

항공우주부품기술개발 유망사업(5)

소형 위성의 궤도보정 및 천이를 위한 홀 추력기 개발 (Hall Thruster System for Small Satellites)

(주)세트렉아이 우주기술연구소

개발 배경 및 개요

소형 위성용 홀 추력기(Hall thruster)는 전자기장을 통하여 추진 연료를 가속-방출하는 장치로서, 위성의 궤도 천이, 고도 유지 및 자세 제어에 이용되고 있다. 기존의 로켓 분사 시스템이 액체 및 고체 연료의 폭발-방출을 통해 추력을 얻는 반면, 홀 추력기를 비롯한 전기 추진 기관(Electric Propulsion System)들은 태양 전지판을 통해 전기 에너지를 얻고 이를 다시 연료의 운동 에너지로 바꾸으로써, 높은 효율의 안정된 추력을 얻는다는 장점이 있다.

전기 추진 기관은 그 에너지 변환 방식에 따라 전열 방식(Electro-Thermal), 정전기 방식(Electrostatic), 전자기 방식(Electromagnetic)으로 분류되는데, 이중 전열 방식은 가장 초기에 개발되어 이미 상용화 단계에 진입한 전기 추진 방식으로서, 저항선을 통해 열을 발생시키거나(resistojet), 아크 방전을 일으켜(arcjet) 연료를 가열-분사한다. 하지만 '전기→열→정렬된 운동 에너지'로 이어지는 일련의 에너지 변환 과정 중 불가피하게 다량의 열 손실이 발생하여 에너지 효율을 떨어뜨리며, 연료로서 암모니아(NH₃), 히드라진(N₂H₄) 등의 독성 물질들이 주로 사용된다는 단점이 있다.



전열 방식은 가장 초기에 개발되어 이미 상용화 단계에 진입한 전기 추진 방식이지만, 에너지 변환 과정 중 다량의 열 손실이 발생하여 에너지 효율을 떨어뜨리며, 연료로서 암모니아, 히드라진 등의 독성 물질들이 주로 사용된다는 단점이 있다.



1998년 발사된 미국 위성 Deep Space 1은 정전 추력기 NSTAR를 탑재하여 16,000시간을 운용함으로써 이 분야의 기록을 세운 바 있다.



유럽우주기구의 SMART-1은 홀 추력기를 이용함으로써 성공적으로 달에 도착한 바 있다.

정전기 방식은 연료를 이온화시켜 전기를 띄게 한 후 1000볼트 가량의 높은 전압으로 직접 가속시켜 방출하며, 연료의 분사 속도와 에너지 효율이 월등히 높다는 장점이 있으나, 먼저 방출된 연료들에 의한 공간 전하 효과 때문에 얻을 수 있는 추력밀도가 제한된다는 단점이 있다. 전자기 방식은 연료를 중성 플라스마 형태로 만들고, 그 내부에 전자의 순환 전류를 형성함으로써 그 전류가 자기장으로부터 받는 로렌츠 힘을 통해 연료를 가속·분사시키는 구조를 갖고 있다. 이로 인해 정전기 방식의 문제점인 공간 전하 효과가 해결되고 단위 면적-시간당 분사시킬 수 있는 연료의 양이 늘어남으로써 연료 분사 속도는 정전기 방식보다 작지만, 작은 면적에서 큰 추력을 얻을 수 있다는 장점이 있어 특히 소형위성 등에 적합할 것으로 간주된다.

정전기 추력기는 1960년대 미국에서(1964년 위성 SERT 1), 홀 추력기는 1970년대 소련에서(1971년 위성 METEOR) 시험적으로 위성에 탑재되었지만, 위성 추진 장치로서 다시금 주목을 받기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 1998년 발사된 미국 위성 Deep Space 1은 정전 추력기 NSTAR를 탑재하여 16,000시간을 운용함으로써 이 분야의 기록을 세운 바 있다. 2003년 발사된 일본 위성 Hayabusa는 소행성 25143 이토카와를 탐사하기 위해 4개의 제논 정전 추력기를 사용하였다. 2007년 9월 발사 예정인 미국의 소행성 탐사 위성 Dawn Mission은 3개의 NSTAR가 소행성 지역(asteroid belt)까지 위성을 이동시키도록 설계되어 있다. 2003년 9월 발사된 유럽우주기구(ESA)의 위성 SMART-1은 홀 추력기를 이용함으로써 성공적으로 달에 도착한 바 있으며, 2004년 발사된 MBSAT, 2005년 발사된 Thaicom 4와 Galaxy 28 등의 정지 궤도 위성들도 홀 추력기를 탑재하고 있다. 현재 유럽 우주 기구는 일본과 제휴하여 수성 탐사 위성 BepiColombo를 제작중인데, 이 또한 Solar Electric Propulsion이라 명명된 홀 추력기가 달 궤도 탈출 후 수성 진입 시까지의 궤도 운동을 담당할 예정이다.



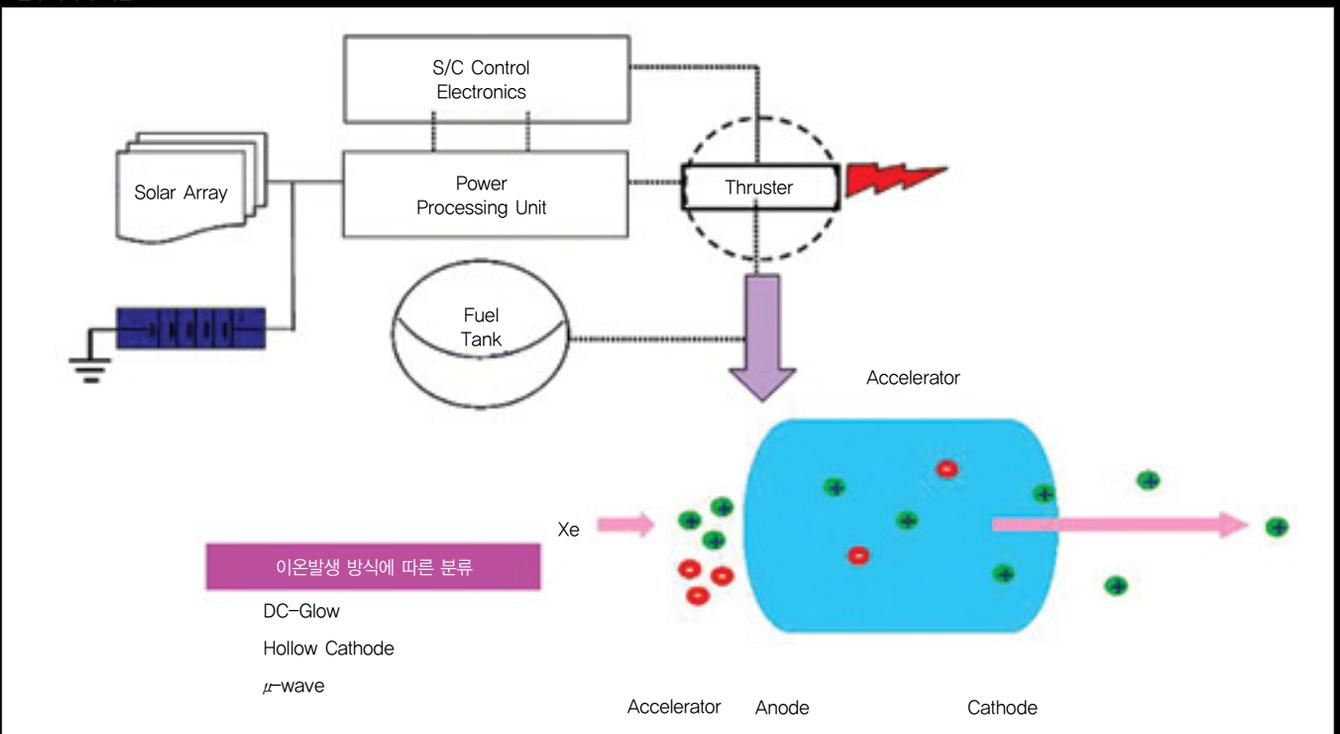
2004년 발사된 MBSAT, 2005년 발사된 Thaicom 4와 Galaxy 28 등의 정지 궤도 위성들도 홀 추력기를 탑재하고 있다(사진은 Thaicom 4).

이처럼 홀 추력기는 근본적으로 태양 에너지를 이용한 추력을 발생시키고, 일정 추력을 얻기 위해 필요한 분사 연료의 양이 타 기관에 비해 월등히 적으며, 폭발 등의 위험이 없고 미세 통제가 용이하기 때문에 소형 위성의 제어 및 추진에 있어 그 효율성이 매우 높다. 그러나 우주 기술에 실제로 활용된 역사가 짧기 때문에 선진국에서도 아직 완전한 상용화가 이루어지지 못했고, 우주 산업의 특성상 관련 핵심 기술의 국내 도입에는 상당한 시간이 필요하리라 예상된다. 따라서 홀 추력기의 설계, 제작, 시험 및 실제 위성 탑재와 관련된 핵심 기술의 독자적인 개발이 요구되고 있으며, 이는 선진 각국에서 관리되고 있는 우주 기술의 독자적 개발, 이에 따른 기술 자립 및 수입 대체 효과를 가져 올 것으로 예상된다.

주요 개발 목표 및 내용

현재 산업자원부 항공우주부품기술개발사업의 일환으로 (주)썬트레이에서 개발 중인 홀 추력기는 200~500kg급 소형 위성의 궤도 보정 및 천이에 적합하며, 이 장비의 목표 추력은 10mN, 비추력은 1500s이고 300V의 전압으로 매 초 0.8mg의 연료를 방출하도록 설계되어 있다. 추력기는 크게 연료부, 추력부, 그리고 전력-제어부로 이루어져 있다. 연료부는 분사 연료의 저장과 안정된 공급을 담당하는 탱크, 압력계, 밸브, 유량 제어기 등을 포함한다. 추력부는 이 연료를 이온화시켜 가속-분사하며, 전자석, 양극, 음극, 질화붕소 도관 등으로 구성된다. 전력-제어부는 전자석과 양-음극에 전력을 공급하여 전기 에너지가 분사 연료의 운동에너지로 바뀔 수 있도록 하고, 그 외에 기관 각부의 제어 및 위성 본체와의 통신을 담당한다. 추력기의 설계 및 해석, 조립과 평가 등 개발에 필요한 작업은 KAIST(물리학과) 기계방진물리연구실과 공동으로 수행하고 있으며, 추력부의 설계에 필요한 전산 수

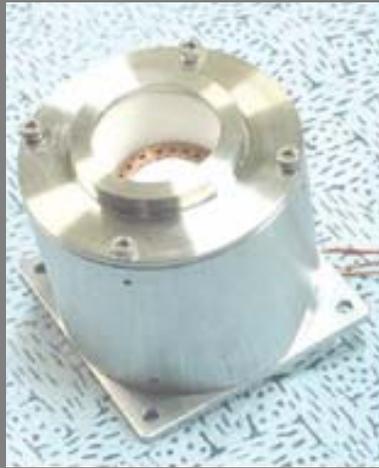
• 홀추력기의 개념도



지 해석은 부산대학교 전기전자통신공학과와 별도로 협력하고 있다.

주요 개발 진행 현황

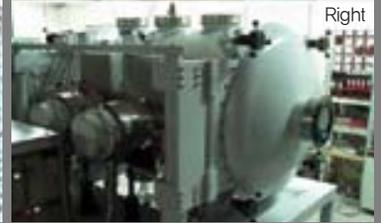
2005년 5월에 산자부와 사업 협약을 시작으로 총 3년에 걸쳐 진행되고 있는 홀 추력기 개발사업의 1차년도에는 추력기 개념 설정, 초기 수치 해석, 그리고 시스템의 설계가 이루어 졌다. 2차년도에는 시험 및 평가 계획을 마련하고 실제 시스템을 구성하여, 그 성능을 검증함과 동시에 문제점을 보완-해결하였다. 특히 추력부의 전자석을 집중 개발하여 작동에 따르는 온도 상승을 줄이고 자기장의 세기를 높이는 한편, 다양한 형태의 자기장을 선택적으로 수립할 수 있도록 하였다. 시작품의 제작, 성능 평가 수행, 설계 반영에 이르는 일련의 과정들은, 3차년도 사업을 진행하고 있는 현재까지 꾸준히 이어져 반복-진행되고 있다. 3차년도의 종료 시점에는 1-2차년도의 결과를 바탕으로 결정된 운영 변수들에 따라 최종 시스템이 구성되고, 이에 대한 환경시험이 완료될 예정이다.



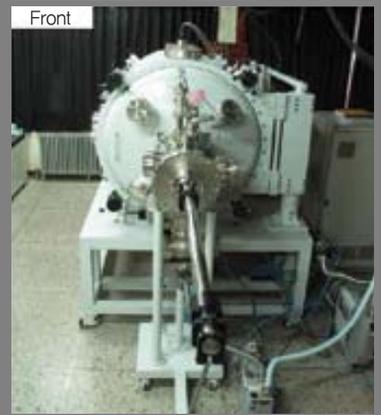
제작된 추력기의 Prototype과 성능평가를 위한 진공 챔버



Left
Right



Front



향후 계획 및 결론

현재 3차년도 개발이 진행 중인 홀 추력기는 개발기간이 2008년 4월까지로 계획되어 있다. 2차년도에 완성된 시험 모델을 이용하여 운영 변수들을 최적화하기 위한 실험이 꾸준히 이루어지고 있으며, 이것이 완료되면 실제 위성에 탑재 가능한 수준의 추력기가 제작될 것으로 기대한다.

홀 추력기의 성공적 개발은, 위성 궤도 및 자세 제어의 신기술을 국산화한다는 것을 의미한다. 우리는 이를 통해 소형 위성의 궤도를 자유롭게 조절하고 자세를 더욱 안정시킴으로써, 향후 국내에서 개발될 위성들의 임무 수행 범위를 혁신적으로 확장시킬 수 있다. 현재 미국-러시아-유럽-일본 등 소수 선진국에 한정되어 있는 이 장치가 국산화된다면, 대한민국의 위성 산업이 세계 시장에 도전장을 내밀 수 있는 든든한 버팀목이 될 것이다. ■

홀 추력기 방전실험 결과