

단일추진제 추력기용 하이드라진 분해 촉매 개발

김수겸* · 유명종* · 이균호* · 조성준** · 이재원***

Development of Hydrazine Decomposition Catalyst for Monopropellant Thruster

Su-Kyum Kim* · Myoung-Jong Yu* · Kyun-Ho Lee* · Sung-June Cho*** · Jae-Won Lee****

ABSTRACT

KARI have been started development process of hydrazine decomposition catalyst for monopropellant thsuter from 2004 in cooperation with Chonnam National University and Hanwha Corps. Through the various trial and error, a catalyst that satisfies all the properties for space propulsion system was developed in 2009 and then the life firing test and qualification firing test was completed. In this paper, we will describe the development process of catalyst, the physical/chemical properties of final product and brief test results.

초 록

한국항공우주연구원에서 2004년부터 전남대 및 (주)한화와 공동으로 하이드라진 분해촉매의 국내 개발을 위한 연구에 착수하였으며 약 5년간의 개발 기간을 거쳐 2009년에는 위성에서 요구하는 성능 및 수명 요구조건을 충분히 만족하는 촉매의 개발에 성공하였으며 우주 환경에서의 장기 연소시험을 통해 최종적인 품질 보증을 완료하였다. 본 논문에서는 촉매 개발과 관련된 연구과정과 물성치 측정 및 품질 보증시험 결과에 대해서 서술하였다.

Key Words: Satellite Propulsion System (위성 추진시스템), Monopropellant Thruster (단일추진제 추력기), Hydrazine Decomposition Catalyst (하이드라진 분해 촉매)

1. 서 론

단일추진제 추진 시스템은 산화제 없이 추진제만으로 화학반응을 일으켜 추력을 발생시키는

액체 추진기관으로 시스템이 간단하고 신뢰성이 높은 특성이 있어 우주 추진기관으로 널리 사용되고 있다. 단일추진제 추력기에는 안정된 반응을 유도하기 위한 금속 촉매가 일반적으로 사용되며 촉매의 수명에 따라 추력기의 수명이 결정되기 때문에 추력기의 핵심 부품 중의 하나로 중요하게 다루어지고 있다.

현재까지 우주 추진기관으로 널리 사용되고

* 한국항공우주연구원 위성열/추진팀

** 전남대학교 응용화학공학부

*** (주)한화 대전공장

연락처, E-mail: skim@kari.re.kr

있는 하이드라진 추력기의 경우 1964년 Shell사에 의해 최초의 하이드라진 분해촉매인 Shell405가 개발되면서부터 본격적으로 사용되기 시작하였다. 이후 하이드라진 추력기의 활용이 본격화되면서 독일, 프랑스, 일본, 영국 등 세계 각국에서도 하이드라진 분해촉매 개발을 위한 연구가 진행되었으나 대부분의 경우 위성에서 사용되지 못하고 개발이 중단되었으며 현재 전세계적으로 판매되고 있는 하이드라진 분해촉매는 미국의 S405와 독일의 HKC-12GA의 두 종류로 일본, 이스라엘과 같이 추력기 제작능력이 있는 국가들에서도 촉매는 수입에 의존하고 있는 것으로 알려져 있다[1-2].

한국항공우주연구원에서는 2004년부터 전남대 및 (주)한화와 공동으로 하이드라진 분해촉매의 국내 개발을 위한 연구에 본격적으로 착수하였으며 약 5년간의 개발 기간을 거쳐 2009년에는 위성에서 요구하는 성능 및 수명 요구조건을 만족하는 촉매의 개발에 성공하였으며 연소시험을 통해 최종적인 품질 보증을 완료하였다[3-4].

본 논문에서는 촉매의 개발 과정을 소개하고 최종적으로 개발된 촉매의 특성 및 시험 결과에 대해 서술하였다.

2. 본 론

2.1 촉매의 개발 계획 수립

하이드라진의 분해를 위해 사용되는 이리듐 촉매는 금속 촉매의 일종으로 촉매의 형상을 유지시켜주고 금속 분포를 위한 공간을 제공하는 담체와 담체의 내부 및 외부에 분포하면서 하이드라진의 분해를 일으키는 이리듐 금속으로 이루어져 있다. 이러한 이리듐 촉매는 촉매의 대부분을 차지하는 담체의 강도 및 열적 성능이 매우 중요하며 이리듐의 분포에 따라 하이드라진의 분해 성능이 달라지는 특성을 가진다. 따라서 촉매를 개발하기 위해서는 촉매에 사용되기에 적합한 담체를 선정 또는 개발하는 것이 중요하며 이렇게 개발된 담체에 금속입자를 분포시키기 위한 촉매 담지 공정을 개발할 필요가 있다. 또한 개발을 위한 가이드라인을 설정하고 개발

된 촉매를 비행모델용으로 승인하고 사용하기 위해서는 촉매의 검수를 위한 물리/화학적 특성에 대한 요구 조건들을 규정할 필요가 있으며 이러한 필요에 따라 촉매와 관련된 규격을 정리하고 이에 따른 개발 계획을 수립하였다.

촉매의 개발은 기본적으로 담체의 선정 작업 혹은 제작을 수행한 후 알루미늄의 특성분석을 수행하여 성능을 검증하고 검증이 완료된 담체에 이리듐 금속의 담지 작업을 수행한 후 다시 특성분석을 수행하여 성능을 검증하는 방법을 이용하였다. 따라서 촉매의 개발을 위해서는 촉매의 제작 장비는 물론 특성 분석을 위한 다양한 장비들이 요구되며 개발을 위해 사용된 장비들은 Fig. 1에 정리되어 있다.



Fig. 1. Physical/Chemical Analysis Equipment

2.2 담체 및 촉매 개발 과정

초기의 촉매 국산화 개발에서는 담체의 경우 상용 알루미늄 중에서 적합한 특성을 가지는 알루미늄을 선별하여 사용하는 것을 기본 방향으로 설정하였고 이에 따라 상용으로 판매되는 알루미늄 계열 물질들에 대한 비교/분석을 수행하여 적합한 제품을 찾아내는 작업을 수행하였다.

이러한 연구를 통해 적합한 제품으로 F-200과 calcined Bauxite를 선정하였으며 이 중에서 불순물이 많이 포함되어 있어 이리듐 입자의 담지가 어려운 calcined Bauxite를 제외하고 촉매 개발을 위한 기본 담체로 F-200을 선정하였다.

이리듐 금속을 알루미늄 표면에 담지하기 위해서는 이리듐 금속염을 이용한 함침법이 사용되었으며 이리듐 금속염으로는 가격과 공정 조

건을 고려하여 $\text{IrCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 를 선택하였다.

하이드라진 분해 촉매에 담지된 이리듐의 함량은 30wt% 이상으로 이를 한꺼번에 담지하기는 매우 어렵기 때문에 촉매의 담지 작업은 여러 번에 나누어 수행되었으며 중간에 수소로 환원하여 금속염 용액이 알루미늄에 잘 담지될 수 있도록 하였다.

Table 1. Properties of Shell405 and alumina samples

	Shell405	F-200	Activated bauxite
Surface Area (m^2/g^{-1})	252	480	237
Pore Volume (cc/g^{-1})	0.243	0.55	0.21
Crush Strength (lbs)	10 - 30	52.8	67.8
Density (g/cc^{-1})	0.85-1.05	0.991	0.955

2.3 상용 알루미늄 기반 촉매의 제작 및 시험

비행모델급 촉매의 개발을 위해 알루미늄의 가공 및 특성 개선 작업이 수행되었으며 이미 개발된 담지 공정을 이용하여 촉매 제작을 수행하였다. 최종적으로 제작이 완료된 촉매의 물성치는 Table 2와 같으며 모든 규격을 잘 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 2. Properties of KARI Catalyst

	Req.	Shell405	KARI Catalyst	
			KC01	KC02
Ir Loading (wt%)	31~33	34.5	32	32
BET surface area (m^2/g)	≥ 100	164.1	120	180
Pore volume (cm^3/g)	≥ 0.09	0.174	0.20	0.17
H adsorption ($\mu\text{mol}/\text{g}$)	≥ 600	660	700	800

이렇게 개발된 촉매의 성능 및 수명 검증을 위해 대기 중에서의 수명시험 및 진공 환경에서의 품질보증 시험을 수행하였다. 지상 수명시험 및 품질보증 시험은 실제 위성의 수명을 모사하기 위해 펄스 횟수 77,000번 이상 연소시간 기준 6시간 이상의 시험을 수행하였으며 최종적으로 수행된 품질보증 시험 결과는 Fig. 2와 같다.

그래프에서 확인할 수 있는 것처럼 시험의 약 50% 정도가 수행된 시점에서 추력이 급격히 감소하고 있으며 이에 따라 평가된 촉매의 수명은 저궤도 위성 기준으로는 약 5년 정도이다. 이러한 결과로부터 초기 개발 촉매의 경우 위성의

임무 기간은 만족하고 있으나 충분한 마진을 확보하지 못하고 있어 위성에서 사용하기에는 적합하지 않은 것으로 판단되었다.

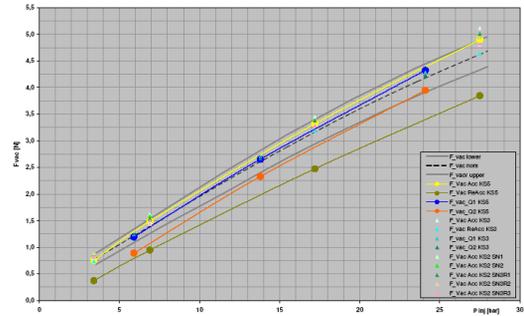


Fig. 2. Qualification Test Result for KC02

2.3 촉매용 담체 개발 및 촉매 제작/시험

다양한 시험 및 분석을 통해 추력 저하를 유발하는 촉매 열화의 주된 원인이 담체의 열적특성에 있는 것을 확인할 수 있었으며 상용 알루미늄으로는 이러한 열적특성 개선이 불가능한 것으로 판단되어 열적특성이 우수한 알루미늄의 개발을 위한 연구가 본격적으로 진행되었다.

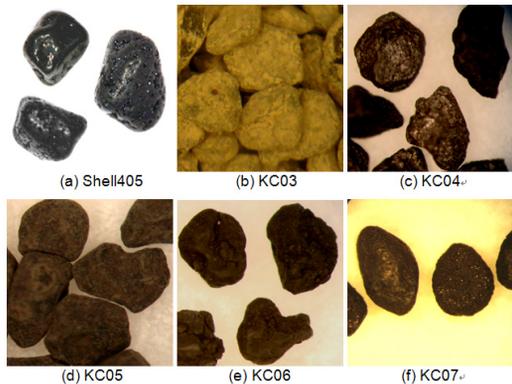


Fig. 3. Configuration of Catalyst Development Models

알루미늄의 개발은 알루미늄 구성입자들이 이용해 큰 입자를 생성하는 과정을 거쳐 이루어졌으며 다양한 샘플의 제작 및 시험 검증을 통해 성능이 우수한 담체를 선정하는 작업을 반복하여 수행하였다. 담체 개발 과정에서 제작된 촉매들의 형상은 Fig. 3에 정리되어 있고 개발이 진

행되면서 담체 가공 공정이 개선되어 촉매의 외부 형상이 점차 개선되었으며 최종 개발 촉매인 KC07의 경우 외형 뿐 아니라 표면 형상도 Shell405와 유사한 형태를 보여주고 있다. 이러한 KC07 촉매의 내부 형상은 Fig. 4에 나타나고 Shell405와 유사하게 내부에 많은 세공이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

촉매의 최종검증은 추력기를 이용한 연소시험을 통해 이루어졌으며 질소 환경에서의 수명시험과 진공에서의 품질 보증시험이 수행되었다.

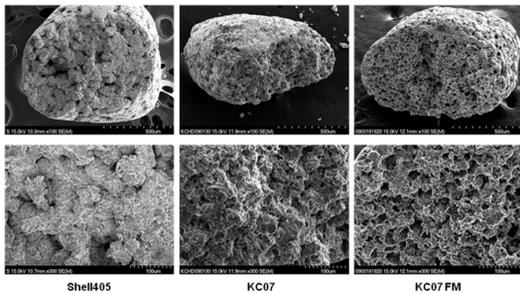


Fig. 4. SEM Analysis of Catalysts

Table 3. Properties of KARI Catalyst

		Req.	KC07
Support	Composition	-	Complies
	BET surface area (m ² /g)	≥160	220
	Crush Strength (%)	≥ 80	99
Catalyst	Pore volume (cm ³ /g)	≥0.2	0.3
	Ir Loading (wt%)	31~33	33
	BET surface area (m ² /g)	≥100	120
	Pore volume (cm ³ /g)	≥0.09	0.18
	H adsorption (μmol/g)	≥600	900

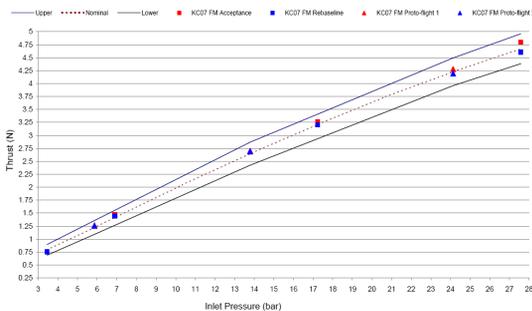


Fig. 5. Test Result of Qualification Test

촉매의 수명시험을 통해 약 500,000회의 펄스 시험을 수행한 후에도 성능열화가 초기 성능의 10% 이하로 촉매의 수명이 저궤도 위성 기준으로 30년 이상임을 확인하였으며 진공에서의 품질 보증시험을 통해 해외 촉매들과도 동등하거나 우수한 성능을 성능열화 특성을 보여주는 것을 확인할 수 있었다. (Fig. 5)

3. 결 론

위성 추진시스템의 핵심부품 중의 하나인 하이드라진 분해 촉매의 국산화 개발이 수행되었으며 최종적으로 물성치와 수명 요구조건을 모두 만족하는 촉매의 개발에 성공하였다.

연소시험을 통해 평가된 촉매의 수명은 저궤도 위성기준 30년 정도로 위성의 수명을 충분히 만족하고 있으며 성능 열화 특성도 해외촉매와 동등하거나 우수한 것을 확인하였다.

개발이 완료된 촉매는 실제 위성용 추력기에서 활용될 예정이며 국산 촉매를 바탕으로 한 신형 추력기 개발 작업이 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

- Schmitz, H. D., "Qualification Test Results of German "KC IR 12 GA" Catalyst for Spontaneous Hydrazine Decomposition," AIAA 1977-848, 1977
- Portejoie, B., "CNESRO catalyst for hydrazine space thrusters," AIAA paper 1975-1243, 1975
- 김수겸, 유명종, 이균호, 김인태, 이재원, 조성준, "단일추진제 추력기용 하이드라진 분해촉매 성능시험," 한국항공우주학회 춘계, 2007.
- 김수겸, 유명종, 이균호, 김인태, 이해현, 이재원, 조성준, "단일추진제 추력기용 하이드라진 분해촉매 개발 시험," 한국항공우주학회 추계, 2007.