

도로표지 결로방지 예방기술에 관한 제언

Recommendations on Anti-Dew Road Sign Technology



박재홍



윤덕근



성정근



강원의

1. 서론

‘도로법’ 제57조에 의거하여 설치된 도로표지는 운전자에게 도로주행에 필요한 각종 정보를 제공한다. 또한, 도로이용자가 도로에서의 교통안전과 원활한 교통소통을 위해 필요한 장소에 그 내용을 명확히 판독할 수 있도록 설치되어 있다.

또한, ‘도로표지판 관련규정집’(국토해양부, 2010)에서는 ‘글자, 기호 및 바탕은 밤에도 잘 읽을 수 있도록 반사되어야 할 것’이라고 도로표지의 설치기준이 명시되어 있을 만큼, 기상조건 등에 영향을 받지 않고 운전자에게 효과적인 정보(이정, 방향, 노선, 지역 경계 등)를 제공하는 것은 도로표지의 중요한 역할이다.

그러나, 실제 교통환경에서는 악천후, 안개, 이슬 등에 의한 정보제공기능의 결함이 발생하며, 특

히, 도로표지판에 맺히는 결로현상은 도로표지의 반사성능을 감소시켜 운전자가 정보를 판독하지 못하는 상황을 발생하게 한다.

결로는 표지판의 온도가 이슬점보다 낮은 온도를 나타낼 때 표지판의 표면에 수증기가 응결하여 발생하는 현상을 의미한다. 결로는 일상생활에서 쉽게 관측 가능한 현상이지만, 도로표지에 결로가 발생하는 것은 차량의 조명장치로부터 나오는 빛을 불규칙 하게 입사 및 반사시켜 도로표지의 문안을 읽을 수 없는 판독불능의 상태에 이르게 하기 때문에 교통안전 및 소통측면에서 매우 부정적인 영향을 미친다.

현재, 도로관리기관에서는 도로표지의 결로를 방지하기위해 별도의 조명을 설치하여 운전자의 시인성을 증대하도록 하고 있으나, 설치비, 전기도 등 운영비용 등이 지속적으로 발생한다.

본 고(告)는 2011년도 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(11기술혁신A01)에 의해 수행되었습니다.

박재홍 : 한국건설기술연구원 도로연구실, jhpark@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0100, 직장팩스:031-910-0746

윤덕근 : 한국건설기술연구원 도로연구실, dkyun@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0156, 직장팩스:031-910-0746

성정근 : 한국건설기술연구원 도로연구실, jgsung@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0179, 직장팩스:031-910-0746

강원의 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구실, yikang@kict.re.kr, 직장전화:031-910-0164, 직장팩스:031-910-0746

이는 현재의 에너지 절감 정책과는 반하는 기술로써, 에너지를 절감하면서 결로를 효율적으로 방지 혹은 결로 최소화 등의 기능성과 경제성이 동시에 고려되는 저에너지 형태의 기술이 요구되고 있다.

본 고에서는 도로표지의 결로발생 및 결로방지 도로표지판의 사례를 제시하고, 도로표지의 기능성과 경제성에 대한 고려사항을 제시하였다.

II. 기존문헌고찰

오홍운(2008)은 표지의 효율성 향상을 위해 일관성(Uniformity), 필요의 충족(fulfill a need), 명쾌한 의미의 전달(convey a clear, simple meaning), 내용에 대한 운전자의 존중(command respect from road users), 충분한 반응시간부여(give adequate time for proper response)를 제시하였다. 또한, 야간에 이슬발생시 표지판 야간조명이 해외에서 가장 효과적인 대응수단으로써 사용된다는 사실을 제시하였다. 조문성 등(2007)은 도로조명의 광원으로 사용되는 메탈헬라이드램프, 고압나트륨램프, PLS(Plasma Lighting System)에 대하여 인공안개조건에서 시인성을 평가하였다. 분석결과, 명소시에는 고압나트륨램프, 암소시에는 PLS가 시인성이 좋다는 결과를 나타내었다. 이찬영 등(2010)은 결로방지 필름의 품질기준 정립 방안을 정립하기 위해, 필름의 친수성 정도가 결로방지 성능에 미치는 영향을 실험하였다. 실험결과, 결로방지 필름의 성능은 재료의 친수성 정도에 영향을 크게 받으며, 물방울 접촉각이 25°를 초과하면 효과가 감소한다고 제시하였다.

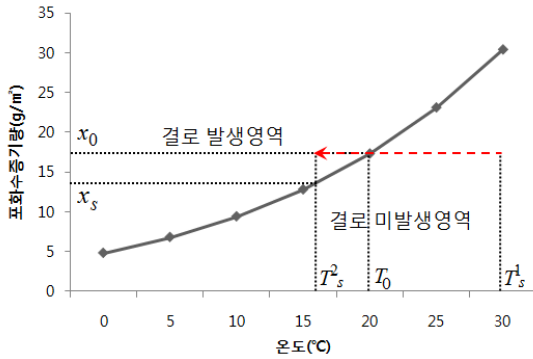
Newell-Hart(2003)은 5월~10월에 이슬 발생량이 많이 나타나며, 주·야간의 온도차를 이유로 제시하였다. 특히, 9월 중순~10월 말에는 낮 길이가 밤보다 길게 나타나기 때문에 도로표지에 의한 영향이 더 많은 기간으로 나타내었다. Cooper and Smith(1997)는 재귀반사 표지를 대상으로 결로가 발생하는 경우에 대한 문제점을 임시교통표지를 대상으로 효과를 검증하였다. 조

사 결과 표지의 가시성, 가독성, 휘도에 심각한 영향을 미치는 것으로 제시하였다. Kersloot and Cooper(2000)는 표지를 구성하는 재료에 따라 이슬이 맺히는 양을 연구하기 위해 이슬이 맺히는 양, 시간 등을 영향을 미치는 요소로써 적용하였다. 알루미늄과 polyplate를 이용하여 실험한 결과, 알루미늄에 맺히는 이슬의 양은 polyplate보다 적다는 결론을 제시하였다. Eric D. Hildebrand(2003)는 표지의 재귀반사에 대하여 서리와 이슬이 미치는 영향에 대해 연구하였다. MUTCD에 제시된 최소 재귀반사 기준과 비교하여 분석하였으며, 서리와 이슬의 재귀반사를 감소 효과는 다양하게 나타난다는(60~79%) 결과를 제시하였다. Hildebrand(2003)는 표지표면의 물질 색과 이슬이 형성된 표지의 재귀반사의 감소 정도는 상관관계가 없는 것으로 제시하였다. Hildebrand and Bergin(2004)는 도로표지에 이슬과 서리의 형성시 재귀반사의 평균 감소율에 대해 연구하였다. 고강도의 마이크로프리즘으로 구성된 12개의 표본(30.5cm×61cm)을 설치하고 자료를 수집하였다. 분석결과, 고강도의 마이크로프리즘은 재귀반사율의 감소가 높은 것으로 나타났다. H. Gene Hawkins et al.(2005)은 이슬 저항 코팅이 처리된 반사지와 일반 반사지의 재귀반사능력을 측정하기 위해 원격장치를 사용하였다. 표지에 이슬이 맺히기 양호한 기상상태하에 야간에 측정했으며, 일반 반사지보다 이슬저항코팅 처리가 된 반사지의 재귀반사율이 높게 나타나는 결과를 제시하였다.

III. 도로표지판 결로발생 사례 및 문제점

1. 결로(結露)발생

결로(結露)는 수분을 포함한 대기의 온도가 이슬점 이하로 떨어져 대기가 함유하고 있던 수분이 물체 표면에서 물방울로 맺히는 현상이며, <그림 1>에 결로 발생 조건을 제시하였다. 즉, 야간에 대

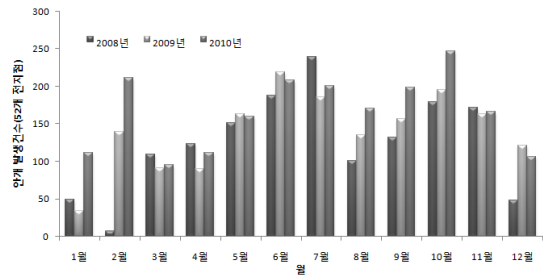


〈그림 1〉 결로발생과정

기온도가 낮아지면서, 주간에 상승했던 도로표지판과의 온도차에 의해 도로표지판 표면에 결로(이슬)가 발생한다.

한국도로공사에서는 결로현상이 일교차가 심한 봄/가을의 야간시간대(21:00~04:00)에 집중발생하며, 결로현상이 발생하고 있는 고속도로는 서해안선 23지점, 서울외곽순환선 12지점, 중앙선 10지점 등 총 87지점으로 제시하였다.¹⁾

최근 3년간 국내 52개 기상대에서 관측한 안개 발생일수를 분석하면, 2008년에는 평균 128.83건/월, 2009년에는 평균 141.08건/월, 2010년에는 평균 165.58건/월이 발생하는 것으로 분석되었다. 〈그림 2〉에는 월간 안개발생건수를 제시했으며, 특히, 6월~11월의 안개발생건수가 높게 나타났다. Newell-Hart(2003)가 이슬의 발생시기는 9~10월에 높은 것으로 제시한 점과, 결로가 안개, 이슬, 대기의 온도, 습도와 밀접한 관계가



〈그림 2〉 월간 안개발생건수

있음을 고려하면, 9~11월에 결로발생 사례가 높을 것으로 판단된다.

2. 결로발생 문제점

도로표지판에 결로가 발생하는 경우 재귀반사 불능현상이 발생한다. 재귀반사는 광원으로부터 온 빛이 물체의 표면에서 반사되어 다시 광원으로 돌아가는 반사로서, 어떠한 입사각에서도 광원의 방향으로 빛을 반사한다. 즉, 차량의 전조등으로부터 입사한 빛이 표지판에서 반사되어 운전자에게 돌아오는 것이다. 그러나, 결로에 의한 재귀반사 불능현상이 발생하면, 빛의 산란에 의해 운전자에게 돌아오지 못하게 된다. 운전자가 도로표지의 정보를 습득하지 못하게 되므로 도로표지의 정보전달 기능을 상실하게 된다.

〈그림 3〉에는 국도 32호선 일부구간에서 발생한 야간의 결로발생 표지사례를 제시했으며, 결로가 발생한 야간에는 도로 안내정보(방향, 이정)의



〈그림 3〉 야간 도로표지 결로발생 사례

1) 연합뉴스, "http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=101&oid=001&aid=0001445604"

전달력이 주간에 비해 현저히 감소한다. 따라서, 운전자가 표지판의 내용을 판독하기 어려우므로, 운전자의 지각-반응과정(PIEV : Perception-Identification-Emotion-Volition)중에서 인지과정(Cognition : Perception-Identification)이 불가능하게 되거나 저하된다. 인지과정 저하로 인한 지각-반응시간 증가는 교통사고의 위험성과 관련이 높으며, 특히, 유출부 등에서의 차로변경이 필요한 엇갈림구간에서는 사고발생 가능성이 높게 나타난다.

IV. 국내·외 결로예방 기술

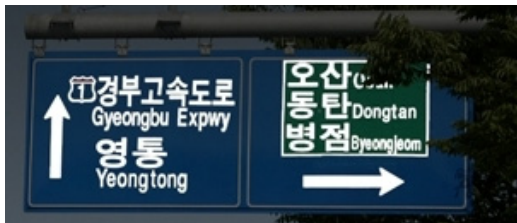
결로방지 예방기술을 크게 두 가지로 구분하면, 전기 등의 에너지원을 사용하여 결로를 예방하는 동력방식과 에너지원을 사용하지 않는 비동력식 결로 방지 기술이 존재한다.

동력식 결로 방지 기술은 내부조명방식(LED 등), 내부열선방식(내부열선, 발열시트 등), 외부조명방식으로 구분이 가능하다.

또한, 도로표지규칙 제10조 및 도로표지 제작·



(a) 주간 (b) 야간-1



(c) 야간-2

〈그림 4〉 LED 도로표지판²⁾

설치 및 관리지침 제3장에 의거 LED조명용 도로표지판을 자유롭게 설치 할 수 있도록 규정되어 있으며, LED 도로표지판 사례를 〈그림 4〉에 제시하였다.

비동력식 예방방지 기술은 광촉매 도장(코팅지), 단열재를 이용하여 결로를 예방하는 기술 등이 있다. 광촉매는 산화티타늄을 주성분으로 하는 물질로써, 태양 등의 빛 에너지의 결합을 통해 산화분해되어 각종 오염물을 용이하게 제거하는 물질을 의미한다. 또한, 친수성이 있어 물방울이 맺히지 않고 흘러내려 도로표지판 결로 예방에 사용되고 있다.

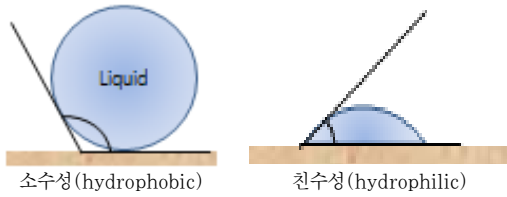
국외의 결로방지기술은 외부조명방식을 많이 쓰고 있으며, MUTCD Part2. 에는 조명표지의 광원 등을 정기적으로 교체해야 하는 의무가 제시되



〈그림 5〉 국외 사례(외부조명방식)³⁾

2) 한국도로공사, “도로안내표지 문안규격 적정성에 관한 연구”, <http://www.suninnotech.com/>

3) 이장희, 조경애, “무전극램프 시스템을 적용한 고속도로 안내표지 조명시설의 적용 검토”



〈그림 6〉 표지에서의 물방울 형태

어있으며, 〈그림 5〉에 사례를 제시하였다.

일반적으로 재귀반사 시트의 표면은 소수성(Hydrophobic)을 띠므로, 물방울과 물질 표면의 접촉각이 크게 나타나며, 〈그림 6〉에 소수성과 친수성에 대한 그림을 제시하였다.(이찬영 등, 2010) 따라서, 결로에 의한 물방울이 반구 또는 구에 가까운 형태로 도로표지판에 맺히게 되므로 난반사가 발생한다. 이러한 난반사를 해결하기 위해 친수성(Hydrophilic)을 가진 결로방지 필름이 존재한다. 물질의 친수성을 이용하면 물방울과 물질 표면의 접촉각이 작게 나타나므로, 쉽게 주변으로 퍼지는 동시에 주변의 물방울과 결합하여 얇은 수막을 형성한다. 따라서, 난반사가 예방되며, 얇은 수막은 중력에 의해 떨어지므로 도로표지의 오염물질 제거 등의 효과까지 나타난다.(3M, 2004a)

V. 도로표지 결로방지 예방(안) 및 고려 사항

기존에 검토된 국내·외 결로방지 기술을 검토할 때, 현재로써는 결로방지 필름과 내·외부 조명식을 많이 사용하고 있다. 현재의 대부분 결로방지 표지판의 경우 설치비와 운영비가 기존 표지판에 비해 비용이 높기 때문에 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다.

이에 따라 상대적으로 저비용, 저에너지 사용의 표지의 결로방지 기술의 개발이 요구되고 있으며, 실제 개발되는 결로방지 기술이 기존의 결로방지 표지판보다 성능이 낮을 수 있더라도 도로의 중요도 및 경제적 타당성을 검토하여 설치가 가능한 지

역에 적용할 수 있도록 해야한다. 즉, 기존 및 향후 개발되는 도로표지 결로방지 기술에 따라 결로가 발생하는 도로의 중요도, 편익(통행시간 절감, 운행비 절감, 사고 감소, 환경비용 감소)과 초기비용(재료비, 설치비) 및 유지비용 등에 대한 비용을 고려하여 현장에 적용되어야 할 것이다.

이러한 이유로 현재 국토해양부에서는 국가 연구개발사업을 통해 도로표지 결로방지 기술을 개발하고 있으며, 기존의 결로방지 기술과 더불어 설치비 및 운영비를 절감할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 해당 기술 개발 후 기존 도로표지 결로방지 기술과 더불어 경제성 분석을 통해 도로의 중요도, 결로발생 빈도 등에 따라 현장에 적용 가능한 방안을 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 도철용(2005), “교통공학원론”, 청문각, pp. 40~42.
2. “도로표지판관련규정집”, 국토해양부, 2010.6.
3. “도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 및 해설”, 국토해양부, 2009.
4. 오홍운(2008), “표지의 효율성 향상을 위한 제언”, 한국도로학회, 기술정보기술기사, 제 10권 제1호, pp.61~67.
5. 이장희·조경애(2004), “무전극램프 시스템을 적용한 고속도로 안내표지 조명시설의 적용 검토”, 한국조명·전기설비학회 2004춘계 학술대회 논문집, 한국조명·전기설비학회, pp.184~188.
6. 이찬영·강희만·장태순·이현석(2010), “도로표지 결로방지 필름의 품질기준 정립을 위한 재료 특성 연구”, 한국도로학회 학술대회논문집, 한국도로학회, pp.489~492.
7. 정봉조·이기영·박형진·김용전(2005), “도로안내표지 문안규격 적정성에 관한 연구”, 한국도로공사, 도로교통기술원.
8. 조문성·김영균·정관진·이정욱·김훈

- (2007), “안개 발행시 도로 조명용 광원의 시인성 연구”, 조명·전기설비학회논문지, 제 21권 제6호, 한국조명·전기설비학회, pp.1~7.
9. 한국건설기술연구원, “도로표지판 결로 방지 기술 개발(국토해양기술연구개발계획서)” (Unpublished)
 10. Cooper BR and Smith HE(1997), “Extended Site Trial of Unlit Retroreflective Signs at Road Works-Final Report”, TRL Report(Unpublished).
 11. H. Gene Hawkins, Jr., Roma Garg, Paul J. Carlson, and Andrew J.(2005), “Evaluation of Traffic Control Devices: Second Year Activites”, FHWA/TX-06/0-4701-2, pp.51~60.
 12. Hildebrand ED and Bergin TB(2004), “Desinging Road Signs for the Canadian Environment”, Transportation Research Recrod 1844, Department of Civil Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, new brunswick, Canada, E3B 5A3.
 13. Kersloot TM and Carlson BR(2000), “Further Studies of Road Work Signs-Dew Formation and Flashing Lamps”, TRL Report(Unpublished).
 14. K. Alexander, S. Thompson and J. Weekley(2006), “Dew on Traffic Signs-A Literature Review”, PPR119, TRL Limited.
 15. “Manual on Uniform Traffic Control Devices, 2009 Edition”, Federal Highway Administration.
 16. Newwell-Hart L(2003), “Dew formation and Its Effects on Traffic Signs”, 3M.
 17. 3M(2004a), “Traffic Signs:Dew resistance & Self Cleaning”, 3M.