일반국도의 도로차선 반사성능 개선방안

Improvement of the Road Markings Performance on National Highway

유 인 균
(한국건설기술연구원 도로시설연구실 책임연구원)

김 제 원
(한국건설기술연구원 도로시설연구실 연구원)

이 수 형
(한국건설기술연구원 도로시설연구실 연구원)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법
Ⅱ. 국내·외 반사성능 규격의 비교
1. 국내기준
2. 국외기준
3. 도로차선 반사성능 기준 비교
Ⅲ. 현장조사 결과분석 및 개선방안
1. 현장조사
2. 현장조사 결과분석
3. 야간·우천시 시인성 향상 방안
Ⅳ. 결론
참고문헌

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라에서는 매년 도로 교통사고로 인해 약 15조원에 달하는 사회·경제적 손실이 발생하고 있다. 우리나라에서는 이러한 교통사고의 발생 원인을 크게 인적요인, 차량요인, 도로 기하구조요인으로 구분하여 이 원인에 대한 대응책 마련을 통해 교통사고의 감소에 주력하고 있으므로 상대적으로 도로차선의 중요성이 간과되고 있는 상황이다.

도로차선은 차량 운전자의 안전한 도로주행과 원활한 교통소통을 도모하면서 도로의 선형을 유도하는 중요한 시설이지만 대부분의 차량 운전자와 관리자들은 당연히 도로노면에 설치되어 있는 시설로만 인식하고 있어 그 중요성이 낮게 평가되고 있다. 그러나 주간에는 그렇게 문제가 되지 않는다 하더라도 야간의 경우, 특히 야간·우천시에 차선이 잘 보이지 않는다면 차선 본래의 기능을 수행하지 못하여 교통사고의 발생위험이 높아지게 된다.

현재 우리나라 일반국도에 설치된 도로차선의 경우에는 설치된 도로차선 반사성능이 어느 정도 현재 기준을 만족하고 있는지, 현재 기준이 차량 운전자의 시인성을 확보하기에 적합한 기준인지, 야간·우천시에도 적절한 반사성능을 나타내는지 등의 전반적인 현황 파악이 전무한 상태로 도로차선과 관련된 유지관리 및 의사결정에 어려움이 많은 상황이다.

따라서 본 논문에서는 도로안전측면에서 도로차선에 대한 문헌조사와 국내 일반국도에 설치된 도로차선 반사성능의 전반적인 현황 조사를 통해 국내 도로차선 반사성능 규격의 적정성 여부를 파악하고 야간·우천시 시인성 향상 방법을 제시하는 등 도로차선 반사성능의 개선방안을 모색하고자한다.

2. 연구범위 및 방법

도로차선 반사성능은 도로 이용자의 안전을 위해 주·야간은 물론 야간·우천시에도 적정

한 반사성능을 유지하여야 한다. 본 논문에서는 국내 도로차선 반사성능의 문제점을 파악하여 개선방안을 모색하고자 다음과 같은 연구를 수행한다.

첫째, 국내 도로차선 반사성능 규격의 적정성을 검토하기 위해 경찰청, 한국도로공사의 반사성능 규격과 미국, 영국, 일본의 반사성능 규격을 비교한다. 국내 일반국도 전체를 대상으로 색상, 차로, 선형 등을 고려하여 동일한 시기에 전국적인 반사성능 현황을 조사한 후 조사결과의 분석을 통해 전체 현황을 파악하여 국내 반사성능 규격의 적정성을 검토한다.

둘째, 야간·우천시 도로차선의 시인성을 증대시키기 위해 국내·외에서 야간·우천시 시인성을 향상시킬 수 있는 새로운 공법과 재료 및 적용사례 등을 파악하고 야간·우천시 시인성 향상 방안에 대한 적용효과, 국내 시공기술 수준, 공사비용 등을 고려하여 국내에 적용 가능한 대안을 제안한다.

II. 국내·외 반사성능 규격의 비교

1. 국내 기준

도로차선의 시인성과 관련한 기준치는 차량의 전조등에 반사되는 입사면의 재귀반사 명시도를 주로 사용한다. 입사각과 관찰각은 통상 거리 30m에서 자동차의 전조등 높이 65cm, 운전자 눈의 높이 1.2m를 표준으로 할 때 입사각은 88.76°, 관찰각은 1.05°이다.

경찰청과 한국도로공사에서는 <표 1>, <표 2>와 같이 일반국도와 고속도로에서의 도로차선 반사성능 기준을 규정하고 있다.

<표 1> 일반국도의 노면표시 반사성능

단위 : mcd/㎡·Lux

입사각	관찰각	구분	반사성능	
			백색	황색
88.76°	1.05°	설치시	130	90
		재도색 시기	80	50

<표 2> 고속도로의 노면표시 반사성능

단위 : mcd/㎡·Lux

입사각	관찰각	구분	반사성능	
			백색	황색
88.76°	1.05°	설치시	161	117
		재도색 시기	117	90

2. 국외 기준

1) 미국

미국에서는 1993년부터 별도의 예산을 들여 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)에 차선과 표지판의 최소반사도 기준을 첨부하려는 연구를 진행하였으며, 2000년에 표지판의 반사성능 기준을 정립하였고 차선의 성능을 장기간 추적 조사하는 연구를 통해 최소 반사도 기준을 설정해 나가고 있다.

초기 반사성능 기준값은 ASTM D 6359에 제시되어 있으나 최소 반사성능에 대한 국가표준은 현재 준비 중이므로 각 주에서는 자체적으로 나름대로의 기준을 마련하여 시행하고 있다. ASTM D 6359에 제시된 초기 차선 반사성능 기준값은 백색차선의 경우 250mcd/㎡·Lux, 황색차선의 경우 175mcd/㎡·Lux이다.

2) 영국

영국에서는 CEN에서 정하는 표준규격을 따르고 있으며, 도로차선 설치시 반사성능값을 규정하고 있다기보다는 도로차선의 공용수명 동안 적용되는 최소 반사성능 기준만을 제시하고 있다. 주광상태에서의 반사성능과 야간 자동차 전조등에 의한 반사성능을 따로 등급을 매겨 구분하여 그 기준을 제시하고 있으며, 각 등급에 따른 기준값 모두를 통틀어 최소 기준값은 백색차선의 경우 100mcd/㎡·Lux, 황색차선의 경우 80mcd/㎡·Lux이다. 노면이 습윤상태 일 때의 반사성능 기준과 우천시의 반사성능 기준 등을 추가로 규정하고 있다.

3) 일본

일본에서는 일반적인 정기점검을 시행하여 도로차선의 겉모양, 박리, 야간시인성 각각에 대한 평가를 통해(각 항목에 대한 평가점수는

1~5점으로 구분) 종합평가를 실시하여 평가점수가 3이상이 되도록 유지한다.

종합평가 = 0.30A + 0.30D + 0.40N

여기서, A : 노면표시의 겉모양 정도

B : 노면표시의 박리 정도

C : 노면표시의 야간시인성

3. 도로차선 반사성능 기준 비교

도로차선 반사성능 기준은 설치시나 재도색 시기를 막론하고 앞에서 언급한 바와 같이 국가별로 그 기준이 상이하다. 이것은 세계적으로 운전자에게 적합한 반사성능 기준을 정립하는 것이 그만큼 어려운 작업이라는 것을 반증하는 것일 수도 있다.

<표 3>과 <표 4>는 현재 국내 일반국도에서 사용하는 반사성능 기준과 외국의 기준을 비교한 것이다.

<표 3> 설치시 반사성능 기준 비교

단위 : mcd/㎡ · Lux

구분	경찰청	ASTM D 6359	Florida	Missouri	일본
백색	130	250	250	300	3 이상
황색	90	175	175	225	

<표 4> 재도색시 반사성능 기준 비교

단위 : mcd/㎡ · Lux

구분	경찰청	Utah	Florida	영국	일본
백색	80	125	125	100	3 이상
황색	50	125	125	80	

위의 표에서 나타난 바와 같이 국내 일반국도의 설치시와 재도색시기의 도로차선 반사성능 기준은 외국의 기준에 비해 낮은 경향을 보이고있다.

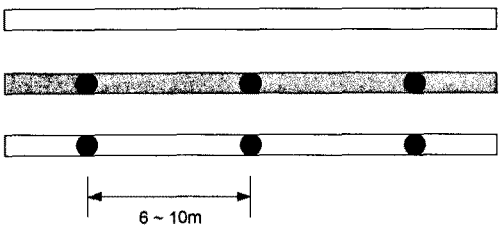
III. 현장조사 결과분석 및 개선방안

1. 현장조사

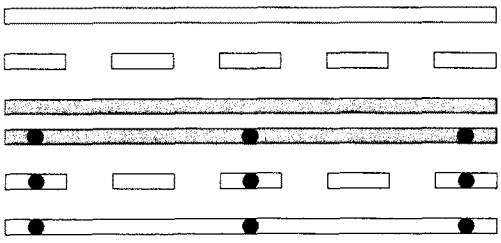
국내 일반국도 도로차선 반사성능 규격의 적정성을 검토하기 위해 일반국도 전체를 대상으로 30m 반사성능 휘도측정기를 사용하여 백색차선과 황색차선의 반사성능을 조사하였다.

도로차선과 관련된 기존의 연구에서는 일반국도 전 지역에 대해 반사성능을 조사한 사례는 없었고 필요에 의해 부분적인 지역에서만 반사성능 조사가 이루어졌으므로 현재 우리나라 일반국도의 반사성능이 어느 정도의 수준이고, 적용하고 있는 기준을 어느 정도 만족하고 있는지 등의 전반적인 현황파악과 평가가 어려운 상황이다. 따라서 국내 일반국도 반사성능의 전반적인 현황파악 및 평가를 통한 국내 차선 규격의 적정성을 판단하기 위해 조사구간대상을 전 지역에 걸쳐 랜덤하게 분포시켰다.

조사는 기본적으로 백색차선과 황색차선으로 구분하여 각각에 대해 2차로 구간과 4차로이상 구간으로 분리하였고, 2차로 구간과 4차로이상 구간에 대해 직선부 및 곡선부 구간으로 다시 분리하여 모든 형태의 일반국도에 대한 반사성능 조사가 가능하도록 고려하였다. 조사인원과 조사장비 개수를 고려하여 조사지점을 586구간 4146개 지점으로 선정하였으며, 조사자의 안전을 고려하여 직선부와 곡선부를 7:3의 비율로 조사하였다.



<그림 1> 2차로 구간 조사지점



<그림 2> 4차로이상 구간 조사지점

2차로 구간의 경우 황색차선(중앙선)과 백색차선을 한 구간당 각각 3개 지점 이상을 측정

하였고, 4차로이상 구간의 경우 황색차선(중앙선), 백색점선, 백색실선을 한 구간당 각각 3개 지점 이상을 측정하였다. <그림 1>과 <그림 2>는 조사지점의 위치를 나타낸다.

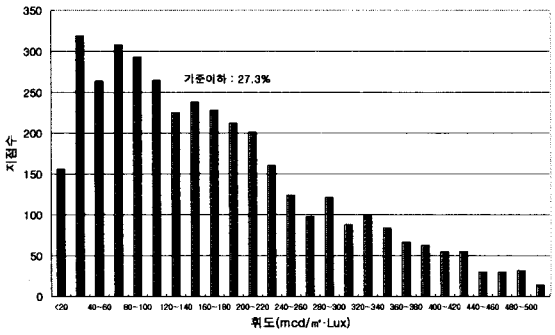
2. 현장조사 결과분석

현행 반사성능 기준값과 전국적인 도로차선 반사성능의 조사결과를 비교하여 국내 일반국도의 반사성능 현황을 분석하고 도로차선의 평균수명 분석을 실시하여 국내 일반국도 반사성능 규격의 적정성을 검토하였다.

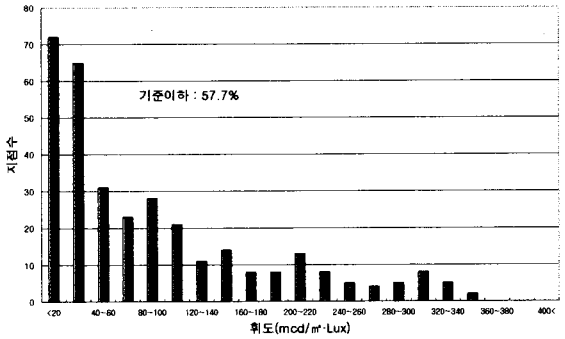
전체 조사결과, 황색차선의 경우 2차로구간이 4차로이상구간보다, 백색차선의 경우 4차로이상구간이 2차로구간보다 반사성능값이 상대적으로 더 낮게 나타났다. 따라서 본 논문에서는 취약구간으로 예상되는 2차로구간에서는 황색차선을, 4차로이상구간에서는 백색차선을 대상으로 분석을 실시하였다.

1) 현행 반사성능 기준과의 비교

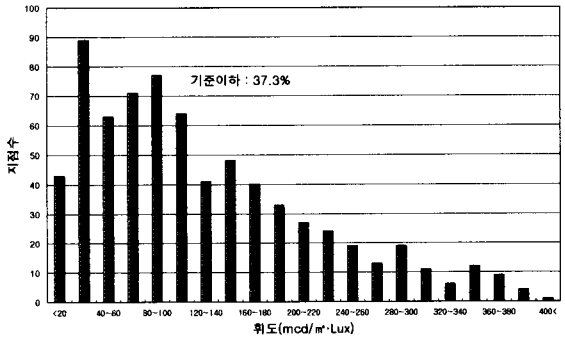
국내 일반국도의 반사성능은 전체 조사구간 중 약 25%만이 현재 기준보다 낮은 값을 나타내었다. 황색차선과 백색차선 모두 곡선구간이 직선구간에 비해 낮게 나타났으며 황색차선의 경우 2차로 곡선구간과 백색차선의 경우 4차로 이상 곡선구간의 40% 이상이 기준이하의 값을 나타내었다. <그림 3>~<그림 7>은 현행 반사성능을 기준으로 한 조사결과를 나타낸다.



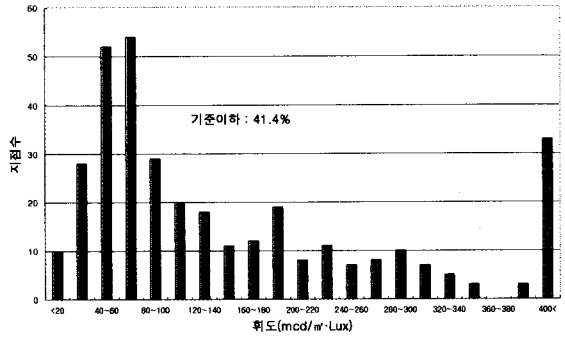
<그림 3> 조사자료 전체



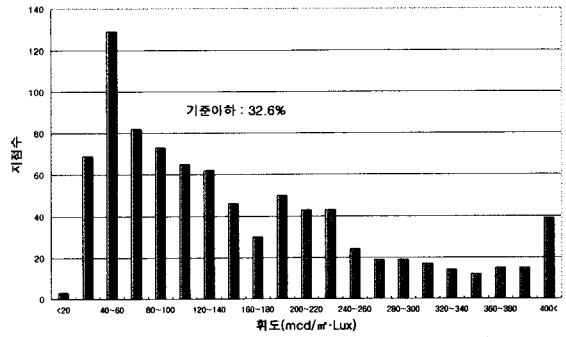
<그림 4> 2차로 황색 곡선차선



<그림 5> 2차로 황색 직선차선



<그림 6> 4차로 백색 곡선차선



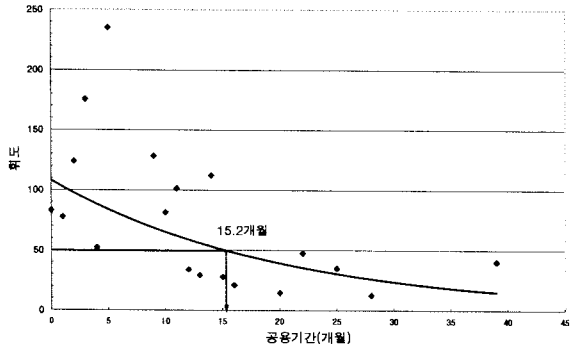
<그림 7> 4차로 백색 직선차선

위의 조사결과는 공용기간이 고려되지 않은 전체적인 경향이지만 조사지점 중 75% 정도가 기준을 만족하고 있으므로 일반국도에 사용되

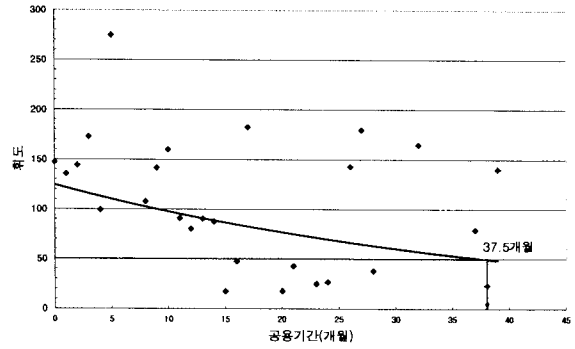
는 차선도색 재료 및 시공기술은 현행 기준을 충분히 만족시킬 수 있는 수준에 도달해 있다고 판단된다. 또한 백색차선과 황색차선 모두 곡선부가 직선부보다 상대적으로 기준을 만족시키지 못하는 비율이 높은 이유는 차량의 곡선부 주행 시 운행궤적의 변화로 인해 직선부보다 차량의 타이어에 의한 마모작용을 더 많이 받기 때문으로 판단된다.

2) 도로차선의 평균수명 분석

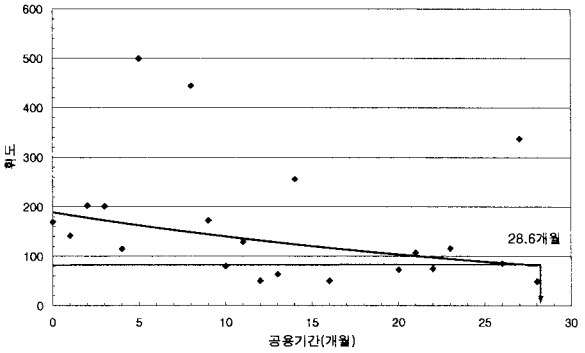
현행 기준으로(백색 : 80mcd/㎡·Lux, 황색 : 50mcd/㎡·Lux) 상대적으로 반사성능이 낮게 나타나는 2차로 황색차선과 4차로이상 백색차선의 평균수명을 구하였다. 조사된 데이터의 분산이 심해서 평균값을 이용하여 평균수명을 예측하였다. 2차로 황색차선의 경우 곡선부분은 15.2개월로 직선부분에 비해 수명이 짧게 나타났으나, 4차로이상 백색차선의 경우 직선부분이 25.1개월로 곡선부분에 비해 길게 나타났다. <그림 8>~<그림 11>은 현행 반사성능을 기준으로 한 평균수명 예측결과이다.



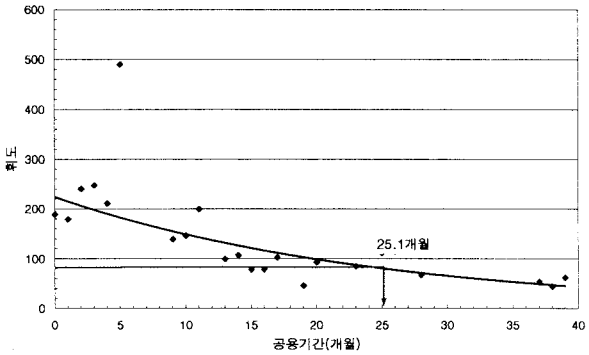
<그림 8> 2차로 황색 곡선차선의 수명



<그림 9> 2차로 황색 직선차선의 수명



<그림 10> 4차로 백색 곡선차선의 수명



<그림 11> 4차로 백색 직선차선의 수명

평균수명은 앞의 반사성능 조사결과와는 다르게 4차로이상 백색차선의 경우 직선구간이 곡선구간에 비해 짧게 나타났다. 이는 직선부와 곡선부 조사비율과 백색차선의 경우 차로변경이 가능한 점선차선의 영향을 구분하지 않고 동시에 분석하였기 때문으로 판단된다. 실제로 4차로이상 곡선부분 백색 점선차선의 평균수명은 17.3개월로 나타났다. 차선의 반사성능 관리 입장에서 보면 평균수명이 가장 짧게 나타나는 취약한 구간의 관리에 주의를 기울여야한다. 이 구간에는 지역적 특성을 고려하여 도색주기를 짧게 하거나 표지병과 같이 반사성능을 장기간 확보할 수 있는 도로부속시설의 추가설치 여부를 검토하는 등의 적극적인 관리가 필요하다.

일반국도의 경우 12개월에 한번 재도색을 실시하고 있는데, 평균수명의 최소값은 15.2개월로 12개월보다 크게 나타난다. 따라서 반사성능 조사결과와 평균수명 예측결과를 종합해보면 현재 재도색 기준은 다소 낮게 설정되어 있는 것으로 판단된다. 운전자의 입장에서 차선을 보다 명확하게 식별할 수 있도록 반사성능의 상

향조정을 고려할 필요가 있다.

3. 야간·우천시 시인성 향상 방안

도로차선의 반사성능에 대한 규정은 야간의 반사성능을 기준으로 하고 있다. 주간에는 사용되는 도료만으로 차선을 식별할 수 있지만 야간에는 도료만으로는 도로차선을 식별할 수가 없으므로 도료에 유리알을 첨가하여 이 유리알을 통해 반사되는 빛으로 도로차선을 식별할 수 있게 된다. 그러나 야간·우천시에는 노면을 통해 빗물이 흐르게 되고 이 빗물은 유리알 표면에 수막을 형성하므로 자동차에서 비쳐지는 빛이 난반사되어 도로차선을 식별하기가 어려워진다. 이 현상은 도로이용자의 안전에 중대한 영향을 미치는 부분임에도 불구하고 아직까지 이와 관련된 규정은 마련되어 있지 않은 상황이다. 따라서 본 연구에서 국내에 적용 가능한 야간·우천시 도로차선의 시인성 향상 방안에 대해 제시한다.

1) 배수성포장 적용 확대

배수성포장은 20%정도의 공극을 갖는 아스팔트포장으로 우천시 공극을 통해 빗물을 신속히 배수시키는 포장공법이다. 배수기능으로 인한 빗길 미끄럼 저항성 개선, 수막현상 감소, 물보라 현상 감소, 야간 시인성 향상 등의 기능 외에도 혼합물 속의 공극으로 인한 자동차 소음의 저감기능도 확인되어 저소음포장으로도 적용되고 있다.

노면이 젖은 상태에서 야간에 운전할 경우, 전조등, 가로등 그리고 도시에서의 네온사인 등으로 인한 난반사와 눈부심 현상이 발생하여 차선이 보이지 않아 안전운전에 상당한 어려움을 겪게 된다. 그러나 배수성포장에서는 노면에 수막이 없기 때문에 차선을 명확히 확인할 수 있으며 특히 시내구간에서 운전의 시인성을 크게 개선시켜 준다.

2) 돌출형 도로차선의 사용

돌출형 도로차선은 도로차선 위에 일정한 간격으로 돌출부를 형성하도록 만든 도로차선을 말한다. 돌출형 도로차선은 우천시에도 돌출부가 수면 위로 나오기 때문에 돌출된 부분이 자동차의 빛을 반사하여 도로차선을 식별할 수 있다. 돌출형 도로차선은 야간 우천시에도 시인성을 확보할 수 있으며 차량의 돌출부분 통과시 진동과 경고음을 발생시켜 운전자에게 차선 이탈의 경고를 감지하게 하여 사고를 미연에 방지 할 수 있는 부가적인 기능도 가지고 있다.

3) 대구경 유리알 사용

야간 우천시 차선 식별이 어려운 원인은 차선 위에 있는 물이 유리알 표면에 수막을 형성하여 자동차의 빛이 재귀반사 되지 못하고 난반사하기 때문이다. 이러한 점에 착안하여 고안된 방법이 대구경 유리알의 사용이다. 대구경 유리알은 기존 유리알 보다 약 1.5~2배 정도 크고 반사성능도 일반적인 유리알 보다 우수하다. 최근에는 여러 개의 소구경 유리알을 하나로 뭉쳐서 대구경 형태로 제작된 유리알 등이 개발되어 그 효과를 인정받고 있으나 강우량이 많을 때에는 그 효과를 기대하기 어렵다.

4) 표지병 사용 확대

표지병은 국내에서 야간 및 우천시에 시인성 저하에 따른 기능을 보완할 목적으로 사용되는 방법 중 가장 보편적이고 효과적인 방법 중의 하나이다. 표지병은 일반적인 도로차선에 비해 상대적으로 고가이므로 초기비용이 높고 자동차의 통행이 많은 곳에서는 타이어의 파손, 표지병 탈리로 인한 사고 등의 위험이 있으므로 표지병을 설치하는데 있어 신중히 검토하여 설치하여야 한다.

Ⅳ. 결론

도로차선은 도로교통의 안전을 확보하여 원활한 통행을 돕기 위한 중요한 시설로 설치 후에도 그 기능을 발휘할 수 있도록 유지하여야 하며 야간·우천시와 같은 악천후 상황에서도 적정한 반사성능을 유지하여야 한다. 그러나 야간·우천시에 그 기능이 현저히 저하되어 교통사고 발생 위험이 높으며 이에 대한 대책을 필요로 한다.

본 논문은 국내·외 노면표시의 반사성능 규격 등 노면표시에 대한 문헌조사와 국내 일반국도 전체를 대상으로 반사성능 현장조사 및 분석을 실시하여 국내 노면표시 규격의 적정성을 검토하였고 야간·우천시 시인성 향상 방안

을 제시하는 등 도로차선 반사성능에 관련된 문제점을 파악하여 개선방안을 모색하였다.

국내·외 노면표시 규격을 비교·검토한 결과 국내 도로차선 반사성능 기준은 외국의 기준에 비해 낮게 나타났다. 일반국도의 기준은 다른 국가에 비해 설치시 약 30~250mcd/㎡·Lux, 재도색시 약 30~70mcd/㎡·Lux정도 낮게 나타났다.

도로차선 반사성능의 현장조사결과, 일반국도 차선의 약 25%가 현재 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 황색차선과 백색차선 모두 곡선구간이 직선구간에 비해 낮게 나타났으며 황색차선의 경우 2차로 곡선구간과 백색차선의 경우 4차로이상 곡선구간의 40% 이상이 기준이하의 값을 나타내었다. 평균수명 분석결과, 2차로 황색차선의 경우 곡선부분은 15.2개월로 직선부분에 비해 수명이 짧게 나타났으며 4차로이상 백색차선의 경우 직선부분이 25.1개월로 곡선부분에 비해 길게 나타났다. 따라서 일반국도의 재도색주기와 도로차선 현장조사결과 및 평균수명 예측결과를 종합해보면 현재 국내 일반국도의 반사성능 기준은 다소 낮게 설정되어 있는 것으로 판단되므로 점진적인 상향조정이 필요하다.

야간 우천시 도로차선의 시인성 향상 방안으로 약 20%의 공극으로 우천시 노면의 물을 즉시 배수시켜 시인성을 개선시킬 수 있는 배수성포장을 위험구간 위주로 점차 확대 적용할 것과 우천시 돌출 부분 사이로 물을 배수시켜 시인성 확보가 가능한 돌출형 노면표시의 적용, 반사성능이 뛰어난 대구경 유리알을 적용하는 방안 등을 제안하였다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002), 도로안전시설 설치 및 관리지침 통합편
2. 경찰청(2005), "교통노면표시 설치·관리 매뉴얼"
3. 도로교통안전관리공단(2003), "교통안전시설 수명결정을 위한 연구(-노면표시중심-)"
4. 도로교통안전협회(1997), "노면표시 야간시인성 실험 연구(-반사성능 중심으로-)"
5. 한국도로공사 도로교통기술원(2003), "고속도로 차선반사도 관리기준 설정(Ⅱ)", 2003년도 연구보고서
6. 社團法人 全國道路標識·標示業協會, "改訂 路面標示 ハンドブック"
7. 西日本高速道路株式會社(2005), "レーンマーク施工管理要領"
8. ASTM D 6359, "Standard Specification for Minimum Retroreflectance of Newly Applied Pavement Marking Using Portable Hand-Operated Instruments"
9. ASTM E 2176, " Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings in a Standard Condition of Continuous Wetting"
10. ASTM E 2177, "Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (RL) of Pavement Markings in a Standard Condition of Wetness"
11. Bob Carnaby(2000), "The Performance of Glass Beads in Road Markings", The New Zealand Land Transport Symposium 2000
12. BS EN 1436, "Road marking materials - Road marking performance for road users"
13. Florida, "Traffic Stripes and Markings - Performance Based."
14. Missouri, "Pavement Marking"
15. North Carolina, "Pavement Markings, Markers and Delineation"
16. Saskatchewan, "Traffic Marking Paint - Luminous Reflectorance", Standard Test Procedures Manual
17. Texas, "Pavement Marking Handbook"
18. Utah, " Pavement Marking Materials-Warranty Specification)"