

P/C 렌즈 전조등 렌즈면의 온도분포에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Lens Surface Temperature Distribution of P/C Headlamp Using the Three Category of H4 Halogen Bulbs

박 경 석*, 강 병 도**
Kyongsuk Park, Byoungdo Kang

ABSTRACT

This Paper deals with the headlamp lens surface temperature distribution of P/C headlamp using the three categories of H4 halogen bulbs. Glass is gradually replaced by P/C for the lens material of a vehicle headlamp due to the weight reduction and stream lined body of a vehicle. With this trend, the newly established standards for a headlamp with a P/C lens in Europe requires that the heat generated by a bulb should not distort the lens surface. Also the requirements for the bulb of a headlamp are being enforced in U.S.A & Europe. However, such requirements are not established yet in Korea.

By using three kinds (60/55W, 100/90W, 130/90W) of H4 halogen bulbs in this experiment, the surface temperature distribution and Max. temperature on the lens were measured. The results of this study implies the necessity of requirement for the bulb of a headlamp.

주요기술용어 : P/C(플라스틱), H4 halogen bulbs(H4형식 할로겐 전구), Temperature distribution(온도분포), Dipped beam(변환빔), Main beam(주행빔)

Nomenclature

- P/C : 플라스틱(Policarbonate)
- SPCC : 일반 냉간강판(Steel Plate Cold-rolled Commom)
- Cd : 광도
- Lm : 광속
- Lx : 조도
- NETD : 최소 검출온도차
- Cd/m² : 휘도
- Ft-cd : 10.76Lx

* 회원, 경희대학교 기계산업시스템공학부

** 회원, 자동차성능시험연구소

1. 서 론

자동차를 이용한 레저 생활의 증가와 산업구조의 복잡화로 인하여 주간의 교통체증을 피한 야간의 자동차 운행시간이 늘어가는 추세가 되고 있다. 특히 야간에 발생하는 교통사고는 치명적이기 때문에 전조등의 역할은 사고 예방차원에서 매우 중요한 비중을 차지하고 있으나 많은 자동차 운전자들이 전조등에 관한 이해 부족으로 적법치 못한 상태로 운행하는 예가 많아 자동차 검사의 주요 불합격 사유가 되고 있다.¹⁾ 따라서 본 논문에서는 자동차 검사의 많은 부품 중에서 야간운행에 필수적인 전조등의 여러 특성 중 내

열성 설계에 대한 기초 자료를 제시하고자 한다.

현재 전조등으로 많이 사용되고 있는 광원은 Table 1과 같이 H4형식의 할로겐 전구로서 소요 전력이 60/55W를 사용하도록 설계되어 있다. 할로겐 전구는 그 특성상 전구의 온도가 400~600°C에서 Halogen Cycle²⁾이 잘 이루어져 최적의 성능을 나타낸다. 이때 발생하는 고열에 견디기 위해 전조등 렌즈의 재질은 유리를 사용하였다. 그러나 차체의 경량화 및 자원 재활용의 차원에서 전조등 렌즈의 재질이 유리에서 플라스틱으로 변경되는 추세이다. 이에 따라 유럽의 전조등 기준에는 규격 전구 사용시 전조등의 열집중 현상에 의한 플라스틱 렌즈의 열변형이 없도록 규제하고 있다.³⁾ 그러나 우리나라의 자동차 안전 기준에는 사용 전구 및 내열성에 관한 구체적인 규격이 법제화되지 않아 일부 운전자들이 100/90W 또는 130/90W 등의 소요전력이 높은 전구를 사용하여 전조등의 광도를 증가시켜 운행하고 있다. 소요전력이 높은 전구를 사용할 경우 전조등 내부의 온도 증가가 예상된다. 소요전력이 높은 전구를 사용할 경우 전조등 내부의 온도 증가로 인한 렌즈 면의 변형유무와 설계 시 참고될 렌즈 면의 최고 온도 및 열 분포에 대하여 규명할 필요성이 대두된다. 따라서 본 연구에서는 사용 전구에 따른 전조등 렌즈 면의 온도분포를 고찰하고 이 결과를 토대로 우리나라 자동차 안전기준의 개정에 따른 정책입안의 자료로 활용되는 것이 목적이다.

이에 본 연구에서는 60/55W, 100/90W, 130/90W H4형 전구에 대해 전조등 렌즈 면의 온도 변화를 주행 등 상태에서 초기 점등시의 렌즈면 온도 측정 후 매 10분 간격으로 90분 동안 측정하였다. 각 사용 전구별로 전조등 렌즈 면의 온도분포와 최고온도 변화를 측정하여 전조등 렌즈에 미치는 영향을 고찰하였다. 이때 사용된 H4 형식 전구는 양산전구를 사용하였고, 전조등 렌즈는 플라스틱 전조등과 그와 유사한 유리 렌즈 전조등을 채택하였다.

Table 1 Bulb types of passenger cars

Bulbtype	H1	H2	H3	H4	R2	9004	9005	9006	Sealed beam
A company	1		1	4		1			
B company	1			4	1	1			
C company				1		1	1	1	
A foreign car	4			8		2	1	1	1

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치의 개요

실험장치의 구성은 Fig. 1과 Fig. 2와 같으며, 그 기본요소는 시험용 전구에 일정한 전압을 공급하여 주는 Power Supply, 렌즈에서 발산되는 빛의 적외선 파장을 검지하여 온도를 측정하는 Thermo Tracer와 렌즈면의 온도 분포를 화면상에 나타나게 하는 Computer로 구성되며 각 장치의 주요 제원은 Table 2에 표시하였다.

모든 물체로부터 방사되는 적외선의 양은 물체의 표면 온도와 방사율에 의해 결정된다. 물체 표면으로부터 방사되는 적외선 에너지 즉 방사

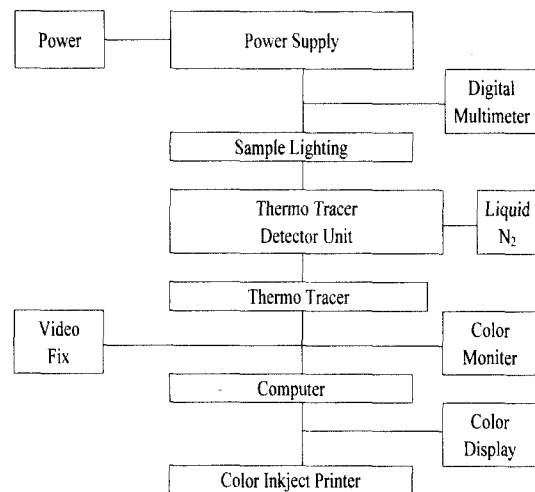
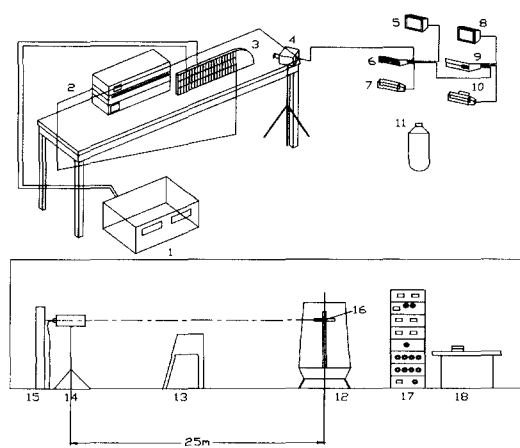


Fig. 1 Flow chart for temperature measurement by infrared thermometers



- 1. Power supply
- 2. Thermo scanner
- 3. 16 test sample
- 4. Thermo tracer detector unit
- 5. Color monitor
- 6. Thermo tracer
- 7. Video fix
- 8. Color display
- 9. Computer
- 10. Color inkjet printer
- 11. Liquid nitrogen gas bottle
- 12. Goniometer
- 13. Baffle
- 14. Photometer detector
- 15. Screen
- 17. Photometry system
- 18. Photometry computer

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2 Specifications of infrared thermometer

item	Specifications
Thermo tracer	-Temperature measuring range: -50℃ ~ 2,000℃ -NETD : 0.1℃ for blackbody at 30℃ -detector : HgCdTe (liquid nitrogen cooling type) -accuracy : ± 0.5%/range full scale -emissivity correcting control : 1.0 ~ 0.1
Computer	-program : infrared image process program(9620)
T-type T/C scanner	- measuring range : -200℃ ~ 400℃

발산도는 스테판-볼츠만 (Stefan Boltzmann)식 $Me = \sigma \times T^4$ (w/cm²)으로 나타낼 수 있다. 또한 물체의 표면온도가 높을수록 방사 스펙트럼의 최대 파장 사이에는 웨인의 변위 법칙(Wein's Displacement Law) 즉 $\lambda = 2898/T$ (μm)으로 표현할 수 있다.^{4,5)} 본 실험에 사용된 적외선 감지기는 온

도 감지의 응답성이 우수한 양자식 감지기 중 Photo-Conductive type을 사용하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용된 전조등의 광원은 H4형식의 전구로서 60/55W, 100/90W, 130/90W의 전구를 사용하여 각 전구별로 전조등 렌즈면의 온도변화를 다음과 같이 측정하였다. 60/55W H4형식의 전구를 장착한 시험용 전조등에 전압을 13.2V로 조정한 후 전류를 가하여 주행빔을 점등한다. 이때 Thermo Tracer에 전조등의 Image가 잘 보이도록 측정거리를 조절한다.

Thermo Tracer Detector Unit에 Sensor의 냉각을 위한 액체 질소를 주입한다. 온도 측정시 사용되는 각 재질의 방사율 ε은 다음과 같이 상대 비교를 하였다. 본 실험에서는 P/C 렌즈형의 경우 ε = 0.92, 유리 렌즈의 ε = 0.99를 사용하였다.

온도를 측정할 렌즈면의 중심에 T-type Thermo-couple을 접촉시키고 온도를 측정 후 Thermo Tracer의 Monitor에 나타난 화상을 보고 Cursor를 사용하여 렌즈면 중심의 온도를 측정한다. 이때 측정된 두 온도와 일치하는 ε 값을 찾는다.

본 실험에서는 아래와 같이 측정되었다.

Item \ T-type	Thermo couple	Thermo tracer	Difference
P/C	89.7℃	89.4℃	0.3℃
GLASS	73.4℃	73.1℃	0.3℃

시험용 전구를 점등한 후 10분 경과 후부터 매 10분 간격으로 온도를 측정, 기록한다. 온도분포를 파악하기 위하여 측정된 자료는 보관하고 온도 분포도를 출력한다.

3. 실험결과와 고찰

3.1 사용전구별 램프의 조도변화

본 실험에서는 자동차에 전조등이 정확히 조준되었음을 기본으로 하여 사용 전구별 주행빔 및 변환빔의 최대 조도는 Table 3과 같과 같으며 주행빔에서 60/55W 전구 사용 시는 국내 자동차

안전 기준에 만족되거나 기타 전구 사용 시는 최대 조도가 초과됨을 알 수 있었다. 한편, 야간 운행 시 많이 사용하는 변환 빔의 최대 조도는 소요 전력이 클수록 증가하여 시계성이 양호하나, 아래의 Table 4 에 나타낸바와 같이 마주 오는 차의 운전자에게 불쾌 눈부심을 유발하는 상향빛의 세기가 60/55W 전구 사용 시는 양호하나 기타 전구 사용 시는 불량함을 알 수 있다.

한편, 전조등 설계 시, 마주보는 차량의 마주 오는 차의 운전자에게 대한 눈부심의 평가는 9 단계로 분류한 Deboer scale이 주로 사용되고 있으며 다음과 같은 공식으로 표현한다. 이 공식에 따라 계산된 값이 $W > 4$ 이면 전조등 빛에 의한 불쾌 눈부심의 영향을 무시하는 것으로 간주할 수 있다.⁶⁾

$$\omega = 2 \log(1 + 269.966La) - 2 \log\left(\sum_{i=1}^2 \left(\frac{E_i}{S_i^{0.46}}\right)\right) - 2.1097 \quad (1)$$

W : Deboer scale

La : 눈의 순응휘도 (Fl)

E_i : 운전자 눈위치에서의 조도 (Ft-Cd)

Table 3 Max. illuminance variation by three kinds of blubs

		spec.	60/55W	100/90W	130/90W
P/C lens of headlamp	Dipped beam	120 lx>	88.9 lx	130.4 lx	123.3 lx
	Main beam	72 lx>	16.0 lx	20.7 lx	20.8 lx
P/C lens of headlamp (Non hood)	Dipped beam	120 lx>	95.8 lx	148.8 lx	151.9 lx
	Main beam	72 lx>	19.6 lx	29.3 lx	33.2 lx
Glass lens of headlamp	Dipped beam	120 lx>	76.3 lx	95.0 lx	109.7 lx
	Main beam	72 lx>	30.0 lx	37.4 lx	40.2 lx

Table 4 Illuminance variation on measuring point of 250U-1500L & zone A

		Measuring point	spec.	60/55W	100/90W	130/90W
P/C lens of headlamp	250U-1500L	0.4 lx>	0.27 lx	0.51 lx	0.49 lx	
	Zone A	0.7 lx>	0.60 lx	0.93 lx	1.08 lx	
P/C lens of headlamp (Non hood)	250U-1500L	0.4 lx>	0.25 lx	0.55 lx	0.54 lx	
	Zone A	0.7 lx>	0.58 lx	1.15 lx	1.38 lx	
Glass lens of headlamp	250U-1500L	0.4 lx>	0.30 lx	0.44 lx	0.51 lx	
	Zone A	0.7 lx>	0.89 lx	1.25 lx	2.17 lx	

S_i : 운전자의 시야와 전조등 사이 각도 (분)

Table 4에 명시된 측정 값들이 실차 상태의 운전 조건에서, 운전자에게 불쾌감을 유발하는 눈부심에 미치는 영향을 평가하기 일반 소형 자동차를 기준으로 다음과 같은 가정을 하였다.

- 운전자의 눈 위치 : 100cm
- 전조등 설치 높이 : 62cm
- 전조등 설치 간격 : 94cm
- 도로폭 : 350cm
- 자동차 중심과 운전자의 눈 위치 사이의 간격 : 32cm
- 마주 오는 차와의 거리 : 2,500cm

한편, E_i 는 Schmit-Clausen and Bindels의 Deboer scale을 이용한 “조도함수에 따른 불쾌 눈부심”에 따라 0.7Lx를 기준으로 하였으며, S_i 는 371분을 적용할 수 있었다. 따라서 식 (1)을 이용하여 눈의 순응휘도 La를 계산하면,

$$\omega = 2 \log(1 + 269.966La) - 2 \log\left(\sum_{i=1}^2 \left(\frac{E_i}{S_i^{0.46}}\right)\right) - 2.1097$$

$$\log\left(\sum_{i=1}^2 \left(\frac{E_i}{S_i^{0.46}}\right)\right) = \log(1 + 269.0966La) - \left(\frac{W + 2.1097}{2}\right)$$

$$La = \frac{\frac{E_i}{S_i^{0.46}} \times 10^{\frac{W + 2.1097}{2}} - 1}{269.0966}$$

∴ La = 0.0143 Fl (2)를 구할 수 있다

따라서 식 (1)에 S_i 및 식 (2)의 값과 Table 4의 값을 대입하면 Deboer scale이 Table 5와 같음을 알 수 있다.

Table 5에서 알 수 있는 것은 소요 전력이 증가할수록 Deboer scale은 P/C 렌즈 전조등에서는 약 15% 증가, 유리 렌즈 전조등에서는 약 20% 증가함을 알 수 있으며 이는 60/55W 전구 사용 시 보다 기타 전구 사용 시 비교적 심한 불쾌 눈부심을 유발하고 있음을 알 수 있다. Fig. 3~6의 배광 패턴에 나타난 바와 같이 사용 전구의 소요 전력이 증가함에 따라 시계성은 양호해지나 상대적으로 0.7 Lux Line이 H-V 선상 윗부분에 존재함으로써 눈부심의 요인으로 작용되고 있음

Table 5 Deboer scale on measuring point of zone A

Spec		Glare illuminance		deboer scale
		Lx	Ft-Cd	
P/C lens of headlamp	60/55W	0.60	0.0557	4.13
	100/90W	0.93	0.0864	3.75
	130/90W	1.08	0.1003	3.62
P/C lens of headlamp (Non hood)	60/55W	0.58	0.0539	4.16
	100/90W	1.15	0.1068	3.57
	130/90W	1.38	0.1282	3.41
Glass lens of headlamp	60/55W	0.89	0.0827	3.79
	100/90W	1.25	0.1161	3.50
	130/90W	2.17	0.2016	3.02

Table 6 Deboer scale when the dipped beam mis-aimed upper 0.86°

Spec		Glare illuminance		Deboer scale
		Lx	Ft-Cd	
P/C lens of headlamp	60/55W	6.07	0.5639	2.12
	100/90W	6.79	0.6308	2.02
	130/90W	8.06	0.7488	1.88
P/C lens of headlamp (Non hood)	60/55W	5.41	0.5026	2.22
	100/90W	8.95	0.8315	1.79
	130/90W	9.94	0.9234	1.69
Glass lens of headlamp	60/55W	6.07	0.5639	2.12
	100/90W	10.2	0.9476	1.67
	130/90W	10.2	0.9467	1.67

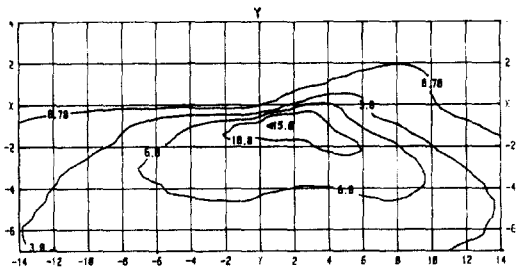


Fig. 3 Light distribution pattern of P/C lens dipped beam(60/55W)

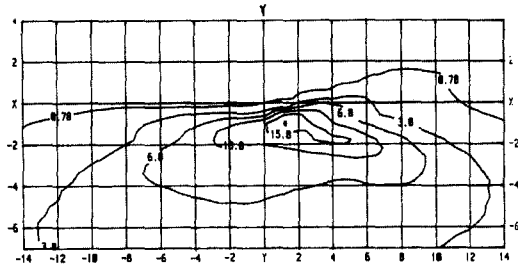


Fig. 5 Light distribution pattern of P/C lens dipped beam(60/55W)-Non hood

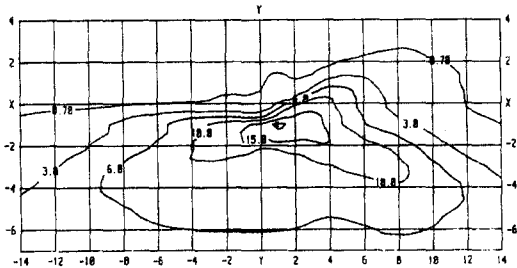


Fig. 4 Light distribution pattern of P/C lens dipped beam(130/90W)

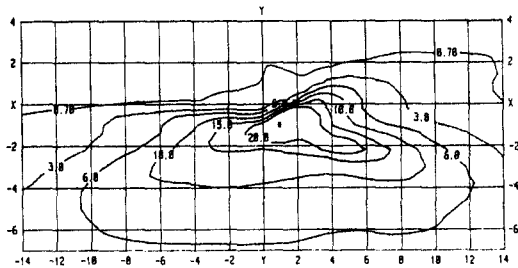


Fig. 6 Light Distribution Pattern of P/C Lens Dipped Beam(130/90W)-Non hood

을 알 수 있다. 한편, 자동차 전조등의 광축이 흐트러진 상태로 운행하였을 경우 눈부심의 영향을 평가해보면 아래의 Table 6과 같다.

Table 6의 결과는 모든 전조등이 올바르게 조준되어있지 않으면 상대운전자에게 불쾌눈부심이 유발됨을 알 수 있다.

3.2 사용전구별 램프 렌즈면의 온도 변화

P/C렌즈 전조등의 특징은 여러 가지가 있으나 특히 내열성이 크고 저온 특성이 양호하다는 것이다. 이 특징은 생산 회사마다 약간의 차이가

있으나 보통 $-100^{\circ}\text{C} \sim 135^{\circ}\text{C}$ ⁷⁾ 정도이다. 전조등에 사용되는 할로겐 전구의 표면온도는 $400^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 정도이므로 전조등 렌즈는 내열성이 강한 재질을 사용하여야 한다. 본 실험에서 전조등 렌즈면의 온도측정은 소요전력이 큰 주행빔에서 실시하였으며 60/55W 전구에는 시험전압 및 시험전류를 13.2V/5.2A, 100/90W 전구에는 13.2V/ 7.6A, 130/90W 전구에는 13.2V/8.2A를 일정하게 공급하여 Fig. 7~11과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

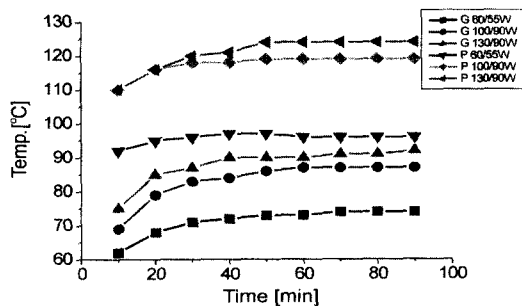


Fig. 7 Max. temperature of P/C lens surface

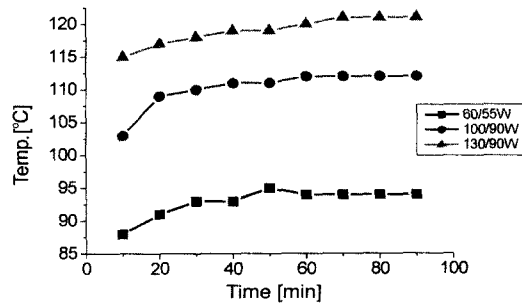


Fig. 8 Max. temperature of P/C lens surface-non hood

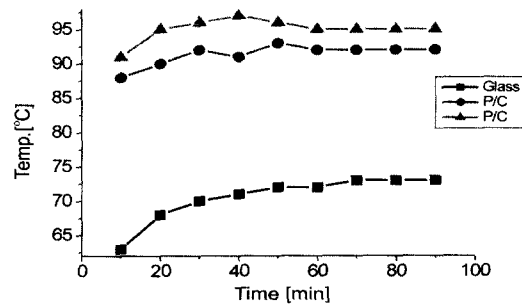


Fig. 9 Max. temperature for the 60/55W bulb

Fig. 7~11에서 알 수 있듯이, 전조등 렌즈면의 온도변화는 점등 후 약 60분까지 증가하였으나 60분 후부터는 온도의 증가가 거의 없음을 알 수 있으며 렌즈면의 최고 온도는 Fig. 12과 같이 대체로 렌즈면 우측 상단에 위치하고 있음을 알 수 있었고 렌즈 표면의 온도 분포는 Fig. 13~16에서 알 수 있듯이 전구의 소요전력이 높을수록 열이 집중되는 현상을 알 수 있다. 한편, 최고온도는 P/C 전조등에 130/90W 전구 사용 시 124°C 가량 상승됨을 알 수 있다.

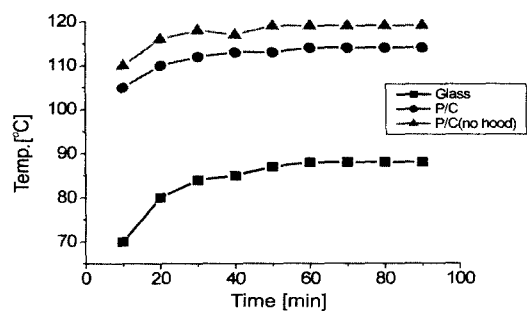


Fig. 10 Max. temperature for the 100/90W Bulb

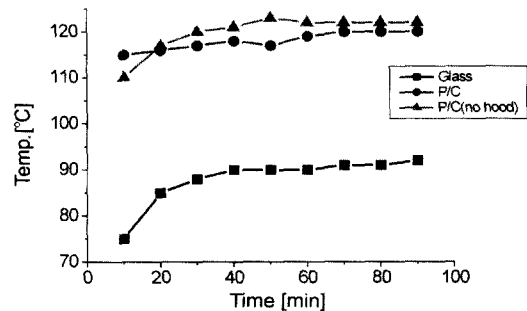


Fig. 11 Max. temperature for the 130/90W Bulb

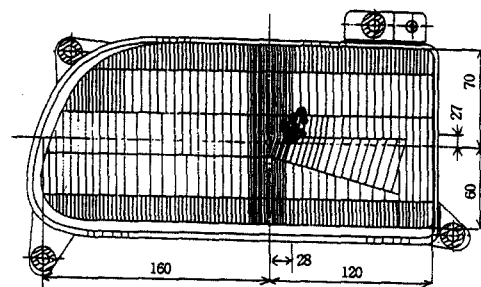


Fig. 12 Location of max temperature

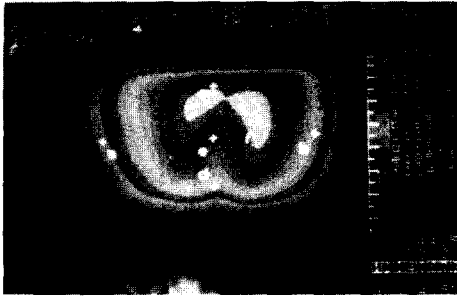


Fig. 13 Temperature distribution of P/C lens headlamp(130/90W)

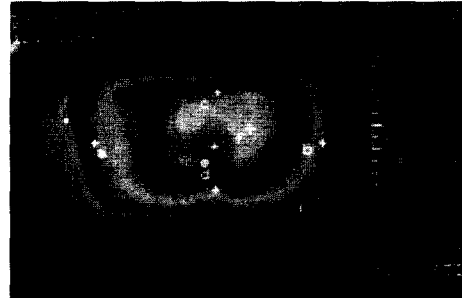


Fig. 15 Temperature distribution of P/C(Non hood) lens headlamp(130/90W)

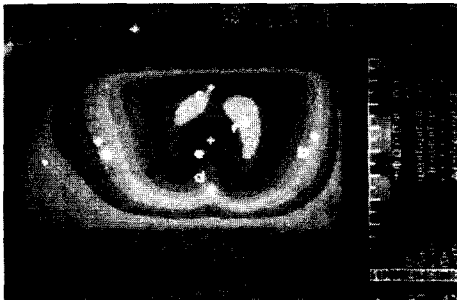


Fig. 14 Temperature distribution of P/C lens headlamp(60/55W)

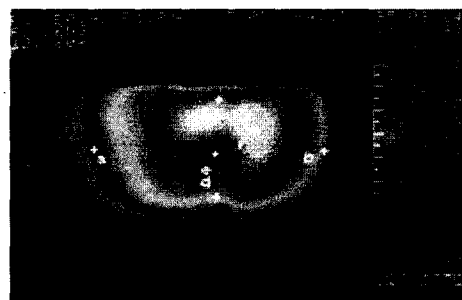


Fig. 16 Temperature distribution of P/C(Non hood) lens headlamp(130/90W)

4. 결론

본 논문에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 유럽식 전조등 중 렌즈의 재질이 유리에서 P/C로 제작되는 추세에서 전조등의 사용전구에 따른 렌즈면의 온도변화를 고찰하였다. 현재 자동차 관리법상의 안전기준에 관한 규칙에는 전조등용 전구에 대한 구체적인 언급이 없는바, 이에 따라 운전자가 실제 사용하고 있는 60/55W, 100/90W, 130/90W H4형식의 일반 할로젠 전구로 실험하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전조등 렌즈면의 온도변화는 초기 점등 후 약 60분까지 증가하였으나 60분 후부터는 온도의 증가가 거의 없음을 알 수 있었다.
- 2) 최고온도 발생점은 대체로 렌즈면 우측상단에 위치하고 있음을 알 수 있었다.
- 3) 130/90W 전구 사용 시 렌즈면의 온도가 최고 124℃ 까지 상승하여 P/C 렌즈의 내열온도인

135℃에 근접함을 알 수 있었다. 따라서 설계 시, 이에 따른 내열성을 고려하여야 할 것이다.

4) 이 결과는 현재의 안전 기준에 관한 규칙에 없는 전구의 소요 전력별 기준을 추가 제정하는데 기초가 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 김지문, "자동차 계속 검사 시 발생하는 불합격에 대한 연구," 고려대학교 산업과학 대학원 석사논문, pp.46-90, 1992.
- 2) A. Toyoshima, M. Chiba, Y. Murakami, "Development of High Efficiency Incandescent Bulb-'u84(mu-84)," SAE 900571, 1990.
- 3) ECE Regulation No.20, "Uniform Provisions Concerning the Approval of Motor Vehicle Headlamps Emitting an Asymmetrical Passing Beam or a Driving Beam or Both & Equipped with Halogen Filament Lamps (H4 Lamps)."

- 4) 조명학회편, 조명 데이터북, 도서출판 세진사, p.6.
- 5) 日本機械學會編, 熱計測技術, 朝倉書店, pp.79-87.
- 6) Y. Nakata, T. Ushida, T. Takeda, "Computer-ized Graphics Light Distribution Evaluation System for Automobile Headlighting Using Vehicle Simulation," SAE 900564, 1990.
- 7) 한국플라스틱기술정보센터편, 플라스틱 해설과 물성집, pp.331-334.