

## 하이드라진 분해촉매 장기성능시험 및 평가

김인태\* · 김정훈\* · 이재원\* · 장기원\* · 유명종\*\* · 김수겸\*\* · 이균호\*\*

# Long-Life Performance Test & Evaluation for Hydrazine Decomposition Catalyst

In-tae Kim\* · Jung-hun Kim\* · Jae-won Lee\* · Ki-won Jang\*  
Myoung-jong Yu\*\* · Su-kyum Kim\*\* · Kyun-ho Lee\*\*

### ABSTRACT

For the development of hydrazine decomposition catalyst, Hot-fire test to verify performance of catalyst is required. The purpose of a long-life firing test is to demonstrate the capability of a design to perform for the maximum duration or cycles of operation. This paper describes the progress of the catalyst performance test, explains the test matrix, and presents the test results.

### 초 록

하이드라진 추력기에 적용되는 분해촉매의 국산화 개발과정에 필수적으로 요구되는 사항이 추력기를 통한 성능평가 과정이며 특히, 추력기의 임무수명 요구조건을 평가하는 장기성능 연소시험을 통해 촉매에 대한 최종적인 성능검증이 이루어지게 된다. 본 논문에서는 이에 대한 사항으로 촉매에 대한 성능평가 및 장기성능시험에 대한 시험과정, 시험 시퀀스 및 결과분석에 대해 기술하였다.

Key Words: Hydrazine Decomposition Catalyst(하이드라진 분해촉매), Monopropellant thruster(단일 추진제 추력기), 장기성능시험(Long Life Performance Test)

### 1. 서 론

국내 개발중인 저궤도 지구관측위성 적용되는 추진시스템(PS)의 경우, 하이드라진(Hydrazine)을 추진제로 사용하는 단일추진제 추력기(TCA, Thrust Chamber Assembly)를 모듈화(DTM, Dual Thruster Module)하여 구성하고 있다.

TCA의 부품제작은 대부분 국내기술 및 시설을 이용해 진행되고 있으나 TCA의 성능을 좌우할 수 있는 촉매의 경우, 전량 수입에 의존하고 있으며 1호의 경우 미국 Shell사의 Shell-405 촉매 그리고 2호의 경우 유럽 Solvay사의 KC12GA 촉매가 사용되었다. 현재 개발 중인 3호와 5호의 경우에는 Solvay사의 기술이전을 받은 Heraeus사의 HKC-12GA 촉매가 이용되고 있다. 그러나 대부분 미국과 유럽에서 특수용도로 생산되고 있으며 고비용, E/L 품목 등의 이유로 인해 구매조차도 까다로운 실정이다. 따라서 이를 대체

\* (주)한화

\*\* 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: itkim9057@hanwha.co.kr

할 수 있는 국산화 촉매의 개발과 함께 연소시험을 통한 성능평가에 대한 연구가 진행되었다 [1].

본 논문에서는 Hydrazine 추력기에 적용되는 분해촉매의 국산화 개발을 위한 과정으로 성능평가 연소시험 및 장기성능 연소시험에 대한 분석/평가에 대해 기술하고 있다.

## 2. 촉매 성능평가 연소시험

국산화촉매에 대한 성능평가 연소시험은 미국 TRW사의 규격을 기초로 수립된 국산화 규격에 의해 수행되었다[2]. 참고문헌에서 언급한 바와 같이 촉매의 반응지연시간, 촉매안정도 및 촉매활성도에 대한 평가가 이루어졌으며 국산화 촉매의 장기성능 시험장치를 활용하여 시험이 진행되었다 [3].

### 2.1 시험조건 및 방법

시험에 사용된 촉매는 유럽 Heraeus사의 HKC-12GA 촉매와 국산화 제작 촉매로서 이에 대한 비교시험이 수행되었다. 15 N(3 lbf)급의 반응기를 이용하여 시험이 진행되었으며 주입압력 250 psig, 추진제 공급유량  $6.8 \pm 0.2$  g/sec, 예상되는 연소실 압력  $160 \pm 15$  psig로 조절하였다. 측정되는 온도의 경우 3개의 열전대를 사용하여 반응기의 촉매대 외벽(노즐, 챔버)과 추진제 공급밸브에 장착하여 실시간 계측하였다. 다음의 그림에서 시험장치의 형상 및 시험장면을 나타내고 있다.

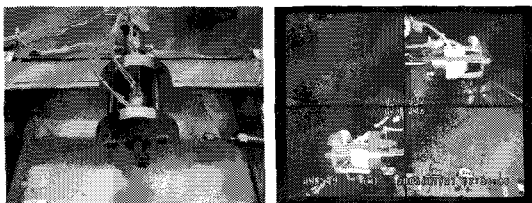


Fig. 1 Set-Up of Catalyst Performance Test Equipment

### 2.2 시험결과 및 분석

다음의 시험결과 그래프에서 확인 할 수 있듯이 성능평가 연소시험은 60초의 연속모드 시험을 2회

수행하여 연소실 압력 및 촉매대 온도, 주입압력 및 반응지연시간 등을 측정한다. 두 종류의 촉매시험 결과를 비교하게 되면 연소실 압력 및 온도분포에서 거의 비슷한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있으며, 최종적으로 Table 1에서 제시하는 바와 같이 요구조건을 충분히 만족함을 알 수 있다. 다만 촉매 손실률의 경우 시험전후의 무게변화로 측정하게 되는데 합격여부에 대한 보다 정확한 판단은 여러 번의 시험을 통한 통계적 처리방법이 요구된다고 하겠다.

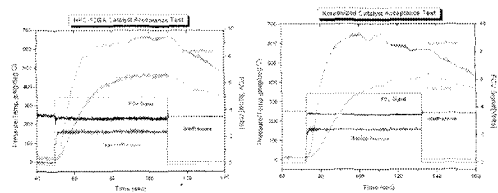


Fig. 2 Results graph of Catalyst Performance Test

Table 1. Catalyst Performance Test Results

Catalyst	Size	Max. T <sub>bed</sub>	Mean. P <sub>c</sub>	Ignition Delay	Loss+ Fines
		600~750°C	160±15psig	<80ms	<3%
HKC-12 GA	18~20	459*/676	160.95/161.36	<50ms	4.0
Koreanized Cat.	18~20	696/748	160.61/160.33	<50ms	2.7

\* Thermocouple fail during fire test

## 3. 촉매의 장기성능 연소시험

위성의 운용조건이나 환경에 따라 달라지겠지만 위성에 장착된 추력기의 경우 장기간에 걸쳐 많은 회수를 사용하게 된다. 한 예로, 국내운용 중인 저궤도 위성의 경우 8년 이상을 운용하며 주기적인 궤도조정을 수행하고 있다. 장기성능시험동안의 정확한 추력성능 및 촉매에 대한 평가는 해외협력업체를 통한 진공연소시험을 통해 이루어질 예정이며, 국내에서는 진공시험조건이 아닌 대기환경 하에서 국산화촉매에 대한 수명 시험 단계로 진행되었다.

### 3.1 시험조건 및 방법

장기시험에 사용된 추력기는 위성에 장착되는

5 N(1 lbf)급의 동일한 추력기에 연소실압력( $P_c$ )을 측정할 수 있는 Capillary tube를 삽입하였으며 추력성능이 아닌 연소실 내부 압력만 측정하게 된다. 일반적으로 추력의 경우 연소실압력에 의해 좌우되므로 이를 통해 추력기의 성능예측 및 촉매에 대한 평가가 대략적으로는 가능하다고 할 수 있다. 진공연소시험의 경우에는 연소후 Hot gas가 진공챔버 및 진공펌프를 통해 흡입탑으로 배출되며 이 과정을 통해 대부분이 냉각되지만 본 시험장치의 경우 대기중에서 연소시험이 진행되므로 Hot gas를 처리하는 냉각장치 및 연소가스 후처리장치를 설치하여 장시간의 시험 시간동안 연소가스를 처리토록 하였다. 또한 장기시험이 오랜시간 외부에서 진행되는 관계로 제어실내부에서 이를 모니터링 할 수 있는 장치를 설치하여 영상 녹화 및 시험환경을 감시하였다. 장기 시험은 총 2주간에 걸쳐 진행되었으며 연속모드의 경우 4.8시간, 펄스모드의 경우 77,310 펄스에 대해 수행되었다. 다음 그림에서 시험 장치에 장착된 추력기의 형상과 시험제어 프로그램, 그리고 시험장면을 볼 수 있다.

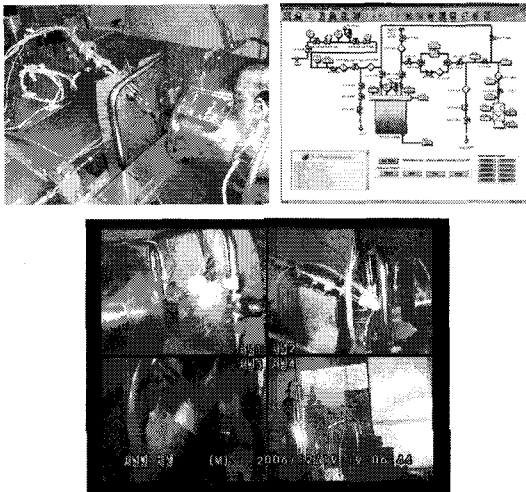


Fig. 3 Test Configuration of Long-life Hot-firing

### 3.2 시험결과 및 분석

장기성능 연소시험에 대한 Test Matrix 및 시험 결과는 Table 2에 정리하였다[4]. 시험순서는 350, 200, 85 psia에 대해서 연속모드와 펄스모드

에 대해 각각 시험을 수행하였으며 펄스모드 시험 결과의 경우 측정데이터의 통계처리 문제 등으로 인해 자세히 분석되지는 못하였다. 연속모드 시험결과를 살펴보게 되면 예측된 연소실 압력값에 근접함을 확인 할 수 있으나, 두 번째 시퀀스의 경우에는 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있다. Fig. 4에서 이러한 결과를 확인할 수 있으며 주입압력 350 psia기준, 연소실압력이 첫 번째 시퀀스대비 두 번째의 경우 각각 50~60 psia 감소되었으며 온도분포 또한 감소되었음을 볼 수 있다. 이러한 원인은 촉매의 성능저하 문제보다는 시험방법 및 환경의 차이에서 기인할 수 있는 데, 진공시험조건이 아니라 대기환경 하에서의 시험으로 인해 촉매의 소결현상 등의 원인으로 추측할 수 있다[5]. 이에 대한 해결방안으로 시험환경을 대기가 아닌 질소환경으로 맞추어 2차 장기성능시험을 준비하고 있으며 시험 이후에 결과비교가 진행될 계획이다. 또한 국산화촉매에 대한 최종검증은 해외협력업체를 통한 진공연소 시험후 추력성능 및 연소실 압력에 대한 분석이 이루어진 후에 수행될 예정이다. 장기 시험의 경우 시험상의 여러 어려움들(장시간의 시험시간, 소요되는 추진제의 양, 방대한 시험 결과 데이터의 처리 등)로 인해 시험횟수에 제약을 받지만 본 연구의 1차 목적인 국산화촉매의 장기성능 연소시험 시퀀스 수행 및 시험 장치에 대한 검증은 Table 2에서 볼 수 있는 것처럼 충분히 만족함을 확인하였으며 이를 바탕으로 보완/추가시험이 예정되어 있다.

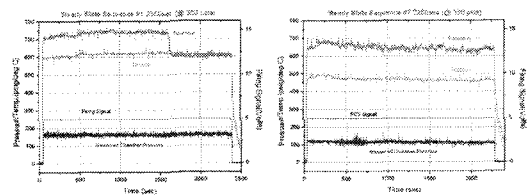


Fig. 4 Results of Long-life Performance Test

## 6. 결 론

본 연구에서는 하이dra진 추력기의 핵심부품

인 촉매의 국산화 과정에 최종적으로 수반되는 장기성능 검증시험 수행절차 및 시험결과에 대해 분석하였다.

국산화 개발된 촉매에 대해 반응기 시험을 통한 1차적인 성능평가 및 특성분석이 요구조건을 만족함을 확인하였으며 업그레이드된 시험장치를 활용하여 장기성능 검증시험이 수행되었다. 계획된 모든 시험 시퀀스를 만족함으로써 촉매에 대한 수명평가 및 시험장치의 검증은 성공적으로 평가할 수 있으며, 이를 근거로 보완 및 2차 장기시험을 준비 중에 있다. 그리고 앞서 기술한 바와 같이 국산화 촉매에 대한 최종평가는 해외협력업체를 통한 진공연소 시험후 추력성능 및 연소실 압력에 대한 분석이 이루어진 후에 진행될 것이다.

이러한 연구가 고비용, 수출제한 등의 문제로 국내수급 및 추력기 기술개발에 영향을 미칠 수 있는 촉매 및 시험/평가기술에 일조를 할 수 있을 것으로 판단되며 향후 위성분야 뿐만 아니라 발사체 및 군용 유도무기 분야에서도 적용가능할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 한국항공우주연구원의 “추력기 촉매검수시험장치 업그레이드 및 장기성능 검증시험”의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 이균호, 유명종, 김수겸, 장기원, 조성준, “단일추진제용 이리듬촉매의 연소성능 측정 및 국내개발현황”, 한국추진공학회지 제10권 3호, 2006.
2. KARI Material Specification, "Catalyst for Monopropellant Decomposition of Hydrazine", KC908004, 2006.
3. 김인태, 김정훈, 이재원, 장기원, 유명종, 김수겸, 이균호, “액체추진제 분해촉매 장기성능시험장치 개발 및 평가방안”, 한국추진공학회 추계학술대회, 2006.
4. Equipment Specification, DTM Propulsion Subsystem Component, K3-SP-460-009, 2006.
5. 김수겸, 유명종, 이균호, 김인태, 이재원, 조성준, “단일추진제 추력기용 하이드라진 분해촉매 성능시험”, 한국항공우주학회 춘계학술대회, 2007.

Table 2. Catalyst Long-life Performance Test Results

Seq. No.	Pressure [psia]	EPW [sec]	Period	Pulse No.	Test time [sec]	$\Delta Fuel_{exp}$ [g]	$\Delta Fuel_{mea}$ [g]	$m_{exp}$ [g/s]	$m_{mea}$ [g/s]	$P_{c,exp}$ [psia]	$P_{c,mea}$ [psia]
1	350	2350	S/S	1	2350	4582.5	-	1.95	-	185	170-190
2	350	0.25	1.00	565	565	373.03	200	2.64	1.42-1.77	-	-
3	350	0.05	2.50	4920	12300	649.44	400	2.64	1.63-1.83	-	-
4	200	1965	S/S	1	1965	2436.6	2100	1.24	1.07	97.4	95-110
5	200	0.25	1.00	1295	1295	631.26	400	1.95	1.24-1.39	-	-
6	200	0.05	1.67	11275	18829.25	1099.31	650	1.95	1.15-1.24	-	-
7	85	4265	S/S	1	4265	2431.05	1250	0.57	0.29	-	25-35
8	85	0.25	1.00	2120	2120	630.67	300	1.19	0.57-0.66	-	-
9	85	0.05	0.83	18480	15338.40	1099.56	500	1.19	0.54-0.60	-	-
10	350	2350	S/S	1	2350	4582.5	3200	1.95	1.36	126.6	120-140
11	350	0.25	1.00	565	565	373.03	250	2.64	1.77-2.12	-	-
12	350	0.05	2.50	4920	12300	649.44	400	2.64	1.63-1.83	-	-
13	200	1965	S/S	1	1965	2436.6	1400	1.24	0.71	64.3	60-80
14	200	0.25	1.00	1295	1295	631.26	300	1.95	0.93-1.08	-	-
15	200	0.05	1.67	11275	18829.25	1099.31	700	1.95	1.24-1.33	-	-
16	85	4265	S/S	1	4265	2431.05	1050	0.57	0.25	-	20-30
17	85	0.25	1.00	2120	2120	630.67	250	1.19	0.47-0.57	-	-
18	85	0.05	0.83	18480	15338.40	1099.56	550	1.19	0.60-0.65	-	-