

무전극램프 시스템을 적용한 고속도로 안내표지 조명시설의 적용 검토

이장희*(한국도로공사 교통처) · 조경애*(주식회사 세광에너텍)

요 약 문

본 내용은 기후적 요인에 의해 발생하는 고속도로 또는 일반도로의 안내표지판 상의 결로현상으로 인한 안내표지판의 반사율 저하로 유발되는 운전자의 표지판 판독성 저하 문제를 해결하여, 각종 안전성 확보를 위한 검토이다. 이를 위한 대책으로 표지판 외부 조명 시설의 설치 방법을 채택하였으며 유지보수의 용이성, 에너지절감, 광원의 질적 요인을 감안하여 장수명, 고효율, 고연색의 특징을 지닌 무전극램프를 조명 광원으로 선정하고, 이의 적용 적합성을 검증하고자 한다.

1. 서 론

일교차가 심한 계절에는 도로표지판에 이슬이 맺히는 결로현상이 발생하게 된다. 이때, 야간 차량 운행시 전조등의 불빛이 이슬에 의해 난반사되므로 표지판의 반사휘도가 급격히 저하되어 운전자로 하여금 도로표지의 문안 판독을 어렵게 한다.

이러한 운전자의 문안 판독성 저하는 운전자의 피로 가중 및 우발적 운행을 유발시켜 교통사고의 위험성을 증대시킨다. 이로 인한 각종 위험 유발 요소의 제거방법 중 첫째로 도로표지판의 이슬 맺힘 방지 기술을 들 수 있다. 그러나 각종 실제 시험 검토에서 효용성이 미흡한 상태로 나타났다.

표 1. 이슬 맺힘 방지 기술의 종류

방 식	검토(시험) 시기
투명코팅제 부착	99. 11.
액상 이슬방지제 분무	01. 04.
이슬방지용 반사지 설치	01. 06.
초발수성 재료 도포	02. 12.

두 번째로 적용할 수 있는 방법으로는, 이슬 맺힘으로 인하여 저하된 반사휘도를 높이는 방법으로서 조명시설을 설치하는 방법이 있다. 현재, 해외 선진국에서도 이슬방지에 뚜렷한 효과가 있는 반사지 및 도포 제품이 개발되지 않아 조명시설을 설치하고 있는 실정이다.

이러한 조명시설 설치시 고려되어야 할 사항은 조명방식(내부조명과 외부조명), 설치형태(조명방




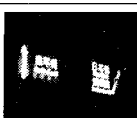
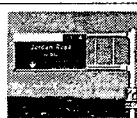
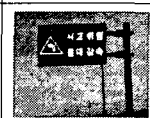
식에 따른 적정 형태), 조명광원(수명, 휘도, 연색성, 전력비용) 등의 검토가 선행되어야 한다.

2. 본 론

2.1. 조명방식 및 설치형태 선정

현재, 국내의에서 적용된 사례가 있는 조명방식은 표 2와 같다.

표 2. 조명방식 현황

구분	상향식	하향식	원거리식	
외부 조명				
구분	메탈크릴식	스트로브형	광섬유식	
내부 조명				
구분	외부 조명		내부 조명	
형식	<input type="checkbox"/> 상향식 <input type="checkbox"/> 하향식 <input type="checkbox"/> 원거리식		<input type="checkbox"/> 메탈크릴식 <input type="checkbox"/> 광섬유식 <input type="checkbox"/> 스트로브형	
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 상향식 특징 : 판독성 93% • 하향식 특징 : 판독성 56% • 원거리식 특징 : 판독성, 백색휘도우수 		<ul style="list-style-type: none"> • 메탈크릴식 특징 : 최근 사용 안함 • 스트로브형 특징 : 시험적 수준 • 광섬유식 : 해외 검토 단계 	

위 조명방식 중 시험적 수준의 스트로브형과 해외에서 검토중인 광섬유식은 검토 제외 하였다.


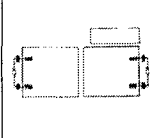
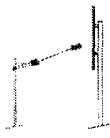
또한, 현재 설치된 사례가 있는 메탈크릴식의 경우는 상대적으로 고가인 점, 그리고 유지관리의 곤란함으로 검토 대상에서 제외하였다.

마지막으로, 외부 조명 방식 중 하향식의 경우 주간의 그림자 발생, 표지판 특성에 의한 유지보수의 불편함 그리고, 고휘도 반사지 특성으로 인한 상향식과 원거리식에 비해 상대적으로 낮은 관독성 문제로 검토 제외 되었다.

따라서 본 검토는 상향식과 원거리식을 대상으로 한다.

상향식과 원거리식 그리고 원거리식의 변형인 측면식의 설치형태는 표 3과 같다.

표 3. 설치형태 구분

구분	상향식	측면식	원거리식
특징	□ 표지 부착형	□ 표지 부착형	□ 단독지주형
설치 모습			
장단점	<ul style="list-style-type: none"> 차량 간섭 검토 필요 반대차량 눈부심 없음 야간 관독 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 차량 간섭 없음 야간 관독 우수 	<ul style="list-style-type: none"> 설치 및 보수시 교통 차단 불필요 조명 효율 미흡 반대차량 눈부심 우려

원거리식의 경우 반대 차로측의 글레어 발생 및 표지판과 광원의 거리가 상대적으로 멀어 높은 램프 용량과 다수의 광원이 필요한 관계로 본 검토에서는 상향식과 측면식을 채택했다.




2.2. 조명 광원의 선정

표지판 조명용 광원의 선정에 있어 우선 검토될 사항은, 고속도로(또는 일반도로)라는 특수 조건을 감안하여 유지보수를 줄일 수 있는 장수명 특성을 우선적으로 검토하여야 한다. 더불어 에너지 이용의 효율성 측면인 램프의 효율 그리고, 표지판의 높은 인식성을 위한 적정 휘도와 고연색성을 고려하여야 한다.

할로젠램프와 형광램프를 사전 시험 설치한 결과에서 할로젠램프는 짧은 수명으로 잦은 램프 교체가 필요하므로 교통차단이 빈번히 발생할 수 있고, 고휘도로 인하여 표지판 상의 글레어가 심화되어 표지판 관독이 불가능한 상태로 검토 제외 되었다. 형광등의 경우 높은 연색성 및 적절한 휘도로 표지판 관독의 우수함이 입증되었으나 동절기 방전불량 및 상대적으로 짧은 수명이 문제시 된 상태이다.

따라서, 본 검토에서는 사전 시험설치 결과 중 관독성이 우수한 형광램프를 포함하여 수명 특성이 우수한 고압나트륨램프, 무전극램프를 상대 비교기로 하였다.

표 4. 조명 광원의 비교

구분	형광램프 40W	고압나트륨램프 250W	무전극램프 150W
형태			
수명	4,000hr	12,000hr	60,000hr
연색성	65Ra	28Ra	80~90Ra
전력비	6만원/월·IC당	11만원/월·IC당	8만원/월·IC당
장단점	<ul style="list-style-type: none"> 미국은 88년, 일본은 02년부터 적용 램프 교체 주기(10개월) 동절기 방전 불량 	<ul style="list-style-type: none"> 고휘도로 인한 잔상 현상에 의해 눈부심 발생 낮은 연색성으로 표지판 색상 변화 램프 교체 주기(3년) 	<ul style="list-style-type: none"> 낮은 휘도와 삼파장대역의 연색성으로 높은 관독성 램프 교체 주기(15년)

※ 수명은 유효수명(초기 광속의 70% 도달 시점) 기준임

실제 시험 설치를 통한 비교에서는 무전극램프 보다 낮은 연색 특성과 동절기 방전 불량이 발생할 수 있는 형광램프를 제외한 고압나트륨램프와 무전극램프만을 대상으로 비교했다.

무전극램프의 경우 일부 구동부(무전극램프용 인버터)의 이상 발생시 교통차단 없이 유지보수를 행하여 램프의 장수명 특성을 극대화 할 수 있도록, 램프와 인버터의 이격거리가 25m 이상으로 설치될 수 있는 특수형 인버터를 선정하였다. 이러한 고려로 무전극램프는 램프와 인버터 간의 이격거리를 일정 거리 이상 길게 할 수 있는 램프로 한정되었음을 밝힌다.

2.3. 무전극램프용 표지판 등기구 설계

표지판 외부 조명 시설과 관련한 기준 조도는 각 국가별로 상이한 상태로 본 검토시 필요한 기준을 정하는데 있어 어려움이 있었으나 현재, 표지판 조명을 일반적으로 사용하는 국가인 일본, 미국의 기준 중 한국인과 유사한 시각감을 지닌 일본인 대상의 일본 표지판 외부 조명 시설 기준에 따라 적용 검토하도록 하였다.

표 5. 일본의 표지판 외부 조명시설 기준 [1]

구분	기준
평균조도	300 lux
최저조도	170 lux
균제도 (최대조도/최소조도)	4 이하

표 5의 기준으로 설계된 표지판 조명 시설의 시뮬레이션 결과 중 상향식 형태는 표 5, 그림 1, 그림 2를 참조하기 바란다. 참고로 상향식은 안내표지판 1면을 기준으로 시뮬레이션 되었다.

표 5. 상향식 시뮬레이션 결과 요약

광 원	무전극램프 150W
광원수량	2 set
총 광 량	24,000lm
평균조도	417.8 lux
최고조도	665.7 lux
최저조도	178.9 lux
균제도(최대조도/최저조도)	3.7

※ 표지판 사방 각 300mm 내부 조도 기준

그림 1. 상향식 시뮬레이션 조도 분포도

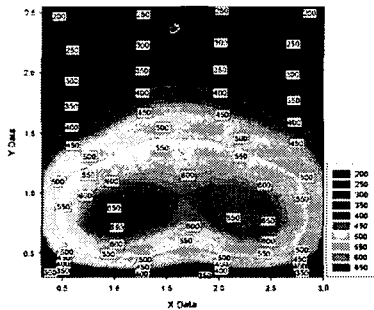
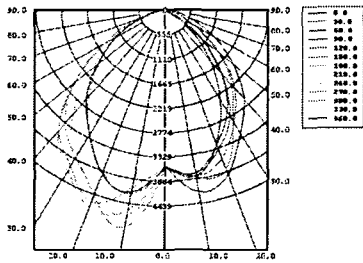


그림 2. 사용등기구 배광 및 배치도



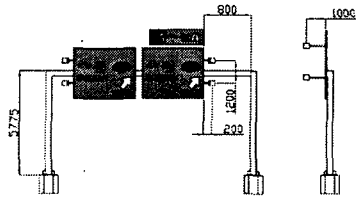
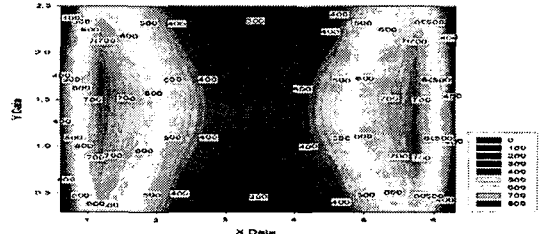
측면식 형태의 시뮬레이션 결과는 표 6, 그림 3을 참조하기 바란다. 참고로 측면식 형태의 시뮬레이션은 광원의 상호작용을 고려하여 안내표지판 2면을 기준으로 시뮬레이션 되었으며, 사용된 등기구 형태는 상향식과 동일하여 배광자료는 생략하였다.

표 6. 상향식 시뮬레이션 결과 요약

광 원	무전극램프 150W
광원수량	4 set(2면 기준)
총 광 량	48,000lm
평균조도	474.0 lux
최고조도	771.9 lux
최저조도	285.1 lux
균제도(최대조도/최저조도)	2.7

※ 표지판 사방 각 300mm 내부 조도 기준

그림 3. 측면식 시뮬레이션 조도 분포도



2.4. 현장 설치 및 조도 측정 결과

상향식 형태 및 측면식 형태의 설계결과를 토대로 현장 시험 설치를 2003년 10월 중 실시하였다. 시험설치 대상으로 원주IC(하행) 후방 0m, 150m, 1km, 2km 표지판의 경우는 측면식 형태로 설치 하였으며, 고압나트륨램프의 설치를 병행하여 광원 특성을 비교하였다. 또한 문막 IC(상행) 후방 0m, 150m, 1km, 2km 표지판의 경우는 상향식 형태로 설치하였다.

그림 4는 상향식 형태로 설치된 무전극램프의 야간점등 사진이며, 그림 5는 측면식 형태로 설치된 무전극램프의 야간 점등 사진이다. 참고로 본 사진은 육안 관측과 동일한 효과를 나타내기 위하여 Flash Hold, ISO-100, 노출보정 EV0, 조리개 f2.8, 셔터우선설정 1/8초로 촬영을 하였다.

그림 6은 무전극램프를 상향식 형태로 설치한 표지판 표면의 조도를 실측한 결과이다. 조도계는 MINOLTA-T10 장비이며 9포인트 측정결과 평균 조도 406.2 lx로 조명시설 검토 기준에 부합하였으며 사전 시뮬레이션 평균조도 결과인 417.8 lx의 97.2%로 시뮬레이션 결과에도 부합되었다.

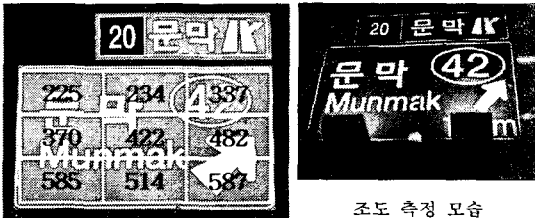
그림 4. 무전극램프 상향식 설치 사진



그림 5. 무전극램프 측면식 설치 사진



그림 6. 표지판 표면 조도 실측 결과



조도 측정 모습

2.5. 표지판 조명 점소등 비교

표지판 조명 시설의 효율성 검증 측면에서 표지판 조명의 소등 후, 차량 전조등 광원만이 표지판에 영향을 주는 시점을 촬영한 사진이 그림 7이며 차량 전조등 영향 없이 표지판 조명 점등 후 촬영한 사진이 그림 8이다. 촬영 위치가 정확히 정면이 아니어서 차량 전조등의 영향이 미흡할 수는 있으나 표지판 조명으로 인한 표지판 판독성의 기여도가 큼을 충분히 예측할 수 있다.

표지판 조명의 부수적인 효과는 차량의 전조등이 표지판에 영향을 주지 못하는 표지판 후방 약 1km 위치에서도 표지판의 유무를 쉽게 구별할 수 있어, 표지판 설치 상황을 운전자에 미리 인식시킬 수 있는 주목성이 증대되어 표지판 판독성을 높이는 데 기여할 수 있다.

참고로 그림 7의 경우 광량의 부족으로 셔터우선설정 1/2초 촬영임을 알려둔다.

그림 7. 표지판 조명 소등 후 전조등 영향 있음

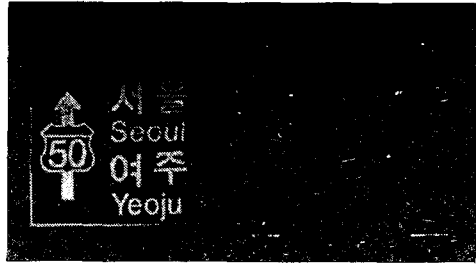


그림 8. 표지판 조명 점등 후 전조등 영향 없음

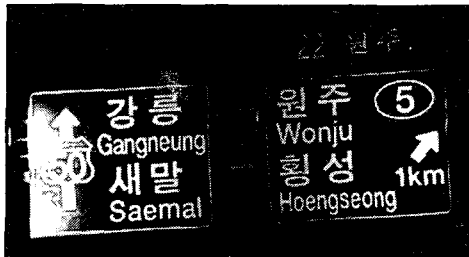


2.6. 고압나트륨램프와의 비교

그림 9는 고압나트륨램프가 설치된 표지판 사진이다. 좌측은 고압나트륨 250W가 설치되었으며, 우측은 무전극램프 150W가 설치되었다.

고압나트륨램프는 높은 휘도 및 광량으로 조명이 조사되는 전반부에서 눈부심 현상이 발생됨을 느낄 수 있으며, 특히 고압나트륨램프는 낮은 연색특성으로 흰색의 글자를 노랑색으로 인식하게 하고 있다.

그림 9. 고압나트륨램프와의 비교 설치



2.7. 결로 현상에 대한 효율성

본 검토의 중요 목표인 결로현상 발생시의 표지판 외부 조명의 효율성은 그림 10, 11에서 알아볼 수 있다. 그림 10은 표지판 조명 소등 후 차량 전조등 영향하의 결로 현상 상태의 촬영 사진이다. 표지판 표면부가 얼룩져 보이는 현상이 발생되며 특히 표지판의 흰색 글씨 부분 및 과속 단속 표지판의 검정색 글씨 부분이 더욱 얼룩져 보여 글씨의 판독성이 낮아 졌다.

반면, 그림 11은 표지판 조명 점등 후 결로 현상 상태의 촬영 사진이다. 앞서의 그림 10에서 나타난 얼룩이 제거되어 결로 현상이 없는 경우처럼 인식됨을 알 수 있다. 즉 표지판 조명이 결로현상 발생시 감소되는 반사휘도를 보완함으로써 운전자의 표지판 판독성을 높일 수 있음을 유추할 수 있다.

참고로 그림 10의 경우 광량 부족으로 셔터우선 설정 1/2초 촬영임을 알려 준다. 따로 명시하지 않은 촬영 조건은 2.4. 현장 설치 및 조도 측정 결과 에서 언급한 촬영조건과 동일하다.

그림 10. 결로현상 발생시 표지판 조명 소등

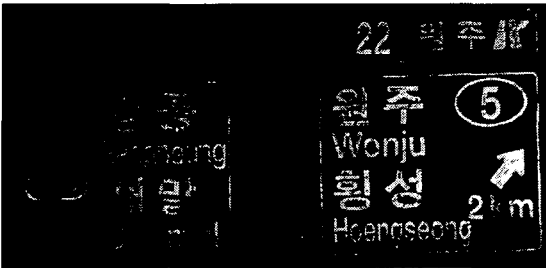
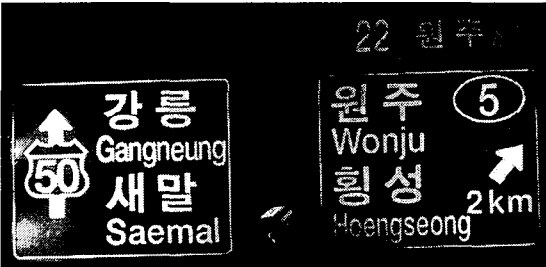


그림 11. 결로현상 발생시 표지판 조명 점등



3. 결 론

일련의 검토과정에서 기후 변화로 인해 발생하는 도로 표지판의 결로현상으로 낮아진 표지판의 판독성을 높이는 가장 효과적인 방법은 결로현상으로 인해 저하된 반사휘도를 인공적인 외부 조명 방식을 이용하여 높이는 방법이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 그리고 외부 조명 방식의 적용시 광원에서 발산되는 적외선 파장대의 영향으로 결로현상 방지의 역할도 일부 기대할 수 있으리라 예상된다.

또한, 표지판외부 조명 시설 기준을 모두 만족하는 광원이 다수 있는 경우에는 도로 시설물이라는 특수 상황을 고려하여 가장 유지보수가 적은 광원의 선택을 우선시 하여야 하며 표지판 인식에 가장 큰 영향을 주는 빛의 질적인 측면 즉 적정

휘도와 높은 연색성은 필수라고 할 수 있겠다. 결론적으로 본 검토에서 선정된 무전극램프는 이러한 요건에 부합되는 적합한 광원으로 판단된다. 부가적으로는 무전극램프의 높은 효율로 에너지 절감을 추가로 기대할 수 있으며 램프 구동부인 인버터 부분을 차량의 영향이 없는 갓길부에 설치함으로써 유지보수의 편의성을 극대화 할 수 있다.

향후, 상향식 형태 또는 측면식 형태의 적용은 도로여건 등을 고려하여 적용해야 할 것으로 예상되며, 현재 운영되고 있는 도로 표지판 시설의 지지 구조물이 규격화 및 통일화 되어 있지 않으므로, 표지판 조명시설물을 안전하고 신속히 설치할 수 있는 부속 구조물과 고정방법에 대한 검토가 추가로 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) 일본도로공단, “외부조명등공”, 토목공사공통사양서, 16편-3조-6항.