

도로의 야간 교통사고 저감을 위한 야광형 포장노면표시 기술개발의 적용성 연구

A Study on the Application of Glow Line Marking Technology Development for Reducing Traffic Accidents at Nighttime

이용문	Lee, Yong Mun	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 (E-mail : leeym@pec.kr)
김흥래	Kim, Heung Rae	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 연구원장 (E-mail : hrkpro@pec.kr)
김상태	Kim, Sang Tae	정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 연구위원 (E-mail : stkim99@pec.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study suggests the application of glow line marking technology for reducing traffic accidents at nighttime.

METHODS : In this study, using a statistical analysis, we analyzed the characteristics of traffic accidents occurring at nighttime. Next, the strength, weakness, opportunity, and threat (SWOT) factors were derived based on a current-status analysis of glow line marking technology and road environments. An SO strategy, ST strategy, WO strategy, and WT strategy were established in accordance with the four SWOT factors.

RESULTS : This study suggests that the following strategies should be promoted to apply glow line marking technology to a road environment: 1) an activation strategy for the technological development of glow line markings for a new paradigm in reducing traffic accidents, 2) a benefit enhancement strategy applying glow line marking technology in places where nighttime traffic accidents frequently occur, 3) a strategy for the expansion of glow line marking by replacing streetlights, and 4) a strategy for enhancing road applications through the development of various line marking methods in consideration of both performance and costs.

CONCLUSIONS : The application of glow line markings in a road environment can contribute to a reduction of traffic accidents at nighttime, and aid energy savings from the replacement of streetlights.

Keywords

Glow line marking, Glow pigment, SWOT analysis, Traffic accidents at nighttime

Corresponding Author : Lee, Yong Mun, Researcher
R&D Institute, PyungHwa Engineering Consultants LTD,
401, Doosan Venture Digm, 415, Heungan-daero, Dongan-gu,
Anyang-si, gyeonggi-do, 431-755, Korea
Tel : +82.31.420.7338 Fax : +82.31.420.7331
E-mail : leeym@pec.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Feb. 26, 2015 Revised Feb. 27, 2015 Accepted Apr. 3, 2015

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

우리나라의 인구 10만명당 교통사고 사망자수는 10.1 명으로 OECD 33개 국가 중 32위인 최하위 수준이며,

OECD 회원국 평균인 6.8명에 비해서 약 1.6배 높은 수치를 보이고 있어 교통안전 측면에서는 여전히 후진국 수준에 머물러 있다(도로교통공단, 2013). 교통사고로 인한 사회적 비용도 도로교통공단 TAAS시스템 분석자료에 따르면 총 23조 5,900억 원으로 우리나라 국가 총

예산의 10.6%를 차지하고 있다.

도로교통공단 교통사고 통계자료(2013년)에 따르면, 야간 교통사고 사망자수는 전체사고의 53.1%인 2,702명으로 특별히 야간 교통사고 저감을 위한 노력이 필요하다. 야간 교통사고의 주원인은 야간에 도로교통 시설물에 대한 시인성 악화로 도로의 상황 예측정보 제공량이 극히 낮아 운전자의 사전인지 반응 작용이 늦어지기 때문이며, 최근 이러한 야간 시인성 확보 문제는 도로의 주행차로를 구분하면서 교통안전 운행을 지원하는 노면표시 부분에서 사회적 이슈가 되고 있다.

최근 해외에서는 야간 교통안전성 향상을 위해 야광차선을 개발하여 야간 조명등이 없는 도로에 시험운영하고 있다. 야광차선 기술은 야간에 시인성을 증진시켜 주행안전성 확보가 가능하고, 동시에 야간 조명등의 설치 및 운영비를 줄일 수 있는 효과가 있다.

국내에서도 어두운 곳에서 시인성 향상을 위하여 야광에 대한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 시인성 향상 및 에너지 절감이라는 장점에도 불구하고 아직까지 노면표시에 도입된 사례는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 야광 노면표시의 이론적 검토와 도로환경 적용 시 특성에 대한 SWOT 분석을 실시하여 야간 교통사고 저감을 위한 야광 노면표시의 효과적인 적용방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 수행과정

본 연구는 야광 노면표시의 적용방안을 제시하고자 하는 연구로 우선 야광의 정의와 원리에 대해서 살펴보

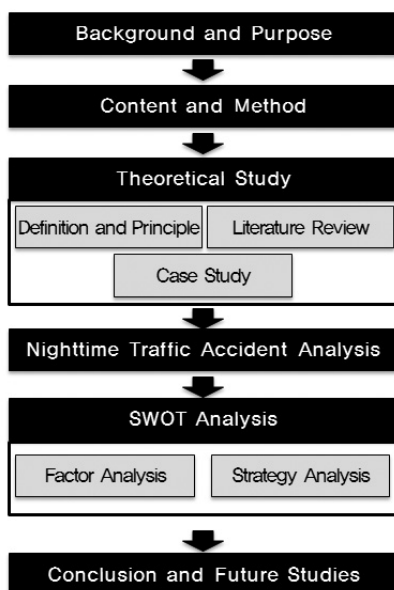


Fig. 1 Research Methodology

고, 관련문헌 및 국내외 사례 고찰을 통해 시사점을 도출하였다.

다음으로 야간 교통사고 특성을 분석하고, SWOT 분석을 실시하여 야광 노면표시 기술의 현황진단을 바탕으로 국내 도로환경에 적용하기 위한 방안을 도출하였다. 연구수행과정은 Fig. 1과 같다.

2. 이론적 고찰

2.1. 야광의 정의 및 원리

야광의 정의를 살펴보면, 발광의 유지시간에 따라 형광(Fluorescence)과 축광(Phosphorescence)으로 나누며, 발광 유지시간이 10^{-8} sec 이하로 짧은 것을 형광이라 하고 그 이상의 긴 것을 축광으로 구분한다.

형광은 물질이 빛의 자극에 의해서 발광하는 현상을 말하며, 물체가 계속 빛을 내는 것은 전자 상태의 변화가 지속적으로 반복되고 있기 때문이다. 따라서 자극이 사라지면 빛도 발생하지 않는다.

축광은 흡수한 빛을 저장하여 어두운 곳에서 빛을 방출하는 현상으로, 전자가 안정된 에너지 상태로 돌아가는 시간이 다소 길기 때문에 천천히 빛을 낸다. 축광제의 잔광시간은 최소 10^{-7} sec부터 수 시간까지 지속되는 것도 있다.

Table 1. Principle and Classification of Glow

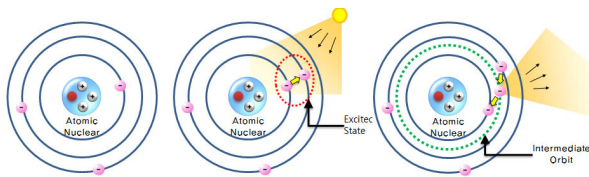
Classification	Contents
Fluorescence	<ul style="list-style-type: none"> - Without emitting the light themselves, Fluorescence receive the opponent of light, and is intended to be visually recognized as an object by reflecting the light - Fluorescence emits the light by a chemical reaction or filled energy. Fluorescence lose life when the energy is consumed
Phosphorescence	<ul style="list-style-type: none"> - Phosphorescence absorbs all light source energy, to emit the light itself by converting glow in the dark light energy to visible light - It repeats the light absorption → storage → emission. Life is semi-permanent

노면표시에 적용가능한 야광의 종류는 축광이다. 형광은 빛이 없으면 시인성 제공이 불가능하기 때문에 본 연구에서는 어두운 곳에서 빛을 내는 축광을 야광으로 정의하였다.

축광의 원리를 살펴보면, 원자는 원자핵(양성자+중성

자)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 된다.

들뜬 상태가 된 전자는 빛이 없으면 다시 원래 바닥 상태로 되돌아가게 되는데, 이 과정이 서서히 이루어지면서 방출한 에너지가 빛으로 보이게 된다. 이는 축광 물질은 특수한 전자궤도가 있어 들뜬 상태의 전자가 바닥상태와 들뜬 상태의 중간궤도를 돌면서 빛을 내다가 다시 바닥상태로 돌아가기 때문이다.



(a) Ground State (b) Excited State (c) Intermediate Orbit

Fig. 2 Principle of Glow

2.2. 관련문헌의 고찰

Gibbons(2007)은 노면표시 방식에 따른 시인거리를 측정하였다. 주변 불빛, 도로 포장 종류, 차량 종류를 구분하여 주행 중 시인거리를 측정한 결과 테이프식, Thermo plastic, 대구경 bead 페인트식, 일반 bead 페인트식 순으로 먼 곳에서 노면표시 인식이 가능한 것으로 나타났다. 외부 조명이 존재할 때, 콘크리트 포장일 때, 운전자의 눈높이가 높을 때 시인거리가 증가하였으며, 시인거리 확보를 위한 적정 수준의 재귀반사율은 $200\text{mcd}/\text{m}^2 \cdot \text{Lux}$ 인 것으로 분석되었다.

Smadi(2008)는 노면표시의 재귀반사율과 사고발생률간의 상관관계를 연구하였다. 도로 및 차선의 종류를 구분하여 각 상황별 사고발생 감소율을 추정하였고, 다차로 고속도로와 2차로도로 모두 중앙선·측선의 노면표시 재귀반사율이 높아질수록 사고발생은 감소하는 것으로 분석되었다. 노면표시 시인성 개선과 사고발생률과의 관계는 재귀반사율 $200\text{mcd}/\text{m}^2 \cdot \text{Lux}$ 이하 구간에 한해서 유의하게 나타나는 것으로 분석되었다.

Donnel(2009)은 다차로 고속도로에서 백색 길 가장자리선의 시인성 개선을 연구하였다. 재귀반사율 $50\text{mcd}/\text{m}^2 \cdot \text{Lux}$ 개선 시마다 사고율이 약 18%씩 감소하는 것으로 추정하였다.

이승규(2012)는 다양한 비율로 혼합된 bead를 국내

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

2.3. 국내외 사례 고찰

2.3.1. 국내사례

빛을 발광하는 특성을 지닌 야광은 태양광이나 전등 등 빛의 자극을 받아 에너지를 흡수한 후, 이를 가시광으로 환원하여 어두운 곳에서 장시간 발광하는 특징을 갖고 있다. 이러한 특성을 지닌 야광은 고속도로, 철도, 지하철, 항공, 항만 및 빌딩 등에 각종 야광표지판이나 야광페인트로서 사용될 뿐만 아니라 야광장식, 야광시계, 전자기기 표시소자, 백라이트 광원 등 다양한 용도의 기능성 소재로도 활용되고 있다(서울시립대학교, 2011). 하지만 여전히 비상시 안내표지, 의류 등의 상품 위주로 집중 적용되고 있고, 야광안료를 노면표시에 적용하는 기술은 일부 특허가 등록되어 있지만 구체화되어 적용한 사례는 거의 전무하다.

2.3.2. 국외사례

국외에서는 야간에 도로선형을 쉽게 인지할 수 있도록 야광도료를 노면표시에 적용하는 프로젝트를 추진 중에 있다. 그 대표적인 예로서 네덜란드의 야광 고속도로 프로젝트이다.

네덜란드의 Heijmans社は 광루미네선스라는 효과를 지닌 분말이 포함된 도료로 도색된 차선은 최대 10시간 동안 스스로 빛을 낼 수 있다고 보고하고 있다. 이 회사는 실제 네덜란드 OSS지역의 N329(Regional Highway) 노선(500m)에 야광차선을 시험·시공하여 성능기준을 수립하고 있다. 실제 현장조사(2014.11) 결과, 시공된 야광차선은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 기존 차선 도포방식과는 다르게 세 줄의 줄눈(폭 약 1.5cm/시공 후 깊이 약 0.3cm)을 파서 야광도료를 채우는 형식으로 시공하였다.

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 있다.

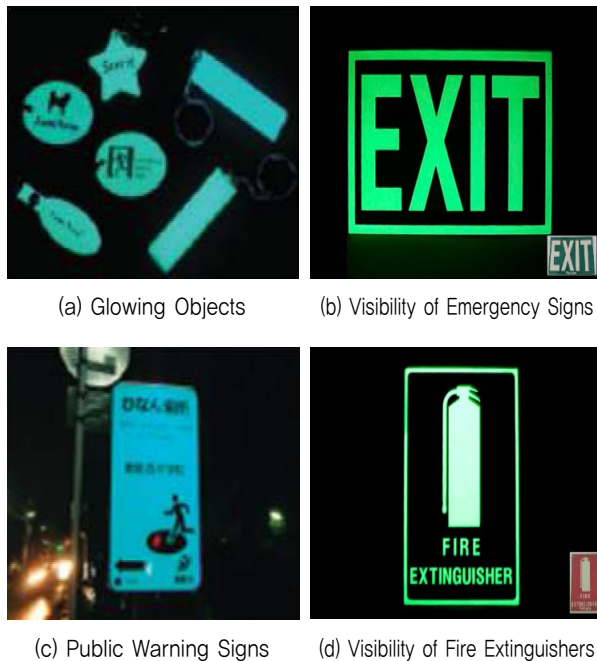


Fig. 3 Glow Case Study
(<http://dev.gazerglowvision.com.au/>)



Fig. 4 Netherland Oss N329

2.4. 시사점

국내의 문헌 고찰을 종합한 결과, 선행연구는 대부분 비드와 노면표시 형태에 따른 차선의 시인성을 향상시키는 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 하지만 대부분 재귀반사 방식에 의한 기술로 차량의 헤드라이트에 의해서만 시인성이 확보됨으로 한계가 있다.

국내외 사례 고찰 결과 국외에서는 야광을 노면표시에 적용하여 차선의 시인성 향상, 전력 저감 등의 다양한 효과를 얻고 있다. 하지만 국내에서는 일부 상품에 집중 개발되고 있고, 노면표시에 적용한 사례는 찾아보기 어렵다.

따라서 야간 주행안전성 향상 및 교통사고 저감을 위해 기존 재귀반사 방식에 의한 차선의 야간 시인성 한계를 극복하기 위한 방안으로, 어두운 곳에서 빛을 방출하는 야광 노면표시 기술의 국내 적용방안에 대한 검토가 필요하다.

3. 야간 교통사고 특성분석

3.1. 주야별 교통사고 분석

최근 교통사고 통계분석(도로교통공단, 2014)을 통해 조사된 야간 교통사고 발생건수는 전체 사고의 46.6%인 10만 285건으로 전체 교통사고의 절반에 약간 못 미치는 수준이다. 하지만 야간 교통사고 사망자수는 2,702명으로 주간 교통사고 사망자 2,390명보다 많고, 이에 야간 치사율은 주간 치사율 2.1명 보다 약 30% 높은 수준인 2.7명으로 나타나 야간 교통사고 심각도가 높은 것으로 나타났다(Fig. 5).

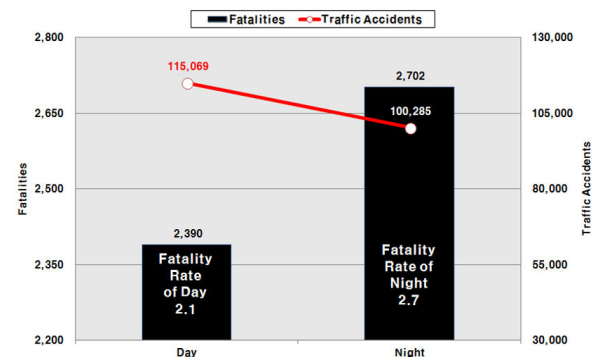


Fig. 5 Traffic Accidents, Fatalities, Fatality Rate by Day or Night

3.2. 사고유형별 주야별 교통사고 분석

사고유형별로 주간 및 야간 사망자수를 분석해보면, 차대차 교통사고 발생건수가 차대사람 발생건수에 비해 3배 이상 많음에도 불구하고 차대차와 차대사람 사망자수는 거의 비슷한 수준이다. 차대사람 사고는 야간 치사율이 5.0으로 주간 치사율 2.9에 비해 약 1.7배가 높으며, 이는 차대차 사고의 주·야간 치사율의 거의 4배 정도의 수준이다. 이는 차대차 사고 보다 차대사람 사고의 경

우 직접적인 충격이 크기 때문이며, 특히 야간에 차대사람 사고의 심각성이 훨씬 높은 것으로 나타났다(Fig. 6).

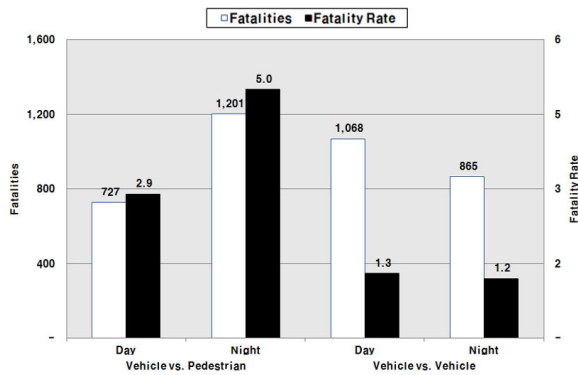


Fig. 6 Fatalities and Fatality Rate by Accident Type

3.3. 시간대별 보행 중 사망자 분석

시간대별 보행 중 사망자 구성비를 분석하면, 야간 교통사고 사망자 구성비가 주간 교통사고 사망자 구성비에 비해 높다. 이는 운전자의 시야가 차량의 전조등이 비추는 범위에 한정되어 있어 보행자 등의 발견이 늦어지기 때문이다. 사고발생 주 시간대는 일몰 직후인 18~20시 사이에 가장 많은 사망자가 발생하는 것을 알 수 있다. 일몰 직후인 18~20시 사망자 구성비는 16~18시 사망자 구성비 7%의 2.5배 수준인 18%로 급격한 증가를 보이고 있다. 이는 주간에서 야간으로 환경이 변화하는 시점으로, 보행량 변화에 따른 요인과 한국운수산업연구원(2011) 자료에 따르면 석양이 질 때나 겨울철처럼 갑자기 밤이 빨리 찾아올 때 눈이 적응을 못해 사고로 이어진다고 제시하고 있어 이에 대한 요인도 있을 것으로 판단된다. 보행 중 사망자 구성비가 18~20시 일몰 후부터 02~04시까지 지속적으로 감소하는 추세를 나타나고 있다(Fig. 7).

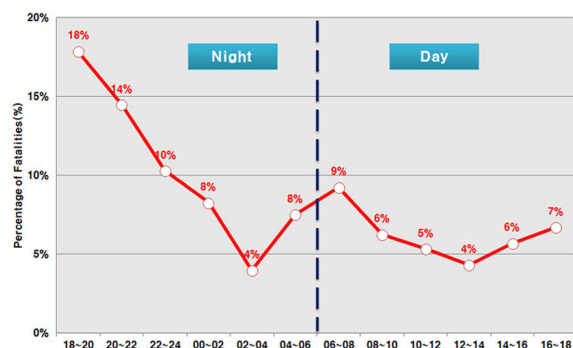


Fig. 7 Percentage of Fatalities by Time of Day

3.4. 도로선형별 주야별 교통사고 분석

도로선형별로 치사율을 분석하면, 커브·곡각도로 치사율은 6.8로서 전체 치사율 2.4와 직선도로 치사율 2.1보다 최대 3배 이상 높음을 알 수 있다. 커브·곡각도로는 야간 치사율이 8.0으로 주간 치사율 5.8에 비해 약 1.4배가 높으며, 이는 전체 야간 치사율 2.7과 직선도로 야간 치사율 2.4보다 상당히 높은 수준이다(Fig. 8).

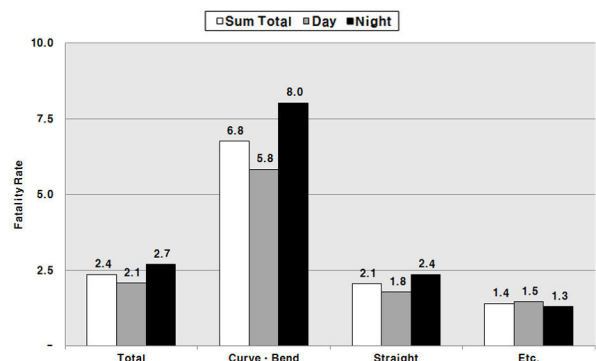


Fig. 8 Fatality Rate by Road Alignment and Time of Day

커브·곡각도로에서 야간 치사율을 분석하면, 오르막, 내리막, 평지에서 모두 직선도로 선형보다 2배 이상의 높은 수준으로 분석되었다. 특히, 오르막의 야간 치사율은 다른 선형의 치사율보다 가장 높게 나타났고, 직선도로에서도 오르막이 다른 선형에 비해 높은 수준으로 나타났다(Fig. 9).

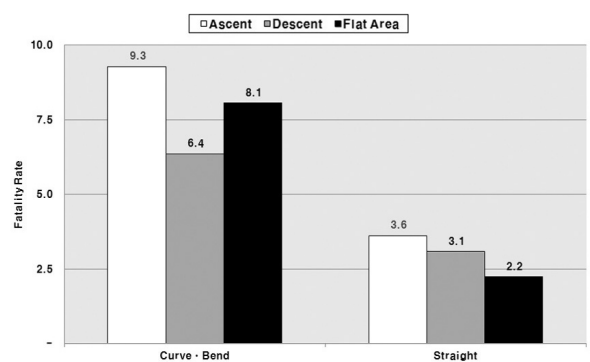


Fig. 9 Fatality Rate by Road Alignment at Night

3.5. 시사점

야간 교통사고 특성분석 결과 야간 교통사고는 치사율이 높아 더욱 위험하고, 사고유형별로는 보행자 교통사고가 높으며 이는 일몰 직후에 가장 높은 것으로 나타났다.

도로선형별로는 커브·곡각도로가 직선도로보다 야간 치사율이 높으며, 특히 커브·곡각도로의 오르막 구간에 대한 특별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

또한 굴곡이 심한 산지부 도로나 커브가 있는 회전구간에서도 재귀반사에 의한 시인거리는 극히 제한될 수밖에 없는데, 야광 노면표시를 적용할 경우 회전구간에 대한 시인성 확보가 가능하다.

4. 야광 노면표시 SWOT 분석

4.1. SWOT 분석 개요

본 연구에서는 강점과 약점, 기회와 위협요인으로 구분하여 내·외부 환경을 분석하고, 이를 바탕으로 전략적 계획을 수립하는데 있어 유용하다고 알려진 SWOT (Strength-Weakness-Opportunity-Threat) 분석을 사용하여 야광 노면표시 기술의 현황을 진단하고 이를 통해 가장 효과적인 국내 도로 적용 방안을 모색하고자 한다.

Table 2. SWOT Analysis Overview

Classification	Strength	Weakness
Opportunity	S-O Strategy	W-O Strategy
Threat	S-T Strategy	W-T Strategy

4.2. SWOT 요인 분석

4.2.1. SWOT 요인 분석

SWOT 요인은 현황 분석을 통해 야광 노면표시 기술의 강점과 약점 요소를 도출하고, 도로환경 분석을 통해 기회와 위협요소를 파악하였다.

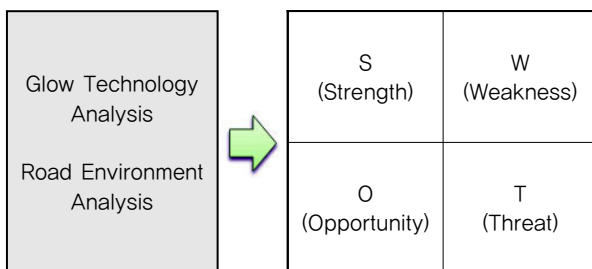


Fig. 10 SWOT Factor Analysis

4.2.2. 강점요인 분석

기존 차선의 야간 시인성 확보는 차량의 전조등에 의한 글라스비드의 재귀반사 방식을 통해 이루어져왔다. 보통 차량의 하향등은 40m 정도, 상향등은 100m 정도의 전방의 시야를 확보하게 되어 시인거리에 한계가 있지만 야광 노면표시 기술은 재귀반사 범위인 차량 전조등 범위 이외의 구간에 대한 시인성 향상이 가능하다.



Fig. 11 Visibility Limit of Retroreflective Method

또한, 야광 노면표시는 기존 가로등과 같은 조명시설이 설치되어 있지 않은 도로에 적용하여 야간 운전시 도로선형을 사전에 인지할 수 있도록 하여 주행안전성을 증진시킬 수 있다.

경제적인 측면에서는 야간 노면표시 기술은 일반페인트 보다는 비싸지만, 가로등 설치 및 운영비와 비교하면 훨씬 저렴한 수준으로 보고되고 있고, 도로 소비전력 저감에 따른 탄소거래제로 추가적인 이익 창출도 가능하다(서임기, 2014).

실제 조명시설인 가로등은 전국적으로 약 280만개(골목의 보안등 포함) 수준으로 한국전력공사의 자료에 따르면 전국 지자체가 가로등, 보안등의 전기요금으로 2011년 기준 2,742억 원(사용량 314만 5,400Mwh)을 사용하고 있고, 기존 가로등의 경우 잦은 고장, 전구 교체 등으로 유지보수비가 가로등은 연간 660억 원, 보안등은 500억 원 정도 1년 예산에 포함되어 있다고 한다(정장열, 2014). 이에 야광 노면표시 기술이 적용된다면 조명시설의 전력비와 유지보수비 저감 효과를 얻을 수 있는 강점이 있다.

야광 노면표시 기술의 현황분석을 통해 도출된 강점요인을 분석, 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3. Strength Factor

Factor	Analysis Contents
Glow Technology Analysis -Strength	<ul style="list-style-type: none"> - Improvement of nighttime visibility through replacing existing retroreflective method - Cost Reduction of the installation and operation of streetlights - CO₂ reduction through the power consumption reduction of the road

4.2.3. 약점요인 분석

야광 노면표시 기술의 약점요인을 분석해보면, 기존 노면표시에 적용하고 있는 도료의 가격은 kg당 3~4천 원 수준이지만, 현재 시중에 판매되는 야광도료의 가격은 약 10만 원/kg 수준으로 재료비 측면에서 상당한 차이가 있다.

하지만 원가의 차이로 발생하는 경제성 문제는 앞서 기술한 야광차선의 강점인 조명시설의 설치 및 운영비 저감과 전력량 감소에 따른 녹색에너지 창출을 포함해서 판단할 필요가 있다.

또한, 야광 노면표시 기술 적용시 야간 시인성 증진으로 인한 교통안전성 증가와 교통사고 개선효과를 고려한다면 경제성 문제는 극복이 가능할 것으로 판단된다.

둘째, 야광안료를 현재 노면표시에 적용하기 위해서는 일반차선 Paint 혼합에 따른 야광의 효과에 대한 고려가 필요하다. 일반적으로 야광안료는 일반차선 Paint와 혼합하여 사용할 수는 있으나, 야광안료에 일반차선 Paint의 혼입률이 증가할수록 휘도가 낮아진다. 즉, 야광안료의 함량이 높을수록 휘도가 높아진다. 이에 야광안료의 효과를 크게 얻을 수 있는 최적의 배합률 및 공법에 대한 검토가 필요하다.

야광 노면표시 기술의 현황분석을 통해 도출된 약점요인을 분석, 정리하면 Table 4와 같다.

Table 4. Weakness Factor

Factor	Analysis Contents
Glow Technology Analysis -Weakness	<ul style="list-style-type: none"> - High cost compared to existing line marking paint - Lack of economic analysis method in glow line marking technology - Reduction in brightness when mixed with general line marking paint

4.2.4. 기회요인 분석

도로환경 적용시 기회요인을 분석해보면, 최근 야간이나 우천시 차선의 시인성이 확보가 되지 않는다는 민원이 지속적으로 발생하고 있다. 이에 경찰청에서는 관계부처 및 지자체 등의 의견을 수렴하여 차선을 포함한 노면표시 반사성능 기준을 선진국 수준으로 상향 조정하는 내용을 담은 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」을 개정하였고, 서울시와 도로공사 등도 교통사고 예방과 야간 도로이용자의 불편을 해소하기 위해 시방기준을 강화하고 있는 상황이다.

또한, 국내 노년층 인구가 크게 증가하면서 65세 이상 고령자 인구는 11%(2010년 기준)에서 향후 2060년에는 40.1%로 전체 OECD 국가 중 최고 수준으로 고령 운전자가 증가할 것으로 예상되어 차선의 야간 시인성 향상은 교통안전 측면에서 매우 중요한 문제이다.

도로환경 분석을 통해 도출된 기회요인을 분석, 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Opportunity Factor

Factor	Analysis Contents
Road Environment Analysis -Opportunity	<ul style="list-style-type: none"> - Expansion of social recognition for the improvement of line marking visibility - Enforcement of government policy for reducing traffic accidents - Increase of visibility requirements of line marking due to aging population

4.2.5. 위협요인 분석

도로환경 적용시 위협요인을 분석해보면, 야광이란 어두운 곳에서 축광된 빛에너지를 발광하는 것으로 주변에 빛이 있을 때에는 야광의 기능을 발휘하지 못한다.

현재 일부 도시부 도로 구간에서는 조명시설과 돌출된 네온사인의 빛으로 인해서 도로가 밝아 야광 노면표시의 효과를 얻기가 어렵다. 하지만 교통량이 적은 대부분의 지방도로, 농촌도로 등은 가로등이 없거나 소등되어 있어 야광차선 적용시 시인성 개선 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 해외에서는 야광차선에 관한 다양한 연구가 진행 중에 있고 실제 도로에 적용한 사례가 있지만, 국내에서는 아직까지 야광을 도로에 적용한 사례가 부족한 실정이다. 그럼에도 불구하고 도로 이외의 분야에서는 국내에 다양하게 적용되어 야광을 통해 안전성 및 경제성의 효과를 얻고 있어, 이에 야광을 도로에 도입하기 위한 야광 노면표시의 효과 및 적용범위와 그에 따른 다양한 공법 개발이 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 야광 노면표시는 일몰 후부터 일출 전까지 차선을 식별할 수 있도록 성능을 유지해야 되지만 발광시간은 축광시간에 따라 변화한다. 즉, 우리나라의 경우 쾌청일은 평균 180일로 1년의 절반은 축광이 원활하지 않다. 이에 네덜란드에서는 전기모드로 전환하여 축광이 안될 경우를 대비하고 있다(서임기, 2014).

도로환경 분석을 통해 도출된 위협요인을 분석·정리하면 Table 6과 같다.

Table 6. Threat Factor

Factor	Analysis Contents
Road Environment Analysis -Threat	<ul style="list-style-type: none"> - Lowering the glow effect by the illumination of the surrounding roads - Lack of cases applying glow line marking technology - Limitation of the phosphorescent time

4.3. SWOT 전략 분석

본 장에서는 강점, 약점, 기회, 위협의 4가지 요인에 따른 전략적 시사점을 도출하여 SO전략, ST전략, WO 전략, WT전략을 수립하였다. 수립된 전략은 도출된 SWOT 요인 중 영향력이 클 것으로 판단되는 요인들을 중심으로 야광 노면표시 기술의 도로환경 적용방안을 Table 7에서 보는 바와 같이 제시하였다.

4.3.1. Strength-Opportunity 전략

강점요인을 이용하고 기회요인을 활용한 방안(SO)은 교통사고 저감을 위해 새로운 패러다임의 야광 노면표

시 기술개발을 활성화하는 전략이다. 최근 차선의 시인성 불량으로 인한 민원이 증가하고 있고, 고령화 사회로 진입함에 따라 차선시인성에 대한 요구가 증가하고 있다. 차선의 시인성은 교통사고와 직결되는 문제로 야간 차선의 시인성을 강화하려는 공공기관의 정책과 삶의 질 향상에 대한 요구를 적극 활용하여, 새로운 패러다임의 야광 노면표시 기술 개발의 활성화를 통해 기술개발을 선도할 필요가 있다. 이를 위해서 다음과 같은 세부 추진전략이 필요하다.

우선적으로 야광 노면표시의 경제적 가치에 대해서 평가하는 기법 개발이 필요하다. 야광 노면표시의 가장 큰 장점은 친환경 기술개발로 조명시설의 설치 및 운영비를 절감하고, 이에 따라 CO₂ 발생량을 저감할 수 있다는 것이다. 또한 올해부터 탄소거래제 시행으로 조명 시설 대신에 야광 노면표시 설치시 절감된 전력은 추가적인 수익으로 전환이 가능하다. 이에 기존 차선재료보다는 초기 비용이 비싸지만, 야광 노면표시 적용시 발생하는 직·간접적 편익에 대해서 분석할 수 있는 기법 개발을 통해 야광 노면표시 기술의 활성화를 위한 타당성을 확보할 필요가 있다.

Table 7. SWOT Matrix of Glow Line Marking Technology

Internal Environment	Strength	Weakness
	S1. Improvement of nighttime visibility through replacing existing retroreflective method S2. Cost Reduction of the installation and operation of streetlights S3. CO ₂ reduction through the power consumption reduction of the road	W1. High cost compared to existing line marking paint W2. Lack of economic analysis method in glow line marking technology W3. Reduction in brightness when mixed with general line marking paint
External Environment		
Opportunity	S-O Strategy	W-O Strategy
O1. Expansion of social recognition for the improvement of line marking visibility O2. Enforcement of government policy for reducing traffic accidents O3. Increase of visibility requirements of line marking due to aging population	• An activation strategy for the technological development of glow line markings for a new paradigm in reducing traffic accidents	• A benefit enhancement strategy applying glow line marking technology in places where nighttime traffic accidents frequently occur
Threat	S-T Strategy	W-T Strategy
T1. Lowering the glow effect by the illumination of the surrounding roads T2. Lack of cases applying glow line marking technology T3. Limitation of the phosphorescent time	• A strategy for the expansion of glow line marking by replacing streetlights	• A strategy for enhancing road applications through the development of various line marking methods in consideration of both performance and costs

또한 야광 노면표시 기술의 도로환경 도입을 위한 제반 기준정립이 필요하다. 야광 노면표시는 기존의 일반 차선의 재귀반사와는 다른 방식으로 시인성을 제공하고, 색상에서도 차이가 나타난다. 이에 야광 노면표시의 성능기준을 수립하고, 기술에 대한 검증 및 적용방안에 대한 제반사항을 확립하는 것이 필요하다.

4.3.2. Weakness-Opportunity 전략

약점요인을 보완하고 기회요인을 활용하는 방안(WO)은 교통사고 다발지역에 적용하여 편익을 강화하는 전략이다. 구체적으로 앞에서 서술한 야간 교통사고 특성 분석에서 치사율이 높은 사고유형은 보행자 교통사고로 야간에 보행자 사망자수가 많은 것으로 나타났다.

야간 차대사람 사고를 세부유형별로 분석하면, 횡단 중 발생건수가 전체 차대사람 교통사고의 37.8%인 9,104건으로 가장 많이 발생하였고 사망자 역시 전체 차대사람 사망자수의 48.0%인 576명으로 가장 많았다(Fig. 12).

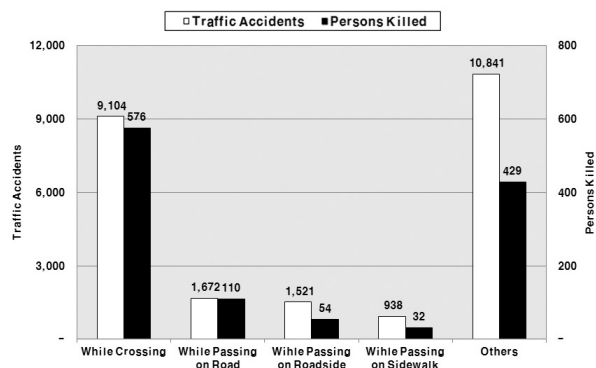


Fig. 12 Accident Type of Vehicle vs. Pedestrian at Night

횡단 중 사고유형은 주로 횡단보도 부근에서 발생하게 되는데, 이는 야간일 경우 어두운 주변 환경으로 인해 횡단보도와 보행자에 대한 운전자의 인지가 부족하고, 부족한 시야로 인해 안전한 정지거리를 확보하지 못하기 때문이다.

또한 도로선형별로는 커브·곡각도로의 야간 치사율이 높은 것으로 나타났다(Fig. 8). 이는 커브·곡간도로의 경우 야간에 재귀반사에 의한 시인거리가 극히 제한되기 때문으로, 특히 굴곡이 심한 산지부 도로나 IC 출구부의 커브가 있는 회전구간은 본선의 곡선반경과 연결로의 곡선반경에 따라 표지판의 인지가 어렵고, 시인거리도 제한되는 지점이다.

이에 우선적으로 야간 교통사고의 심각성이 큰 횡단보도와 커브·곡각도로에 적용하여 추후 확대 적용하는

전략이 필요할 것으로 판단된다.

4.3.3. Strength-Threat 전략

강점요인을 이용하고 위협요인을 극복하는 방안(ST)은 조명시설을 대체하는 기술로 야광 노면표시 적용을 확대하는 전략이다. 도로의 조명시설은 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제38조에 의하여 설치되는 도로의 부속시설로, 도로 교통의 안전성 증대를 통하여 주·야간의 도로 이용자가 안전하고 불안감 없이 통행하고 도로 이용 효율의 향상을 도모하는데 목적이 있다.

국토해양부 「도로안전시설 설치 및 관리 지침-조명시설 편」(2014.2)의 조명시설 설치장소에 대한 기준을 살펴보면, 연속 조명의 경우 고속도로 등 자동차 전용도로의 경우는 설치가 의무화되어 있으나 일반도로 등은 평균 일 교통량이 25,000대 미만인 경우는 의무설치 대상에서 제외된다.

이에 교통량이 적은 지방 및 농촌지역 도로는 의무 설치대상에서 제외되고, 지자체에서는 예산부족 등의 이유로 의무설치 대상이 아닌 구간에 대해서는 조명시설을 설치하지 않아 교통사고 증가의 원인이 되고 있다.

따라서 조명시설이 부족한 지방도 및 농촌도로 등에 적용하여 야광 노면표시를 통해 야간 시인성 향상으로 교통사고 감소는 물론 조명시설 대체를 통한 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.3.4. Weakness-Threat 전략

약점요인을 보완하고 위협요인을 극복하는 방안(WT)은 성능 및 경제성을 고려한 다양한 공법의 개발을 통해 도로 적용성을 강화하는 전략이다. 노면표시는 설치목적과 기능에 따라 재료 및 공법을 선택하여야 한다.

노면표시 공법은 재료와 시공방법의 차이에 따라 일반적으로 1~5종으로 구분되고, 그 외에 테이프식, 기능성 도로 등이 있다. 노면표시에 대한 요구성능이 증가됨에 따라 지속적인 연구개발로 노면표시의 종류도 점차 다양화 되고 있다.

야광차선은 기존의 재귀반사 방식이 아닌 자체적으로 빛을 발광하여 시인성을 확보하는 새로운 방식으로, 기존 차선과는 다른 야광의 성능 및 경제성이 고려된 다양한 공법 개발이 필요하다.

차선도색 전문가의 검토 및 자문을 통해 도출된 야광 노면표시 기술의 공법별 노면표시 요구성능 및 특징은 다음 Table 8에서 보는 바와 같다.

Table 8. Required Performance and Features of Line Marking Method

Method	Overview	Economic	Visibility	Durability	Constructability
Adhesive Paint	Method of mixing the glow pigment with the existing adhesive paint	Medium	Medium	High	High
Dot Type	Paint the glow line marking in dot format on an existing lane	Medium	Medium	Medium	Low
Tape	The glow coating on the line marking tape	Low	High	High	Medium
Joint	Fill in the glow pigment on joints	Low	High	High	Low

향후 실제 적용구간에 따라 종합적인 고려를 통하여 야광 노면표시 개발을 통해 도로 적용성을 강화하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

본 연구에서는 야간 교통사고 저감을 위해 야광 노면표시 기술의 도로환경 적용방안을 제시하였다. 이를 위하여 국내외 사례 검토 및 교통사고 통계를 분석하여 야간 교통사고 특성을 분석하였고, SWOT 분석을 통하여 야광 노면표시 기술의 현황진단을 바탕으로 다음과 같은 전략을 제시하였다.

1. 교통사고 저감을 위해 새로운 패러다임의 야광 노면표시 기술개발을 활성화하는 전략으로 야광 노면표시 기술의 경제적 가치에 대해서 평가하는 기법 개발이 필요하다. 또한 야광 노면표시 기술의 도로환경 도입을 위한 제반 기준 정립이 필요한 것으로 판단된다.
2. 야간 교통사고 다발지역에 적용하여 편익을 강화하는 전략으로 야간 교통사고 다발구간인 횡단보도와 커브·곡각도로에의 우선 도입을 제시하였다.
3. 조명시설을 대체하는 기술로 야광 노면표시 적용을 확대하는 전략으로 조명시설이 부족한 지방도 및 농촌도로의 적용을 제시하였다.
4. 성능 및 경제성을 고려한 다양한 공법 개발을 통해

도로 적용성을 강화하는 전략으로 융착식, dot 형식, 테이프, 줄눈 공법을 제시하였고 이에 대한 요구성능 및 특징을 제시하였다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구는 야광 노면표시 기술의 적용방안에 대한 연구이다. 향후 야광 노면표시 활성화를 위한 연구과제로 SWOT 분석을 통해 도출된 적용방안인 야광 노면표시 재료 및 시공기술 개발을 통한 공법 개발과 경제성 분석 기법, 야광 노면표시 제반 기준 연구 등이 심도 있게 수행될 필요가 있고, 실제 시험시공을 통한 장기적인 모니터링으로 성능과 경제성을 평가하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(14CTP-C078004-01#)에 의해 수행되었습니다.

BIBLIOGRAPHY

- Donnell E.T., Karwa V., and Sathyanarayanan S.(2009), "Analysis of Effects of Pavement Marking Retroreflectivity on Traffic Crash Frequency on Highways in North Carolina", Transportation Research Record(2103), pp. 55-60
- Gibbons R.B., and Hankey J.(2007), "Wet Night Visibility of Pavement Markings : Dynamic Experiment", Transportation Research Record(2015), pp. 73-80
- Jung, "I'll change the whole country streetlights such as LED" prominent lawyer ideas, chosun newspaper, 2014.07.23
- Korea Research Institute of Transportation Industries(2011), Expert of safety Driving
- Lee, Seungkyu, Lee, Seunghyun, Choi, Keechoo(2012), "Optimal Mixtures of Roadway Pavement Marking Beads Under Various Weather Conditions", Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol 14, No. 3, pp. 131~140
- Road Traffic Authority(2013), "Compare Traffic Accident in OECD Countries", p.10~11
- Road Traffic Authority(2014), "2014 Traffic Accident Statistical Analysis(2013 Statistics)"
- Seo(2014), "Development and Implication of Netherland Glow Road Information System", Road Policy Brief NO. 85, pp. 8-9
- Smadi O., Souleyrette R.R., Ormand D.J., and Hawkins N.(2008), "Pavement Marking Retroreflectivity : Analysis of Safety Effectiveness", Transportation Research Record(2056), pp. 17-24
- University of Seoul(2011), "Development and Application of High Persistence Phosphorescent Material"
- <http://dev.gazerglowvision.com.au/>