

과학위성1호 비행모델 Bake-Out 시험결과 분석

조혁진*, 서희준**, 이상훈***, 조창래****, 문귀원*****, 최석원*****

Analysis of Bake-Out Test Results for STSAT-1 FM

Hyokjin Cho*, Hee-Jun Seo**, Sang-Hoon Lee***, Chang-Lae Cho****,
Guee-Won Moon*****, Seok-Weon Choi*****

Abstract

A Bake-Out test for STSAT-1 FM(Flight Model) was performed in a Bake-Out Chamber at SITC(Satellite Integration & Test Center) in KARI(Korea Aerospace Research Institute). The purpose of this test is to measure and analyze the outgassing rate to affect the optical equipment(FIMS) and to eliminate contaminants through the high temperature bake-out. This Bake-Out test is composed of three parts which are honeycomb panels & harnesses(Batch 1), an assembled satellite(Batch 2), and a disassembled satellite(Batch 3). For each test, quantitative and qualitative measurements and analysis were performed using TQCM(Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance) and RGA(Residual Gas Analyzer).

초 록

한국항공우주연구원 위성시험동에 설치된 Bake-Out 챔버를 통하여 과학위성 1호 비행모델(STSAT-1 FM)에 대한 Bake-Out 시험이 수행되었다. 본 시험은 시험 후에 장착될 FIMS 라는 광학장비에 영향을 미칠 Outgassing Rate의 측정 및 고온에서의 Bake-Out을 통한 오염물질 제거에 목적을 둔 시험으로 총 10일여 동안 시험이 수행되었다. Honeycomb Panel 및 Harness에 대한 시험(Batch 1), 조립된 비행모델에 대한 Bake-Out(Batch 2), 그리고 part 별로 펼쳐진 상태로의 Bake-Out 시험(Batch 3), 총 세 번의 시험으로 이루어졌다. 각각의 시험에 대하여 TQCM(Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance) 및 RGA (Residual Gas Analyzer)를 통하여 Outgassing 물질에 대한 정량적, 정성적 측정 및 분석이 이루어졌다.

키워드 : 과학위성1호(STSAT-1), bake-out, outgassing, TQCM, RGA, 오염(contamination)

* 우주시험그룹/wittycho@kari.re.kr

*** 우주시험그룹/leesh@kari.re.kr

***** 우주시험그룹/aeromoon@kari.re.kr

** 우주시험그룹/seohj@kari.re.kr

**** 우주시험그룹/clcho@kari.re.kr

***** 우주시험그룹/schoi@kari.re.kr

1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 2002년 11월 인공 위성연구센터(SaTReC)의 의뢰하에 과학위성1호(STSAT-1) 비행모델에 대한 Bake-Out 시험을 수행하였다. 시험은 Batch 1과 Batch 2로 나누어져 있으며, Batch 1에서는 Honeycomb Panel과 Harness, Fixture에 대해 섭씨 90도(± 2 °C)에서 48시간 이상 Bake-Out이 수행되었다. Fixture를 제외한 Batch 1의 시험 부품들은 위성에 다시 조립되어 Batch 2에서 위성 전체가 섭씨 60도(± 2 °C)로 48시간 이상 Bake-Out 되었는데, Batch 2에서의 Mass deposition Rate가 10,000ng/(cm²hr) 이상의 값을 나타내어, Batch 2에서의 위성을 분해하여 batch 3에서 섭씨 60도(± 2 °C)로 72시간 이상 다시 Bake-Out을 수행하였다.

본 논문에는 과학위성1호에 대한 Bake-Out 시험 요구조건, 시험 수행절차, 시험 Specification 및 시험 결과가 포함되어 있으며, 정량 및 정성적 분석결과를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 Bake-Out 시험

Bake-out 시험은 위성체가 궤도에 진입하면서 부터 만나게 되는 고온, 고진공의 우주환경에서의 Outgassing을 미리 유발하여, 이때 발생하는 오염 및 수축을 예방하기 위한 것으로 위성의 성공적인 목표 달성을 위해 필수적으로 수행되어야 할 지상 시험이다.

2.1.1 시험 요구조건

Outgassing이 우려되는 Honeycomb Panel 및 Harness에 대한 Bake-Out이 Batch 1에서 우선적으로 수행되었다. Batch 1의 경우 Batch 2와 비교하여 Bake-Out 온도가 30도 가량 높은데, 이러한 조건으로 수행된 Panel 및 Harness는 Batch 2에서 그 외의 위성 부품들과 결합되어 전체적인 Bake-Out이 수행되게 된다.

시험기간 동안의 온도 및 압력 조건은 표 1에

주어져 있으며, 각각 48 시간 이상동안 시험이 수행되어야 함을 나타내고 있다.

표 1. 과학위성1호의 Bake-Out 시험 조건

Group	Duration	Temperature	Pressure
Batch 1 (Honeycomb Panel & Harness)	Min. 48 hrs.	90 °C (Temp. Change Rate $\leq 0.2\sim 3.0$ °C/min)	$\leq 6.7 \times 10^{-5}$ mbar
Batch 2 (Modules with Conformal Coated Electronics)		60 °C (Temp. Change Rate $\leq 0.2\sim 3.0$ °C/min)	

2.1.2 열전대(Thermocouple)의 설치

챔버 내 슈라우드의 온도, Base Plate의 온도, Cold Plate의 온도 및 시편의 온도 측정을 위한 열전대가 설치되었다. 열전대로부터의 온도 데이터는 Fluke 社의 Netdaq(2640A) Data Logger를 통해 1초 간격으로 PC에 저장되었다. Batch 1, Batch 2, Batch 3, 각각의 시험에서 설치된 열전대의 위치는 표 2, 3, 4에 나타내었다.

표 2. Batch 1에서의 열전대 설치 위치

TC No.	Positions
TC 1	+Z Honeycomb Panel
TC 2	Not installed
TC 3	Base Plate
TC 4	Bake-out Chamber Top
TC 5	Cold Plate

표 3. Batch 2에서의 열전대 설치 위치

TC No.	Positions
TC 1	FIMS Vacuum Port
TC 2	Power Box External Bottom
TC 3	Base Plate
TC 4	Bake-out Chamber Top
TC 5	Cold Plate

표 4. Batch 3에서의 열전대 설치 위치

TC No.	Positions
TC 1	Monitoring Position 1
TC 2	Monitoring Position 2
TC 3	Base Plate
TC 4	Bake-out Chamber Top
TC 5	Cold Plate

2.1.3 Bake-Out 시험 목적

2.1.3.1 Batch 1

Outgassing이 많이 나올 것이라 예상되는 Honeycomb Panel, Harness, Frame, Bolt 등의 Bake-Out을 통하여 실제 위성의 궤도 진입시 발생 가능한 Outgassing 양을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 시험의 온도를 섭씨 90도로 유지하여 다량의 Outgassing을 발생시킨다.

2.1.3.2 Batch 2

Batch 1에서 Bake-Out된 Honeycomb Panel 및 Harness 등을 포함하여 재조립된 과학위성1호 비행모델을 Bake-Out 하는 시험으로, Out-gassing량 감소 및 광학계인 FIMS가 장착될 위치에서의 Outgassing Rate를 측정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 TQCM 센서의 위치를 FIMS가 설치될 부근의 위치로 정하고 그 값을 모니터 하였다.

2.1.3.3 Batch 3

Batch 2에서 재조립된 위성체의 최종 Out-gassing Rate값이 10,000 ng/(cm²hr) 이상이라는 허용치를 초과하는 값이 측정되었기 때문에, Outgassing의 절대량 감소를 위하여 위성을 분해한 상태에서의 Bake-Out을 다시 수행하였다. 분해된 위성을 직접 Bake-Out 하는 시험이므로 챔버환경과의 접촉 면적 증가를 통해 Outgassing 절대량의 상당한 감소를 기대할 수 있다.

3. 결과 및 분석

3.1 Batch 1

시험 기간중의 온도변화는 그림 2에서 확인할 수 있다. Honeycomb Panel의 온도 증가율이 챔버 내부 온도의 증가율과 유사한 양상을 보여주었으며, 시험 기간동안 온도 및 압력에 대한 시험 조건을 만족하며 유지되었다.

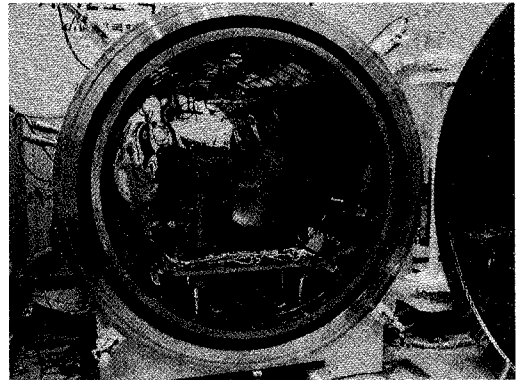


그림 1. Honeycomb Panel 및 Harness (Batch 1)

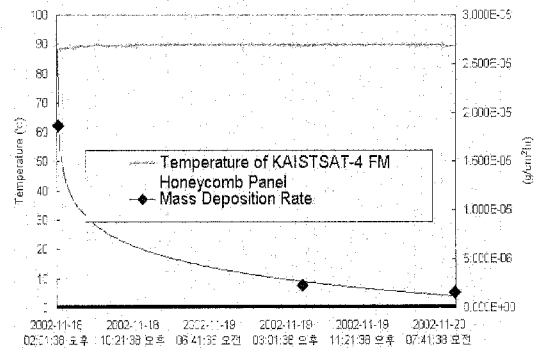


그림 2. 온도 및 Mass Deposition Rate의 변화 (Batch 1)

Outgassing Rate와 비례관계를 갖는 TQCM Sensor 표면에서의 Mass Deposition Rate의 변화는 그림 2에 도시되었다. 모든 시험에서 TQCM의 Sensor 온도는 -20°C도로 유지되었다. Panel의 온도가 시험 조건에 들어온 시간과 비슷한 시점에서 처음 측정된 Mass Deposition Rate는

18,630 ng/(cm²hr)이며, 약 24시간 후 그 값은 2,434 ng/(cm²hr)로 약 87%의 감소율을 보였다. 마지막으로 측정된 최종 Mass Deposition Rate는 1,546 ng/(cm²hr)로, Outgassing Rate는 시간에 따라 지속적으로 감소함을 확인할 수 있었다.

3.2 Batch 2

Batch 2에서 FIMS Vacuum Port의 경우 설정된 온도에 빠른시간내에 도달하였으나, 위성의 하단면에 위치한 Battery Box External Base의 경우 온도가 60±2 °C의 범위에 들어오기까지 31시간 이상이 소요되었다. 이는 과학위성 1호 비행모델의 내·외부의 온도가 평형상태에 도달하기까지 상당한 시간이 소요되었음을 의미하며, 이로 인해 진공 유지시 온도에 의해 가장 영향을 많이 받는 Outgassing의 경우 온도가 평형에 도달하기까지 지속적으로 발생이 되었음을 알 수 있다.

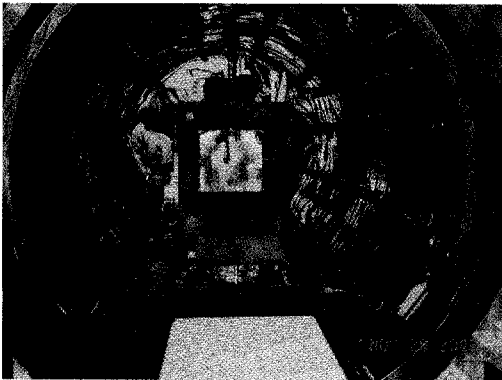


그림 3. 재조립된 과학위성 1호 (Batch 2)

Mass Deposition Rate의 변화는 그림 4에 나타나었다. 그래프를 보면 초기에 챔버의 온도가 상승하면서 Mass Deposition Rate도 증가하기 시작하였으며 지속적인 증가를 보이다가 일정시각부터는 감소하였다. 이전까지 증가 형태를 보이는 것은 과학위성 전체의 온도가 평형에 도달하기까지 지속적인 Outgassing을 발생시킨 것 때문이며, 이 시점까지도 Battery Box External

Base의 온도는 아직 평형에 도달하지 못하였으나 그 변화율이 상당히 둔화된 영향으로 감소의 추세가 전환된 것으로 보인다. 시험이 종료되기 전의 Mass Deposition Rate는 11,290 ng/(cm²hr)로 허용치를 초과하는 상당히 큰 값이었다.

Outgassing Rate의 감소를 위해 조립된 위성을 분해하여 다시 Bake-Out 시험(Batch 3)을 수행하였다.

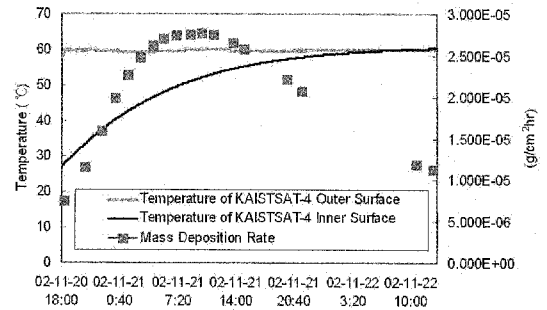


그림 4. 온도 및 Mass Deposition Rate의 변화 (Batch 2)

3.3 Batch 3

분해된 위성의 Part들 중 2곳에 열전대를 부착하여 그 온도를 모니터하였는데, TC 2번의 경우 챔버의 온도를 따라가는데 1일 이상이 걸렸다. 그러나 총 시험 기간이 3일 이상이었기 때문에 평형에 도달하여 유지된 기간은 2일 이상으로 충분하였다. 위성의 분해로 인하여 위성부품의 표면 중 챔버의 내부에 노출되는 부분이 많았기 때문에 Bake-Out의 효과는 Batch 2에 비하여 매우 컸다.

Mass Deposition Rate는 초기 17,000ng/(cm²hr)에서 시험 종료전 1,990 ng/(cm²hr)로 약 90%정도가 감소하였다. Batch 3의 경우 Batch 1과 Batch 2에서 사용된 Part들이 Fixture를 제외하고 모두 포함되었으며, 또한 분해된 것이기 때문에 최종 변화율은 매우 작은 값이라 사료된다. 챔버만의 Background Mass Deposition Rate 값은 약 180ng/(cm²hr)이므로 실제 Mass Deposition Rate는 1,810ng/(cm²hr)이다.

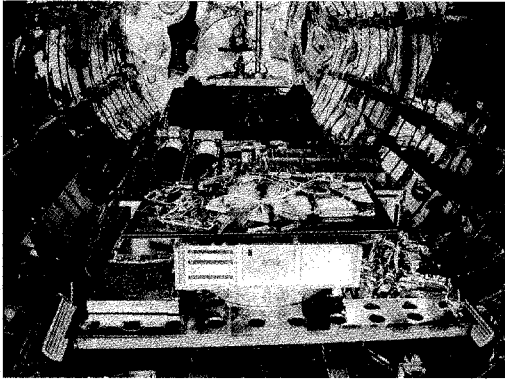


그림 5. 분해된 과학위성 1호 (Batch 3)

참 고 문 헌

1. Hyokjin Cho, Guee-Won Moon, Hee-Jun S 대, Sang-Hoon Lee, "Measurement of Molecular Contaminstaion for Satellites Using a Quartz Crystal icrobalance(QCM)", IEST, ESTECH 2003 Proceedings.

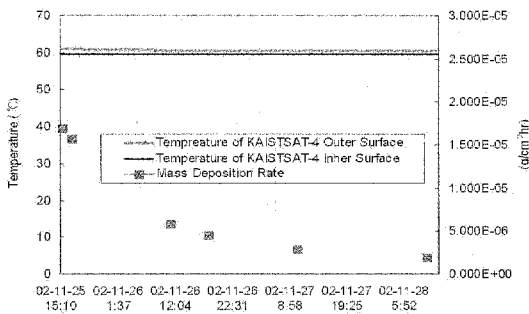


그림 6. 온도 및 Mass Deposition Rate의 변화 (Batch 3)

4. 결 론

과학위성1호 비행모델에 대한 bake-out 시험 결과, 기준 TQCM Sensor 조건에서 최종 1,990 ng/(cm²hr)의 Mass Deposition Rate를 보여주었다. Bake-out 시험시 시험 대상의 온도 Uniformity는 목표 Outgassing Rate 획득에 매우 큰 역할을 하는 것을 알게 되었고, 온도의 Uniformity가 제대로 이루어지지 않을 경우 Outgassing Rate는 온도 Uniformity가 이루어지기 일정시간 전에 최대 Peak값을 보여주고 이후 점차 줄어든다는 사실도 확인할 수 있었다.