

< 기술논문 >

## 인공위성 카메라 주반사경 지지부에 적용되는 접착제의 전단 특성 연구

김현중<sup>†</sup> · 서유덕<sup>\*</sup> · 박상훈<sup>\*</sup> · 윤성기<sup>\*</sup> · 이승훈<sup>\*\*</sup> · 이덕규<sup>\*\*</sup> · 이응식<sup>\*\*</sup>  
(2007년 4월 2일 접수, 2007년 6월 13일 심사완료)

### A Study on the Shear Characteristics of Adhesives in Primary Mirror Supports of Satellite Camera

Hyun-Jung Kim, Yu-Deok Seo, Sang-Hoon Park, Sung-Kie Youn, Seung-Hoon Lee, Deog-Gyu Lee and Eung-Shik Lee

**Key Words :** Adhesive(접착제), Shear Modulus(전단계수), Single Lap Adhesively Bonded Joint(단일 겹치기 접착 조인트), Temperature Sensitivity(온도 민감도)

#### Abstract

The optical performance of the mirror for satellite camera is highly dependent on the adhesive properties between the mirror and its support. Therefore, in order to design a mirror with high optical performance, the mechanical properties of adhesives should be well defined. In this research, the mechanical properties of three kinds of space adhesives are studied. In case of the materials which show nearly incompressible behavior such as space adhesives, it is important to measure shear modulus which governs deviatoric stress components. Also the experiment should be performed in circumstances similar to real manufacturing process of mirror, because extra factors such as size effects, the adhesion effects of primer and reactions between adhesive and primer affect the properties of adhesive regions. In this research shear moduli of the adhesives are determined by using a single lap adhesively bonded joint. For the shear tests, several temperatures have been selected from -20°C to 55°C which is operating temperature range of the adhesive. In the case of linear behavior materials, shear moduli are calculated through a linear curve fitting. Shear stress-strain relation is obtained by using an exponential curve fitting for material which shows non-linear behavior. The shear modulus of each adhesive is expressed as a function of temperature. Characteristics and adaptability of the adhesives are discussed regarding their temperature sensitivity.

#### 1. 서론

##### 1.1 연구 목표 및 필요성

인공위성 카메라는 반사경, 렌즈 등 각종 광학 부품과 이들을 연결, 지지하는 구조물로 구성되므로 고성능의 반사경 시스템의 설계를 위해 카메라

시스템의 광학적 특성과 기계적 특성을 체계적으로 고려할 수 있는 기술 개발이 요구된다. 인공위성 카메라에 장착된 대구경 반사경은 반사경의 기계적 변형 정도에 따라 광학적 성능이 크게 좌우된다. 반사경의 기계적 변형은 반사경의 구조와 이를 지지하는 구조물의 변형, 구조물의 접착특성에 크게 영향을 받는다. 이를 위해 반사경 경량화와 구조강성을 최대화하기 위한 반사경의 위상 최적 설계,<sup>(1,2)</sup> 인공위성 주반사경의 플렉서 마운트 최적 설계<sup>(3)</sup> 등 반사경과 마운트의 구조 최적설계에 관해서는 많은 연구가 진행되어 왔으나, 반사경과 마운트 접착시 사용되는 접착제의 기계적 특성에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

반사경의 접착 특성은 반사경의 변형에 지대한

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : kim1392@kaist.ac.kr  
TEL : (042)869-3074 FAX : (042)869-3095

<sup>\*</sup> 한국과학기술원 기계공학과

<sup>\*\*</sup> 한국항공우주연구원 광학탑재체 그룹

영향을 미치고 온도에 따라 그 특성이 민감하게 변하기 때문에 고성능의 반사경을 설계하기 위해서는 접착제 물성 규명에 관한 연구<sup>(4,5)</sup>가 수행되어야 하고, 반사경 제작 이전에 접착특성을 고려한 반사경 변형의 정확한 구조해석이 필요하다. 이를 위해 접착제의 접착 특성에 관한 정확한 자료가 요구되고 실험을 통한 검증이 필요하다. 그러나 우주용 접착제의 접착 특성에 대한 자료는 접착제 제조사에서 제공하는 제한적인 자료가 전부이고 기술 선진국에서 접착특성에 대한 연구를 수행하였다하더라도 연구 결과를 공개하지 않는 것이 관례이다. 따라서 고성능의 반사경을 얻기 위해서는 우주 환경에서 많이 사용되고 있는 접착제의 기계적 특성을 규명하는 연구가 필요하다.

1.2 연구 범위

일반적으로 점탄성 모델(viscoelastic model)에서의 응력(σ)은 식 (1)과 같이 체적변형 부분(volumetric part)과 편차변형 부분(deviatoric part)으로 분리하여 기술한다.

$$\sigma_{ij} = s_{ij}(t) + \frac{1}{3} \delta_{ij} \sigma_{kk}(t) \tag{1}$$

여기서  $s_{ij}(t)$  는 편차응력성분(deviatoric stress component),  $\sigma_{kk}(t)$  는 정수압응력성분(hydrostatic stress component)이다. 편차응력성분과 정수압응력성분은 각각 식 (2)와 식 (3)과 같이 기술할 수 있다.

$$s_{ij}(t) = 2 \int_{-\infty}^t \mu(t-\tau) \frac{\partial e_{ij}(\tau)}{\partial \tau} d\tau \tag{2}$$

$$\sigma_{kk}(t) = 3 \int_{-\infty}^t K(t-\tau) \frac{\partial \theta(t)}{\partial \tau} d\tau \tag{3}$$

여기서  $\mu$  는 전단완화함수(shear relaxation function),  $e_{ij}$  는 편차변형률성분(deviatoric strain component),  $K$  는 체적완화함수(dilatational relaxation function),  $\theta$  는 체적변형률(volumetric strain)이다. 선형탄성 모델(linear elastic model)에서의 체적계수(bulk modulus)는 아래와 같이 표현된다.

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \tag{4}$$

여기서  $E$  는 탄성계수,  $\nu$  는 푸아송 비이다. Correspondence principle<sup>(6)</sup>에 의해 점탄성 모델에서 체적완화함수는 식 (5)와 같다.

$$\bar{K}(s) = \frac{\bar{E}(s)}{3(1-s2\nu(s))} \tag{5}$$

와 같다. 푸아송비가 상수라고 가정한다면 식 (5)는 아래와 같다.

$$\bar{K}(s) = \frac{\bar{E}(s)}{3(1-2\nu)} \tag{6}$$

우주용 접착제와 같이 푸아송비가 0.5 에 근접한 비압축성에 가까운 거동을 보이는 재료의 경우, 체적완화함수의 분모는 상당히 작은 값을 갖는다. 따라서 탄성계수를 정확히 측정하여 대입하였다 하더라도 체적변형 부분의 항 자체가 이미 상당히 큰 값을 갖기 때문에 탄성계수의 변화폭을 제대로 반영하기가 어렵다. 따라서 점탄성 재료의 거동을 잘 표현하기 위해서는 편차응력 성분을 지배하는 전단계수의 정확한 측정이 필요하다.

본 연구에서는 우주용 접착제로 많이 사용되고 있는 에폭시(epoxy) 계열의 접착제 A, B, 폴리우레탄(polyurethane) 계열의 접착제 C 에 대해 온도에 따른 기계적 특성을 규명한다. 규명하고자 하는 접착제의 기계적 특성은 전단계수로 탐재체 내부 운용온도 범위인 -20℃에서 55℃내 8 개 온도점을 선택하여 시험을 수행한다. 세 접착제의 기계적 특성을 비교, 분석하여 각 접착제의 기계적 특성이 반사경의 변형과 광학 성능에 미치는 영향에 대해 기술한다.

2. 전단 시험 절차

2.1 전단 시험 시편 제작 절차

반사경과 반사경 지지부의 접착부는 접착력을 강화시키기 위해 primer 를 재료에 바르고 접착제를 사용한다. 그러므로 지지부의 접착 특성은 접착제 자체의 물성 외에 primer 의 접착 효과에도 영향을 받는다. 실제 시스템의 거동과 유사한 해석 결과를 얻기 위해서는 실제 제작 환경과 유사한 전단계수 측정법을 채택하여야 한다. 이를 고려하여 본 연구에서는 우주용 접착제의 전단계수 측정법으로 단일 겹치기 접착 조인트(single lap adhesively bonded joint)를 이용한 전단 시험법을 사용한다. 이에 관해서는 ASTM D5656, D3983 에 기술되어 있다. 이 방법은 두꺼운 접착물(thick adherend)을 사용하기 때문에 peel strength 에 의한 영향을 최소화할 수 있다. 시험에 사용된 시편의 규격은 ASTM D5656, D3983 을 참고하여 시험장비에 적합하게 수정하여 사용하였다. 접착 두께는

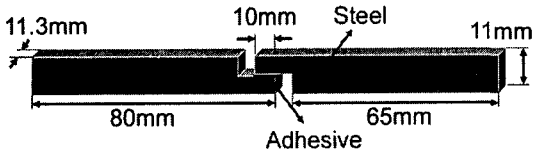


Fig. 1 The shape and size of the shear test specimen

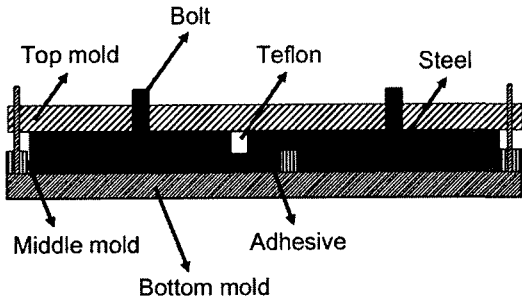


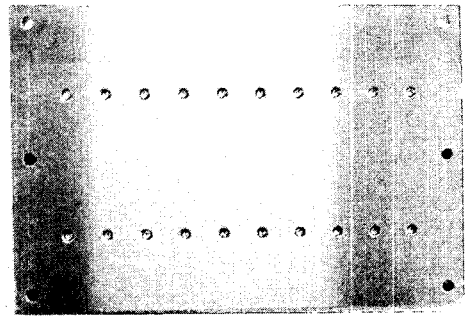
Fig. 2 Schematic diagram of molds

0.5mm±0.05mm 로 하였고 접착물로 강(steel)시편을 사용하였다. 시편의 형상은 Fig. 1 과 같다.

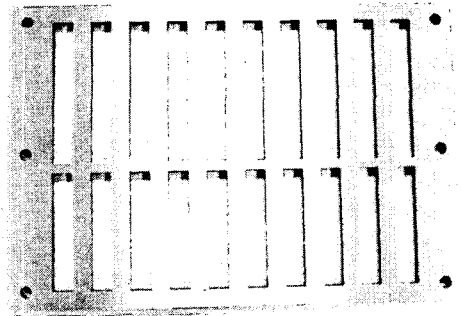
강-강 시편의 정렬(alignment)을 맞추고 접착 두께를 일정하게 유지하도록 하기 위해 Fig. 2 와 같은 시편 제작용 금형을 고안하였다. 금형은 상판[top mold, Fig. 2(a)], 중판[middle mold, Fig. 2(b)], 하판[bottom mold, Fig. 2(c)] 3 개의 판으로 구성된다. 상판은 시편의 덮개 역할을 하며 중판은 접착 두께를 결정하는 역할을 한다. 두 개의 강 시편 접착부 사이의 틈이 0.5mm 가 되도록 강 시편과 중판을 제작한다. ‘┌’ 자 형태의 강 시편 접착부의 높이가 중판의 두께와 같고, ‘└’ 자 형태의 강시편의 접착부가 중판의 두께에서 접착두께만큼 낮게 위치시킴으로써 접착 두께가 일정한 값을 갖도록 시편을 제작하였다. ‘┌’ 자 형태의 강 시편과 ‘└’ 자 형태의 강 시편 사이의 공백을 채우는 테프론(teflon)은 비점착성 특성을 갖으며, 충분한 양의 접착제 투여시 넘친 접착제가 시편 옆으로 흘러나오도록 하는 역할을 한다.

하나의 금형으로 10 개의 시편을 제작할 수 있도록 하였는데, 상판만 이용하여 시편을 압축한다면 강 시편 간 제작오차로 인해 최악의 경우 2 개의 시편만 압축력을 받을 수 있다. 시편이 충분한 양의 압축력을 받지 않는다면 강-강 시편이 제대로 접착되지 않아 시편 불량 발생한다. 이러한 시편 제작상의 불량을 감소시키기 위해 상판과 중판, 하판을 체결하고 상판을 볼트로 뚫어 볼트를 죄임으로써 볼트가 각각의 강 시편에 직접 압축력을 가할 수 있게 금형을 고안하였다[Fig. 2(d)].

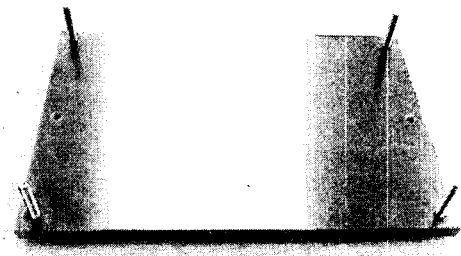
실제 반사경은 상온에서 모든 작업이 진행되기 때문에 실제 제작환경을 고려하여 시편의 경화(curing)는 상온에서 실시하였다.



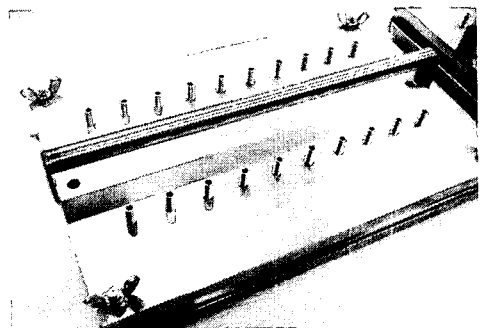
(a) Top mold



(b) Middle mold



(c) Bottom mold



(d) Molds – perspective view

Fig. 3 Molds for manufacturing shear test specimen

2.2 전단 시험 절차

시험기기는 INSTRON 사의 전단 시험기기를 사용하였으며 변형률은 신장계(extensometer)를 이용하여 측정하였다. Fig.4 는 신장계를 전단 시험 시편에 부착하였을 때의 사진을 나타낸다. 탐재체 운용온도 범위인 -20℃에서 55℃ 범위내 -20℃, -10℃, 0℃, 10℃, 20℃, 30℃, 40℃, 55℃의 8 개 온도 점에서 전단 시험을 수행하였다. 온도 챔버(thermal chamber)를 이용하여 온도를 제어하였으며 항온 시간은 20 분으로 하였다. 영하의 온도환경에서 시험할 경우 시편하나에 대한 시험이 끝나면 그립(grip)에 결빙(freezing)이 생기게 된다. 그립에 결빙이 생기면 시편이 미끄러지기 때문에 측정이 제대로 되질 않는다. 이러한 시험기 세팅(setting)으로 인한 시험 오차를 줄이기 위해 시편하나에 대해 시험을 수행하고 그립을 충분히 말린 후 다음 시편에 대해 시험을 수행하였다. 각 온도지점당 최소 10 개 이상의 시편을 사용하였으며 시험기기로부터 받는 데이터는 초당 20 개로 설정하였다. ASTM D3983 에는 치구작동속도(crosshead speed)를 분당 접착두께만큼의 속도로 하도록 제시되어있다. 본 과제에서는 시편의 접착두께가 0.5mm 이므로 치구작동속도를 0.5mm/min 로 설정하였다.

3. 전단 시험 결과

3.1 에폭시 계열의 접착제 A

Fig. 5 는 20℃에서 접착제 A 의 전단응력-전단변형률 그래프(shear stress-strain curve)를 나타낸다. 일반 적으로 전단계수는 전단응력-전단변형률 그래프에서 선형구간을 찾아 그 기울기로 계산된다.

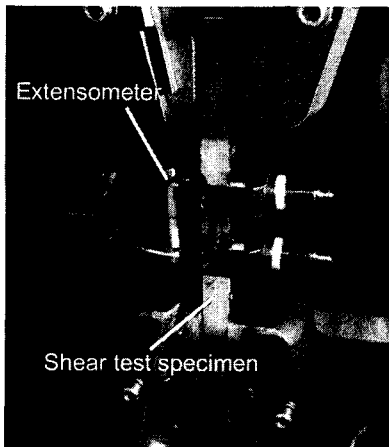


Fig. 4 Shear test setting with extensometer

인공위성 카메라에 사용되는 접착제의 변형은 수십마이크로 미터 수준에 불과하므로 접착제의 변형은 넓은 범위에 걸쳐 일어나는 것이 아니라 초기의 극히 미세한 부분에서 변형이 일어난다고 할 수 있다. 이를 고려하여 1% 변형률 범위까지 선형 맞춤하여 전단계수 값을 구하였다. Fig. 6 은 대표적으로 시편하나에 대해 20℃에서 접착제 A 의 선형곡선맞춤(linear curve fitting) 결과를 나타낸다. 접착제 A 의 온도에 따른 전단계수를 Table 1 에 정리하였다. 이를 적절한 곡선맞춤 함수를 선택하여 전단계수를 온도에 따른 식으로 표현하면 식 (7)과 같고, 그래프로 나타내면 Fig. 7 과 같다.

$$G = 308.097 - 4.2567T^2 + 0.0237T^3 - 0.00047T^4 \quad (7)$$

여기서  $G$  는 전단계수(MPa),  $T$  는 온도(℃)이다.

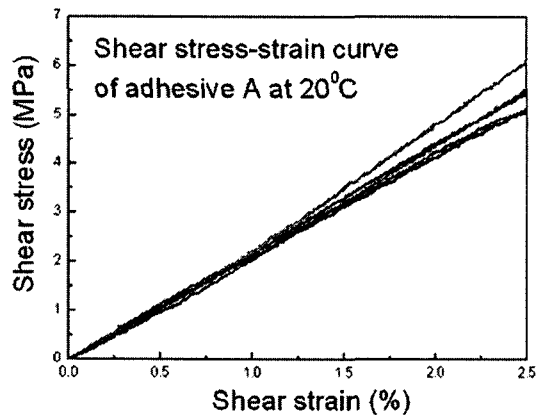


Fig. 5 Shear stress-strain curve of adhesive A at 20℃

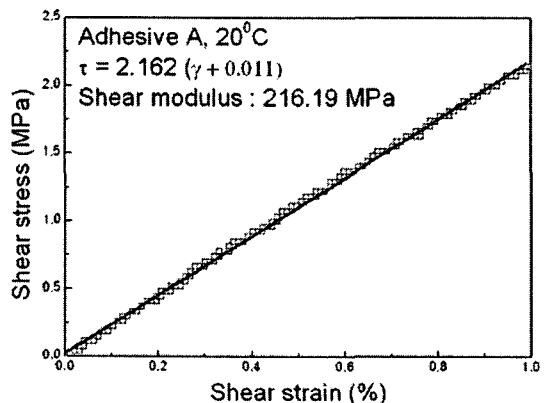


Fig. 6 Linear fitting of shear stress-strain curve at 20℃ : adhesive A

3.2 에폭시 계열의 접착제 B

접착제 B도 접착제 A와 마찬가지로 8개의 온도점에서 전단 시험을 수행하였다. 접착제 B가 어떠한 거동을 보이는지 알아보기 위해 Fig. 8에 20°C 온도 환경에서 전단응력-전단변형률 그래프를 나타내었다.

Table 1 Shear modulus of adhesive A

Temp.	Shear modulus (MPa)	Temp.	Shear modulus (MPa)
-20°C	400.88	20°C	213.78
-10°C	365.45	30°C	192.63
0°C	296.59	40°C	154.87
10°C	279.82	55°C	73.42

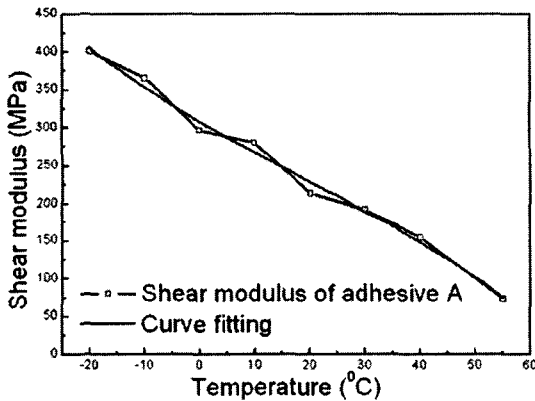


Fig. 7 Shear modulus of adhesive A with respect to temperature

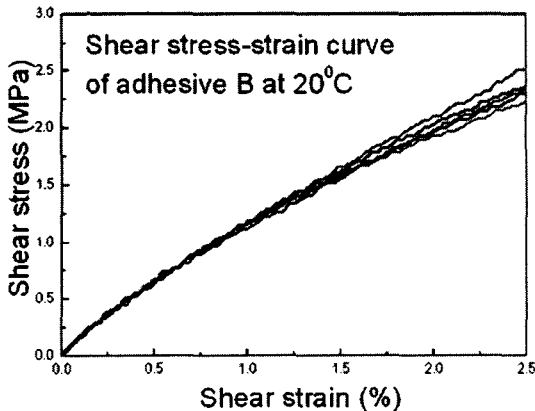


Fig. 8 Shear stress-strain curve of adhesive B at 20°C

Fig. 5에 보인 바와 같이 접착제 A는 선형거동을 보이는 반면, 접착제 B는 고무와 같은 유연한 재료특성으로 인해 비선형 거동을 보임을 알 수 있다. 이와 같이 비선형성이 큰 거동을 보이는 재료는 식 (8)과 같이 지수함수 형태로 곡선 맞춤하면 재료의 물성을 표현할 수 있다.

$$\tau = a\gamma^b \tag{8}$$

여기서  $\tau$ 는 전단응력,  $\gamma$ 는 전단변형률을 나타낸다. 식 (8)을 이용하여 관심있는 변형률 범위에서 전단계수를 근사화시켜 얻을 수 있다. 반사경 접착부에 사용되는 우주용 접착제는 초기의 극히 미세한 구간에서 변형이 일어난다. 이러한 관점에서 접착제 초기의 전단계수를 근사적으로 추출하는 방법은 두 가지 방법이 가능한데 첫 번째 방법은 식 (9)와 같이 식 (8)을 미분하여 원점에서의 기울기로 전단계수를 추출하는 방법이 있다.

$$\tau' = ab\gamma^{b-1} \tag{9}$$

두 번째 방법은 식 (10)과 같이 지수함수 형태의 곡선 맞춤 함수를 최소제곱 근사법을 이용하여 선형 근사하는 방법이 있다. 전단계수를 추출할 영역의 범위를 정하고 최소제곱 근사를 통해 얻은  $c$ 를 전단계수 값으로 하는 방법이다.

$$\min(a\gamma^b - c\gamma) \tag{10}$$

식 (8)의 계수  $a$ 와  $b$ 를 시험을 통해 얻었으므로 사용자는 두 방법 중 적절한 방법을 선택하여 전단계수 값을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 원점에서의 기울기로 전단계수를 추출하는 방법을 사용하였다. 접착제 B의 경우 시험 수를 다량 확보하

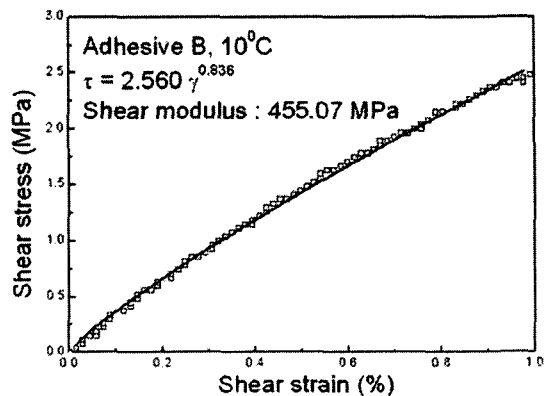


Fig. 9 Exponential fitting of shear stress-strain curve at 10°C : adhesive B

여 시험으로부터 얻은 계수  $a$ 와  $b$ 가 유사한 값을 갖는 시편에 대해 전단계수 값을 얻었다. 본 연구에서는 원점을 0.02% 변형률일 때로 하였다. 대표적으로 하나의 시편에 대해 10°C에서 접착제 B의 곡선맞춤한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 시험으로부터 얻은 계수  $a$ 와  $b$ , 식 (9)를 통해 얻은 전단계수 값을 Table 2에 정리하였다. 전단계수와 온도의 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 10과 같이 적절한 곡선 맞춤함수를 선택하여 전단계수를 온도에 대한 함수로 나타내면 식 (11)과 같다.

$$G = \frac{822.714}{1 + e^{0.0894(T - 8.645)}} \quad (11)$$

여기서  $G$ 는 전단계수(MPa),  $T$ 는 온도(°C)이다.

Table 2 Coefficient  $a$ ,  $b$  and shear modulus of adhesive B

Temp.	$a$	$b$	Shear modulus (MPa)
-20°C	5.559	0.897	802.02
-10°C	4.401	0.889	651.25
0°C	5.199	0.999	521.75
10°C	2.466	0.821	459.52
20°C	1.165	0.829	212.04
30°C	0.285	0.749	67.58
40°C	0.162	0.811	30.84
55°C	0.128	0.853	21.51

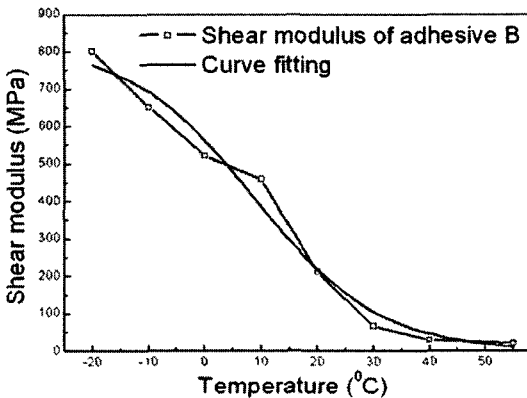


Fig. 10 Shear modulus of adhesive B with respect to temperature

### 3.3 폴리우레탄 계열의 접착제 C

시험방법은 접착제 A, B와 동일하다. 접착제 C의 경우 폴리우레탄 계열의 접착제이므로 다른 재료들에 비해 재료가 상당히 유연하여 강성이 상대적으로 낮은 값을 갖는다. Fig. 11은 20°C에서 접착제 C의 전단응력-전단변형률 그래프를 나타낸다. 접착제 C는 Fig. 11에 보인 바와 같이 선형거동을 보이므로 선형맞춤하여 전단계수를 추출하였다. 시험으로부터 얻은 온도에 따른 전단계수를 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Shear modulus of adhesive C

Temp.	Shear modulus (MPa)	Temp.	Shear modulus (MPa)
-20°C	30.25	20°C	17.74
-10°C	27.91	30°C	14.65
0°C	24.61	40°C	13.43
10°C	20.74	55°C	11.89

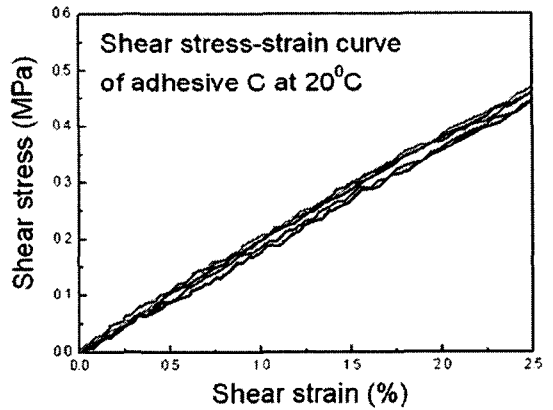


Fig. 11 Shear stress-strain curve of adhesive C at 20°C

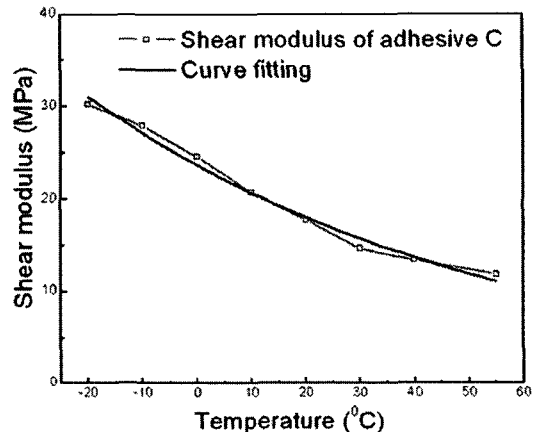


Fig. 12 Shear modulus of adhesive C with respect to temperature

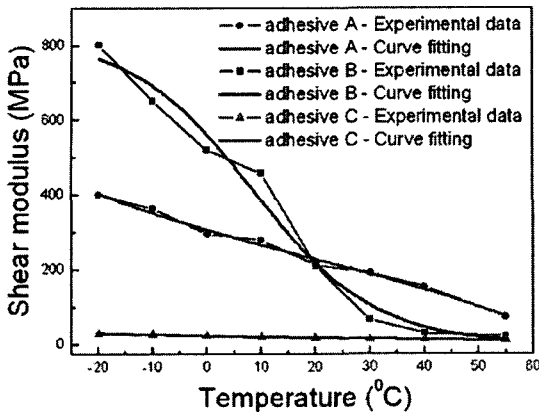


Fig. 13 Comparison of shear modulus : A, B and C

이를 적절한 곡선맞춤 함수를 선택하여 온도에 따른 전단계수를 식으로 표현하면 식 (12)와 같고 그래프는 Fig. 12 와 같다.

$$G = -0.827 + 24.536 \times e^{-\frac{T}{76.336}} \quad (12)$$

여기서  $G$ 는 전단계수(MPa),  $T$ 는 온도(°C)이다.

### 3.4 접착제 A, B, C의 전단계수 비교

전단계수 비교를 위해 Fig. 13 에 세 접착제의 온도에 따른 전단계수 그래프를 나타내었다.

접착제 B는 저온에서 800MPa 정도로 강성이 크지만 고온으로 갈수록 전단계수가 급격히 감소하는 경향을 보인다. 반면 접착제 A는 저온에서 B보다 강성이 작지만 온도에 따른 변화폭은 B보다 작아 고온에서는 B보다 높은 강성을 갖는다. 접착제 C는 저온에서 고온으로 갈수록 전단계수가 감소하기는 하나 그 수치가 수십 MPa 정도를 유지하여 다른 접착제에 비해 온도에 따른 전단계수 변화폭이 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 온도 민감도(temperature sensitivity)를 본다면 접착제 B > 접착제 A > 접착제 C의 순이다. 저온, 상온, 고온에서 접착제들의 전단계수를 비교하면 아래와 같다.

저온 : 접착제 B > 접착제 A >> 접착제 C

상온 : 접착제 A > 접착제 B > 접착제 C

고온 : 접착제 A > 접착제 C ≈ 접착제 B

접착제 B의 경우 온도가 증가할수록 전단계수가 급격히 감소한다. 40°C이상의 온도 범위에서 접착제의 강성이 현저히 떨어지므로 접착제 B를 지지부의 접착제로 사용하기 위해서는 고온 환경에서 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 지지부 설계가 필수적으로 요구된다. 또한 저온에서 접착제 B의 전단계수가 다른 접착제에 비해 상대적으로 큰 값을 갖

기 때문에 반사경에 전달되는 정적 혹은 동적 하중을 완화(relaxation)시켜주지 못하여 반사경과 지지부의 이음부 부분에 응력을 집중시킬 수 있다.

접착제 A의 경우 B에 비해 온도 변화에 따른 전단계수의 변화가 심하지 않으며 고온 환경에서도 상대적으로 강성이 큰 값을 갖는다. 따라서 A를 지지부 접착제로 사용하면 온도에 따른 반사경의 광학적 성능 편차가 크지 않으므로, 광학성능의 요구조건을 만족시키기 위한 지지부 설계를 B의 경우에 비해 보다 완화시킬 수 있다.

접착제 C의 경우 온도에 대한 접착 특성의 변화는 크지 않으나 다른 접착제에 비해 접착력이나 강성이 현저히 작기 때문에 광학 성능이 저하되지 않도록 구조적인 안정성을 향상시킬 수 있는 반사경 지지부의 설계가 필요하다.

Primer는 접착물 간의 접착력을 강화시키기 위해 접착제 투여이전에 접착물에 바르는 표면코팅 시약으로 대구경 반사경과 반사경 지지부 접착시 반드시 필요하다. 전단계수 측정 시험 과정 중 시편을 제작하는 과정에서 primer를 바르는 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 접착제의 접착력이 확연히 차이남을 알 수 있었다. Primer를 바르지 않게 되면 시편 불량률이 높고 그림에 시편을 몰릴 때 접착부가 쉽게 과단되기 때문에 primer를 바르지 않는 시편의 경우는 시험을 수행할 수 없었다. 따라서 primer가 접착부의 접착 특성과 접착력에 크게 영향을 미친다고 판단된다. 또한 실제 접착 환경은 상당히 얇은 두께에 전단력이 가해진다. 따라서 반사경 지지부의 접착특성은 접착제의 순수 강성 외에 primer에 의한 접착효과, 접착제와 primer의 상호 화학작용 등 추가적인 변수에도 영향을 받는다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서 채택한 단일접지기 접착 조인트 시험법은 실제 반사경의 제작환경과 잘 부합하며 시험으로부터 얻은 전단계수는 상기에서 언급한 추가 변수를 고려해서 얻은 결과이므로 실제 반사경의 제작환경을 반영한 물성치라고 판단된다.

## 4. 결론

본 논문에서는 인공위성 카메라에 장착된 반사경 지지부의 접착 특성 연구를 위해 접착제의 전단 특성을 규명하였다. 우주용 접착제는 점탄성 재료와 같이 비압축성에 가까운 거동을 보이므로 편차응력 성분을 지배하는 전단계수의 정확한 측정이 필요하다.

전단계수 측정법으로 단일접지기 접착 조인트 시험법을 사용하였으며 반사경의 운용 온도 범위인 -20°C에서 55°C내 8개 온도점에서 에폭시 계열의 접착제 A, B, 폴리우레탄 계열의 접착제 C에 대해 전단 계수를 측정하였다

접착제 투여이전에 접착물간의 접착력을 강화시키기 위해 primer 를 접착부에 바른다. 따라서 반사경 지지부의 접착 특성은 접착제의 순수 강성 외에 primer 에 의한 접착효과 등에도 영향을 받는다. 따라서 단일 겹치기 접착 조인트를 이용한 시험법이 접착제의 순수 전단계수 측정 방법이라고 할 수는 없으나 실제 반사경의 접착, 제작, 구동 환경과 유사한 환경에서 시험이 수행되었다고 할 수 있다.

시험을 통해 세 접착제의 온도에 따른 전단계수 그래프를 추출하였다. 접착제 A 와 B 는 온도에 따라 전단계수가 민감하게 변하므로 접착제의 강성변화에 대처할 수 있는 적절한 구조설계가 필요하다. 접착제 C 는 온도 변화에 민감하지 않으므로 다양한 온도환경을 겪는 구조물에 적합할 것으로 판단된다. 그러나 상대적으로 약한 강성과 접착력으로 인해 반사경의 구조적인 문제점을 발생시킬 수 있으므로 이를 보완할 수 있는 지지부 설계가 필요하다

시험을 통해 규명한 전단계수는 실제 반사경의 구동환경과 잘 부합하는 재료 특성으로 판단되며 이를 이용하면 접착특성을 고려한 반사경 구조해석이 가능하다. 이를 통해 반사경의 하중 및 온도 환경, 재료 등 반사경의 성능에 영향을 미치는 다양한 요인들을 면밀히 검토할 수 있으며 이에 맞는 적합한 접착제를 선별할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 한국항공우주연구원(KARI)의 '다목적실용 위성 3 호 탑재체 개발사업'에 의하여 지원되었음.

## 참고문헌

- (1) Park, K. S., Lee, J. H. and Youn, S. K., 2005, "Lightweight Mirror Design Method Using Topology Optimization," *Optical Engineering*, Vol. 44, pp. 053002-1~053002-6.
- (2) Park, K. S., Chang, S. Y. and Youn, S. K., 2003, "Topology Optimization of the Primary Mirror of a Multi-Spectral Camera," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 25, No. 1, pp. 46~53.
- (3) Uhm, T. K., Park, K.S., Cho, J. H., Lee, W. S., Lee, J. H., Youn, S. K., Lee, E. S., Woo, S. H., Lee, S. H. and Paik, H. Y., "Design of Flexure Mounts for Satellite Primary Mirrors," *Optical Society of Korea Summer Meeting*, 2003, pp. 138~139.
- (4) Kim, H. J., Seo, Y. D., Park, S. H., Kim, J. Y., Uhm, T. K., Youn, S. K., Lee, S. R., Lee, S. H., Lee, D. G., Lee, E. S., Jang, H. S. and Jung, D.J., 2006, "A Study on the Measurement of Elastic Moduli and Characteristics for Space Adhesives," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 35, No. 2, pp. 101~106.
- (5) Seo, Y. D., Kim, H. J., Park, S. H., Kim, J. Y., Uhm, T. K., Youn, S. K., Lee, S. R., Lee, S. H., Lee, D. G., Lee, E. S., Jang, H. S. and Jung, D.J., 2006, "Lap Shear Strength Test of Space Adhesives," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 34, No. 10, pp. 40~47.
- (6) Christensen, R.M., 1982, "Theory of Viscoelasticity - An Introduction," Academic press INC..