

감 사 원 통 보

제 목 차선 재귀반사성능 유지관리 부적정

소 관 기 관 인천광역시

조 치 기 관 인천광역시

내 용

1) 업무 개요

서울특별시 등 11개 지자체는 민간투자법 제45조 등에 따라 민자도시도로의 사업시행자(이하 “민자사업자”라 한다)가 민자도시도로 차선의 재귀반사성능을 유지관리하는 데 대해 지도·감독하고 있다.

차선은 「도로교통법」 제4조 제1항 및 같은 법 시행규칙 제8조 제1항 제5호에 따른 교통안전시설¹⁾인 노면표시 중 가장 기본이 되는 시설로서 도로교통의 안전을 위해 각종 주의·규제·지시 등의 내용을 선으로 도로 이용자에게 알려주는 중요한 기능을 하고 있다.

2) 관계법령 및 판단기준

가) 재귀반사성능이 필요한 차선 도색의 설치재료

차선의 시인성(視認性)은 야간 및 우천 시에도 차량 전조등 불빛이 반사되어 운전자가 식별할 수 있도록 하는 차선의 재귀반사(再歸反射, Retro-reflection)성능

1) 교통안전시설은 도로교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위한 신호기, 신호등, 안전표지로 구성되고, 안전표지는 삼각형·원형 등의 표지판(속도제한, 위험, 직진·우회전 등)과 노면표시로 나뉜다.

으로 측정하는데 차선의 재귀반사성능²⁾이란 [그림 19]와 같이 자동차 전조등으로부터 조사(照射)된 빛이 도로 표지 도료용 유리알에 입사되어 유리알 내부에서 굴절(반사광선)된 뒤 다시 광원으로 돌아가는 양의 정도로 측정한다.

[그림 19] 차선의 재귀반사성능



자료: 2019년 도로 노면표시 상태 조사 및 분석 연구용역 결과(서울특별시, 2020년 5월) 재구성

재귀반사성능이 필요한 차선은 [표 34]와 같이 노면 표지용 도료(2, 4, 5종을 적용)에 재귀반사성능을 갖는 도로 표지 도료용 유리알³⁾(건조 상태에서는 굴절률 별로 1~4호, 물잠김 상태에서는 재귀반사성능에 따라 물잠김 상태 1호 및 물잠김 상태 2호로 구분)⁴⁾을 살포하여 시공⁵⁾한다.

2) $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$ 의 단위를 사용하는데, $\text{lx}(\text{lux}, \text{럭스})$ 는 빛이 균등하게 입사했을 때의 조명도이고 $\text{cd}(\text{candela}, \text{칸델라})$ 는 광원의 밝기를 나타내는 광도(크기에 따라 milli 를 붙여 mcd 로 사용)이며 단위면적당 빛이 입사(lx)하여 방출되는 밝기를 나타냄

3) 유리알은 유리 조각을 분쇄한 후 가열하여 제조(굴절률 1.5 정도)하거나 액체 형태로 녹인 유리를 분무하는 등으로 제조함

4) 노면표시 방법에는 도료 이외에 반사테이프 또는 노면표지병(도로부속물로서 도로상에 설치된 노면표시의 선형을 보완하여 야간 또는 우천 시에 운전자의 시선을 명확히 유도함으로써 교통안전 및 원활한 소통을 도모하기 위하여 도로 표면에 설치하는 시설물)을 사용하는 경우도 있음

5) 차선 도색 장비에 따라 기계식은 유리알을 압입하고, 수동식은 유리알을 낙하시켜 살포함

[표 34] 차선 도색 설치재료

| 구분 | 노면 표지용 도료 | 도로 표지 도료용 유리알 | |
|----|--|---|---|
| 기능 | 아크릴 수지 등을 용제에 용해하거나 분말 형태의 재료로서 유리알을 부착하는 기능이 있음 | 차선 위에 50~60% 묻힌 상태로 설치되어 자동차 전조등에서 조사되는 빛을 재귀반사하는 기능이 있음[입도(size): 106 μ m~1.7mm] | |
| 종류 | <ul style="list-style-type: none"> ■2종(수용성): 아크릴 수지 등을 물에 용해한 수성 페인트. 양생시간이 길고 공사비 저렴 ■4종(융착식): 분말 형태의 아크릴 수지(Thermoplastic)를 열(200℃)로 가열하여 도막 형성. 양생시간이 짧음 ■5종(상온 경화형): 분말 형태의 아크릴 수지(Cold plastic)를 열(200℃)로 가열하여 도막 형성. 양생시간이 짧고 내구성이 좋음 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 일반(건조 상태로 시험) <ul style="list-style-type: none"> - 1호: 굴절률 1.50~1.64 - 2호: 굴절률 1.64~1.80 - 3호: 굴절률 1.80 이상, 재귀반사성능 18cd/(m²·lx) 미만 - 4호: 굴절률 1.80 이상, 재귀반사성능 18cd/(m²·lx) 이상 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 물잠김(습윤 상태로 시험) <ul style="list-style-type: none"> - 1호: 재귀반사성능 2~5cd/(m²·lx) (굴절률 1.9) - 2호: 재귀반사성능 5cd/(m²·lx) 이상 (굴절률 2.4) |
| 기준 | KS M 6080 | KS L 2521 | |

주: 1. KS M 6080에 따르면 노면 표지용 도료는 성상과 시공 방법의 차이에 따라 1종(상온 건조형 도료), 2종(수용성형 도료), 3종(가열형 도료), 4종(융착식 플라스틱 도료), 5종(상온 경화형 플라스틱 도료) 등 5종류로 나누나 재귀반사성능이 요구되는 도료는 2종, 4종, 5종을 적용
2. 굴절률[$\sin(\text{입사각}) \div \sin(\text{굴절각})$]은 빛이 진공에서 물질로 입사하여 굴절하는 정도로서 굴절률이 클수록 많이 굴절됨
자료: 경찰청 제출자료 재구성

차선의 설치재료 중 유리알의 경우 굴절률이 차선의 재귀반사성능에 가장 중요한 영향을 미치는데 최근 들어 운전자의 노령화에 의한 야간 시인성을 향상 시켜야 하고 특히 우천 시에는 빛이 유리알 표면에 형성된 수막을 거쳐 유리알에 입사되면서 굴절률이 낮아져⁶⁾ 재귀반사성능이 줄어들기[습윤(濕潤) 상태 측정값은 건조상태 측정값의 46%)] 때문에 교통안전을 위하여 굴절률이 1.50~1.64인 일반 1호 유리알보다 높은 굴절률을 갖는 유리알을 사용할 필요성이 높아지고 있다.

도료의 경우 시일이 경과함에 따라 부착된 유리알이 탈리(脫離)되는 등으로 인해 재귀반사성능이 감소하는데 한국도로공사의 “차선도색 추적조사 및 성능향상 방안 검토용역”(2016년 12월) 결과에 따르면 [표 35]와 같이 내구성이 우수한 5종 도료(일반 2호 유리알 사용)를 사용한 차선은 2종 도료(일반 2호 유리알 사용)를 사용한 차선에 비해 재귀반사성능이 높고 감소속도가 상대적으로 느리다.

6) 예를 들어 굴절률이 1.50인 유리알의 경우 우천 시 빛이 빗물로 인한 수막(굴절률 1.33)을 거쳐므로 유리알의 상대 굴절률은 1.128로 낮아짐

[표 35] 설치재료별 재귀반사성능

[단위: mcd/(m²·lx)]

| 구분 | | 길가장자리구역선(백색) | | 중앙선(황색) | | 구분선(백색) | | 평균 | |
|-------|-------|--------------|-------|---------|-------|---------|-------|-------------|-------------|
| | | 2종 도료 | 5종 도료 | 2종 도료 | 5종 도료 | 2종 도료 | 5종 도료 | 2종 도료 | 5종 도료 |
| 설치 시 | 건조 상태 | 305.3 | 540.5 | 225.5 | 474.5 | 364.4 | 655.8 | 298.4 | 556.9 |
| | 습윤 상태 | 140.4 | 248.6 | 103.7 | 218.2 | 167.6 | 301.6 | 137.2 | 256.1 |
| 1년 경과 | 건조 상태 | 83.9 | 270.2 | 120.6 | 316.2 | 122.6 | 342.2 | 109.0(△63%) | 309.5(△44%) |
| | 습윤 상태 | 38.6 | 124.2 | 55.5 | 145.4 | 56.4 | 157.4 | 50.2(△63%) | 142.3(△44%) |

주: 1. 2종 도료 구간과 5종 도료 구간의 차선을 대상으로 설치일로부터 12개월간 월 1회씩 차선의 재귀반사성능을 추적조사하여 얻은 결괏값의 평균을 사용하여 분석함(유리알은 굴절률 1.64~1.80인 일반 2호를 사용)
 2. 습윤 상태는 건조 상태의 46%를 적용하여 추정함
 3. () 안은 설치 시 대비 1년 경과 시점의 재귀반사성능 감소율을 의미
 자료: 차선도색 추적조사 및 성능향상 방안 검토용역(2016년 12월, 한국도로공사)

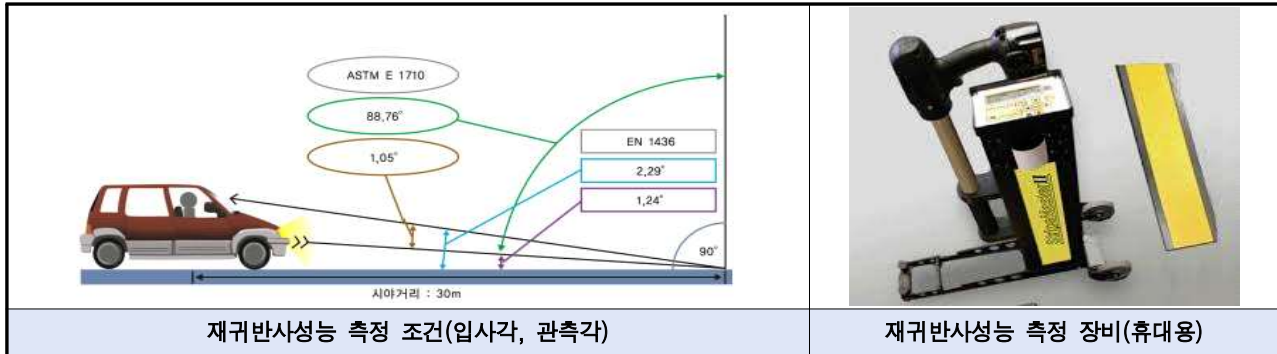
그리고 1년 경과 후 습윤 상태의 재귀반사성능은 5종 도료와 일반 2호 유리알을 사용한 경우 100mcd/(m²·lx) 이상[백색 기준, 황색은 70mcd/(m²·lx)]을 유지하는 데 비해 2종 도료와 일반 2호 유리알을 사용한 경우 38.6~56.4mcd/(m²·lx)로 낮아질 것으로 추정된다.

한편 서울특별시의 “2019년 도로 노면표지 상태 조사 및 분석 연구용역 결과”(2020년 5월)에 따르면 4종 도료와 일반 1호 유리알을 사용한 경우 설치 시 재귀반사성능이 건조 상태에서 386.3mcd/(m²·lx)이지만 습윤 상태에서는 43.7mcd/(m²·lx)에 불과한 것으로 확인되었다.

나) 차선의 재귀반사성능 관련 설치·관리기준

차선의 재귀반사성능은 [그림 20]과 같이 거리 30m에서 차량 전조등의 높이 0.65m, 운전자 눈의 높이 1.2m일 때의 입사각(조사각) 88.76°, 관측각 1.05°(수직 기준)인 조건으로 측정한다.

[그림 20] 차선의 재귀반사성능 측정



자료: 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」(경찰청)

차선의 재귀반사성능 설치·관리기준과 관련하여 기존에는 경찰청의 「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」에 설치 시 건조 상태에서의 최소 재귀반사성능 기준은 “의무사항”으로, 재설치 기준과 습윤 상태에서의 최소 재귀반사성능 기준은 “권장사항”으로 명시되어 운용되다가 차선의 시인성 부족으로 교통사고가 지속적으로 발생하는 문제점을 해결하기 위해 2018. 6. 12. 「도로교통법」 제4조 제2항(2019년 6월 시행)에 주·야간이나 기상상태 등에 관계없이 고속도로, 국도, 지방도 등의 모든 도로에 있는 교통안전시설이 운전자의 눈에 잘 띄게 기준을 마련하도록 하는 규정이 신설되었고, 2019. 6. 14. 「도로교통법 시행규칙」 제8조 제2항 [별표 6](제2호 라목 및 사목)에 [표 36]과 같이 최소 재귀반사성능 기준이 마련되어 습윤 및 유지관리 시 최소 재귀반사성능 기준도 의무화되었다.

[표 36] 차선의 최소 재귀반사성능 기준

[단위: mcd/(m²·lx)]

| 조사각 | 관측각 | 측정 조건 | 최소 재귀반사성능 | | | | 측정 방법 |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------|-----|----|----|--|
| | | | 백색 | 황색 | 청색 | 적색 | |
| 88.76° (1.24°) | 1.05° (2.29°) | 설치 시 (건조 상태) | 240 | 150 | 80 | 46 | 설치 후 1주일이 지난 날부터 준공일까지 최소 재귀반사성능 기준 이상을 유지해야 함 |
| | | 젖은 노면 (습윤) 시 | 100 | 70 | 40 | 23 | 설치 후 젖은 노면에서 최소 재귀반사성능을 측정하는 방법은 유럽표준(EN1436)에서 정하는 방법에 따름 |
| | | 유지관리 시 | 100 | 70 | 40 | 23 | 관리기준으로서 운영 중 건조 상태 및 습윤 상태 모두 기준을 만족하도록 유지해야 함(기준 미달 시 재설치 필요) |

주: EN1436에 따르면 젖은 노면의 경우에는 노면으로부터 약 30cm의 높이에서 최소 3리터의 맑은 물을 쏟아 부어

측정부위의 노면 표면 전체가 고루 젖도록 하여 측정 현장과 그 주변을 포화상태로 만든 후 60±5초 경과 후 측정함

자료: 「도로교통법 시행규칙」 [별표 6] 재구성

그리하여 도로관리자는 차선 설치 및 유지관리 시 건조 상태뿐만 아니라 습윤 상태에서도 차선의 재귀반사성능을 측정하여 최소 재귀반사성능 기준 충족 여부를 확인하도록 규정되었다.

다) 한국도로공사 등의 차선 재귀반사성능 확보 조치

한국도로공사는 「도로교통법 시행규칙」이 개정(2019. 6. 14. 시행)되기 전인 2014년 재정고속도로 차선의 습윤 시 재귀반사성능을 높이기 위해 경부고속도로 서울~대전(137km) 구간에 있는 중앙선, 길가장자리구역선(이하 “갓길선”이라 한다)을 도색할 때 기존에 사용하던 2종 도료와 일반 2호 유리알(굴절률 1.64~1.80)에 비해 내구성과 부착력이 뛰어난 5종 도료⁷⁾에 우천 시 재귀반사성능이 우수한 물잠김 2호⁸⁾ 유리알(통상 굴절률 2.4에 상응함)과 일반 2호 유리알을 혼합하여 시공하는 차선(이하 “우천형 차선”이라 한다)을 설치⁹⁾한 이후, 2015년 1월 왕복 6차로 이상 본선 구간의 중앙선과 갓길선에 우천형 차선을 시공하기로 결정하였다.¹⁰⁾

그리고 한국도로공사는 「도로교통법 시행규칙」 개정(2019. 6. 14.)에 따라 2020년 5월 본선 구간 전 차로(터널 제외)의 중앙선, 구분선, 갓길선 등에도 우천형 차선을 적용하기로 결정하고 차선 설치 및 하자검사 시 건조 상태뿐만 아니라 습윤 상태에서도 차선의 최소 재귀반사성능 기준 충족 여부를 확인하기로 하였다.

7) “노면표시 반사성능 확보방안 연구”(2017년 7월, 도로교통공단)에 따르면 갓길선 기준으로 2종 도료는 내구성이 11~15개월인 데 반해 5종 도료는 28~31개월임

8) 2017년 11월 개정되기 전의 KS L 2521에서는 물잠김 2호 유리알을 “2종 2호(우천형 유리알)”로 분류하였음

9) 한국도로공사는 차선의 재귀반사성능이 시간에 따라 감소되는 것을 감안하여 시공 초기의 성능 기준을 높여 내구연한(2년)까지 「도로교통법 시행규칙」의 기준을 만족하도록 하였음[백색의 경우 건조 상태 240→420mcd/(m²·lx), 습윤 상태 100→175mcd/(m²·lx)]

10) 2014년 11월부터 같은 해 12월까지 위 구간의 야간 교통사고가 전년도 같은 기간 26건보다 23%(6건) 줄어든 20건으로 나타나고 전문가(15명) 및 일반이용객(1,400명)을 대상으로 한 설문조사에서도 긍정적인 반응을 보였으며, 특히 전문가들은 지속적인 확대의견을 제시함

또한 서울특별시도 연구용역(2019년 10월~2020년 5월)¹¹⁾과 시험시공을 거쳐 2020년 12월 다음 연도부터는 소관 도로의 차선 설치재료로 기존에 사용하던 4종 도료¹²⁾와 일반 1호 유리알에 비해 부착력이 뛰어난 5종 도료와 굴절률이 더 높은 일반 2호 유리알을 사용하기로 결정하고, 2021년 3월 서울특별시 “노면표시 공사 설명서”를 개정¹³⁾하여 차선 설치 및 하자검사 시 습윤 상태에서 차선의 최소 재귀반사성능 기준 충족 여부를 확인하기로 하였다.

따라서 서울특별시 등 11개 지자체는 2019. 6. 14. 개정된 「도로교통법 시행규칙」의 시행에 따라 차선의 습윤 시 최소 재귀반사성능 기준이 의무화된 이후부터는 민자사업자로 하여금 소관 민자도시도로의 차선 설치 및 유지관리 시 습윤 상태에서 최소 재귀반사성능 기준의 충족 여부를 확인하는 등으로 위 기준을 준수할 수 있도록 지도·감독을 철저히 하여야 했다.

3) 감사결과 확인된 문제점

그런데 이번 감사원 감사기간 동안 서울특별시 등 11개 지자체가 지도·감독하는 21개 민자사업자가 소관 민자도시도로에 2019년 6월 「도로교통법 시행규칙」 개정 이후 실시한 차선 설치공사의 설계도서 등을 검토한 결과는 [표 37]과 같다.

⊙⊙주식회사는 한국도로공사처럼 우천형 차선을 도입하고 차선 설치 및 하자검사 시 습윤 상태에서 차선의 재귀반사성능을 측정하여 최소 재귀반사성능 기준의 충족 여부를 확인하고 있었으나, 다른 20개 민자사업자는 여전히 기존에 사용하던 2종 또는 4종 도료와 일반 1호 유리알로 차선을 설치하여 습윤 상태의

11) “2019년 도로 노면표지 상태 조사 및 분석 연구용역”(2020년 5월, 서울특별시)

12) 4종(융착식) 도료는 쉽게 떨어지거나 깨지는 특성이 있음(「교통노면표시 설치·관리 매뉴얼」, 경찰청)

13) 서울특별시는 차선의 재귀반사성능이 시간에 따라 감소되는 것을 감안하여 시공 초기의 성능 기준을 「도로교통법 시행규칙」의 기준보다 높였음[백색의 경우 건조 상태 240→250mcd/(m²·lx), 습윤 상태 100→170mcd/(m²·lx)]

최소 재귀반사성능 기준을 충족하지 못하는데도 차선 설치 및 하자검사 시 습윤 상태에서 최소 재귀반사성능 기준의 충족 여부를 확인하는 절차를 마련하지 않았고 서울특별시 등 11개 지자체에서는 이에 대해 지도·감독하지 않고 있었다.

[표 37] 「도로교통법 시행규칙」 개정 이후 실시한 차선 설치공사

| 연번 | 지자체 | 노선명 | 민자사업자 | 시공기간 | 설치재료 | |
|----|-------|------|---------|---------------|------|---------------|
| | | | | | 도료 | 유리알 |
| 1 | 서울특별시 | ■ 터널 | ○○주식회사 | 2020년 5월 | 2종 | 일반 1호 |
| 2 | 부산광역시 | ▶ 대교 | ♀♀주식회사 | 2020년 5월 | 2종 | 일반 1호 |
| 3 | | ● 터널 | ♡주식회사 | 2020년 4월 | 2종 | 일반 1호 |
| 4 | 인천광역시 | ▼ 터널 | ▶▶주식회사 | 2020년 11월 | 2종 | 일반 1호 |
| 5 | | ▲ 터널 | ▲▲주식회사 | 2019년 9월 | 4종 | 일반 1호 |
| 6 | | ▲ 터널 | ■주식회사 | 2019년 10월~11월 | 4종 | 일반 1호 |
| 7 | 대구광역시 | ㅊ로 | ☆☆주식회사 | 2020년 11월~12월 | 4종 | 일반 1호 |
| 8 | | ㅋ로 | ●●주식회사 | 2020년 10월 | 4종 | 일반 1호 |
| 9 | 울산광역시 | ▼ 대교 | ★★주식회사 | 2020년 5월 | 2종 | 일반 1호 |
| 10 | 광주광역시 | ㅌ로 | ▼▼주식회사 | 2020년 8월 | 2종 | 일반 1호 |
| 11 | | ㅍ로 | ◀◀주식회사 | 2020년 8월 | 2종 | 일반 1호 |
| 12 | | ㅎ로 | ◆◆주식회사 | 2020년 11월 | 2종 | 일반 1호 |
| 13 | 경기도 | ㄱ 도로 | ◎◎주식회사 | 2020년 10월 | 5종 | 일반 2호, 물잠김 2호 |
| 14 | | ㄷ 대교 | ▣주식회사 | 2020년 11월 | 2종 | 일반 1호 |
| 15 | | ㄹ 도로 | ◆◆주식회사 | 2020년 6월~7월 | 2종 | 일반 1호 |
| 16 | 경상남도 | ㅈ 도로 | ◼주식회사 | 2020년 7월~9월 | 2종 | 일반 1호 |
| 17 | | ㅊ 대교 | 주식회사 ●● | 2019년 3월~6월 | 2종 | 일반 1호 |
| 18 | 수원시 | ㅇ 도로 | ●●주식회사 | 2020년 9월 | 2·4종 | 일반 1호 |
| 19 | 화성시 | ㅁ 도로 | △△주식회사 | 2020년 5월 | 2종 | 일반 1호 |
| 20 | 남양주시 | ㅂ 도로 | ◎◎주식회사 | 2020년 10월 | 4종 | 일반 1호 |
| 21 | | ㅅ 도로 | ●●주식회사 | 2019년 11월 | 2·4종 | 일반 1호 |

자료: 민자사업자 제출자료 재구성

이에 따라 야간에 노면이 젖었을 때 차선을 제대로 식별할 수 없어 차선 이탈 등 위험한 상황이 발생하는 등 민자도시도로 이용자의 교통안전을 저해할 가능성이 있다.

관계기관 의견 서울특별시 등 11개 지자체는 감사결과를 받아들이면서 민자사업자로 하여금 소관 민자도시도로에 대해 습윤 시 차선의 재귀반사성능이 관련 기준에 부합하게 유지될 수 있도록 지도·감독하겠다고 답변하였다.

조치할 사항 서울특별시 등 [표 37]에 기재된 11개 지방자치단체의 장은 민자도시도로에 대해 차선 설치 및 하자검사 시 습윤 상태에서 최소 재귀반사성능의 기준 충족 여부를 확인한 후 기준 미달 구간에 대해 우선순위를 고려하여 재도색하도록 하는 등 「도로교통법 시행규칙」의 최소 재귀반사성능 기준을 준수하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)