한국소음진동공학회 1995년도 춘계학술대회논문집 pp. 73-80

# 위성용 태양전지판 구조물의 진동해석 및 시험에 관한 연구

°문상무*, 이주진**, 이상설***, 최익현***

( A Study on Vibration Analysis and Test of Satellite Solar Panel Structure )

( Sang-Mu Moon, Joo-Jin Lee, Sang-Seol Lee and Ik-Hyeon Choi )

## 1. 개 요

인공위성은 지상에서 제작된 후, 발사로켓에 의하여 우주궤도로 진입하게 된다. 로켓에 탑재된 인공위성은 발사중에 로켓에서 발생하는 매우 큰 기계적 진동 및 고주파의 음향학적 진동을 받게 된다. 또한 인공위성이 우주궤도상에서 비행하는 동안에도 수시로 인공위성의 자세를 제어할 필요가 있으며, 이러한 자세제어계의 작동은 인공위성에 진동을 발생시키는 요인이 된다. 이 때, 만일 궤도상에서 펼쳐진 태양전지판 구조물과 같은 유연한(flexible) 구조물의 고유진동수가 자세제어계의 동작으로 유발되는 진동수와 일치하게 되면 공진(resonance) 현상이 발생하게 되어 자세제어의 곤란은 물론 위성의 임무수행에 큰 지장을 주게된다.

이상과 같은 요인에 의하여 위성용 태양전지판은 발사 및 궤도운행시 제한조건을 만족하도록 설계되어야 한다. 현재의 대표적인 발사체인 델타(delta II)[1], 아틀라스(atlas I/II)와 아리안(ariane 4)[2]등에서는 Table 1을 만족하는 경우에만 발사체에 실을 수 있도록 제한하고 있으며, 궤도상에서도 인공위성마다 펼쳐진 태양전지판에 대한 고유진동수 제한 조건이 주어져(무궁화위성의 경우: 0.11Hz bending mode, 0.50Hz torsion mode) 이에 맞는 구조물 설계기법 및 시험에 대한 연구가 필수적이다.

Table 1. 대표적인 발사체에서 요구하는 위성체의 고유진동수

| Launcher / Frequency Requirement | Ariane 4 | Delta II, Atlas I/II |
|---|---|---|
| Thrust Mode | ≥ 31 Hz | ≥ 35 Hz |
| Lateral Mode | ≥ 10 Hz | ≥ 15 Hz |

* 한국항공우주연구소 연구원
** 한국항공우주연구소 책임연구원
*** 한국항공우주연구소 선임연구원

태양전지판 구조물은 비강성, 비강도가 탁월한 복합소재 구조물로 제작되는 것이 일반적이며, 대부분 크기에 비하여 두께가 얇은 형태를 갖는다. 이러한 구조물은 저주파의 고유진동수 특성을 가지며, 이러한 진동특성을 측정하기 위해서는 저주파 진동측정용 센서를 사용하여야 한다. 이러한 센서는 통상적으로 스트레인 게이지를 응용하여 제작되며, 압전소자를 이용한 센서에 비하여 상대적으로 센서의 질량이 크다. 따라서 센서의 질량으로 인한 측정결과의 오차가 발생할 수 있으며, 이의 영향을 사전에 고찰하여 센서의 영향을 가능한 한 작게 할 수 있는 시험방법을 추구하여야 한다.

또한 태양전지판 복합소재 구조물은 샌드위치 구조의 판의 내부나 외부에 보강재를 부착하여 제작하기 때문에 그 구조가 복잡하며, 일반적으로 복합재료의 경우에는 일반 등방성 재료와는 다른 이방성의 특성 때문에 그 해석기법이 매우 복잡하다[3].

본 연구에서는 범용 구조해석 프로그램인 NASTRAN을 이용하여 실위성용 복합소재 태양전지판 구조물의 유한요소 모델링을 통해 진동특성에 대한 해석을 수행하였으며, 진동특성 측정용 치구를 제작하고, 측정센서의 질량이 미치는 영향을 해석적인 방법으로 분석하였으며, 진동특성 측정시험을 수행하였다. 최종적으로 해석결과를 시험결과와 비교하므로써 태양전지판 구조물의 진동특성 시험방법을 정립하고 모델링기법을 검증하였다.

## 2. 태양전지판 구조물의 구성

태양전지판 구조물은 인공위성의 전력공급원에 해당하는 태양전지의 고정용 판넬로서 경량이면서도 강도면에서 강한 복합소재를 사용하고 있다. 본 연구에 사용된 구조물은 무궁화호 위성에서 사용된 것과 동일한 형상과 크기를 가지

며, 수평, 수직보강재로 사용된 소재에서만 재질과 적층각, 적층순서에서 약간의 차이를 보이고 있다.

태양전지를 부착하기위한 판넬은 알루미늄 하니컴 심재(honey comb core)와 케블라(kevlar) 면재로 구성된 샌드위치 구조에 강도의 보강을 위해 판넬의 뒷면에 수평과 수직방향으로 해트(hat) 모양의 단면을 가진 복합재료 보를 붙였다. 판넬의 테두리부분은 케블라를 재질로 하는 ㄷ자 단면의 보로 마무리를 하였다. Fig. 1은 태양전지판 구조물의 형상을, Fig. 2는 수평, 수직보강재의 구성소재를 보여주고 있으며, Table 2는 본 연구에서 사용된 태양전지판 구조물의 수평, 수직보강재의 변경된 소재의 내역들이다. 위성용 복합소재 구조물은 부분별로 핫프레스(hot press)나 오토클레이브(auto-clave)에서 성형하여 접합공정을 거쳐 제작되는데 발사시의 최대 충격하중 및 극심한 소음환경에서도 구조적으로 충분한 기계적 강도를 가져야 하며, 궤도상에서 받게되는 극한 온도차이와 우주부유물들에 의한 충격에서도 구조적 안정성을 유지해야 하므로 설계단계에서의 소재의 특성과 강성등에 대한 정확한 고찰이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 구조 및 동특성 해석과 시험들이 수행된다.

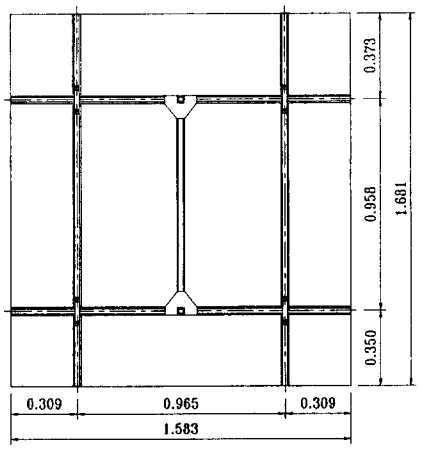


Fig. 1 태양전지판 구조물의 형상

Table 2. 수평/ 수직 보강재의 소재 변경[4)]

| | 무궁화 위성 | 본 연구 |
|---|---|---|
| 수직 보강재 | T300 P75s G/E ( 8ply $[0_4]_s$ ) | DMS 2224 Type1 G/E ( 4ply $[5/-5]_s$ ) |
| 수평 보강재 | T300 P75s G/E ( 14ply $[0_7]_s$ ) | DMS 2224 Type1 G/E ( 7ply [0/5/-5/0/-5/5/0] ) |

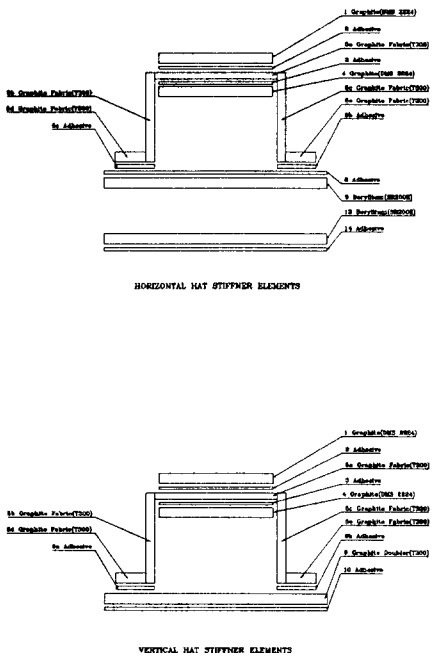


Fig. 2 수직/수평 보강재의 구성

## 3. 진동특성 해석

태양전지판 구조물의 진동특성에 대한 해석을 위하여 범용 구조해석 프로그램인 NASTRAN을 이용한 유한요소모델링을 통하여 자유진동해석을 수행하였다.

Fig. 1과 같이 태양전지판 구조물은 허니콤 샌드위치 구조의 판재부분과 해트 모양의 단면을 갖는 수평/수직 보강재 및 판재부분의 태두리 부분으로 크게 구분할 수 있다.

본 연구에 사용된 태양전지판 구조물의 판재부분은 알루미늄 재질의 허니콤으로 이루어진 심재를 복합재료 케블라로 구성된 면재로 덮은 샌드위치 구조로 되어있어, 심재는 횡방향 전단력(transverse shear force)을 전달하며 면재는 굽힘력(bending force)과 막력(membrane force)을 전달하므로 이와같은 특성들의 묘사를 위해 평판요소 **CQUAD4**에 특성 카드(property card) **'PSHELL'**를 사용하여 근사적으로 모델링을 하였다. NASTRAN에서의 **PSHELL** 카드를 이용한 허니콤 샌드위치 구조물의 모델수립법은 다음과 같다[5)].

**"PSHELL,PID,MID1,T,MID2,RI,MID3,RT"**

여기서, MID1 : membrane behavior(면재특성)

MID2 : bending behavior(면재특성)

MID3 : shear behavior(심재특성)

T : membrane thickness(전체 면재 두께에 해당, $T = \sum T_i$)

RI : = $I / I_o$

( $I_o = T^3/12$, $I = \sum T_i(Z_i - \overline{Z})^2$,

$$\overline{Z} = \frac{\sum T_i Z_i}{\sum T_i}$$

RT : = $TS / T$ (TS : 심재 두께)

*물성치 카드(material card)

MID1, MID2 : 면재에 해당하는 케블라의 적층 상태를 입력할 수 있는 MAT8카드 사용,

MID3 : 심재인 허니콤이 전단력만을 전달하는 특성표현을 위해 MAT2카드사용

($G_{11} = G_{44}$, $G_{22} = G_{55}$, $G_{12} = G_{13} = G_{23} = G_{33} = 0$)

또한 판재의 테두리 부분은 ㄷ자 단면의 3차원 보 형상을 등가의 1차원 강성계수로 상사시킨[6] 1차원 **BAR**요소로 모델링하였다. 수평/수직 보강재는 세부분으로 나누어, 판재 속에 묻혀있는 베릴륨(beryllium)과 더블러(doubler)는 평판요소에 붙어있는 **BAR**요소로, 보강재의 웨브(web)부분은 평판요소에 수직한 방향의 또다른 평판요소 **CQUAD4**로 모델링하였으며, 보강재의 나머지 부분은 등가 강성계수로 상사된 오프셋이 있는 **BAR**요소를 사용하여 모델링하였다.

이와 같은 본 연구의 수평/수직 보강재에 대한 모델링은 베릴륨과 더블러 그리고 보강재의 웨브등 세 부분을 함께 등가시켜 모델링한 이전의 경우에서는 적절히 고려되지 못했던 판재속의 베릴륨의 특성을 분리시키고, 판재의 한쪽 면에 붙어있는 해트 모양의 구조적인 보강효과를 더욱 정확하게 표현하기 위해서이다.

태양전지판 구조물의 질량은 각요소의 질량을 요소별로 고르게 분포시켜 계산한 비구조물질량(nonstructural mass, **NSM**)으로 처리하였으며, 수평, 수직 보강재가 만나는 부분의 스트랩과 피팅부분은 집중질량 **CONM2**로 처리하였다. Table 3은 태양전지판 구조물의 유한요소 모델수립에 사용된 요소 및 노드에 관한 사항들이며, Fig. 3는 모델링이 완료된 3차원 형상이다.

Table 4는 NASTRAN의 솔버(solver) **'SOL3'**를 이용한 유한요소 동적 해석을 통해 얻은 태양전지판 구조물의 자유진동해석의 고유진동수 값이며, Fig. 4는 1차, 2차의 고유진동 모우드 형상을 NASTRAN과 PATRAN 인터페이스[7]를 통해 출력한 것이다.

Table 3. 태양전지판 유한요소 구분

| 부 분 | | 요소형태 |
|---|---|---|
| 태양전지판 | overhang | CQUAD4 (168개) |
| | midsection | CQUAD4 (252개) |
| 보강재 | 수직 | CQUAD4 (54개)<br>BAR (54개)<br>offset BAR (54개) |
| | 수평 | CQUAD4 (40개)<br>BAR (40개)<br>offset BAR (40개) |
| | 테두리 | BAR (94개) |
| 스트랩/피팅 | | CONM2 (6개) |

# 전체요소수 : 802 개
전체 노드수 : 555 개

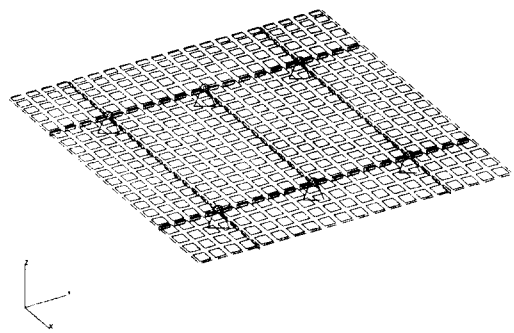

Fig. 3 태양전지판 구조물의 모델링

Table 4. 태양전지판 구조물의 고유진동수(유한요소 해석결과)

| Mode | 1 차 | 2 차 | 3 차 | 4 차 | 5 차 |
|---|---|---|---|---|---|
| 고유진동수(Hz) | 4.47 | 7.98 | 33.84 | 38.85 | 41.94 |

## 4. 진동특성 측정시험

태양전지판 구조물과 같이 크기에 비하여 두께가 상대적으로 얇은 구조물의 진동특성 측정시에는 센서의 선택 및 측정기술에 실험의 정확도가 달려 있으므로 특별한 주의를 기울여야 한다. 구조적인 특성으로 인해 대부분의 태양전지

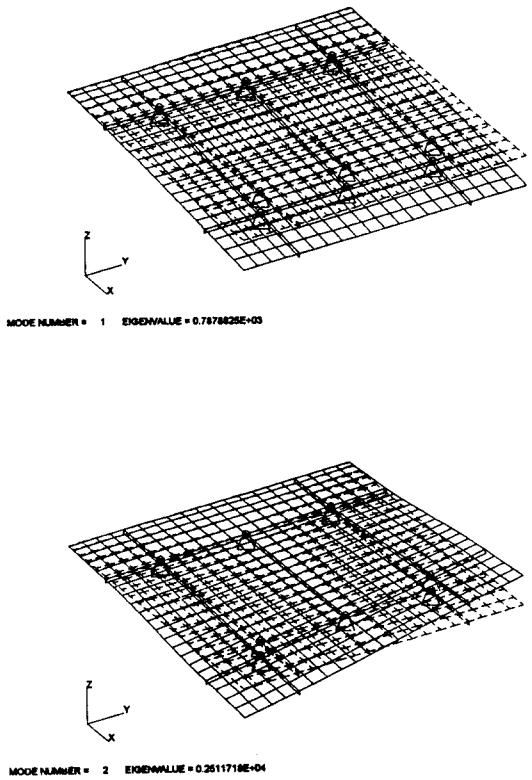


Fig. 4 태양전지판 구조물의 모우드 형상(1차, 2차)

판 구조물은 저주파의 고유진동수를 가지며, 이를 측정하기 위해서는 저주파용 진동센서를 사용하여야 하며, 저주파 진동 모우드를 획득할 수 있는 가진방법등을 선택하여야 한다. 일반적으로 구조물의 진동특성을 측정하기 위한 시험에는 인위적인 가진에 의하여 나타나는 응답특성을 분석하는 방법을 이용한다. 이때 가진하는 방법에 따라 가진기(shaker)에 의한 정현파 가진 및 랜덤 가진, 그리고 충격해머(impact hammar)를 이용한 임펄스(impulse) 가진 등 여러가지가 있으며 측정하고자 하는 구조물의 형태와 특성에 따라 적당한 방법을 선택하는데[8], 비교적 작은 구조물의 경우에는 통상적으로 충격해머를 많이 사용하고 있다. 충격해머는 구조물을 가진하는데 가장 빠르고 쉬운 방법으로서 팁(tip)부분의 재질에 따라 수 Hz의 낮은 주파수 영역에서부터 수 kHz의 고주파 영역의 특성을 선택적으로 알아낼 수 있어 일반적으로 널리 사용되는 간편한 진동시험 방법이다.

본 연구에서는 충격해머로 가진하여 얻은 응답신호를 분석, 처리하는 과정을 거쳐 태양전지판 구조물의 진동특성을 측정하는 시험을 수행하였다. 저주파의 획득을 위해서 사용한 스트레인 게이지형의 가속도계는 보통의 압전형 가속도계보다 상당히 무거우므로 이로 인한 영향을 사전에 분석하여 시험의 신뢰도를 높였다. Fig. 5는 진동특성 측정시험 장치의 구성도이다.

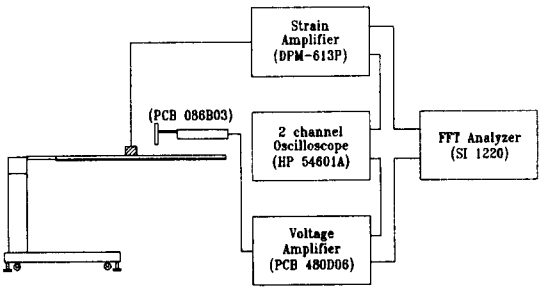


Fig. 5 진동특성 측정시험 장치의 구성

### 1) 측정센서의 영향분석

통상적으로 구조물의 진동특성을 측정하기 위해서는 가속도계를 사용하는 것이 일반적이며, 사용되는 가속도계의 무게는 대략적으로 1g ~ 150g 정도이다. 이들 센서의 중량은 측정하고자 하는 구조물의 중량에 따라 구조물의 진동측정 결과에 커다란 영향을 미칠 수 있다.

본 연구의 경우에는 3,340g 중량의 태양전지판 구조물에 대하여 85g의 스트레인 게이지형의 가속도계를 사용한다. 따라서 센서를 부착하는 경우에 측정하고자 하는 구조물 중량의 2.5% 수준의 중량변화를 가하게 되므로 센서에 의한 영향분석이 구조물의 진동특성 측정시험에 우선하여 분석되어야 한다.

본 연구에서는 태양전지판 구조물의 진동특성 측정시 가속도계 센서가 측정결과에 미치는 영향을 분석하기 위하여 범용 구조해석 프로그램인 NASTRAN을 이용하여 해석하였다. 센서의 부착효과는 태양전지판에 집중질량이 추가된 것으로 간주하였으며 센서에 의한 강성효과는 없는 것으로 간주하였다. 태양전지판 구조물은 평판요소 구조물에 오프셋이 있는 바요소로 모델링 하였으며, 센서의 부착점을 Fig. 6과 같이 20개의 위치에 설정하고 85g의 집중질량(**CONM2**)이 가해진 경우로 해석하였다. 그 결과는 Table 5에 나타내었다.

해석된 결과에 의하면 센서의 중량은 구조물의 중량 증가 효과를 가져와 센서 부착전의 경우보다 전반적으로 낮은 고유진동수를 갖는 것처럼 나타났다. 센서의 부착위치에 따라 고유진동수의 변화정도는 다르게 나타나는데, 태양전지판

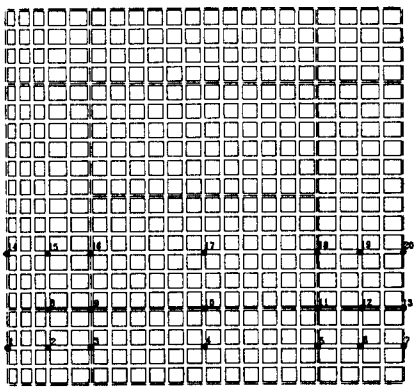

Fig. 6 센서 영향분석을 위한 센서의 부착위치

Table 5 센서영향에 의한 고유진동수의 변화

| 센서 부착 위치 | 1 차 | 2 차 | 3 차 | 4 차 | 5 차 | Local Mode |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 5.172 | 8.410 | 37.721 | 41.510 | 45.954 | |
| 1 | 5.172 | 8.411 | 37.648 | 41.525 | 45.959 | 38.790(4차) |
| 2 | 5.172 | 8.410 | 37.699 | 41.363 | 45.952 | |
| 3 | 5.171 | 8.404 | 37.515 | 41.047 | 45.931 | |
| 4 | 5.150 | 8.320 | (34.461) | (39.530) | 45.890 | |
| 5 | (5.048) | (8.036) | 37.696 | 41.508 | 45.726 | |
| 6 | (4.993) | (7.934) | 37.443 | (40.226) | (44.332) | |
| 7 | (4.924) | (7.817) | (31.846) | (38.425) | (43.387) | |
| 8 | 5.172 | 8.411 | 37.702 | 41.486 | 45.949 | |
| 9 | 5.171 | 8.407 | 37.502 | 41.273 | 45.911 | |
| 10 | 5.150 | 8.362 | (36.749) | 40.758 | 45.880 | |
| 11 | (5.051) | (8.189) | 37.707 | 41.508 | 45.897 | |
| 12 | (4.999) | (8.114) | 37.545 | 41.103 | 45.702 | |
| 13 | (4.937) | (8.032) | (36.324) | (40.153) | 45.461 | |
| 14 | 5.172 | 8.411 | 37.829 | 41.510 | 46.076 | 31.750(3차) |
| 15 | 5.172 | 8.411 | 37.501 | 41.492 | (44.520) | |
| 16 | 5.171 | 8.410 | 37.448 | 41.455 | 45.862 | |
| 17 | 5.148 | 8.398 | (36.741) | 41.247 | 45.707 | |
| 18 | (5.053) | 8.353 | 37.716 | 41.509 | 45.950 | |
| 19 | (5.002) | 8.327 | (36.720) | 41.309 | 45.122 | |
| 20 | (4.939) | 8.291 | (29.229) | 40.748 | (42.923) | |

( )안의 값은 상대적으로 센서의 영향이 큰 값임.(2.5%이상)

구조물이 고정되는 부분에서 멀리 떨어진 위치일수록(7, 13, 20), 수평/수직 보강재에 둘러싸인 패널의 가운데쪽보다는 평판구조물이 열려있는 패널의 테두리 부분일수록(4, 10, 17) 센서의 영향에의한 고유진동수의 감소효과가 크게 나타났다. 또한 특정한 부착점에서는 센서에 의한 국부적인 모우드(local mode)가 나타나는데 구조물의 고정된 부분 근처(1, 14)에 센서가 부착되는 경우에 주로 나타났다. 즉, 센서의 영향을 덜 받는 위치는 구조물의 고정된 부분에 가까우며 패널의 양 수직보강재 안쪽임을 알 수 있다.

이상의 분석으로부터 센서의 무게 및 부착위치에 따른 영향분석은 진동특성 측정시험을 수행하는 과정상 꼭 필요한 과정이며, 적절한 부착점을 선택하므로써 센서의 영향이 없는 참값에 가까운 실험값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 특정한 모우드를 선택적으로 정확히 측정하기 위한 방법으로도 사용될 수 있다.

### 2) 시험장치의 구성

태양전지판 구조물의 진동특성을 측정하기 위해서 알루미늄과 강철을 이용하여 설계, 제작된 진동특성 시험용 치구에 태양전지판 구조물을 고정하고 고무팁이 부착된 충격해머(PCB, 086B03)을 이용하여 태양전지판 구조물을 가진하였다. 충격후 발생하는 응답신호를 가속도 형태로 측정하기 위하여 스트레인 게이지형의 가속도계(KYOWA, AS-1C)를 사용하였다. 가진에 의한 응답함수를 획득하기 위해서 사용되는 센서는 구조물의 진동특성에 따라 저주파/고진폭에서는 변위계나 속도계를, 고주파/저진폭에서는 가속도계를 사용하는 것이 일반적이며 측정 대상의 진동특성과 얻고자 하는 주파수영역등을 고려한 적절한 센서의 선택이 중요하다.

태양전지판 구조물은 크기에 비하여 두께가 얇은 구조물로 저주파의 고유진동수를 가지므로 이 저주파영역의 신호를 획득하기 위해서는 보통의 압전형 가속도계보다는 스트레인 게이지형의 가속도계가 용이하나, 질량면에서 압전형보다는 다소 무거우므로 구조물의 진동특성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 앞 절에서 수행한 센서의 영향분석의 결과를 고려하여 최적의 위치를 선정하고 센서를 부착하였다. Table 6은 본 연구에서 사용한 가속도계의 규격이다.

충격해머의 입력신호는 전압증폭기(voltage amplifier, PCB, 480D06)로, 가속도계로 부터 획득한 신호는 스트레인 엠프(KYOWA, DPM-613P)로 각각 원하는 양으로 증폭하여 FFT 스펙트럼 분석기(FFT Spectrum analyzer)에 의해서 원하는 형태의 분석을 수행하였다. 입력되는 충격해머의 신호와 가속도계의 신호가 과도해지는 것을 사전에 살피기 위하여 증폭기를 거친 신호는 디지탈 스토리지 오실로스코프(digital storage oscilloscope, HP 54601A)에 보내져 시험 도중에 과도한 신호가 획득되는 경우 언제든지 시험을 중단할 수 있도록 하였다. Fig. 7은 진동특성 측정시험 장치가 완전히 셋팅된 모습이다.

Table 6. 스트레인게이지형 가속도계 사양(KYOWA, AS-1C)

| | |
|---|---|
| Model | AS-1C |
| Capacity | 1 G |
| Frequency Response Range | 0 ~ 50 Hz |
| Rated Output | 556 μV/V<br>(1112 x $10^{-6}$ strain) |
| Nonlinearity | 1 % RO 이내 |
| Input & Output Resistance | Input : 122.5 Ω<br>Output : 122.4 Ω |
| Weight | 85 gm중 |

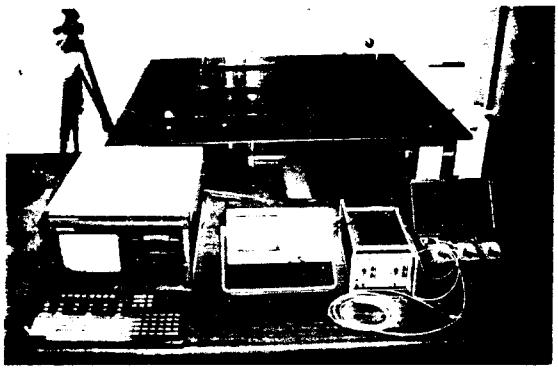

Fig. 7 진동특성 측정시험 장치

### 3) 시험방법 및 결과

태양전지판 구조물을 시험용 치구에 고정하고 가속도계의 위치와 충격해머의 위치를 바꾸어가며 가진하여 전달함수를 측정하였다[9]. Fig. 8는 가속도계의 위치와 충격해머의 가진점을 표시한 것이다. 표시된 센서의 위치는 앞 절에서 센서의 영향분석을 수행한 결과를 바탕으로 선택한, 센서의 영향이 적으면서도 응답신호가 좋은 위치들이다. 실제 시험상 구조물의 고정부쪽에서는 센서의 영향이 적은것에 비해 응답신호의 크기가 작아 획득 및 분석에 어려움이 있으므로 센서 부착위치의 선택에 신중함이 필요하다.

전달함수 구성시의 주파수 영역은 가속도계의 사용범위인 50Hz까지로 하였고 평균횟수를 10회로 하여 결과를 살폈다. 각 경우에 대한 센서부착 위치, 가진 위치와 시험 결과로 측정된 태양전지판 구조물의 고유진동수를 Table 7에 정리하였으며 FFT 스펙트럼 분석기를 통해 얻은 입/출력 신호의 시간영역 신호 및 자기스팩트럼(auto-spectrum)과 상관함수(coherence function) 및 전달함수(transfer function) 중 대표적인 시험 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

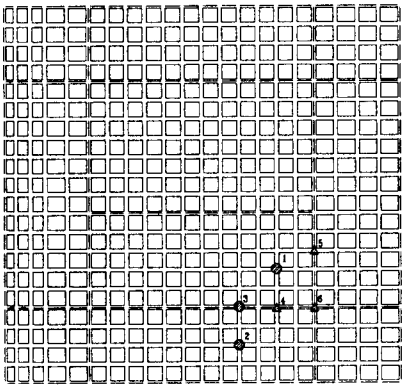


Fig. 8 가속도계의 위치와 가진점

Table 7. 태양전지판 구조물의 고유진동수( 시험결과 )

| | 가진점 | 측정점 | 1차 | 2차 | 3차 | 4차 | 5차 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ④ | ① | 3.3 | 6.1 | 26.4 | 32.2 | 37.3 |
| 2 | ⑤ | ② | 3.5 | 6.3 | 26.8 | 31.5 | 37.3 |
| 3* | ⑤ | ② | 3.5 | 6.3 | 26.9 | 31.6 | 37.3 |
| 4 | ④ | ② | 3.5 | 6.3 | 26.4 | 30.0 | 36.9 |

* 충격해머의 팁의 재질을 단단한 것으로 변경한 경우
( 3차이후의 고유진동수에 대한 상관함수가 좋아짐)

## 5. 결과 및 분석

본 연구에서는 태양전지판 구조물의 진동특성을 측정하는 시험과 해석을 수행하였다. 시험의 성공적인 수행을 위하여 진동특성 측정용 치구를 설계, 제작하였으며, 태양전지판 구조물의 진동특성상 저주파의 고유진동수를 측정하기 위한 센서의 선택 및 크기에 비하여 두께가 얇은 구조물에서의 센서의 영향분석 기법 등을 확립하였다. 저주파신호의 측정에 사용되는 스트레인형의 가속도계는 압전형의 것보다 무게가 훨씬 무거우므로 사용상 주의를 기울여야 하며, 박판의 경량 구조물의 진동특성 측정시 상당한 영향을 줄 수도 있다. 따라서 이러한 센서의 영향분석을 통하여 참값에 가장 가까운 시험값을 얻을 수 있는 적절한 위치를 선정하기 위한 시뮬레이션이 필수적으로 선행되어야 한다. 또한 측정시험을 통하여 시험장치의 구성 및 설치, 운용 기술과 시험결과에 대한 처리 등 위성체 구조물의 진동특성에 대한 시험방법을 성공적으로 정립할 수 있었으며, 아울러 태양전지판 구조물의 유한요소 모델링 의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

제 4 절의 시험결과와 제 3 절의 해석의 결과를 비교하여 보면 그 값들이 상당한 차이가 있다. 이러한 차이의 원인

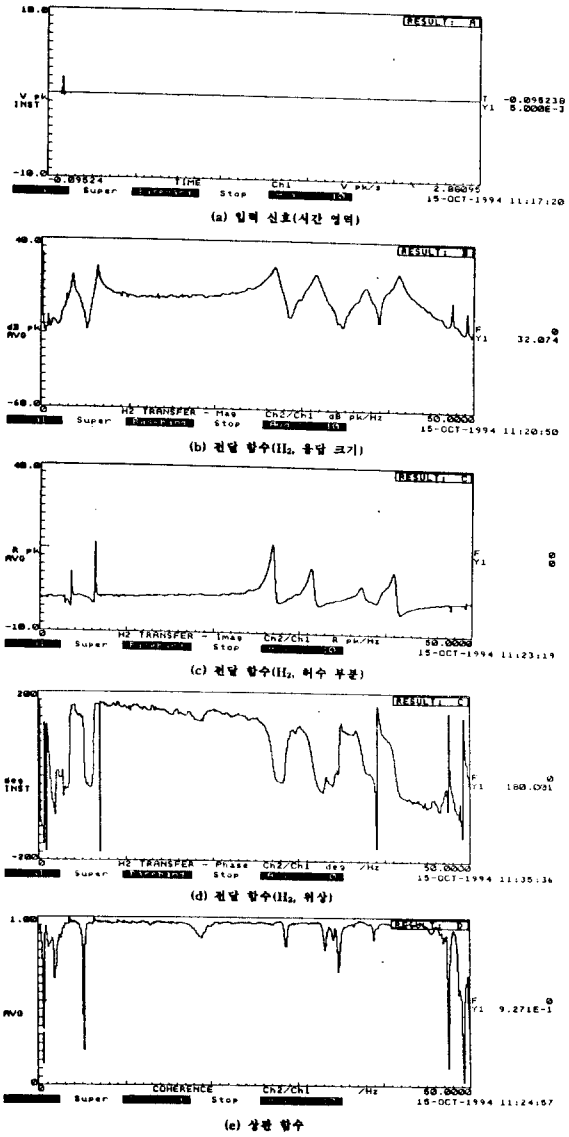


Fig. 9 Test 3의 시험 결과

은 모델링상의 문제점이라기 보다는 시험에 사용된 태양전지판 구조물과 측정 치구의 요크(yoke)와의 연결부위가 작은 보울트 두 개로 고정이 되며, 요크 단면과 수직 보강재의 삽입부분의 단면에 약간의 여유부분이 발생하므로써 이에 대한 적절한 경계조건이 고려되지 못함이라 볼 수 있다. 이를 고려하면 태양전지판 구조물의 경계조건은 Fig. 10에서와 같이 한 점의 여섯 방향의 자유도 고정이 아니라 네 점에 대한 적절한 자유도를 부여함으로써 재모델링할 수 있으며, 이를 재해석하여 보면 Table 8과 같이 시험의 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있다. 이것은 태양전지판 구조물의 유한요소 모델링은 전체적으로는 신뢰할 수 있는 모델임을 나타내며, 경계조건을 적절하게 부여함으로써 시험을 완벽하게 묘사할 수 있음을 보여준다. 따라서 본 연구를 통하여 태양전지판 구조물에 대한 신뢰성 높은 진동특성 해석용 모델링기법을 확보하였다고 할 수 있다.

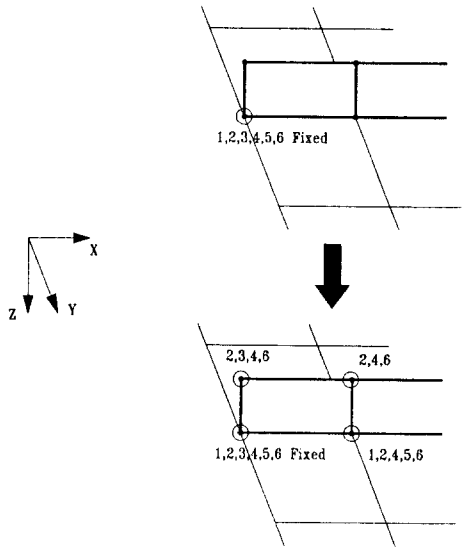


Fig. 10 요크와 태양전지판 구조물 연결부위의 경계조건 변경

Table 8. 재해석 결과와 시험 결과의 비교

| | 1 차 | 2 차 | 3 차 | 4 차 | 5 차 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재해석 | 3.284 | 6.341 | 27.843 | 32.812 | 38.906 |
| 시험결과 ( 7차 ) | 3.5 | 6.3 | 26.9 | 31.6 | 37.3 |
| | 6.2 % | 0.7 % | 3.5 % | 3.8 % | 4.3 % |

## 6. 결 론

(1) 유한요소 모델링과 해석결과를 시험결과에 의하여 검증하므로써 위성용 태양전지판 구조물의 해석적 모델링 기법을 확보하였다.

(2) 크기에 비해 두께가 얇은 박판 구조물에서의 진동센서의 선택과 영향분석 기술을 확보하고 신뢰성있는 진동특성 측정시험 방법을 정립하였다.

이는 인공위성의 국내개발을 위한 기반기술로 응용가능한 것으로 판단된다.

## < 참고 문헌 >


[1] Delta II/Atlas Payload Planners Guide, Mcdonnell Douglas Commercial Delta, Inc., 1989

[2] Ariane 4 User's Manual

[3] Jones, R. M., "Mechanics of Composite Materials", Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1975

[4] "위성체 복합소재 구조물 설계/제작(1차년도 중간보고서)", 상공자원부, 1993.

[5] MSC/NASTRAN User's Manual I/II, ver. 67, Macneal-Schwendler Co.

[6] 위성체 복합소재 구조물 설계확인 및 성능시험, 한국항공우주연구소, 1993

[7] PATRAN PAT/MSC-NASTRAN Interface Guide, Release 3.0, Jan. 1991

[8] C. M. Harris, "Shock Vibration Handbook", 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, 1988

[9] R. B. Randall, "Frequency Analysis", 3rd ed., B&K Korea Ltd., 1987