

연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 위성용 친환경 단일 추진제 추력기(1N급) 개발

1. 개요

가. 기술의 개념 및 정의

친환경 단일 추진제는 현재까지 위성용 단일 추진제로 사용되고 있는 하이드라진(Hydrazine)과 동급의 성능을 발휘하며 독성이 없는 추진제를 말하며 일반적으로 HAN(Hydroxylammonium nitrate), ADN(Ammonium dinitramide) 등이 알려져 있다. 본 과제에서는 ADN을 기반으로 하는 액체추진제를 이용하여 1N급 위성 자세제어용 단일추진제 추력기 및 추진제 공급장치를 개발하고자 한다. 단일 추진제 추력기는 그림 1과 같이 추진제를 분해시켜주는 촉매, 연소실로 구성되어 있으며 추진제의 분해조건에 따라 히터를 장착하고 연료를 공급/차단해주는 밸브와 함께 추력기 조립체 형태로 개발된다. 단일 추진제 추력기는 그림 2와 같이 추진제 공급 장치와 함께 운용되며, 추진제 공급 장치는 추진제 및 가압가스를 저장하는 추진제 탱크, 추진제를 차단/공급하는 래치 밸브, 추진제 및 가압제를 탱크로 주입/배출해주는 충/배출 밸브 등으로 구성되어 있다. 상기 추력기 및 추진제 공급장치는 실제 시스템에 활용 가능한 기술성숙도 7단계(TRL 7)의 QM급 품질인증 제품 개발이 최종 목표이며, 이는 성능시험 및 우주환경시험을 통하여 검증 예정이다.

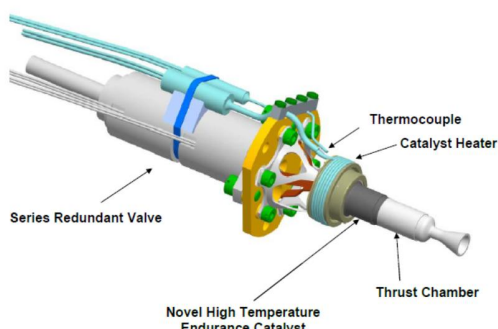


그림 1. 친환경 단일추진제 추력기
형상

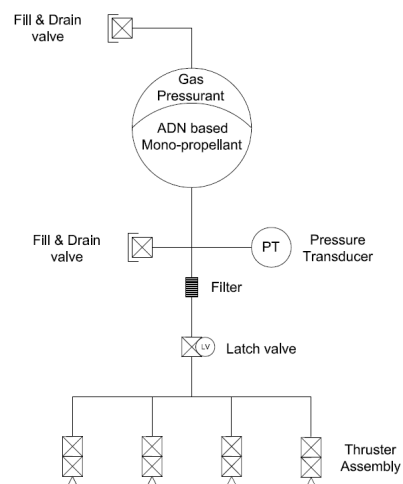


그림 2. 추진제 공급장치
및 추력기 시스템

나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

○ 기술의 중요성/필요성

하이드라진 추력기는 다목적실용위성 시리즈 등의 중형급 저궤도 위성에서 가장 많이 사용되는 추력기이지만 하이드라진 추진제의 독성으로 인한 환경문제 및 취급의 어려움으로 인해 대체 추진제 개발을 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 친환경 추진제 추력기에 대한 연구는 오래 전부터 진행되어 왔지만 친환경이 가지는 이점 대비 성능적인 한계가 존재하였으나 최근 들어 기술적 문제들이 점차 해결되면서 고성능 친환경 추진제 추력기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 실용화되는 단계에 진입하고 있다. 이러한 상황에서 고성능 친환경 추진제 추력기의 국내개발을 위한 핵심 요소기술 및 시스템 기술을 반드시 확보해할 필요가 있다.

선진국에서도 아직 성공한 사례가 드문 고성능 친환경 추진제를 이용한 1 N 급 추력기를 개발한다면 세계적으로 우주용 추력기 관련 기술을 선도할 수 있는 기회가 될 수 있으며 국내외에서 친환경 단일추진제 추력기 기술에 대한 수요가 꾸준히 제기되고 있는 상황을 고려할 때 우주기술의 해외 수출로 이어질 수 있어 국내 우주개발 산업에 미치는 파급성이 클 것이라 예상된다.

○ 기술개발의 시급성

차기 군정찰위성 및 다목적실용위성 시리즈 등의 중형급 저궤도 위성의 소형/경량화 및 구성품 국산화를 위해 기존 하이드라진 추력기 보다 비추력이 높고 친환경 연료 사용에 따른 시설 및 비용 절감효과가 큰 국산 친환경 단일 추진제 추력기를 적용하는 것이 타당하다고 판단되며, 차기 군정찰위성의 개발 일정을 고려하고 다양한 민수용 위성의 적용 가능성을 고려할 때 위성용 친환경 단일 추진제 추력기 개발이 조속히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

다. 연구개발 최종 목표(민·군수용)

○ 1N ADN 기반 단일추진제 추력기 및 추진제 공급장치의 QM급 품질인증제품 개발(TRL 7)

○ 세부목표

- ADN 기반 단일추진제 조성 최적화 기술 개발
- ADN 기반 단일추진제 분해용 촉매 고온내구도 향상기술 개발
- 추력기 인젝터/챔버/노즐 제작 기술 개발
- 1 N 추력기 설계/해석 기술 개발
- 추력기 일체형 연료 차단/공급 솔레노이드 밸브 개발
- ADN 기반 단일추진제에 적합한 다이어프램 추진제 탱크, 래치 밸브, 충/배출밸브 등으로 구성된 추진제 공급장치 개발

- 1 N 추력기 및 추진제 공급장치의 우주환경시험을 포함한 시험평가

○ 최종 목표

항 목			목 표 성 능	비고
추진시스템		구성 (수량)	- 95L급 추진제 탱크 (1) - 1N급 친환경 추력기 (4) - 래치밸브 (1) - 충배출밸브 (2) - 압력센서 (1) - 필터 (1) - 배관	압력센서, 필터는 위성용 기성품 사용 가능
		추진제	ADN 기반 단일추진제 추력기	
		가압제	질소	
		운용압력	22 bar @BOL 기준, 상온	
		추력기 추력	1N급	
		추진제 무게	96kg 이상	
추력기 조립체		진공 추력 (연속모드)	1.05±5% N @ 공급압 22 bar 0.30±5% N @ 공급압 5.5 bar	추진제 포함성능
		진공 비추력	> 225 sec @ 공급압 22 bar > 200 sec @ 공급압 5.5 bar	
		작동조건 중 최소 임펄스	< 70 mNs	
		추력기 수명	> 24 kg (Total throughput)	
		펄스 수명	> 60,000 pulse	
		추력기 응답시간	On : < 200 ms @ 90% 최대 추력 Off : < 300 ms @ 10% 최대 추력	
추진제 공급장 치	다이 아프 램 탱크	탱크 재질	라이너: 티타늄 다이하프램: EPDM, FKM 등의 고무	
		배출 효율	99% 이상	
		최대 작동/보증/파괴 압력	25 / 37.5 / 50 bar 이상	
		탱크 체적	95 L 이상	
		탱크 무게	15 kg 이하	
	래치 밸브	최대 작동/보증/파괴 압력	30 / 45 / 60 bar 이상	
		무게	< 500 g	
		유량	> 2.5 g/s @ ΔP 0.1 bar	
		작동 횟수	5,000회 이상	
	충/ 배출 밸브	외부 누설	< 1.0×10 ⁻⁶ scc/Sec @ MEOP, GHe	
		내부 누설	< 2.8×10 ⁻⁴ scc/Sec @ MEOP, GHe	
		작동 횟수	150회 이상 작동 후 누설량 만족	
	무게	< 100 g		

2. 국내외 기술현황 및 전망

가. 국내 기술동향 및 전망

국내의 단일추진제 추력기 관련 연구는 하이드라진 추력기에 집중되어 있으며 친환경 추력기에 관한 연구는 대학에서 기초연구 수준으로 수행되고 있다. ADN 기반 단일 추진제에 관한 연구는 추진제 제조, 반응촉매 개발에 관한 연구들이 진행되고 있으며,

추력기 수준의 시험을 통해 유의미한 결과를 얻은 사례는 아직 알려져 있지 않다.

추진제 공급 장치 구성요소에 관한 연구는 연구재단의 QM 급 부품개발 과제를 통해 위성용 솔레노이드 밸브, 래치밸브, 추진제 탱크 등이 개발된 바 있었지만 하이브리드 추진제를 대상으로 하였으며, ADN 기반 친환경 추진제용 부품 및 통합된 시스템으로 개발/시험되지 않았다. 단일 추진제 공급 장치의 경우 현재 한국형 발사체(KSLV-II) 3단 자세제어 시스템으로 국산화된 과산화수소 추력기 시스템이 개발되고 있다.

나. 국외 기술동향 및 전망

저독성, 친환경 추진제에 대한 연구는 상당히 오래 전부터 진행되어 왔으나 낮은 성능으로 인해 실용화가 어려운 상태였다, 하지만, 최근 들어 성능 향상을 위한 기술적 문제들이 점차 해결되면서 고성능 친환경 추진제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국 및 일본에서는 HAN을 이용한 추력기 개발을 시도하고 있으며, 유럽에서는 ADN 기반 추진제를 이용한 추력기에 대한 연구를 수행하여 1 N 급 추력기의 상용화에 성공하였다.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
<ul style="list-style-type: none"> • ECAPS • EURENCO Bofors • Swedish Space Corporation • Swedish Defence Research Agency (FOI) • Edotek Ltd. • Swerea KIMAB • ALS Scandinavia • Bodycote • SafePac • Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) 	ADN 기반 추진제(LMP-103S) 및 추력기 개발 <div style="text-align: center;"> <p>HPGP Rocket Engine Up-scaling</p> <p>5 N Under Development TRL 4</p> <p>22 N Under Development TRL 4</p> <p>50 N Under Pre-definition TRL 2</p> <p>ACE-220 N Under Pre-definition TRL 2</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 N급 추력기 연구개발성과 검증 (PRISMA mission) • 고성능 추력기 스케일 업 연구
<ul style="list-style-type: none"> • IHI Aerospace Engineering • Mitsubishi Heavy Industries 	HAN 기반 추진제 및 추력기 개발	<ul style="list-style-type: none"> • HAN 기반 추진제 개발 (HAN/HN/TEAN/H₂O) • 1-20 N급 추력기 연구
<ul style="list-style-type: none"> • NASA • Aerojet Rocketdyne 	HAN 기반 추진제 및 추력기 개발	<ul style="list-style-type: none"> • Green Propellant Infusion Mission • 1~670 N급 추력기 설계 및 평가

3. 연구개발계획

가. 단계별 연구개발 목표

○ 민·군수용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
응용 연구 (3년)	ADN 기반 액체추진제 조성 최적화 및 촉매기술 최적화	<ul style="list-style-type: none"> 액체추진제 조성 및 제조공정 최적화 추력기 환경에서의 촉매성능 검증 및 성능향상 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 추진제 조성 최적화 보고서 촉매 성능 검증 및 성능향상연구 결과 보고서
	DM급 1N ADN 추력기 조립체 개발	<ul style="list-style-type: none"> 지상용 추력기 노즐 개발 촉매 반응기 최적화 슬레노이드 밸브 개발 지상 연소시험 	<ul style="list-style-type: none"> 추력기 조립체 시제품 연소시험 결과 보고서
	DM급 추진제 공급장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> DM급 다이아프램 탱크 개발 DM급 래치밸브, 충/배출밸브 개발 성능시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 다이아프램 탱크 시제품 래치밸브 시제품 충/배출밸브 시제품 성능 시험 결과 보고서
	EM급 1N ADN 추력기 조립체 개발	<ul style="list-style-type: none"> 진공용 추력기 노즐 개발 추력기 조립체 형상 최적화 진공 환경 연소시험 	<ul style="list-style-type: none"> 추력기 조립체 시제품 진공 환경 연소시험 결과 보고서
	EM급 추진제 공급장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> EM급 다이아프램 탱크 개발 EM급 래치밸브, 충배출밸브 개발 성능시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 다이아프램 탱크 시제품 래치밸브 시제품 충/배출밸브 시제품 성능시험 결과보고서
	EM급 추진시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> EM급 추진시스템 AIT EM급 추진시스템 지상 환경 연소 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 조립 절차서 추진 시스템 연소시험 결과보고서
시험 개발 (2년)	QM급 1N ADN 추력기 조립체 개발	<ul style="list-style-type: none"> 시험절차 확인 및 보완 성능시험 수행 발사환경모사 시험 수행 우주환경시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 추력기 조립체 시제품 진공 환경 연소시험 결과 보고서 성능/환경시험 결과 보고서
	QM급 추진제 공급장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> QM급 다이아프램 탱크, 래치밸브, 충/배출밸브 개발 성능시험 수행 발사환경모사 시험 수행 우주환경시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> QM급 다이아프램 탱크 시제품 QM급 래치밸브 시제품 QM급 충배출밸브 시제품 성능/환경시험 결과보고서
	QM급 추진시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> QM급 추진시스템 AIT QM급 추진시스템 진공 환경 연소 시험 	<ul style="list-style-type: none"> 시스템 조립 절차서 추진 시스템 연소시험 결과보고서
	QM급 추진시스템 우주환경 시험	<ul style="list-style-type: none"> 우주환경 시험항목 절차수립 우주환경 시험 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 우주환경 시험 항목 및 절차서 우주환경 시험 성적서

※ 연차 구분은 회계연도를 기준으로 설정 및 예산 배분

연구단계	응 용 연 구				시 험 개 발		
연차	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	1차년도	2차년도	3차년도
연차별 기간	7개월 (20.6~20.12)	12개월 (21.1~21.12)	12개월 (22.1~22.12)	5개월 (23.1~23.5)	7개월 (23.6~23.12)	12개월 (24.1~24.12)	5개월 (25.1~25.5)
평 가	진도평가 ▲	진도평가 ▲	진도평가 ▲	단계평가 ▲	진도평가 ▲	진도평가 ▲	최종평가 ▲
예산지급	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

*재료비, 장비비 등은 사업 초기에 집행하여 활용도 제고

나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간 : 5년(응용연구 3년, 시험개발 2년)
- 총 연구개발비(정부출연금) : 77억원 이내(응용연구 47억, 시험개발 30억)

4. 적용 및 파급효과

가. 적용분야

- 민수 : 민수분야는 주로 정부기관인 항공우주연구원(이하 "항우연")과 민간 기업인 쉔트렉아이가 개발하는 위성에 적용 가능하며 예상되는 적용대상은 다음과 같다.
 - 항우연의 다목적실용위성(아리랑) 7호 이후 개발위성에 적용가능 (13호기까지 계획 중)
 - 항우연의 2025년 이후부터 개발되는 차세대중형위성에 적용가능 (추가 43기, '40년까지)
 - 민간기업인 쉔트렉아이가 해외로부터 수주예정인 위성에 적용이 가능함.
- 군수 : 군수분야는 주로 국방과학연구소가 주관하는 정찰위성개발사업에 적용 가능하며 예상되는 적용대상은 다음과 같다.
 - 현 425 위성사업 이후 차기 군정찰위성체계에 적용가능
 - 기타 군이 운용하고자 하는 중소형 위성에 적용가능

나. 파급효과

- 기술적 측면 : 고성능 친환경 추력기 기술은 세계적으로 개발이 진행 중인 선도 기술 중의 하나로 성공적으로 개발이 이루어질 경우 다목적실용위성, 차세대 중형 위성, 차기 군정찰위성 등의 저궤도 위성용 추력기 뿐 아니라 발사체상단이나 달 탐사선 등 정밀제어를 위한 다양한 우주용 추력기 분야로의 기술적인 파급효과를 기대할 수 있다. 또한 향후 중/대형위성에 있어

독자적인 개발 수행에 있어 유연성 확보가 가능하며, 이로 인해 우주기술 개발에 있어 기술 독립을 실현할 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

- 경제·산업적 측면 : 본 연구를 통해 개발된 고성능 친환경 추력기 및 추진제 공급장치는 장기적으로 기존 저궤도 위성 추력기의 일부 대체 및 해외 수출 등을 기대할 수 있으며, 독성이 낮은 특성으로 인해 시험 및 추진제 주입 등의 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.
- 군사적 측면 : 군용 정찰위성은 보안을 요하지만, 국내에서는 추력기 및 추진제 공급장치를 개발/시험/운용할 수 없기 때문에 국외 제품을 수입할 경우 위성의 존재 및 용도가 드러나게 된다. 따라서 추력기 및 추진제 공급장치의 국산화를 통해 군사적 보안성 향상에 기여할 수 있으며, 향후 고기동 군 정찰위성의 독자적 개발에 필수적인 자세 및 궤도제어 기술 발전에 크게 기여 하리라 판단된다.

5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

가. 연구개발 결과 최종 제시물

- 위성용 친환경 단일추진제 추력 시스템 1조(시제품)
 - 위성용 친환경 단일추진제 1 N 추력기 조립체 4조
 - 추진제 공급장치 1조 및 친환경 추진제 1식
- 설계/제작 보고서
- 시험결과 보고서
- 규격서, 제작도면, 제작/조립/시험 절차서

나. 연구개발 결과 평가항목

- 최종목표 항목, 세부항목의 추가식별 및 평가내용은 제안기관에서 제시

6. 참여 요건

가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 제7조제2항 및 동법 영 제14조제2항 각 호에 해당하는 기관 또는 단체
 - ※ 응용연구 및 시험개발의 경우에는 주관연구기관 또는 참여기관에 1개 이상의 기업 참여 필수 (제27조제4항) 단, 기초연구의 경우에는 기업참여가 필수사항이 아님
- 기업분담율 : 민·군기술협력사업 공동시행규정 제27조(별표4)

나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건 : 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

다. 기타

- 필수 장비에 대한 확보 및 활용 계획 제안
 - 진공 브레이징 장비 - 솔레노이드 밸브 제작용
 - 고온 전기로 (1600℃ 이상) - 고온 촉매 제작용
 - 진공 추력 측정용 고진공 챔버 - 진공 환경 연소시험용
 - 탱크 자동 용접기 - 추진제 탱크 용접용

7. 참고문헌

- Aron Dinardi and Mathias Persson, “High Performance Green Propulsion (HPGP)_A Flight-Proven Capability and Cost Game-Changer for Small Secondary Satellites” , 26th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites
- Jonny Dyer, Aron Dinardi and Kjell Anflo, “First Implementation of High Performance Green Propulsion in a Constellation of Small Satellites” , 27th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites
- Maxime Monette, Seungkwan Baek, Juwon Kim, Yeon Soo Jung, Wooram Kim, Youngmin Jo, Jaewan Lee and Sejin Kwon, “5 N Scale Preliminary Thruster Test with an ADN-based Monopropellant” 한국추진공학회지, 22(2), 29-37.
- 오상관, 강신재, 오동호, “한국형발사체 자세제어시스템을 위한 과산화수소 단일추진제 추력기” , 한국항공우주학회지, 47(5), 335-343.
- T.W. Price, D.D. Evans, “The Status of Monopropellant Hydrazine Technology” , NASA Technical Report 32-1227
- Walter Tam, Gary Kawahara, Kamil Wlodarczyk, Hector Gutierrez, and Daniel Kirk, “Review of ATK Diaphragm Tanks - An Update” , Space Propulsion 2018
- Latch Valves for Space Propulsion System
(<http://www.space-propulsion.com/spacecraft-propulsion/valves/latch-valve.html>)

○ W. F. MacGlashan, Jr., “Fill Valve Development for the Advanced Liquid Propulsion System “, NASA Technical Report No. 32-875

8. 과제 문의사항 연락처

소속	성 명	연락처
민군협력진흥원	김 도 선	042-607-6016