

소형인공위성 수명 획기적으로 늘린다

글 | 권세진 _ 한국과학기술원 항공우주공학과 교수 trumpet@kaist.ac.kr

한 국과학기술원(KAIST) 항공우주공학과와 동력 추진 실험실 연구팀은 소형 인공위성의 궤도, 자세 등을 제어할 수 있는 마이크로 추진기의 개발에 성공하였다. 이 추진기는 20~200kg급의 소형 인공위성에 장착되어 이들 위성의 실용화에 획기적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 영국의 서리대학과 KAIST의 인공위성 연구센터 등 각국의 연구진들이 이미 10여 년 전부터 소형 인공위성에 대한 연구를 수행해 왔으며, 최근 국내에서도 초소형 위성 관련 국가 지정 연구실이 KAIST, 항공대, 연세대 등에 설치되었다. NASA에서도 인공위성 발사비용을 절감하기 위하여 1990년대 말부터 인공위성의 소형화에 주력해 왔다.

비용 절감 위해 인공위성 초소형화 추세

인공위성의 소형화에 대한 연구는 두 가지 원인에 기인한다. 그 첫째는 인공위성의 요소들을 소형으로 가공할 수 있는 다양한 기술이 지난 20년간 급속히 발달하였다. 반도체 제조기술의 응용으로부터 시작된 미세 가공 기술의 발전은 다양한 초소형 기계요소들을 기계가공이 아닌 방식으로 정밀 제작할 수 있는 길을 열어 놓았다. 이제 미세가공 기술은 단위 기계요소의 초소형화에서 한 걸음 더 나아가 초소형 기계요소들을 통합하여 마이크로 시스템화하는 단계로 접어들고 있다. 소형 인공위성(그림 1 참조)은 이러한 마이크로 시스템의 좋은 예다.

둘째로는 우주기술(ST)의 특징을 들 수 있다. 우주기술에서는 그 특성상 장치의 크기 및 무게의 극소화가 시스템 성능의 중요한 척도다. 또한, 냉전이 종료된 이후 우주기술 분야에서도 경제성 문제가 중요한 이슈가 되었다. 냉전 기간 중에는 우주기술 분야는 비용보다 성능이 항상 우선이어서, 경제적인 문제가 지배적인 의사 결정 요소가 되지 못하였으나, 냉전 종료와 함께 우주기술에도 바야흐로 경제성의 문제가 프로젝트의 사활을 결정하는 요소가 되어버렸다. 이러한 상황에서 인공위성의 초소형화는 시사하는 바가 매우 크다. 우선 인공위성을 궤도에 올리는 비용을 절감할 수 있게 된다. 일반적으로 1kg의 질량을 지구 저궤도에 올리는 데는 2만 달러의 비용이 소요된다. 따라서 무게가 1톤인 아리랑 위성이라면 발사비용만 200억 원이 들게 된다. 이 때 유사한 기능을 수행할 수 있는 위성을 그 절반의 무게로 만들 수만 있다면, 발사 비용 또한 절반을 절약할 수 있게 된다.

인공위성 소형화는 또한 인공위성의 단가를 줄이는 데도



〈그림 1〉 소형 인공위성 개념도

기여할 것으로 기대된다. 미세 가공 기술을 이용하여 소형위성의 부품을 가공한다면, 배치 프로세스를 이용하기 때문에 안정된 품질의 부품을 값싸게 만들 수 있다.

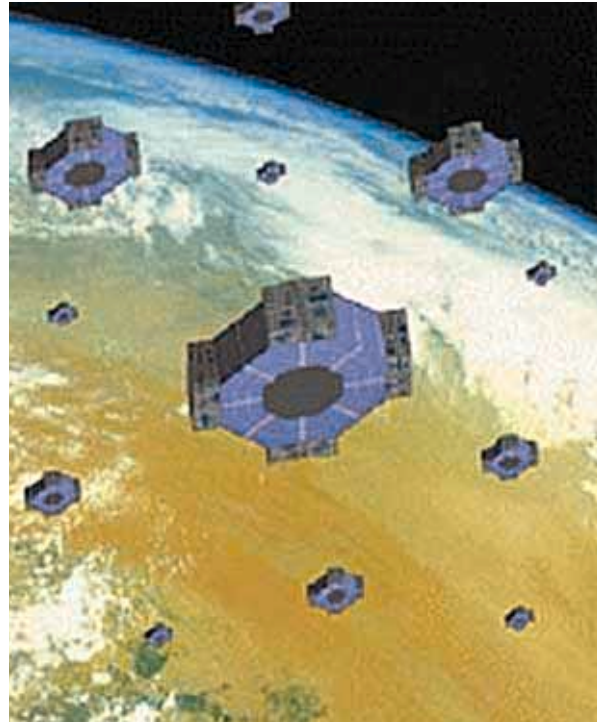
그러나 현재의 초소형 인공위성이 학술적 흥미의 대상을 넘어서 진정한 상업적 가치가 있는 임무를 수행하기 위해서는 몇 가지 중요한 선결 조건이 있다. 그 중 가장 중요한 문제가 소형 인공위성에 기동능력을 부여하는 초소형 추진기의 개발이다. 추진기를 장착함으로써, 초소형 인공위성은 궤도 수정 능력과 자세 제어 능력, 그리고 상대적으로 높은 공기 저항에 의해 낮아지는 고도를 보정할 수 있는 능력을 갖게 된다. 또, 다수의 소형위성을 편대로 운용하여(그림 2 참조) 대형 인공위성의 기능을 수행할 수도 있다. 이 때도 위성간의 상호위치 확보 및 유지를 위하여 인공위성의 운동을 추진기로 제어할 필요가 발생한다.

냉가스 시스템 · 전기추진 방식, 기대 못 미쳐

이와 같이 다양한 목적에 사용할 수 있는 초소형 추진기가 아직 개발되어 있지 않은 것은 다소 의외라 할 수 있다. 전세계 소형위성 연구의 메카라고 할 수 있는 서리대학에서는 일찍이 추진기의 필요성을 인식하고 연구를 수행하여 다양한 개념의 추진기를 제시한 바 있다. 서리대학에서 제시한 추진기의 개념은 크게 외부 에너지 공급이 필요 없는 냉가스 제트 방식과 어떤 형태론든 외부에너지의 공급이 필요한 전기추진의 두 가지 방식이다. 그러나 이 두 가지 방식은 위성탑재를 목적으로 시스템화할 때 생기는 여러 가지 문제점 때문에 지상실험에 성공하였다 하더라도 아직 소형위성에 탑재할 수 있는 수준에 도달하지 못하고 있다.

우선 냉가스 시스템의 경우, 약 50sec 정도의 비추력을 얻기 위하여 기체를 높은 압력으로 압축하여야 한다. 이 때 고압가스를 저장하기 위한 용기의 무게가 가스 압력 때문에 과도해질 수 있고, 기체를 저장하기 때문에 압력을 높게 한다 하더라도 저장할 수 있는 질량이 크지 않다는 점이 문제다. 반면 부탄가스 장치의 경우에는 부탄이 비교적 낮은 압력에서 액화하는 성질을 이용하여 저장은 액체로 하고 추진에 사용할 때는 기화시켜서 기체 상태로 분사하는 방식이다.

이 때, 액체의 기화에는 다량의 기화열이 필요한 데, 이 열을 외부의 열원에서 공급하여야 한다. 따라서 별도의 열에너



〈그림 2〉 소형 인공위성 편대

지 공급 장치를 필요로 하게 되어 추진 시스템 자체의 구조는 단순하더라도 이 장치를 작동하는 데 필요한 시스템은 복잡해지게 된다.

고압의 Xe가스를 추진제로 사용하는 시스템도 Xe에 운동 에너지를 공급할 별도의 장치를 필요로 하게 된다. 이와 같이 부수적인 장치를 필요로 하는 시스템의 경우 아직 소형위성에 탑재할 수 있는 정도의 성능을 낼 수 있는 추진기는 없는 실정이다.

한편, 기존의 대형 인공위성에서는 단일추진제를 추진제로 하는 추진기를 이용해 왔다. 단일추진제로는 초창기에 일부 과산화수소를 이용하기도 했으나, 곧 보다 성능이 우수한 하이드라진(N_2H_4)이 도입되어 현재까지 이용되고 있으며 무공화 위성이나 아리랑 위성 등 대형 위성은 모두 하이드라진을 추진제로 이용하고 있다. 하이드라진은 비추력이 약 180sec로, 단일추진제 가운데서는 가장 추진 성능이 탁월하지만, 맹독성이고 강한 발암성을 갖는 물질로 알려져 있다. 이러한 특성 때문에 하이드라진은 소형인공위성을 연구하는 환경, 즉 대학이나 소규모 연구실에서는 사용이 불가능하다. 대개 하이드라진을 취급하기 위해서는 추진제를 완전히 격



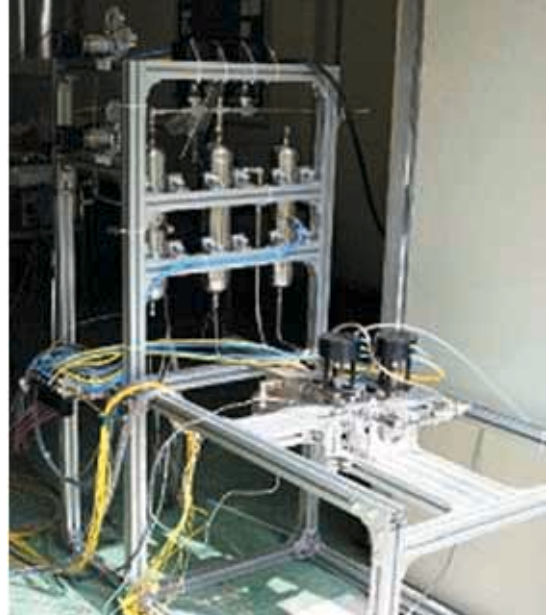
〈그림 3〉 추진기 요소

리시킬 수 있는 설비가 필요하게 되며, 반응 시험도 극히 제한된 환경에서만 가능하다. 현재 아리랑 위성용 하이드라진 추진기는 국내업체가 공급을 하고 있지만, 촉매 반응기 베드 등의 핵심부품은 전적으로 해외기술에 의존하고 있다.

‘촉매 반응 베드’ 개발, 기존 연구 문제점 해결

이번에 KAIST에서 개발한 초소형 추진기 역시 단일추진제를 사용하는 장치다. 단일추진제가 냉가스나 부탄 시스템 등과 비교하였을 때 갖는 절대적인 장점은 추진을 위한 에너지가 추진제에 화학에너지의 형태로 내재되어 있다는 점이다. 따라서 별도의 에너지원으로부터 에너지를 공급할 필요가 없다는 점과 액체 상태이기 때문에 비교적 작은 용기에 많은 양을 담을 수 있다는 점이 큰 장점이다.

KAIST의 장치에서는 과산화수소(H_2O_2)를 단일 추진제로 이용하였다. 과산화수소는 촉매와 접촉하면 많은 열을 방출하면서 수증기와 기체상태의 산소로 분해된다. 과산화수소는 부식성이 있으나 독성은 없으며, 생성 가스는 인체에 무해하다. 과산화수소의 분해반응에서 발생하는 산소는 연료를 태우는 데 산화제로도 이용할 수 있다. 과산화수소는 일반적으로 물과의 혼합물로 유통되는데, 농도가 67% 미만인 경우에는 분해열이 전부 물을 기화시키는 데 사용된다. 따라



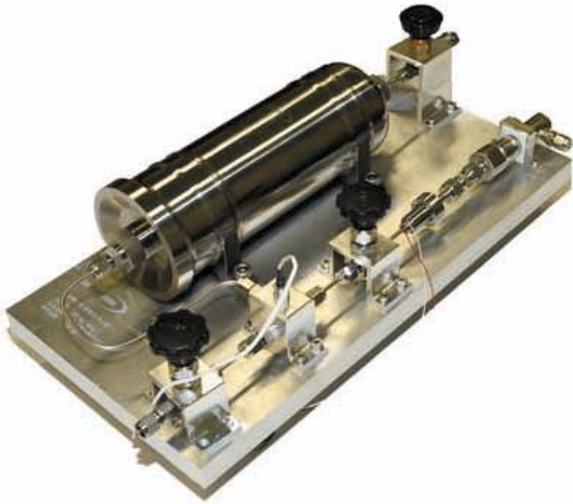
〈그림 4〉 추진기 시험장치

서 추진에 필요한 고온의 가스를 얻기 위해서는 보통 80% 이상 농도의 과산화수소가 필요하다.

KAIST 연구진은 효과적으로 과산화수소의 농도를 높일 수 있는 분류장치를 고안하였다. 과산화수소는 다소 불안정한 상태이기 때문에 원하지 않는 분해반응을 억제하기 위해 다소간의 안정제를 함유하고 있는 것이 보통이다. 이 안정제는 과산화수소의 보존을 돕지만 분해 반응시에는 촉매층을 피독하는 경향이 있다. 이에 연구진은 촉매의 피독을 최소화 하면서 안정적으로 과산화수소의 분해를 일으키는 촉매 반응 베드를 개발하였다. 촉매 반응 베드의 개발은 우선 최적 촉매의 선정과, 담체의 선택, 그리고 효과적인 촉매 담지 방법, 그리고 담체의 성형 등 다양한 기술적인 과제의 해결을 포함한다.

과산화수소의 분해반응에는 은이 촉매로 많이 사용돼 왔으나, 이 반응의 단열온도에 해당하는 600°C 에서 은이 물러지기 때문에 높은 농도의 과산화수소와는 사용하기 곤란하다. 반면, 반응성이 우수한 과망간산 계열의 촉매는 담체에 단단하게 고정이 안 되는 문제점이 있다. KAIST 연구진은 백금을 세라믹 하니컴에 담지하는 방법으로 위에 언급한 다양한 문제점을 해결할 수 있었다.

개발된 촉매 반응기 베드는 매우 긴 작동시간에도 안정적



〈그림 5〉 통합 추진기 모듈

으로 분해반응 성능을 나타냈으며, 인공위성에서와 같이 단속적인 펄스 작동에서도 유효한 성능을 보여 주었다. 완성된 촉매 반응기 베드를 추진기 케이스(그림 3 참조)에 넣어서 시험하여 만족스러운 성능이 나오는 것을 확인할 수 있었다. 추진기 성능을 시험한 장치는 〈그림 4〉와 같다.

촉매반응기와 추진체 공급시스템 통합, 위성 탑재

추진기를 인공위성에 탑재하기 위해서는 추진제 저장 탱크와 가압장치, 그리고 추진제의 공급을 조절할 밸브 등 다양한 요소들과 통합하여야 한다. 〈그림 5〉는 개발된 추력기를 추진제 공급계와 통합한 장치다. 그리고 〈그림 6〉은 통합된 모듈 상태에서 추진기가 정상적으로 작동하는지 확인하는 사진이다. 이 실험을 통하여, 개발한 추진기가 추진제 공급 시스템과 통합 모듈로 구성되었고, 개별 인공위성의 요구 조건에 맞추어 요소들을 재배치함으로써 탑재 모델로 구성하는 것이 가능해졌다.

이번에 개발한 장치의 성능 지표인 비추력은 약 160sec로써 냉가스 장치의 약 4배에 해당한다. 이번 개발에는 핵심부품인 촉매 반응기 외에 추진제 공급장치의 최적화도 매우 중요한 부분이었다. 추진제 공급시스템의 구성은 대덕 테크노밸리 소재의 스페이스솔루션에서 담당했다. 이번에 개발한 추



〈그림 6〉 추진기 모듈 시험 광경

진 방식은 인공위성의 자세제어뿐 아니라, 우주발사체의 상단부의 정밀 자세제어를 위한 추력기로도 사용이 가능하다.

마이크로 추력기 기술은 초소형 인공위성 시스템의 기반이 되는 기술로서, 초소형 인공위성의 실용적 임무 수행에 필수적인 기술이다. 우리별 위성과 과학위성 등 현재 운용중이거나 계획중에 있는 대다수 소형 인공위성은 추력기의 미비로 인하여 소극적인 자세 제어만이 가능하도록 되어 있으며, 이는 인공위성의 응용범위와 수명을 제한하는 주요 요인이 되고 있다. 마이크로 추력기 개발은 이러한 위성체 운용상의 제약을 해결하여, 현재 몇몇 대학의 실험실에서 개발 중인 초소형 인공위성의 응용을 활성화하는 데 기여할 것으로 기대된다. 마이크로 추력기 기술은 특성상 우주기술(ST)의 기반기술이지만, IT분야의 마이크로 가공기술과 NT분야의 나노 촉매 응용기술로 구성되는 복합기술이다. 이런 특성으로 인해 이 기술은 MEMS를 기반으로 하는 산업, 제품, 공정뿐만 아니라 마이크로 촉매반응을 이용하는 초소형 연료 전지, 소형 에너지원과 같은 첨단연구의 기반이 될 수 있을 것으로 기대된다. ㉔



글쓴이는 서울대학교 항공공학과 졸업 후 KAIST에서 석사학위를, 미시간대학교에서 박사학위를 받았다.