

제설 기능을 갖는 LED 신호등 렌즈 개발*

이 동 은** · 설 동 열***

Development of LED Traffic Light Lens with snow removing function

Lee Dongeun · Seol Dongyul

〈Abstract〉

It is necessary to develop an LED traffic light lens having a snow removal function capable of clearly providing a traffic signal to the driver even when a traffic light is blurred due to heavy snow and wind in the winter season. This study is focused on the research and development of the traffic light lens in the process of developing the LED traffic light with the snow removal function. In the developed traffic light lens, instead of attaching the film heater, the coated nichrome wire was wound into a coil shape and inserted directly into the groove in the lens. The developed heater system facilitates the insertion of the heating wire with high elasticity into a curved lens and can provide a sufficient heat without deformation of the PC lens. The proposed traffic lights were tested in various external environments and the test results showed that complete snow removal is possible without tunnel effect.

Key Words : LED Traffic Light, Snow Removing, Adaptive Heater Control

I. 서론

겨울철 이상기온으로 인한 국지성 폭설과 바람에 의한 신호등 렌즈의 가림 현상은 일본, 북미, 러시아, 우리나라 등에서 많이 발생한다. 초기 신호등은 100W~200W 백열등을 사용하였고, 백열등에서 발열한 열량으로 인해 일정시간 후 자연스럽게 제설이

되었다.

이후 신호등은 에너지 절약, 시인성 개선, 유지보수 용이성 등 기존 백열신호등에 비해 우수한 성능을 보이는 LED신호등으로 교체되어 왔다. 하지만 LED신호등은 에너지 효율이 높은 대신 자체 발열량이 작기 때문에 쌓인 눈이 녹지 않아 동절기 운전자의 안전에 위협이 되고 있다. Chicago Tribune은 더 밝고 내구성이 높은 LED신호등이 보급되어 90% 이상의 에너지를 절약할 수 있어 예산을 절감할 수 있으나 열을 거의 내지 않기 때문에 눈을 녹이는데

* 본 논문은 2014학년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었음.

** 청운대학교 컴퓨터공학과 교수

*** 아이모비 개발이사

문제가 있다고 언급하였다[1].

본 연구는 동절기 폭설과 바람의 영향으로 신호등 렌즈에 눈이 쌓이는 신호등 가림현상이 발생되더라고 운전자에게 교통신호를 안정적으로 제공할 수 있는 제설 기능을 갖는 LED신호등을 개발하였고, 제설 신호등 렌즈의 개발과정을 중심으로 논문을 구성하였다. 제설 신호등 렌즈는 발열을 위한 열선을 부착하였고 외기온도에 따라 적응적으로 히터의 발열량을 조절하도록 구현하였다. 최종적으로 선택한 발열을 위한 열선 소재는 피복을 입힌 니크롬선을 사용하였고, 이를 곡면의 신호등 렌즈에 삽입 장착하였다. 제설 신호등은 다양한 환경에서 시험을 실시하였고, 외기온도에 따른 히터의 동작을 적응적으로 제어함으로써 낮은 소비전력으로 완전한 제설이 가능하고 렌즈 및 히터의 손상이 최소화됨을 검증하였다.

본 논문은 2장에서 신호등 착설에 대비하기 위한 기존 연구를 살펴보고, 3장에서 열선을 부착한 신호등 렌즈 개발 과정과 시험결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서 결론을 기술한다.

II. 관련연구

동절기에는 폭설과 바람에 의해 그림 1과 같이 신호등 렌즈의 가림 현상이 발생한다. 눈이 쌓여 신호등을 보지 못하고 직진하는 차량으로 인해 사망으로 이어지는 교통사고가 발생하는 등 겨울철 LED 신호등은 운전자의 안전에 위협이 되고 있다. LED 신호등은 이전의 백열등신호등에 비해 에너지 효율이 80~90% 이상이지만 자체 발열량이 작아 신호등에 붙은 눈이 녹아내리지 않기 때문이다.



<그림 1> 눈이 쌓인 신호등

신호등 착설에 따른 안전사고를 예방하기 위해서 지금까지 다양한 시도가 있었다. 적설로 인해 신호등이 보이지 않으면 모든 방향이 정지신호인 것처럼 간주하고 행동해야 한다고 Fox31, Huffington Post는 운전자 대응방안의 중요함을 지적하였다. 겨울철에 신호등 렌즈에 착설된 눈은 수 일이 지나도 녹지 않을 수 있으며, 일본, 미국에서는 사다리차나 소방차를 이용하여 렌즈에 쌓인 눈을 제거하기도 한다. 한편, 안전사고 예방을 위한 기술적인 대안으로 신호등 렌즈 위에 쉐를 씌우고 대류현상을 이용하여 적설을 방지하거나, 적설 시 보조 신호등 역할을 하도록 쉐 아래에 LED를 설치하는 등의 시도가 있었다 [2].

콜로라도 교통국은 저가의 예산(대당 \$20)으로 이 문제를 해결할 수 있는 그림 2(좌)의 Snow Scoop Tunnel Visor를 제안한다. 그 원리는 쉐의 상단이 열려 있음으로써 강풍이 신호등의 렌즈를 맞고 대류를 만들어서 신호등에 눈이 쌓이는 것을 방지한다는 것이나 적설 문제를 해결할 수 있는지 실험적 고찰이 뒷받침되지 않고 있다[3].



<그림 2> 적설에 대비하기 위한 신호등

일본에서도 신호등 가림현상을 해결하기 위해 중형신호등, 두께가 얇은 박형 신호등, 앞쪽으로 약간 기울여 설치한 신호등 등을 설치하여 신호등 상단에 눈이 쌓이는 면적을 줄이도록 조치하거나, 그림 2 (우)와 같이 신호등 쉐에 전선을 연결하고 쉐 하단에 별도의 LED를 배열함으로써 렌즈에 눈이 덮일 경우에 운전자로 하여금 쉐 하단의 LED 불빛을 관측하여 현재의 신호등 등화 상태를 볼 수 있도록 시범운영하고 있다[4-5].

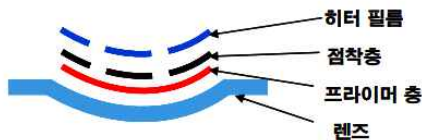
국내에서도 동절기 신호등 가림현상 사례가 관측되고 있고 이에 대한 대비책 마련이 필요한 실정이다[6-9].

III. 제설신호등을 위한 렌즈 개발

3.1 열선을 부착한 신호등 렌즈 개발

3.1.1 프라이머 및 점착제 선정

신호등 투명 렌즈는 폴리카보네이트(polycarbonate, 이하 PC) 재질로서 내충격성, 내열성, 투명성은 우수한 물성을 가지고 있으나 유기 용제에 취약하고 내스크래치성이 약한 특성을 가진다. 초기 개발과정에서는 곡면 PC렌즈에 평면의 필름히터를 부착하기 위해 점착 강도와 안정성을 고려하여 프라이머와 점착제 선정, 발열체 부착, 물성 테스트로 나누어 다양한 연구를 진행하였다.



<그림 3> 열선을 부착한 신호등 렌즈의 구조

먼저 프라이머는 PC 렌즈에 영향을 주지 않고 부착력이 우수한 에폭시와 폴리에스터 수지에 대해 적용 가능성을 검토하였다. PET(Polyethylene terephthalate, 이하 PET) 히터필름과 렌즈 간의 양면에 1~2 μ m이 내(건조기준)로 코팅하고 24시간 경과 후 프라이머 도막의 부착 특성을 테스트하였다. 두 가지 모두 PET 필름과 PC렌즈에 프라이머로서 양호한 물성 특성을 보였으나 점착제와의 부착력 면에서 에폭시 프라이머의 성능이 다소 낮아 폴리에스터 프라이머를 최종적으로 선택하였다. 표 1은 폴리에스터 프라이머의 PET 필름과 PC렌즈에서의 물성 특성을 보여준다.

<표 1> 폴리에스터 프라이머의 물성 특성

종류 시험항목	PET필름	PC렌즈	비고
부착력	2300g/inch 이상	2300g/inch 이상	테이프 테스트
내스크래치성	4H	4H	연필경도계
내열성	130°C이상	130°C이상	오븐테스트 후 테이프 테스트

다음으로 PC렌즈에 PET필름으로 지지된 히터를 부착하기 위해 히터의 발열을 감안한 내열 점착제가 필요하다. 내열 점착제는 실리콘계 점착제와 UV 경화형 아크릴 점착제가 주로 사용되며, 이들 점착제를 대상으로 적용 가능성을 검토하였다. 실리콘계 점착제는 내열성, 내구성, 투명성이 우수하나 부착력이 다소 약한 것이 단점이다. 본 연구의 부착력에 대한 정량적 목표는 1500g/inch 이상으로 기존 실리콘 점착제로는 목표 달성이 어려웠고, 다양한 첨가제를 조합한 결과 내열성, 내구성, 투명성은 기존 물성을 유지하면서 부착력이 2000g/inch인 점착제 조성물을 완성하였다. 프라이머를 PC렌즈와 PET필

름에 도포, 건조시킨 후 새롭게 제조한 실리콘 접착제를 도포하고 물성을 측정된 결과 표 2의 결과를 얻었다.

<표 2> 실리콘 접착제의 물성 특성

종류 프라이머	PET필름	PC렌즈	비고
폴리에스터	2500g/inch	2400g/inch	실리콘접착제 사용
에폭시	14004g/inch	1400g/inch	실리콘접착제 사용

에폭시 프라이머는 표 1과 동일한 부착력을 보였으나 위의 표2에서 보는 바와 같이 에폭시 프라이머와 실리콘 접착제 간의 계면 부착력이 약해 접착력이 저하되는 현상을 보여 프라이머로서 에폭시는 제외하였다. 아크릴 접착제에 자외선(Ultra Violet, 이하 UV)에 반응하는 경화제를 투여하여 내열성을 증대시킨 접착제의 경우 두꺼운 PET필름 및 PC렌즈로 인해 투과율이 저하되어 경화가 잘 일어나지 않았다. 3~5회 UV 조사를 반복하면 경화는 일어나지만 접착제가 누렇게 변하는 황변이 발생하여 투명도가 떨어지며 접착 물성도 좋지 않았다. 따라서 접착제는 첨가제를 포함한 실리콘 접착제를 선택하였다.

PET필름에서의 프라이머 코팅은 필름이 평면 형태이므로 그라비아 코팅, Mayer Bar 코팅 등 쉽게 코팅이 가능하다. 그러나 PC렌즈는 곡면 형상이므로 PET 필름에서 적용할 수 있는 코팅 방식을 사용할 수가 없으며, PC의 특성 상 유기용제에 용해되므로 백탁 현상 발생을 최소화할 수 있도록 용제 선정이 중요하다. 본 연구에서는 Toluene, MEK(Methyl ethyl ketone) 등 유기용제를 5% 이내로 최소화하고, 부탄올, 셀로솔브 등 용제를 알콜류로 대체하였으며, 붓이나 실크 스크린에 비해 비교적 균일한 코팅막을 얻을 수 있는 3Cm 폭의 부직포 롤러로 코팅

하였다.

PC렌즈는 재료의 특성 상 실리콘 접착제를 PC에 직접 도포하면 투명한 렌즈가 녹아 백탁 현상을 일으킬 수 있다. 따라서 양면테이프처럼 중간에 실리콘 접착제를 끼워 넣어 만든 투명한 무기재 필름을 제조하고, 그 위에 PET 히터필름을 부착한 후 그림 3과 같이 PC 렌즈에 부착하여 신호등 렌즈를 제작한다. 평면인 PET 히터필름을 곡면의 PC렌즈에 부착하는 과정에서 그림 4와 같이 특별한 치구를 만들어 프레스로 눌러 붙임으로써 기포나 부착강도를 유지하도록 하였다.



<그림 4> 신호등 렌즈에 PET 히터필름 부착과정 (좌)과 치구(우)

3.1.2 발열 히터의 개발

제설 기능을 갖는 LED 신호등 렌즈를 개발하기 위해 카본, 스테인레스 소재의 히터필름을 거쳐 최종적으로는 피복을 입힌 니크롬히터를 PC렌즈에 삽입하는 방식으로 개발을 진행하였다.

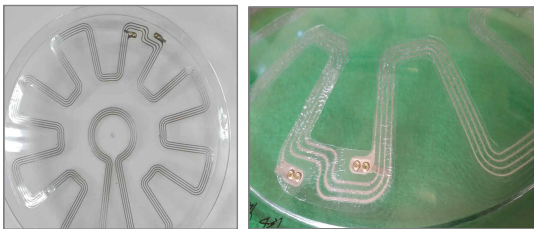
PET 필름에 카본을 인쇄한 카본 히터는 다른 재료에 비해 유연성이 우수하여 PC렌즈에 부착이 용이하며 제조 비용이 적게 소요된다. 그러나 전기적 작동전압의 범위(내압)가 작고 발생되는 발열량이 낮아 제설용 히터필름에 적용시키기에는 용이하지 않았다.



<그림 5> 부착된 카본 히터필름(위)과 단선 현상(아래)

또한 온도가 올라감에 따라 PET 필름의 변형으로 인해 카본입자에 균열이 발생되고 단선으로 이어지는 히터 소재의 내구성에 큰 결함이 발생하였다.

PET 필름에 스테인레스를 인쇄한 스테인레스 히터는 히터 소재의 내구성이 우수한 특성을 가진다. 스테인레스 히터는 카본히터의 저항(약 600Ω)에 비해 낮은 저항(40~60Ω)을 가지므로 높은 구동전류를 요구한다. 신호등 제어기의 출력 전류는 최대 10~15암페어인 반면 스테인레스 히터는 신호등 렌즈당 2~4암페어의 구동전류가 필요하여 사거리(제설 신호등의 렌즈가 24개가 설치) 환경에서는 요구되는 팬아웃을 제공할 수 없어 제설신호등 히터로 부적합하다.



<그림 6> 부착된 스테인레스 히터필름(좌)과

필름크랙(우)

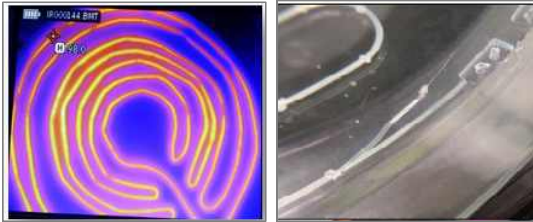
저항 값을 올리고 구동전류를 줄이려면 히터의 선폭을 더 미세하게 가공해야 하나 필름 가공비용에서 원가상승이 수반되며, 스테인레스의 강한 탄성으로 인해 접착 공정에 어려움이 있으며, 히터에서 발생하는 열로 PET 필름에 크랙이 발생하는 문제도 발생하였다. 또한 스테인레스는 PC렌즈 표면에 히터가 있는 곳과 없는 곳의 열분포 편차가 40도 이상 차이가 나서 터널효과가 발생되었다. 터널효과는 렌즈표면에서 열이 높은 부분만 녹고 열이 낮은 부분은 녹지 않기 때문에 신호등 외부에 쌓은 눈은 계속 덮혀 있으면서 렌즈 표면 부분만 녹아 내부 비어있는 공간이 터널처럼 발생하는 현상으로서 외부에서는 신호등의 상태를 확인할 수 없게 된다.



<그림 7> 스테인레스 히터필름의 열분포

필름 방식 히터의 문제점을 해결하기 위해 필름을 사용하지 않고 1미터당 150Ω의 저항을 갖는 0.1밀리미터의 니크롬선을 렌즈에 직접 삽입하여 테스트를 진행하였다. 니크롬선 히터는 내구성이 우수하고 스테인레스 히터에 비해 저항값 조절은 용이하였다. 그러나 히터를 직접 삽입 후 PC렌즈의 온도를 측정한 결과 렌즈 표면 중 일부의 온도는 98도 정도로 히터 접촉면 주변에 온도의 과도한 상승으로 인

해 노랗게 변형이 되는 황변이 발생하였다.



<그림 8> 직접 삽입한 니크롬선 히터(좌)와 니크롬선+피복(우)

위의 문제를 해결하기 위해서 그림8(우)과 같이 PC 렌즈에 레이저 가공을 통해 홈을 파고 니크롬선에 250도 고온에서도 견딜 수 있는 불소계 수지로 만든 자켓을 입힌 히터를 개발하였다. 니크롬+불소계 피복의 히터는 고온에도 견딜 수 있었으며 열충격을 완화시켜 PC렌즈로 전달할 수 있게 되었다. 그러나 히터가 탄성이 큰 강선이므로 곡면의 렌즈 홈에 삽입 작업이 어렵고, 조립 후발열 시에는 니크롬선이 늘어나면서 홈에서 이탈하게 되어 PC렌즈에 열 전달력이 떨어지는 문제가 발생하였다. 또한 불소계 수지로 만든 피복을 PC렌즈에 접촉시킬 수 있는 접착제가 없는 문제로 제설용 렌즈에 적용할 수 없었다.

최종적으로 본 연구에서는 작업이 용이하도록 니크롬선의 길이를 기존 니크롬선 길이보다 3배 이상 늘려 강선의 탄성을 줄이고, 온도가 상승할 때 오히려 수축하는 특성을 갖는 고온용 섬유를 중심에 두고 니크롬선을 코일 형태로 감아 히터를 형성하였다. 또한 피복은 고온용 실리콘 또는 우레탄을 사용하여 개선하였다. 이로 인해 니크롬선의 탄성이 커서 곡면의 렌즈 홈에 끼워 작업하기 힘든 문제를 해결하였고, 온도상승에 따라 히터선이 늘어나서 렌즈의 홈에서 이탈하는 현상을 고온용 섬유의 수축 상쇄작용을 통해 줄일 수 있었다.



<그림 9> 최종 개발한 니크롬선 히터(좌)와 니크롬선+피복(우)

또한 코일형태로 히터를 제작하였기 때문에 히터가 PC렌즈에 닿는 표면적을 증가시켜 제설에 필요한 충분한 열을 만들어 낼 수 있었다. 최종적으로 개발한 히터는 그림 10과 같이 PC렌즈 표면에 열분포 차이가 20도 미만의 분포도를 보였고 이로 인해 스테인레스 필름과 달리 터널효과를 해결하고 빠른 제설 성능을 보일 수 있었다.



<그림 10> 최종 개발한 니크롬선 히터의 열분포

3.2 열선을 부착한 신호등 렌즈의 시험











제설 신호등의 기능성을 실험하기 위하여 실제로 도로 및 옥외에 기존 신호등과 병행하여 신호등을 설치하였다. 실제로도 시험은 당진군 계성초교와 아산

시 배방중학교 2개소에서 진행되었고, 강설량 부족으로 현장시험이 용이하지 않을 경우에 대비하여 옥외 시험은 홍성군 결성산업단지에서 지속적으로 관측하였다. 그림 11은 옥외에 설치한 신호등 렌즈의 제설 성능 결과로 시간에 따라 제설기능이 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

는 기존 신호등은 히터 발열이 없으므로 쉽게 얼음으로 고체화되어 나타나는 현상으로 판단되며, 제설 신호등은 고드름에 의한 안전운전 방해요인을 오히려 줄일 수 있음을 보여주었다.

IV. 결론

제설 기능을 갖는 LED 신호등은 동절기 안전사고 예방을 위해 국내외에서 많은 관심과 수요가 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 제설 신호등을 개발하는 과정에서 신호등 렌즈의 연구개발 내용을 중점적으로 소개하였다. 제설 신호등 렌즈는 필름히터를 부착하는 방식 대신 최종적으로 피복을 입힌 니크롬선을 신호등 렌즈에 삽입 장착하였다. 제안한 방식은 열선 삽입작업의 수월성을 제고하고, 고온에서도 황변과 PC렌즈의 이탈 없이 충분한 발열량을 제공할 수 있었다. 제안한 신호등은 외부 다양한 환경에서 시험을 실시하였고, 시험 결과 터널효과 없이 완전한 제설이 가능함을 보여주었다.

경과시간	형 상
초기	
5분	
10분	
15분	
20분	
25분	
30분	
35분	
40분	
45분	

<그림 11> 연속 강설 시 옥외시험
(좌 2개: 적색, 황색은 제설신호등, 우 2개: 화살표, 초록은 기존 신호등)

한편 히터기능으로 인하여 신호등에 있던 눈이 녹아내릴 때 이로 인한 발생하는 고드름의 영향을 검토하였다. 관측 결과 일반신호등 하단의 고드름이 제설 신호등의 고드름보다 더 길게 형성되었다. 이

참고문헌

- [1] http://articles.chicagotribune.com/2009-12-29/news/0912300205_1_traffic-signals-energy-efficiency-intersections
- [2] https://www.huffingtonpost.com/wires/2009/12/15/energyefficient-stoplight_ws_393643.html
- [3] <http://www.thedenverchannel.com/news/22049107/detail.html>
- [4] 차시호, “차량의 이동 방향과 거리 기반의 그리디 에니캐스트 포워딩 프로토콜,” 디지털산업정보학회 논문지, 제13권, 제1호, 2017, pp. 79-85.
- [5] 김정숙, “사물인터넷 서비스의 중점 표준화 항목 도출 및 전략에 관한 연구,” 디지털산업정보학회 논문지, 제12권, 제1호, 2016, pp. 13-26.
- [6] 경찰청, LED 교통신호등 표준지침, 경찰청, 2003.
- [7] 도로교통안전관리공단, 교통신호등 규격서 개선 방안 연구, 도로교통안전관리공단, 2003.
- [8] 산업자원부, 에너지절약형 LED 교통신호등 규격 연구 및 시스템 개발, 2002.
- [9] Iwasaki, Randell H., “LED Traffic Signal Modules as an Incandescent Lamp Alternative,” ITE Journal, 2003.

■ 저자소개 ■



이 동 은
(Lee Dongeun)

2000년 3월~현재
청운대학교 컴퓨터공학과 교수
2000년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)
1996년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)
1991년 2월 전북대학교 전자계산기공학과
(공학사)

관심분야 : 컴퓨터네트워크, IoT
E-mail : delee@chungwoon.ac.kr



설 동 열
(Seol Dongyoul)

2016년 3월~현재
아이모비 개발이사
2014년 3월~2016. 2월
충청정보통신 개발이사

관심분야 : 디지털회로, 전자회로
E-mail : androi714@naver.com

논문접수일 : 2017년 11월 21일
수정일 : 2017년 11월 29일
게재확정일 : 2017년 12월 07일