- 축광안료를 배합한 노면표시의 실제 현장시공을 통해 성능 및 시공특성을 분석하였음
- 현장시공은 기존 일반 용착식 차선, 축광안료 최적 배합비 40% 차선, 축광안료 최대 배합비 70% 차선과 동일한 차선에 글라스비드를 도포한 차선으로 총 6가지 차선을 시공하였고, 실험결과의 신뢰성을 위해 축광안료 최적 배합비 40%의 차선을 추가로 시공하였음



<그림 3.44> 시공완료



<그림 3.45> 조도 측정

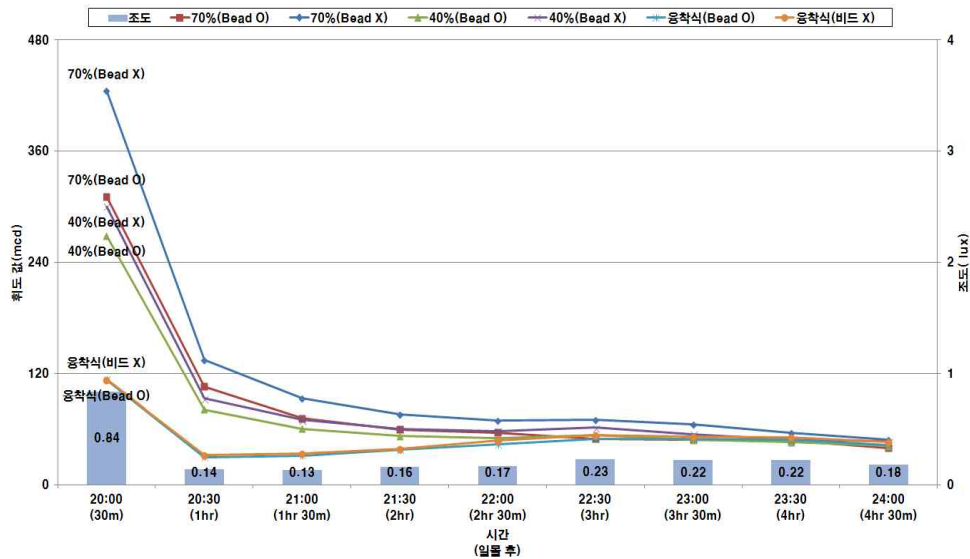


<그림 3.46> 휘도 측정

- 시공을 완료한 후 이틀 후에 맑은 날씨에 하루 종일 조사하여 야간에 축광 노면표시의 휘도 변화를 측정하였음. 실험당일 일몰시간은 기상청 자료에 따르면 오후 7시 36분으로, 일몰 후 30분 간격으로 휘도를 측정하였음
- 휘도측정 결과, 축광안료 배합비 40% 노면표시가 일몰 후 3시간까지는 일반 노면표시보다 휘도가 높은 것으로 나타났음
- 전체적으로 일몰 1시간 후에 축광 노면표시의 휘도가 급격하게 감소하는 것으로 나타났고, 그 이후로는 서서히 동일한 수준의 휘도를 유지하는 것으로 나타났음. 이는 현장시공 장소의 주변 조도가 0.13~0.23 lx로 축광안료가 주변 조도에 반응하여 이에 대한 영향으로 휘도 저하가 나타나지 않는 것으로 판단됨
- 또한, 축광 노면표시는 글라스비드를 살포한 노면표시보다 글라스비드를 살포하지 않은 노면표시의 휘도가 높은 것으로 나타났음. 이는 노면표시 위에 도포된 글라스비드가 축광안료가 빛을 흡수하는데 영향을 미치기 때문인 것으로 판단됨

<표 3.37> 휘도 시험 결과 (바로 비치는 햇빛, 하루종일)

시간(일몰 후)	측광안료 배합비율					
	융착식 (비드 X)	일반 (비드 O)	40% (비드 X)	40% (비드 O)	70% (비드 X)	70% (비드 O)
20:00(30분)	114	114	301	269	426	311
20:30(1시간)	32	30	93	81	135	106
21:00(1시간30분)	34	32	70	61	93	72
21:30(2시간)	39	38	60	53	76	60
22:00(2시간30분)	48	44	58	50	69	56
22:30(3시간)	54	49	62	54	70	50
23:00(3시간30분)	52	49	55	49	65	49
23:30(4시간)	51	49	49	46	56	48
24:00(4시간30분)	46	43	47	42	49	40



<그림 3.47> 휘도 시험 결과 (바로 비치는 햇빛, 하루종일)

○ 측광 노면표시의 주간과 야간(일몰 1시간 후) 비교 사진은 아래 그림에서 보는바와 같음



(a) 측광 노면표시(주간)

(b) 측광 노면표시(일몰 후 1시간)

<그림 3.48> 주간 및 야간 측광 노면표시 비교 사진

2-2. 야광차선도로 최적배합 설계(2단계)

가. 축광성능의 개선

- 1차년도 기초실험 결과를 바탕으로, 축광 노면표시에 유리알을 살포하여 자동차 전조등이 비추는 근거리에서는 재귀반사를 통한 시인성을 확보하고, 원거리에서는 축광에 의한 시인성을 확보할 수 있는 축광 노면표시 개발을 위한 실험을 하고자 함
- 축광 도료는 기존 도료(4종 용착식)에 성능 및 경제성을 고려하여 1차년도 연구결과인 축광안료 40%를 배합하여 제작하였음

■ 시편 제작

- 샘플의 크기는 재귀반사도 측정을 위하여 최소 측정 넓이인 70×400(mm)(가로×세로)보다 큰 200×400(mm)(가로×세로)로 결정하였음 또한, 도료와의 접착성을 높이기 위해 미리 프라이머를 도포한 후 건조하여 사용하였음
- 노면표시 두께에 따른 휘도를 측정하기 위해서 제작한 지그를 통해 2.0 mm, 3.5 mm, 5.0 mm로 축광 노면표시의 높이를 조절하였음
- 유리알 굴절률별 재귀반사도 및 휘도를 측정하기 위해 유리알은 1종 1호, 1종 3호, 2종 1호를 선정하였고, 살포량은 시편의 면적에 따라 계산하여 도포하였음



<그림 3.49> 유리알 1종 1호, 1종 3호, 2종 1호

- 축광 노면표시와의 비교를 위해서 4종 용착식 도료를 사용한 시편 포함하여 총 7개의 시편을 제작하였음

<표 3.38> 축광 노면표시 시편

구분		두께	유리알
1	T2.0/G(1-1)	2.0 mm	1종 1호
2	T2.0/G(1-3)	2.0 mm	1종 3호
3	T2.0/G(2-1)	2.0 mm	2종 1호
4	T2.0/G(X)	2.0 mm	—
5	T3.5/G(X)	3.5 mm	—
6	T5.0/G(X)	5.0 mm	—
7	T2.0/Normal(융착식)	2.0 mm	—



(a) 유리알 살포



(b) 축광 노면표시 시편

<그림 3.50> 축광 노면표시 시편 제작

■ 색좌표

- 노면표시의 색상은 「KS M 6080 : (2014)」에 건조한 노면표시의 색도좌표 기준을 만족하여야 함
- 축광 노면표시의 색도는 분광측색계(Spectrophotometer)를 이용하여 휘도율(β)과 색도좌표 X, Y를 측정하였음
 - 축광안료의 색상은 형광계열의 녹색으로 기존 노면표시용 도료와 배합시 노면표시의 색상 기준을 만족하지 못하는 경우가 발생함
- 2차년도 연구를 통하여 축광안료 배합비 40%에서도 색상 기준을 만족할 수 있도록 도료를 배합하였음
- 축광 노면표시 시편의 색좌표 시험 결과, 시편 모두 「KS M 6080」의 백색 기준 범위에 포함되는 것으로 나타났음. 휘도율 또한 흰색 기준인 0.80 이상으로 기준을 만족하는 것으로 나타남

<표 3.39> 색좌표 및 휘도율

구분	X	Y	휘도율	Pass/Fail
Normal(용착식)	0.3193	0.3389	0.8745	Pass
T2.0/G(X)	0.3221	0.3456	0.8543	Pass
T3.5/G(X)	0.3221	0.3447	0.8492	Pass
T5.0/G(X)	0.3217	0.3455	0.8548	Pass

■ 재귀반사

- 동일한 두께(2.0mm)일 때 측광 노면표시의 유리알 굴절률에 따른 건조상태 재귀반사 측정 결과, 유리알 살포시 경찰청 재귀반사 기준인 $240 \text{ mcd/m}^2\cdot\text{lx}$ 를 모두 만족하는 것으로 나타났음. 유리알 2종 1호를 살포한 측광 노면표시 시편의 경우 $1,066 \text{ mcd/m}^2\cdot\text{lx}$ 로 가장 높은 재귀반사도를 나타냄
- 유리알 굴절률이 높아질수록 측광 노면표시의 건조상태 재귀반사도가 증가하는 것으로 나타났음

<표 3.40> 유리알 굴절률에 따른 건조상태 재귀반사

구분 ($\text{mcd/m}^2\cdot\text{lx}$)	1st	2nd	3rd	평균	기준
T2.0/G(X)	58	57	57	57	240
T2.0/G(1-1)	289	287	293	290	
T2.0/G(1-3)	331	319	314	321	
T2.0/G(2-1)	1015	1076	1107	1066	

- 유리알을 살포하지 않은 측광 노면표시 시편과 일반 용착식 노면표시 시편의 재귀반사 측정 결과, 측광 노면표시 시편의 재귀반사도는 평균 $50 \text{ mcd/m}^2\cdot\text{lx}$ 로 일반 용착식 노면표시 시편의 재귀반사도인 $18 \text{ mcd/m}^2\cdot\text{lx}$ 보다 약 2.8배 높은 것으로 나타났음
- 이는 측광 노면표시 도료가 자체적으로 빛을 발산하기 때문인 것으로 판단됨

<표 3.41> 용착식과 측광 노면표시의 재귀반사

구분 ($\text{mcd/m}^2\cdot\text{lx}$)	1st	2nd	3rd	평균
T2.0/G(X)	58	57	57	57
T3.5/G(X)	44	49	48	47
T5.0/G(X)	51	45	45	47
Normal(용착식)	17	18	18	18

- 동일한 두께(2.0mm)일 때 측광 노면표시의 유리알 굴절률에 따른 습윤상태 재귀반사 측

정 결과, 유리알 1종 1호를 살포한 경우 재귀반사도는 $74 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$ 로 경찰청 우천시 재귀 반사 기준인 $100 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$ 를 만족하지 못하는 것으로 나타났음

- 하지만 유리알 1종 3호와 유리알 2종 1호를 살포한 측광 노면표시 시편의 습윤상태 재귀 반사도는 기준을 약간 상회하는 수준인 $100 \text{ mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$ 로 경찰청 기준을 만족하였음
- 건조상태 재귀반사 시험 결과와 마찬가지로, 측광 노면표시의 습윤상태 재귀반사도 역시 유리알 굴절률이 높아질수록 증가하는 것으로 나타났음

<표 3.42> 유리알 굴절률에 따른 습윤상태 재귀반사

구분 ($\text{mcd/m}^2 \cdot \text{lx}$)	1st	2nd	3rd	평균	기준
T2.0/G(X)	48	47	41	45	100
T2.0/G(1-1)	61	80	82	74	
T2.0/G(1-3)	104	108	108	107	
T2.0/G(2-1)	89	114	117	107	

■ 측광휘도

- 두께(2.0mm)일 때 측광 노면표시의 유리알 굴절률에 따른 휘도 시험 결과, 측광 노면표시 시편 모두 측광 소방시설 관련 휘도 기준을 만족하는 것으로 나타났음
- 또한, 유리알을 살포한 측광 노면표시 시편의 휘도값이 유리알을 살포하지 않았을 때 보다 높은 것으로 나타났음
- 유리알 1종 1호와 1종 3호를 살포한 측광 노면표시 시편의 휘도값은 거의 동일한 수준이지만, 유리알 2종 1호를 살포한 시편의 휘도값은 유리알 1종 보다는 높게 측정되었음
- 이와 같이 측광 노면표시에 유리알 살포시 측광 성능이 개선됨을 확인하였고, 유리알 굴절률이 높아질수록 휘도 값 또한 증가하는 것을 알 수 있었음

<표 3.43> 유리알 굴절률에 따른 휘도 시험 결과

(단위 : mcd/m^2)

구분	T2.0/G(X)	T2.0/G(1-1)	T2.0/G(1-3)	T2.0/G(2-1)	기준
5 min	160	172	170	197	110
10 min	92	99	99	117	50
20 min	48	53	54	64	24
60 min	15	17	18	22	7

- 유리알을 살포하지 않은 측광 노면표시 시편의 두께에 따른 휘도 시험 결과, 두께 3.5mm와 5.0mm의 측광 노면표시 시편의 휘도값은 두께 2.0mm의 시편에 비해 높은 것으로 나타났으나 두께 3.5mm와 5.0mm의 측광 노면표시 시편의 휘도는 거의 유사한 수준으로 나타남

- 이는 축광 노면표시의 두께가 두꺼워질수록 휘도가 증가하긴 하지만 일정 두께 이상으로는 성능이 포화상태가 되어 두께가 두꺼워져도 휘도가 높아지지 않는 것으로 판단됨

<표 3.44> 두께에 따른 휘도 시험 결과

(단위 : mcd/m²)

구분	T2.0/G(X)	T3.5/G(X)	T5.0/G(X)	기준
5 min	160	168	166	110
10 min	92	97	96	50
20 min	48	52	52	24
60 min	15	16	17	7

- 광원의 밝기를 200 lx에서 13,000 lx까지 변화시켜 가며 20분간 동일하게 조사시킨 후 휘도를 측정하였음
- 광원에 따른 휘도 시험 결과, 광원이 밝기가 클수록 축광 노면표시의 휘도 값은 증가하는 것으로 나타났음
- 또한, <표 3.43> 유리알 굴절률에 따른 휘도 시험 결과와 마찬가지로 유리알을 살포한 축광 노면표시의 휘도 값이 유리알을 살포하지 않은 축광 노면표시의 휘도 값보다 큰 것으로 나타났음.

<표 3.45> 광원에 따른 휘도 시험 결과

(단위 : mcd/m²)

구분	T2.0/G(X)				T2.0/G(2-1)				기준
	200lx	2,000lx	4,000lx	13,000lx	200lx	2,000lx	4,000lx	13,000lx	
5 min	160	304	323	390	197	363	386	450	110
10 min	92	156	159	202	117	184	201	230	50
20 min	48	78	81	101	64	92	102	115	24
60 min	15	23	25	30	22	28	30	30	7

- 동일한 광원인 4,000lx 밝기에서 조사시간을 20분에서 120분까지 변화시켜가며 조사시킨 후 휘도를 측정하였음
- 조사시간에 따른 휘도 시험 결과, 조사시간에 따른 축광 노면표시의 휘도 값 차이는 미미한 것으로 나타났음

<표 3.46> 조사시간에 따른 휘도 시험 결과

(단위 : mcd/m²)

구분	T2.0/G(X)			T2.0/G(2-1)			기준
	20분	60분	120분	20분	60분	120분	
5 min	323	338	329	386	408	414	110
10 min	159	168	170	201	197	204	50
20 min	81	78	83	102	96	99	24
60 min	25	25	25	30	29	30	7

나. 성능 및 경제성을 고려한 최적배합 설계

- 1차년도 결과(저온충격성, 색도 기준 불합격)를 보완하기 위해 형광계열 녹색의 축광 노면 표시를 기존 노면표시 도료 색도 기준에 만족시켜 주간 및 야간에 재귀반사체인 글라스비드를 살포하였을 때 차량의 전조등에 의한 재귀반사 기능을 향상시켰음
- 배합설계를 진행하면서 실내 실험을 수행하며 물성을 확인하였고, 최종적으로 「한국화학융합시험연구원」에 의뢰하여 「KS M 6080」에 따라 물성과 내구성을 시험성적서를 통해 확인하였음
- 배합설계를 진행하며 수행한 실내 실험은 다음과 같음

<표 3.47> 실내 실험 리스트

구분	비고(단위)
연화점	℃
내열처리 후 압입시간	min
저온충격성(-10℃, 110g)	-
불점착건조성	-
도막의 겉모양	-
휘도율-UV 노화 전(β)	-
색도 좌표 - 초기	-
색도 좌표 - 내열처리 후	-
내열처리 후 휘도율 차($\Delta\beta$)	-
내열처리 후 연화점 변화(ΔSP)	℃
유리알 함유량(%)	%



<그림 3.51> 측광노면표시 배합설계 및 자체물성시험

- 혼입 유리알, 기본 resin, 측광, flow control resin 등의 배합을 달리하여 조합한 결과 최종 배합설계는 다음과 같음

8차 배합설계		개발데이터 기록부	
분류			
품명	측광안료 용착식 도료		
기간			
번호	원료명	배합(kg)	총 수량 대비 % 배합비
1	기본 resin	144.0	16.0%
2		0.0	0.0%
3	tio2	81.0	9.0%
4	기타	49.5	5.5%
5	in bead glass beads	180.0	20.0%
6	filler caco3	76.5	8.5%
7	flow control resin	9.0	1.0%
8	측광	360.0	40.0%
2차 S-TOTAL		900.0	100.0%
실제 총합 중량		900.0	
물성 보완 및 특성	- 저온충격실험 합격		

다. 현장 휘도 측정 결과

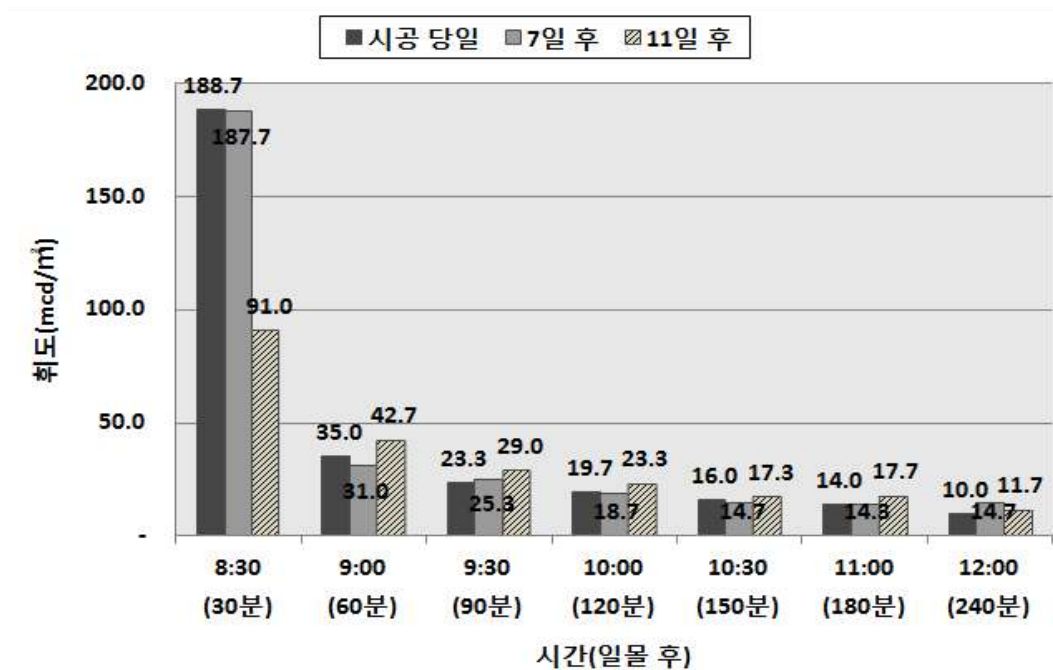
○ 최적배합설계를 통해 개발된 도로를 현장에 적용하여 축광휘도를 측정하였음



(a) 8시 00분

(b) 8시 30분

- 휘도측정 결과, 축광 차선의 휘도가 융착식 차선의 휘도보다 전체적으로 높은 것으로 나타났음
- 조사시간에 따른 휘도 비교 결과, 3시간 조사한 1차 현장시공 당일 휘도와 하루종일 조사한 시공 7일 후와 11일 후 휘도가 비슷한 수준으로 나타났음. 이는 앞장의 실내실험 결과와 마찬가지로 축광의 휘도에 조사시간이 미치는 영향이 작기 때문인 것으로 판단됨
- 시공 11일 후에 측정한 일몰 30분 후 휘도 값 차이는 주변 날씨 변화에 따른 조도 때문인 것으로 판단됨



<그림 3.52> 축광(KS M 6080) 차선의 시공 후 휘도 변화

- 시공당일을 기준으로 축광(배합비 70%) 차선의 휘도가 축광(KS M 6080) 차선의 휘도보다 평균 2배 이상 높은 것으로 나타남

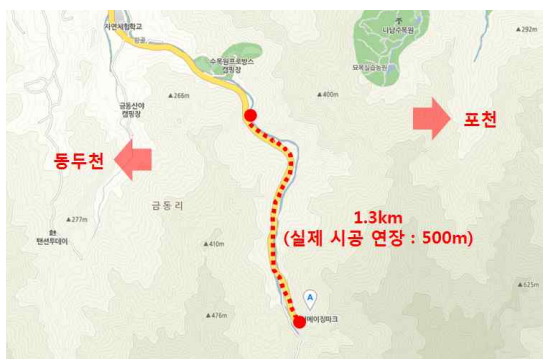
- 측광(배합비 70%) 차선은 <표 3.43> 유리알 굴절률에 따른 휘도 시험 결과와 반대로 유리알을 살포한 측광(배합비 70%, 비드0) 차선이 유리알을 살포하지 않은 측광(배합비 70%, 비드X) 차선보다 휘도가 낮은 것으로 나타남
- 이는 차선의 색상이 흰색일 경우 유리알 살포시 휘도를 향상시키지만, 색상이 흰색이 아닐 경우 유리알 살포시 휘도가 저하되기 때문인 것으로 판단됨

2-3. 야광차선도색 시험시공 및 모니터링

가. 시험시공 및 초기값 측정

■ 시험시공

- 3차년도 시험시공은 기개발한 측광도로 및 소형 용착식 차선도색 자동화 장비를 활용하여 공용도로에 시공함으로써 도로의 성능과 관계된 측광 휘도 및 재귀반사, 비드의 함침률 등 노면표시와 관련된 성능을 현장에서 검증하기 위함임
- 수도권을 중심으로 평택, 화성, 포천 등 현장답사 후 후보지를 선정하고 지자체와의 협의를 통해 포천의 탐신로 어메이징 파크 인근 지방도 379호선을 현장 시험시공 구간으로 선정하였음



<그림 3.53> 시험시공 위치

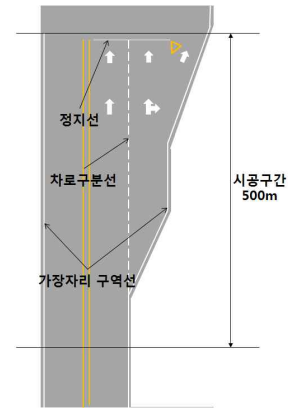


<그림 3.54> 시험시공 현황

- 위치 : 경기도 포천시 탐신로 어메이징파크 인근(지방도 379호선 끝 500m 구간)
- 시공범위 : 용착식, 측광(KS M 6080)(길가장자리 구역선, 차로구분선, 정지선)
- 시간 : 2016. 10. 25. 09:00~15:00 (시공 준비과정 포함)
- 시공과정 : 본 기술의 시공은 도로 가열 및 도로 교반 등과 같은 준비단계와 도로이입 및 도로 분사 등의 시공단계로 구분되며, 시공과정은 다음과 같음



<그림 3.55> 시험시공의 과정



<그림 3.56> 시험시공의 범위

○ 시험시공의 현장 전경



<그림 3.57> 시공 전 · 후

■ 측정 지점 및 항목 선정

- 시공 직후 재귀반사, 축광 휘도, 미끄럼저항, 도막두께 등을 통해 모니터링(평가 및 비교분석)을 위한 초기값을 측정 하였음(그림 3.62 참조, 조도의 경우 1차 모니터링 이후 추가)
- 시공 후 6개월 간 모니터링 기간을 설정하였으며, 도막두께는 1회, 조도 및 미끄럼 저항 값은 매월 1회, 축광휘도 값은 일몰 후 2시간은 30분, 6시간까지 1시간, 일출전 2시간 단위로 측정하도록 설정하였음
- 측정 지점은 기존의 차선과의 비교를 위해 축광도로 시공 인접의 기존차선 4곳과, 축광도로 시공 차선의 7곳을 선정하였음



<그림 3.58> 미끄럼 저항 측정



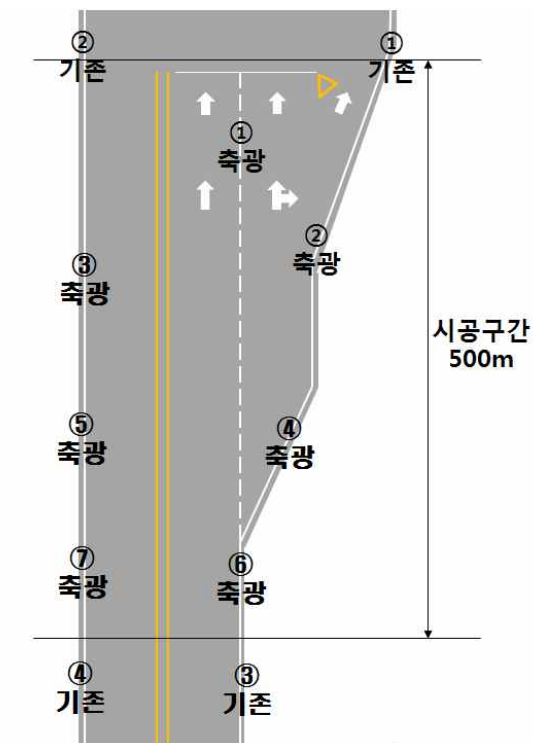
<그림 3.59> 축광회도 측정



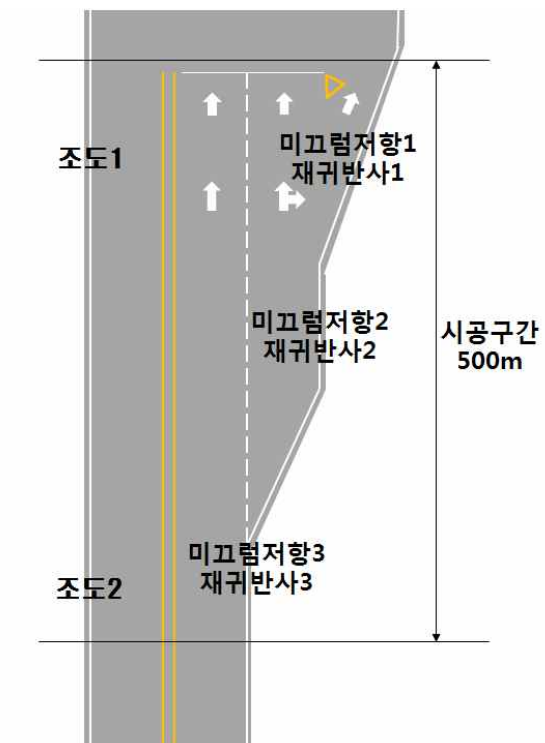
<그림 3.60> 도막 두께 측정



<그림 3.61> 재귀반사 측정



<그림 3.62> 미끄럼 저항 및 재귀반사, 조도의 측정 지점



<그림 3.63> 축광회도의 측정 지점

■ 초기값 측정

- 모니터링의 모든 측정은 공인인증기관(한국화학융합시험원)을 통해 측정하였으며, 시공 직후 재귀반사, 축광 휘도, 미끄럼저항, 도막두께 등 모니터링(평가)를 위한 초기값은 아래 표와 그림과 같음(조도의 경우 1차 모니터링 이후 추가)
- 시공 당일 일몰시간은 17시 37분 이었으며, 온도는 22.0 °, 습도는 53.5%로 나타났음
- 미끄럼 저항의 측정의 경우 시공의 현장의 처음, 중간, 끝 세 곳을 각 10회씩 측정하였으며, 모든 지점에서 45BPN 값을 상회하는 것으로 나타났음
- 지점별 축광휘도의 경우 0.824~0.007cd/m²의 값을 보이는 것으로 나타났음

<표 3.48> 온도 및 습도(시공 초기값)

(단위 : °,%)

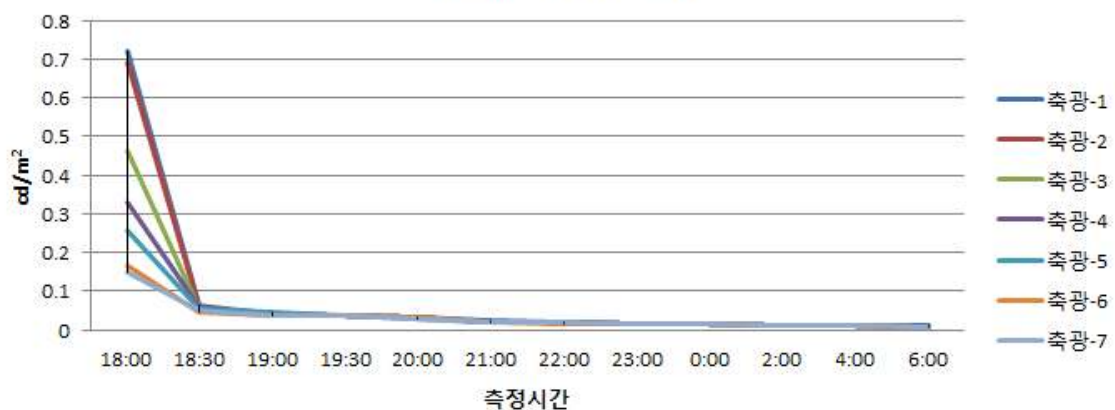
시간	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	2:00	4:00	6:00
온도	22.0	18.6	17.1	17.3	15.0	13.1	12.0	12.2	12.0	11.6	11.5	12.3
습도	53.5	64.4	65.4	62.2	72.1	82.6	87.9	88.8	91.4	92.2	94.7	92.1

<표 3.49> 미끄럼 저항(시공 초기값)

(단위 : BPN)

	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회
Point-1	45	45	47	45	50	50	45	45	45	45
Point-2	45	43	45	47	45	43	42	45	45	47
Point-3	45	45	45	45	45	42	45	47	48	45

축광휘도변화(시공)



<그림 3.64> 축광휘도 변화(시공 초기 값)

나. 포천 시험시공 모니터링

- 3차년도의 시험시공은 2016년 10월 17일 경기도 포천의 어메이징 파크 인근 지방보 379호선 도로 끝부분에 약 500m 시공하였으며 이후 138일간 총 6회에 걸쳐 모니터링 하였음
- 모니터링은 공인인증기관을(한국화학융합시험원) 통해 측정하였으며, 차선도색에 가장 중요한 미끄럼 저항, 채귀반사, 축광휘도 세가지 측면에서 성능을 검증하고자 하였음

■ 모니터링 개요

- 포천 시험시공 모니터링은 시공 후 138일로 차수별 모니터링 일자 및 경과일 수 일출시간, 일몰시간은 다음과 같음

<표 3.50> 시공 일자 및 차수별 일출/일몰시간

(단위 : °,%)

구분	일자	경과일	일몰시간	일출시간
시공	16.10.27~28	0	17:37	06:53
1차	16.04.27~28	28	17:13	07:23
2차	16.04.27~28	46	17:14	17:44
3차	17.04.27~28	81	18:00	07:30
4차	17.04.27~28	98	18:34	07:02
5차	17.04.27~28	120	18:55	06:14
6차	17.04.27~28	138	19:17	05:40

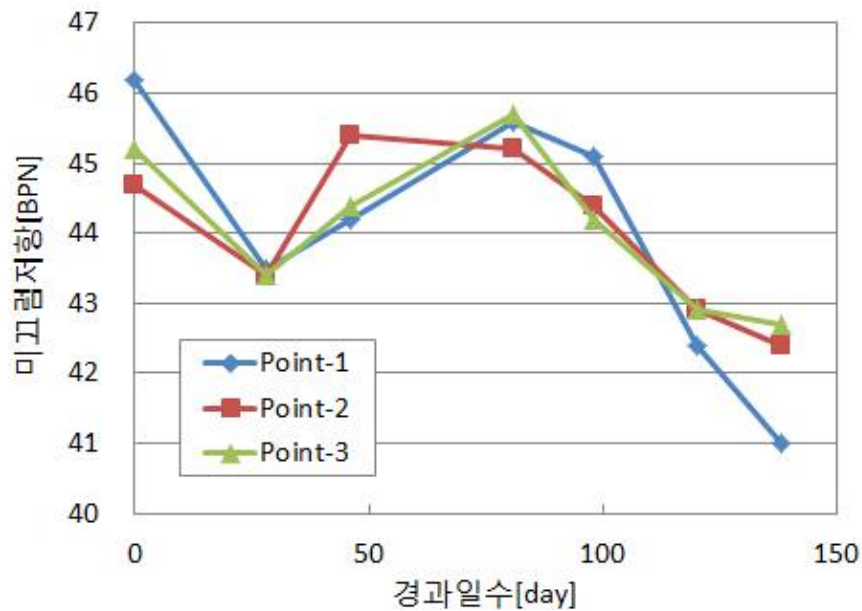
■ 미끄럼 저항

- 미끄럼저항성능은 차선도색 시방기준에 포함되어 있지 않으나 미끄럼저항이 낮을 경우 차량의 제동거리에 영향을 미칠수 있기 때문에 본 기술의 적용 후 모니터링 측정항목으로 포함하여 제시하고자 함
- 미끄럼저항을 측정하는 방법 중 가장 많이 사용되는 BPT(British Pendulum Tester) 측정을 이용하였으며 시공 후 기간에 따른 미끄럼 저항의 변화를 다음 표와 같음
- 살펴보면 시공이후 138일 기간이 경과하였음에도 미끄럼 저항값이 시공초기 대비 최소 88.7%의 저항값을 유지하고 있는 것으로 나타났음

<표 3.51> 시공 및 모니터링 미끄럼 저항 값

(단위 : BPN)

차수	일수	Point-1	Point-2	Point-3
시공	0	46.2	44.7	45.2
1차	28	43.5	43.4	43.4
2차	46	44.2	45.4	44.4
3차	81	45.6	45.2	45.7
4차	98	45.1	44.4	44.2
5차	120	42.4	42.9	42.9
6차	138	41.0	42.4	42.7



<그림 3.65> 시공 및 모니터링 미끄럼 저항 변화

■ 재귀반사

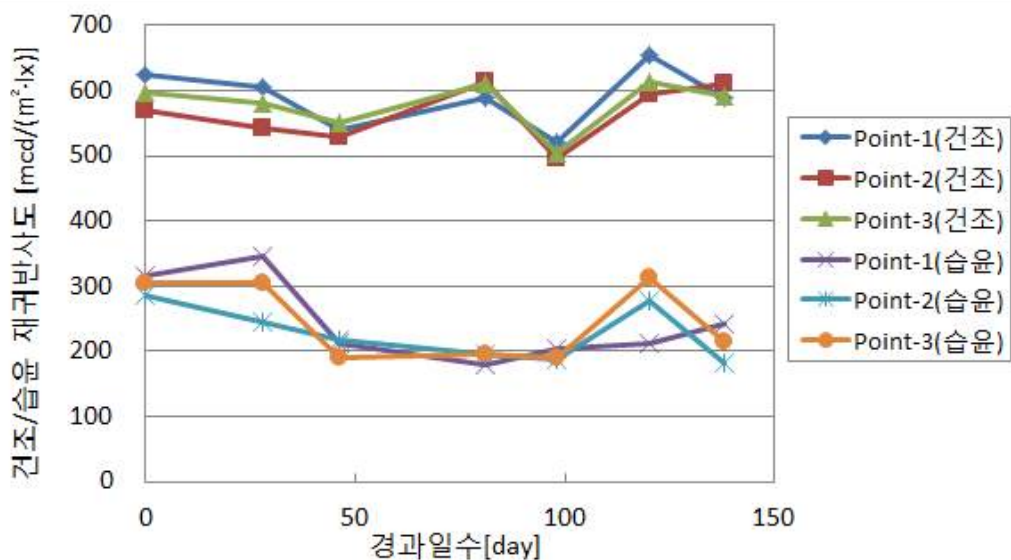
- 시간 경과에 따른 재귀반사 측정 결과 값을 살펴보면 초기값부터 6차 모니터링 값까지 큰 차이가 나타나지 않았음
- 건조시 재귀반사의 경우 최대 624.0mcd/(m²·lx), 최저 505.7mcd/(m²·lx)로 나타나 경찰청 및 서울시의 차선도색 시방기준인 시공 직후 240mcd/(m²·lx) 보다 높게 나타났으며, 한국도로공사의 고속도로 기준인 시공 직후 420mcd/(m²·lx) 보다 매우 높은 값을 보이는 것으로 나타났음
- 그러나 한국도로공사의 장수명 차선도색 시험시공 특별시방서(2014년) 기준인 준공시 1구간 450mcd/(m²·lx)이상, 2구간 550mcd/(m²·lx)이상, 3구간 600mcd/(m²·lx)이상의 기준 적용시 2,3구간의 경우는 만족하지 않는 것으로 나타나 향후 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

- 습윤시 재귀반사의 경우 최대 312.0mcd/(m²·lx), 최저 181.0mcd/(m²·lx)으로 습윤상태 역시 지방기준(경찰청100mcd/(m²·lx), 서울시70mcd/(m²·lx))인 100mcd/(m²·lx)보다 높은 값을 보이는 것으로 나타났음

<표 3.52> 재귀반사 모니터링 값(시공값 추가)

(단위 : mcd/(m²·lx))

차수	Point-1(건조)	Point-2(건조)	Point-3(건조)	Point-1(습윤)	Point-2(습윤)	Point-3(습윤)
시공	624.0	571.1	596.9	314.8	287.2	306.0
1차	604.7	542.7	579.7	346.0	245.0	305.0
2차	541.0	529.0	552.0	213.0	217.0	189.0
3차	587.7	614.7	611.7	178.0	196.0	195.0
4차	521.0	497.0	505.7	204.0	187.0	190.0
5차	654.0	594.3	614.7	212.0	277.0	312.0
6차	587.7	610.3	591.7	243.0	181.0	216.0



<그림 3.66> 시공 및 모니터링 재귀반사도 변화

■ 축광휘도

- 축광휘도는 광원의 세기와 시간에 따라 축광성능이 민감하게 나타나는데 시공시점인 10월부터 마지막 모니터링 시점인 4월까지 일몰시간이 상이하기 때문에 보다 정확한 축광성능을 살펴보기 위해서는 일몰시점을 기준으로 데이터를 재정렬하여 분석할 필요가 있음
- 또한 축광휘도는 조도와 큰 상관관계를 보이는데 본 모니터링에서의 조도값은 일몰 기준으로 0.38~0.00으로 일부 지점에서 축광휘도에 영향을 미칠수는 있으나 전체적으로 신뢰할 만한 수준인 것으로 나타남
- 일몰시간을 기준으로 시공 및 모니터링 데이터를 재정렬한 값은 표 3.40과 같으며, 시공

초기 일몰 약 53분 후 값은 최대 61.0으로 나타났으며, 6차 모니터링 시점의 일몰 43분 후 값은 106.0으로 나타났음

- 또한 시공 초기값과 6차 모니터링 값을 비교를 할 수 있는 일몰 후 최대 시간인 523분(약 9시간) 후 값 역시 9.0~4.0으로 나타나 시공 후 시간경과에 따른 축광휘도 성능 변화는 없는 것으로 판단됨
- 일몰 후 최장시간은 767분으로(2차 모니터링) 축광 휘도 값은 4.0~5.0의 값을 보였으며, 시공 초기값과 1,2,3차 모니터링 값을 종합하여 일몰 후 720분(12시간) 후 축광 휘도 값은 최저 3.0으로 일본의 JIS Z 9098 재해종별피난유도표식시스템(2016.03)의 야간 재해 발생시 통상의 전원이 상실될 경우를 기준으로 재해종류별 피난 유도표식시스템을 규정하고 축광재료의 축광휘도 기준인 3이상 10미만의 기준을 만족하는 것으로 나타남(3.0 축광부 확인가능 시각인지 기준)

<표 3.53> JIS Z 9098 축광재 축광휘도 시험표

(단위 : mcd/m²)

구 분	조사후720분 후 축광휘도[mcd/m ²]
I 종	3 이상 10미만
II 종	10 이상

- 일몰 60분 후 축광 휘도는 30.0으로 나타나 휘도와 시각인지기준으로 보았을 때 문자를 확실히 읽을 수 있는 수준인 10.0의 3배에 해당되는 수치로 나타났으나, 일몰 시점과 비교시 1시간 이내 거의 모든 기능을 상실하는 것으로 보아 도료의 배합 및 새로운 소재 개발 등 추가적인 고도화 연구가 필요한 것으로 판단됨

<표 3.54> 휘도와 시각인지 기준

(단위 : mcd/m²)

휘도 인지 정도	휘도기준[mcd/m ²]	적용범위
문자를 확실히 읽음	10	
문자 간신히 읽음	5	표식(간판)
축광부 확인 가능	3	계단, 통로
축광부 간신히 확인가능	2	
인간 시인 한계	0.3	

<표 3.55> 축광표지의 성능인증 및 제품검사의 기술기준

(단위 : mcd, m²)

제9조(휘도시험) 축광유도표지 및 축광위치표지의 표시면을 0 lx 상태에서 1시간이상 방치한 후 200 lx 밝기의 광원으로 20분간 조사시킨 상태에서 다시 주위조도를 0 lx로 하여 휘도 시험을 실시하는 경우 다음 각 호에 적합하여야 한다.

1. 5분간 발광시킨 후의 휘도는 1m²당 110mcd 이상이어야 한다.
2. 10분간 발광시킨 후의 휘도는 1m²당 50mcd 이상이어야 한다.
3. 20분간 발광시킨 후의 휘도는 1m²당 24mcd 이상이어야 한다.
4. 60분간 발광시킨 후의 휘도는 1m²당 7mcd 이상이어야 한다.

<표 3.56> 일몰 후 경과 시간에 따른 축광휘도(일부)

(단위 : mcd/m²)

측정시간	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	2:00	4:00	6:00
경과시간(분)	23	53	83	113	143	203	263	323	383	503	623	743
시공-축광1	824.0	61.0	42.0	35.0	34.0	22.0	20.0	17.0	14.0	12.0	9.0	8.0
시공-축광2	652.0	61.0	43.0	34.0	33.0	21.0	19.0	16.0	13.0	11.0	9.0	7.0
시공-축광3	454.0	54.0	42.0	35.0	31.0	21.0	19.0	16.0	13.0	12.0	9.0	7.0
시공-축광4	324.0	56.0	41.0	36.0	33.0	22.0	19.0	17.0	14.0	12.0	10.0	8.0
시공-축광5	249.0	50.0	51.0	41.0	34.0	30.0	20.0	18.0	16.0	14.0	10.0	9.0
시공-축광6	212.0	50.0	39.0	36.0	31.0	22.0	18.0	15.0	14.0	10.0	9.0	7.0
시공-축광7	198.0	53.0	38.0	36.0	30.0	21.0	19.0	16.0	13.0	10.0	8.0	8.0
경과시간(분)	47	77	107	137	167	227	287	347	407	527	647	767
1차-축광1	64.0	33.0	23.0	19.0	14.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	5.0
1차-축광2	57.0	31.0	22.0	18.0	15.0	12.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	5.0
1차-축광3	58.0	31.0	22.0	18.0	14.0	11.0	8.0	6.0	6.0	4.0	4.0	4.0
1차-축광4	52.0	30.0	21.0	18.0	14.0	10.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	5.0
1차-축광5	49.0	29.0	21.0	17.0	14.0	10.0	7.0	6.0	6.0	5.0	3.0	4.0
1차-축광6	50.0	28.0	22.0	17.0	13.0	11.0	7.0	7.0	6.0	4.0	4.0	5.0
1차-축광7	46.0	27.0	21.0	17.0	15.0	11.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	4.0
경과시간(분)	46	76	106	136	166	226	286	346	406	526	646	766
2차-축광1	67.0	30.0	21.0	16.0	12.0	10.0	9.0	4.0	5.0	4.0	4.0	5.0
2차-축광2	70.0	31.0	22.0	16.0	14.0	11.0	9.0	7.0	5.0	4.0	4.0	7.0
2차-축광3	53.0	25.0	16.0	14.0	11.0	9.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	6.0
2차-축광4	61.0	30.0	19.0	17.0	12.0	10.0	9.0	6.0	5.0	5.0	5.0	6.0
2차-축광5	47.0	26.0	17.0	15.0	13.0	8.0	7.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0
2차-축광6	51.0	31.0	20.0	17.0	14.0	11.0	8.0	7.0	5.0	5.0	5.0	7.0
2차-축광7	45.0	26.0	16.0	14.0	12.0	8.0	7.0	5.0	4.0	4.0	3.0	5.0
경과시간(분)	46	76	106	136	166	226	286	346	406	526	646	766
2차-축광1	67.0	30.0	21.0	16.0	12.0	10.0	9.0	4.0	5.0	4.0	4.0	5.0
2차-축광2	70.0	31.0	22.0	16.0	14.0	11.0	9.0	7.0	5.0	4.0	4.0	7.0
2차-축광3	53.0	25.0	16.0	14.0	11.0	9.0	6.0	5.0	5.0	3.0	4.0	6.0
2차-축광4	61.0	30.0	19.0	17.0	12.0	10.0	9.0	6.0	5.0	5.0	5.0	6.0
2차-축광5	47.0	26.0	17.0	15.0	13.0	8.0	7.0	5.0	5.0	4.0	4.0	5.0
2차-축광6	51.0	31.0	20.0	17.0	14.0	11.0	8.0	7.0	5.0	5.0	5.0	7.0
2차-축광7	45.0	26.0	16.0	14.0	12.0	8.0	7.0	5.0	4.0	4.0	3.0	5.0

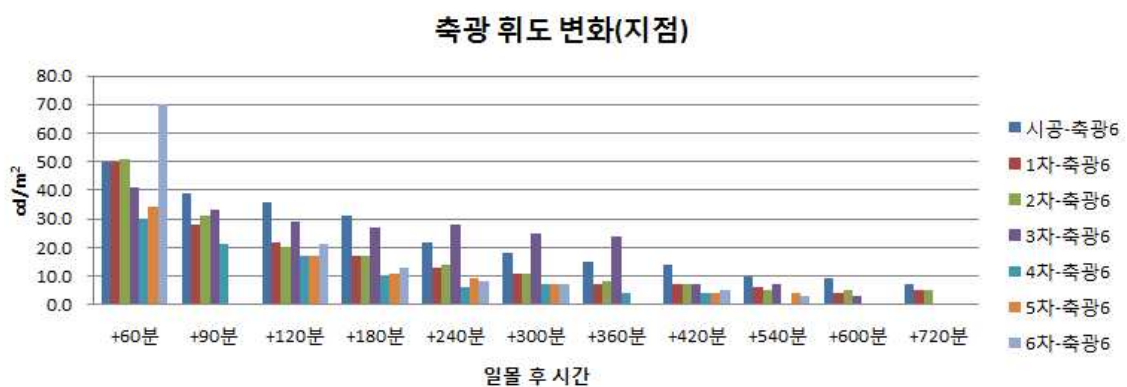
측정시간	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	2:00	4:00	6:00
경과시간(분)	0	30	60	90	120	180	240	300	360	480	600	720
3차-측광1	59720.0	235.0	63.0	48.0	43.0	38.0	34.0	30.0	29.0	23.0	10.0	4.0
3차-측광2	58440.0	207.0	60.0	48.0	44.0	39.0	34.0	31.0	29.0	22.0	7.0	4.0
3차-측광3	44290.0	156.0	47.0	34.0	35.0	29.0	26.0	23.0	24.0	13.0	8.0	4.0
3차-측광4	29500.0	151.0	52.0	38.0	42.0	36.0	30.0	28.0	28.0	21.0	6.0	3.0
3차-측광5	30400.0	110.0	43.0	32.0	38.0	32.0	27.0	24.0	23.0	8.0	6.0	3.0
3차-측광6	30660.0	97.0	41.0	33.0	29.0	27.0	28.0	25.0	24.0	7.0	7.0	3.0
3차-측광7	28950.0	93.0	41.0	29.0	31.0	30.0	23.0	24.0	22.0	7.0	6.0	4.0
경과시간(분)	(24)	6	36	66	96	156	216	276	336	456	576	696
4차-측광1	329400.0	20020.0	92.0	34.0	22.0	16.0	9.0	8.0	7.0	4.0	4.0	8.0
4차-측광2	282300.0	16450.0	84.0	32.0	22.0	17.0	9.0	8.0	7.0	4.0	4.0	7.0
4차-측광3	255300.0	14320.0	79.0	34.0	23.0	16.0	11.0	7.0	6.0	4.0	3.0	7.0
4차-측광4	235500.0	11530.0	60.0	28.0	18.0	14.0	10.0	7.0	6.0	4.0	3.0	10.0
4차-측광5	167600.0	8450.0	63.0	30.0	22.0	14.0	11.0	7.0	7.0	3.0	4.0	11.0
4차-측광6	189000.0	7010.0	58.0	30.0	21.0	17.0	10.0	6.0	7.0	4.0	4.0	13.0
4차-측광7	186600.0	6580.0	56.0	29.0	20.0	15.0	10.0	7.0	6.0	4.0	4.0	13.0
경과시간(분)	(55)	(25)	5	35	65	125	185	245	305	425	545	665
5차-측광1	873700.0	336600.0	28540.0	111.0	34.0	20.0	12.0	9.0	7.0	4.0	4.0	8700.0
5차-측광2	758200.0	274900.0	22340.0	94.0	31.0	65.0	11.0	8.0	6.0	4.0	4.0	9850.0
5차-측광3	839800.0	305800.0	21900.0	100.0	37.0	20.0	13.0	9.0	8.0	5.0	4.0	11230.0
5차-측광4	759300.0	239100.0	15920.0	80.0	31.0	20.0	13.0	8.0	6.0	4.0	4.0	17310.0
5차-측광5	639700.0	196400.0	10990.0	87.0	39.0	21.0	14.0	9.0	7.0	4.0	4.0	12860.0
5차-측광6	610900.0	233500.0	11520.0	74.0	34.0	17.0	11.0	9.0	7.0	4.0	4.0	28160.0
5차-측광7	512600.0	224400.0	9550.0	75.0	33.0	18.0	11.0	8.0	7.0	5.0	4.0	25420.0
경과시간(분)	(77)	(47)	(17)	13	43	103	163	223	283	403	523	643
6차-측광1	1090300.0	703300.0	266200.0	9400.0	106.0	23.0	14.0	9.0	7.0	4.0	3.0	222000.0
6차-측광2	1011700.0	648900.0	241900.0	7490.0	93.0	22.0	12.0	9.0	6.0	5.0	4.0	226000.0
6차-측광3	1091700.0	658700.0	235300.0	6880.0	97.0	22.0	14.0	9.0	7.0	4.0	4.0	207800.0
6차-측광4	868800.0	561000.0	200200.0	5080.0	80.0	23.0	11.0	9.0	7.0	5.0	4.0	253000.0
6차-측광5	863900.0	487500.0	169700.0	4140.0	77.0	23.0	13.0	10.0	8.0	5.0	3.0	194000.0
6차-측광6	813800.0	526700.0	183500.0	3610.0	70.0	21.0	13.0	8.0	7.0	5.0	3.0	291400.0
6차-측광7	961200.0	573900.0	185400.0	3600.0	71.0	22.0	13.0	9.0	7.0	5.0	4.0	274200.0

- 일몰시간 기준으로 재정렬한 데이터를 지점(축광 6)으로 살펴보기 위해 일몰 후 12시간으로 정리하면 <표 3.57>과 같음
- 모니터링 시 축광휘도 측정을 30분에서 2시간 단위로 시행하였기 때문에 시간대별 모든 축광휘도를 파악할 수는 없지만 축광성능의 경향을 파악할 수는 있을 것으로 판단됨
- 최고 70.0mcd/m², 최저 3.0mcd/m²의 값을 보이는 것으로 나타났음
- 시공 초기 값부터 6차 모니터링의 축광 휘도값을 살펴보면 시간경과에 따른 성능변화는 확인되지 않으며 모니터링 시 광원에 영향을 받는 것으로 판단됨

<표 3.57> 지점(축광6)에 따른 시간대별 축광휘도 변화

(단위 : mcd/m², 분)

측정시간	+60	+90	+120	+180	+240	+300	+360	+420	+540	+600	+720
시공 축광6	50.0	39.0	36.0	31.0	22.0	18.0	15.0	14.0	10.0	9.0	7.0
1차 축광6	50.0	28.0	22.0	17.0	13.0	11.0	7.0	7.0	6.0	4.0	5.0
2차 축광6	51.0	31.0	20.0	17.0	14.0	11.0	8.0	7.0	5.0	5.0	5.0
3차 축광6	41.0	33.0	29.0	27.0	28.0	25.0	24.0	7.0	7.0	3.0	
4차 축광6	30.0	21.0	17.0	10.0	6.0	7.0	4.0	4.0			
5차 축광6	34.0		17.0	11.0	9.0	7.0		4.0	4.0		
6차 축광6	70.0		21.0	13.0	8.0	7.0		5.0	3.0		



<그림 3.67> 축광휘도 변화(지점, 축광6)

다. 고휘도 야광차선 도색 기술 소결

- 고휘도 야광차선 도색 기술 개발을 위해서 최상의 야광안료의 선정하고 여러번의 시행착오 끝에 최적의 배합 설계를 제시하였음
- 최적 배합을 통해 개발된 축광도료를 이용하여 경기도 평택 포천에 시공을 하였으며, 6개월간의 모니터링을 수행하였음
- 평택의 시험시공 현장의 경우 주변의 개발로(평택 고덕지구) 인한 환경의 변화로 지속적인 모니터링의 수행이 이뤄지지 못했음
- 포천 시험시공의 경우 약 500m의 길 가장자리 구역선, 차로 구분선, 정지선, 진행방향 방향지시 화살표 등을 시공하고 약 6개월 간의 모니터링을 통해 개발기술의 고기능성 기능을 검증하고자 하였음
- 시공 및 모니터링 결과 미끄럼 저항계수는 모든 지점에서 41.0BPN 이상으로 나타나 시공 이후 기간에 따른 미끄럼 저항에 대한 변화는 없는 것으로 판단되며, 도로 안전시설 설치 및 관리지침의 직선 또는 곡선 반경이 큰 구간으로서 주요간선도로 및 자동차 전용도로의 미끄럼 저항기준인 32BPN을 넘어서는 것으로 나타나 본 기술의 도로에 적용이 문제가 없음을 확인할 수 있었음
- 재귀반사의 경우 건조시 최대 624, 최저 505.7, 습윤시 최대 312.0, 최저 181.0으로 나타나 시방기준인 시공 직후 240, 재도색 기준 100, 습윤시 100 보다 매우 높은 값을 보이는 것으로 나타나 일반 차선 도색 대비 시인성이 상당히 뛰어나 본 기술의 고기능성을 확인하였음
- 축광휘도의 경우 일몰 767분 후 축광 휘도 값은 4.0~5.0mcd/m²의 값을 보였으며, 일몰 후 720분(12시간) 후 축광 휘도 값은 최저 3.0mcd/m²으로 일본의 JIS Z 9098 재해중별피난 유도표식시스템(2016.03)의 기준인 3이상 10미만의 기준을 만족하는 것으로 나타남(3.0 축광부 확인가능 시각인지 기준)
- 또한 일몰 60분 후 축광 휘도는 30.0mcd/m²으로 나타나 휘도와 시각인지기준으로 보았을 때 축광휘도 기준인 7.0mcd/m²의 4배가량 상회하는 것으로 나타나 역시 일반차선대비 고기능을 포함하고 있는 것으로 판단됨

부록. 야광차선도색 설계 시공 시방서(안)



- 목 차 -

제 1 장 앞면아래	6
1.1. 적용 범위	6
1.2. 적용 기준	6
1.3. 참고 문헌	7
1.4. 제출물	7
1.5. 용어의 정의	7
1.6. 설치의 목적	7
1.7. 노면표시 종류	8
1.8. 면적 계획의 범위	8
1.9. 제작 기준	8
1.10. 구비표시(경험형 교통노면표시 설치 - 관련 하위설치 포함다)	8
1.11. 지시표시(경험형 교통노면표시 설치 - 관련 하위설치 포함다)	11
1.12. 면적 종류 및 면적	14
제 2 장 재료	15
2.1. 종류	15
2.2. 포장 및 표시	15
2.3. 재료의 한입 및 저장	15
2.4. 재료의 승인	15
2.5. 재료의 한입 및 저장	15
제 3 장 시공	19
3.1. 노면표시시공	19
3.2. 노면표시 제거	20
3.3. 하자검사	21
3.4. 재료의 기준	22

<그림 3.68> 측광 노면표시 설계·시공 시방서(안)

3. 신 차선도색 기술의 교통/인간공학적 검토 및 비용·편익 분석

3-1. 인간공학 측면의 노면표시를 통한 기능개선 방안

가. 노면표시 기준 검토

■ 미국의 차선 도색 기준

- 미국은 노면표시 최하반사성능에 대하여 국가적인 기준을 제시하고 있지는 않으며, 각 주에서 자체적인 기준 적용하고 있음. FHWA와 AASHTO를 중심으로 노면표시 최하반사성능에 대하여 연구 중에 있으며, MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)에서 반사성능안의 형태로 제시하고 있음
- FHWA에서는 최하 반사성능을 표지병이 있는 구간과 표지병이 없는 구간을 구분하여 반사성능 값을 제시함

<표 3.58> FHWA 최하반사성능 값(1998)

(단위 : mcd/m²·Lux)

구분		고속도로외 구간 ≤40mph(64kph)	고속도로외 구간 ≥45mph(72kph)	고속도로 구간 ≥55mph(89kph)
표지병이 있는 경우	흰색	30	35	70
	노랑색	30	35	70
노면표시만 있는 경우	흰색	85	100	150
	노랑색	55	65	100

※ 입사각 : 88.76°, 관찰각 : 1.05°

- MUTCD에서는 속도별로 3단계로 구분하여 우선적으로 중앙선에 대하여만 노면표시 최소 반사성능 기준을 제안함. 다만, 야간에 도로조명이 있는 구간과 표지병이 설치되어 있는 구간에서는 최소 반사성능 기준을 적용하지 않음

<표 3.59> 미국 MUTCD에서 제안한 노면표시 반사성능 기준

(단위 : mcd/m²·Lux)

구분	제한속도		
	≤30mph(48kph)	35≤, ≤50mph (56kph≤, ≤80kph)	≥55mph(89kph)
왕복2차선도로의 중앙선	n/a	100	250
그 외 도로	n/a	50	100

- 미국 국가공인규격(ASTM)과 각주의 노면표시 재귀반사 성능 기준은 다음과 같음

<표 3.60> 미국 각주의 노면표시의 재귀반사 성능 기준

(단위 : mcd/m²·Lux)

구 분 (년도)	ASTM	Kanasas (2007)	Montana (2003)	Missouri (2005)	Kentucky (2008)	Lawrence (2007)	Alabama (2008)
백색	250	250	275	300	300	350	350
황색	175	175	180	225	225	175	275

○ 캔사스 주에서는 노면표시 재도색 시기를 다음과 같이 제시하고 있음

- ▷ 재귀반사 : 백색은 150mcd/m²·Lux 아래로, 황색은 100mcd/m²·Lux 아래로 반사성능이 떨어질 경우
- ▷ 내 구 성 : 접착성의 부족으로 노면표시가 도로에서 탈리하는 경우
- ▷ 색 상 : 도료가 손실 또는 훼손되어 주간에 노면표시 구분이 어려울 경우

- 이와는 별도로 노면표시 재료별 설치초기 반사성능 및 설치 후 일정기간 경과 후 반사성능 기준을 정하고 있음

- 측정방법 : 매 16km마다 600m 구간을 임의로 정하고 이 구간에서 10개 지점을 선정하여 측정한 값들의 평균
- 측정시기 : 설치기준 - 설치 후 12시간 후 14일 이내에 측정한 값
허용가능 - 설치 후 6개월까지 유지되어야 하는 값

<표 3.61> 캔사스주의 노면표시 재료별 반사성능

재질 종류	색상	설치기준 (mcd/m ² ·Lux)	허용가능 (mcd/m ² ·Lux)
Cold Plastic	백색	250	200
	황색	175	125
Patterned cold Plastic	백색	475	425
	황색	375	325
Epoxy	백색	300	250
	황색	225	175
High-Durability Tape	백색	225	200
	황색	175	150
Thermoplastic	백색	300	250
	황색	225	175
Preformed Thermoplastic	백색	300	250
	황색	225	175
Spray Thermoplastic	백색	300	250
	황색	225	175

■ 유럽의 차선도색 기준

- 유럽은 유럽표준화위원회(Comite Europeen de Normalisation, CEN)의 표준규격을 따름. CEN의 노면표시 관련 규정(Road Marking Material EN-1436, 1997.8)에는 노면표시의 설치시 반사성능 값이 아닌, 노면표시의 작용수명(Functional Life) 동안의 최하반사성능 기준을 제시하고 있음. 다음은 CEN의 노면표시 반사성능 기준임

- 주광에서의 반사성능과 야간에 자동차 전조등에 의한 반사성능을 별도로 규정

<표 3.62> 주광상태에서의 노면표시 반사성능 분류

(단위 : mcd/m²·Lux)

색상	노면 형태	등급(Class)	최하 반사성능 (Qd)
영구	아스팔트	Q2	Qd ≥ 100
		Q3	Qd ≥ 130
	시멘트 콘크리트	Q3	Qd ≥ 130
		Q4	Qd ≥ 160
황색		Q1	Qd ≥ 80
		Q2	Qd ≥ 100

<표 3.63> 야간에 자동차 전조등하에서의 노면표시 반사성능 분류

(단위 : mcd/m²·Lux)

노면표시 형태 및 색상		등급(Class)	최하 반사성능 (RL)
영구	흰색	R2	RL≥100
		R4	RL≥200
		R5	RL≥300
	노랑색	R1	RL≥80
		R3	RL≥150
		R4	RL≥200
임시		R3	RL≥150
		R5	RL≥300

- 이와는 별도로 CEN에서는 차선재료의 야간 반사성능에 대하여 건조 노면상태에서 150 mcd/m²·Lux, 습윤상태에서 60 mcd/m²·Lux를 최하값으로 권장하고 있음

■ 일본의 차선도색 기준

○ 일본은 노면표시 최하반사성능에 대하여 별도로 기준을 마련하지 않음. 다만, 일반적인 정 기점검을 통하여 다음과 같은 항목을 검사를 통하여 실무자의 판단에 따라 차선재료의 교체여부를 결정함

- ① 박리, 오염 등에 의한 선명하지 못한 부분의 유무
- ② 마모에 의한 선명하지 못한 부분의 유무
- ③ 야간 식별성의 유무

－ 노면표시의 길모양: 평가는 5인 이상의 관측자가 약 3m 떨어진 지점에서 노면 표시를 식별하여 육안으로 다음과 같은 표에 근거하여 평가함

<표 3.64> 노면표시의 길모양 평가

평가 등급	ASTM (American Society for Testing Materials)	보충
5	충분히 만족	시공 초기와 다름없이 양호
4	약간 만족	약간 변색이 있지만 표시기능은 충분
3	일분 불만족	더러움, 변색, 블리드 등이 인정됨
2	약간 불만	더러움, 변색 등이 뚜렷함
1	불만족	원형이 없어지고 더러움이 있어서 식별성이 나쁨

－ 노면표시의 박리

: 박리의 평가는 다음 표에서 보는바와 같이 등급으로 분류할 수 있음

<표 3.65> 노면표시의 박리 평가

평가 등급	ASTM	박리도 환산
5	No.8 이상	3% 이하
4	No.8 ~ No.6	3 ~ 8%
3	No.6 ~ No.4	8 ~ 23%
2	No.4 ~ No.2	23 ~ 40%
1	No.2 미만	40% 미만

－ 노면표시의 야간 식별성

： 야간의 식별성은 ASTM-D1011-52에서 규정된 측정기에 의해 측정된 반사율로 평가함. 현재는 반사휘도로 식별성을 평가하고 있음

<표 3.66> 노면표시의 야간 식별성 평가

평가 등급	반사율 (ASTM(%))	반사휘도(mcd/m ² ·Lux)
5	8% 이상	247 이상
4	6 ~ 8%	186 ~ 247
3	4 ~ 6%	126 ~ 186
2	2 ~ 4%	65 ~ 126
1	2% 미만	65 미만

■ 국외 차선도색 기준의 종합

○ 국외 노면표시 기준을 정리하면 아래 표에서 보는바와 같음

<표 3.67> 국외 노면표시 재귀반사 성능 기준

구 분		반사성능 (단위 : mcd/m ² ·Lux)			
		백색	황색	재도색 기준	
				백색	황색
미국	ASTM	250	175		
	Kanasas	250	175	150	100
	Alabama	350	275	—	—
유럽표준화위원회(CEN)		100~300	80~200	—	—

○ 국외 노면표시 조사 결과, 일본은 최하반사성능에 대하여 별도로 기준을 마련하지 않음. 하지만 유럽의 경우 반사성능 기준이 높은 수준이고, 미국은 이에 미치지 못하지만 표지병을 활용하고 있어 국내와 차이가 있는 것으로 판단됨

■ 국내 차선도색 기준

- 국내 차선도색 기준은 국가기술표준원(KATS)의 한국산업규격(KS)과 경찰청의 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」로 이원화 되어 있음. 우선적으로 노면표시 도료에 대한 KS 규격(KS M 6080)을 만족해야 하고, 교통안전 상 필요한 시인성을 위하여 현장측설 이후에 반사성능에 대한 경찰청의 기준을 따로 정하고 있음. 하지만, 경찰청의 기준은 대외적 구속력이 없어 차선의 시인성 확보를 위한 실효성 있는 규제 및 단속이 어려움. 이에 국토해양부 및 서울특별시, 도로공사에서는 노면표시 반사성능에 관한 자체기준을 제정하여 시행하고 있음

(1) 한국산업규격(KS M 6080 : 2011)

○ 요구조건

- 규정된 요구조건의 주된 목적은 노면 표지가 기능상 수명 기간 동안 제 성능을 발휘하도록 규제하는 것임. 요구조건은 노면 표지의 다양한 성능을 나타내는 몇 가지의 매개변수로 표시되고, 이중 일부 성능은 등급으로 표시됨

주1) 기능상 수명은 노면 표지의 내구성이 길고 짧은 정도, 차량 통행으로 노면 표지가 훼손되는 정도 (예를 들어 차도상의 기호와 도로 모서리 표지의 마모도 비교), 교통 밀도, 노면의 거침 정도, 그리고 일부에서 타이어에 스테르를 박아서 사용하는 것과 같은 지역적 조건과 연관된 변수에 따라 좌우됨

주2) 등급은 특정 상황에 따라 노면 표지의 다양한 성능별로 여러 우선순위를 부여하는 것임. 그러므로 높은 성능의 등급이라고 해서 언제나 두 가지 이상의 매개변수를 동시에 만족시킬 수는 없음

○ 주간이나 야간 가로등 아래에서의 반사

- 주간이나 야간 가로등 아래에서의 반사도를 측정하는 데는 확산 조명 방법의 반사성능 계수 Q_d 가 사용됨. 이 Q_d 의 값은 참조 1에 따라 측정되고, $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ 단위로 표기됨. 노면이 건조한 상태에서의 노면 표지 <표 3.68>을 만족해야 함

주) 확산 조명 방법의 재귀반사성능 계수는 자동차 운전자가 통상적이거나 평균적인 주간 혹은 가로등 조명 하에서 볼 수 있는 노면 표지의 밝기를 나타냄

<표 3.68> 노면이 건조한 상태의 노면 표지 재귀반사성능 계수 Qd 등급

노면 표지색상	노면 유형	등급	확산 조명 방법 하에서의 최소 재귀반사성능 계수 Qd ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\text{ lx}^{-1}$)
흰색	아스팔트	Q0	규정 없음
		Q2	$Qd \geq 100$
		Q3	$Qd \geq 130$
		Q4	$Qd \geq 160$
	시멘트 콘크리트	Q0	규정 없음
		Q3	$Qd \geq 130$
		Q4	$Qd \geq 160$
노란색		Q4	$Qd \geq 200$
		Q0	규정 없음
		Q2	$Qd \geq 80$
		Q3	$Qd \geq 100$
		Q4	$Qd \geq 130$

주) Q0 등급은 주간 가시도가 휘도를 β 의 값을 기준으로 확보되는 때를 가리킨다. 4.4 항을 참조 바란다.

○ 자동차 전조등 조명에 의한 역반사

- 자동차 전조등 조명에 의한 역(逆) 반사도를 측정하는 데는 재귀반사성능 계수 RL이 사용됨. 이 RL의 값은 참조 2에 따라 측정되고, $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\text{ lx}^{-1}$ 단위로 표기됨. 노면이 건조한 상태에서의 노면 마킹은 <표 3.69>를, 젖어 있는 동안은 <표 3.70>을, 그리고 비가 올 때는 <표 3.71>를 각각 만족해야 함
- 주 : 재귀반사성능 계수는 자동차 운전자가 자기 차의 전조등 조명으로 볼 수 있는 노면 표지의 밝기를 나타냄

<표 3.69> 노면이 건조한 상태의 노면 표지 재귀반사성능 계수 RL 등급

노면표지의 유형과 색상		등급	최소 재귀반사성능 계수 RL ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\text{ lx}^{-1}$)
영구적	흰색	R0	규정 없음
		R2 ¹⁾	$RL \geq 100$
		R3 ¹⁾	$RL \geq 150$
		R4 ¹⁾	$RL \geq 200$
		R5 ¹⁾	$RL \geq 300$
	노란색	R0	규정 없음
		R1 ¹⁾	$RL \geq 80$
		R3 ¹⁾	$RL \geq 150$
		R4 ¹⁾	$RL \geq 200$
		R5 ¹⁾	$RL \geq 300$
임시적		R0	규정 없음
		R3 ¹⁾	$RL \geq 150$
		R5 ¹⁾	$RL \geq 300$

1) 일부 국가에서는 물이나 먼지 진흙 등의 이유로 인하여 노면 표지의 성능이 저하될 가능성이 있는 일변 중 일정 기간 동안은 이러한 등급을 유지할 수 없다.

주) 설치시 재귀반사성능은 $RL \geq 250$ (흰색), $RL \geq 175$ (노란색)이어야 한다.

(국도해양부 차선도색 특별시방서 표준안 참조)

<표 3.70> 노면이 젖은 상태의 노면 표지 재귀반사성능 계수 RL 등급

젖은 상태	등급	최소 재귀반사성능 계수 RL ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\text{ lx}^{-1}$)
B.6에 따라 물이 노면에 넘친 후 1분 경과 후 측정	RW0	규정 없음
	RW1	$\text{RL} \geq 25$
	RW2	$\text{RL} \geq 35$
	RW3	$\text{RL} \geq 50$
	RW4	$\text{RL} \geq 75$

주) RW0 등급은 이러한 유형의 역반사 등급이 경제적이거나 기술적인 이유로 불필요한 상황을 가리킨다.

주) 설치시 재귀반사성능은 $\text{RL} \geq 175$ (흰색), $\text{RL} \geq 123$ (노란색)이어야 한다.

(국토해양부 차선도색 특별시방서 표준안 참조)

<표 3.71> 노면에 비가 올 때의 노면 표지 재귀반사성능 계수 RL 등급

비가 오는 상태	등급	최소 재귀반사성능 계수 RL ($\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\text{ lx}^{-1}$)
B.7에 따라 20mm/h의 비가 최소한 5분 동안 고르게 내린 후 측정	RR0	규정 없음
	RR1	$\text{RL} \geq 25$
	RR2	$\text{RL} \geq 35$
	RR3	$\text{RL} \geq 50$
	RR4	$\text{RL} \geq 75$

주) RR0 등급은 이러한 유형의 역반사 등급이 경제적이거나 기술적인 이유로 불필요한 상황을 가리킨다.

(2) 경찰청 (교통노면표시 설치·관리 매뉴얼, 2012)

○ 경찰청에서는 교통안전 상 필요한 반사성능에 대한 기준을 제시하고 있음

－ 노면표시 개정안에서는 우천시의 노면표시 반사성능 기준이 신설됨

<표 3.72> 도로형 차선도색 반사성능 (2014.1월 이후)

(단위 : $\text{mcd}/\text{m}^2\cdot\text{Lux}$)

입사각	관찰각	구분	반사성능			비고
			백색	황색	청색	
88.76° (1.24°)	1.05° (2.29°)	설치시	240	150	80	기준
		재설치 시기	100	70	40	권장
		우천 (습윤)시	100	70	40	권장

주) 1. 설치시는 노면표시 설치 1주일 후부터 준공시점까지로 본다.

2. 재도색 시기는 반사성능의 값이 기준치 이하일 때 재도색 시점으로 본다.

3. 위 기준은 설치기술 및 유리알 생산기술의 개선에 따라 조정할 수 있다.

4. KS M 6080에서 제시하는 성능 이상의 제품 사용을 원칙으로 한다.

5. 노면이 젖은 상태에서의 노면표시 반사성능 측정은 EN 1436에서 정한 측정방법에 따른다.

(3) 서울시 기준 (노면표시 시방서, 2014.01)

○ 서울시에서는 노면표시 반사성능에 대한 자체 기준을 제정하여 시행하고 있음

<표 3.73> 노면표시 재귀반사성능 및 두께 기준

입사각	관찰각	구분	재귀반사성능(mcd/m ² ·Lux)			구분
			백색	황색	청색	
88.76°	1.05°	시공후	240	150	80	2mm
		6개월 경과시	120	70	40	
		우천시 초기	70	40	20	

주) 시공후 및 우천시 초기의 측정 기준일 : 노면표시 도색 7일 경과 후 7일 이내

－ 재도색 기준

가. 노면표시 재도색시 기존 노면표시가 균열, 깨짐, 두께 1mm이하 등으로 재귀반사 성능이 기준에 미달되었다고 판단되면 제거 후 재도색하여야 함

나. 노면표시 재귀반사성능 값이 시공 후 40%이하일 때 재도색하여야 함

(예 : 240mcd/m²·Lux → 96mcd/m²·Lux, 150mcd/m²·Lux → 60mcd/m²·Lux

800mcd/m²·Lux → 32mcd/m²·Lux)

(4) 국토해양부 기준 (차선도색 특별 시방서, 2010.09)

○ 국토해양부에서는 자체기준을 제정하여 시행하고 있으나, 국토해양부에서 관리하는 모든 도로가 아닌 노면표시 반사성능을 높여 도로의 선형을 보완할 필요가 있다고 판단되는 일부 지역에서만 적용하고 있음. 그 외의 구간에 대하여는 경찰청 기준을 적용하고 있음

<표 3.74> 노면표시의 재귀반사 성능 기준

(단위 : mcd/m²)

입사각	관찰각	구분	반사성능	
			백색	황색
88.76°	1.05°	설치시	250	175
		재도색 시기	100	70

주) 1. 설치시는 준공검사기준치를 의미한다.

2. 재도색 시기는 반사성능의 값이 기준치 이하일 때 재도색 시점으로 본다.

3. 위 기준은 설치기술 및 유리알 생산기술의 개선에 따라 조정할 수 있다.

(5) 한국도로공사 (고속도로공사 전문시방서, 2012.10)

- 고속도로공사 전문시방서의 제11장 안전시설공사에서는 노면표시에 대하여 시공초기와 최소요구 반사성능 기준을 제시하고 있음. 또한 우천시 야간시인성 기준을 별도로 제시하고 있음

<표 3.75> 준공검사 및 최소요구 재귀반사도 기준

구분	재귀반사성능(mcd/m ² ·Lux)		비고
	시공초기	최소요구 기준	
백색	250 이상	110 이상	최소요구 기준 이하로 감소할 경우 재 도색
황색	175 이상	90 이상	
청색	100 이상	70 이상	

※ ASTM D6359-99 (Standard Specification for Minimum Retroreflectance of Newly Applied Pavement Marking Using Portable Hand-Operated Instruments) 참조

<표 3.76> 우천시 야간시인성 기준

구분		재귀반사성능(mcd/m ² ·Lux)		비고
		시공초기	최소요구 기준	
백색		250 이상	175 이상	준공값의 70% 이상
황색		175 이상	123 이상	
Wet Recovery 시험방법	실내	차선 도색이 완료된 시험편을 물에 충분히 적신 후 90° 각도로 10초간 물을 흘려 버린 후 즉시 재귀반사도 측정		
	실외	차선 도색이 완료된 시험편을 물에 충분히 적신 후 45초 이후 측정 (단, 현장 측정이므로 참고결과로 활용할 수 있음)		

■ 국내 차선도색 기준의 종합

- 국내 차선도색 기준을 살펴본 결과, 관할기관에 따라 노면표시 기준이 다르게 적용되고 있는 것으로 나타났으나 비슷한 수준으로, 최근 노면표시 기준 상향에 따라 국외 노면표시 기준과도 비슷한 수준임
- 하지만 실제 현장에서는 노면표시 설치 방법이 자체 시방서 등에 의해 차이가 발생하고, 재도색 시기 또한 국외에 비해 체계적이지 않아 반사성능이 감소함에도 불구하고 유지관리가 적절하게 이루어지지 않아 문제가 발생하고 있음

<표 3.77> 국내 노면표시 재귀반사 성능 기준

구 분	반사성능 (단위 : mcd/m ² ·Lux)			
	백색	황색	우천시	
			백색	황색
경찰청 (지방도)	240	150	100	70
서울시청	240	150	70	40
국토해양부 (국도)	250	175	—	—
한국도로공사 (고속도로)	250	175	250	175

<표 3.78> 국내 노면표시 재도색 기준

구 분	반사성능 (단위 : mcd/m ² ·Lux)			
	백색	황색	우천시	
			백색	황색
경찰청 (지방도)	100	70	—	—
서울시청	96	60	—	—
국토해양부 (국도)	100	70	—	—
한국도로공사 (고속도로)	110	90	175	123

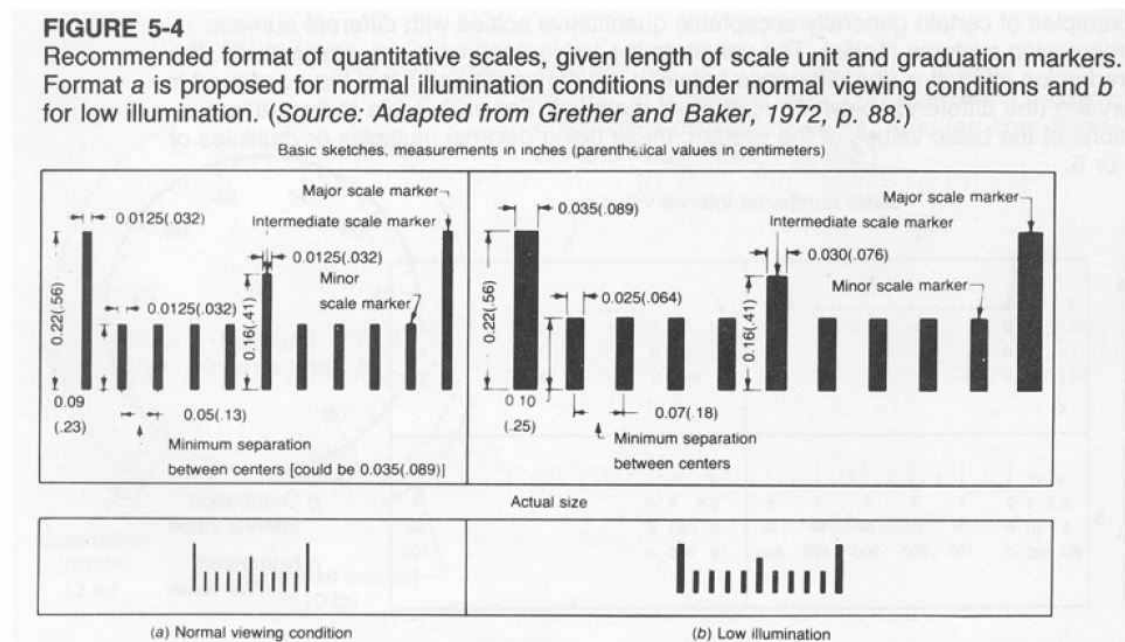
<표 3.79> 국외 노면표시 재귀반사 성능 기준

구 분		반사성능 (단위 : mcd/m ² ·Lux)			
		백색	황색	재도색 기준	
				백색	황색
미국	ASTM	250	175		
	Kansas	250	175	150	100
	Alabama	350	275	—	—
유럽표준화위원회(CEN)		100~300	80~200	—	—

나. 노면표시를 통한 시인성 개선방안 도출

■ 노면표시를 통한 시인성 개선방안 개요

- 노면표시를 통한 시인성 개선방안을 도출하기 위해 문헌 검토를 실시한 결과 인간공학적 측면에서 시인성이 주는 중요와 그 기준은 다음과 같음
- 시인성(visibility)이란 어떤 물체를 보고 명확하게 인식할 수 있는 정도를 나타내는 척도로써 물체 표면의 반사능력과 색상, 기후조건, 주위환경의 복잡도, 시설물을 바라보는 운전자의 심리적인 상태, 의지시각에 따라 차이가 있으며 도로교통에 필요한 시각정보를 나타내는 도로 안전시설은 운전자가 시인성을 확보하여 표지의 내용을 신속하고 용이하게 이해할 수 있도록 설치해야 함
- 도로 표지시설의 경우, 해당 시인성으로 대별되는 주요요소는 문안(legend)부분의 비중, 판의 규격, 반사지의 재질, 설치위치 및 조명시설 등이 되어 질 수 있는데, 여기서 특히 인간공학적으로 속도가 필요한 운전행위를 고려하면 이러한 여백의 제공이 오히려 시인성을 증가시키고 있다는 사실이 밝혀진 바 있으며, 본 연구에서는 이를 적용하여 운행 속도에 기반한 노면표시의 여백 비율을 적절히 고려해야 한다고 판단됨



<그림 3.69> 저조도 상황에서의 차선도색

- 국내외 구분차선 설치규격 검토 결과 우리나라가 도색길이 8m, 빈길이 12m, 차선평 15cm로 약 50% 큰 규격을 적용하고 있음

<표 3.80> 구분차선 설치규격

구분선	국 내		해 외			
	법적기준	고속도로	미국	독일	영국	프랑스
폭원(cm)	10~15	15	10~15	15	10	10
도색길이(m)	3~10	8	3	6	2	3
빈길이(m)	도색길이 1~2배	12	9	12	7	10
도색길이:빈길이	1:1~2	1:1.5	1:3	1:2	1:3.5	1:3.3

■ 국외 노면표시를 통한 시인성 개선방안

○ 미국

- 차량통행량이 적은 주 연결 도로에 수용성이 사용되고 있고, 시인성이 중요한 구간에는 노면표시 테이프를 포함한 다양한 제품이 혼재해 적용되고 있음
- 최근 FHWA에서는 공사 지역에 주로 사용되는 임시 노면표시의 야간 시인성을 확보하기 위해 차선테이프를 개발하였음

○ 유럽

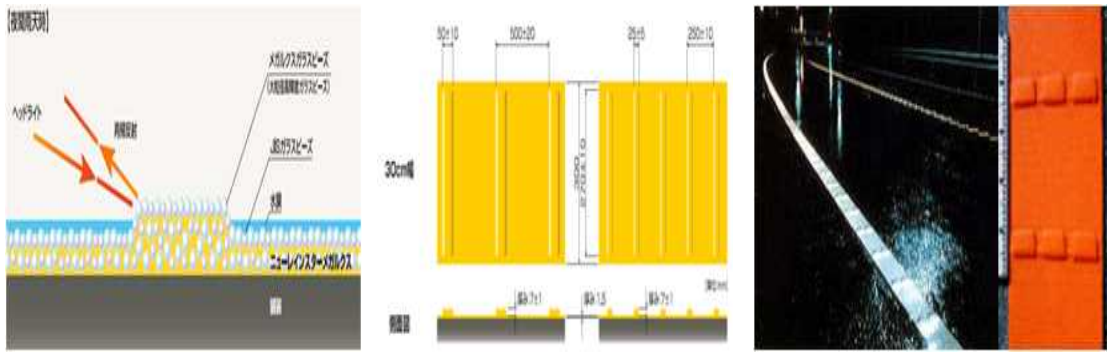
- 기온이 낮고 적설량이 많은 지역에는 내구성에 장점이 있는 이액형 Cold Plastic Binder가 사용되고 있음
- 네덜란드 회사에서는 야광 고속도로 프로젝트를 추진 중에 있음. 광루미네선스라는 효과를 지닌 분말이 포함된 도료로 그려진 차선은 최대 10시간 동안 스스로 빛을 낼 수 있음



<그림 3.70> 네덜란드 야광 고속도로 프로젝트(안)

○ 일본

- 일본에서는 차선에 다양한 모양의 요철을 주어 우천시에도 재귀반사가 용이하게 일어날 수 있도록 하는 기술 및 특허가 개발되어 적용되고 있음



<그림 3.71> 일본 요철형 차선

■ 국내 노면표시를 통한 시인성 개선방안

- 광주시는 지금까지 반사 성능 기준을 백색 $130\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lux}$, 황색 $90\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lux}$ 로 적용했지만, 올해부터는 고휘도유리알을 사용하고 백색 $240\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lux}$, 황색 $150\text{mcd/m}^2\cdot\text{Lux}$ 로 상향된 기준을 적용함. 2015광주하계유니버시아드(U대회) 개최를 앞두고 주요 관문과 경기장 주변 총 연장 119km의 50개 노선 중 각화대로 등 33개 노선의 차선도색을 실시함.
- 서산시는 안전한 교통환경 조성을 위해 퇴색된 차선과 사고 위험이 높은 구간에 대해 차선도색을 실시함. 도색을 실시하는 구간은 시의국도 29호선과 32호선, 시내권역 도시계획도로 등 40개 구간임. 강화된 경찰청 노면표시 재귀반사(입사한 광선을 광원으로 되돌려 보내는 반사) 기준에 적합한 도료를 사용함
- 태백시가 쾌적한 도로환경 조성을 위하여 시내 일부구간 차선 도색을 실시함. 상·하수도관로 공사, 전선지중화공사 등으로 시내간선도로의 일방 통행구간 도로절단으로 인한 차선도색 상태 불량과 퇴색된 차선, 야간 시인성 확보가 요구되는 과속방지턱, 주차구획선 등에 대한 도색임. 사업물량은 중앙선 36.67km 등 5개 분야에 대하여 사업비 5400만원에 해당함

3-2. 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석 방법 개발

가. 신 차선도색 기술의 편익 추정

■ 편익 추정 개요

- 축광 노면표시 적용에 따라 교통시설 이용자들에게 발생하는 편익으로 교통사고 절감, 공사중 교통차단으로 인한 교통혼잡 절감 및 사고 절감, 자율주행자동차 차선인식 성능 개선에 따른 관련장비 가격 절감, 자전거도로 사고 절감 등을 정량화하여 산정할 수 있음. 다만, 쾌적성 및 도로 미관 개선에 따른 만족도 증가 등의 효과는 개인별로 주관적인 가치가 다를 수 있어 정량화에 어려움이 있음
- 간접편익은 도로사업 시행시 교통시설 이용에 관계없이 모든 사람들에게 발생하는 파급 효과로, 대부분 사회적 편익(지역개발효과, 시장권 확대, 관련산업 활성화 등)에 해당하여 본

사업으로 유발되는 정량적 편익의 산정에는 어려움이 있음

- 따라서 본 분석에서는 직·간접적인 편익 중 정량화가 가능한 교통사고 절감, 공사중 교통차단으로 인한 교통혼잡 절감 및 사고 절감, 자율주행자동차 차선인식 성능 개선에 따른 관련장비 가격 절감, 자전거도로 사고 절감을 고려하였음
- 편익가치의 기준년도는 2015년도로 설정함

<표 3.81> 평가항목별 계량화 방안

구 분	평가항목	계량화방안	화폐가치화
직접편익	교통사고 절감	재산피해액 및 보상비	화폐가치화
	공사중 교통혼잡 절감	시간의 화폐가치화	화폐가치화
	공사중 교통사고 절감	재산피해액 및 보상비	화폐가치화
	자전거도로 사고감소	재산피해액 및 보상비	화폐가치화
간접편익	자율주행자동차 차선인식 성능 개선에 따른 관련장비 가격 절감	장비가격 절감규모	화폐가치화
	지역개발효과	지가, 소득증대	곤란
	시장권 확대	지가상승	곤란
	관련산업 활성화	소득증대	곤란

■ 사고감소 편익 추정

(1) 측광 노면표시의 사고감소를 추정

- 최근 개발된 측광 노면표시(KS M 6080)는 측광안료 최적배합비인 40%를 적용하여 융착식 도로의 성질을 유지하고자 하였으며, 주변 광원이 거의 없고 교통량이 낮은 현장(경기도 포천시 신북면 소재)을 대상으로 시험시공 후 자동차 전조등에 의한 재귀반사도를 측정하였음. 재귀반사는 휘도측정기(LTX-XL)를 이용하여 관찰각 2.29°(통상 거리 30m에서 자동차의 전조등 높이 65cm, 운전자 눈의 높이 1.2m를 표준으로 상정하며, 성능기준은 백색 240mcd/m²·Lux 이상임) 조건에서 측정하였으며, 설치 후 6개월 경과 시점에서 3개 지점별로 3회에 걸친 측정에서 측광 노면표시는 평균 597mcd/m²·Lux의 성능을 보여, 기존 융착식 노면표시(303mcd/m²·Lux) 대비 294mcd/m²·Lux(약 97.0%)의 성능 개선을 보이는 것으로 나타남
- 기존문헌 고찰 단계에서 재귀반사율과 사고감소율의 관계를 정량적으로 밝힌 2개의 연구에 따라 야광 노면표시를 적용하는 경우의 사고감소율을 추정하고자 함. 우선 Donnell et al. (2009)의 연구결과에서는 재귀반사율 50mcd/m²·lux개선 시마다 사고율이 약 18%씩 감소하는 것으로 추정하였는데, 모형에서 사용된 최대 재귀반사율은 약 470mcd/m²·lux로 본 연구의 측광 노면표시는 이 범위를 벗어나고 있어 모형의 최대값인 470mcd/m²·lux를

적용시(즉, 167mcd/m²·Lux의 성능 개선) 약 60.1%의 사고 감소가 가능한 것으로 추정됨

$$\frac{18\%}{50\text{mcd}/\text{m}^2\cdot\text{lux}} \times 167\text{mcd}/\text{m}^2\cdot\text{lux} = 60.1\%$$

- 또한 이명환 등 (2015)의 연구결과에서는 차선밝기가 240mcd/m²·lux에서 420mcd/m²·lux로 75% 증가한 구간에서 약 41.7% 교통사고 감소 효과가 있는 것으로 분석하였으며, Donnell et al. (2009)의 연구에서 적용된 최대값 470mcd/m²·lux를 적용시 기존 대비 차선 밝기가 55% 증가하여 본 측광 노면표시는 약 30.6%의 사고 감소가 가능한 것으로 추정됨

$$\frac{41.7\%}{75\%} \times 55.0\% = 30.6\%$$

- 두 문헌의 사고감소 추정효과를 종합하면, 본 측광 노면표시를 설치시 평균적으로 45.4%의 사고감소 효과가 있다고 볼 수 있음

(2) 전국 교통사고 통계

- 본 연구의 공간적 범위인 전국 도로를 대상으로 교통사고 통계를 분석하였음. 도로교통공단 교통사고분석시스템에 기록된 2015년도 전국 도로 발생 교통사고 1,141,925건(주간 760,080건(66.6%), 야간 381,845건(33.4%))에 대하여 사고원인, 사망, 부상, 시간대 등이 포함된 자료를 분석하였음

<표 3.82> 2015년 전국 교통사고 발생 통계

법규위반	총계		야간(20시~06시)	
	사고건수	비율	사고건수	비율
중앙선침범	21,161	1.9%	5,361	2.5%
신호위반	43,325	3.8%	14,588	6.7%
안전거리미확보	107,889	9.4%	16,796	7.7%
불법유턴	2,414	0.2%	634	0.3%
과속	647	0.1%	309	0.1%
안전운전불이행	283,829	24.9%	68,810	31.7%
교차로운행방범위반	21,006	1.8%	4,479	2.1%
보행자보호의무위반	17,388	1.5%	3,757	1.7%
차로위반	4,879	0.4%	1,218	0.6%
직진우회전진행방해	7,324	0.6%	1,505	0.7%
기타	371,045	32.5%	60,946	28.0%
미분류	261,018	22.9%	38,946	17.9%
계	1,141,925	100.0%	217,349	100.0%

자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)

- 법규위반 원인별로 분석해보면 기타 및 미분류를 제외하고 안전운전불이행이 24.6%, 안전거리미확보 9.4%, 신호위반 3.8% 등의 순으로 나타났으며, 야간만을 분석할 경우 안전운전불이행이 31.7%, 안전거리미확보 7.7%, 신호위반 6.7% 등의 순으로 나타나는 등 일부 원인의 경우 야간 발생비율이 높은 것으로 분석됨

- 노면표시가 직·간접적인 사고 원인으로 작용할 수 있는 교차로통행방법위반과 차로위반에 대하여 야간시간대에 발생한 사고를 세부적으로 분석하면, 총 발생한 사고는 5,697건, 이에 따른 사망자는 15명, 부상자는 9,518명으로 집계되었으며, 시간대별로는 20~22시가 39.7%, 22~0시가 27.7% 등의 순으로 자정 이전 발생한 야간 교통사고가 전체의 65% 이상을 차지하는 것으로 나타남

<표 3.83> 노면표시 시인성이 직·간접적 원인인 야간 교통사고 발생 현황

시간대	사고건수	비율	사망자수	부상자수
20:00 ~ 22:00	2,259	39.7%	4	3,639
22:00 ~ 00:00	1,579	27.7%	7	2,663
00:00 ~ 02:00	968	17.0%	2	1,697
02:00 ~ 04:00	440	7.7%	0	799
04:00 ~ 06:00	451	7.9%	2	720
계	5,697	100.0%	15	9,518

주) 2007년 소비자물가지수를 100으로 하였을 때 2015년 소비자물가지수인 120.5를 적용하여 편익 산정

(3) 노면표시 시인성 개선에 따른 사고감소 추정

- 본 측광 노면표시는 야간의 노면표시 시인성을 개선하는 것으로, 앞 절에서 검토된 야간시간대 교차로통행방법위반과 차로위반 원인 사고 5,697건(사망 15명, 부상 9,518명)에 노면표시(차선) 재귀반사율 증가에 따른 사고감소를 추정 결과인 45.4%를 적용시, 연간 2,586건(사망 7명, 부상 4,321명)의 사고를 예방할 수 있을 것으로 예상됨

(4) 사고편익 도출

- 한국개발연구원(2008)의 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」에서는 도로부문 교통사고비용 원단위를 2007년 기준으로 아래와 같이 제시하고 있음

<표 3.84> 도로부문의 교통사고비용 원단위(2007년 기준)

구분 (단위: 만원)		사망	부상
사상자 1명당	PGS 제외	41,944	519
	PGS 포함	52,741	2,156
사고 1건당	PGS 제외	2,595	
	PGS 포함	4,159	

자료: 한국개발연구원(2008)

주) PGS 제외 비용 = 순평균비용(위자료, 장례비, 생산손실비, 의료비 및 기타)+ 교통경찰비용+ 보험행정비용

- 본 연구의 사고감소 규모 추정치에 교통사고비용 원단위를 적용하여 사고편익을 도출한 결과는 다음과 같으며, 2015년 기준 총 2,463억여 원의 편익이 발생하는 것으로 산정됨

<표 3.85> 노면표시 시인성 개선에 따른 사고감소편익

구분 (단위: 만원)	사고감소효과	원단위 (PGS 포함)	사고감소편익 (2007년 기준)	사고감소편익 (2015년 기준)
사망자	7명	52,741	369,187	444,870
부상자	4,321명	2,156	9,316,076	11,225,872
사고건수	2,586건	4,159	10,755,174	12,959,985
계	—	—	20,440,437	24,630,727

주) 2007년 소비자물가지수를 100으로 하였을 때 2015년 소비자물가지수인 120.5를 적용하여 편익 산정

■ 공사중 교통혼잡 및 사고절감 편익 추정

(1) 공사중 교통혼잡비용 규모 추정

- 정연식 등 (2009)에 따르면 2008년 기준 고속국도의 비 반복적 교통혼잡비용은 5,207억원, 이중에서 공사에 의한 혼잡비용은 779억원(15.0%)로 나타났으며, 일반국도 및 지방도의 경우 비 반복적 지정체에 따른 혼잡비용은 23,143억원으로 제시되었으나 관련 자료의 부족으로 발생원인별로는 구분되지 않았음. 고속도로의 공사 원인 비 반복적 교통혼잡의 비율(15.0%)을 일반국도 및 지방도의 비 반복적 교통혼잡비용에 적용시 공사에 의한 혼잡비용은 3,471억원으로 추정됨. 따라서 고속도로, 일반국도 및 지방도를 종합하면 공사에 의해 발생하는 교통혼잡비용은 4,250억원(=775+3,471)으로 산정됨
- 본선을 차단하는 공사로는 차선도색 외에도 도로안전시설물 설치·점검·보수, 도로 포장, 표지판설치 등 다양할 수 있는데, 한국도로공사의 내부자료에 따르면 평일 본선차단 작업구간 중 작업 내용이 차선도색인 비율은 5~10% 내외이며, 평균치인 7.5%를 적용시 차선도색에 의해 유발되는 전체(고속도로, 일반국도 및 지방도) 교통혼잡비용은 약 319억원(=4,250억원×7.5%)에 이를 것으로 추산됨

(2) 차선도색 기술 및 재료 성능 향상에 따른 재도색주기 증가

- 신 차선도색 기술은 차선도색 장비 성능의 개량 및 도료, 비드 품질 향상 등에 따른 내구성 향상이 기대됨. 이에 따른 재도색주기 증가폭을 추정하기 위하여 기존 및 축광 도료의 내구성 시험을 (재)한국화학시험연구원을 통해 진행함. 노면표지용 도로 시료를 200mm×400mm×50mm의 아스팔트 블록에 시편으로 제작하였으며, SSENES사의 윤하중내마모성시험기를 이용하여 60km/h의 속도로 정회전 60분, 대기(Holding) 5분, 역회전 60분의 순으로 반복 진행함. KS M 6080: 2014의 시험방법에 따라 바퀴 회전 수 400만회 경과 후 건조한 노면 및 젖은 노면에서의 재귀반사 성능을 측정함. 재귀반사 측정은 휘도측정기(LTX-XL)를 이용하여 관찰각 2.29° 조건에서 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같음

<표 3.86> 기존 및 축광 노면표시의 내마모도 시험 결과

(단위: mcd/m²/lux)

(바퀴 회전수: 400만회)	기존 노면표시의 재귀반사성능	축광 노면표시의 재귀반사성능
건조 상태	316	489
젖은 상태	87	135

- 시험 결과, 건조한 노면과 젖은 노면 조건 모두에서 기존 차선 대비 재귀반사도가 1.55배 향상되는 것으로 나타나, 재귀반사 성능 기준의 내구성이 1.55배 향상된 것으로 판단할 수 있음. 따라서 현재 통상적으로 1년인 재도색 주기 또한 1.5년으로 증가하여 이에 따른 설치비용 및 교통혼잡 절감 등을 기대할 수 있음
- 한편, 축광 노면표시의 재귀반사 성능은 바퀴 회전수 400만회 경과 후에도 도로공사의 1년 경과시 최소 휘도기준 (백색 240mcd/m²/lux 이상)을 훨씬 상회하므로 내구성 향상도에 따라 단순 제시한 재도색 주기 1.5년을 상회하는 내구성을 보유할 수 있음. 따라서 재도색 주기 2년 및 2.5년에 대한 시나리오 분석을 추가하여 실제 내구성 향상 정도에 따른 경제성을 예측하고자 함

(3) 차선도색 기술 및 재료 성능 향상에 따른 공사중 교통혼잡 절감 편익 추정

- 차선도색 공사로 인한 비 반복적 교통혼잡비용은 연간 319억원으로 추산된 바 있으며, 신 차선도색 기술의 내구성 향상에 따라 재도색주기는 1.5배 증가할 것으로 전망됨. 따라서 차선도색 공사의 빈도는 기존의 66.7%(=1/1.5) 규모로 감소하여 연간 106억원(=319*(100%-66.7%))의 교통혼잡 비용이 절감될 것으로 기대됨. 이는 2008년 기준 가격으로, 혼잡 수준은 동일한 것으로 가정하고 소비자물가지수만을 이용하여 2015년 기준으로 환산하면 연간 123억원의 편익이 발생함
- 한편, 3.2.2절에서 시나리오로 추가 제시한 재도색 주기 2년, 2.5년, 3년 적용시 차선도색 공사의 빈도는 각각 기존의 50%(=1/2), 40%(=1/2.5), 33%(=1/3) 규모로 감소하여, 각각 연간 160억원(=319*(100%-50%)), 191억원(=319*(100%-40%)), 214억원(=319*(100%-33%))의 교통혼잡 비용이 절감될 것으로 기대됨. 이는 2008년 기준 가격으로, 혼잡 수준은 동일한 것으로 가정하고 소비자물가지수만을 이용하여 2015년 기준으로 환산하면 각각 연간 191억원, 222억원, 249억원의 편익이 발생함

(4) 차선도색 공사중 사고 절감 편익 추정

- 차선도색 공사중 발생한 교통사고에 대한 별도의 통계는 집계되고 있지 않으나, 공사중 사고는 꾸준히 발생하고 있음
 - 충북 단양군 중앙고속도로 하행선 단양IC 부근: 고속버스가 차선도색 공사 화물차량 추돌로 14명 부상 (2017.8)
 - 경기 성남시 외곽순환고속도로: 승용차가 차선도색 인부 충격하여 1명 사망 (2016.8)
 - 전북 순창군 광주대구고속도로: 승용차가 차선도색 사인카 추돌하여 2명 부상 (2016.2)
 - 경북 안동시 34번 국도: 1t 화물차가 차선도색 공사용 5t 화물차 추돌해 1명 사망, 1명 부상 (2016.1)

- 2016년의 경우 언론에 보도된 차선도색 관련 사고는 3건으로 2명 사망, 3명 부상이며, 이에 대한 교통사고비용은 약 15억원으로 산정됨

<표 3.87> 차선도색 공사중 사고에 따른 교통사고비용 (2016년)

구분 (단위: 만원)	사고규모	원단위 (PGS 포함)	교통사고비용 (2007년 기준)	교통사고비용 (2015년 기준)
사망자	2명	52,741	105,482	127,106
부상자	3명	2,156	6,468	7,794
사고건수	3건	4,159	12,477	15,035
계	—	—	124,427	149,935

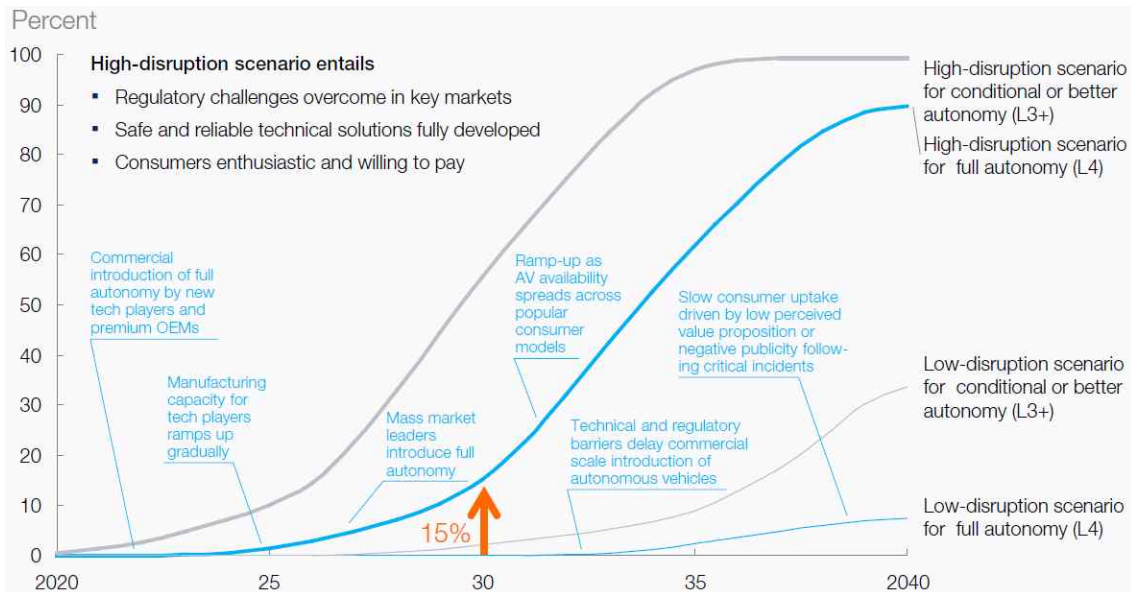
주) 2007년 소비자물가지수를 100으로 하였을 때 2015년 소비자물가지수인 120.5를 적용하여 편익 산정

- 채도색 주기가 1.5년, 2년, 2.5년, 3년으로 각각 늘어나면 차선도색 공사 빈도가 각각 66.7%, 50%, 40%, 33% 규모로 감소하며, 이를 교통사고비용에 적용하면 각각 5.0억, 7.5억, 9.0억, 10.0억의 교통사고 절감편익이 발생하는 것으로 산정됨

■ 자율주행자동차 차선인식 성능 개선 편익 추정

- 자율주행자동차의 차선인식기술 동향에서 살펴본 바와 같이, 자율주행자동차가 스스로 도로 환경을 판단하고 운행함에 있어 차선은 중요한 역할을 담당하고 있음. 그러나 차선 노후화, 재귀반사 성능 불량 등 시인성 저하에 따라 인식 장비 성능의 고도화에 따른 비용 증가 요인이 발생하는데, 최근 개발된 라이더 장비 가격은 250달러 수준이나 상용화 단계에서는 100달러 미만으로 떨어지기를 기대하고 있음. 신 차선도색 기술의 차선 시인성 향상에 따른 라이더 장비 차선인식 성능의 개선으로 장비 고도화 수준을 낮출 수 있을 것으로 기대되며, 라이더 장비 개발품(250달러) 및 상용화 기대가격(100달러) 차이의 절반 수준(대당 약 10만원)의 절감 요인이 유발되는 것으로 가정함
- McKinsey & Company (2016)⁵⁾에서 장래 자율주행자동차 시장을 전망한 바에 따르면, 2020~30년 사이에 신차 시장에서 자율주행차(부분 자율주행 포함)의 비중 전망은 2020년 0%에서 2030년 50%까지 증가할 것으로 예상된 바 있음. 동일한 증가율로 해마다 증가하므로, 10년간 연평균 25%의 신차가 자율주행차에 해당하는 것으로 단순 산정할 수 있음. 우리나라의 연간 자동차 판매량은 2016년 기준 1,813,790대이므로 이 추세가 향후에도 동일하게 유지된다고 가정하면 2020~2030년 사이에 연평균 453,448대의 자율주행차량이 판매될 것으로 전망되며, 차선인식 성능 개선에 따른 장비 가격 절감(대당 10만원)을 적용시 연간 453.4억원의 경제적 편익이 발생할 것으로 추산됨

5) McKinsey & Company (2016). Automotive Revolution – Perspective Towards 2030.



<그림 3.72> 자율주행 차량의 장래 시장점유율(자료: McKinsey & Company (2016))

■ 자전거도로 차선 회도 향상에 따른 사고감소 편익 추정

- 관련문헌 검토에서 자전거도로 차선 회도 향상시 주행 안전도 및 만족도가 향상된다는 긍정적인 조사 결과는 있었으나 정량적인 연구 결과는 존재하지 않음
- 따라서 본 절에서는 개략적인 가정을 통해 사고감소 편익의 규모를 추정하고자 함
- 도로교통공단에 따르면 2016년 자전거사고는 17,412건이 발생, 258명 사망, 17,887명이 부상한 것으로 집계되었으며, 이를 교통사고비용으로 환산하면 약 1조 5,013억원으로 산정됨

<표 3.88> 자전거 사고에 따른 교통사고비용 (2016년)

구분 (단위: 만원)	사고규모	원단위 (PGS 포함)	교통사고비용 (2007년 기준)	교통사고비용 (2015년 기준)
사망자	258명	52,741	13,607,178	16,396,649
부상자	17,887명	2,156	38,564,372	46,470,068
사고건수	17,412건	4,159	72,416,508	87,261,892
계	—	—	124,588,058	150,128,610

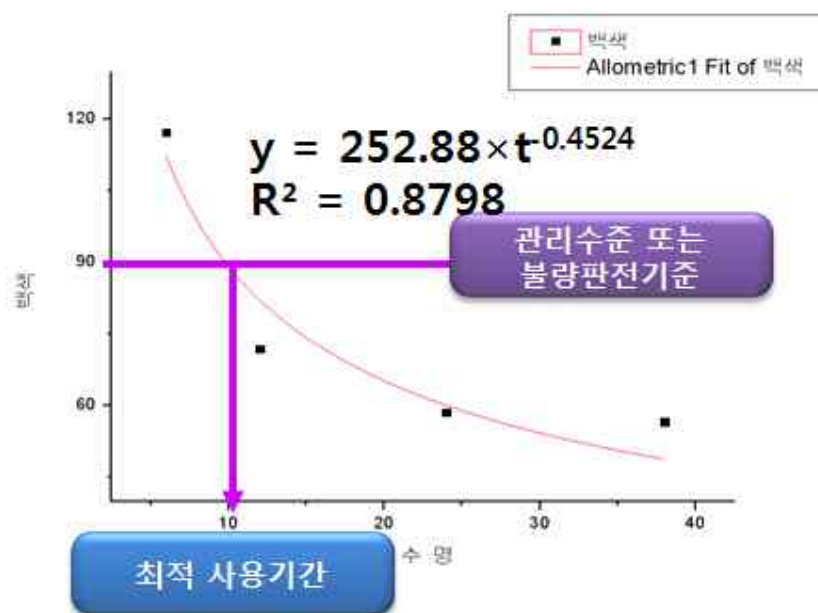
주) 2007년 소비자물가지수를 100으로 하였을 때 2015년 소비자물가지수인 120.5를 적용하여 편익 산정

- 자전거사고는 차량·자전거 운전자 부주의, 도로 및 시설물 불량, 자전거 정비 불량 등 다양한 원인으로 발생하며 자전거도로의 차선 회도 향상은 야간에 자전거 운전자 부주의로 발생하는 사고 일부를 방지한다는 측면에서 제한적으로 볼 수 있음
- 따라서 자전거 도로의 차선 밝기 향상시 전체 자전거 사고의 5%, 7%, 10%가 감소하는 시나리오를 가정하면 각각의 교통사고비용은 751억원, 1,051억원, 1,501억원이 절감될 것으로 기대됨

나. 비용 추정 및 경제성 분석

■ 기존 노면표시와 축광 노면표시의 설치단가 비교

- 융착식 노면표시는 유리알 비드의 지속적 탈락에 따른 시인성 성능의 지속적 감소로 인하여 주기적으로 재도색이 필요하며, 재도색 주기는 교통량 및 현장 여건, 도로 및 시공 품질 등에 따라 차이가 있음. 도로교통공단 교통과학연구원(2012)⁶⁾는 백색 노면표시가 수명의 경과에 따라 휘도 성능이 급격하게 저하되어 최초 설치로부터 약 10개월 경과시 재귀반사 성능이 최초의 75% 수준, 20개월 경과시 최초의 절반 수준에 그치는 것으로 분석함



<그림 3.73> 백색 노면표시의 반사성능에 대한 회귀분석

- 기존 노면표시는 재귀반사 성능 유지를 위한 일반적인 재도색 주기인 12개월을 적용하고, 신 차선도색 기술이 적용된 축광 노면표시는 3.2.2절에서 검토된 바와 같이 차선도색 장비 성능의 개량 및 도로, 비드 품질 향상에 따른 내구성 향상으로 재도색 주기를 18개월로 적용하되 추가 분석 시나리오인 24개월, 30개월, 36개월에 대한 경우도 함께 산정함. 축광 도로 적용에 따른 재료비 상승 요인이 발생하나, 작업 효율성 향상에 따른 시공시간 단축(폭 15cm 차선 도색의 평균 분당 생산성이 기존 39.12m/min에서 61.17m/min으로 56.3% 향상)됨에 따라 일반 도로 및 유리알, 장비 사용료 및 인건비 등이 포함되는 일위대가 하락에 따라 일부 보전됨
- 이를 종합하면, 기존 노면표시의 연간 유지보수비용은 폭 15cm 차선 기준 4,121원/m이며, 신 차선도색 기술이 적용된 축광 노면표시의 연간 유지보수비용은 9,923원/m(재도색주기 18개월 기준)로, 축광 노면표시 도입에 따른 추가 소요비용은 연간 5,802원/m로 산정됨
 - 축광 노면표시의 재도색주기가 24개월인 경우의 추가 소요비용은 연간 3,322원/m

6) 도로교통공단 교통과학연구원(2012), 노면표시 반사성능 기준에 관한 연구

(=7,443-4,121), 30개월인 경우는 연간 1,833원/m(=5,954-4,121), 36개월인 경우는 연간 841원/m(=4,962-4,121)으로 산정됨

<표 3.89> 기존 및 축광 노면표시의 연간 유지보수비용

(단위: 원/m (차로폭: 15cm))

	기존 노면표시	축광 노면표시 (신 차선도색 기술 적용)			
총 비용 (A)	4,121	14,885			
재도색 주기 (B)	12개월	18개월	24개월	30개월	36개월
연간 유지보수비용 (A/(12/B))	4,121	9,923	7,443	5,954	4,962

■ 차선도색규모 및 비용 추산

- 국토교통부 (2016)⁷⁾의 전국 도로현황에 따르면, 2015년 12월 기준으로 전국 도로 연장은 91,195km에 달하며, 도로 유형별로는 시도 22,337km(24.5%), 구도 15,525km(17.0%), 군도 15,438km(16.9%) 등의 순으로 총 연장이 긴 것으로 나타났고, 왕복 차로수별로는 2차로 63,681km(69.8%), 4차로 20,087km(22.0%), 6차로 4,954km(5.4%) 등으로 90% 이상의 도로가 왕복 4차로 이하인 것으로 조사됨

<표 3.90> 도로 유형별 및 차로수별 도로 통계

(단위: km (2015년 기준))

도로 유형	차로수					계 (비율)
	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	
고속국도	2	3,102	549	540	0	4,193 (4.6%)
일반국도	5,981	6,761	766	137	25	13,670 (15.0%)
특별·광역시도	426	1,797	1,398	853	253	4,727 (5.2%)
지방도	13,327	1,649	274	54	1	15,305 (16.8%)
시도	14,682	5,331	1,780	477	66	22,337 (24.5%)
군도	15,161	253	23	0	0	15,438 (16.9%)
구도	14,101	1,194	164	66	0	15,525 (17.0%)
계 (비율)	63,681 (69.8%)	20,087 (22.0%)	4,954 (5.4%)	2,127 (2.3%)	346 (0.4%)	91,195 (100.0%)

7) 국토교통부 (2016), “2016년 도로현황조사”

- 차선도색 규모 산정을 위하여 본 연구에서는 차로구분선과 중앙선, 가장자리차선만을 고려하였으며, 차로구분선의 경우 전구간 점선으로 가정하였음. 도로 유형별 차로구분선의 규격(도색길이와 빈길이의 비율)은 경찰청 (2012)⁸⁾에서 제시된대로 자동차전용도로(고속도로) 1:1 (1,000cm:1,000cm), 도시지역도로 0.625:1 (500cm:800cm), 지방지역도로 0.6:1 (300cm:500cm)을 적용함. 중앙선 및 가장자리차선은 고속도로의 경우 방향별로 양측 실선, 그 외 일반도로는 왕복2차로의 경우 양측 가장자리차선 및 중앙선(단선), 왕복 4차로 이상은 양측 가장자리차선 및 중앙선(복선)을 적용하였음. 이에 따라 도로유형별·차로수별 차로구분선 및 가장자리차선 규모를 산정하면 다음과 같음

<표 3.91> 도로 유형별 및 차로수별 차로구분선 연장

(단위: km)

도로 유형	차로수					계
	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	
고속국도	0	3,102	1,099	1,619	0	5,820
일반국도	0	5,201	1,178	316	78	6,773
특별·광역시도	0	1,348	2,097	1,918	760	6,123
지방도	0	1,268	421	126	3	1,818
시도	0	4,101	2,739	1,101	204	8,145
군도	0	195	35	0	0	230
구도	0	896	246	149	1	1,291
계	0	16,110	7,815	5,230	1,045	30,200

<표 3.92> 도로 유형별 및 차로수별 중앙선 및 가장자리차선 연장

(단위: km)

도로 유형	차로수					계
	2차로	4차로	6차로	8차로	10차로	
고속국도	9	12,408	2,198	2,159	0	16,773
일반국도	17,944	27,044	3,062	549	102	48,700
특별·광역시도	1,278	7,189	5,591	3,410	1,013	18,481
지방도	39,982	6,594	1,095	218	3	47,893
시도	44,045	21,326	7,122	1,908	265	74,666
군도	45,484	1,013	92	0	0	46,590
구도	42,302	4,776	656	265	1	48,000
계	191,044	80,350	19,817	8,509	1,384	301,103

- 산정 결과, 차로구분선 총 30,200km, 중앙선 및 가장자리차선 301,103km로 총 331,303km의 차선 도색이 필요한 것으로 도출됨. 폭 15cm를 일괄 적용시 앞절에서 산정

8) 경찰청(2012), 교통노면표시 설치·관리 매뉴얼

된 연간 차선도색 유지보수비용(기존 노면표시: 4,121원/m, 신 차선도색 기술이 적용된 촉광 노면표시(재도색주기 18개월): 9,923원/m)을 적용하면, 기존 노면표시에는 연간 1조 3,653억원, 촉광 노면표시에는 연간 3조 2,875억원이 소요되어, 신 차선도색 기술이 적용된 촉광 노면표시 적용시 연간 1조 9,222억원의 추가 비용이 소요될 것으로 분석됨

- 촉광 노면표시의 재도색주기가 24개월인 경우의 연간 소요비용은 2조 4,659억원으로 기존 노면표시 대비 추가 소요되는 비용은 연간 1조 1,006억원, 재도색주기 30개월인 경우의 연간 소요비용은 1조 9,726억원으로 기존 노면표시 대비 추가 소요되는 비용은 연간 6,073억원, 재도색주기 36개월인 경우의 연간 소요비용은 1조 6,438억원으로 기존 노면표시 대비 추가 소요되는 비용은 연간 2,785억원으로 산정됨

- 한편, 전국 자전거도로의 연장은 행정자치부에 따르면 2016년 기준 21,179km (자전거전용도로 2,705km, 자전거보행자겸용도로 16,368km, 자전거전용차로 885km, 자전거우선도로 1,221km)이며, 양측 가장자리에 폭 7.5cm(일반도로 차선의 1/2)의 차선 도색시 차선도색 규모는 폭 42,358km임. 다만 차선평이 일반도로 차선의 1/2인 것으로 가정하였으므로 일반도로 차선평 규모인 15cm로 환산시 차선도색 규모는 21,179km이며, 연간 차선도색 유지보수비용(기존 노면표시: 4,121원/m, 신 차선도색 기술이 적용된 촉광 노면표시: 9,923원/m)을 적용하면, 기존 노면표시에는 연간 873억원, 촉광 노면표시에는 연간 2,102억원이 소요되어, 신 차선도색 기술이 적용된 촉광 노면표시 적용시 연간 1,229억원의 추가 비용이 소요될 것으로 분석됨

■ 경제성 분석

- 앞서 3장에서 도출된 편익 항목별 발생액과 촉광 노면표시의 차선도색 설치 비용을 토대로 경제성 분석을 수행함
- 편익 항목별로는 촉광 노면표시 설치에 따른 사고감소 편익 2,463억원, 공사중 교통혼잡감소에 따른 혼잡비용 절감 123억원, 차선도색 공사 빈도 감소에 따른 사고감소 편익 5억원, 자율주행자동차 차선인식 성능 개선에 따른 장비 가격 절감 편익 453억원 등 연간 3,044억원의 총 편익이 발생할 것으로 예상됨
 - 재도색주기를 기본 시나리오(1.5년) 대신 2년, 2.5년, 3년 시나리오 적용시에는 공사중 교통혼잡감소에 따른 혼잡비용 절감이 각각 191억원, 222억원, 249억원, 차선도색 공사 빈도 감소에 따른 사고감소 편익이 각각 8억원, 9억원, 10억원으로 산정되었으며, 이 경우 연간 편익은 각각 3,115억원, 3,146억원, 3,175억원임
- 촉광 노면표시를 전체 도로에 적용시 기본 시나리오(재도색주기 1.5년)의 추가 소요비용은 1조 9,222억원으로, 경제성(비용 대비 편익)을 분석하면 0.158로 다소 미흡한 것으로 도출됨. 따라서 사고 잦은 지점 등에 우선적으로 적용하는 것이 바람직하다고 판단됨에 따라 5장에서 추가 분석을 수행함

- 재도색주기의 시나리오 적용시 경제성은 각각 0.283(재도색주기 2년), 0.518(재도색주기 2.5년), 1.140(재도색주기 3년)로 나타나, 연간 차선도색 비용이 절감될수록 경제성이 확보되며 재도색주기가 3년일 경우 비용 대비 편익이 1을 초과하는 것으로 나타남 (표 3.93)

<표 3.93> 측광 노면표시의 경제성 분석 결과

(단위: 억원)

구 분		기본 시나리오 (재도색주기 1.5년)	추가분석 시나리오		
			재도색주기 2년	재도색주기 2.5년	재도색주기 3년
비용	기존 노면표시 대비 측광 노면표시 설치시 추가 소요비용	19,222	11,006	6,073	2,785
편익	차선시인성 향상에 따른 교통사고 절감편익	2,463	2,463	2,463	2,463
	공사중 교통혼잡 절감편익	123	191	222	249
	공사중 교통사고 절감편익	5	8	9	10
	자율주행차 장비가격 절감 편익	453	453	453	453
	총 편익	3,044	3,115	3,146	3,175
경제성	비용편익비(B/C)	0.158	0.283	0.518	1.140

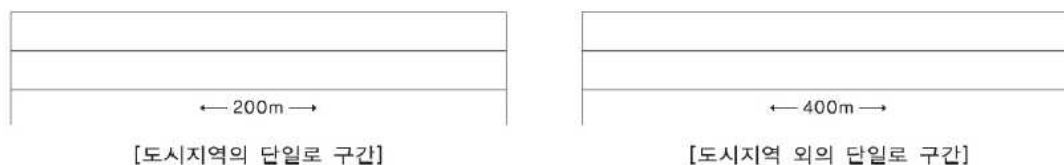
- 자전거 도로 차선의 경제성을 분석하면 전체 자전거 사고의 5%, 7%, 10%가 감소하는 시나리오에 대하여 각각 교통사고 절감편익은 751억원, 1,051억원, 1,501억원, 측광 노면표시 적용시 추가 소요비용은 1,229억원으로, 각각의 경제성은 0.61, 0.86, 1.22로 나타남. 따라서 자전거 도로 측광 노면표시 적용시 자전거 사고 감소율이 8.2% 이상(이 경우 교통사고 절감편익은 1,231억원으로 경제성 1.00)이라면 경제성이 확보되는 것으로 판단할 수 있음

다. 신 차선도색 기술의 교통사고 잦은곳 도입 기준 분석

■ 교통사고 잦은 곳의 정의

- 도로교통공단에서는 『국가교통안전기본계획』 및 『교통사고 잦은 곳 개선사업 추진계획』에 따라 교통사고 잦은 곳 개선 사업을 추진하고 있음. 구체적으로는, 도로상에서 발생하는 교통사고를 분석하여 일정기준 이상의 교통사고가 발생하는 지점을 선정하여, 이들 지점 중 개선이 요구되는 지점에 대해 심층적인 사고요인 분석과 현장조사를 통해 개선대책을 수립함(도로교통공단, 2016⁹⁾)

- 후보구간 선정 기준 중 도로구간의 길이는 단일로의 경우 시가지는 반경 100m 이내 (즉, 구간길이 200m), 기타 및 고속도로는 반경 200m 이내 (즉, 구간길이 400m)로 제시하고 있으며, 사고 발생건수는 특별·광역시 5건 이상, 일반시·기타 3건 이상으로 제시함



<그림 3.74> 교통사고 잦은 곳 선정 기준 중 단일로 도로구간의 길이

■ 분석 구간에 대한 차선도색 비용

- 본 절에서는 단일로 지방부 및 고속도로의 분석 구간 거리인 400m를 기준으로 도로유형별·차로수별 차선도색비용을 산정하고 교통사고비용 원단위를 적용하여 축광 노면표시의 경제적 타당성이 확보되는 사고 규모를 제시하고자 함. 400m 구간 기준 도로유형별·차로수별 차선도색 소요길이는 다음과 같음

<표 3.94> 교통사고 잦은 곳 분석구간 (400m)의 차로구분선, 중앙선, 가장자리차선 연장

(단위: m)

도로 유형	차로수별 차로구분선 연장					차로수별 중앙선, 가장자리차선 연장				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
고속국도	0	400	800	1,200	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
일반국도 지방도 시도 군도	0	308	615	923	1,231	1,200	1,600	1,600	1,600	1,600
특별·광역시 도 구도	0	300	600	900	1,200	1,200	1,600	1,600	1,600	1,600

- 400m 구간 기준 신 차선도색 기술이 적용된 축광 노면표시 적용시 도로유형별·차로수별 차선도색 연간 추가소요비용은 다음과 같음

<표 3.95> 교통사고 잦은 곳 분석구간 (400m)의 측광 노면표시 도입시 연간 추가소요비용 추정

도로 유형	차로수별 차선 총연장(m)					차로수별 측광 노면표시 도입시 연간 추가소요비용 추정 (단위: 만원)				
	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10
고속국도	1,600	2,000	2,400	2,800	3,200	928.3	1,160.4	1,392.5	1,624.6	1,856.6
일반국도 지방도 시도 군도	1,200	1,908	2,215	2,523	2,831	696.2	1,106.8	1,285.4	1,463.9	1,642.4
특별·광역시도 구도	1,200	1,900	2,200	2,500	2,800	696.2	1,102.4	1,276.4	1,450.5	1,624.6

- 분석 결과, 고속도로의 경우 차로수 규모에 따라 928만원(2차로)~1,857만원(10차로), 기타 도로의 경우 696만원(2차로)~1,630만원 내외(10차로)의 연간 추가비용이 소요되는 것으로 산정되었음
- <표 3.84>의 교통사고비용 원단위(p. 104)와, 재귀반사율 증가에 따른 사고감소를 추정 결과(45.4%)를 적용하여 인적피해 발생 사고에 대한 기대 편익을 산정한 결과는 다음과 같이 사망 1건당 28,853만원, 부상 1건당 1,179만원으로 산정됨

<표 3.96> 노면표시 시인성 개선에 따른 교통사고 잦은 곳 사상자수 감소편익

구분 (단위: 만원)	원단위 (PGS 포함)	사고감소율	사고감소편익 (2007년 기준)	사고감소편익 (2015년 기준)
사망자	52,741	45.4%	23,944	28,853
부상자	2,156	45.4%	979	1,179

주) 2007년 소비자물가지수를 100으로 하였을 때 2015년 소비자물가지수인 120.5를 적용하여 편익 산정

- 이를 <표 3.95>의 결과와 종합하면, 분석 대상구간(400m) 내에서 노면표시가 직·간접적 원인인 사고로 유발된 사망자가 연간 1명 이상이거나, 부상자가 연간 2명 이상(단, 왕복 4차로 미만인 경우는 연간 1명 이상)인 경우 신 차선도색 기술을 적용한 측광 노면표시의 도입에 따른 경제적 타당성이 확보된다고 할 수 있음

라. 신 차선도색 기술의 교통/인간공학적 검토 및 비용·편익 분석 소결

- 야간 혹은 우천시에 노면표시, 특히 차선의 시인성이 저하되어 교통 안전에 위협을 초래하고 있는 가운데, 최근 차선도색 장비 성능 개량에 따른 노면표시 수명 연장과 생산성 향상, 측광차선도료를 배합한 야광 노면표시의 시인성 개선 연구 등 차선도색과 관련된 다양한 대안들이 개발되어 야간·우천시 교통안전을 증대하고자 하였음. 이에 본 연구에서는 신 차

선도색 기술을 적용한 축광 노면표시의 종합적인 소요비용 및 기대 편익을 고려한 경제성 타당성을 제시하고자 하였음

- 야광 노면표시(축광차선도료)의 기존 차선 대비 성능 개선 정도($294\text{mcd}/\text{m}^2\cdot\text{Lux}$, 약 97.0%)를 적용시 42.1%의 사고감소 효과가 있는 것으로 산정되었고, 전국 교통사고 통계에서 노면표시가 직·간접적인 사고 원인으로 작용할 수 있는 사고 유형에 이를 적용시 연간 2,586건(사망 7명, 부상 4,321명)의 사고를 예방, 연간 2,463억여 원의 편익이 발생하는 것으로 산정됨. 내구성 향상에 따른 재도색주기 증가(1.5배)로 절감되는 공사중 교통혼잡비용은 연간 123억원, 차선도색 공사 빈도 감소에 따른 사고감소 편익 5억원, 자율주행 자동차 차선인식 성능 개선에 따른 장비 가격 절감(대당 10만원)에 따른 연간 편익 453억원 등을 합산하면 연간 3,044억원의 총 편익이 발생할 것으로 예상됨. 재도색주기 연장에 따른 추가 시나리오 분석시 공사중 교통혼잡 및 교통사고 절감편익의 소폭 상승에 따라 연간 편익은 3,115억원(재도색주기 2년), 3,146억원(재도색주기 2.5년), 3,175억원(재도색주기 3년)으로 예상됨
- 전국 도로 91,195km에 대한 차로구분선, 중앙선 및 가장자리차선에 신 차선도색 기술이 적용된 축광 노면표시 적용시 추가 비용은 연간 1조 9,222억원으로 추산되어 경제성(비용 대비 편익)은 0.158로 다소 미흡한 것으로 도출됨. 다만, 재도색주기를 기본 시나리오(1.5년) 대신 2년, 2.5년, 3년으로 적용시 추가 비용은 각각 연간 1조 1,006억원, 연간 6,073억원, 연간 2,785억원으로, 경제성(비용 대비 편익)은 각각 0.283, 0.518, 1.140로 산정되어 재도색주기가 3년인 경우 경제성이 확보되는 것으로 나타남
- 교통사고 잦은 곳의 지방부 분석 구간길이(400m)에 대한 도로유형별·차로수별 차선도색 비용과 교통사고비용 원단위를 적용하여 축광 노면표시의 경제적 타당성이 확보되는 사고 규모를 산정한 결과, 노면표시가 직·간접적 원인인 사고로 유발된 사망자가 연간 1명 이상이거나, 부상자가 연간 2명 이상(단, 왕복 4차로 미만인 경우는 연간 1명 이상)인 경우 경제적 타당성이 확보되는 것으로 나타남
- 한편, 자전거 도로에 축광 노면표시 적용시 추가 소요비용은 1,229억원이며, 자전거 사고 감소율이 8.2%인 경우 교통사고 절감편익이 1,231억원으로 자전거 사고 감소율이 8.2% 이상이면 경제성이 확보되는 것으로 나타남
- 연구 결과를 종합하면, 축광차선도료를 적용한 야광 노면표시를 전국 도로에 일괄 적용하는 것을 경제적 타당성이 부족하나, 노면표시가 직·간접적 원인인 사고 잦은 곳을 위주로 설치시 도입 효과가 충분한 것으로 도출되었으며, 자전거 도로 설치시 사고 감소율 분석을 통해 설치를 검토할 필요가 있음
- 본 연구에서는 정량화가 가능한 편익 항목을 위주로 경제성을 평가하였으나, 특히 축광 노면표시의 장점인 원거리 차선시인성의 확보와 더불어 재난재해 상황에서의 유도 기능 등 다양한 편익 항목에 대한 추가 고려를 통하여 경제성 평가 결과를 보완할 필요가 있으며, 전국 사고통계자료의 지점별 분석을 통한 축광 노면표시 적용 우선구간 선정 등 추가 연구의 필요성이 존재하며, 이를 통해 최근 개발된 차선도색 기술의 실용화를 촉진해야 할 필요성이 있음

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 목표 달성도

주요연구목표	달성내용	달성도 (%)
핵심성과1. 고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템		
고기능·장수명 차선도색 목표 성능기준 설정	- 고기능·장수명 목표 성능기준 도출 완료 -내구성: 함침율40~60%, 도막두께 2mm -품질관리:시공온도180~200℃, 소형모터식교반 -재귀반사기능: 시공직후600, 3년후 100mcd/m² -축광휘도기능: 최소 7 mcd/m² 잔광 3시간이상	100
고기능·장수명 차선도색 품질확보 방안 개발 및 장비 성능개량	- 차선도색장비 성능 개량 -소형 용착식 차선도색 자동화 장비 개발 -개발장비 성능평가: 생산성 달성비율 156.3%, 안정성 향상을 49.8%, 품질향상을 47.2% - 도료 및 비드의 품질확보 방안 도출 -소형 용착식 차선도색 자동화 장비를 통한 시공 및 재료 품질관리 방안에 대한 제반 사항 규정	100
고기능·장수명 차선도색 전과정 시스템 구축	- 노면표시 현장시험을 통한 성능평가 완료 -시공후 균일한 도막두께: 2.60~2.76mm -내마모도시험 (P7=400만회)후, ·재귀반사: 건조시 488, 습윤시 135 mcd/m² 이상 ·축광휘도: 3시간후 건조시 9, 습윤시 5mcd/m² 이상, 5시간후 건조시 3, 습윤시 2mcd/m² 이상 -내마모도 시험결과를 이용한 내구수명 추정; 400만회 기준 140개월 기능 유지로 추정 - 고기능·장수명 차선도색 가이드라인 작성 -소형 용착식 차선도색 자동화 장비 개요, 구성 및 기능, 시공절차	100
핵심성과2. 야광안료를 이용한 야광차선 도색기술		
야광차선도료 최적배합 설계(1단계)	- 야광안료 비교분석 및 선정 -내고온성이며 용착조료와 배합가능 축광안료 검토; 잔광시간 120분 축광휘도 22mcd/m² - 야광차선도료 배합 기초실험 -축광안료 최적배합비 40% 도출 -발광시간 3hrs후 최소 7mcd/m² 유지	100
야광차선도료 최적배합설계 (2단계)	- 축광을 고려한 최적 노면표시 배합 설계 -재료 배합비별 자체물성시험을 통한 최적배합비 도출(노면표시용 도료 KS M 6080 기준 만족) - 야광차선도료(KS기준만족축광차선도료)성능시험 -비드굴절률, 도막두께, 광원밝기, 광원조사시간에 따른 재귀반사도 및 축광휘도 분석 -공용도로 시험시공(1차)후 현장 성능분석	100

주요연구목표	달성내용	달성도 (%)																														
야광차선도색 시험시공 및 모니터링	◦ 시험시공 및 모니터링 -공용도로 시험시공(2차;포천시)후 재귀반사, 축광휘도, 미끄럼저항 6개월간 모니터링 ·재귀반사: 건조시 614~505, 습윤시 312~181mcd/m² ·축광휘도: 일몰 12시간후 최소 3 mcd/m² 이상 유지 ·미끄럼저항: 41BPN 이상 유지 ◦ 야광차선도색 설계·시공 시방서 작성 -축광차선 도로 배합비 제시 -재귀반사도 품질기준: 시공후 420 mcd/m2·Lx, 1년후 240, 우천시 140(권장) -축광휘도 품질기준 추가: 일몰 1시간후mcd/m2·Lx, 7일몰후 12시간후 3 mcd/m2·Lx 이상 권장	100																														
핵심성과3. 신 차선도색 기술의 비용·편익 분석 방법																																
신차선도색기술의 교통·인간공학적 검토	◦ 신 차선도색 기술 시범 설치구간 사례분석 -한국도로공사 경부선 판교~대전 구간에 고급 차선도료(4,5종) 적용·운영→차선밝기 2배, 내구성 1.75배 증가 -설문결과; 고급 차선도입 일반인87%, 전문가100% 동의 ◦ 사고감소 효과 분석(6개월간 사고자료 분석) -단순건수: 설치전 62건 설치후 48건 -10만대당 환산: 설치전 47.9건 설치후 43.5건 -경험적 베이스: 41.7% 교통사고 감소효과	100																														
신차선도색기술의 비용·편익 분석	◦ 신 차선도색기술 편익산정 -시인성향상에 따른 교통사고절감 편익, 공사중 교통혼잡 및 사고절감 편익, 자율주행차 장비가격 절감 편익 등 ◦ 노면표시 재도색주기(내구수명 증가)에 따른 생애주기비용 도출 -기존 일반차선 대비 축광노면표시 3.6배 비용증가 ◦ 고기능·장수명 차선도색 기술 비용·편익 분석; (재도색주기 3년) : B/C≥1 <table border="1"><thead><tr><th>구분</th><th>일반+수동</th><th colspan="3">축광+자동화장비</th></tr></thead><tbody><tr><td>재도색 주기(년)</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>3.0</td></tr><tr><td>일위대가 (원)</td><td>4,120</td><td colspan="3">14,885</td></tr><tr><td>상대비용</td><td>1.0</td><td>2.41</td><td>1.81</td><td>1.20</td></tr><tr><td>상대편익</td><td>—</td><td>1.00</td><td>1.02</td><td>1.04</td></tr><tr><td>B/C비</td><td></td><td>0.15</td><td>0.28</td><td>1.14</td></tr></tbody></table>	구분	일반+수동	축광+자동화장비			재도색 주기(년)	1.0	1.5	2.0	3.0	일위대가 (원)	4,120	14,885			상대비용	1.0	2.41	1.81	1.20	상대편익	—	1.00	1.02	1.04	B/C비		0.15	0.28	1.14	100
구분	일반+수동	축광+자동화장비																														
재도색 주기(년)	1.0	1.5	2.0	3.0																												
일위대가 (원)	4,120	14,885																														
상대비용	1.0	2.41	1.81	1.20																												
상대편익	—	1.00	1.02	1.04																												
B/C비		0.15	0.28	1.14																												

제 2 절 관련 분야 기여도

- 최근 사회적 이슈가 되고 있는 야간 및 우천시 시인성 확보에 대하여 고기능·장수명 차선도색 기술의 활용이 가능함
- 연구 수행시 차선도색 분야의 참여기업을 확보하여, 시장의 요구 성능 및 현장경험을 기술 개발에 적극 반영하여 사업화가 가능함
- 외국기업이 주도적인 역할을 하는 국내 차선도색 장비 시장에서 차선도색 장비의 소형화 자동화 연구개발을 통한 차선도색기술의 기술 축적은 국내시장 활성화와 더불어 해외시장 개척에도 계기가 될 수 있음
- 가이드라인 개발 및 기술교육을 통해 국내 차선도색 시공기술자들에게 기술 보급이 가능함. 또한 해외진출 설계사 및 건설사에 기술이전을 통한 개발기술의 재료 및 장치의 해외 사업 지원이 가능함

제5장. 연구개발성과의 활용계획

제 1 절 활용방안

- 측광 노면표시 기술은 자동차 전조등 빛이 닿지 않는 구간인 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간 등 조명이 부족한 구간의 노면표시는 물론 골목길, 횡단보도 등과 각종 도로교통 안전표시에 활용 가능하며, 자전거도로, 산책로 등의 생활도로의 안전표시와 더불어 재해시 통상의 전원이 작동하지 않는 상황에서 피난유도표시 등에도 활용가치가 기대됨
- 그러나 향후 보다 고효율의 성능이 필요한 구간(한국도로공사 장수명 차선도색 시험시공 특별시방서에서 제시된 2구간, 3구간 및 이와 유사 성능이 필요한 곳)에서의 적용을 위해서는 추가연구가 필요할 것으로 판단됨
- 본 과제에서 개발한 측광차선도료는 기존의 재귀반사 기능 뿐만 아니라 측광 기능을 겸비한 고기능·장수명 차선도료로 NEP 신제품을 인증을 거쳐 상용화를 추진할 계획이며, 또 하나의 최종성과품인 소형 용착식 차선도색 자동화 장비는 측광 차선도료 뿐만 아니라 일반 용착식 차선도료를 이용한 시공이 가능하며, 특히 대형장비 투입이 곤란한 도심지 등에서 활용가치가 크므로, 이를 NEP 신기술 인증을 추진할 계획임

제 2 절 기대성과 및 파급효과

■ 기술적 측면

- 국내에 야광안료를 차선도색에 적용하는 연구 수행사례는 거의 없으며, 해외에서도 구체화된 기술은 미비하여 야광차선도색기술 개발은 국내는 물론 해외 시장에서도 기술 선도가 가능할 것으로 기대됨
- 야간 및 악천후시 차선의 시인성 향상으로 인하여 도로주행의 쾌적성 및 안전성이 향상되어 삶의 질을 높여주는 도로를 가능하게 하는 기술임
- 외국기업이 주도적인 역할을 하는 국내 차선도색 장비 시장에서 소형화 자동화 국산화를 통한 차선도색 장비기술을 선진국 수준에 근접할 수 있는 중요한 계기가 될 수 있음
- 야광안료를 이용한 야광차선도색 기술은 차선도색 이외에 각종 안전표시 도색 등에서 활용이 가능한 기술임
- 현행 시방기준은 자동화 장비를 활용하여 시공할 것을 명시하고 있는 사례가 증가하고 있으나 시공 업체의 열악한 환경으로 지켜지지 않고 있으며, 시방기준에 따라 차선도색 시공 시에도 품질 저하로 인한 문제가 많이 발생하고 있어, 본 연구를 통하여 현장 품질관리 지침 적용을 통하여 고기능·장수명의 차선도색을 가능하게 하는 기술임(국내 등록된 도장 업

체의 수는 2,848개(대한전문건설협회(KOSCA). 2017.08)이며, 소형자동차 장비를 보유한 업체수는 5%내외로 차선도색기술의 품질 확보를 위해서는 소형자동차 장비의 보급이 필수임)

■ 경제적·산업적 측면

- 고기능·장수명 차선도색 기술 개발을 통하여 야간 및 악천후시 시인성 향상을 통한 효율적인 안내가 가능하여 사고를 방지할 수 있을 뿐만 아니라, 운전자의 주행환경 향상에 따른 통행시간 단축으로 막대한 경제적 효과를 기대할 수 있음
- 야광차선도색 기술 개발은 차선도색 외에 횡단보도, 시선유도표지 등 교통안전시설물 산업 분야 전체에 시인성 향상을 위한 용도로 적용될 수 있어 기술 파급 및 추가적인 경제적 파급효과를 기대할 수 있음
- 또한, 자전거도로, 산책로 등의 생활도로의 안전표지와 더불어 재해시 통상의 전원이 작동하지 않는 상황에서 피난유도표지 등에도 활용이 가능하므로 그에 따른 경제적 효과는 더욱 증가될 것으로 기대됨
- 현재의 도로표지용 도료의 품질기준을 만족함에도 불구하고, 시공 후에 품질저하로 인한 시인성 저하가 발생하고 있음. 이에 고기능·장수명 차선도색 기준 개발을 통한 차선의 품질확보를 기대할 수 있음
- 차선도색 기술은 중소기업 강세분야로 본 연구를 통해 차선도색 기술 개발에 따른 내수시장 활성화와 해외시장 진출을 통한 경제적 파급효과 및 기술 수출에 기여할 수 있음

■ 사회적 측면

- 최근의 이상기후 현상으로 집중호우 등 악천후 조건이 많이 발생함에 따라 차선 시인성 관련 민원이 증가하고 있음. 이에 본 연구를 통하여 민원 해소를 통한 도로의 이미지 개선과 도로교통 안전성에 대한 신뢰 상승에 기여할 수 있음

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

■ 네덜란드 Veluvine社 방문

- 방문기관 : 네덜란드 Veluvine社
- 방문일자 : '14. 11. 25(화) 09:30~11:00

기관소개

- Veluvine社는 EN-ISO 9001 & EN-ISO 14001 인증 업체임
- 현재 전세계 40여 개국에 수출하고 있음
- Veluvine社는 기후에 상관없이 전세계 어느 나라에서나 적용가능한 도로 마킹용 재료 인증 업체임

- 현재 Veluvine社에서 생산 및 판매중인 차선도로 생산설비 및 도로 개발을 위해 자체 시험 장비가 구비되어 있는 실험실을 견학
 - Veluvine社에서 개발 및 생산한 도로는 보관하여 연구에 지속적으로 활용하고 있고, 시공기록에 대해서도 일정기간 보유하고 있음



- Veluvine社의 발광 차선도로 연구개발 진행사항에 대해서 샘플을 통하여 직접 성능을 확인
 - 현재 개발단계인 발광 차선의 시인성은 30분 정도이고, 2시간이 지난 후에도 빛이 보 이긴 하지만 매우 약한 수준



- 도료 생산과정은 지속적인 투자를 통해서 개선하여 자동화하고 있음
 - 2011년에는 2액형과 3액형의 콜드플라스틱 도료 생산을 위해 공장 지붕 위에 원료를 투입하여 내부 처리를 감소시킬 수 있도록 새로운 원료 수송 시스템을 설치함



■ 네덜란드 오스지역 N329 발광도로 현장 견학

- 조사지역 : N329(Regional Highway) 노선 中 500m 구간
- 조사일자 : '14. 11. 25(화) 13:00~14:00(1차), 17:00 ~ 18:00(2차)

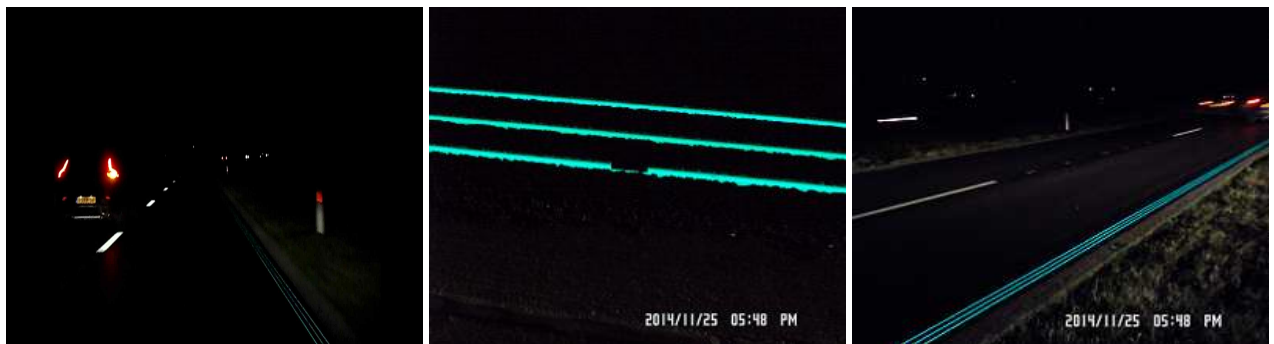
발광도로 N329 노선 위치



- 네덜란드 Heijmans社는 발광도료를 야간 조명등이 없는 도로에 설치하여 차선의 시인성을 증진시켜 주행안전성을 확보하는 동시에 도로에너지 소비전력 저감으로 녹색에너지 창출에 기여할 수 있다고 제시함
- Heijmans社에서는 발광물질의 특성을 고려한 초록색을 우선적으로 개발하였으며, N329번 고속도로에 적용하였음
- 실제 현장조사 결과 가장자리 차선을 기존 차선 도포방식과는 다르게 세줄의 줄눈(폭 약 1.5cm/시공후 깊이 약 0.3cm)을 파서 발광도료를 시공하였음
 - 기존 차선도료의 형태보다는 줄눈 속에 채워진 실리콘과 같음
 - 주간 시인성은 차선이 얇기 때문에 기존 차선과 비교시 시인성이 떨어지는 것으로 판단됨



- 야간에 발광도료의 시인성을 조사하기 위해서, 실제 차량을 통해 주행하면서 효과를 파악
 - 헤드라이트를 키고 주행시, 발광차선의 효과가 거의 나타나지 않아 시인성이 떨어짐
 - 헤드라이트를 끄고 주행시, 발광차선의 효과가 있긴 하지만 시인성이 기존차선에 비해서 미약한 수준임



- Heijmans社は 발광도료가 축광시간에 따라 발광하는 시간이 변화하기 때문에, 축광이 안 될 경우를 대비하여 전기모드로 전환하여 축광과 축전이 가능하도록 발광하는 시스템을 구성한다고 함
 - 현장조사 결과 축전시스템은 구축하지 않고, 발광도료만의 성능을 테스트하고 있었음
- 종합적으로 발광차선의 주간 및 야간 시인성은 기존 차선에 비해서 효과가 떨어지는 것으로 판단됨
 - 발광도료보다 시험시공 구간 외에 표지병이 설치된 구간이 야간 시인성 효과가 더욱 큰 것으로 판단됨



제7장. 연구개발성과의 보안등급

○ 본 연구개발은 일반등급임.

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

국가연구시설장비정보등록증 Registration Certificate of Research Facilities & Equipment			
시설장비등록번호	NFEC-2016-10-212119	등록일자	2016-09-30
한글명	융착식 자동 도색 장비		
영문명	Thermoplastic Material Line Marking System		
기본정보			
고정자산관리번호	DDSI-16-01	연구시설·장비구분	주시설장비
취득방법	개발	모델명	개발장비
제조사	덕영정밀	제작국가	대한민국
개발금액(원)	85,000,000원	개발기간	2015-08-03 ~ 2015-11-17
활용범위	단독활용만 가능	장비용도	시험용
보유기관정보			
보유기관명	대동안전(주)		
설치장소	경기 광명시 범안로 817 대동안전 대동안전(주) 11층		
국가연구개발사업			
국가과제고유번호	1615008042	부처명	국토교통부
과제명	야간 및 악천후시 차선 시인성 확보를 위한 고기능성 장수명 차선도색 기술개발		
주관기관	(주)평화엔지니어링	연구책임자	김상태
2016. 10. 06			
국가연구시설장비진흥센터장			

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 기술적 위험 요소 분석

- 연구책임자가 현장이나 실험실에서의 기술적 위험요소를 분석·파악하고, 위험도 저감 및 참여연구원의 안전확보를 위한 대책 및 안전교육 실시
- 실험에 관련된 안전사고 및 위험 정보를 미리 숙지하고, 위험도를 저감할 수 있는 적절한 안전 확보 및 조치 방법 숙지

○ 안전 관리 대책

- 연구원의 안전을 위하여 안전관리지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시
- 안전점검 및 그 외에 상황에서 노출된 위험을 안전관리 책임자나 담당자에게 보고
- 연구에 참여하는 전체 연구원을 대상으로 안전보건교육을 매달 시행
- 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 교육 및 훈련 실시
- 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육
- 연구 내용 및 결과물의 보안 항목(인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목, 정보보안 항목)에 대하여 매달 보안점검을 실시

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/ 특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	도로의 야간 교통사고 저감을 위한 야광형 포장노면표시 기술개발의 적용성 연구	(주)평화엔 지니어링	-	한국 도로학회 논문집	등재지	2015.06.	단독	비SCI
2	논문	도로의 측광차선 도로 개발을 위한 측광안료 최적 배합비 산정에 관한 연구	(주)평화엔 지니어링	-	한국 도로학회 논문집	등재지	2015.10.	단독	비SCI
3	논문	고기능·장수명 차선도로의 교통사고 감소 효과 분석	아주대학 교	-	대한 토목학회 논문집	등재지	2015.08.	중복	비SCI
4	논문	측광 노면표시의 야간 시인성 평가를 위한 기초 연구	(주)평화엔 지니어링	-	한국 도로학회 논문집	등재지	2016.08.	단독	비SCI
5	논문	소형 차선도색 자동화 장비의 성능 평가에 관한 연구	(주)평화엔 지니어링	-	대한 토목학회 논문집	등재지	2016.08.	단독	비SCI
6	논문	측광노면표시의 실내 및 현장 휘도성능과 디지털이미지를 이용한 휘도분석 사전연구	(주)평화엔 지니어링	-	한국 도로학회 논문집	등재지	2016.12.	단독	비SCI
7	논문	측광노면표시 시인성 및 설치규격개선 효과분석: 고속도로 사고다발구간을 중심으로	아주 대학교	-	대한 토목학회 논문집	등재지	2016.08.	중복	비SCI
8	논문	측광노면표시 시인성 개선에 따른 경제성분석 및 적용방안	아주 대학교	-	대한 토목학회 논문집	등재지	2017.10. (게재예정)	중복	비SCI
5	특허	용착식 차선 도색장치	대동안전 (주),(주)평화 엔지니어 링	-	대한민국	등록	2017.06.08	-	-
6	특허	용착식 차선 도색장치용 승강장치	대동안전 (주),(주)평화 엔지니어 링	-	대한민국	등록	2017.06.08	-	-
7	특허	저온 내충격성이 향상된 측광안료를 이용한 노면 표지용 조성물	대동안전 (주),(주)평화 엔지니어 링	-	대한민국	등록	2017.06.08	-	-
8	특허	측광안료를 이용한 용착식 노면 표지용도로	대동안전 (주),(주)평화 엔지니어 링	-	대한민국	등록	2016.06.30	-	-
9	특허	글래스비드가 함유된 측광안료를 이용한 노면 표지용 조성물	대동안전 (주),(주)평화 엔지니어 링	-	대한민국	등록	2016.06.30	-	-

제11장. 기타 사항

“해당하지 않음.”

제12장. 참고 문헌

1. 국토해양부(2009), 도로현황조서
2. 한국도로공사(2012), 전문시방서-안전시설공사편
3. 한국도로공사(2012), 전문시방서-재료편
4. 한국도로공사(2013), 야간 시인성 향상을 위한 고속도로 표지 성능기준
5. 서울시(2012), 노면표시 시방서,
6. 안양시(2017), 융착식 도료 차선도색 시방서
7. 제주시(2017), 차선도색공사 시방서
8. 경찰청(2012), 교통노면표시 설치관리 매뉴얼
9. 한국건설생활환경시험연구원(2011), “고반사 유리비드를 이용한 고내구성 도로 표지용 도료 개발”
10. 한국도로공사(2009), “차선재료 품질기준 및 유지관리 개선 연구”
11. 도로교통공단(2012), 노면표시 반사성능 기준에 관한 연구1~2
12. 도로교통공단(2013), 노면표시 재귀반사회도 측정시스템 구축 및 시험방법에 관한 연구
13. 도로교통공단(2009), 교통사고감소를 위한 차선 시인성 개선연구
14. 교통안전공단(2003), 교통안전시설 수명결정을 위한 연구(노면표시)
15. 이창근, 이현석, 오홍운, “차선의 우천시 야간 시인성 향상을 위한 그라스 비드 적용 연구”, 2012
16. 이승규, 이승현, 최기주, “기상조건 변화에 따른 노면표시 비드의 최적 배합비율 산정”, 2012
17. 이창근, 박진환, 오홍운, “차선재료의 내구성 향상을 위한 내마모성 시험 적용 연구”, 2011
18. 권오연, “노면표시 재귀반사성능에 관한 실험연구”, 2004
19. 오홍운, 이현석, 장정화, 강재수, “도로차선재료의 공용수명 예측방법”, 2008
20. 강동호, “노면표시 형태별 재귀반사 비교평가에 관한 연구” 아주대학교, 2010
21. 이승신, “시인성이 교통사고에 미치는 영향 진단” 연세대학교, 2012
22. 이종학, 노관섭, 김종민, 최재성, “사고위험이 높은 운전자에 대한 노면표시 효과연구”, 2013
23. Raf De Fre etc., air Pollution Measuremensts in Traffic Tunnels, Environmental Health Perspectives, p.31~37, vol.102, 1994

24. Eric T. Donnell, Vishesh Karwa, Sudhakar Sathyanarayanan(2009), "Analysis of Effects of Pavement Marking Retroreflectivity on Traffic Crash Frequency on Highways in North Carolina"
25. Omar Smadi, Reginald R. Souleyrette, Daniel J. Ormand, Neal Hawkins (2008), "Pavement Marking Retroreflectivity: Analysis of Safety Effectiveness"
26. Ronald B. Gibbons, Jonathan Hankey(2007), "Wet Night Visibility of Pavement Markings: Dynamic Experiment"
27. Paul J. Carlson, Jeffrey D. Miles, Michael P. Pratt, and Adam M. Pike(2005), "EVALUATION OF WET-WEATHER PAVEMENT MARKINGS:FIRST YEAR REPORT"
28. Campbell, J., Richard, C., Brown, J., Graham, J., Lichty, M., and O'Laughlin, M. (2012). Human Factors Guidelines for Road Systems. National Cooperative Highway Research Program Report 600C, Transportation Research Board.
29. Davies, C. (2016). "Pavement Markings Guiding Autonomous Vehicles - A Real World Study." Proc. of Automated Vehicles Symp. 2016, San Francisco, U.S.
30. McKinsey & Company (2016). Automotive Revolution - Perspective Towards 2030.
31. MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2016). Yearbook of Road Statistics 2016 (in Korean).
32. MUTCD (2003). <http://mutcd.fhwa.dot.gov> (Re-quoted from Chung et al. (2009))
33. Sage, A. (2016). Where's the lane? Self-driving cars confused by shabby U.S. roadways. Available at:(Accessed: June 6, 2017).
34. Rumar, K. and Marsh, D. (1998). Lane markings in night driving: A review of past research and of the present situation. University of Michigan Transportation Research Institute Technical Report, Report No. UMTRI-98-50.
35. Alberta Transportation (2003), Highway Pavement Marking Guide
36. British Columbia Ministry of Transportation and Highways (2000), Manual of Standard Traffic Signs & Pavement Markings
37. Federal Highway Administration (2009), Manual on Uniform Traffic Control Devices
38. Government of South Australia: Department of Planning, Transport and Infrastructure (2015), Pavement Marking Manual
39. New South Wales Government: Road and Maritime Services (2010), Delineation - Section 4: Longitudinal Markings
40. Queensland Government: Department of Transport and Main Roads (2015), Traffic and Road Use Management Manual

부 록

[부록1 : 고기능·장수명 차선도색 가이드라인(안)]

[부록2 : 야광차선도색 설계 시공 시방서(안)]

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 야간 및 악천후시 차선 시인성 확보를 위한 고기능성장수명 차선도색 기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.