

## 고진공하에서의 위성체 부품의 오염측정에 관한 연구

이상훈† · 서희준 · 문귀원 · 최석원

한국항공우주연구원  
(논문접수일 : 2000년 2월 19일)

### A Study on the contamination measurement of spacecraft components under High Vacuum Environment

Sang-hoon Lee†, Hee-jun Seo, Guee-won Moon, and Seok-weon Choi

Korea Aerospace Research Institute(KARI)  
(Received February 19, 2002)

#### 요 약

위성체가 작동하는 우주환경인 고진공상태에서는 위성체의 부품에서 발생 할 수 있는 outgassing으로 인해 위성체가 오염되어 위성체의 성능이 저하될 수 있으며, 특히 이차면경(second surface mirror) 및 광학렌즈 등을 오염 시킴으로써 위성체 본연의 임무수행 실패라는 결과를 초래할 수도 있다. 따라서 지상에서 위성체의 부품에 대해 고온(85 °C 이상)과 고진공( $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하)의 상태를 모사하여 오염물질을 제거함으로써 outgassing의 발생을 막고, 아울러 오염근원을 검출할 수 있는 vacuum bake-out 시험이 필수적이라 할 수 있다. 이를 위해서 한국항공우주연구원 우주시험동에 설치된 bake-out 챔버를 이용하여 위성체 부품 중에서 SAR(Solar Array Regulator)와 MLI(Multi Layer Insulator)를 예를 들어 오염측정에 관한 연구를 수행하였다. 항공우주연구원의 bake-out 챔버는 rotary vacuum pump와 booster pump를 이용하여 5.0 Pa의 저진공을 형성하고, 2대의 cryopump를 이용하여  $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하의 고진공을 생성하게 된다. 또한 180 °C까지의 고온을 모사하기 위하여 챔버 shroud 안쪽에 ceramic 재질로 된 heater가 30° 간격으로 총 48개를 설치되어 있으며, 온도제어는 PID(Proportional Integral Differential) 제어 방식이 이용되었다.

Vacuum bake-out 시험시에는 RGA(Residual Gas Analyzer)를 이용하여 각종 오염물질을 검출할 수 있고, TQCM (Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance)을 사용하여 발생하는 오염물질의 방출률(outgassing rate)을 측정한다. 또한 필요시에는 IR/UV Spectrometer를 이용하여 witness plate에 흡착된 오염물질의 성분을 분석하여 위성체 부품으로의 적합성을 판단한다.

SAR의 bake-out에서는 TQCM 측정결과 오염물질이 시간에 따라 감소추이는 보이지만 꾸준히 배출되고 있는 경향을 나타내고, RGA 분석결과 그 성분이 고분자 화합물로 추정되어 위성체 부품으로 사용하기에는 적절하지 못 할 것으로 판단하였다. MLI의 bake-out에서는 RGA 및 witness plate를 이용한 오염측정 결과 특이한 오염물질을 발견 할 수 없었다.

#### Abstract

Outgassing from such sources as paints, coatings, adhesives and other non-metallic surfaces can contaminate satellites, especially second surface mirror and optical lens, it cause satellite to fail in own missions. The vacuum bake-out test

† E-mail : leesh@kari.re.kr

using high temperature(more than 85 °C)and high vacuum(less than  $5.0 \times 10^{-3}$  Pa) certify that the components of satellite work properly and can survive and operate in space environment like high vacuum. In the bake-out chamber installed at SITC of KARI, Rotary vacuum pump and Booster pump produce low vacuum of 5.0 Pa, and then two cryopumps produce high vacuum of below  $5.0 \times 10^{-3}$  Pa. Also 48 ceramic heaters were provided to simulate high temperature.

During the vacuum bake-out test, we detected contaminants using RGA(Residual Gas Analyzer) and measure the outgassing rate of the contaminant using the TQCM(Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance). Also, IR/UV Spectrometer and witness plate be used to certify that the components were suitable for the spacecraft.

This paper includes the preparation and procedures of the bake-out test for SAR(Solar Array Regulator) and MLI(Multi Layer Insulator), which were the components of the spacecraft. Especially, we discussed the methods and results of the contamination measurement. In the bake-out for SAR, the contamination was measured continuously although it was on the decrease from TQCM results. And RGA established that it is a highly polymerized compound. In the MLI bake-out using RGA and witness plate, we didn't detect any contamination materials.

## 1. 서 론

진공이란 공간의 기체압력이 대기압보다 낮은 상태, 즉 분자밀도가 약  $2.5 \times 10^{19}$  분자/cm<sup>3</sup>보다 적은 상태를 의미하며, 극청정 환경 제공, 단열효과, 입자의 장거리 비행가능, 증발과 승화작용, 안정된 플라즈마를 유지, 생화학 반응 억제, 우주환경 제공 등의 특성으로 인해 오늘날 전 산업분야 및 과학기술 분야에 응용이 되고 있다 [1].

위성체가 작동하는 우주환경인 진공상태에서는 위성체 부품의 작동시 발생 할 수 있는 outgassing으로 인해 위성체가 오염되어 위성체의 성능이 저하될 수 있으며, 특히 이차면경 및 광학렌즈 등을 오염시킴으로써 위성체 본연의 임무수행 실패라는 결과를 초래할 수도 있다 [2]. 따라서 지상에서 위성체의 부품에 대해 고온(85 °C 이상)과 고진공( $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하)의 상태를 모사하여 오염물질을 outgassing시켜 사전에 제거하고, 아울러 오염 물질의 근원을 검출할 수 있는 vacuum bake-out 시험이 필수적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 위성체 부품인 SAR(Solar Array Regulator)와 MLI(Multi Layer Insulation)의 vacuum bake-out 시험시의 오염측정 수행방법 및 그 결과에 대해서 논의한다. SAR는 다목적 실용위성의 전력계를 구성하고 있는 장치의 하나로서, 낮기간동안 태양전지 배열기로부터 출력되는 전력을 위성체 전원 버스의 전압(23~34 V)에 맞도록 조절하고, 태양

전지 배열기의 최대 전력점 추적 등의 동작을 통해 배터리를 충전시켜주는 역할을 하는 장치이다. MLI는 열제어계를 구성하는 부품의 하나로서, 다층박막단열재라 불린다. 이는 위성체에서 열손실 및 열유입을 막기 위한 일종의 위성체의 옷 역할을 하는 부품이라 할 수 있다. 통상 여러겹의 마일라(Mylar)/나일론 망의 적층구조로 되어 있다.

Vacuum bake-out 시험시에는 RGA를 이용하여 각종 오염물질을 검출하였고, TQCM을 사용하여 발생하는 오염물질의 방출률(outgassing rate)을 측정하였다. 또한 필요시에는 IR/UV Spectrometer를 이용하여 witness plate에 흡착된 오염물질의 성분을 분석함으로써 위성체 부품으로의 적합성을 판단하였다.

## 2. 오염측정 장치 및 오염특성변수

Vacuum bake-out 시험에서 오염 물질을 검출하고 분석하는 장치와 위성체 부품으로 사용 적합성을 판단하는 기준이 되는 변수들은 다음과 같다.

### 2.1 TQCM(Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance)

TQCM은 quartz crystal의 표면에 입자가 증착 또는 방출될 때 crystal의 진동주파수가 변한다는 원리를 이용하여 고진공환경( $10^{-3}$  Pa 이하)에서 사용될

수 있도록 제작된 일종의 초고정밀저울이다. 본 시험에 사용된 TQCM에는 15 MHz의 공명주파수를 갖는 매우 얇은 crystal plate(두께 0.112 mm)가 두 개 장착되어 있다. 안쪽에 내장된 crystal은 reference crystal로 외부환경과 차단되어 외부입자의 양과는 무관하게 일정한 진동 주파수를 갖는다. 반면 바깥쪽에 노출된 crystal은 감지용 혹은 sensor 역할을 하는 crystal로 입자가 표면에 증착, 방출되는 정도에 따라 진동주파수가 변하게 된다. 두 crystal 사이의 진동 주파수의 차이를 가지고 다음 식 (1)로 질량의 변화를 측정할 수 있다.

$$\frac{\Delta m}{\Delta f} = 6.21 \times 10^{-10} \text{ gm/Hz} \quad (1)$$

TQCM에는 thermoelectrical하게 조절되는 펠티어 소자(peltier element)가 장착되어 crystal의 온도를 -60 °C에서 +100 °C사이의 값으로 모사할 수 있다. 이때 heat sink는 상온 근처로 유지되어야 한다. 따라서 crystal 온도를 서서히 상승 또는 하강시키면서 특정온도에서 특정입자의 증착 또는 방출현상을 관찰할 수 있다. 표 1과 그림 1에는 본 연구에 사용된 TQCM의 자세한 사양 및 구조가 잘 나타나 있다.

표 1. Specification of TQCM.

Model	MARK 10
Dimensions	3.18 cm(φ)×7.50 cm(L) Heat sink : 5.21 cm(φ)×0.76 cm(W)
Sensitivity	1.96×10 <sup>9</sup> g/cm <sup>2</sup> -Hz (15 MHz crystal)
Peltier Heat Load	6.25 Watts (Max.)
Weight	< 120 g
Supply Voltage	9 ~ 11 VDC (10 VDC nominal)
Temp. Range	100 °C ~ -60 °C
Sensor Output	Beat frequency 1 to 100 kHz
Pressure	High Vacuum
OSC/Mixer Chip	~63 mW at 10 V supply

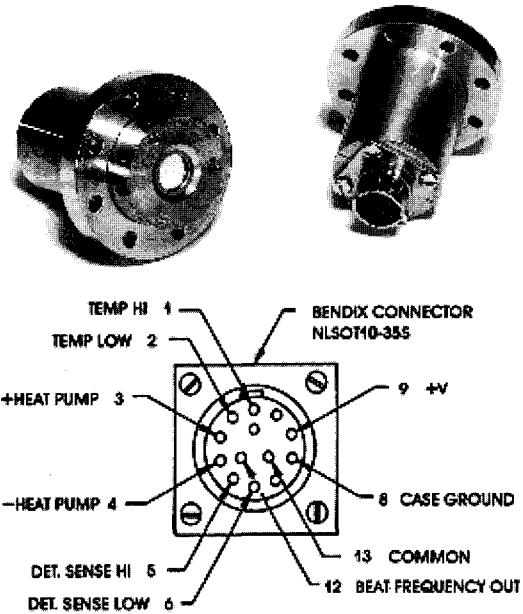


그림 1. Scheme of TQCM.

## 2.2 RGA(Residual Gas Analyzer)

RGA는 잔류기체분석기를 나타낸다. 진공상태에서 1~200원자량 (amu : Atomic Mass Unit)의 범위 내의 모든 가스를 탐지하는 장비이며, 부분 압력 분석용으로도 사용되는 장비이다. 표 2에 RGA에 대한 자세한 사양이 나타난다.

표 2. Specification of RGA.

Model	RGA 300
Mass filter type	Quadrupole (Cylindrical rod)
Detector type	Faraday cup(FC)
Sensitivity	2×10 <sup>-4</sup> (A/Torr)
Resolution	better than 0.5 amu @10% peak high
Operating pressure	10 <sup>-4</sup> Torr to UHV
Bake-out temp.	200 °C

## 2.3 TML(Total Mass Loss)

특정한 온도와 진공으로 유지되는 동안 부품으

로부터 outgassing된 총질량을 나타낸다. TML은 시험 전, 후에 측정된 부품의 질량 차이를 계산하여 시험전 부품의 질량에 대한 퍼센트로 표시한다. TML 값이 1.0% 이상이면 위성체 부품으로는 적당하지 않다 [3].

### 2.4 CVCM(Collected Volatile Condensable Material)

시험시 일정한 온도로 유지되는 구간에서 collector (cold plate)에 응축된 부품의 outgassing된 물질의 질량을 측정하여 다음 식 (2)로 계산한다. CVCM 0.1% 이상이면 위성체 부품으로는 적당하지 않다 [3].

$$CVCM = \left( \frac{C_o}{S_I} \right) \times 100 [\%] \quad (2)$$

$C_o$  : cold plate에 응축된 물질의 질량으로 plate의 초기 질량과 시험 후 질량의 차이값  
 $S_I$  : 시험전 부품에 코팅된 재질의 질량

### 2.5 WVR(Water Vapor Regained)

시험후 부품을 대기 중에 노출하였을 때 부품에 다시 부착되는 수증기의 질량을 나타내고, 시험전 부품의 질량에 대한 퍼센트로 나타낸다.

### 2.6 NVR(Non-Volatile Residue)

청정실의 청정도를 확인하는 방법으로 종래의 dust photometer를 사용하여 ft<sup>2</sup> 당 입자 크기에 따른 입자 개수만을 측정하는 방법 외에 molecular contamination level의 기준이 되는 NVR 측정은 청정실 내에 잔류하는 molecular contamination의 양을 측정함과 동시에 IR spectrometer를 사용하여 물질들의 성분을 분석할 수 있는 방법이다.

측정은 청정실 내에 4주(28일) 동안 방치해 둔 스테인레스 스틸로 된 witness plate에서 얻은 NVR을 이용한다. 이러한 방법을 청정실이 아닌 진공챔버 내부에 응용하여 위성체로부터 방출되는 오염물질의 측정에 이용하였다.

## 3. 시험장치 및 방법

### 3.1 Bake-out 챔버

그림 2 및 표 3은 bake-out 챔버의 주요사양을 보여준다. Bake-out 챔버는 rotary vacuum pump와 booster pump를 이용하여 5.0 Pa의 저진공을 형성하고, 2대의 cryopump를 이용하여  $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하의 고진공을 생성하게 된다. 또한 고온을 모사하기 위해 ceramic 재질로 된 heater를 30° 간격으로 총 48개를 설치하였으며, 온도제어는 PID방식을 이용하였다. 온도 측정을 위하여 Omega사의 T-type thermocouple를 사용하였고, 챔버 내의 진공은 Pirani Gauge(APG-M)와 Inverted Magnetron Gauge(AIM-S)를 사용하여 각각 저진공과 고진공을 측정하였다. 또한 물질의 질량적인 측정을 수행하는 TQCM과 오염물질의 종류 및 각 종류에 대한 분압을 측정하는 RGA가 장착되어 있다.

그림 3은 bake-out 챔버의 구성 및 작동 원리를 간단하게 나타내고 있다.



그림 2. Bake-out chamber at AITC, KARI.

### 3.2 시험방법 [4,5]

SAR 및 MLI의 bake-out을 수행하는데 있어서 KOMPSAT Cleaning Procedure에 따라 3.3.1절 과 같이 pre bake-out을 수행하였으며 KOMPSAT-2 SAR PM 및 MLI Bake-out Procedure에 따라서 3.3.2절과

표 3. Specification of Bake-out chamber.

주요 사양	내용적: 1.5 m(φ)×1.8 m(L)
	온도범위 : 상온 ~ 180 °C
	Ultimate Vacuum < 10 <sup>-3</sup> Pa
	시편최대하중 : 500 kg
	Data 획득 : 20 ch (온도 : 16 ch, 진공 : 4 ch)
상세 사양	Pumping system : - Rotary Vacuum Pump(E2M275S) + Booster Pump(EH1200) : 1 atm ~ 5 Pa - 2 Cryopumps(EBARA525-014) : < 5 Pa
	TQCM(MARK10) : 시편에서 방출된 물질에 대한 정량적 분석
	RGA(RGA300) : 챔버내 잔류가스들의 종류와 상대적 비율을 측정(<10 <sup>-2</sup> Pa에서 사용)
	Data Acquisition System : Fluke Netdaq Logger(2640A)

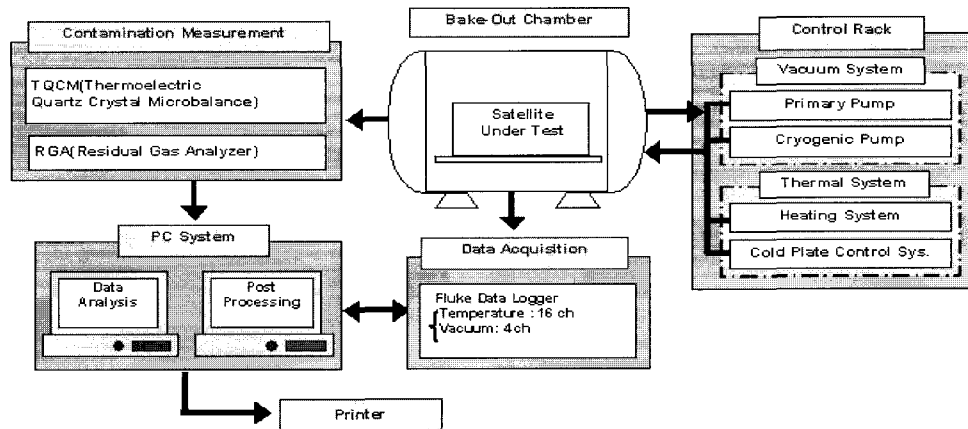


그림 3. Diagram of Bake-out chamber at AITC, KARI.

같이 bake-out 시험을 수행하였다.

### 3.3.1 Pre Bake-out

- 시험체를 넣지 않은 상태에서 isopropyl alcohol을 묻힌 청정용 클린와이퍼로 챔버를 pre-cleaning한다.
- 챔버 내부의 이상유무를 확인한다.
- 챔버 문을 닫고 pump down을 시작한다. 챔버 내부 압력이 약 10<sup>2</sup> Pa에 도달했을 때 cold plate에 액체질소를 공급하기 시작한다. (약 1 Pa에 도달했을 때 cold plate는 -170 °C에 도달하게 된다.) 챔버압력이 5.0×10<sup>-3</sup> Pa이하의 진공에 도달할 때까지 기다린다.
- 챔버의 온도를 90 °C 이상으로 가열한 후 약 2시간 정도 온도를 일정하게 유지한다. 이 동안

- TQCM을 0 °C로 유지시키면서 계속 관측한다.
- Heater를 끄고 챔버 내부에 질소가스를 주입시켜 대기압으로 돌아온다. 이때 cold plate에도 질소가스를 주입시켜 천천히 상온으로 올린다.

### 3.3.2 Bake-out [5,6]

- (필요하면) isopropyl alcohol을 묻힌 청정용 클린 와이퍼로 챔버를 pre-cleaning한다.
- 시험체(SAR 및 MLI)의 무게를 측정하고 챔버 내부에 장착한다. (그림 4, 5 참조)  
(MLI 시험시 cold plate에 witness plate 부착한다)
- 챔버 내부의 이상유무를 확인후 문을 닫는다.
- 진공펌프를 가동시키고 Cold Plate에 액화질소를 공급, 냉각하기 시작한다. 챔버가 5.0×10<sup>-3</sup> Pa 이

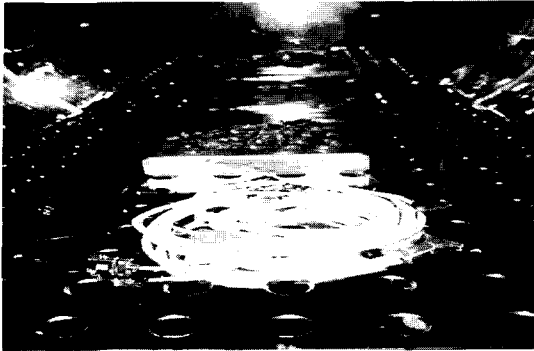


그림 4. SAR in bake-out chamber.

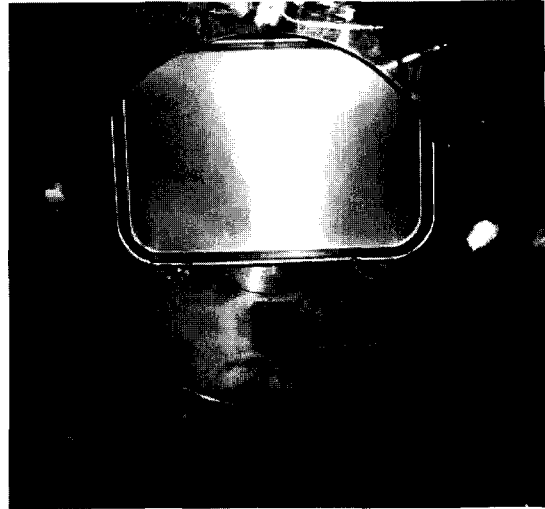


그림 6. Witness plate.



그림 5. MLI in bake-out chamber.

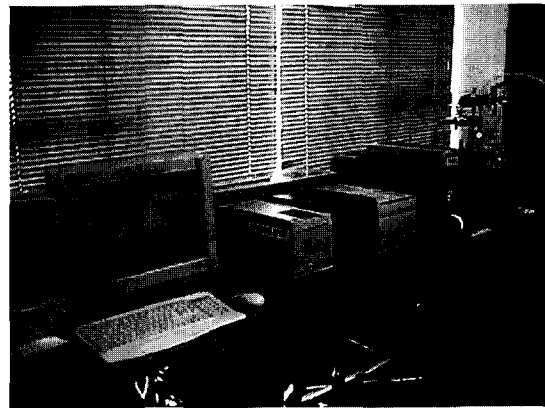


그림 7. IR spectrometer.

- 하의 진공에 도달할 때까지 기다린다.
- e. 챔버의 온도를  $90 \pm 5$  °C로 가열한 후 24시간동안 온도를 일정하게 유지한다. 이 동안 TQCM을 0 °C로 유지시키면서 계속 관측한다.
  - f. Heater를 끄고 챔버 내부에 질소가스를 주입시켜 대기압으로 돌아온다. 이때 cold plate에도 질소가스를 주입시켜 천천히 상온으로 올린다.
  - g. 챔버 문을 열고 시험체를 조심스럽게 꺼내어 무게를 측정한다.
  - h. Witness plate 설치시는 깨끗이 처리된 witness plate를 cold plate 앞에 부착하여 시험 시 발생하는 오염물질을 흡착시킨다. 시험이 끝나면 witness

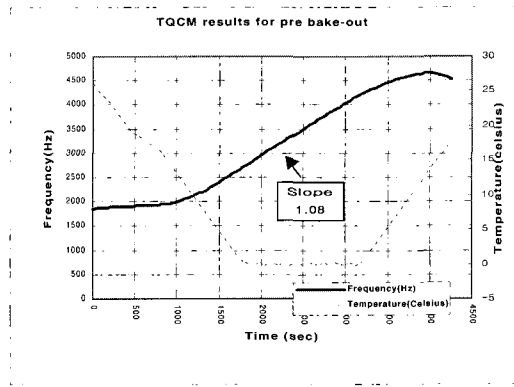
plate를 탈거하여 isopropyl alcohol 처리된 클린와 이퍼로 닦아낸다. 이 와이퍼에서 isopropyl alcohol을 증발시킨 후 남게되는 물질의 질량을 측정하고 IR spectrometer를 이용하여 성분을 분석한다. 그림 6은 cold plate 앞에 부착된 witness plate를 나타내며, 그림 7은 오염물질 성분 분석을 위한 IR spectrometer이다.

#### 4. 결과 및 고찰

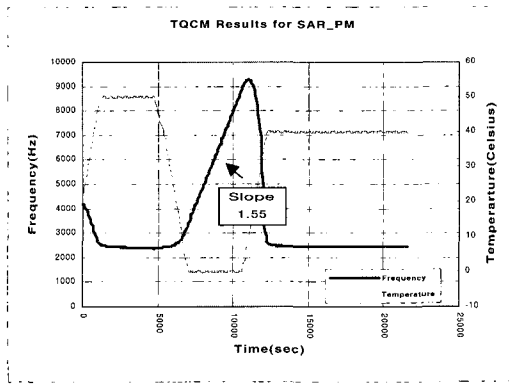
상기의 시험장치와 방법에 따른 bake-out 시험에서 얻은 결과는 다음과 같다.

4.1 TQCM [7]

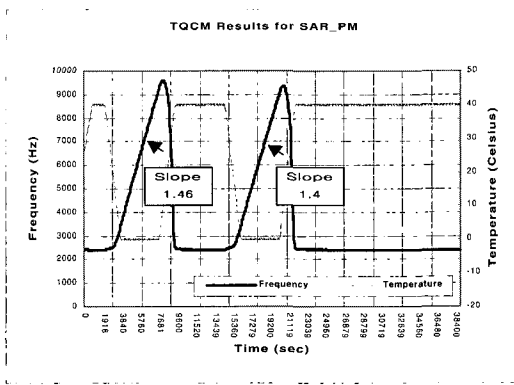
그림 8은 SAR vacuum bake-out 시험시 고온(85 °C), 고진공( $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하)에 도달했을 때 TQCM을



(a) Pre bake-out



(b) SAR PM bake-out(Initial Stage)



(c) SAR PM bake-out(Last Stage)

그림 8. Outgassing rate from SAR bake-out(TQCM result).

이용하여 측정된 시험결과를 나타낸다. Outgassing 되는 정량적인 값을 비교하기 위해 TQCM의 온도를 0 °C로 하였다. (a)는 챔버에 부품을 넣지 않은 pre bake-out 결과이고, (b)와 (c)는 SAR를 bake-out 챔버에 넣고 시험했을 때의 결과이다. (b)는 bake-out 시험 초기이고, (c)는 bake-out 후기 결과이다.

오염물질이 TQCM의 sensor crystal에 흡착이 되면 그 무게로 인해 crystal의 고유진동수가 감소하게 되므로 항상 일정한 고유진동수를 갖는 reference crystal의 진동수와 sensor crystal의 진동수의 차로 나타나는 값은 증가하게 된다. 이에 따라 그림 8의 (a)에서는 기울기(시간에 대한 진동수주파수의 변화)가 1.08(Hz/sec)이고, (b)에서는 1.55(Hz/sec), (c)의 첫 번째는 1.46(Hz/sec) 두번째는 1.4(Hz/sec)와 같이 나타나게 된다. 이는 pre bake-out에서는 발생하지 않던 오염물질이 bake-out시에 발생하여 sensor crystal에 부착되고 있음을 나타낸다. 물론 식 (1)에 따라 시간 및 온도에 따라 기체방출량을 정량적으로 분석해 보면 그림 9와 같이 나타나며 이때 기울기는 각자  $1.46(g/cm^2\text{-sec})$ 와  $1.4(g/cm^2\text{-sec})$ 로 그림 8의 (c)에서와 같은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 (b)와 (c)의 기울기를 비교해보면 기울기 값이 점차적으로 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이는 위성 부품을 고진공에서 고온으로 장시간 유지함으로써 부품의 표면에 붙어있던 오염물질이 점차적으로 감소되고 있는 것이다. 그러나 그 값은 pre bake-out 결과와 비교할 때 여전히 높은 값으로 많은 오염물질들이 꾸준히 방출되고 있음을 나타낸다.

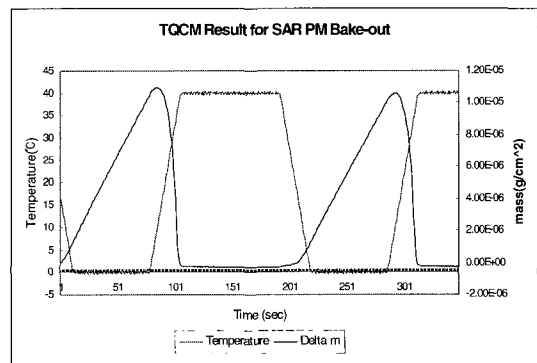


그림 9. Outgassing rate from SAR bake-out(TQCM result)

## 4.2 RGA

그림 10과 그림 11은 고온(85 °C) 및 고진공( $5.0 \times 10^{-3}$  Pa 이하)에 도달했을 때, SAR와 MLI에서 outgassing된 가스성분 분포를 RGA를 이용하여 분석했을 때의 그래프이다.

그림 10의 (a)는 pre bake-out 상태, (b)는 SAR를 넣고 시험하였을 때의 결과로서, (a)와 (b)를 비교하면 (b)에서는 bake-out 시험시 나타나지 않았던 원자량(amu)이 41~45인 부분과 56~58인 부분 즉, Acetic Acid, Acetone, Butane, Ethyl alcohol, Heptane, Hexane 등으로 이루어진 고분자 화학물질들이 새로이 검출되었음을 알 수 있다. 이들 고분자 화학 성분은 SAR의 표면 및 내부에 존재하다가 고온, 고진공 상태에서 챔버 내로 outgassing된 오염물질이다.

그림 11에서 (a)pre bake-out 결과와 (b)의 MLI를 넣고 시험한 결과를 비교해 볼 때 새로이 검출된

물질이 존재하지 않는 것으로 보아 특별한 오염물질이 존재하지 않음을 알 수 있다.

## 4.3 NVR 측정

그림 12는 MLI 시험시 witness plate에 부착된 잔존물질들에 대한 IR spectrometer의 검사 결과이다. 여기서도 알 수 있듯이 검사를 위해 첨가된 IPA와 물 이외의 성분이 검출되지 않는 것으로 보아 MLI에는 특별한 오염물질이 없음을 알 수 있다.

## 4.4 질량측정

표 4는 bake-out 시험전과 시험후 측정된 SAR와 Cable의 질량값의 변화를 나타낸다.

Bake-out 시험 전후의 SAR와 Cable의 TML값은 각각 4.7 g과 1.8 g이나, 구조체의 무게를 제외한 도로

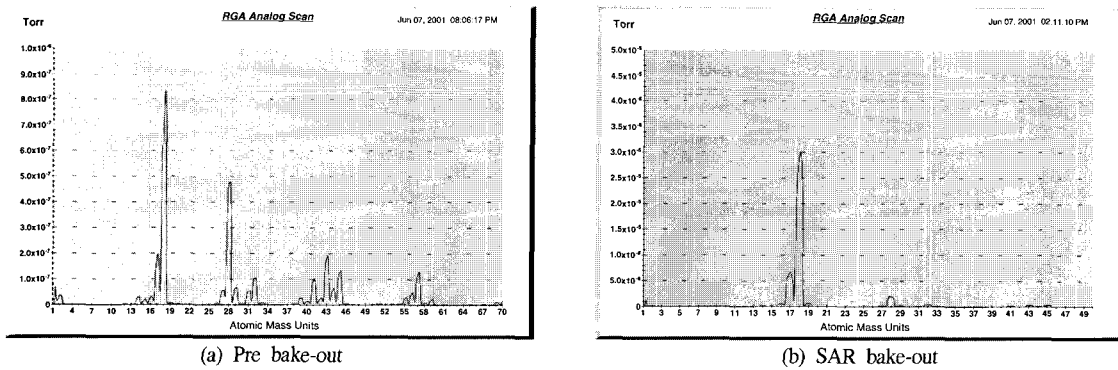


그림 10. Outgassing gases from SAR(RGA result).

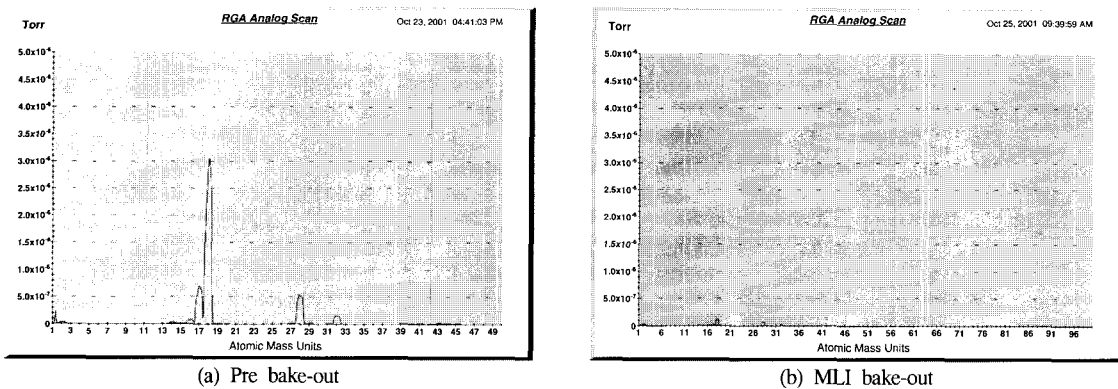


그림 11. Outgassing gases from MLI(RGA result)



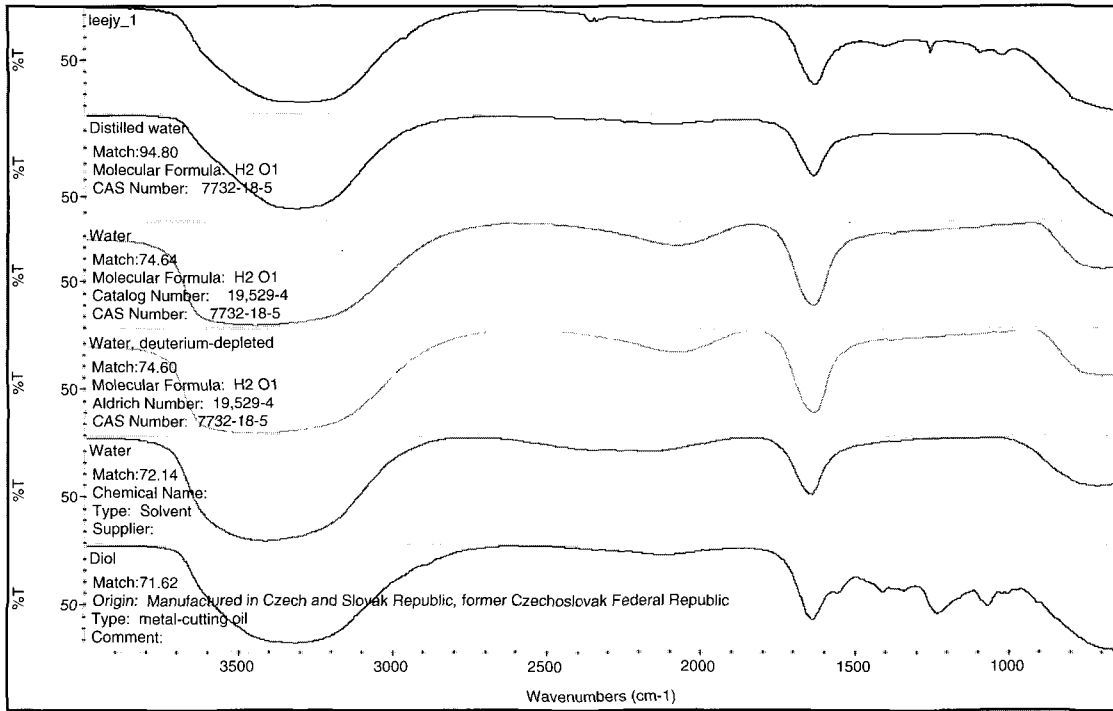


그림 12. Result of IR Spectrometer analysis.

표 4. TML & WVR in SAR(with Cable).

	Before Test (g)	Right After Test (g)	After Test, (2Hr) Later (g)	TML (g)	WVR (g)
SAR	6103.8	6099.1	6099.3	4.7	0.2
CABLE	3181.3	3129.5	3179.6	1.8	0.1

등의 무게변화만을 따로 검출하지는 못하였다.

WVR 값을 통해 시험후 대기중 수증기성분의 0.2 g 이 SAR에, 0.1 g 이 Cable에 부착되었음을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 향후과제

SAR PM의 vacuum bake-out 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- Outgassing rate는 시간에 따라 감소하였다.
- TML(Total mass loss)은 전체 무게에 비해서는 작

은 값으로 위성체 부품으로의 조건인 1.0% 미만을 만족하는 것으로 보이나, RGA 검사결과 시험시 새로이 방출된 고분자 화학물질이 꾸준히 검출되므로 비행모델에 적용하기엔 무리가 있어 보이며, 부품 및 표면처리 재질에 좀더 각별한 주의가 요구된다.

MLI 시험에서는 위성체에 피해를 줄 만한 오염물질은 검출되지 않았다.

마지막으로 SAR 및 MLI의 Bake-out 시험을 통하여 위성부품의 오염도 감소공정으로써 뿐만 아니라 위성부품의 오염특성을 파악할 수 있었다.

시험을 통하여 위와 같은 결과를 얻었으나 보다 정확한 결과 도출을 위하여 다양한 시험법의 연구가 필요하며, 향후 모든 국산화 부품의 시험을 위해서 시험 결과에 대한 많은 자료 확보가 요구되는 실정이다.

### 후 기

본 연구는 정보통신부의 선도기반기술개발사업

(과제번호:IMT2000-A1-2)에 의한 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자에게 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] Marsbed H. Hablanian, *HIGH-VACUUM TECHNOLOGY*, 2nd ed. (Marcel Dekker, 1997), chap. 1.
- [2] 이동진, 서희준, 문귀원, 최석원(한국항공우주연구원), 한국항공우주학회 (2001).
- [3] ASTM Designation, Standard Test Method for total Mass Loss and Collected Volatile Condensable Materials from Outgassing in a vacuum Environment, E595 - 93 (1993).
- [4] KOMPSAT Cleaning Procedure, TRW CAGE No. 11982 (1996).
- [5] Joon-Min Choi, Seok-Weon Choi, Ju-Hyeong Cho, Joo-Jin Lee(KARI), ESTECH 2000, 17-21 (2000).
- [6] KOMPSAT2 Solar Array Regulator(SAR) Prototype Model bake-out procedure (2001).
- [7] Guee-Won Moon, Seok-Weon Choi, Hee-Jun Seo, Sang-Hoon Lee, Dong-Jin Lee, and Sang-Seol Lee, ESTECH 2002 (2002).