

항공장애등용 lens 재질선정에 대한 평가기술

조진중, 심대섭, 김진기*, 고흥열*
한국전기연구원, 진광이앤씨(주)

Assessment of select material for LED aviation obstacle light

Jin-Joong Soh, Dae-Sub Shim, Jin-Ki Kim*, Heung-Ryeol Koh*
Keri, Jin Kwang E&C Corp.*

Abstract - 국내의 가공 송전선 지지물(60m~180m)에는 야간에 항공기의 안전한 운항을 위한 목적으로 태양전지식 LED 항공장애등(LED aviation obstacle light) 및 그 조절장치를 사용하게 되어있다. 항공장애등은 설치되는 지역이 산간지역등과 같은 환경적인 가혹인자에 노출되기 때문에 등구(globe)의 온도충격 및 온도변화에 따른 크랙방지, 자외선에 강한 재질, 투과성이 우수한 재질을 선정하는 것이 중요하다. 따라서 본 평가기술에서는 여러 제품의 엔지니어링 플라스틱에 대하여 장시간 평가시험이 필요한 내후성시험을 통하여 우수한 재질을 선정하여 등구를 제작하여 항공장애등에 적용하고자 한다.

1. 서 론

현재 국내의 가공 송전선 지지물(60m~180m)에는 야간에 항공기의 안전한 운항을 위한 목적으로 태양전지식 LED 항공장애등(LED aviation obstacle light) 및 그 조절장치를 사용하게 되어 있다. 본 기술지원사업과 관련하여 수행하고자 하는 사항들은 가공 송전선 지지물인 송전철탑에 설치되는 항공장애등 및 그 조절장치에 적용된다. 광의적으로는 등구(globe)를 구성하는 핵심요소로써 광원을 집광하여 원하는 광도를 발휘하기 위한 전달매체인 렌즈 및 구성요소(발전요소-조절장치-등구-프레임)간의 요구되는 원활한 동작특성을 발휘토록 구성되는 시스템 개발에 있다. 세부적으로는 내환경성이 우수한 재질의 선정 및 광학적인 설계와 평가기술의 표준화 정립에 있다. 특히 설치되는 지역이 산간지역 등과 같은 환경적인 가혹인자에 노출되기 때문에 내환경성 및 내구성이 특별히 요구되어 왔다. 따라서 본 기술지원사업에서는 이러한 문제점을 개선하여 요구되는 내구수명까지 효율적으로 적용할 수 있도록 재질의 선정, 설계 및 평가에 있어 아래와 같은 세부항목들에 대해서 단계적인 정립과 검증을 통해 궁극적으로는 최종목표를 달성함에 있다.

2. 본 론

2.1 온도충격, 온도변화 및 자외선(UV)에 강한 등구의 재질선정

항공장애등의 설치개소가 가공 송전선 지지물인 송전철탑이기 때문에 주로 산악지역이라는 환경인자에 지속적인 영향에 노출되어 사용되어야 한다. 이것은 계절적인 가혹요소에 상시적으로 노출된다는 것을 의미하는 것으로서 열적인 안전성이 고려되어야 하는 등구의 렌즈에 있어서 계절적인 변화요인에 순차적으로 노출됨에 따라 국부적인 미세한 크랙이 점진적으로 진전되어 결국에는 파괴현상이 발생될 수 있다. 온도충격 및 온도변화를 고려한 범용의 플라스틱, 더 나아가 신뢰성이 입증된 엔지니어링 플라스틱(EP)을 선정해야 하는 것이 난점으로 남게 되었다.

현재 사용 중인 항공장애등용 렌즈의 재질은 일정시간이 경과된 후에 투명한 색상이 변색되는 황변현상과 크랙 발생으로 빈번한 사후조치가 발생되어 높은 철탑에 올라가 해당 렌즈를 교환해야 하는 번거로움으로 말미암아 인력투입과 경제적인 부담이 큰 것이 현실이었다.

그러므로 제논램프방식의 송전철탑용 태양전지식 항공장애등을 독자적으로 연구개발하여 양산에 적용하고 있으며, 이러한 문제점을 개선하고자 램프방식을 LED방식으로 변경하고, 렌즈의 재질은 여러 종류의 EP 재질 중에서 내후성이 우수하고, 투과율이 가장 좋은 재질을 선정하여 관련된 평가기술과 기준방안을 제시 및 시험방법을 개선하여 이들의 문제점을 해결하고자 한 것이다.

자외선에 의한 분해는 고분자 자체 또는 고분자 중합 중의 불순물, 촉매잔류물, 잔존 monomer 등에 있는 발색단이 UV에너지를 흡수하여 다른 형태의 에너지로 방출시키지 못할 경우 자유 radical을 생성하여 분해를 일으킨다 이를 방지하기 위하여 UV 안정제를 사용하고 UV안정제의 효능시험은 촉진내후성시험과 옥외폭로시험으로 구분할 수 있는데 먼저 촉진내후성시험은 단기간에 결과를 알 수 있고 지역, 계절 또는 기후 등의 영향을 받지 않고 빛, 습도 또는 열 등의 조건을 동시 또는 선택하여 실험할 수 있는 장점이 있다.

그리고 옥외폭로시험은 시험기간이 장기간 소요되지만 실제 사용

조건에서의 시험으로 신뢰도를 높일 수 있다. UV 안정화 효과는 광택, chalking, 변색, 크랙 등의 광학적 성질변화와 신율, 인장강도, 충격강도 등의 기계적 성질변화 및 분자량, 분자량분포 또는 점도 등의 물리적 성질의 변화로 알 수 있다. 촉진내후성시험기는 Xenon lamp type를 사용 했으며, 자외선(UV)에 대한 변색정도를 장기간 관찰 및 변색기구에 대한 결과를 알아보았다..

황변지수와 관련된 규격은 KS M 3832로서 빛, 열 등의 환경에 노출시킨 플라스틱의 열화평가에 사용되며 초기 황색도와 폭로 후의 황색도 차에 따라 표시하는 것으로 규정되어 있다.

2.2 성능확인시험을 통한 재질검증

자외선(UV)에 대한 변색정도를 장기간 관찰 및 변색기구에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

본 지원사업을 통하여 지원기업의 생산성 향상, 제조원가 절감 및 렌즈의 황변과 크랙 발생을 개선하기 위하여 EP의 재료 중에서 선정된 PC에 있어서 4개의-grade에 대하여 100시간 단위로 가속열화 시험인 내후성시험을 실시하여 인장강도, 신장률, 황변도 및 충격강도 시험을 실시하였으며, 시험결과에 따라 우수한 재질을 선정하여 렌즈 제작에 사용하였고, 최종적으로 광도시험을 실시하였다.

<표 1> Weather-ometer에 의한 가속열화 실험조건

Test apparatus	WOM	
Lamp	3.5W xenon arc lamp × 1	
Inner & outer's filter	Borosilicate glass	
Rotating speed	1 rpm	
Condition of specimen spray	Nozzle diameter	1.2mm × 2
	Pressure	30psi
	Specimen spray	0.2l/min.
Water spray's sytle	102min spray / 18min water spray	
Temperature	63 ± 2T(UV)	
Humidity	Dry : 50 ± 5%, Wet : 80 ± 5%	
Low cut-off	275nm	

내후성을 1,000시간 실시한 결과 치수변화와 뚜렷한 결모양의 변화는 확인할 수 없었다. 인장시험을 실시한 결과는 표 2와 같이 시료 A, B 및 C는 상온에서의 인장강도 값은 6.7-7.2kgf/m²로서 비교적 안정된 값을 나타내었고, 상온시험을 기준으로 계산한 인장잔율은 시간의 증가에 따라 감소하여 1,000시간 후에는 85-90%의 안정된 값을 보여주고 있다. 인장시험편은 KS M 3006(플라스틱의 인장성 측정방법)의 1호 시험편으로 제작하였으며 100시간 당 3개의 시험편으로 인장속도 10mm/min, 표점거리 50mm로 시험하였다.

<표 2> 내후성시험 전·후의 인장강도 변화값

구분	시험결과			
	시료 A	시료 B	시료 C	
인장강도(kgf/m ²)	상온시험	7.23	6.73	6.87
인장잔율 (%)	100시간 후	93.5	93.5	95.3
	200시간 후	92.8	99.2	96.2
	300시간 후	92.0	95.8	90.1
	400시간 후	90.2	88.4	86.4
	500시간 후	97.6	86.0	85.9
	600시간 후	91.2	84.7	83.8
	700시간 후	89.2	86.1	83.3
	800시간 후	94.2	84.8	84.5
	900시간 후	89.8	84.8	86.5
	1,000시간 후	88.9	84.8	85.1

표 3과 같이 A, B 및 C는 상온에서의 신장률값은 95-110%를 나타내었고 상온시험을 기준으로 계산한 신장잔율은 초기에는 안정된 값을 나타냈지만 내후성 시간이 증가함에 따라 21-79%의 큰 차이를 보여주고 있다.

시료 A는 900시간까지는 안정된 값을 나타냈지만 1,000시간 후에는 79%로 감소하였으며 시료 B는 초기에는 안정되었지만 500시간 이후부터 감소가 시작되어 1,000시간 후에는 21%까지 급격하게 감소하는 것으로 나타나고 있다. 시료 C 또한 시료 B 같이 초기에는 안정되었지만 1,000시간 후에는 36%까지 감소를 하였다.

〈표 3〉 내후성시험 전·후의 신장률 변화값

구분	시험결과	시험결과		
		시료 A	시료 B	시료 C
신장률(%)	상온시험	95.2	110.7	101.4
신장잔율 (%)	100시간 후	93	97	96
	200시간 후	100	97	94
	300시간 후	94	96	92
	400시간 후	92	82	75
	500시간 후	91	73	80
	600시간 후	95	32	46
	700시간 후	93	57	74
	800시간 후	108	55	56
	900시간 후	96	46	74
	1,000시간 후	79	21	36

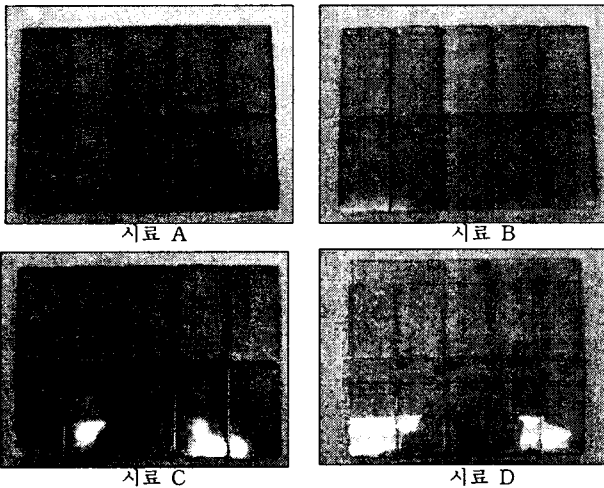
황변지수는 100시간 단위로 내후성시험을 실시한 시료에 대하여 ASTM E 313의 방법으로 측정을 하였다.

표 4와 같이 시료 A는 시간의 흐름에 따라 서서히 황변현상을 나타내어 1,000시간 후에는 3.5의 값을 나타내었고, 시료 B, C, D는 100시간마다 측정된 결과 현저한 황변현상으로 1,000시간 후에는 7~9의 변화값을 보여주고 있다.

〈표 4〉 내후성시험 전·후의 황변지수 변화값

구분	시험결과	시험결과			
		시료 A	시료 B	시료 C	시료 D
황변지수 (Yellowness Index)	상온시험	0.33	0.83	0.35	0.03
	100시간 후	0.33	0.33	0.55	0.04
	200시간 후	0.24	1.34	0.57	0.67
	300시간 후	0.13	1.82	0.59	0.85
	400시간 후	0.57	2.99	0.93	1.45
	500시간 후	0.47	3.26	1.12	2.22
	600시간 후	0.75	4.91	2.43	3.24
	700시간 후	1.74	5.15	4.26	4.42
	800시간 후	2.14	4.76	4.55	5.87
	900시간 후	1.81	6.69	5.13	8.03
	1,000시간 후	3.46	7.16	6.98	8.53

온도변화시험은 항공장애등 등구에 적용하는 동일한 시험규격인 IEC 60068-2-14에 규정한 시험조건에 따라 7일간 연속시험을 실시하여 크랙의 발생 유·무를 확인할 결과 시료 A, B, C 및 D 모든 시료는 크랙의 발생이 없었다.



〈그림 1〉 황변지수 시험용 시료

표 5는 100시간 단위로 내후성시험을 실시한 시료에 대하여 KS M 3055에 따라 Izod 충격시험을 실시한 결과이다. 표에서 보여주듯이 시험전의 충격강도 값은 비슷하나 내후성시험시간의 증가에 따라 시료 B 및 C는 현저한 감소를 보여주고 있다.

〈표 5〉 내후성시험 전·후의 Izod 충격시험 변화값

구분	시험결과(kJ/m)	시험결과(kJ/m)		
		시료 A	시료 B	시료 C
충격시험	상온시험	82.81	82.08	78.77
	100시간 후	99.0	95.1	62.4
변화율 (%)	200시간 후	96.9	93.5	74.4
	300시간 후	98.3	94.3	3.8
	400시간 후	99.3	96.0	5.0
	500시간 후	97.9	37.8	3.4
	600시간 후	100.3	27.2	3.5
	700시간 후	103.1	25.0	3.9
	800시간 후	99.3	12.2	3.5
	900시간 후	96.5	6.8	3.5
	1,000시간 후	98.6	6.4	3.5

선정된 시료 A, B, C 및 D에 대하여 내후성시험을 실시한 후에 인장강도, 신장률, 황변지수, 충격시험 및 온도변화시험을 실시한 결과를 정리하면 다음과 같다. 내후성시험을 실시한 후에 각각의 시료는 뚜렷한 외관상의 변화는 발견할 수 없었고, 인장강도 및 온도변화시험은 일정한 값을 유지하였으나 신장률, 황변지수 및 충격강도에서 시료마다 현저한 차이를 나타내고 있다. 따라서 선정된 시료 A, B, C 및 D 중에서 시료 A가 항공장애등용 렌즈로 가장 적합한 것으로 판단되어 렌즈 재질로 선정하였고 등구로 제작하였다.

3. 결 론

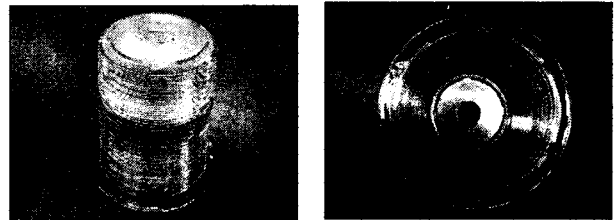
지금까지는 등구의 황변에 대한 검증 없이 설치를 하여 2-3년 설치 후 심한 황변은 광도와 크랙 등에 커다란 영향을 준다.

상기에서 기술한 분석시험을 통해 분석확인 된 시료 A에 대한 최종검증을 위하여 요구되는 온도충격 및 온도변화에 따른 내구성 검증과 최적설계를 위한 전산해석기법의 적용은 다음과 같이 수행하였다. 먼저 온도충격에 따른 내구성의 검증은 최종적인 성능확인시험 시에 제작규격서에서 규정한 시험항목에 대한 성능만족 여부를 확인함으로써 내크랙성을 검증하였다. 또한 온도충격시험의 기준에 부합성 여부를 확인하였다.

항공장애등이 점멸되는 상태에서 등구 내에 설치된 열전대를 사용하여 측정된 결과는 약 36.2℃이다. 1시간 이상 등구를 점멸시킨 후, 외부의 주위온도를 기준하여 약 4.9±1℃의 냉수를 등구 표면에 10분간을 주수한 후, 균열 또는 파손여부를 확인하였다. 시험결과는 등구 표면에 미세한 균열 또는 파손의 흔적은 발견할 수 없었으며 광도시험으로 측정된 광도 값을 통해서 등구 표면의 상태를 간접적인 확인이 가능하였으나 뚜렷한 변화가 없었다.

그리고 추가적으로 내구성의 검증은 성능확인시험 시에 기술시방서에서 규정한 시험항목에 대한 성능만족 여부를 확인함으로써 내크랙성을 보완적으로 검증하였다.

한국기계연구원 내의 에너지기계연구센터에서 공인된 시험기자재(ACS)를 활용하여 온도변화시험의 기준(-20℃, -5℃, 25℃ 및 50℃)에 부합되도록 시험을 실시하였고 그 결과 요구되는 성능을 검증할 수 있었다.



〈그림 2〉 개발된 등구 렌즈

결론적으로 본 기술지원사업의 성공적인 수행을 통하여 향후, 지원기업의 사업화 시에는 매년 지속적이고, 괄목할만한 성장지속세를 가시화할 수 있어 해당 기업의 성장동력으로써 확고한 자리매김을 할 수 있는 제품으로 기술지원목표에 대한 개발성공의 의의가 있다고 하겠다.

감사의 글

본 과제는 산업지원부에서 시행한 부품·소재중합기술지원사업의 기술지원결과입니다.

[참고 문헌]

- Eugene Hecht, 광학(제4판), 두양사, pp. 189-219, 2002
- Polymer Data Handbook, Oxford University Press, Inc., pp. 363-367, pp. 655-657, 1999
- Fresnel 렌즈, Fresnel Technologies, Inc., 2003
- 박형준, "광학 제품용 비구면 렌즈 제조를 위한 CAD/CAM 응용 기술", 광학과 기술, 제8권, 제2호, pp. 14-21, 2004. 4.