

도로표지 결로방지 필름의 품질기준 정립을 위한 재료 특성 연구

A Study on Material Properties Required for Quality Standard Establishment of Anti-Dew Film for Traffic Sign

이찬영^{*} · 강희만^{**} · 장태순^{***} · 이현석^{****}

Lee, Chan-Young · Kang, Hee-Man · Chang, Tae-Sun · Lee, Hyeon-Seok

1. 서 론

현대 사회에서는 나날이 증가하는 교통량과 도로확충으로 인해 도로가 지속적으로 복잡해지고 있으며, 운전자가 안전하게 목적지까지 도달할 수 있게 길잡이 역할을 해주는 도로표지의 중요성이 증가하고 있다. 도로 표지판이 가져야 할 요구조건으로서 가장 중요한 것은 시인성이며, 특히 야간 시인성을 증대시키기 위해 제귀반사 시트를 사용하여 도로 표지판이 제작된다. 그러나 해안가, 강가 등 안개가 잦은 지역에서 주·야간의 온도차로 인해 표지판 표면에 결로가 발생하면 미세 물방울이 자동차의 조명을 난반사시켜 표지가 검게 보이는 현상이 종종 발생한다. 이와 같은 현상을 방지하기 위해 결로방지 필름이 사용되는데, 아직까지는 결로방지 필름의 품질기준이 명확히 정립되어 있지 않다. 본 연구에서는 결로방지 필름의 품질기준 정립 방안을 모색하고자 필름의 친수성 정도가 결로방지 성능에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

2. 결로방지 이론

2.1 도로표지의 결로 현상

결로 현상은 수증기가 차가운 표면에 접촉하여 이슬점 온도보다 낮은 온도로 냉각되었을 때 나타나는 현상이다. 차가운 공기는 따뜻한 공기에 비해 많은 양의 수증기를 함유할 수 있는 능력이 떨어져서 포화수증기량을 초과하는 수증기는 차가운 표면에 미세한 물방울의 형태로 응축된다.

결로 현상의 발생 메커니즘은 2가지가 있는데, 첫 번째는 복사냉각(radiation cooling)¹⁾ 메커니즘으로서 표지판의 온도가 주변 공기의 이슬점 온도 아래로 떨어져서 생기는 경우이다. 이때의 냉각현상은 열이 표지판에서 주변의 대기로 방출됨으로써 발생한다.

두 번째 메커니즘은 이류냉각(advection cooling)¹⁾ 메커니즘이다. 일반적으로 바람은 결로가 발생하는 것을 방해하는 요소로 작용한다. 표지판 표면에 지속적인 공기의 흐름이 있으면 공기가 응축될 만큼의 충분한 시간동안 표면에 머물러 있을 수 없게 된다. 그러나 어떤 환경에서는 결로가 생기는 경우가 있는데, 소스가 다른 따뜻한 공기가 차가운 표지판에 닿는 경우이다.²⁾

결로가 형성되는 이상적인 조건은 높은 습도, 빠른 온도하강, 맑은 날씨이다. 구름이 많으면 지구가 방출하는 열을 구름이 다시 되돌려 주기 때문에 결로 형성을 방해하게 되며, 강한 바람은 열과 습기를 끌고루 분산시켜 이슬점 온도에 도달하기 어렵게 된다.

2.2 결로방지 필름의 작용 원리

도로표지에 사용되는 반사지는 제귀반사 작용을 하여 빛을 받았을 때 발광하여 야간 시인성을 확보할 수

* 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원·공학박사·031-371-3355(E-mail:leecy@ex.co.kr)
** 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원·공학석사·031-371-3357(E-mail:kheeman@ex.co.kr)
*** 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원·공학박사·031-371-3494(E-mail:tschang@ex.co.kr)
**** 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원·공학박사·031-371-3316(E-mail:lhsykm@ex.co.kr)

있도록 되어 있다. 일반적인 거울반사는 표면에 빛이 들어오는 입사각만큼의 각도로 반대 방향으로 반사되는 반면에 재귀반사는 광원의 방향으로 그대로 되돌아가는 것이 특징이다. 이것은 자동차의 전조등에 의해 반사된 빛이 운전자의 방향으로 반사되어 시인성을 확보해주는 작용을 한다.

일반적으로 재귀반사 시트의 표면은 물에 대한 친화력이 없어 물을 밀어내는 소수성(hydrophobic)을 띠며, 이와는 반대로 물에 대한 친화력이 있는 표면을 친수성(hydrophilic) 표면이라고 한다. 물에 대한 친화력의 정도를 평가하는 가장 좋은 방법은 물방울과 물질 표면의 접촉각을 측정하는 것이다. 물질의 표면에 작은 물방울 하나를 떨어뜨렸을 때 물질 표면과 구상의 물방울 입자 표면간의 각도를 물방울 접촉각이라고 하는데, 소수성 표면일 경우 그림 1과 같이 접촉각이 크고 친수성일 경우 접촉각이 작다. 일반적으로 유리와 같은 무기재료는 20~30° 정도로 접촉각이 작고 보통의 유기수지는 70~90° 정도이며, 실리콘이나 불소수지는 90° 정도로 접촉각이 크다.

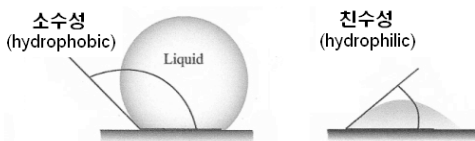


그림 1. 소수성 및 친수성 표면에서의 물방울 형태

표 1. 물질에 따른 접촉각

물질의 종류	접촉각
유리 등의 무기재료	20~30°
일반적인 수지	70~90°
실리콘 또는 불소수지	90° 정도

소수성을 띤 도로표지의 표면에 결로가 발생할 경우 물방울 입자의 형상은 반구 또는 구에 가까운 형태가 되기 때문에 그림 2와 같이 빛의 입사 및 반사 경로에 간섭을 일으키는 난반사가 일어난다. 이러한 난반사 현상을 방지하기 위해 친수성의 결로방지 필름이 사용되는데, 친수성 표면에서 물방울은 접촉각이 작기 때문에 쉽게 주변으로 퍼지고 주변의 물방울들과 합체되어 결국 그림 3과 같이 얇은 수막이 형성된다.

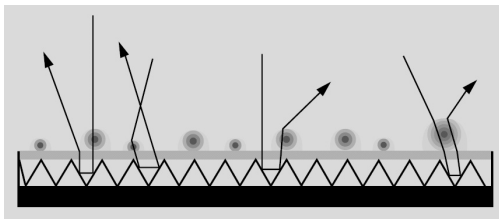


그림 2. 소수성 도로표지 표면에서의 난반사

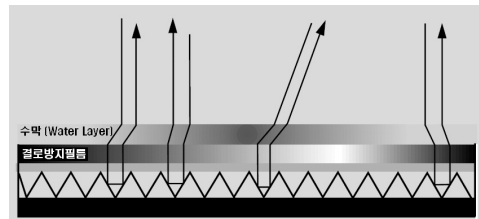


그림 3. 친수성 결로방지 필름에 의한 난반사 방지

3. 실내실험 및 현장조사

3.1 실험 및 현장조사 방법

실내실험은 친수성 정도가 각기 다른 3종류의 결로방지 필름을 실제 도로표지판을 잘라낸 시편에 붙이고 뒷면을 냉각시켜 강제로 결로가 발생하게 한 후 시간에 따른 휘도의 변화를 측정하였다. 이때 반사지의 종류는 기본 휘도의 정도에 따라 각각 50, 80cd/lux/m²의 2종류를 사용하였다. 실내의 온·습도 조건은 각각 25℃, 65%RH였으며, 시편 뒷면을 냉각시키기 위해 얼음을 채운 상자 위에 시편을 올려놓는 방법을 사용하였다.

현장조사는 서해안 고속도로 구간에서 서로 다른 종류의 결로방지 필름이 적용된 표지판에 대해 결로 및 난반사 현상 발생 여부를 야간에 육안으로 관찰하였다.

3.2 결과 및 고찰

실내실험에 사용된 3종류의 결로방지 필름에 대해 물방울 접촉각을 측정한 결과 각각 10°, 25°, 40°로 나타났다. 그림 4, 그림 5에 결로발생 시간경과에 따른 휘도의 변화를 나타내었다. 강제 냉각 후 3~4분 만에 휘

도는 10cd/lux/m² 이하로 급격하게 감소하였으며, 결로방지 필름을 사용한 시편은 시간 경과에 따라 휘도가 회복되었으나 결로방지 필름을 사용하지 않은 시편은 전혀 회복되지 않았다. 도로표지판의 휘도 기준이 45cd/lux/m²인 점을 고려해 기준치 이상으로 회복되는 시간을 비교해본 결과, 저휘도 반사지를 사용했을 경우(그림 4) 접촉각 10°인 결로방지 필름은 22분, 접촉각 25°인 필름은 36분, 40°인 필름은 64분이 소요되었다. 고휘도 반사지를 사용했을 경우(그림 5)에는 접촉각 10°인 결로방지 필름은 16분, 접촉각 25°인 필름은 34분, 40°인 필름은 107분이 소요되었다. 이 결과로부터 결로방지 필름의 성능은 재료의 친수성 정도에 크게 좌우된다는 것을 알 수 있으며, 물방울 접촉각이 25°를 초과하면 그 효과가 상당히 떨어진다고 판단되었다.

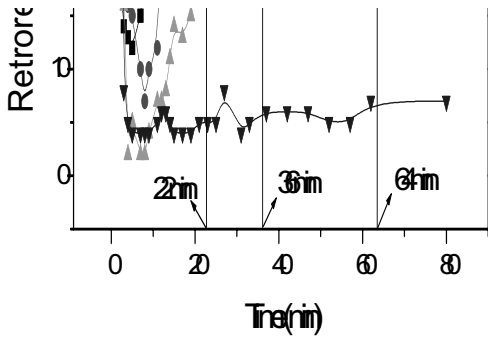


그림 4. 결로발생 시간경과에 따른 휘도 변화 (저휘도 반사지)

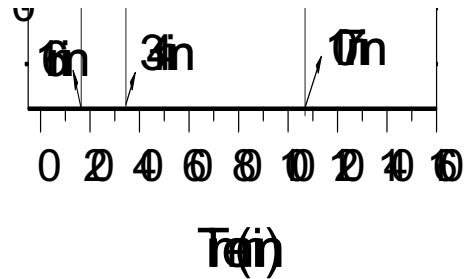


그림 5. 결로발생 시간경과에 따른 휘도 변화 (고휘도 반사지)

<p>양 호(접촉각 10°)</p>	<p>양 호(접촉각 10°)</p>
<p>양 호(접촉각 10°)</p>	<p>난반사 발생(필름 미부착)</p>
<p>난반사 발생(접촉각 40°)</p>	<p>난반사 발생(접촉각 40°)</p>

그림 6. 현장조사 결과



그림 6에 현장조사에서 관찰된 표지판의 사진을 나타내었다. 물방울 접촉각이 10°인 결로방지 필름이 사용된 표지판은 모두 결로에 의한 난반사 현상이 없었으며, 접촉각 40°인 필름이 부착된 경우 및 결로방지 필름을 사용하지 않은 경우에는 결로에 의한 난반사 현상이 관찰되어 실내실험 결과와 상당히 일치함을 알 수 있었다.

4. 결 론

도로표지 결로방지 필름의 친수성 정도가 결로방지 성능에 미치는 영향에 대하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실내실험에서 강제 냉각에 의한 결로발생 후 3~4분만에 휘도는 10cd/lux/m^2 이하로 급격하게 감소하였으며, 결로방지 필름을 사용한 시편은 시간 경과에 따라 휘도가 회복되었으나 결로방지 필름을 사용하지 않은 시편은 전혀 회복되지 않았다.
- (2) 도로표지판의 휘도 기준치 이상으로 회복되는 시간은 저휘도 반사지를 사용했을 경우 접촉각 10°인 결로방지 필름은 22분, 접촉각 25°인 필름은 36분, 40°인 필름은 64분이 소요되었고, 고휘도 반사지를 사용했을 경우는 접촉각 10°인 결로방지 필름은 16분, 접촉각 25°인 필름은 34분, 40°인 필름은 107분이 소요되었다.
- (3) 결로방지 필름의 성능은 재료의 친수성 정도에 크게 좌우된다는 것을 알 수 있었으며, 물방울 접촉각이 25°를 초과하면 그 효과가 상당히 떨어진다고 판단되었다.
- (4) 현장조사 결과 물방울 접촉각이 10°인 결로방지 필름이 사용된 표지판은 모두 결로에 의한 난반사 현상이 없었으며, 접촉각 40°인 필름이 부착된 경우 및 결로방지 필름을 사용하지 않은 경우에는 결로에 의한 난반사 현상이 관찰되어 실내실험 결과와 상당히 일치함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. K. Alexander, S. Thompson and J. Weekley, "Dew on Traffic Signs - A Literature Review", Published Project Report PPR119, TRL Limited, 2006.
2. Kersloot TM and Cooper BR, "Further Studies of Road Work Sign - Dew Formation and Flashing Lamp", TRL Report PR/T/040/2000, 2000.