

# 위성체의 오염 측정 Spacecraft Contamination Measurement

윤 용 식, 최 종 연  
박 순 영, 이 주 진  
한 국 항 공 우 주 연 구 소

## 1. 머리말

현재 지구 궤도에 올려지는 인공위성은 기상관측, 통신, 오염 및 오존 측정, 지형 관측 등 그 종류가 다양해지고 있고, 탑재되는 센서의 정밀도도 높아지고 있다. 특히 광학 센서의 정밀도가 높아질수록 센서의 크기도 커지고, 오염관리의 기준도 강화되게 된다. 따라서, 인공위성에 대한 오염 관리(Contamination Control)의 중요성이 커지고 있는 실정이다.[1]

본 논문에서는 인공위성의 오염 종류 및 관리방법을 고찰하고, 오염 측정 방법 중 하나인 NVR 측정을 통하여 현재 항공우주연구소에서 조립/시험되고 있는 다목적실용위성이 위성체 ASTM의 NVR 측정 규격[2]에 따라 허용 규격인  $1.0\text{mg}/\text{ft}^2$  이내의 청정도를 유지하면서 조립/시험을 수행하고 있음을 보

여준다.[3]

## 2. 인공위성의 오염 관리

### 2.1 오염의 종류

인공위성의 조립/시험을 수행하면서 관리하는 오염물질은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 오염 입자(Particulate Contaminant)는 금속과 비금속의 입자들로 위성체의 조립, 시험, 청정실내 이동, 저장 및 운송 등에서 발생하는 먼지나 금속 파편 등을 말한다. 오염 물질(Molecular Contaminant)은 지상에서의 위성체 작업으로 가스(Gas)의 응결이나 기포 등이 발생되어 기막(Capor Film)이나 물방울의 형태로 존재하는 오염 물질이다. 그리고, NVR은 상온에서 세척액 등 휘발성 물질의 증발 후에 잔류하는 용해 가능한 물질이다.

2.2 위성체에 대한 오염 물질의 영향

위성체에 오염 입자, 오염 물질 및 NVR의 오염 물질이 제거되지 않고 우주 궤도상에서 작동하는 경우 다음과 같이 심각한 성능상의 문제가 발생할 수 있다.

- (가) 위성체에 탑재된 정밀 기계의 오동작
- (나) 전기/전자 박스의 전기적 방전
- (다) 히트 파이프(Heat-Pipe)의 성능 저하
- (라) 이상 유기 물질의 발생
- (마) 하니스(Harness)연결 부위의 부식

(바) 오염 입자에 의한 이상 발광으로 위성체 위치제어 센서의 이상 작동에 의한 방향감각 상실

(사) 광학 센서의 유막 형성으로 인한 센서의 성능 저하

그림 1과 같이 위성체에 탑재된 Mirror가 기계작동유인 DC-705 오일(Oil)에 오염되었을 때 Mirror 반사율의 변화를 나타낸다. 파장에 따라 최고 40% 이상의 성능 저하가 되고 있음을 알 수 있다.[4]

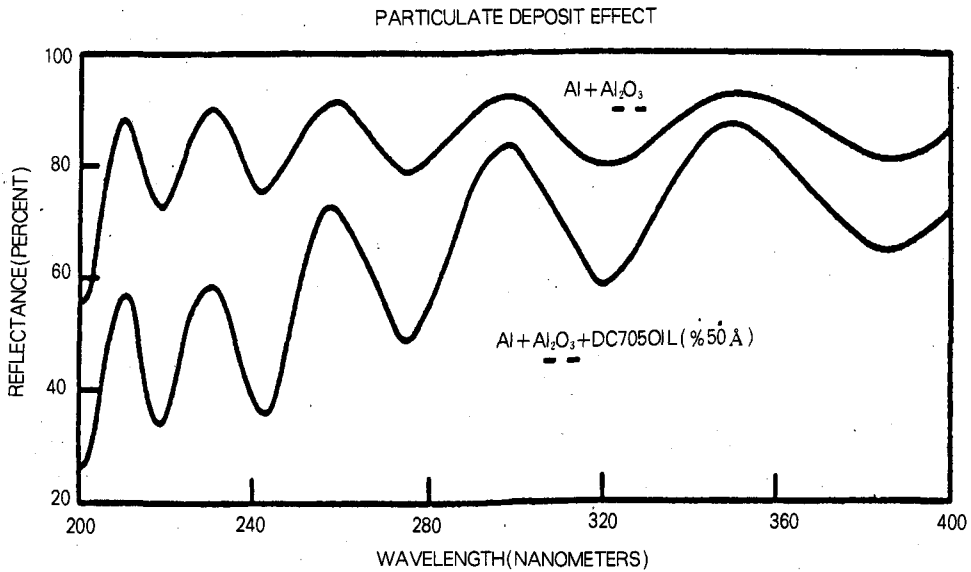


그림 1 Mirror Reflectance Change by DC-705 Oil

2.3 인공위성의 오염 관리

위성 시스템의 조립과 시험기간 동안의 시험실 내 위성체 오염관리는 Particle Counter를 이용한 먼지입자 수 측정, IR/UV 측정, NVR 측정 및 자외선 검사(UltraViolet Light

Inspection) 등이 있다.[5]

먼저, 위성체 시험실 내의 먼지입자수 측정은 FED-STD-209E의 규격에 따라 시험실 내 Particle Counter를 설치하여 ft<sup>3</sup>당 입자 크기(Particle Size)에 따른 입자 수(數)를

측정하는 방법으로 보통 0.5 $\mu$ m크기 이상의 입자 수를 기준으로 시험실내 청정도를 측정 하고 있다.

### Clean Class of T/V Test Hall

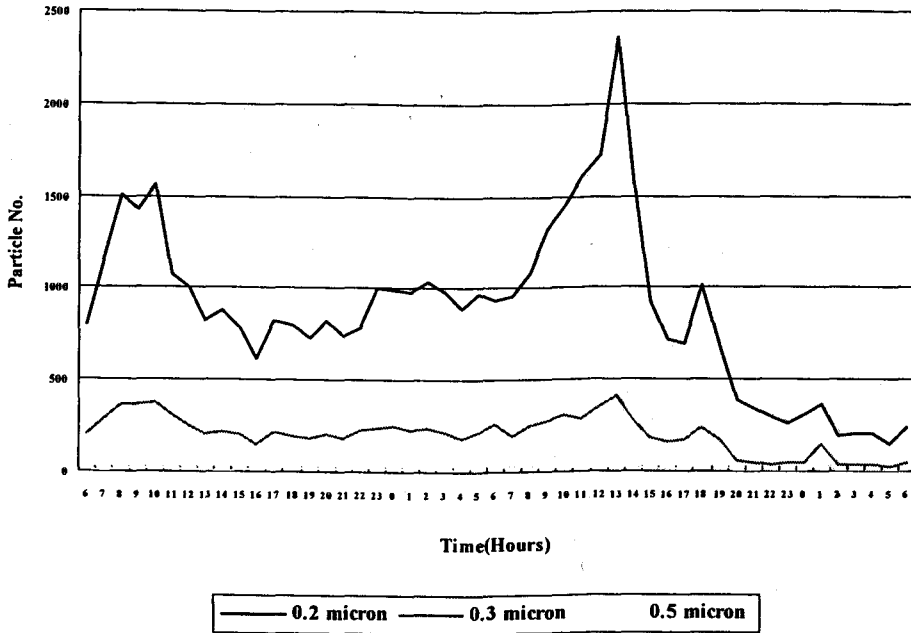


그림 2 Cleanclass for S/C High-Bay

그림 2에서 보는 바와 같이 현재 다목적 실용위성 청정실 내의 청정도는 200 이하로 유지되고 있음을 알 수 있다.

IR/UV 측정은 채취된 먼지를 IR/UV Spectrometer를 사용하여 화학적 성분을 측정하므로써 조립/시험실 내에서 위성체를 오염시킬 수 있는 물질인 탄화수소(Hydrocarbon), 에스테르(Esters), 메틸 실리콘(Methyl Silicone) 및 페닐 실리콘(Phenyl Silicon)류를 파장 분석을 통하여 청정실내 존재 여부를

확인할 수 있다.

자외선 측정은 응집물(Dirt) 혹은 먼지 등을 자외선 램프를 이용하여 발견하는 방법이다.

NVR측정은 청정실 내에 잔류하는 먼지의 양(quantity)을 측정함과 동시에 IR Spectrometer를 사용하여 물질들의 성분들을 분석하는 방법이다.[6]

### 3. NVR 측정

#### 3.1 측정 준비

NVR측정은  $10^{-2}$ mg 단위까지 질량을 측정해야 하므로 측정 준비 및 측정기간 동안 청정도 100이하의 환경에서 수행되어야 한다.

### 3.1.1 용매제(Solvent) 준비

1,1,1-트리클로로에탄(Trichloroethane)과 에탄올(Ethanol)을 3:1의 부피 비로 혼합한 용액과 99.5% 순도의 IPA를 용매제로 사용한다. 이때, 용매제는 1ppm 이하의 NVR을 포함하는 것만을 사용할 수 있다.

### 3.1.2 집진판(Witness Plate)의 준비 및 설치

집진 면적이  $1.1190 \text{ ft}^2$ 인 스테인레스 스틸로 된 집진판은 위성체의 바로 밑부분과 그림 3과 같이 위성체가 있는 시험실 내 먼지가 많이 쌓이는 곳에 위치시키고, 28일을 기준으로 집진한다.

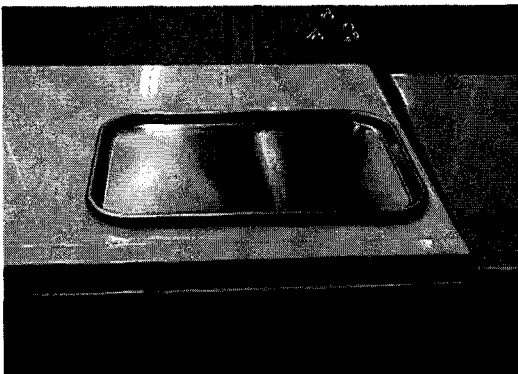


그림 3 Witness Plate located on Cabinet in High Bay

### 3.1.3 먼지 채취용 형균(Wiper, 이하 Wiper)의 제작

집진판에 모아진 먼지를 채취하기 위해 사용되는 Wiper의 불순물을 제거하기 위하여 그림 4와 같이 Wiper 증류 장치를 설치하고, 미리 세척된 핀셋으로 Wiper를 말아서 텀블(Thimble)속에 넣고, 증류 장치에 설치한다. DI Water 1,200 ml와 에탄올 100 ml를 혼합하여 24시간 동안 2회 반복하여 증류하고 플라스크에 1300ml의 에탄올(Ethanol), 에틸아세테이트(Ethylacetate), 디메틸클로라이드(Dimethyl Chloride)를 첨가하면서 각각 24시간씩 증류한다. 증류가 완료되면 텀블(Thimble)에서 핀셋으로 Wiper를 꺼내 완전히 건조시킨다. 이 과정에 따른 Wiper의 제작에 약 1주일이 소요된다.

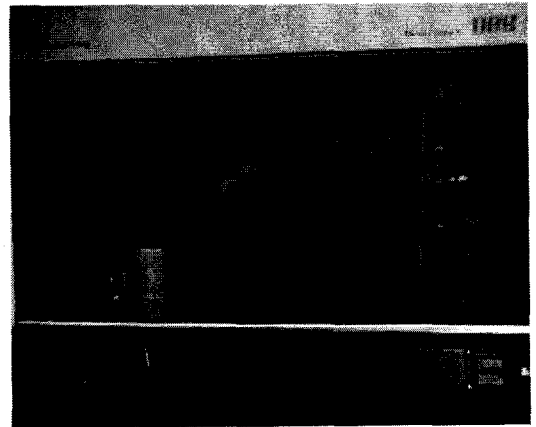


그림 4 Wiper Extracting Equipments

### 3.1.4. 먼지 채취

증류 작업을 마친 Wiper를 시약병에 넣고, IPA 20ml를 첨가한다. 집진판이 설치된 곳으로 이동하여 핀셋을 사용하여 Wiper로 집진

판의 집진면을 닦아 시약병 속에 넣고, 다른 한장을 꺼내어 동일한 곳을 닦아낸다. 먼지 채취 후에 집진판의 면적, 채취, 위치, 채취 일자 등을 기록한다.

### 3.2 NVR 측정 및 분석

#### 3.2.1 NVR 측정

먼지를 채취한 후 청정도 100이하인 청정 작업대(Clean Bench)에서 기준 Wiper와 먼지가 채취된 Wiper의 시약병에 20ml를 추가로 첨가하여 최소 2시간 동안 방치한 후, Wiper에서 IPA를 짜낸다. IPA가 5ml정도 남을 때까지 시험실 내의 온도로 천천히 증발시킨다.

NVR을 측정하기 위해 준비한 10ml비이커에 시료를 옮긴 후 청정 작업대에서 상온으로 용매제를 완전히 증발시켜 비이커를 뒤집어

용매제가 떨어지지 않을 때까지 건조시킨다.

$10^{-6}g$ 까지 측정할 수 있는 정밀 저울로 그림 5와 같이 비이커의 중량을 측정하고, 기록한다. NVR을 IR Spectrometer로 측정한다.

#### 3.2.2 NVR 계산식

측정된 NVR은 아래 식(1)과 같이 계산된다.

$$NVR \text{ 중량} = \{(a-b) - (c-d)\} / (e \cdot f) \dots (1)$$

a : 10ml 비이커A와 먼지 채취된 Wiper NVR의 중량(mg)

b : 10ml 비이커A 초기 중량(mg)

c : 10ml 비이커B와 먼지 채취가 안된 Wiper NVR의 중량(mg)

d : 10ml 비이커B 초기 중량(mg)

e : 집진판 면적(ft<sup>2</sup>)

f : 시간(month)

식(1)에서 시간을 표준화하기 위하여, 4주(28일)를 1달로 하여 결과를 산출한다.

$$\text{시간(month)} = \frac{\text{먼지 채취일 수}}{28} \dots (2)$$

#### 3.2.3 NVR 결과

(가) NVR 계산 결과

식(1)과 식(2)에 의해 표 1과 같이 NVR의 결과를 얻을 수 있었다.

또한 다목적 실용위성의 조립/시험을 수행하면서 위성체의 밀면과 청정조립실 안에 먼지가 많이 발생하는 위치를 선정하여 3회에서 6회에 걸쳐 측정한 결과 그림 6과 같은

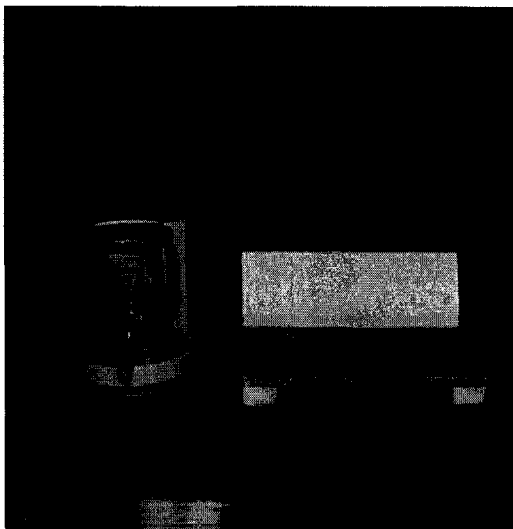


그림 5 NVR Measurement

표 1. NVR Results

NVR/plate S/N	#01	#02	#03
Sample Location	Under S/C	Bake Out Chamber	On Cabinet
Installed Date	98/11/06	98/11/16	98/11/06
Exposure Days	44	2	41
Time Period(month)	1.5714	0.0714	1.4643

a(mg)	6092.23	6092.22	6093.05
b(mg)	6091.56	6091.58	6092.01
c(mg)	6092.27	6092.27	6092.27
d(mg)	6091.66	6091.66	6091.66
e(ft <sup>2</sup> )	1.1190	1.1190	1.1190
Total Solvent	0.67	0.64	1.04
NVR/(Area & Time)	0.0341	0.3753	0.2746

결과를 얻었다.

NVR의 측정 결과 청정조립실에서 위성체 및 먼지가 많이 발생되는 캐비닛 위에서 NVR

의 결과는 기준값인 1.0mg/ft<sup>2</sup> 미만의 값으로 다목적실용위성의 청정 요구도를 만족하고 있다.

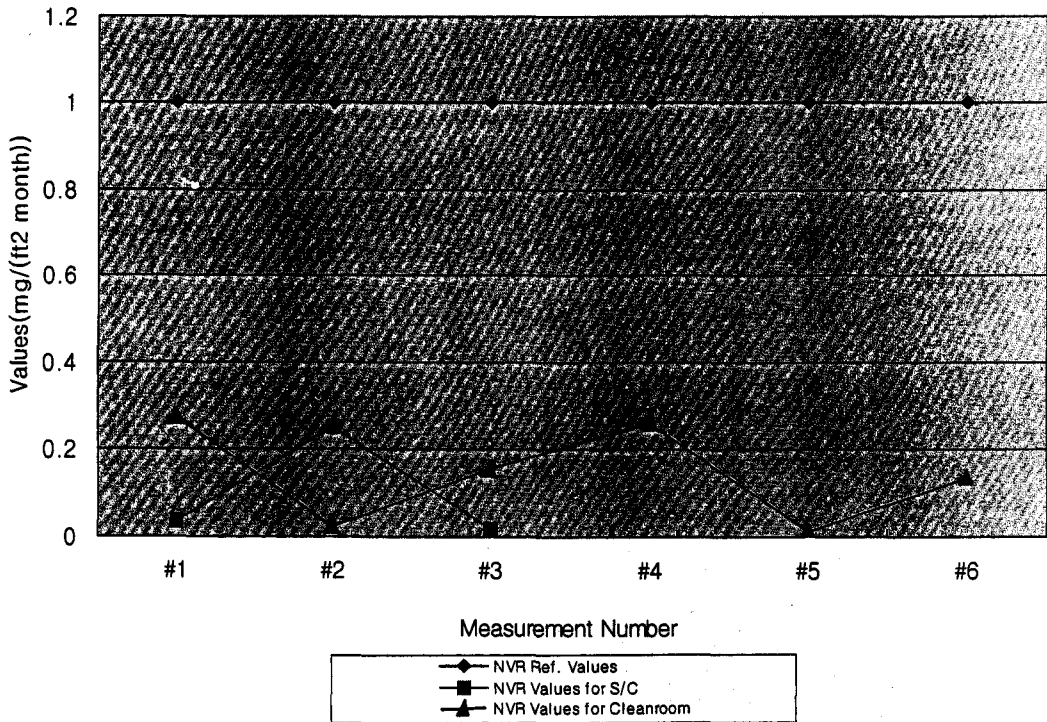


그림 6 NVR Results for S/C and Cabinets

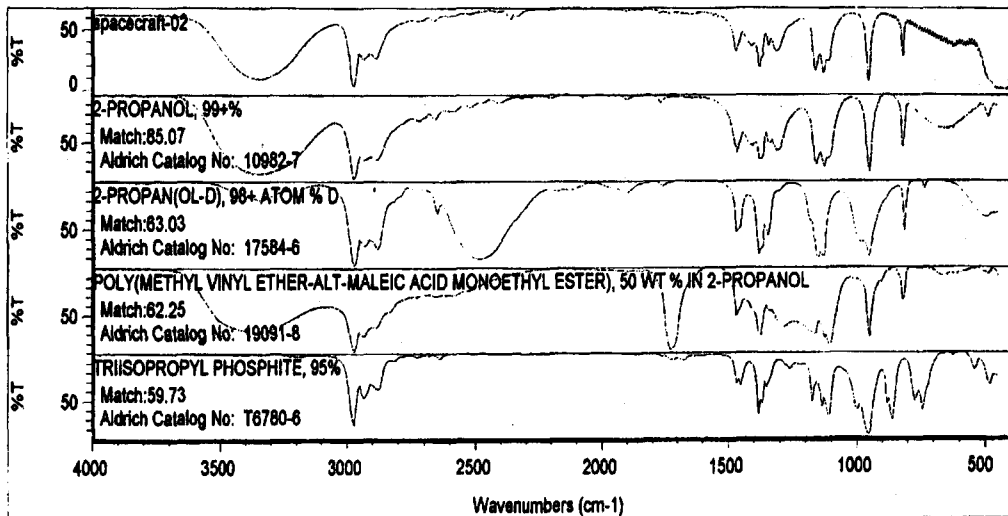
(나) IR Spectrometer 결과

그림 7과 같이 NVR을 IR Spectrometer로 측정된 결과 용매제인 IPA의 성분만이 검출되었다. 따라서 청정 조립실내 NVR은 위성

체를 오염시킬 수 있는 탄화수소, 에스테르, 메틸 실리콘 및 페닐 실리콘 류의 오염 물질은 존재하지 않음을 알 수 있다.

OMNIC Search

Spectrum: spacecraft-02  
 Wed Mar 17 09:46:14 1999  
 Region: 3495.26 455.13  
 Search type: Correlation  
 Comment:



Index	Match	Compound name	Library
662	85.07	2-PROPANOL, 99+%	Aldrich FT-IR Collection Edition II
16523	83.03	2-PROPAN(OL-D), 98+ ATOM % D	Aldrich FT-IR Collection Edition II
17070	62.25	POLY(METHYL VINYL ETHER-ALT-MALEIC ACID	Aldrich FT-IR Collection Edition II
6039	59.73	TRISOPROPYL PHOSPHITE, 95%	Aldrich FT-IR Collection Edition II
286	58.70	BENTONITE CLAY	Industrial Coatings
1409	57.41	2,3-EPOXY-PENTANE, 97%, MIXTURE OF ISOMER	Aldrich FT-IR Collection Edition II
954	57.30	EHEC	Industrial Coatings
17398	56.43	TITANIUM(IV) (TRIETHANOLAMINATO)ISOPROPO	Aldrich FT-IR Collection Edition II
17135	55.20	TRISOPROPYL BORATE, 98+%	Aldrich FT-IR Collection Edition II
1630	55.12	ELASTOMAG 170	Industrial Coatings

그림 7 IR Spectrometer Results of NVR

4. 맺음말

현재 다목적실용위성은 먼지 입자 수 측정, IR/UV 측정, 자외선 검사 및 NVR의 측

정을 통하여 규정된 범위내에서 조립/시험이 수행되도록 오염 관리되고 있다.

특히, NVR 측정은 기준값인 1.0mg/ft<sup>2</sup>의 청정 환경에서 조립/시험이 수행되고 있음을

알 수 있다. NVR 측정방법은 미세한 양의 먼지를 측정하여야 하며, 복잡하고 반복된 작업이 많고 장기간의 측정 기간이 소요되므로 정밀 측정, 정형화된 작업 공정 및 다각적인 오염원에 대한 분석 능력이 요구된다.

그리고, 위성체 오염 측정 방법 중 하나인 NVR 측정 방법은 청정 지역에서 수행되는 제반 산업공정의 검사 항목으로 활용될 수 있도록 더욱 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### - 참고 문헌 -

1. David F. Hall의 14인, "MSX Contamination Experiment Lessons for S/C Designs, Fabrication, Test, and Integration", 17th Aerospace Testing Seminar, Manhattan Beach, 1997. pp. 29-41
2. "STD Test Method for Gravimetric Determination of NVR in Environmentally Controlled Areas for S/C", E1235-88, ASTM, 1993, pp. 487-493
3. 박순영, 윤용식 최종연, 이주진, "비휘발성 잔류물질의 측정방법 및 결과고찰", KARI-ST-TM-1998-002., 1998, pp. 2-8
4. R. Honiat. "S/C Contamination", Intespace, 1990, pp. 477-484
5. F. D. Cottrell "KOMPSAT Contamination Control Plan", TRW, 1996, pp. 5-15
6. F. D. Cottrell "Procedure for Contamination Monitoring", TRW, 1997, pp. 1-6
7. 박순영, 윤용식, 최종연, 이주진. "위성체 비휘발성 잔류물질의 측정(Measurement of Space craft Non-Volatile Residues). 한국항공우주학회. 1999. pp. 721~724"

### 투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 "업계동정"란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.