

인공위성 태양전지판 지상 전개 실험

허 석[†],곽문규^{*}

김홍배^{**},문상무^{**},우성현^{**},이상철^{**}

Ground Experiments for Satellite Solar Array Deployment

Seok Heo, Moon K. Kwak

Hong B. Kim, Sang M. Moon, Sung H. Woo and Sang S. Lee

Abstract

This research is concerned with ground experiments for satellite solar array deployment. The dynamic characteristics of the strain energy hinge is very important since it affects the shape and the speed of the solar array deployment. The rapid deployment results in overshoot and undesirable residual vibrations. The experimental results are in good agreement with theoretical results.

1. 서 론

인공위성이 우주 공간상에서 활동을 하기 위한 첫 번째 단계가 태양전지판의 전개이다. Strain energy Hinge(SEH)나 기타의 다른 전개장치를 이용하여 전개가 이루어지는 경우에 전개장치의 동작은 인공위성 자체의 무게를 의미한다. 따라서 인공위성을 우주에 올리기 전에 태양판 전개 장치를 반드시 시험해 볼 필요가 있으며 태양전지판 전개에 관한 이론적 모델의 유도화 더불어 지상에서의 전개 시험 또한 반드시 필요하다.

인공위성 태양전지판의 전개는 태양전지판의 이탈을 방지하기 위해서 천천히 이루어지는 것이 바람직한데 SEH를 사용하는 경우 좌굴 전 상태로 풀아가는 미소각도에서 급격히 전개가 이루어진다. 급격한 전개로 인해 반대쪽에서 좌굴이 일어나 적입이 발생할 수도 있고 전개 후 잔류진동이 발생해 위성 본체에 영향을 줄 수 있다.

따라서 SEH를 포함한 전개 장치의 동작을 지상에서 실험하여 그 작동성을 검증하게 되는데 지상과 우주의 환경차이로 인해 지상에서의 실험 결과가 우주 공간상의 전개로 인정되기 어렵다. 또한, SEH의 작동특성이 매우 복잡하여 전개 운동에 대한 이론적인 모델링 방법도 제공되지 않고 있는 현실이다. 그러므로 인공위성 태양판 전개운동을 좀 더 정확하게 예측하기 위해서는 SEH를 포함한

[†] 동국대학교 기계공학과 대학원
^{*} 동국대학교 기계공학과 교수
^{**} 한국항공우주연구원 우주시험그룹

태양관의 전개에 관한 지상실험 데이터를 근거로 이론적인 모델이 개발되어야 하며 SEH의 비선형성에 대처할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

전단 거동을 방지하였다.

2. SEH의 구조 및 실험 장치

인공위성의 태양관 전개에 사용되는 SEH는 줄자에 사용되는 서로 반대의 곡률을 갖는 얇은 패널들이 간격을 두고 위 부분과 아래 부분으로 나뉘어져 있다. Fig. 1은 SEH를 보여주고 있다. 각은 SEH에 대하여 UTM을 이용한 좌굴실험을 수행하고 이를 바탕으로 1차원 비선형 등가 스프링으로 치환된 SEH 모델을 제시하였다.

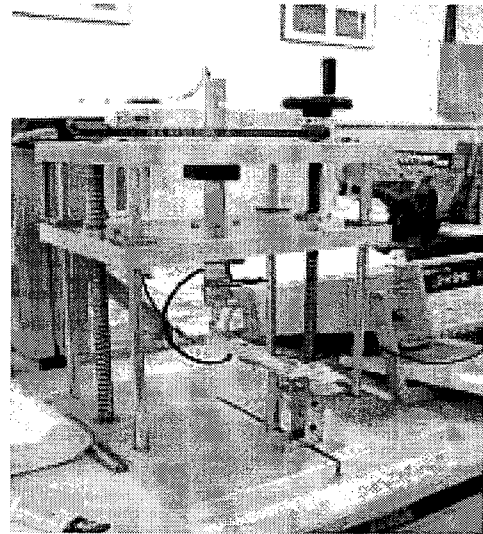


Fig. 2 Testing Apparatus for the SEH

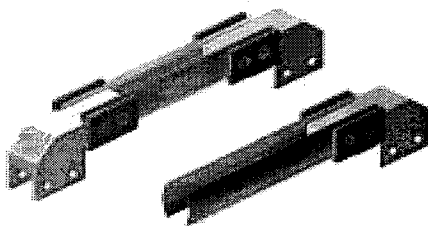


Fig. 1 Structure of SEH

Fig. 2는 SEH의 각변화에 대한 강성의 변화를 계속하기 위하여 SEH의 한쪽을 고정시키고 반대쪽에 힘을 가하기 위한 실험장치를 보여주고 있다. 실험장치는 Load Cell과 LVDT로 구성되어 있다. 이와 같은 장치를 가지고 LVDT에서 구한 변위와 Load Cell로부터 가해진 힘을 계속하여 SEH에 대한 모멘트-각도 선도를 구하였다. 시험 중 관찰된 것은 단일 SEH의 중앙에 지지점이 없을 경우 전단 거동이 먼저 나타나는 것이다. 순수 굽힘에 의한 실험 결과는 좌굴지점이 정확히 존재하는데 비해 전단에 의한 실험 결과에서는 좌굴이 명확하지 않다. 따라서 순수한 굽힘 거동에 대한 실험을 수행하기 위하여 중앙을 지지하여

3. 등가 비틀 스프링 모델

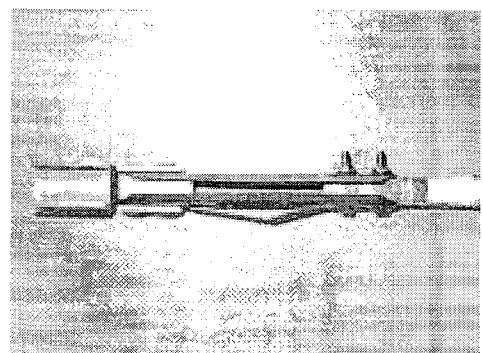
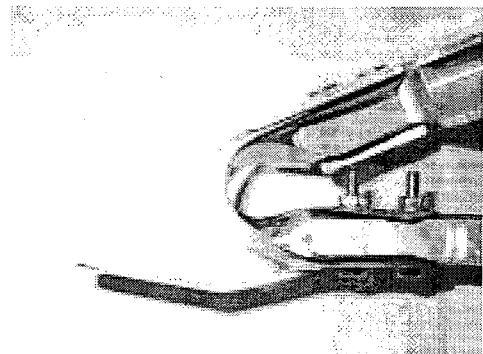


Fig. 3 Strain Energy Hinge with Stopper

Fig. 3은 1겹 SEH에 Stopper가 부착된 구조를 보여주고 있다. 이 경우 Stopper로 인해 기존의 SEH에 비해 회전 운동이 저항을 받게 된다. 이 SEH에 대해 좌굴 실험을 수행하였는데 그 결과를 보여주는 것이 Fig. 4이다. 그림에서 보이듯이 좌굴 전과 좌굴 후 강성의 차이가 화연함을 알 수 있다. 좌굴 전에서는 강성이 크나 좌굴 후에는 강성이 매우 작아짐을 볼 수 있다.

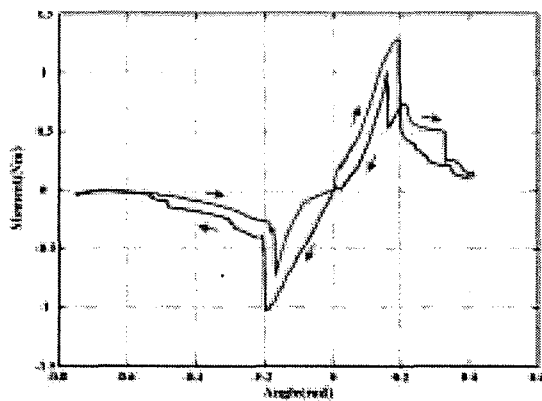


Fig. 4 Bending Moment vs. Angle Diagram for SEH

Fig. 4에서 보이는 두 개의 그래프중 위의 것은 SEH에 힘을 가한 경우이고 아래 것은 전개가 될 때 즉 가한 힘을 제거했을 때의 결과 그래프이다. 태양전지판의 전개에 있어 지금까지의 연구를 보면 대부분 힘을 가한 경우만 가지고 해석을 하였으나 힘이 제거 될 때의 경우가 전개 시에 얼마나 중요한 것인지를 인식할 수 있다. 즉 그래프 중 아래 것은 태양전지판과 초기 조건에서부터 전개가 일어날 때의 경우이고 그래프중 위의 것은 관성력에 의해 SEH가 다시 접혀질 경우에 해당된다.

Fig. 4를 이론적으로 해석하기는 현재로서는 불가능해 보인다. SEH의 동적 특성은 전개 운동을 예측하는데 있어 필수적인 요소이기 때문에 어떤 형태로든 이런 강성 특성이 반영되어야 한다. 본 연구에서는 이런 선도를 그대로 처리하는 것은 부채라고 판단되어 Fig. 5와 같

이 간략화된 굽힘모멘트 대비 각도 선도를 사용하였다.

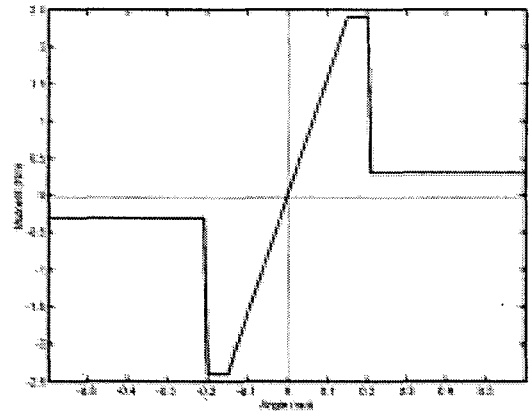


Fig. 5 Equivalent Bending Moment vs. Angle Diagram for SEH

이와 같이 간략화된 굽힘모멘트 선도로부터 등가 비틀 스프링 상수를 유도하면 식(1)과 같이 표현할 수 있다. Fig. 4의 실험 결과를 간략화한 Fig. 5는 한겹 SEH에 대한 것이어서 실제로 사용된 두겹 SEH에 대해서는 두 배를 곱해 식(1)을 유도하였다.

$$k_{\theta} = \begin{cases} 16 \text{ Nm/rad} & \text{for } |\theta| < 0.15 \text{ rad} \\ 2.4/|\theta| & \text{for } 0.15 \leq |\theta| < 0.2 \text{ rad} \\ 0.3/|\theta| & \text{for } 0.2 \leq |\theta| \text{ rad} \end{cases} \quad (1)$$

4. 지상 전개 운동

계측된 실험 장치의 재원으로부터 Table 1. 같은 값이 추출되어 사용되었다. 허브와 각각의 SEH에 대해서는 감쇠값이 6, 5, 3, 2 Ns/m로 가정되었다. 물론 감쇠값에 따라 전개 운동의 특성이 변한다. 이 값들은 태양전지판의 전개 실험으로부터 추정되었는데 더 정확한 감쇠값을 산정하기 위해서는 각각의 태양전지판과 SEH에 대해 실험을 수행해

아하는데 현실적으로 분가능해 수치계산을 통해 타당한 값을 역으로 추출하였다.

Table 1. 전개장치의 물성치

	질량(kg)	질량관성모멘트 (kg m ²)
인공위성	788.0	213.7
실험장치의 허브	680.0	10.0
첫 번째 태양전지판	7.2576	0.60
두 번째와 세 번째 태양전지판	4.9896	0.22

이와 같은 물성치를 가지고 수치계산을 수행한 결과가 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 허브의 회전각운동에 대한 이론 계산 결과와 실험 결과를 보여주고 있다. 이 그림으로부터 허브의 회전운동이 회전하다가 지지스트링에 의해 정적 평형점에 대한 단진자 운동으로 바뀌고 있음을 알 수 있다. 실험 결과 또한 이런 결과를 지지하고 있다.

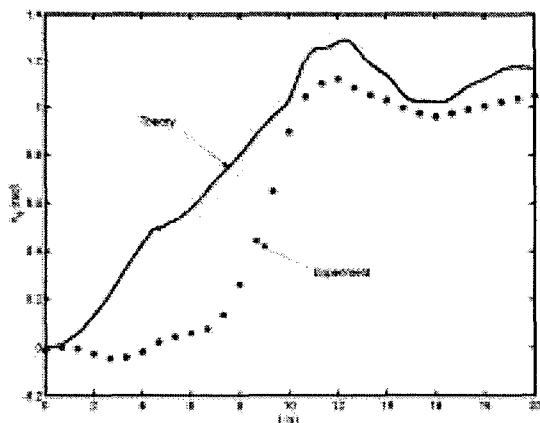


Fig. 5 Time History of Angular Displacement of Hub

그림을 좀더 살펴보면 실험 장치의 허브 운동을

지배하는 마찰이 존재함을 추론할 수 있다. 베어링을 사용하고 있지만 정적 마찰력에 의해 허브의 운동이 어느 정도 저지되다가 지지스트링에 의해 움직이게 됨을 알 수 있다. 이론 계산에 있어서도 감쇠를 가정하였지만 이런 운동 특성은 정적 마찰에 의한 초기 운동 저지로 볼 수 있을 것이다.

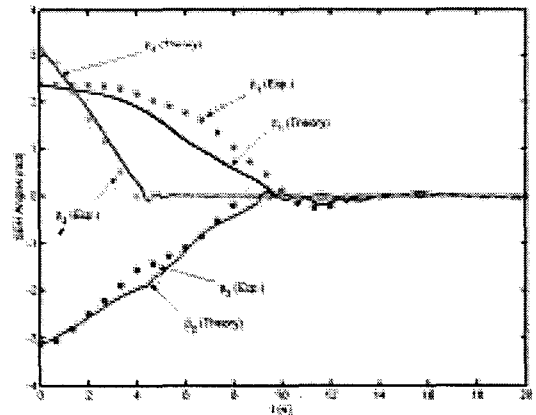
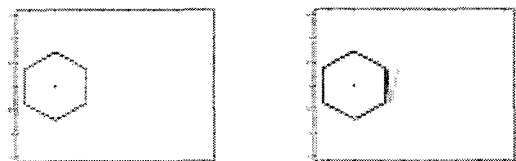


Fig. 6 Time History of Angular Displacements of SEH's

Fig. 6은 각각의 SEH가 가지는 상대 각도를 시간 대별로 살펴본 그림이다. 이 그림으로부터 허브로부터 제일 멀리 떨어져 있는 SEH가 펼쳐지며 그 다음에는 중간 SEH 그리고 최종적으로 root SEH가 펼쳐짐을 확인할 수 있다. 실험 결과와 비교했을 때 운동 형태가 매우 유사하게 나타남을 알 수 있다. 실제 실험에서는 SEH의 격침이 발생하였는데 이론 계산에서는 나타나지 않았다.

Fig. 7은 0.005초 간격의 전개 상태를 보여주고 있다. 이 그림들은 위에서 언급한 시간대별 각운동을 시각적으로 보여주는데 이 결과를 비디오로 촬영한 실험 결과와 비교한 결과 매우 유사함을 확인할 수 있었다.



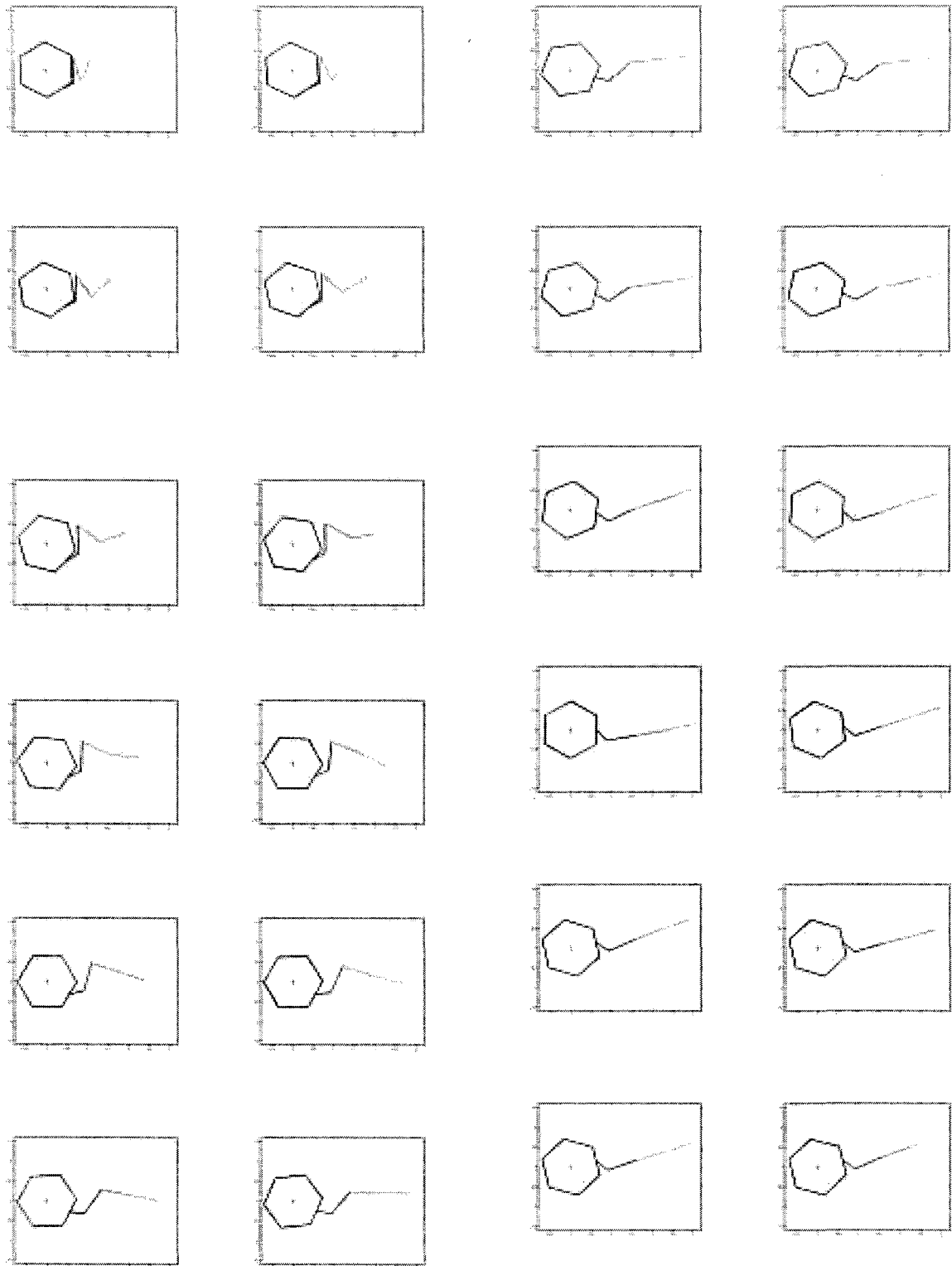


Fig. 7 Time History of Solar Array Deployment

5. 토의 및 결론

stopper 가 부착된 SEH의 동적특성을 파악하고 이론적인 해석을 위한 간략화된 굽힘모멘트 선도를 추출하였다. 이 결과는 등가 비틀 스프링 모델에 사용되었다. 또한, 항공우주연구원의 지상 전개 실험 시스템의 계원을 통해서 전개장치의 물성치를 구하였으며, 실험을 통한 비디오 분석작업으로 허브의 회전운동이 회전하다가 지지스트링에 의해 정적 평형점에 대한 단전자 운동으로 바뀌고 있음을 알 수 있었다. 이것은 베어링을 사용하고 있지 단 정적 마찰력에 의해 허브의 운동이 어느 정도 지지되다가 지지스트링에 의해 충격이게 됨을 말한다. 그리고 태양전지판이 전개될 때 각각의 전지판에 부착된 SEH의 상대각도를 추출하여 전개양상을 확인할 수 있었다. 이론적인 결과와 비교하여 볼 때 매우 유사한 운동을 나타냄을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국항공우주연구원 2001년도 "다목적 실용위성 2호 종합 조립 및 시험기술 개발 (II) 과제외위탁과제인 다목적 실용위성 2호 태양전지판의 지상 전개시험장치 연계해석" 지원에 의하여 이루어졌다. 관계자 여러분께 감사 드린다.

참 고 문 헌

[1] M. K. Kwak, D. Sculli, W. T. Schlagel, R. M. Martin, and Alok Das, "Deployment Dynamic Analysis and Experiments on ACTEX-II Array Structure", Proceedings of the 35th SDM Conference.

[2] M. K. Kwak, W.-K. Ra and K.-J. Yoon, "Viscoelastic Strain-Energy Hinge for Solar

Array Deployment", SPIE's 6th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Newport Beach, California USA, March 1-5 1999.

[3] 좌문규, 라완규, 윤광준, "변형에너지 힌지를 갖는 인공위성 태양판의 전개 운동 해석", 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집, 서울, 1998년 11월, pp. 269-272.

[4] 라완규, 좌문규, "변형에너지 힌지를 갖는 인공위성 태양판 전개모델 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 대전, 1998년 11월, pp. 280-284.

[5] 좌문규, 라완규, 윤광준, "점탄성 변형에너지 힌지를 이용한 인공위성 태양판 전개 장치의 개발", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 대전, 1998년 11월, pp. 285-289.

[6] 좌문규, 허석, "다목적 실용위성 2호 태양전지판 전개장치의 동적 모델링", 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집, 서울, 2001년 11월, pp. 117-120.

[7] 좌문규, 허석, 이상철, 김홍배, 최석원, 문상부, 우성현, "다목적 실용위성 2호 태양전지판 지상전개 실험", 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집, 서울, 2001년 11월, pp. 121-124

[8] 좌문규, *진동학의 기초 (Elements of Vibration Analysis, Leonard Meirovitch)*, 만도출판사, 1996. 10. 31