

## 밀봉재를 이용한 적외선 렌즈 마운팅 분석

김연수<sup>†</sup> · 김현숙 · 최세철 · 김창우

국방과학연구소

⑨ 305-600 대전시 유성우체국 사서함 35-5호

(2001년 7월 19일 받음, 2001년 11월 7일 수정본 받음)

밀봉재를 사용하는 적외선 렌즈 마운트를 분석하고, 3~5 μm에서 작동하는 전방 관측 적외선 열상장비의 대물렌즈인 직경 117 mm의 Si 렌즈 마운팅 설계에 적용하였다. 밀봉재로는 Dow Corning 사의 heat cure 타입인 577 primerless Silicone Adhesive(MIL-PRF-23586F)을 이용하였으며, 마운트 재질로는 Al 6061을 사용하였다. 이론적으로 렌즈와 마운트간의 간격은 -40~60°C의 적용 온도환경에 대하여 250 μm 이상이 되어야 함을 알 수 있었다.

분류코드 : SM.020.

### I. 서 론

광학부품 조립시 렌즈는 렌즈 마운트 셀이나 기구물 마운트에 장착된다. 이때 렌즈는 마운트내에서 자유로이 움직여 정밀하게 조정될 수 있어야 한다. 보통 렌즈와 기구물 사이에 요구되는 간격은 25~50 μm 정도이다. 일반적으로 렌즈와 렌즈 마운트사이에는 열팽창 계수의 차이가 있으므로 광학장비의 적용 온도환경에 대하여 요구되는 마운트를 설계하여야 하며, 적외선 렌즈에 사용되는 Ge 등과 같이 취성에 약한 매질의 경우에는 기계적 체결 대신 탄성이 있는 밀봉재를 사용하여 마운팅하는 것이 바람직하다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 밀봉재를 사용하는 적외선 렌즈 마운트를 분석하고, 3~5 μm에서 작동하는 전방관측 적외선 열상장비 렌즈인 직경 117 mm의 Si 렌즈 마운팅에 대하여 분석한 결과를 기술한다.

### II. 밀봉재 마운팅 분석

밀봉재를 이용한 렌즈 마운팅에서는 밀봉재가 주입될 렌즈와 마운팅사이의 간격과 렌즈를 수직으로 세울 때 렌즈 무게로 인하여 밀봉재가 압축되어 나타나는 광축변위가 중요한 고려 요소가 된다.

그림 1과 같이 렌즈를 기구적으로 체결할 때, 온도변화  $\Delta T$ 에 기인한 간격  $h$ 의 변화량  $\Delta h$ 는<sup>[1,2]</sup>

$$\Delta h = h - \frac{\Delta T}{2}(\alpha_m d_m - \alpha_g d_g) \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서  $d_m$ ,  $\alpha_m$ 은 마운트 내부 구경과 열팽창 계수를 나타내고,  $d_g$ ,  $\alpha_g$ 는 렌즈의 구경 및 열팽창 계수를 나타낸다.

따라서 온도변화  $\Delta T$ 에 대하여 렌즈가 마운트 셀에 닿지 않

을 간격  $h$ 는

$$h \equiv \frac{\Delta T}{2} d_g (\alpha_m - \alpha_g) \quad (2)$$

이 된다. 여기서  $\Delta T$ 는 장비가 운용되거나 저장시의 총 온도 범위를 나타낸다.

적외선용 렌즈와 같이 취성에 약한 렌즈의 경우, 기계적 마운트 대신 탄성이 있는 밀봉재를 사용하여 그림 2와 같이 마운팅하는 것이 바람직하다.

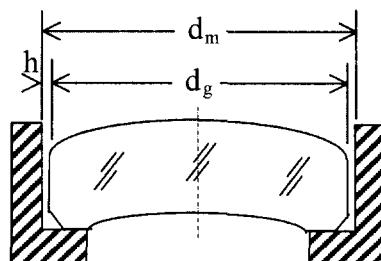


그림 1. 렌즈 마운팅.

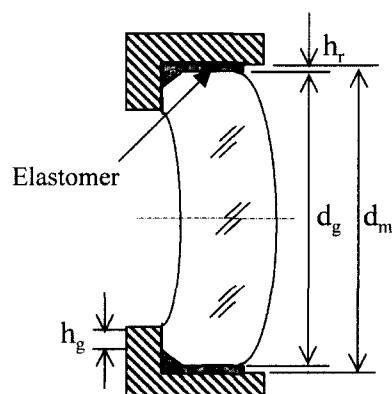


그림 2. 밀봉재를 이용한 렌즈 마운팅.

<sup>†</sup>E-mail: ykim@add.re.kr

밀봉재를 사용하여 렌즈를 마운팅할 경우, 렌즈에 스트레스를 주지 않는 밀봉재의 두께는 Bayer의 공식에 의해 다음과 같이 주어진다.<sup>[1,2]</sup> 밀봉재의 두께를  $h_r$ 이라면

$$h_r = \left[ \frac{d_g(\alpha_m - \alpha_g)}{2(\alpha_r - \alpha_m)} \right] \quad (3)$$

이 된다. 여기서  $d_g$ 는 렌즈 외곽 구경,  $\alpha_g$ 은 렌즈의 열팽창 계수,  $\alpha_m$ 은 마운트 셀의 열팽창 계수이며,  $\alpha_r$ 은 밀봉재의 열팽창 계수이다. 식 (3)에 따라 렌즈가 스트레스를 받지 않는 밀봉재의 두께 조건을 적용하면 밀봉재의 두께가 필요 이상으로 커질 수 있으며, 마운팅시 렌즈의 광축과 마운트의 기구 중심간의 정렬 오차도 커질 수 있다. 따라서 밀봉재보다 탄성 강도가 훨씬 강한 Ge이나 Si처럼 금속인 적외선 렌즈를 마운팅할 때는 렌즈가 스트레스를 받지 않는 두께 조건 식 (3)을 적용하기 보다는 식 (2)에 따른 기계적 체결시 두께조건과 밀봉재의 온도 팽창 및 신장성, 그리고 밀봉재 주입의 작업성 등을 고려하여 선정하는 것이 바람직하다.

밀봉재를 사용하여 마운팅 할 때는 렌즈의 무게로 인하여 밀봉재가 눌리게 되어 광축의 변위가 나타날 수 있다. 이때 광축 변위량  $\delta$ 는 다음식에 의하여 주어진다.<sup>[1,2]</sup>

$$\delta = \left[ \frac{W_g}{\frac{\pi d_g h_g}{2} \left[ \frac{E_r}{(1 - v_r^2)} + G_r \right]} \right] \quad (4)$$

여기서  $W_g$ 는 렌즈 무게,  $h_g$ 는 렌즈와 접하는 밀봉재 면의 길이,  $E_r$ 은 밀봉재의 탄성계수,  $v_r$ 은 밀봉재의 Poisson 비,  $G_r$ 은 밀봉재의 전단계수이다. 밀봉재의 전단계수는  $G_r = E_r / (1 - 2v_r)$ 이다. 광축변위는 광학계의 성능에 영향을 줄 수 있으므로 광축변위의 양은 광학계의 허용공차내에 있어야 한다.

### III. 마운트 설계

밀봉재를 이용한 렌즈 마운팅 조건을 고려하여 전방관측 적외선 열상장비의 대물렌즈 마운팅에 적용하여 보자. 대물렌즈 재질은 Si이고, 구경은 117 mm이다. 마운트 재질로는 Al 6061을 사용하고, 렌즈 및 마운트 재질의 가공 및 측정시의 온도는 실온(20°C)으로 한다. 열상장비의 저장온도는 -40~60°C

표 1. 렌즈 마운트 재질 특성

	열팽창계수 (ppm/°C)	탄성강도 (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	yield 강도 (10 <sup>7</sup> N/m <sup>2</sup> )	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	열전도도 (W/m*K)
Al 2024	22.9	7.31	7.6-39.3	2.77	119-190
Al 6061	23.6	6.82	5.5-27.6	2.68	154-180

표 2. 렌즈 재질 특성

	열팽창계수 (ppm/°C)	탄성강도 (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	Poisson 비 (v)	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	열전도도 (W/m*K)
Ge	5.7-6.0	10.37	7.6-39.3	5.33	59
Si	2.7-3.1	13.1	5.5-27.6	2.33	150-163

이다.

표 1과 표 2는 각각 AI 계통의 일반적인 렌즈 마운트 재질 특성과 Ge와 Si의 렌즈 재질 특성을 보여준다.

밀봉재로서는 탄성강도가 좋고, 군사규격을 만족시키는 Dow Corning 사의 577 primerless Silicone Adhesive(MIL-PRF-23586F)와 3145 Silicone Adhesive(MIL-A-46146) 등이 있다. 577은 heat cure 타입이고 3145는 moisture cure 타입이다. moisture cure 타입은 정해진 특정 온도에서 자연스럽게 굳는 타입으로 외부표면부터 안쪽으로 굳어가는 특성을 지닌다. 따라서 내부까지 완전히 굳는 시간이 오래 걸리게 되어, 주로 양쪽이 터진 구멍등을 메꾸는데 이용될 수 있다. 이와같은 타입은 신장율에 있어서는 heat cure 타입보다 훨씬 좋다. 반면에 heat cure 타입은 강제적으로 열을 가하여 굳히는 타입이므로 밀봉재의 두께가 두꺼워도 동일한 온도하에 비교적 빨리 굳게 된다. 따라서 렌즈 마운팅 밀봉재와 같이 막힌 공간에서 사용하기가 편하다. 본 논문에서는 밀봉재로 577을 이용하여 분석한다. 실리콘 밀봉재의 특성은 표 3과 같다.

온도변화가 일어날 때 AI 마운트는 Si 렌즈보다 길이변화가 더 심하게 일어난다. 마운트의 온도 팽창율이 더 크므로 실온(20°C)에서 맞춰진 마운트와 렌즈간의 간격은 온도가 오르면 더 커지게 되어 렌즈에 영향을 주지 않는다. 반면에 온도가 내려가게 되면 마운트가 더 많이 수축하게 되어 렌즈가 깨지거나 찌그러지는 현상이 발생하게 된다. 따라서 열상장비의 운용범위에서 렌즈가 깨지거나 찌그러지지 않도록 마운팅 할려면 실온에서 최저온까지의 온도변화에 따른 두 재질간의 길이변화를 실온에서의 렌즈와 마운트간의 최소간격으로 잡아주어야 한다. 식 (2)를 이용하여 기구적으로 체결시 간격을 구하면, AI 6061의 경우, 최소 간격은 75 μm가 된다. ±50 μm 정도의 가공오차등을 고려하여 마진을 설정하면, 밀봉재 없이 마운팅할 경우 마운트와 렌즈간 간격은 125 μm 정도가 적당한 간격이 된다.

밀봉재 577을 이용하여 마운팅 하는 경우, 렌즈가 스트레스를 받지 않는 조건은 식 (3)에 따라 밀봉재의 두께는

$$h_r = \left[ \frac{117 * (23.6 - 5.8)}{2(300 - 23.6)} \right] = 3.75 \text{ mm}$$

가 된다. 렌즈와 마운트간 간격이 이와 같이 클 경우, 조립시 광학정렬 오차를 크게 유발할 수 있다. 따라서 밀봉재를 사용할 경우는 스트레스가 전혀없는 조건보다는 밀봉재의 온도 팽창 및 신장성등을 고려하여 적정 마운팅 간격을 선정하는 것이 바람직하다.

적정 마운팅 간격을 선정하기 위하여 앞에서 구한 기구적 체결시의 마운팅 간격인 125 μm로부터 시작한다. 밀봉재 577

표 3. 밀봉재 재질 특성

밀봉재	신장율	탄성강도 (10 <sup>6</sup> N/m <sup>2</sup> )	열팽창 계수 (ppm/°C)	밀도 (25°C) (g/cm <sup>3</sup> )	Poisson ratio
577	200%	6.55	300	1.30	0.45
3145	660%	6.89	350	1.12	0.45

의 경우, 두께변화는  $-40\sim60^{\circ}\text{C}$ 의 온도변화에 대하여  $dh \approx 0.03h_r$ 이 된다. 위의 마운팅 간격에 밀봉재를 주입할 경우, 밀봉재 팽창에 의한 두께변화는  $3.75\ \mu\text{m}$ 에 불과하다. 따라서 밀봉재의 팽창효과는 무시할 수 있다. 앞에서 구한 기구적 체결시 최소 간격  $75\ \mu\text{m}$ 는 온도변화에 대하여 렌즈와 마운트간의 팽창율 차이를 나타낸다. 밀봉재의 신장성이 200%임을 감안하면, 밀봉재 주입시 렌즈와 마운트간의 최소 간격은 기구적 체결시 최소 간격의 2배가 되어야 한다. 실제적으로는 가공공차등을 고려한 기구적 체결시 간격  $125\ \mu\text{m}$ 의 2배인  $250\ \mu\text{m}$ 가 밀봉재 주입시 렌즈와 마운트간의 최소 간격으로 추정할 수 있다. 따라서 렌즈와 마운트간의 간격은  $250\ \mu\text{m}$  이상이어야 한다.

밀봉재 577을 이용한 렌즈 마운팅의 경우, 간격이  $3.75\ \text{mm}$  이내에서는 온도변화에 따라 렌즈가 스트레스를 받을 수 있다. 그러나 Si 렌즈와 Al 마운트가 금속으로 탄성계수가  $\sim 10^{10}\ \text{N/m}^2$  정도이고 밀봉재의 탄성계수가  $\sim 10^6\ \text{N/m}^2$  정도인 점을 감안하면, 금속이 스트레스를 받기 보다는 밀봉재가 체적변화를 일으키기 쉬우며, 렌즈가 받는 스트레스는 극히 작을 것으로 판단된다. 또 스트레스의 방향은 지름(radial) 방향으로 렌즈의 곡률을 변화시켜 광학적으로 defocus 를 일으킬 수 있으나, 렌즈와 밀봉재의 탄성계수 차이를 고려하면 무시할 수 있는 정도이다. 따라서 렌즈와 마운트간의 간격은 적용 온도환경에 대하여  $250\ \mu\text{m}$  부터 가능함을 알 수 있다.

밀봉재 사용에 따라 렌즈 무게에 의해 밀봉재가 압축되어 나타나는 광축변위는 식 (4)를 이용하여 계산할 수 있다. Si 대물렌즈의 경우, 무게는  $350.76\ \text{g}$ 이고,  $h_g$ 는  $2.96\ \text{mm}$  정도이다. 따라서 광축 변위량  $\delta$ 는

$$\delta = \left[ \frac{2 * 350.76 * 9.8 * 10^{-3} * h_r}{3.14 * 117 * 2.96 * 6.55 * 10^4 * \left[ \frac{1}{(1 - 0.45^2)} + \frac{1}{(1 - 2 * 0.45)} \right]} \right] = 0.086 * 10^{-7} \ h_r$$

이며,  $h_r = 250\ \mu\text{m}$  정도일 경우 극히 작은 값이 된다. 따라서 이와같은 밀봉재를 이용한 렌즈 마운팅시, 밀봉재의 압축에 기인한 광축 변위는 없다고 가정해도 무방하다.

#### IV. 결 론

Dow Corning사의 heat cure 타입인 577 primerless Silicone Adhesive(MIL-PRF-23586F) 밀봉재와 Al 6061의 마운트 재질을 사용하는 적외선 렌즈 마운트를 분석하고,  $3\sim5\ \mu\text{m}$ 에서 작동하는 전방관측 적외선 열상장비의 대물렌즈인 직경 117 mm의 Si 렌즈 마운팅 설계에 적용하였다. 이론적으로 577 primerless Silicone Adhesive를 이용한 렌즈 마운팅시 렌즈와 마운트간의 간격은  $-40\sim60^{\circ}\text{C}$ 의 적용 온도환경에 대하여  $250\ \mu\text{m}$  이상이어야 하며, 대물렌즈의 무게에 기인한 광축 변위는 무시할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] P. R. Yoder, Jr, *Optomechanical System Design* (Marcel Dekker, Inc., New York, 1993), chapter 4.
- [2] D. Vukobratovich, *Introduction to Optomechanical Design* (Optical Science Center, University of Arizona, 1993).

#### Analysis of IR lens mounting with elastomer

Yeon Soo Kim<sup>†</sup>, Hyun Sook Kim, Se Chol Choi, and Chang Woo Kim

Agency for Defence Development, Taejon 305-600, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: ykim@add.re.kr

(Received July 19, 2001 ; revised manuscript received November 7, 2001)

We have analyzed the characteristics of IR lens mounting with elastomer and applied the results to the mounting of a silicon lens with diameter 117 mm which is the objective of a thermal imaging system. The elastomer, the 577 primerless silicone adhesive (Dow Corning Co.) which is heat cure type, and the mount material, Al6061 are used for our analysis. Theoretical analysis gives the result that the space between lens and mount is required to be more than  $250\ \mu\text{m}$  under the operational temperature conditions of  $-40\sim+60^{\circ}\text{C}$ .

Classification code : SM.020.