[2018~2020년 상반기]
우주핵심기술개발사업 R&D

우수성과 사례집

과학기술정보통신부 NRF 한국연구재단
National Research Foundation of Korea

우주핵심기술개발사업이란?

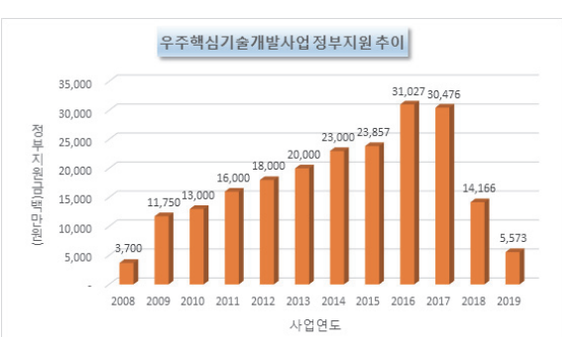
- 우주기초기술의 기반 강화, 우주핵심기술의 자립화 및 초소형위성 개발 등을 통한 우주기술 저변 확대 및 독자적 우주개발 능력 확보를 위해 학·연·산의 연구자를 지원하는 사업입니다.

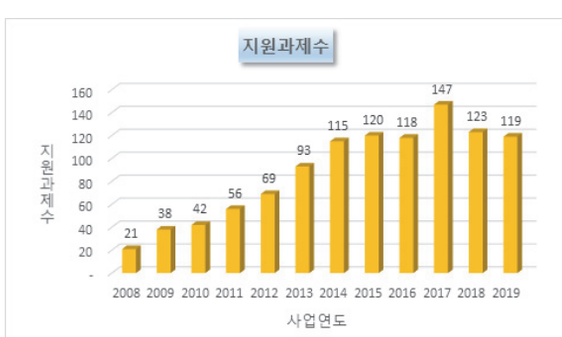
○ 지원내용

구분	기술개발(R&D)			연구기반조성		
	우주기초연구	우주핵심기술	우주기술 융복합	우주교육 시스템구축	초소형위성 개발	우주부품 시험시설
지원대상	대학중심	학·연·산	산업체	대학·출연(연)·공공기관	초·중·고·대학(원)생	비영리단체, 출연(연), 산업체
지원내용	우주기초기술	우주핵심기술	우주기술 사업화	우주전문 인력 양성	큐브·캔 위성개발	우주부품 시험시설 구축
지원규모	과제당 1억원 내외/년	과제당 10억원 내외/년	과제당 4억원 이내/년	과제당 5억원 이내/년	연 10억원	(`16) 50억원 (`17) 50억원
지원기간	3년	3년(`20년 종료)	2년(`19년 종료)	5년(3+2)	`21년 종료	3년

우주핵심기술개발사업 R&D 투자현황

년도	과제 수			연구비(백만원)		
	신규	계속	계	신규	계속	계
‘08년	21	-	21	3,700	-	3,700
‘09년	17	21	38	7,750	4,000	11,750
‘10년	5	37	42	1,338	11,662	13,000
‘11년	24	32	56	5,477	10,523	16,000
‘12년	18	51	69	6,530	11,470	18,000
‘13년	40	53	93	5,849	14,151	20,000
‘14년	38	77	115	8,546	14,454	23,000
‘15년	33	87	120	8,184	15,673	23,857
‘16년	23	95	118	9,197	21,830	31,027
‘17년	45	102	147	7,849	22,627	30,476
‘18년	33	90	123	1,765	16,440	18,205
‘19년	-	119	119	-	14,166	14,166





우주핵심기술개발사업 R&D 주요성과

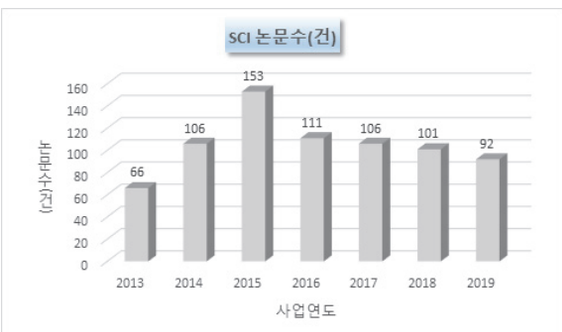
○ 과학적 성과

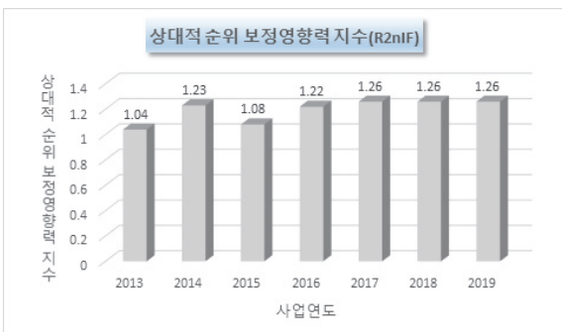
〈우주핵심기술개발사업 과학적 성과(SCI 논문)〉

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	비고
상대적 순위 보정 영향력 지수	1.04	1.23	1.08	1.22	1.26	1.26	1.26	세계 평균 1.0
SCI 논문 수(건)	66	106	153	111	106	101	92	

⇨ 우주핵심기술개발사업을 통해 게재된 SCI 논문의 R^2nIF*(논문순위보정지수) 값이 1.0(세계 평균값) 이상으로 세계 평균 이상의 우수한 질적 성과를 창출함

* R^2nIF 지수는 저널(j)의 순위보정지수(mrnIF)를 저널(j)이 속한 분야의 순위보정지수 세계평균(mrnIF 세계평균)으로 나누어 줌으로써, 연구 분야 간 비교, 국가 간 비교, 세계 평균과 비교 가능하도록 개발한 지표

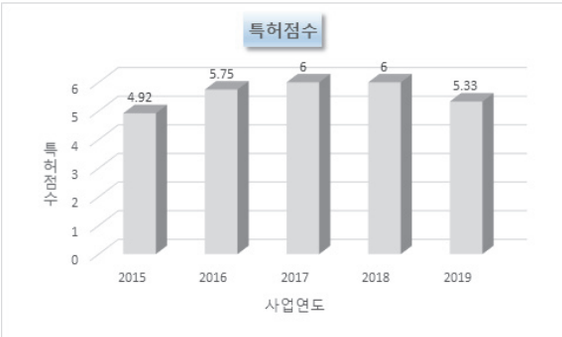


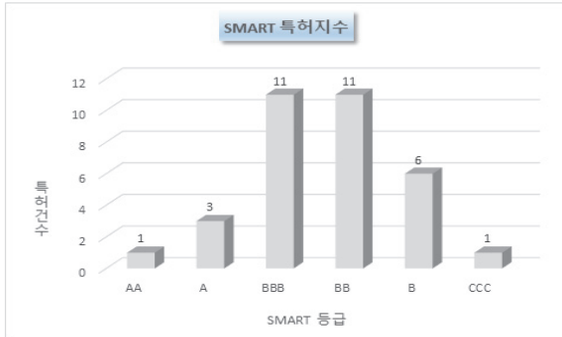


○ 기술적 성과

〈우주핵심기술개발사업 기술적 성과(특허)〉

구분	성과발생연도									
	2015		2016		2017		2018		2019	
	건수	점수	건수	점수	건수	점수	건수	점수	건수	점수
AA					1	8.0				
A	1	7.0	1	7.0			1	7.0		
BBB	1	6.0	1	6.0	3	6.0	4	6.0	2	6.0
BB	2	5.0	2	5.0	2	5.0	1	5.0	4	5.0
B	6	4.0								
CCC	1	3.0								
합계/지수	**11**	**4.92**	**4**	**5.75**	**6**	**6.0**	**6**	**6.0**	**6**	**5.33**

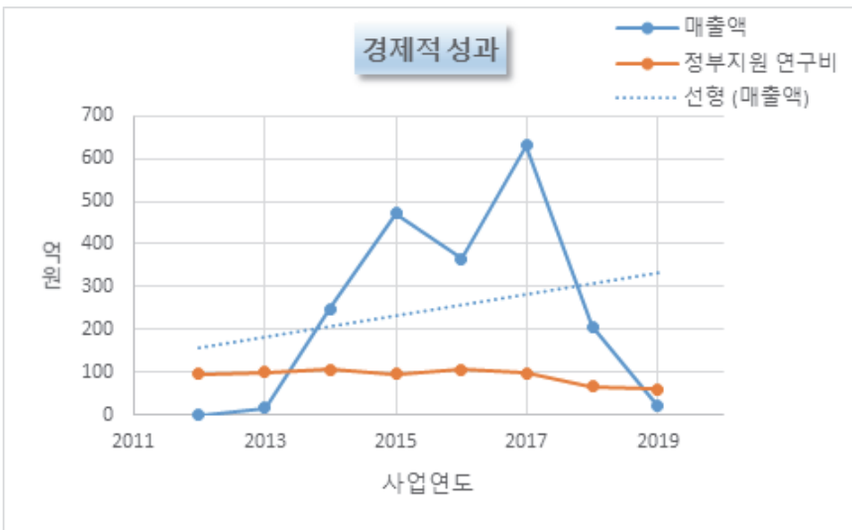




○ 경제적 성과

〈우주핵심기술개발사업 경제적 성과〉

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	합계
매출액 (억원)	0.97	16.65	248.91	472.32	365.64	631.59	206.14	20.86	1,963.08
정부지원 연구비 (억원)	96	99.59	105.4	95.14	106.37	98.44	67	61	728.94



목 차

제1장 발사체 분야 1

(1) 추진기관 연소실 내 와류/화염 상호작용 분석 ····· 3
(세종대학교/강상훈)

(2) 액체로켓엔진의 통합 건전성 감시 및 관리 기술 연구 ····· 6
(경희대학교/고상호)

(3) 고진폭 모사음향파 가진을 통한 액체로켓 분사기 연소안정서 시험 평가 기술 개발 ··· 9
(충남대학교/고영성)

(4) 유체배플을 이용한 액체로켓 연소기 내 횡단교란파 전달 억제기술 개발 ····· 11
(한국항공대학교/구자예)

(5) 화염 가시화를 통한 산소/수소 이원추진제 연소 안정영역 측정 ····· 14
(성균관대학교/권오채)

(6) 우주항행체 추진시스템 적용을 위한 메탄-산소 친환경 추력기의 설계개발 핵심기술 확보 ····· 16
(부경대학교/김정수)

(7) 다양한 중력환경에서의 액체로켓 극저온 추진제/산화제 탱크 내부 고정밀 다상유동 해석을 위한 전산유체역학 프로그램 개발 ····· 18
(서울대학교/김종암)

(8) 극저온용 고압 개폐밸브 ····· 21
(비츠로넥스텍/노용오)

(9) 달탐사를 위한 가변추력형 하이브리드 추진시스템 핵심기술 개발 ····· 23
(한국항공대학교/문희장)

(10) 가변추력 젤(gel) 추진 킥모터/상단부 적용을 위한 니트로메탄 젤 추진제의 기초 물성 특성 및 연소 특성 연구 ····· 26
(한국항공대학교/문희장)

(11) 발사체 Buffet 안정성 확보를 위한 전산유체역학 및 공탄성 해석을 연계한 설계기법 연구 ····· 29
(한국항공대학교/배재성)

(12) 액체로켓 연소불안정 분석 도구 개발 ····· 31
(세종대학교/손채훈)

(13) 우주 비행체 재진입 환경에서 삭마 재료의 열기계적 거동 모형화 ····· 33
(전북대학교/신의섭)

(14) 발사체 개발용 열 유동수치모사 프로그램 개발 및 사용자 환경 구축 ····· 36
((주)넥스트폼/신재렬)

(15) 재생냉각채널에서의 열분해 연구를 통한 발사체 케로신들의 코킹 한계 파악 ····· 39
(충북대학교/안규복)

(16) 범용 우주발사체 비행 분석 소프트웨어 연구 개발 ····· 41
(한국과학기술원/안재명)

(17) 초 고온 내열성을 가지는 항공우주용 접착소재 ····· 43
(인천대학교/안호선)

(18) 제트 소음 해석을 위한 고차-고해상도의 강건한 수치해석 기법 개발 ····· 46
(한국과학기술원/이덕주)

(19) 다단연소사이클 엔진 주연소기 요소 제작 기술 개발 ····· 49
((주)비츠로넥스텍/이병호)

(20) 레이저 충격파 기반 발사체 파이로 충격파 전파 고속 가시화 시작품 개발 및 충격 저감구조 연구 ····· 51
(한국과학기술원/이정률)

(21) 후방분사를 적용한 하이브리드 로켓의 연소모델링 연구 ····· 54
(건국대학교/이창진)

(22) 고속 경계층 천이 예측 및 제어 기법 개발 ····· 56
(광주과학기술원/지솔근)

(23) 고내열 고엔트로피 합금 기반 복합소재 개발 ····· 59
(국민대학교/최현주)

(24) 수직이착륙용 발사체에 적용 가능한 고도보정용 노즐의 추력성능 및 시스템적 분석 ····· 61
(충남대학교/허환일)

제2장 위성체 분야 65

(1) 우주 환경에서의 GaN 소자 성능 열화 분석 및 예측 ····· 67
(연세대학교/강건욱)

(2) 친환경 접촉점화성 이원추진제 추력기 핵심기술 개발 ····· 70
(한국과학기술원/권세진)

(3) 우주비행체 랑데부/도킹/군집운용을 위한 고정밀 PSD센서 시스템 ····· 72
(충남대학교/김승균)

(4) 우주비행체를 위한 초고속 충격 장비 개발 ····· 74
(한국과학기술원/김천곤)

(5) 우주 방사선 저항성 신소재 개발 ····· 77
(서강대학교/김충익)

(6) 큐브위성 위성체 플랫폼 ····· 79
((주)솔탑/김홍래)

(7) 탄성 메타물질을 통한 인공위성 테더 시스템 개발 ····· 82
(연세대학교/박노철)

(8) 분리형 우주망원경의 핵심기술 개발과 우주검증 ····· 85
(연세대학교/박상영)

(9) 선형비점수차가 제거된 비축반사광학계를 적용한 스웨덴 과학위성 MATS의 국제공동 개발 ····· 87
(경희대학교/박수종)

(10) 우주핵심기술개발사업을 통한 통신탑재체용 다중 채널화필터 우주 인증모델 개발 ····· 90
((주)큐니온/박종희)

(11) 이온화 물질을 동반하는 전기추력기 성능설계 및 해석 프로그램 개발 ····· 92
(한국항공대학교/성홍계)

(12) 위성용 MMIC 기반 X-band GaN SSPA(Solid State Power Amplifier) 개발 ····· 95
(한국전자통신연구원/염인복)

(13) 에너지 재생형 진동절연장치와 결합된 무전력형 가변 방사율 열제어 복합시스템개발 ····· 97
(조선대학교/오현웅)

(14) 차세대 한국형 위성항법시스템 개발용 신호설계 Tool 개발 ····· 100
(인하대학교/원종훈)

(15) 통전/통열 탄소섬유강화(CFRP) 복합소재 제작기술 개발 ····· 103
(한국과학기술연구원/유재상)

(16) 정지궤도위성용 이원추진제 로켓엔진의 화학반응 열유동 해석 및 배기가스 영향 연구 ····· 106
(세종대학교/이균호)

(17) CMG기술을 활용한 위성의 기동분석 및 제어기술 ····· 109
(조선대학교/이현재)

(18) 인공위성 탑재를 위한 원격 및 정적 변환 방식의 푸리에 변환 분광 기술 연구를 통한 실시간 분광 분석이 가능한 푸리에 변환 분광기 시스템 개발 ····· 111
(한서대학교/장원권)

(19) 친환경추진제 분해용 고내열성 촉매 성형체 개발 ····· 114
(공주대학교/전종기)

(20) 나노위성용 3축 자세제어를 위한 가변속제어모멘트자이로 개발 ····· 117
(한국항공대학교/정동원)

(21) 저궤도 위성용 GPS/Galileo 복합수신기 QM 개발 ····· 120
((주)두시텍/정진호)

(22) 저독성 단일계 액상추진제 제조 ····· 122
(경희대학교/조영민)

제3장 위성활용 분야 125

(1) 지상 및 저궤도 위성에서 수집된 위성항법신호를 이용한 지진활동 검출 기술 개발 ····· 127
(서울대학교/기창돈)

(2) 위성 군을 이용한 대규모 복합 재해재난의 피해 평가 ····· 129
(서울대학교/김용일)

(3) 저궤도위성용 SBAS 보정정보 적용기술 개발 ····· 132
(한국항공대학교/김정래)

(4) 위성 기반 태양유도 엽록소 형광물질 관측을 통한 육상생태계 광합성 모니터링 ·· 135
(서울대학교/류영렬)

(5) 딥러닝을 이용한 태양 고에너지 양성자 플럭스의 시간 변화 예보 모델 개발 ··· 138
(경희대학교/문용재)

(6) 고분리도 단일 배열 안테나를 활용한 Ka대역 위성 중계기술 개발 ····· 141
(연세대학교/민병욱)

(7) 원격탐사 기반 갯벌 주제도 제작 기술 개발 및 시범지역 DB 구축 ····· 144
((주)지오스토리/신정일)

(8) 위성 SAR에 의한 지표 이동물체의 탐지 및 속도 복원 ····· 147
(연세대학교/원중선)

(9) 위성항법군과 수신기의 다양성을 포용하는 유연 확장형 GNSS 네트워크
기술 개발 ····· 150
(한국항공대학교/이형근)

(10) 인공지능을 이용한 우리나라 위성자료 융합 활용 재난 모니터링 기술 개발 ··· 152
(울산과학기술원/임정호)

(11) 위성정보기반 개인용 탐색구조 단말기 개발 ····· 155
((주)에스알씨/임종근)

(12) 우주용 고전력 GaN 반도체 소자의 계층적 열 관리 기법 개발 ····· 157
(성균관대학교/조정완)

(13) 천리안/Metop-A 위성자료를 이용한 황사 발생 예측 정확도 개선 연구 ····· 160
(성균관대학교/최민하)

(14) 마이크로위성용 저전력 전기추력기 및 할로우음극 개발 ····· 163
(한국과학기술원/최원호)

(15) 과학기술위성 3호 주탑재체 적외선 우주관측자료 활용연구 ····· 166
(한국천문연구원/한원용)

(16) 실내외 연속측위를 위한 실내항법/저가형 GNSS 통합 단말기 개발 ····· 168
((주)아센코리아/황국연)

제4장 우주탐사 분야 171

(1) 포식성 미생물과 바이오라세인을 이용한 미소중력 환경에서의 다제내성병원균 처리 연구 ····· 173
(울산과학기술원/Robert J. Mitchell)

(2) 우주 적외선 분석을 위한 전리기체분자의 구조 분석 ····· 176
(강원대학교/권찬호)

(3) 다파장 편광 탐사를 통한 월면 표토층 연구 ····· 178
(경희대학교/김성수)

(4) 우주 의학 기초 연구를 위한 복합 환경 모사 플랫폼 및 생체 모사 시스템 연구 182
(서울대학교/김성완)

(5) 한반도 전리권 예측 모델 개발 ····· 185
(충남대학교/김용하)

(6) 탐사 로버를 이용한 광범위 달 탐사를 위한 무선 임펄스 기반 위치추적센서 및 시스템 개발 ····· 187
(연세대학교/김태욱)

(7) 달 표면의 시료채취와 탐사를 위한 협업 매니퓰레이션 및 네트워크 체계 연구 ·· 190
(서울대학교/김현진)

(8) 로켓플룸-월면 상호작용 및 표토입자 분산 예측기법 ····· 192
(경상대학교/명노신)

(9) 리소그래피 기반으로 제작된 3차원 다공성 탄소 패턴을 적용한 초소형 슈퍼커패시터 ····· 194
(서강대학교/문준혁)

(10) MEMS 마이크로미러 기반의 고출력 광원 스캐닝 광학계를 이용한 원격 탐사 LIDAR 연구 ····· 196
(단국대학교/박재형)

(11) 3D 클리노스탯을 이용한 마이크로중력 시스템 개발 ····· 199
(연세대학교/박준수)

(12) 인공위성 다중영상의 실시간 영상위치결정, 오차보상 및 유지 기술 연구 ····· 201
(한국과학기술원/방효충)

(13) 비용 효율적인 우주환경 시험 플랫폼 제공을 위한 고고도 과학기구 개발 ····· 204
(서울대학교/이관중)

(14) 광역 행성탐사 로버 위치인식, 3차원 탐사 지도 작성 및 환경모델링 기술 개발 ··· 209
(성균관대학교/이석한)

(15) VLS(Vapor-Liquid-Solid) 기법을 이용한 심우주 시스템 방열용 가변열전도 히트파이프(VCHP) 특성연구 ··· 212
(한국항공대학교/장석필)

(16) 달 표면 이상 자기장 연구 및 측정 기반기술 개발 ··· 215
(경희대학교/진호)

(17) 한국형 달탐사(2단계) 원격 자원탐사용 탑재체 핵심기술 개발 ··· 217
(한국천문연구원/최영준)

(18) 궤도선 영상 기반의 초정밀 수치 표고 모델 추출 기법 개발 ··· 219
(한국과학기술원/최한림)

(19) 위성/달-지상간 채널 시뮬레이션 기반 레이저 통신 기술연구 ··· 221
(연세대학교/한상국)

제5장 기 타 223

(1) 우주부품시험시설 구축 ··· 225
(한국산업기술시험원/김경희)

(2) 과중력과 중력변화에 의한 생체 스트레스 규명 및 계량모델 창안 ··· 228
(서울대학교/김상건)

(3) 국제우주정거장에서의 물 재이용을 위한 태양광 기반 하이브리드 수처리 장치 개발 · 231
(한림대학교/김정원)

(4) 위성 영상센서 출력특성 교정용 MEMS 기반 다기능 흑체 시스템 개발 ··· 233
(조선대학교/김태규)

(5) 우주탐사체용 고에너지 밀도 열광전 배터리 개발 ··· 236
(경희대학교/남영석)

(6) 인공위성용 수직 집적형 풀 컬러 카메라 원천 기술 개발 ··· 238
(포항공과대학교/정대성)

(7) 전자파 차폐용 초경량·대면적 탄소나노튜브 부직포 제조 기술 개발 ··· 241
(숭실대학교/정재우)

제1장

발사체 분야

성과명	(1) 추진기관 연소실 내 와류/화염 상호작용 분석		
주관연구기관	세종대학교	연구책임자	강 상 훈
연락처	02-3408-4010	이메일	aeroksh@sejong.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	연소불안정, 화염/와류 상호작용, 액체로켓, 하이브리드로켓		

상세 성과내용

연구의 필요성

연료 및 산화제의 분사, 혼합, 점화 및 연소는 액체로켓엔진 및 가스터빈 엔진의 연소기 내에서 발생하는 가장 기본적인 현상 중에 하나이다. 연소실 내부에 연료, 산화제를 분사하는 경우나, 화염안정화를 위해 Bluff body를 연소실 내부에 배치하는 경우, 또는 후향형 계단과 같이 급격한 연소실 형상 변화가 있는 경우 추진기관의 연소실에서는 반드시 재순환 영역 및 와류가 발생하게 된다. 재순환 영역 및 와류는 연료와 산화제의 혼합을 증진시키고, 혼합기의 연소실 체류시간을 늘리는 기능을 하므로, 안정적인 연소에 필수적인 요소이다.

그러나, 주기적 특성을 갖는 와류 및 재순환 영역은 연소실 내부에 압력 섭동을 유발시키며, 열발생 주파수와 연동되는 경우 연소불안정으로 이어질 수 있다. 또한 팽창률이 큰 와류는 화염을 국소적으로 소염(quenching), 재점화(re-ignition) 시켜 화염면의 불규칙 진동을 유발할 수 있으며, 이로 인한 압력 섭동 및 연소반응 섭동 또한 강력한 연소불안정 요인으로 작용한다. 이러한 연소불안정 현상은 연소실 파손 등의 사고로 이어질 수 있다.

따라서 본 연구진은 유동조건에 따라 민감하게 반응하는 유동의 불안정현상 및 와류/화염 간의 상호작용을 면밀하게 분석하기 위해, 이상적인 상황을 가정한 전산해석이 아닌 실제 현상에 가까운 조건의 수치해석 기법인 직접수치해석(Direct Numerical Simulation)을 이용하여 정밀한 분석을 수행하였다. 더불어 연소실험을 추가적으로 수행하여 추진기관 연소실 내 와류/화염 상호작용에 대한 연구를 수행하였다.

연구 목표

일반적인 추진기관에서 발생하는 와류/화염 상호작용에 의한 유동불안정 및 연소불안정 발생에 관한 기초연구를 수행하여 연소불안정으로 천이하는 불안정 메커니즘을 이해하고 우주발사체 연소기의 성능향상을 목적으로 한다.

연구결과

○ 하이브리드 로켓의 연소불안정 현상 메커니즘 분석 및 억제

와류/화염 간의 상호작용에 의한 유동불안정 및 연소불안정 현상을 분석하기 위해 후향형 계단이 존재하는 하이브리드 로켓 후 연소실에 대해 연소시험과 직접수치해석 연구를 수행하였다. 연구를 통하여 하이브리드 로켓에서 발생하는 연소불안정 현상의 메커니즘을 파악하고 연소불안정 발생여부를 나타낸 연소불안정 Map을 도출하으며, 연소불안정 현상을 효과적으로 억제할 수 있는 변수를 확인하는 성과를 달성하였다.

○ 삼중분사기 연소시험 및 유동/연소특성 변화 분석

9톤급 다단 연소 사이클 엔진의 산화제 과잉 예연소기에 적용하는 단일 삼중분사기의 연소 시험을 수행하였다. 본 실험은 연소실 내의 연소 불안정 및 저주파 섭동의 특성을 파악하는 것을 목표로 하였다. 초고속카메라를 이용하여 예연소기에서 발생하는 열방출 데이터를 확보하였으며, 압력데이터와 비교하여 결합관계를 분석하였다. 분석결과 압력 및 열방출 섭동의 상호작용이 아닌 다른 원인에 의한 연소불안정 현상이 관찰되었다. 더불어, 연구를 통해 삼중분사기 예연소기의 분사구의 크기에 따라, 안정적인 유량분사가 어려운 문제를 확인하였으며, Mixer의 동심 확보, 미연연료 탈지 문제와 등 운영상에서 발생할 수 있는 다양한 현상에 대한 데이터를 확보하였다. 추진기관의 안정적 연구개발과 한국형발사체 이후

개발하게 될 발사체에 본 연구 자료를 활용한다면 보다 안정적이며 신뢰도 높은 발사체를 개발할 수 있다.

활용 사례

삼중분사기 예연소기는 러시아의 RD-170계열의 다단연소사이클 엔진에 적용된 구성품으로, 고성능 상단엔진의 핵심부품에 해당하며, 항공우주연구원에서도 활발한 연구를 진행 중이다. 본 사업의 삼중분사기 시험데이터는 삼중분사기 2차 연소시험을 수행한 2020년 1월 경, 한국항공우주연구원의 발사체엔진개발부 엔진시험평가팀에 전달되었다. 이 팀이 수행 중인 주요사업 "액체엔진 고성능화 선행기술 연구과제" 에서 삼중분사기의 안정적 운영을 위한 설계기초자료로 활용하고 있다. 한편, 항공우주연구원에서는 다단연소사이클 고성능엔진 개발 가능성에 주목하고, 본격적인 고성능 엔진 개발 연구를 발사체엔진개발부 (발사체엔진팀, 연소기팀, 터보펌프팀, 엔진시험평가팀) 전체로 확대하여 진행하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

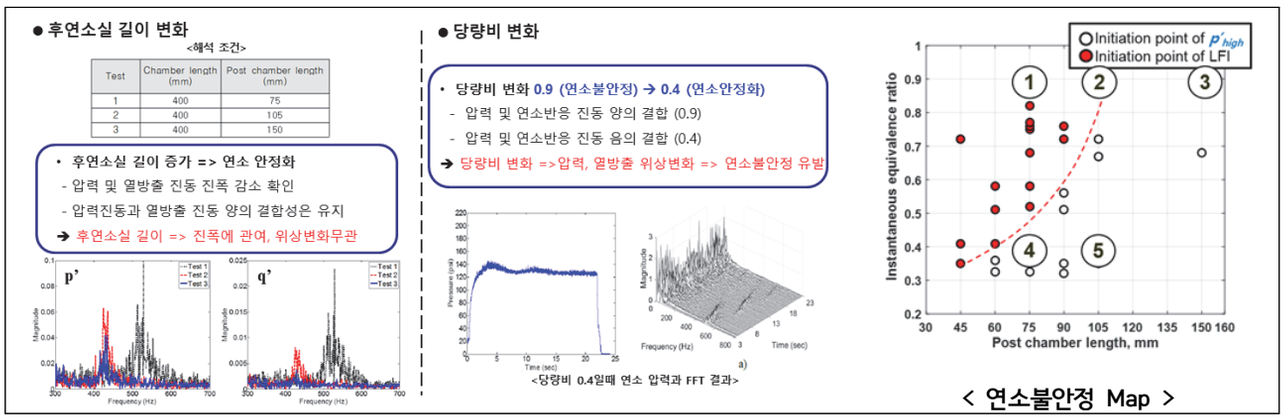
삼중분사기 예연소기는 러시아의 RD-170계열의 엔진에 적용된 구성품으로서, 정지궤도용 우주발사체에 적용 가능한 고성능 상단엔진의 핵심 구성품에 해당하며 한국형발사체 이후 발사체에 적용되는 엔진의 핵심부품이다. 본 연구를 통해 얻은 데이터는 핵심기술 국산화 과정의 일부로써 한국항공우주연구원에서 수행중인 연구에 직접적인 기여를 할 수 있다는 점의 차별성이 있다.

고체, 액체 및 하이브리드 로켓에서 발생하는 연소불안정현상에 대해서는 현상의 판별방법, 일부 제어 방법에 대한 연구가 진행되어 보고되고 있으나, 근본적으로 현상의 원인을 파악하고 전산해석결과와 비교분석한 연구결과는 부족했다. 본 연구를 통해 도출한 결과는 실제 현상에 가까운 조건의 와류/화염의 상호작용을 분석할 수 있는 직접수치해석기법을 적용하여 연소시험과 비교하였다. 이를 통해, 하이브리드 로켓 연소실에서 발생하는 연소불안정 현상의 메커니즘, 원인을 파악하고 억제할 수 있는 방법을 분석했다.

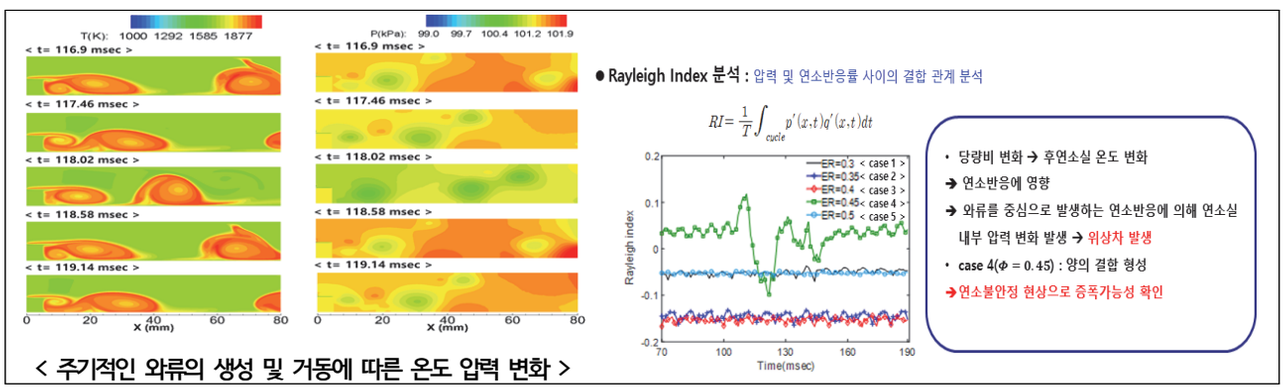
활용 가능 분야

본 연구의 결과는 로켓엔진의 연소기에서 발생하는 연소불안정 현상의 메커니즘을 파악하고 원인을 분석한 것으로, 연소불안정 현상을 제어하고 안정적인 연소구현을 위한 기초자료로 활용 가능하다.

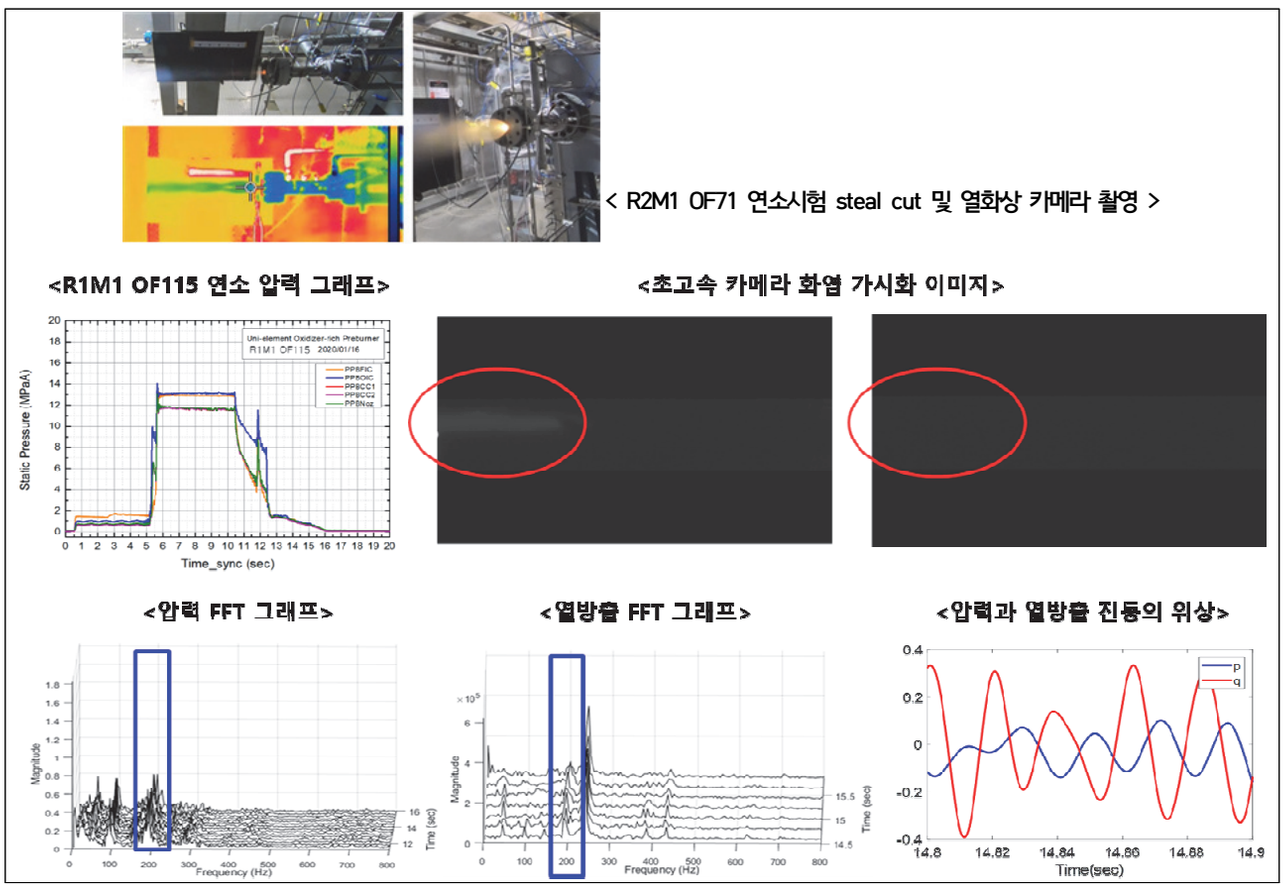
또한, 가스터빈 연소기 내부의 스월분사기 및 Dilution air는 와류 및 재순환영역을 발생시키고, 화염안정화를 위해 후연소기(After burner)에 배치하는 bluff body 또한 유동을 교란시키는 원인이 되어 연소불안정 현상을 발생시킨다. 이와 같이 로켓엔진 외에도 와류와 화염의 결합으로 인해 연소불안정 현상이 발생하는 가스터빈 연소기에서도 본 연구 결과를 활용하면 안정적인 연구개발에 기여할 수 있다.



▲<그림 1> 하이브리드 로켓의 연소불안정 현상 억제



▲<그림 2> 후향 계단형 연소실 내 압력 및 발열량 진동 변화 메커니즘 분석



▲<그림 3> 삼중분사기 연소실험의 연소불안정 현상 분석

성과명	(2) 액체로켓엔진의 통합 건전성 감시 및 관리 기술 연구		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	고 상 호
연락처	02-300-0119	이메일	sanghoko@kau.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	액체로켓엔진, 건전성 관리, 결함/고장 검출, 결함/고장 진단, 사고방지		

상세 성과내용

연구의 필요성

액체로켓엔진은 극한 상황에서 작동하기 때문에 사고발생 가능성이 높으며, 사고발생 시 엔진 자체뿐만 아니라 시험설비 혹은 발사대에 큰 피해를 줄 수 있다. 더불어 사고 발생으로 엔진의 하드웨어가 크게 손상될 경우 사고의 원인 파악에도 어려움이 발생한다. 따라서 액체로켓엔진의 지상시험 시 진단시스템을 적용하여 엔진 주요부의 작동성을 검사하여 위험이 있을 시 엔진을 정지하거나 보다 안전한 작동조건으로 제어하며, 엔진의 운용 시 엔진의 작동상태를 정확히 파악하고 비상상황에 즉각적인 조치로 사고를 최소화하는 고장진단 시스템이 필수적으로 요구된다.

발사서비스시장이 확대됨에 따라 액체로켓엔진을 개발하는데 있어서도 비용을 최소화하면서 신뢰성 및 성능을 최대화해야 한다는 조건이 요구되고 있다. 때문에 한국형 발사체 개발에 있어서 비용과 시간의 제한 하에 한정된 시험횟수와 엔진 시제를 이용하여 높은 신뢰성을 갖는 엔진의 개발이 필요하다. 엔진 시험 단계에서 진단과 사고방지시스템은 사고에 의한 엔진 개발 일정과 비용의 증가를 막고 동시에 사고원인조사를 용이하게 해준다. 이러한 면에서 액체로켓엔진의 건전성 모니터링 혹은 관리 기법은 액체로켓엔진의 신뢰성을 높이는 역할 뿐만이 아니라 설계 및 유지관리에 적극적으로 개입됨으로써 비용절감을 위한 도구로써도 활용된다.

연구 목표

본 연구는 액체로켓엔진의 상태를 나타내는 파라미터 측정 데이터를 활용하여 결함/고장의 검출(fault/failure detection), 결함/고장의 진단(fault/failure diagnosis)의 기능을 통합하는 액체로켓엔진의 건전성 통합관리 프로그램을 개발하여 액체로켓엔진의 시뮬레이션 환경에서 가상적 결함/고장상황을 높은 확률로 사고를 방지하는 것을 목표로 한다.

연구결과

본 연구의 목표는 과도과정에서의 액체로켓엔진 건전성 관리에 필요한 기반기술을 개발하는 것이다. 다단 연소사이클 액체로켓엔진인 우주왕복선 주 엔진(Space Shuttle Main Engine, SSME)와 개방형 액체로켓엔진을 대상으로 연구를 수행하였으며 연구 성과는 다음과 같다.

○ 액체로켓엔진 시뮬레이션 모델링 및 모듈화

액체로켓엔진 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 다양한 고장 시스템에 대한 고장진단 기술을 적용하고자 하였다. 이를 위하여 SSME 모델과 개방형 액체로켓엔진 모델을 이용하여 액체로켓엔진의 동특성 모델링을 수행하였다. 또한 이를 바탕으로 액체로켓엔진 시뮬레이션 모델의 모듈화를 진행하였으며 기존 시뮬레이션 모델과의 비교검증을 통하여 그 성능을 확인하였다.

○ 액체로켓엔진 고장진단 알고리즘 개발

Kalman 필터 및 Fault Factor를 이용한 정적 고장진단 알고리즘의 설계, 시험 및 성능평가를 수행하였다. 확률적 고장진단 알고리즘을 이용하여 액체로켓엔진에서 고장이 발생하였을 시 어느 부품에서 고장이 발생하였는지 판별 할 수 있는 기초연구를 수행하였다. 또한 Extended Kalman필터를 이용하여 동적 고장진단 알고리즘을 설계하여 로켓운용 점범위에 적용할 수 있는 고장진단 알고리즘 기반기술을 마련하였다.

활용 사례

본 연구의 결과물인 액체로켓엔진의 시뮬레이션 모델은 개발 연구실의 후속과제에서 발사체의 추력 제어 연구와 이를 이용한 재사용 우주발사체의 회수를 위한 기초기술 연구의 일부분으로 활용되고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

우주발사체는 우주선진국에서의 자료공개 거부로 인해 국내에는 액체로켓엔진 시뮬레이션 모델과 그에 대한 고장진단 기술이 부족한 것이 현실이다. 때문에 자체적인 액체로켓엔진 시뮬레이션 모델링을 수행하였고 이를 확장하여 모듈화를 수행하였다. 그 결과 국내에서는 최초로 기초적인 액체로켓엔진 시뮬레이션 toolbox 개발을 수행하여 시뮬레이션 모델링 기반기술을 마련하였다.

또한 Kalman 필터 및 Extended Kalman필터를 활용하여 모델기반 고장진단 알고리즘을 개발 하였다. 이를 이용한 정적 및 동적 고장진단 알고리즘 설계 및 성능분석으로 고장 발생 시 센서, 밸브, 내부부품 고장 중 특정부품의 고장을 판별하는 것이 가능하도록 기반기술을 마련하였다.

활용 가능 분야

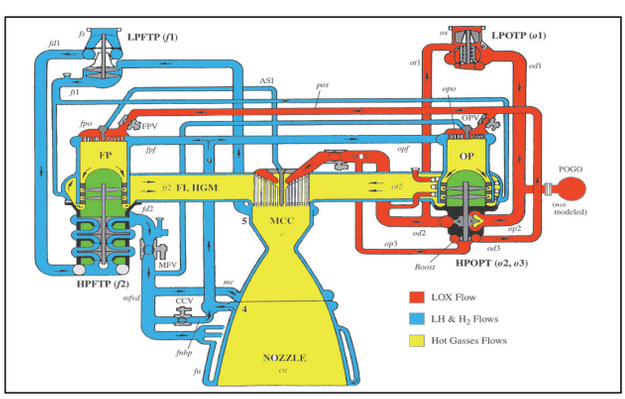
○ 액체로켓엔진 개발

본 연구를 통하여 개발된 액체로켓엔진 동적진단 기술은 발사체 개발사업의 액체로켓엔진의 개발에 직접적으로 활용될 수 있다. 특히 지상시험 시 중대한 사고 발생 전에 결함을 검출하여 심각한 사고를 방지하여 엔진뿐 아니라 시험설비의 피해를 방지하여 개발비용 절감에 기여할 것으로 기대된다.

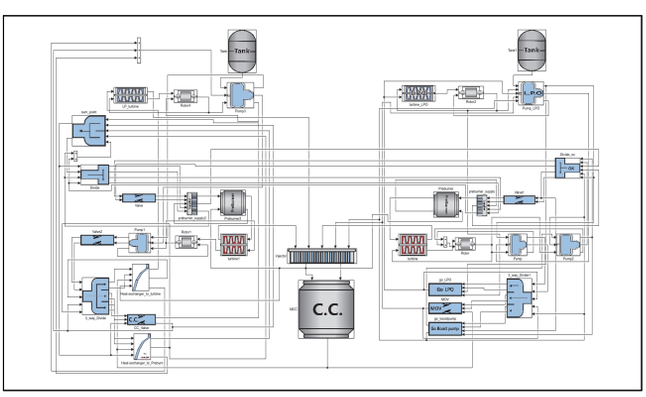
또한, 액체로켓엔진 시뮬레이션 모델링 모듈화를 수행하여 연구에 활용된 엔진뿐만 아니라 추후 개발될 액체로켓엔진의 시뮬레이션 모델링에 활용 및 고장 시뮬레이션을 통한 고장영향을 파악하는데 활용 가능할 것이라 기대된다.

○ 액체로켓엔진 발사

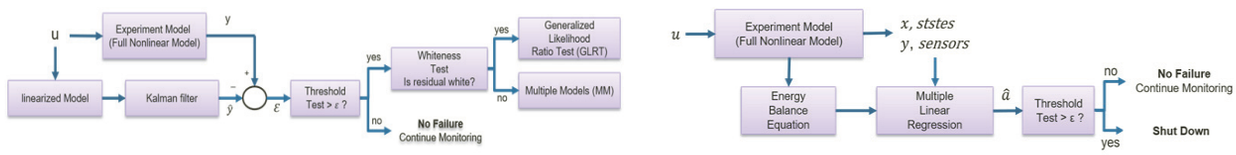
액체로켓엔진 천이상태 고장진단 알고리즘을 설계하였으며 이를 이용하여 액체로켓엔진의 작동 전구간에 걸친 고장진단 알고리즘을 확보하여 실제 액체로켓엔진을 장착한 발사체의 발사 전구간에 활용 가능할 것이라 기대된다.



▲<그림 1> SSME의 개략도



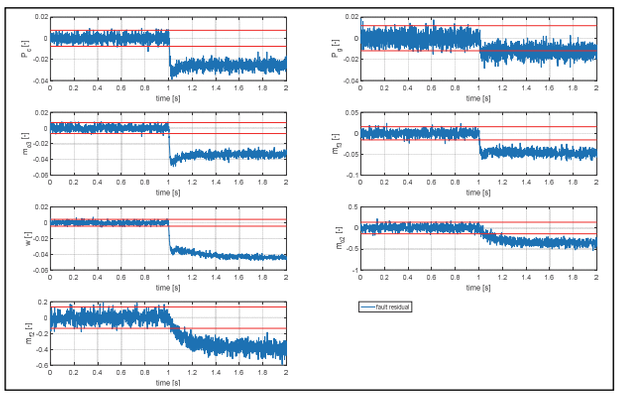
▲<그림 2> 모듈을 이용한 시뮬레이션 구성



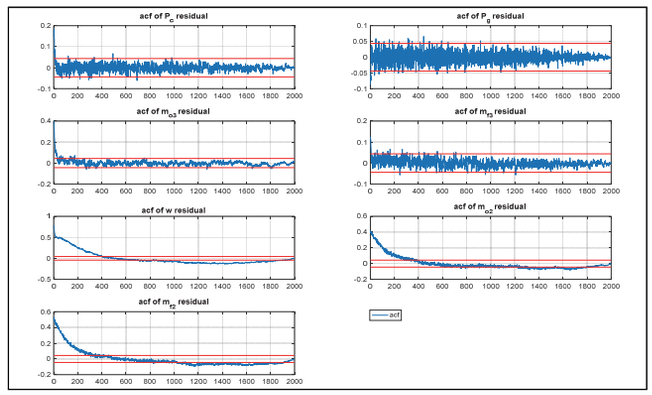
Fault detection and diagnosis system based on Kalman filter

Fault detection and diagnosis system based on fault factor method

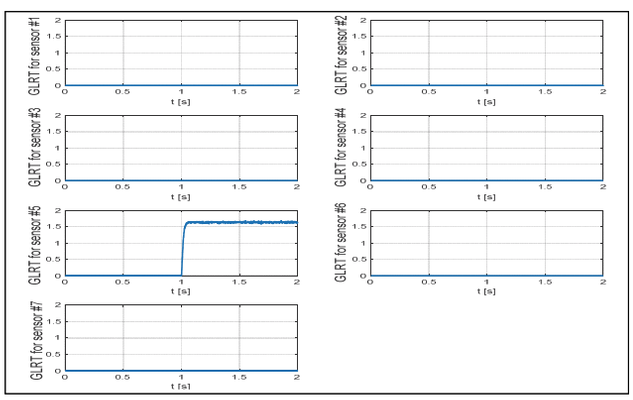
▲<그림 3> Kalman filter(좌)와 Fault factor(우)를 이용한 고장진단 알고리즘 블록선도



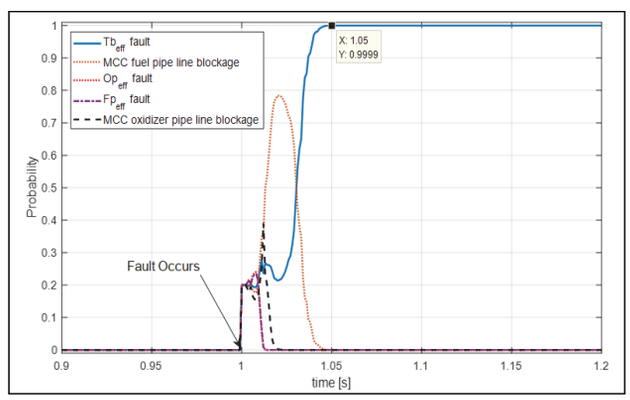
▲<그림 4> Residual의 threshold test를 이용한 고장 유무 판별(연료펌프 효율 감소)



▲<그림 5> Whiteness test를 이용한 고장 부품 분류(pump efficiency fault)



▲<그림 6> GLRT(Generalized Likelihood Ratio Test)를 이용한 센서 고장 위치 파악(angular velocity sensor/sensor#5)



▲<그림7> Multiple-Model(MM) 방법을 이용한 내부부품 고장 위치 파악(Turbine efficiency fault)

Results of fault factor method

Symbol	Meaning
$\hat{a}_1$	산화제펌프-분기점 파이프라인
$\hat{a}_2$	산화제분기점-연소실인젝터 파이프라인
$\hat{a}_3$	산화제인젝터-연소실 파이프라인
$\hat{a}_4$	산화제분기점-가스발생기인젝터 파이프라인
$\hat{a}_5$	산화제가스발생기인젝터-가스발생기 파이프라인
$\hat{a}_6$	연료펌프-분기점 파이프라인
$\hat{a}_7$	연료분기점-연소실인젝터 파이프라인
$\hat{a}_8$	연료인젝터-연소실 파이프라인
$\hat{a}_9$	연료분기점-가스발생기인젝터 파이프라인
$\hat{a}_{10}$	연료가스발생기인젝터-가스발생기 파이프라인
$\hat{a}_{11}$	산화제분기점 유량
$\hat{a}_{12}$	연소실 유량
$\hat{a}_{13}$	연소실 출구유량
$\hat{a}_{14}$	연료분기점 유량
$\hat{a}_{15}$	가스발생기 유량
$\hat{a}_{16}$	가스발생기 출구유량
$\hat{a}_{17}$	산화제펌프 출구압력
$\hat{a}_{18}$	연료펌프 출구압력
$\hat{a}_{19}$	산화제펌프 동력
$\hat{a}_{20}$	연료펌프 동력
$\hat{a}_{21}$	터빈 동력
$\hat{a}_{22}$	터보펌프 동력
$\hat{a}_{23}$	터빈 출구압력
$\hat{a}_{24}$	터빈 압력비
$\hat{a}_{25}$	연소실 공연비
$\hat{a}_{26}$	가스발생기 공연비

Meaning of fault factors

▲<그림8> Fault factor를 이용한 고장진단 결과(터빈 효율 저하)(좌) 와 Fault factors의 의미(우)

성과명	(3) 고진폭 모사음향파 가진을 통한 액체로켓 분사기 연소안정서 시험 평가 기술 개발		
주관연구기관	충남대학교	연구책임자	고 영 성
연락처	042-821-6688	이메일	ysko5@cnu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	액체로켓, 연소 안정성, 액체 로켓 분사기, 연소 불안정 모사		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주발사체의 핵심 부품인 액체로켓엔진의 개발 단계에서, 연소불안정 현상이 발생하면 개발 비용 증가 및 일정 지연 문제를 야기한다. 국내에서 현재 연소불안정 현상의 발생 유무를 실물형 연소시험 단계에서만 확인할 수 있으며, 이전 개발 경험에서 유효했던 연소 안정화 설계가 동일하게 작동하리라는 보장은 없다. 따라서 액체로켓엔진의 초기 개발 단계에서 연소불안정을 효과적으로 제어할 수 있는 연소안정성 평가 기술이 필수적이다.

연구 목표

75톤급 실물형 한국형 발사체 연소기와 동일한 연소 및 음향 공진 조건에서, 일정 진폭 이상의 인위적 교란을 발생시켜 분사기의 연소안정성을 정량적으로 평가할 수 있는 축소형 연소 시험 기법을 개발한다.

연구결과

한국형 발사체와 동일한 연소 및 음향장을 갖는 축소형 비원통형 연소기와, 연소기 내부를 인위적으로 교란을 발생시킬 수 있는 고진폭 가진장치를 개발하였다. 연소실험을 통하여 연소기 및 헤드의 강건성을 검증하였으며, 상온 가진 실험을 통하여 고진폭 가진장치의 성능을 검증하였다. 최종적으로 비원통형 연소기 및 가진장치를 구성하여 연소 불안정 모사를 실험 진행하였다. 실험 결과 약 1100 Hz 의 연소 불안정 현상을 확인하였으며, 이는 한국형 발사체의 실물형 분사기에서 발견된 연소 불안정 주파수와 유사하다. 축소형 연소불안정 모사 장치를 통해 연소불안정 현상을 모사함으로써 본 연구의 최종 목표를 성공적으로 달성하였다. 추후 보완 연구가 수행된다면 한국형 발사체 이후의 액체로켓엔진 연소기 개발에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

활용 사례

원래는 초기에 고체로켓모터의 연소불안정을 평가하기 위하여 톱니를 가지는 Nozzle Modulation을 사용했었다. Lecourt와 Foucaud에 의해 처음으로 액체 추진 시스템에 적용하여 연구되었다. 프랑스의 ONERA에서 고주파 연소 불안정 연구에 적용한 사례가 있다. 독일의 DLR에서도 비슷한 형상의 연소기에 대하여 Nozzle Modulaton을 활용한 연소불안정 연구를 하였다.

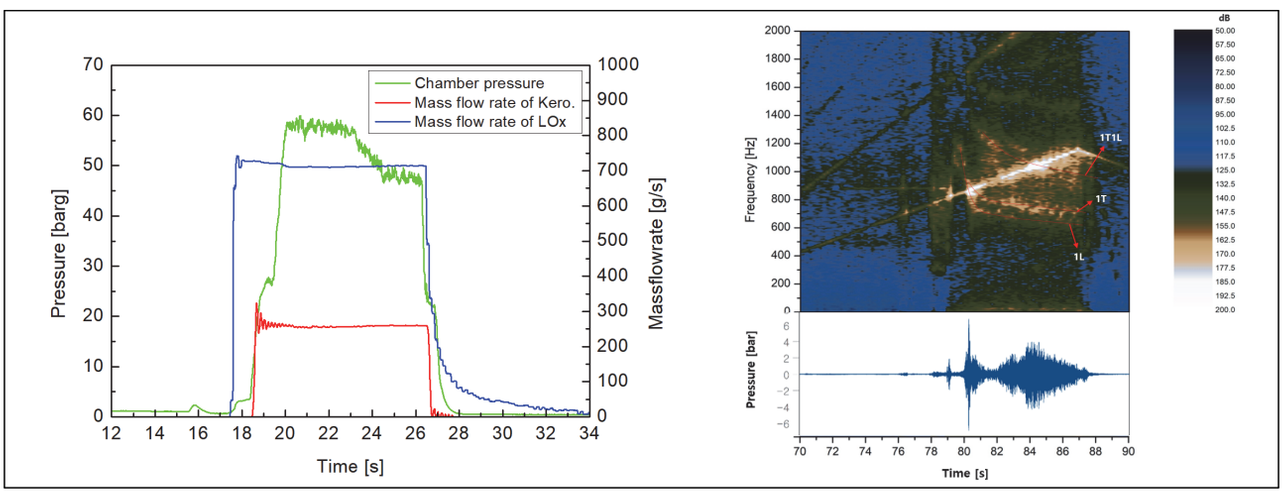
기존지식/ 기술대비 차별성

기존에 수행된 대부분의 연소안정성 관련 연구는 상온/상압 또는 고온/상압 조건에서 수행되었다. 하지만 실제 연소불안정 평가는 고온/고압의 실물형 연소기 단계에 와서야 가능하다. 한국형발사체 75톤급 연소기의 경우, 예비 모델인 30톤급 연소기에서 배플의 배치와 길이에 따라 펄스건을 이용한 저압 시험이 수행되어 안정성이 확인되었으나, 75톤급 연소기에서는 연소불안정이 발생하였다. 따라서 실물형과 최대한 유사한 조건에서의 평가 기술이 요구된다. 이에 본 연구에서는 한국형 발사체의 실물형 연소기와 동일한

연소 및 음향공진 조건에서 분사기의 연소안정성을 평가할 수 있는 축소형 연소 시험 기법에 대한 연구를 진행하였다.

활용 가능 분야

첫째, 초기 개발 단계에서 적용 가능한 연소안정성 평가 절차를 확립하여, 향후 한국형 발사체 성능 향상 및 차세대 액체추진기관 연구에 활용할 수 있다. 둘째, 연소불안정 발생 시 야기되는 개발 비용 증가 및 일정 지연 문제를 최소화하여 발사체 비용을 절감할 수 있다. 셋째, 액체로켓 연소기의 고주파 연소불안정에 대한 현상학적 이해를 심화하여, 항공우주 전문 인력을 양성할 수 있다.



▲<그림 1> 연소 시험 결과 압력 및 유량 (위), 동압데이터 FFT 컬러맵 분석(아래)

성과명	(4) 유체배플을 이용한 액체로켓 연소기 내 횡단교란파 전달 억제기술 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	구 자 예
연락처	02-300-0116	이메일	jykoo@kau.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	연소 불안정, 유체 배플, 횡단 교란, 감쇠 성능, 펄스건		

상세 성과내용

연구의 필요성

다중분사기를 가지는 연소시스템에서 접선방향 횡단 연소불안정의 메커니즘이 불명확하고 이를 억제하기 위한 새로운 방안이 필요하여 연구를 수행하게 되었다.

연구 목표

준 2차원 연소기에서 다중 분사기 연소분무의 가시적 연구를 통해 연소유동장내 횡단 교란파 전파/감쇠 메커니즘을 규명하고, 이종(異種; dissimilar) 분사기 배열을 통해 횡단교란을 감쇠할 수 있는 유체배플 기초기술을 확보하는 것이다.

연구 결과

다중분사기 및 단일연소기를 이용한 연소분무 유동장 내 횡단교란파 전파/감쇠를 위한 유체배플 설계 기술은 아래와 같이 요약될 수 있다.

○ 인젝터 및 공급시스템

동일 매니폴드에서 동축스월분사기 및 동축전단분사기의 추진제 공급을 위해서는 동축전단분사기의 적층가공이 요구되며, 유체배플용 인젝터로는 동축전단분사기가 적합하여 수치해석적 기법 및 실험적 분석을 통해 기술을 개발하였다.

○ 연소/분무

유체배플 기술을 적용한 다중분사 시스템에서 유체배플용 동축전단분사기의 높은 제트방향 모멘텀 및 긴 액주길이에 의한 횡단교란판 전파 차단을 확인하여 유체배플이 구조적 배플과 유사한 전파 차단 성능을 보이는 것을 확인하였다.

활용 사례

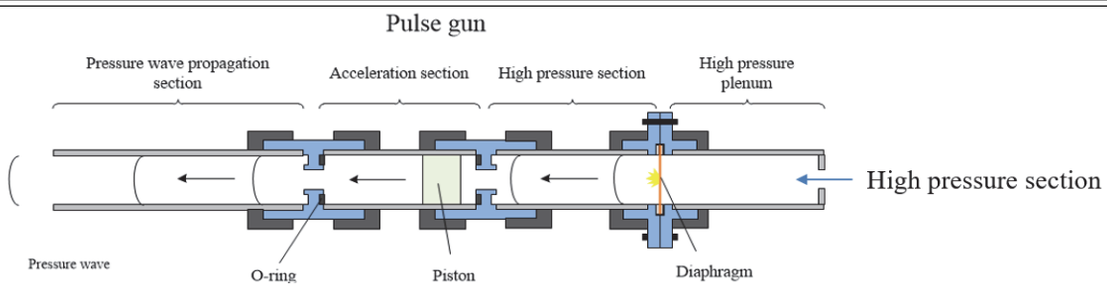
본 연구과제를 통해 도출된 연구결과를 바탕으로 대형 액체로켓 개발 시 분사기 및 연소실 설계의 기초 연구자료로 사용될 수 있음. 본 연구를 통해 달성된 횡단교란파 강도를 감쇠할 수 있는 유체배플 분사기 기초기술 및 압력파 발생 장치인 펄스건은 차세대 로켓개발을 위한 안정적인 액체로켓엔진의 설계 및 시험평가 자료로써 활용될 수 있고 차세대 고효율 발사체 엔진에 적용하여 개발 비용 및 시행착오를 줄일 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구에서는 동일 매니폴드에서 다중 이종분사기에 공급하는 추진제공급시스템을 고안하였으며, 다중분사기를 적용한 연소기에서 분사조건 및 분사기간 배열에 대한 방안을 도출하였다. 동일 매니폴드 사용을 위해 유체배플분사기의 수치해석 기법을 통한 설계와 적측가공(3D 프린터) 기법을 적용하여 서로 다른 종류의 분사기를 적용한 연소기의 기초 데이터를 확보하였다.

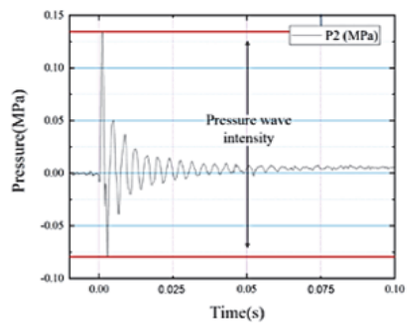
활용 가능 분야

본 연구의 성과는 펄스건을 이용한 임의의 횡단 방향 연소 교란 생성 기술을 통해, 다중배열 분사기의 분무안정성 진단기법을 확보하고 다중분사기 적용 횡단교란파 억제 기술은 가스터빈기관이나 액체로켓엔진 등 다중분사기 배열을 가지는 분무/연소시스템에서 분무/연소 안정성 평가에 활용될 수 있다.

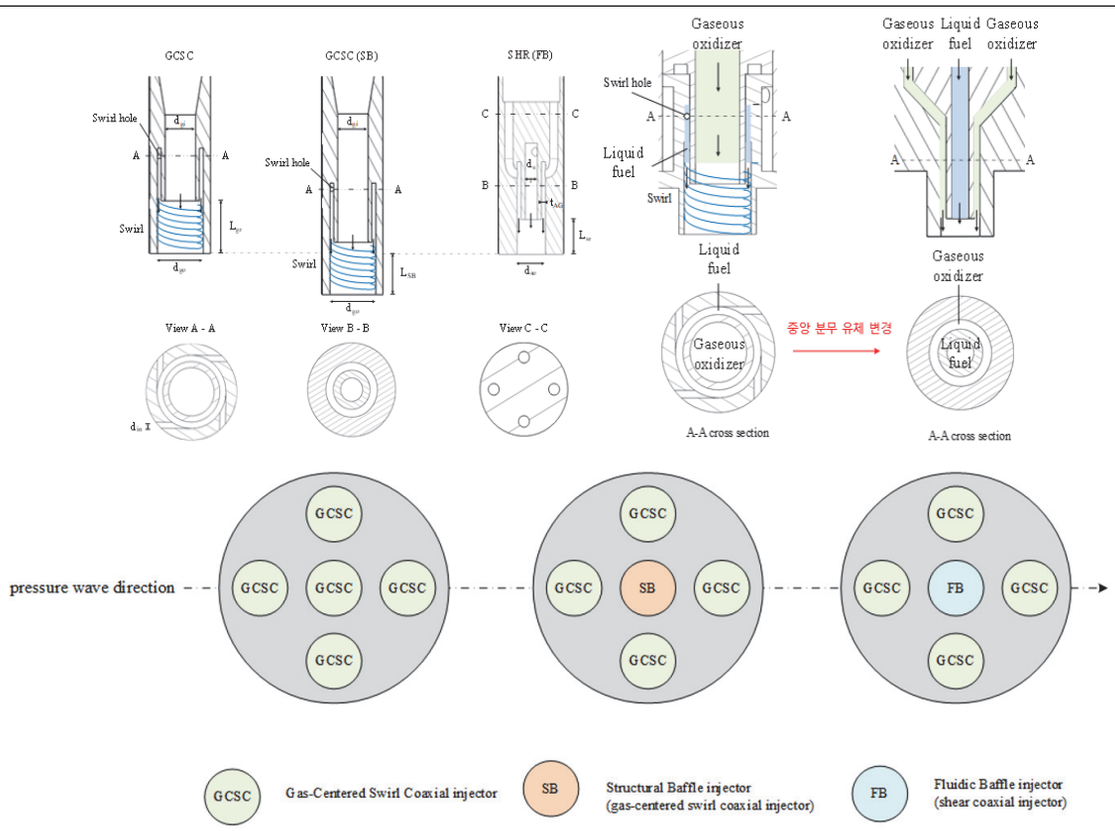


Condition Parameter	Case A		Case B		Case C	
	HP	LP	HP	LP	HP	LP
Piston tube length	35mm		55mm		55mm	
Piston weight	3.22g		3.22g		0.53g	

Chamber pressure (filled)	1.5 MPa	
Pressure wave intensity	0.08 – 0.18 MPa	**5.3 % - 12 %**



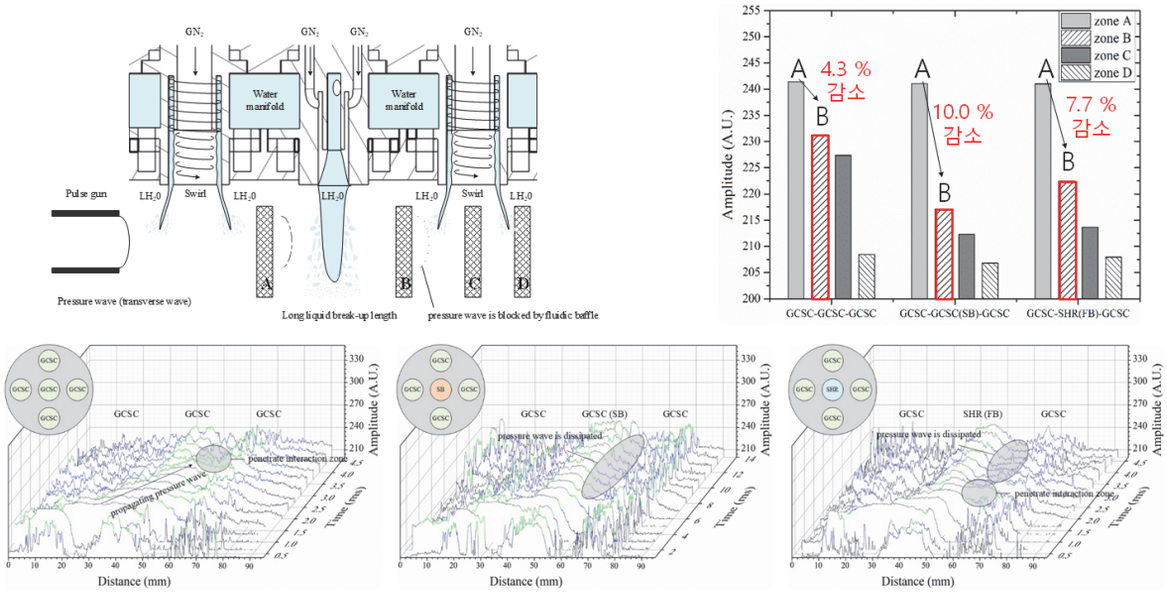
▲<그림 1> 펄스건 개략도 및 압력파 성능 시험



▲<그림 2> 구조배플 및 유체배플 분사기 적용 다중분사기 배열

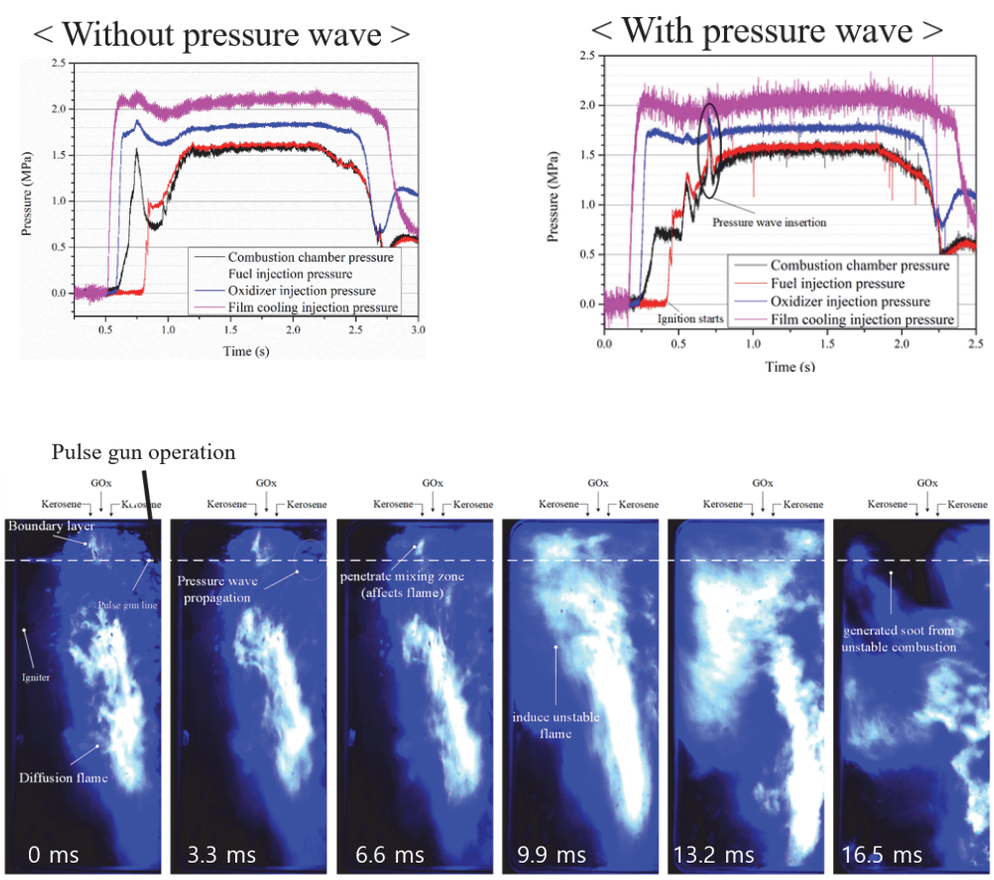
횡단교란파 적용 분무 유동장 분석

- **Zone A:** propagation of pressure wave / **Zone B:** Blockage effect / **Zone C:** Mixing zone / **Zone D:** Termination zone



▲<그림 3> 구조배플 및 유체배플 분사기 적용 다중분사기 배열

횡단교란파 적용 연소 유동장 분석



▲<그림 4> 횡단교란파 적용 기체중심스월동축 분사기의 연소 화염 이미지

성과명	(5) 화염 가시화를 통한 산소/수소 이원추진제 연소 안정영역 측정		
주관연구기관	성균관대학교	연구책임자	권 오 채
연락처	031-290-7465	이메일	okwon@skku.edu
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	수소(H_2), 이원추진제, 비예혼합 화염, 연소 안정영역		

상세 성과내용

연구의 필요성

수소 추진제를 사용하는 발사체의 부피와 무게는 케로신과 메탄을 포함한 다른 추진제를 사용하는 발사체에 비해 크고 무겁지만 수소 추진제는 압도적인 비추력 값을 가져 코어엔진이나 상단엔진의 추진제로 사용되며 연소 생성물에 독성이 없어 친환경적이라는 특성을 가짐. 국내에서는 케로신 추진제에 대한 분무 및 연소특성이 연구되고 있으나 수소 추진제에 대한 연구는 거의 진행되고 있지 않는 상황이기 때문에 액체 로켓엔진을 모사한 환경에서 수소 추진제 연소에 대한 데이터베이스를 구축하고 신뢰도 높은 수치해석을 검증/확보하는데 필수적인 데이터를 제공함으로써 국내 수소 로켓엔진 관련 기술력의 초석을 마련할 수 있다.

연구 목표

수소 추진제의 연소특성에 대한 효율적인 연구를 위해 다양한 가시화 기법 및 데이터 분석 기법을 활용하여 분사조건 변화에 따른 혼합/분무/연소 기초특성에 대한 단계적 연구와 체계적인 비교를 수행하고, 이를 통해 수소 추진제 연소 시 연소실 내에서 발생하는 복합적인 현상에 의한 연소특성 변화 파악 및 연소안정화 메커니즘 인자를 도출하였다.

연구 목표

연소안정한계 실험을 통해 소염한계를 측정하고 소염 메커니즘을 분석하여 수소 로켓엔진 설계에 필요한 데이터를 확보 및 가시화 기법 및 데이터 분석 기법을 활용하여 수소 추진제의 난류연소특성을 정량적으로 분석하고 수치해석 검증에 필요한 데이터베이스를 확보하였으며, 다양한 조건에서의 연소안정성 평가를 위해 기존에 측정하기 어려웠던 인자를 새롭게 제시하여 이에 따른 화염의 안정화 기준을 연소영역선도에 나타내는 유용한 평가 도구를 제안하는 것이다.

활용 사례

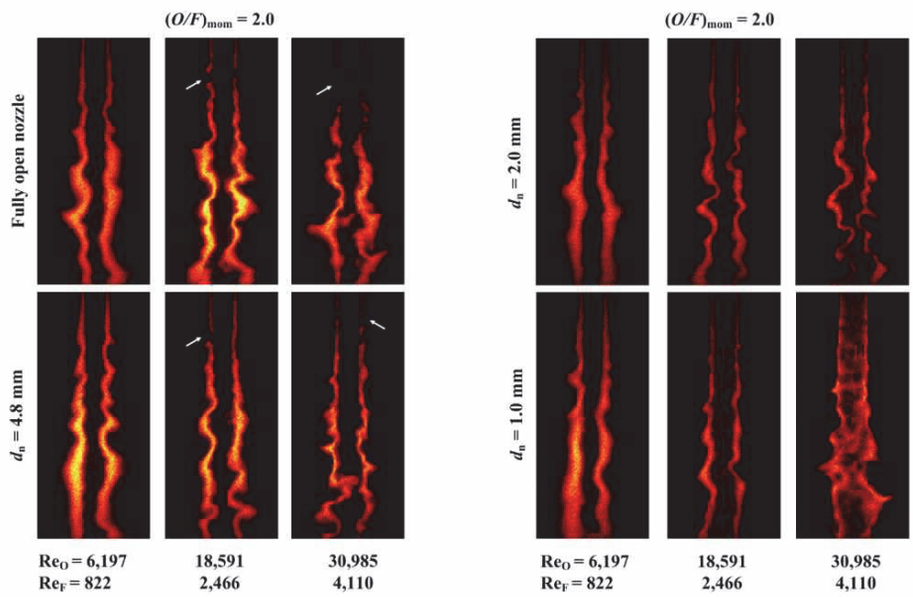
수소 추진제의 난류연소 특성을 파악하고 연소안정성 평가를 위해 기존에 측정하기 어려웠던 인자를 새롭게 제시하여, 해당 분야 상위 5% 이내 최고 수준의 저널에 논문을 2019년도 8월에 게재하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

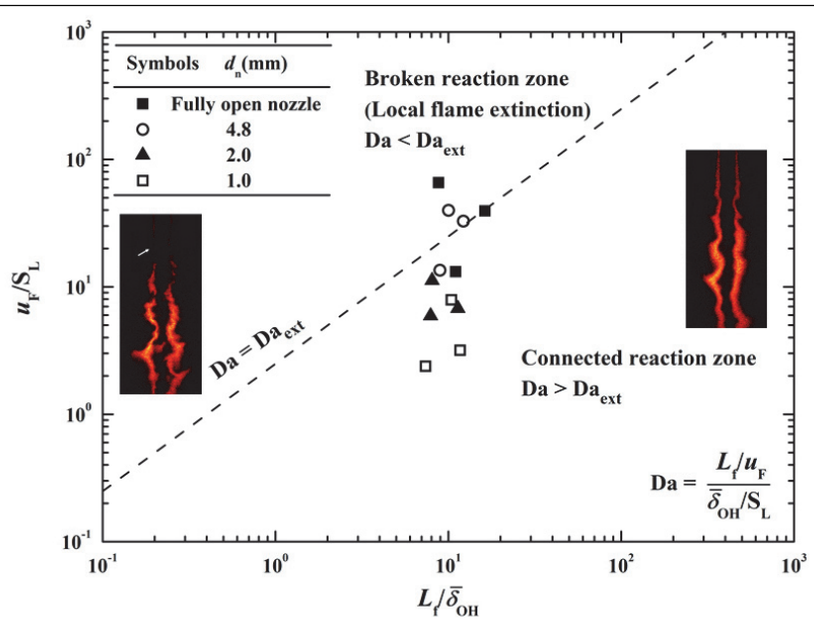
우주발사체 선진국에서 활발하게 연구되어 사용 중인 검증된 추진제이지만 현재 우리나라에서 거의 연구가 진행되고 있지 않는 수소 추진제의 기초적인 실험결과를 확보하였으며, 이를 통해 국내 수소 로켓엔진 관련 기술의 기초적인 발판을 마련하였다.

활용 가능 분야

본 연구를 통해 도출된 기초적 실험 데이터베이스를 제공하여 수치해석을 통해 폭넓은 연구가 될 경우 시행착오를 통해 로켓엔진을 연구하는 방법에 비해 효율적으로 추진제의 연소특성을 파악할 수 있으며, 수소 로켓엔진 기술 확보를 통해 선진국과의 기술 교류 가능성의 폭을 넓혀 선진국과의 기술 교류 등 우리나라의 우주 발사체 기술성숙도를 제고할 수 있을 것으로 기대한다.



▲<그림 1> OH-PLIF를 이용한 산소/수소 이원추진제 화염 가시화



▲<그림 2> 산소/수소 이원추진제 연소영역선도

성과명	(6) 우주항행체 추진시스템 적용을 위한 메탄-산소 친환경 추력기의 설계개발 핵심기술 확보		
주관연구기관	부경대학교	연구책임자	김 정 수
연락처	051-629-6149	이메일	jeongkim@pknu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	액체로켓엔진, 메탄-산소 이원추진제, 추력성능 시험평가		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주탐사 및 발사체 기술은 국가과학기술 경쟁력의 척도이고 국가안보를 위한 필수적인 국가 전략 기술이므로 액체로켓엔진 개발에 필요한 핵심기반 기술의 자립화는 필수적이라고 할 수 있다. 이원추진제 로켓엔진은 화학식 추진시스템 중에서 가장 높은 비추력 및 추력 성능 확보가 가능하며 우주기술 선진국에서 연구개발이 완료되어 운용중인 액체로켓엔진 모델을 통해 그 작동 신뢰도 및 성능이 검증되었으나, 메탄 액체로켓엔진의 경우 선진국 또한 기술성숙도(TRL)가 아직은 높지 않으므로 체계적인 연구가 이루어질 경우 수년 이내에 세계시장에서 경쟁력을 갖춘 차세대 추진기관 개발 핵심기술의 확보가 가능할 것이다.

연구 목표

우주비행체 궤도/탄도/자세 제어용 200 N급 메탄-산소 추력기의 개발을 위하여 이원추진제 로켓엔진의 추력실 조립체(TCA)를 설계/제작하고, 소형로켓엔진 시험평가시스템을 활용한 성능시험평가를 통해 메탄 액체로켓엔진의 추력실 설계요소기술 DB를 구축한다.

연구 결과

200 N급 기체메탄-액체산소 추력기의 핵심 구성품에 대한 설계원천기술 및 제작/조립/시험평가 독자기술을 확보하였고, 추력실 조립체의 이론성능특성을 분석하였으며, 이원추진제 로켓엔진의 추력실 연소거동 분석 및 귀환설계를 하였다. 또한, 액체로켓엔진의 성능시험평가를 위한 핵심계측장치를 구축하였다.

활용 사례

체계적용설계 시험평가를 통한 비행모델을 개발할 예정이며, 발사체의 3축 자세제어 및 우주비행체 기동시스템 개발기술에 활용할 수 있다.

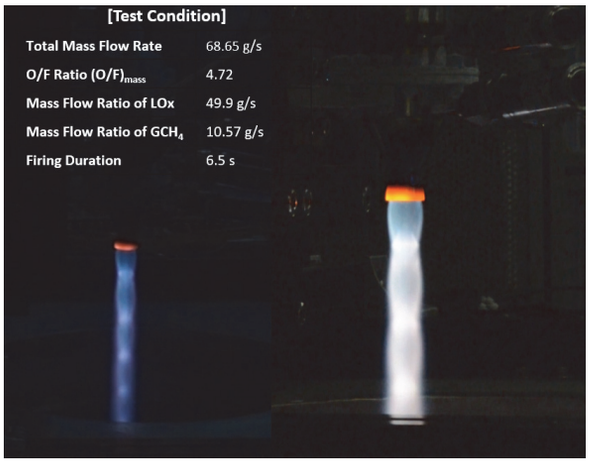
기존지식/ 기술대비 차별성

국내에서 처음으로 메탄-산소 액체로켓엔진 설계개발을 직접 진행한 바 국내의 비교 대상은 없다.

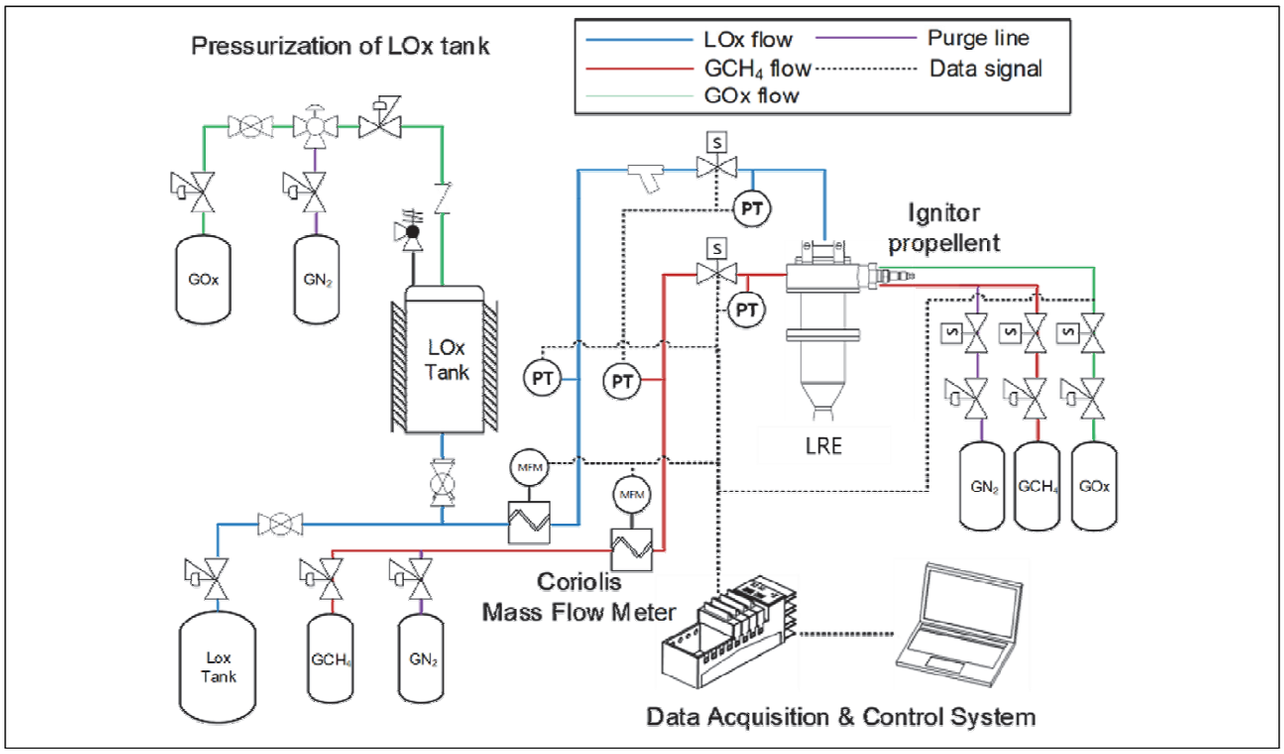
활용 가능 분야

우주개발진흥 기본계획의 실행에 필요한 우주비행체(발사체, 위성, 우주탐사선 등)의 버어니어 엔진으로 직접 활용할 수 있는 이원액체추진제 소형로켓엔진 Engineering Model의 확보에 활용이 가능하다. [체계적용 인증모델(Engineering Qualification Model)로의 설계 수정 및 인증시험 과정을 거쳐 우주비행체 추진시스템에 즉시 장착/활용 가능]. 또한, 액체로켓엔진 시험평가 요소기술을 대형액체엔진(발사체 주엔진, 유도무기 액체엔진 등) 개발에 직접 활용하여 우주원천기술의 자립화에 기여할 수 있다.

▲<그림 1> 시험모델 추력기 조립 형상



▲<그림 2> 지상연소시험 플룸(plume) 형상



▲<그림 3> 성능시험평가 실험장치 P&ID

성과명	(7) 다양한 중력환경에서의 액체로켓 극저온 추진제/산화제 탱크 내부 고정밀 다상유동 해석을 위한 전산유체역학 프로그램 개발		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	김 종 암
연락처	02-880-1915	이메일	chongam@snu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	극저온 유체, 저중력, 다상유동, 상태변화, 전산유체역학		

상세 성과내용

연구의 필요성

액체로켓의 연료로 사용되는 극저온 유체는 비등점이 매우 낮아 로켓 발사 후에도 탱크 내부에서 지속적인 상변화가 일어난다. 상변화 양과 탱크 내부 압력 변화를 예측하는 것은 발사체의 임무 완수에 필수적이므로 그 중요성은 지속해서 강조되었다. 그러나 발사체의 변화하는 가속도와 탱크 내부로의 열전달을 실험으로 구현하는 것은 비용과 기술적인 문제로 국내에서 거의 이루어지지 않았고, 수치해석을 통한 내부 유동 모사도 그 복잡성 때문에 수행된 사례가 없었다. 본 연구에서는 극저온 유체의 상변화를 해석하기 위한 고정밀 다상유동 전산유체역학 기술 및 프로그램을 확보하여, 탱크 내부의 복잡한 물리현상을 파악하고 상변화 및 가압 특성을 예측하고자 하였다.

연구 목표

본 연구를 통해 달성하고자 하였던 연구목표는 아래와 같다.

- 탱크 내부 압축성/비압축성 다상유동에 대한 고정밀 해석 기술 확보
- 극저온 유체 및 가압가스의 물성 모델링 기술 확보
- 극저온 탱크 내부 열전달 및 상태변화 특성 연구
- 표면장력과 변화하는 가속도 모델링을 통한 다양한 탱크 내부 유동 모사

연구결과

○ 개발된 다상유동 전산해석 프로그램의 특징

- 3상 유동(액체연료, 액체가 증발되어 나타나는 기체상, 가압을 위해 주입되는 비응축가스의 혼합)의 효율적인 해석을 위한 다상유동 수치 모델링
- 극저온 유체의 저임계와 초임계 상태를 포함하는 상태방정식 모델링
- 압축성/비압축성 해석을 위한 예조건화 기법 및 수치 플럭스 기법 개발/적용
- 상경계면을 날카롭게 유지하는 상경계면 재구성 기법 개발/적용
- 탱크의 변화하는 가속도에 따른 유체의 상대운동을 관성력으로 고려
- 상변화 관련 주요 물리현상 모델(표면장력, 상변화) 적용

활용 사례

○ 해석 결과

- 3차원 sloshing 해석: NASA drop tower 실험 (1968)
  탱크가 자유낙하하면서 유체에 작용하는 상대 가속도가 0에 가까워지고, 이에 따라 비대칭적으로 변화하는 상경계면을 실험 결과와 비교하여 동일 시간대에 나타내었다(그림 1). 3차원 상경계면이 복잡하고 비대칭적으로 변화하는 과정을 실험과 동일하게 잘 포착하고 있음을 확인하였다.
- 탱크 내부 상변화 해석: NASA AS-203 실험 (1967) 상단 (S-IVB) 연료탱크 내부 유동
  초기조건(그림 2)에서 벽면이 가열되면서 증발에 의한 기체가 발생하는데, 실험과 같은 저중력 조건에서는 고온의 기체가 상승하여 온도의 성층화가 발생하지만, 무중력 조건에서는 기체의 밀도차에도 대류가 발생하지 않아 dry sidewall 부분에서 온도 분포가 고르게 나타남을 확인할 수 있다(그림 3(a)). 저중력

조건에서는 기체가 부력에 의해 상승하는 반면, 무중력 조건의 경우 벽 근처에서 발생한 기체가 상승하지 않고 액체를 탱크 중심 방향으로 밀어내는 차이를 보인다(그림 3(b)). 그림 4는 상변화에 의한 탱크 내부 압력 증가를 실험 및 타 연구그룹의 해석 결과와 비교한 것으로, 본 연구그룹의 결과가 가장 정확한 것을 알 수 있다.

- 실제 비행 시나리오에 따른 해석 (KSLV-II 3단 산화제 탱크 모델)
  KSLV-II 3단 산화제 탱크를 모델로, 예상 비행 시퀀스에 따라 발사부터 3단 엔진 점화 직전까지 해석하였다. 시간에 따른 추력가속도, 경로각, 고도 데이터를 이용해 탱크에 작용하는 가속도, 각속도, 각가속도를 계산, 적용하였다. 해석 결과(그림 5), 초기의 평평했던 상경계면이 킥턴(10초) 이후 크게 기울어지고, 1단 엔진 정지(125초) 시 급격한 가속도 변화로 인해 sloshing이 발생하였다. 이후 2단 로켓이 점화하며 점차 평평한 상경계면으로 회복하였다. Sloshing에 의해 상경계면이 급격하게 넓어지면서 상변화 양이 순간적으로 증가하고 압력이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다(그림 6). 이를 통해 실제 비행 시나리오에 따라 변화하는 조건 (가속도, 외부 열원)을 반영하여 탱크 내부에서 발생하는 복잡한 3차원 유동을 포착할 수 있음을 확인하였다.

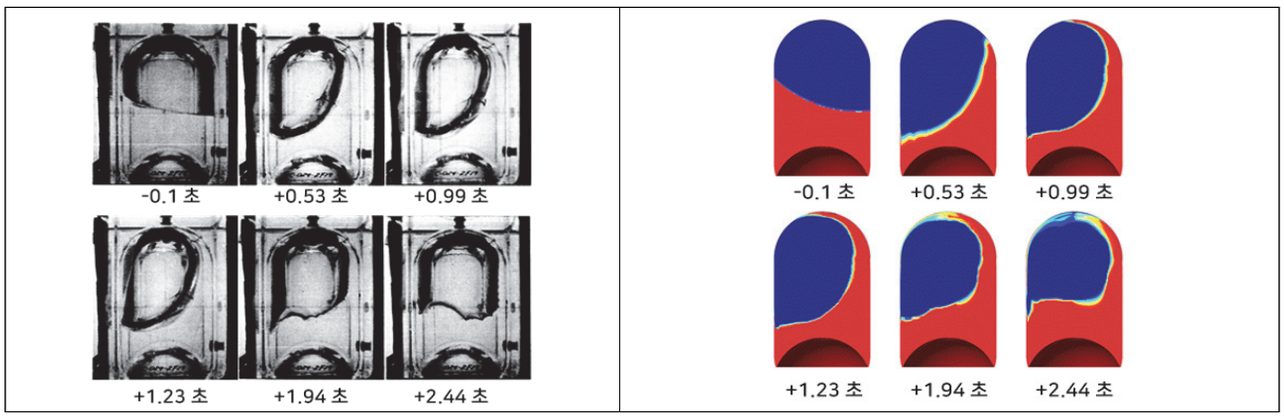
기존지식/ 기술대비 차별성

- 3차원 극저온 탱크 내부 유동 해석
  기존의 탱크 내부 유동은 대부분 축대칭 2차원 해석을 통해 축방향 가속도만 고려하여 연구되었다. 본 연구팀은 확보 가능한 KSLV-II 관련 자료로부터 예상 비행 시퀀스에 따른 횡방향 가속도를 고려하여 3차원 해석을 수행하였다. 해석 결과 3차원 sloshing 현상과 그에 따른 급격한 압력 강하를 확인하였다. 본 연구팀이 파악한 바로는, 변화하는 3차원 가속도를 고려하여 탱크 내부 유동을 해석한 사례는 본 연구가 유일하다.
- 비정상 예조건화 기법 적용 및 수치 플럭스 개발
  탱크 내부 유동 해석은 매우 저마하수의 압축성 유동을 오랜 시간 해석해야 하므로 비정상 예조건화 적용이 필수적이다. 본 연구팀은 비정상 예조건화를 적용하였고, 이에 적합한 수치 플럭스를 새로 개발하였다. 개발된 플럭스는 타 유동해석 프로그램에서 사용하는 전통적인 플럭스 기법들 대비 가장 뛰어난 성능을 보인다.
- 상경계면 포착 정확도 향상 기법 개발
  탱크 내부 유동 해석은 target time이 매우 큰데, 계산을 진행함에 따라 상경계면이 점점 더 넓어지게 된다. 본 연구팀은 새로운 상경계면 재구성 기법을 개발, 장시간 해석에도 상경계면을 날카롭게 포착할 수 있었다.

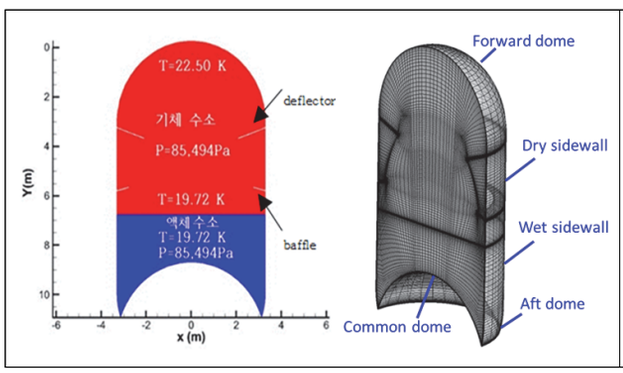
활용 가능 분야

○ 예상 활용 분야

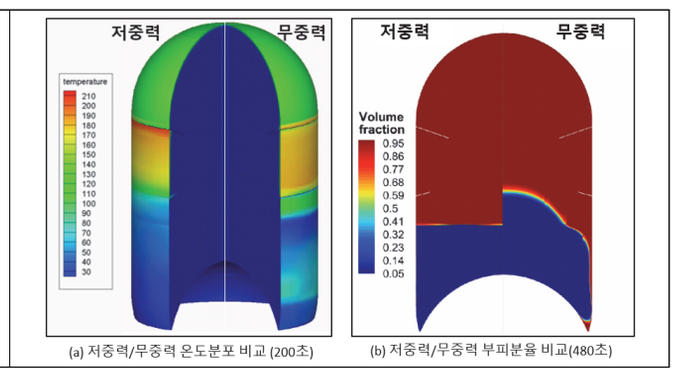
- 본 해석 프로그램을 통해 고비용의 실험 없이도 다양한 발사체 운용 조건에 대해 탱크 내부 유동을 시뮬레이션하고, 이를 발사체 연료 공급 시스템 개발에 기초 데이터로 활용할 수 있다. 향후 발사체 회수나 달 탐사와 같이 재점화가 필수적인 발사체 개발이 이루어질 것이므로 탱크 내부 연료 관리가 더욱 중요해질 것이다.
- 선박이나 자동차는 물론, 훨씬 다양한 가속도를 겪는 비행기의 공중 급유용 탱크에서 발생하는 sloshing을 해석하는데 본 연구에서 개발한 기술을 활용하고, 탱크 설계 시 이를 방지하는데 반영할 수 있을 것이다.
- 천연가스 역시 대표적인 극저온 연료이다. 천연가스 운반 탱크에서도 진동 및 외부 열원에 의한 상변화를 예측하여 손실량을 파악하는 것이 쟁점이므로 본 연구의 해석 기술을 적극적으로 활용할 수 있다.
- 본 프로그램은 실매질의 상변화 해석이 가능하므로 터보펌프의 실매질 공동유동을 포함하여 발사체의 연료 시스템 전반을 해석하는 툴로 사용할 수 있다.



▲<그림 1> NASA drop tower 실험 3차원 sloshing, 좌: 실험, 우: 해석 (xy 평면)

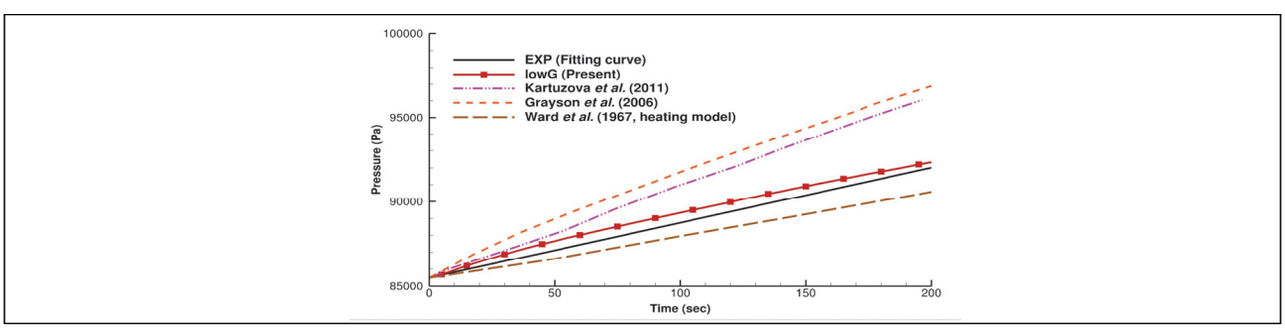


▲<그림 2> S-IVB 연료탱크 초기 조건 및 격자계

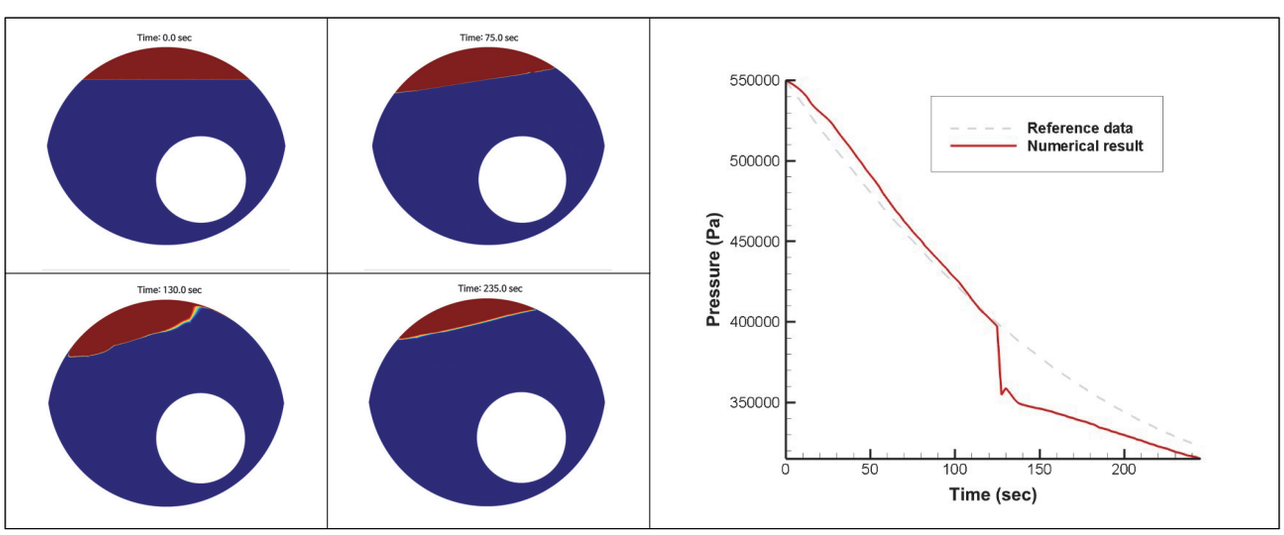


(a) 저중력/무중력 온도분포 비교 (200초)
(b) 저중력/무중력 부피분율 비교(480초)

▲<그림 3> 중력에 따른 온도 분포 및 부피분율 분포 비교



▲<그림 4> 탱크 내부 압력 변화 비교 (0~200 초)



▲<그림 5> 탱크 내부 상경계면 변화 (xy 평면)

▲<그림 6> 탱크 내부 압력 변화

성과명	(8) 극저온용 고압 개폐밸브		
주관연구기관	비츠로넥스텍	연구책임자	노 용 오
연락처	031-490-2221	이메일	yonoh@vitzrotech.com
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	극저온, 고압밸, 유량계수, 제어밸브, 액체질소		

상세 성과내용

연구의 필요성

한국항공우주연구원에서 고성능, 고신뢰의 밸브기술을 이전 받아 산업용 극저온 고압개폐밸브 제작이 목표이며 이 기술은 국내에서 제작되는 해외 제품의 모방 밸브들과 달리 신뢰성이 높다. 이를 바탕으로 국내 우주항공산업, 가속기 및 핵융합 산업 등의 업계에서 사용되는 고가의 수입산 제품들의 국산화 필요에 의해서 연구를 수행하게 되었다.

연구 목표

○ 기술개발 목표

초기 시제품은 1/2 inch 규격으로 제작하였으며, 이후 시장의 수요에 따라 다양한 규격의 밸브를 생산할 계획이다. 특히나 고압에서 안정적인 성능을 나타내는 특징을 살려 극저온에서의 고압 누유 시험을 완벽하게 만족시키는 것이 목표다.

○ 마케팅 목표

철저한 시장조사를 통해 개발 기술 관련 학회 및 박람회 참가를 통한 제품 홍보를 진행할 것이며, 국내·외 수출 네트워크 구축을 바탕으로 각 사업별 맞춤 판매 전략을 구축할 것이다.

연구결과

기술이전 받은 우주항공용 극저온밸브의 원형과 같은 시제품을 제작하고 테스트를 진행하였으며, 기밀 및 누수 시험을 완료 하였으며, 동작시험도 1500회 이상 작동성능을 확인하였다. 동시에 극저온밸브 특허조사를 통해 상용극저온밸브의 기류를 확인하고, 사업화 모델의 시제품을 모델을 선정하여 기술개발을 완료하고 사업화 전략을 수립하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

항공우주연구원의 추진제어용으로 사용되는 극저온용 고압개폐밸브의 핵심기술을 차용하였다. 기존의 폴리머 Seallig용 소재를 금속을 사용하였으며, 상온뿐아니라 극저온, 그리고 고압환경에서 신뢰성있는 밸브성능을 확인하였다.

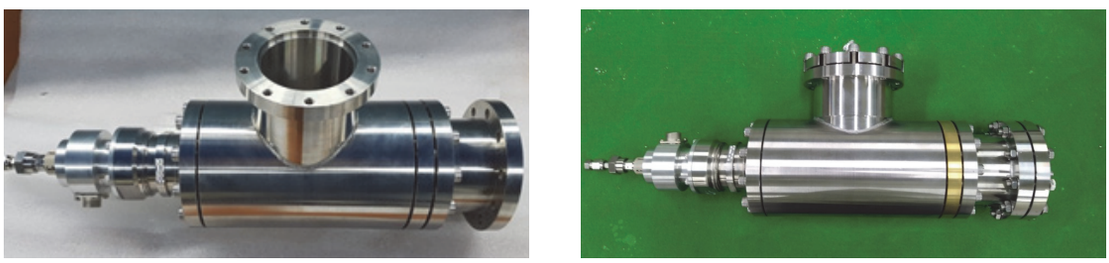
활용 가능 분야

○ 본 기술은 극저온 환경의 고압 조건에서 사용될 수 있으며 LNG 조선분야, 석유화학, 발전분야, 정유, 극한의 환경에서 작동해야하는 기계분야, 그리고 항공우주분야에 사용할 수도 있다. 이와 같이 여러 산업 분야에 걸쳐 필수적인 핵심요소부품으로 고부가가치 창출이 가능한 수출 유망상품이다.

○ 본 기술을 이용한 극저온 밸브를 개발하고 생산성을 갖춤으로서 기존의 밸브를 대체하는 효과뿐만 아니라 새로운 선박, 항공, 플랜트, 산업 등에 사용되는 밸브시장에 진출 할 수 있으며, 차후 과제의 유동기술을 사용하면 고부가가치의 상품을 개발 할 수 있고 대부분 수입에 의존하고 있는 극저온 분야 시

장에 진출 할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 본 기술을 이용한 극저온 밸브의 경우 가속기나 핵융합설비에 사용되는 He 냉각설비에 적용하여 상업적 적용에 활용을 극대화하며 관련시장의 확대를 예상하고 있다.



▲<그림 1> 4인치 극저온 고압개폐밸브 시제품

▲<그림 2> 극저온 시험설비 구축

성과명	(9) 달탐사를 위한 가변추력형 하이브리드 추진시스템 핵심기술 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	문 희 장
연락처	02-300-0118	이메일	hjmoon@kau.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	하이브리드 추진시스템, 추력제어, 클러스터링, 달착륙선, 신뢰성 분석		

상세 성과내용

연구의 필요성

달궤도 진입용 달탐사선 추진장치 및 달착륙선의 추력기는 연착륙에 대응하는 능동 추력제어가 요구된다. 대다수 우주산업 선진국의 달탐사선은 정밀한 추력제어가 가능한 액체 추진시스템을 통해 임무를 수행하나 추진시스템이 복잡하고 높은 중량에 대한 단점이 상존한다. 경제성과 안전성이 부각되고 있는 현 우주시장에서 고체 및 액체 추진시스템 대비 경제적이고 상대적으로 안전한 하이브리드 추진시스템을 달탐사선에 적용하고자 하는 연구가 우주선도국에서 대두되고 있다. 이는 산화제 유량제어만으로 추력제어가 가능하고 상대적으로 무게가 덜 나가는 하이브리드 로켓 고유의 특성에 기인한다.

반면, 하이브리드 로켓의 단점인 낮은 후퇴율 문제 해결을 위한 고후퇴율 연료 개발, stop/restart 기능 확보와 더불어 엔진 클러스터링에 요구되는 유동 분배, 동시 점화, 배열 최적화에 대한 연구가 필요하다. 따라서 하이브리드 로켓의 우주탐사선 추진시스템으로의 적용을 위한 일련의 연구가 요구됨에 따라 우주추진시스템 적용을 위한 하이브리드 클러스터링 기술 연구를 수행하였다.

연구 목표

달탐사 임무에 요구되는 가변추력형 하이브리드 추진시스템의 핵심기술을 확보하여 기존 고체/액체 추진시스템 대비 높은 GLOW(Gross Lift-off Weight) 달성이 가능한 하이브리드 로켓시스템의 달탐사 임무 적용가능성 및 가변추력 성능을 확보하는 것을 최종목표로 한다.

연구결과

○ 하이브리드 추진시스템 달탐사 임무 적용을 위한 핵심기술 개발

하이브리드 로켓의 달탐사선 적용을 위한 추력제어 특성 연구, stop/restart 실험, 기존의 낮은 후퇴율 개선을 위한 고후퇴율 파라핀 연료와 금속입자가 포함된 파라핀 연료의 연소실험을 통해 연소효율 증진을 위한 기초 기반연구를 수행하였다.

○ 하이브리드 추진시스템 적용을 위한 클러스터링 연구와 축소형 모델시험을 통한 적용성 검증

유동 분배기술, 동시 점화기술 등 하이브리드 추진시스템 클러스터링 연계 기술을 확보하여 축소형 클러스터링 모델 제작을 통해 달착륙선 하이브리드 추진시스템으로서의 적용성 검증을 수행하였고 하이브리드 모듈의 호버링 특성 및 실제 시연을 통한 모듈의 추력제어 특성을 파악하였다. 또한 하이브리드 추진시스템의 고장모드를 도출함으로써 추후 하이브리드 추진시스템을 이용한 달착륙선의 설계 및 운용에 대한 기초자료를 확보하였다.

활용 사례

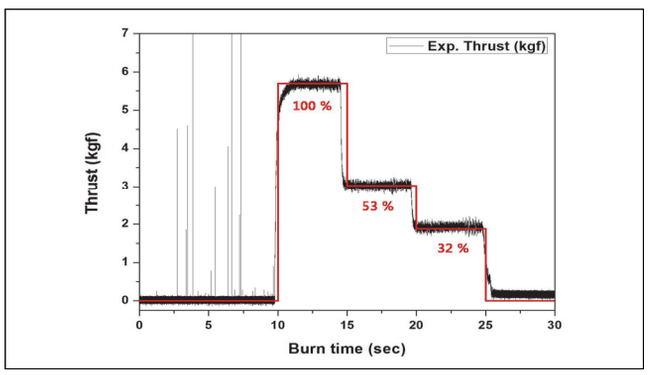
추력 1,000N, 1/5 축적스케일(200N) 시작품의 연착륙 시험을 통해 달착륙선 추진시스템으로의 적용가능성을 정량적으로 판단함으로써 추후 달탐사를 포함한 다양한 우주탐사 개발사업의 기초 기반자료로 활용할 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

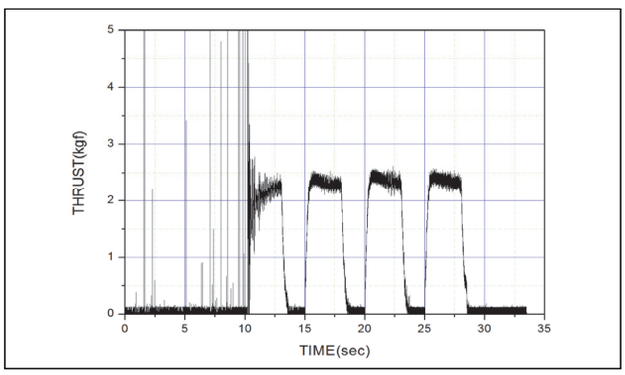
본 연구를 통해 획득된 연구개발 성과는 국내 최초 하이브리드 4기 엔진의 클러스터링 기술 확보 사례로서 독창적 연구로 분류될 수 있으며 기존 연구 대비 차별성이 있다. 또한, 안전성, 신뢰성, 추력조절 및 Stop/Restart 기능성을 갖는 저비용 가변추력 추진시스템 기술개발 사례로 구분할 수 있다.

활용 가능 분야

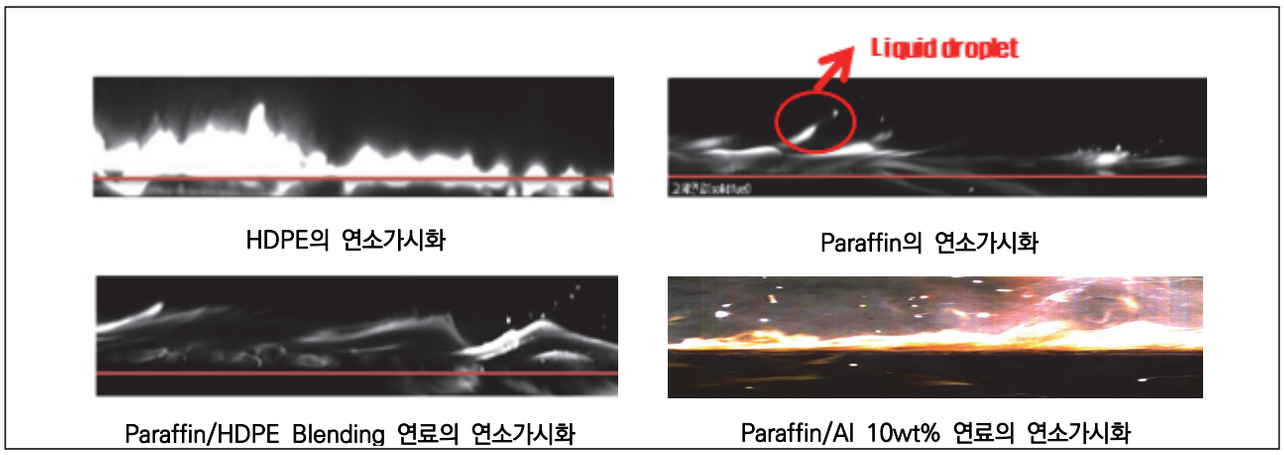
가변추력형 하이브리드 추진시스템의 핵심기술 연구 성과 결과들은 달탐사선, 달착륙선 외, 행성 및 소행성 탐사선 가변추력 추진시스템, 위성궤도 전이용 추력기 및 수직 착륙을 위한 발사체 재사용 기술로 응용되며 우주발사체 단 분리 시스템으로도 활용될 수 있다. 폴리머계 연료를 사용하는 하이브리드 연소 기술은 항공우주분야 뿐만 아니라 폐 폴리머(플라스틱) 소각 처리기술에 응용되어 자원순환 차원의 폐기물 연료화 기술로도 파급효과를 기대할 수 있다.



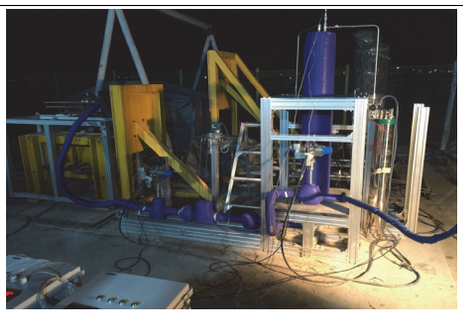
▲<그림 1> 밸브 조절에 따른 추력제어 성능 비교



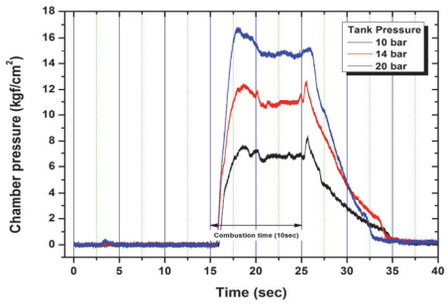
▲<그림 2> Start/Restart 연소시험을 통한 추력 on/off 특성



▲<그림 3> 고체연료(HDPE, Paraffin) 연소가시화를 통한 연소특성

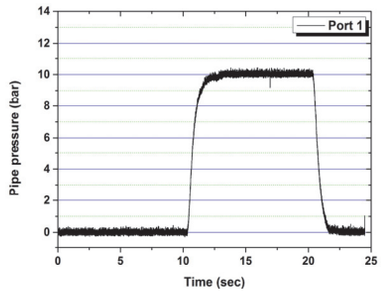


액체 산소 공급시스템 형상

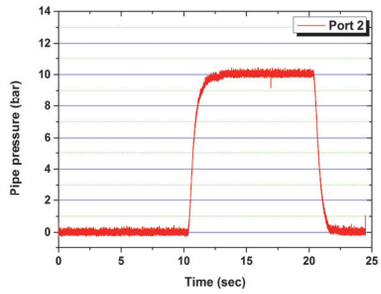


산화제 공급 압력 별 연소실 압력 선도

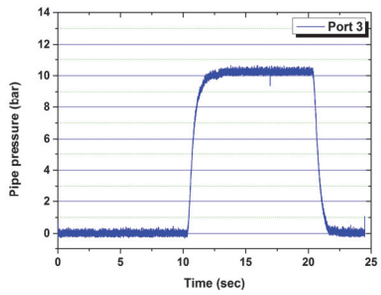
▲<그림 4> 액체산소(LOx) 공급시스템(좌) 및 산화제 공급압력 별 연소실 압력 선도(우)



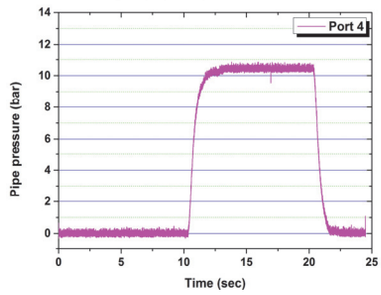
(a) Port 1 Avg. pipe pressure = 10.1 bar



(b) Port 2 Avg. pipe pressure = 10.1 bar

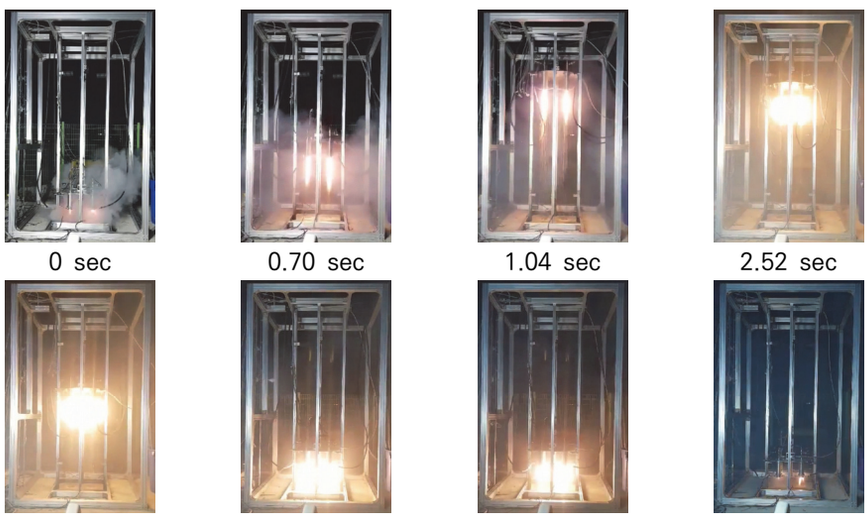


(c) Port 3 Avg. pipe pressure = 10.29 bar



(d) Port 4 Avg. pipe pressure = 10.5 bar

▲<그림 5> 4기 클러스터링 별 압력선도 - 유량 분배 특성



▲<그림 6> 달착륙선 하이브리드 모듈의 호버링(3.56~4.43 sec) 시연 성공(시간별 위치)

성과명	(10) 가변추력 젤(gel) 추진 킥모터/상단부 적용을 위한 니트로메탄 젤 추진제의 기초 물성 특성 및 연소 특성 연구		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	문 희 장
연락처	02-300-0118	이메일	hjmoon@kau.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	젤 추진제, 니트로메탄, 킥모터, 상단부, 페이로드		

상세 성과내용

연구의 필요성

킥모터(kick motor)는 발사체의 다양한 미션 및 임무수행, 궤도변경에 능동적으로 대처하는 추진시스템으로 유연한 임무수행을 위해서는 충분한 연소시간 확보와 추력제어가 손쉬운 기능을 갖추어야 한다. 이러한 관점에서 젤 추진기관은 기존의 고체 및 액체 추진기관의 단점을 효과적으로 보완할 수 있는 차세대 추진기관으로 대두된다. 특히 젤 단일추진제를 사용할 경우 이원추진제 대비 용이한 추력조절 및 시스템 중량 감소로 인해 폭넓은 임무 요구조건 마진(margin)을 확보할 수 있어 차세대 킥모터/상단부시스템으로 응용될 수 있다.

젤 추진제는 액체 추진제 대비 높은 저장성 및 안전성을 가지면서 액체 추진시스템과 많은 부분을 공유하는 반면, 젤 추진제 고유의 유변학적(rheological) 특성으로 인해 분무 특성 및 연소 특성을 예측하는 것이 어렵다는 단점을 지닌다. 따라서 본 연구에서는 니트로메탄(nitromethane)을 기반으로 하는 젤 단일추진제의 제작기술, 추진제 물성파악, 연소 특성과 추력제어 특성 등에 관련된 기초연구를 수행하였다.

연구 목표

니트로메탄 기반 단일추진제의 젤(gel)화 기술, 젤 추진제 유변학 특성, 연소 특성 및 추력제어에 관련된 기초 기반기술을 획득하여 다양한 탐사 미션 및 임무수행에 대처 가능한 가변추력 젤 추진 킥모터/상단부 기술확보 및 차세대 발사체를 위한 기초자료와 원천기술을 확보하는 것을 목표로 한다.

연구결과

○ 니트로메탄 젤 추진제 제작 및 특성 연구

니트로메탄 젤화 기술 정립, 니트로메탄 젤 추진제의 유변학적 특성 분석, 니트로메탄 젤 추진제의 분무 특성 파악을 수행하였다. 분무 특성 파악에 앞서 많은 시행착오를 거쳐 젤화 기술을 획득하였고, 유변학적 특성 및 열적 특성을 이해하기 위한 연구를 중점적으로 수행하여 데이터베이스를 구축하였다.

○ 니트로메탄 젤 추진제 점화 및 연소 메커니즘 파악

정밀한 유량제어가 가능한 피스톤 구동방식을 선정하여 젤 추진제 공급장치를 구축하였으며, 이를 통한 유량 공급 특성을 파악하였다. 분무 및 연소실험 설비를 구축하여 니트로메탄 젤 추진제의 분무 특성 획득 후, 연소실험을 통해 니트로메탄 젤 추진제의 점화에 요구되는 인자와 연소메커니즘을 파악하였다.

○ 젤 추진제 연소 특성 및 추력제어 연구

젤 추진제는 액체추진제에 비해 상대적으로 긴 연소시간지연(combustion time lag)을 가지므로 저주파 불안정에 취약할 것으로 사료되며, 특히 니트로메탄은 데토네이션(detonation)이 발생하는 폭발성 높은 연료로 근래 재조명되고 있어 상대적으로 안전한 로켓 연료로 많이 사용되는 케로신 이원추진제로 대상 젤 연료를 변경하였다. 기존 연구계획서에 추가로 공급계-연소실 간의 시간지연에 의해 발현하는 저주파 연소불안정 연구를 수행하였으며, 저주파 불안정의 대표적인 형태인 chug instability 발생 여부를 파악하기 위해 single-time lag 모델 기반의 안정성 판별 해석을 수행하였다.

측정된 총 시간지연 값을 바탕으로 중립 안정도 선도(neutral stability curve)를 도출하여 시스템의 연소

안정성을 판별함으로써 젤로켓모터의 연소안정성에 관한 연구를 수행하였고 안전한 유량제어 운용범위를 도출하였으며, 밸브 개폐각에 따른 액상/젤 케로신 연료와 산화제의 유량을 기반으로 유량제어 특성을 확인하였다. 유량제어 실험결과를 바탕으로 throttling range를 선정하여 추력제어 실험을 수행하였으며, 액상 케로신과 젤 케로신 간의 비교를 통해 추력제어 특성을 파악하였다.

활용 사례

획득된 젤 추진제 제작기술, 연소기술과 관련된 기초자료 및 젤 기반 설비는 향후 차세대 미래 추진제 개발 후속연구에 활용될 수 있다. 추후 ADN 및 과산화수소 등의 산화제 활용, 또는 금속입자 첨가를 통한 고 밀도비추력 젤 추진제의 응용은 다양한 추진 분야로 파생되어 우리나라 우주기반기술의 발전과 더불어 미래 원천기술 확보에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

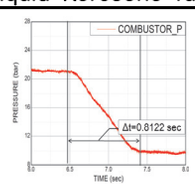
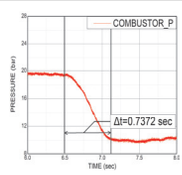
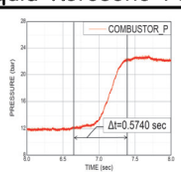
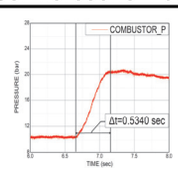
기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구에서는 우주선도국에서 현재 개발 중인 젤 단일추진제의 극히 일부만이 공개된 자료를 바탕으로 일련의 기초연구를 체계적으로 수행하였으며, 전 세계적으로도 연구 사례가 전무한 젤 추진제 연소불안정에 관한 연구를 수행한 점은 기존 액체, 고체 추진시스템 연구와의 차별성은 물론 창의적인 연구 수행 결과로 판단된다.

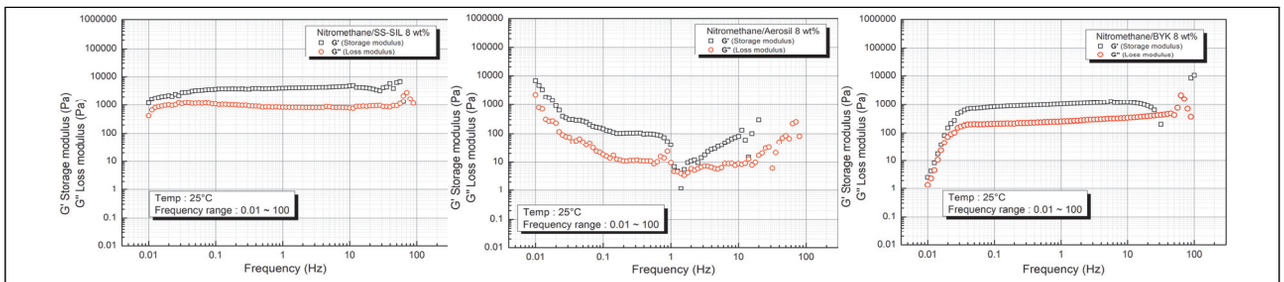
활용 가능 분야

본 연구 성과는 단일추진제를 기반으로 하는 젤 추진제의 제작기술, 젤 추진제 기초 물성파악, 젤 추진제의 공급시스템 구축 및 젤 연소 고유 특성을 규명한 기초연구들로서 차세대 우주발사체 원천기술 확보에 활용이 가능하다. 더불어, DACS(Divert and Attitude Control System)의 가스발생기, 램제트(ramjet), 덕티드 로켓(ducted rocket) 등의 미사일체계로 적용되어 활용될 수 있다.

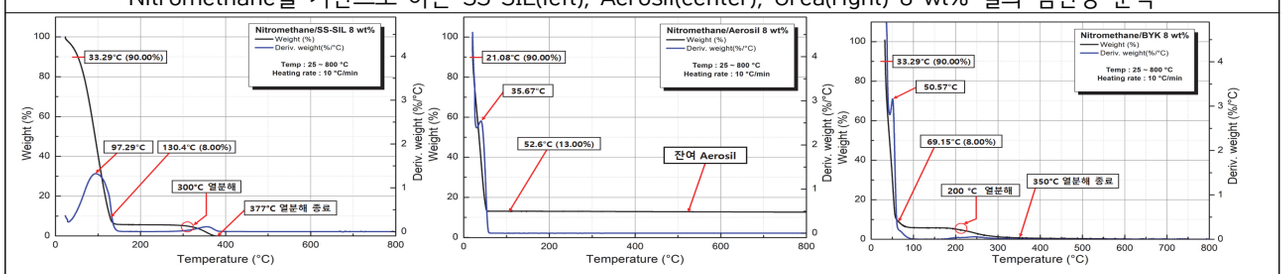
본 연구에서 획득한 비뉴턴 유체의 분무 및 미립화 특성은 항공우주 분야 외, 비뉴턴 유체를 사용하는 산업 분야로 적용(도료, 알약 코팅 등)이 가능하며, 신개념 연료를 적용하는 에너지 시장으로도 활용될 수 있다.

Throttle-down	
Liquid Kerosene fuel	Gel Kerosene Fuel
	
throttling case : 100% ~ 40%	throttling case : 100% ~ 50%
Δt = 0.8122 sec	Δt = 0.7372 sec
Throttle-up	
Liquid Kerosene Fuel	Gel kerosene Fuel
	
throttling case : 40% ~ 100%	throttling case : 50% ~ 100%
Δt = 0.5740 sec	Δt = 0.5340 sec

▲<그림 1> 액상 케로신 및 젤 케로신 연료의 추력제어(throttle-down/up) 연소실 압력 응답시간 특성

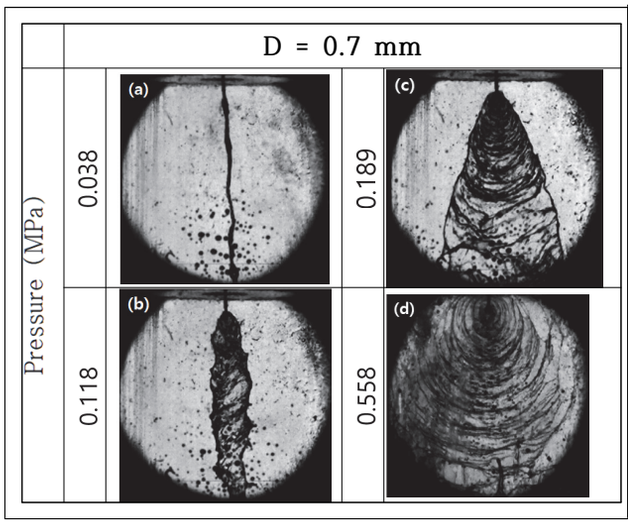


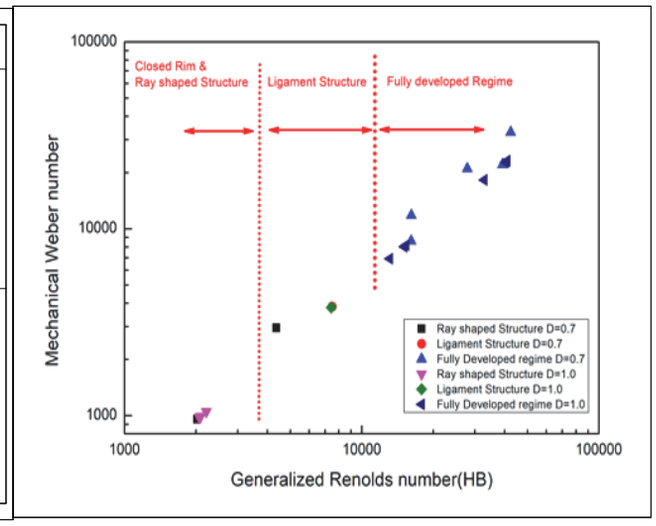
Nitromethane을 기반으로 하는 SS-SIL(left), Aerosil(center), Urea(right) 8 wt% 젤의 점탄성 분석



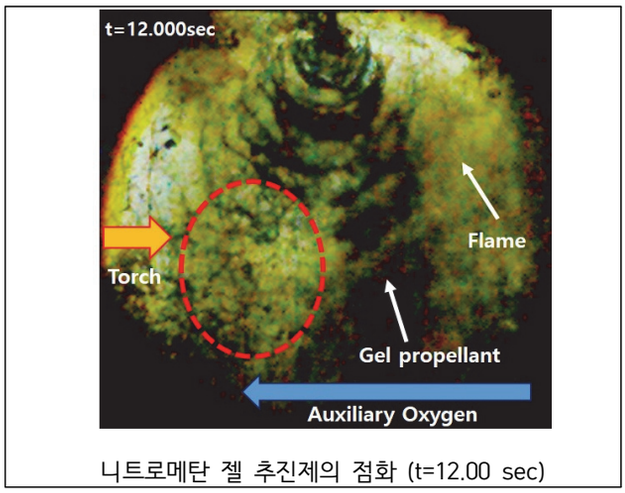
Nitromethane을 기반으로 하는 SS-SIL(left), Aerosil(center), Urea(right) 8 wt% 젤의 TGA 선도

▲<그림 2> 니트로메탄 젤 추진제의 유변학적-열화학적 특성

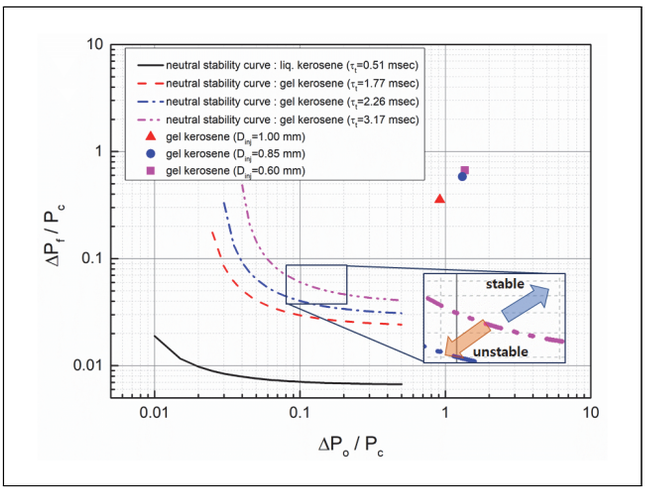




▲<그림 3> 공급압력별 충돌형 인젝터의 분무가시화 실험결과 ▲<그림 4> 니트로메탄 젤 추진제 분무의 무차원수 분열 영역 구분



니트로메탄 젤 추진제의 점화 (t=12.00 sec)



▲<그림 5> 니트로메탄 젤 추진제 점화 및 연소 특성 ▲<그림 6> 액상 케로신 및 젤 케로신 연료의 안정도 선도

성과명	(11) 발사체 Buffet 안정성 확보를 위한 전산유체역학 및 공탄성 해석을 연계한 설계기법 연구		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	배 재 성
연락처	02-300-0102	이메일	jsbae@kau.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	발사체, 버펫, 전산유체역학, 공력탄성학, CFD-CAE 연계 해석		

상세 성과내용

연구의 필요성

항공기 및 발사체의 공탄성해석 연구에 있어서 항공기에서 일어날 수 있는 불안정현상인 플러터, 발사체의 임무 실패를 야기할 수 있는 버펫의 예측에 있어서 범하기 쉬운 오류는 플러터와 버펫의 특성과 물리적 이해없이 항공기 날개의 공탄성 응답과 발사체의 버펫 응답만을 관찰하고, 이로부터 안정성만을 판단하는 것이다. 이는 플러터나 버펫의 안정성을 판단할 수는 있으나, 그 자체 특성의 이해 부족을 야기하게 되고, 플러터나 버펫 불안정성을 확보하기 위한 방법의 확보를 어렵게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 공탄성 연성을 고려한 버펫 해석과 CFD-CAE 연계 버펫 해석을 모두 수행하여, 두 방법의 장단점을 서로 보완함으로써, 효율적이며 신뢰성 있는 발사체 버펫 안정해석 및 설계기법을 확보하였다.

연구 목표

○ 기술현황 분석 및 발사체 천음속/초음속 비정상 공기력 해석 기법 연구
○ 발사체 버펫의 전산유체역학-공탄성 연계해석 기법 연구
○ 발사체의 버펫 불안정성 해석/예측 및 방지대책 제시

연구결과

○ 발사체의 천/초음속 영역 비정상 공기력 해석 기법 확보
천/초음속 유동 조건에서 발사체의 압력 분포를 비교하여 검증하였으며, 버펫팅을 일으키는 충격파와 경계층 박리의 상호 작용을 비정상 DDES 해법 으로 해석을 수행하고, 표면 압력의 섭동량을 풍동 실험결과 및 타 연구자의 해석결과와 비교하여 검증하였다.

○ 공탄성 연성항을 고려한 발사체 버펫 해석 기법 확보
조화가진법을 이용한 비정상공기력 계산과 주파수 영역과 시간영역에서의천음속 공탄성 해석을 수행하여 그 결과를 검증하였고, 발사체의 굽힘 변형에 공탄성 연성항과 버펫에 의한 비정상 공기력에 대한 계산을 수행하였다.

○ 발사체 버펫의 CFD-CAE 연계 해석 기법 확보
CFD와 CAE를 서로 연계하여 해석을 수행함으로써 버펫 응답을 계산하였고, 공탄성 연성을 고려한 버펫 해석 방법의 결과와 서로 비교/분석하여 해석 기법의 정확도를 검증하였다.

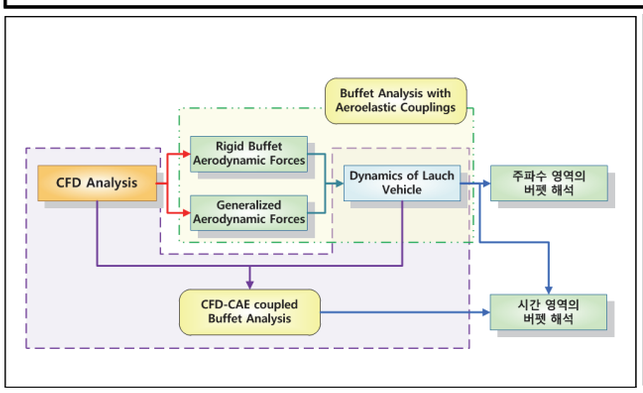
○ 한국형 발사체의 버펫 안정성 해석 결과 및 방지 대책 확보
적절하다고 판단된 한국형 발사체의 구조 모델을 선정하여 버펫 안정성 해석을 수행하였고, 버펫 특성의 물리적 의미를 파악하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

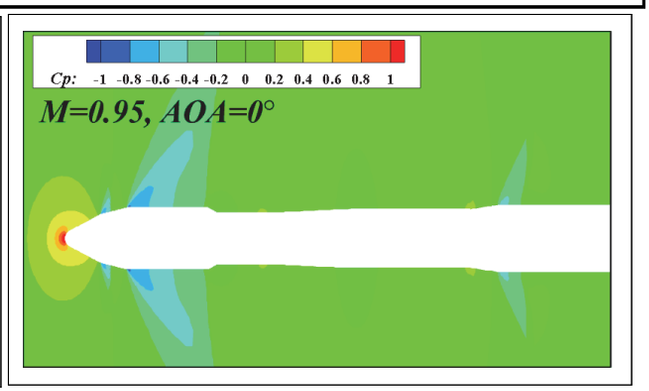
공탄성 연성을 고려한 버펫 해석 방법은 상대적으로 적은 계산시간을 요구하며 버펫 안정성 판정과 버펫 특성에 대한 물리적 의미를 이해하기 쉬운 방법이다. 전산유체역학과 공탄성 해석이 연계된 버펫 해석방법은 버펫 현상에서 발생하는 충격파의 진동, 경계층의 천이 위치와 크기 등이 버펫 응답에 미치는 영향을 고려할 수 있지만, 상대적으로 많은 계산 시간을 요구하며 버펫 특성의 물리적 의미를 이해하기 힘들다.
본 연구에서는 공탄성 연성을 고려한 버펫 해석 방법과 CFD-CAE 연계 버펫 해석 방법에 대한 연구를 모두 수행하고, 두 방법의 결과를 서로 비교/분석 함으로써 효율적이고 신뢰성 있는 발사체 버펫 아정성 해석 및 설계 기법을 확보하였다.

활용 가능 분야

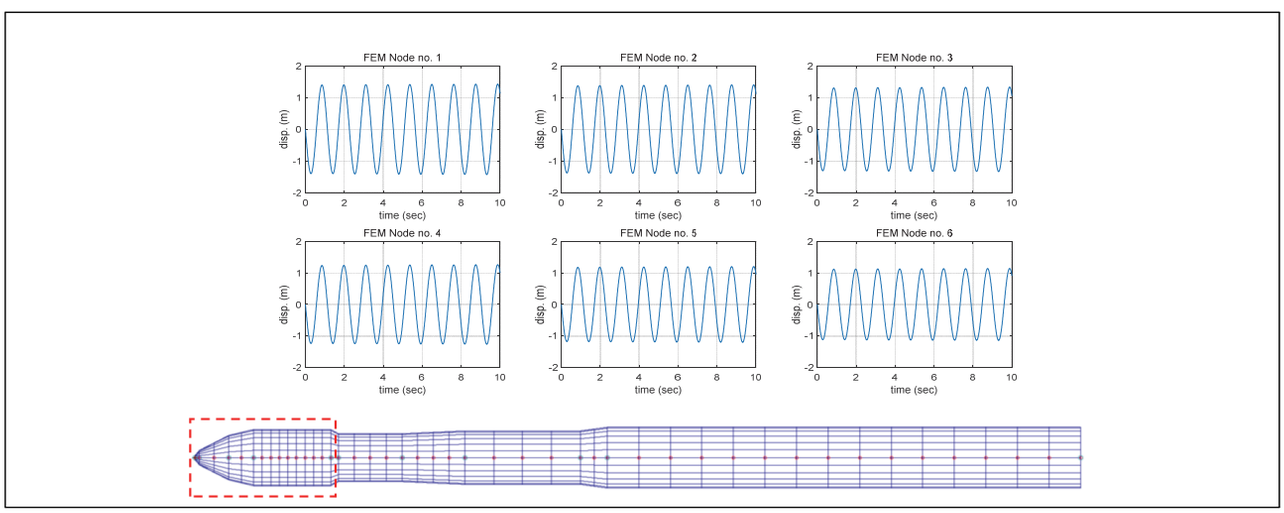
○ 발사체의 버펫 불안정성을 예측할 수 있는 해석 기법 및 이를 방지할 수 있는 설계기법의 확보는 한국형 발사체 개발에 있어서 발사체의 비행 안정성 및 임무 달성 여부를 좌우할 수 있는 매우 중요한 사항이며, 향후 대형 위성 발사체 설계에서 필수적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
○ 전산유체역학-공탄성 연계 연구는 항공 및 우주분야에서 최근 각광 받고 있는 융복합 연구에 해당한다. 기존의 국내 CFD-CAE 연계 연구는 항공기 분야에 국한되었으나, 본 연구의 성공적인 수행은 항공분야 뿐만 아니라, 우주 발사체 분야의 버펫 해석 관련 연구에서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.



▲<그림 1> 본 연구에서의 BUFFET 해석 방법



▲<그림 2> 해머헤드 형상 모델의 압력, 마하수 유동장



▲<그림 3> CFD-CAE 연계 해석, 변위의 Time History

성과명	(12) 액체로켓 연소불안정 분석 도구 개발		
주관연구기관	세종대학교	연구책임자	손 채 훈
연락처	02-3408-3788	이메일	chsohn@sejong.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	연소 불안정 후처리 분석 도구, 축소 화학반응 기구		

상세 성과내용

연구의 필요성

연소불안정을 예측하고 억제하기 위해 많은 이론 및 실험적 연구가 진행되어 왔고, 현재까지도 연소불안정 메커니즘 규명에 어려움이 있어 여전히 실험적 결과에 의존하고 있으며, 이로인해 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 슈퍼컴퓨팅 체계 개발을 통한 액체로켓 연소불안정 해석SW를 개발하여 발사체 개발 사업의 국가적 난제를 경제적·효율적으로 해결하기 위한 연구개발의 일환으로 연소불안정성 해석을 위해 필요한 축소 화학반응 기구, 연소 불안정 특성을 파악할 수 있는 후처리(post-processing) 분석 도구의 개발이 필요하다.

연구 목표

연소실내 동특성을 파악할 수 있는 연소 불안정 후처리 분석 도구 및 고해상도 해석 코드에 적용 가능한 축소 반응기구(reduced chemistry)를 개발하는 것이다.

연구 결과

연소 불안정 후처리 분석도구로서 Short time Fourier transform(STFT) 기법을 이용한 프로그램을 개발하였고, 이를 통해 연소불안정성 발생 시점을 catch할 수 있게 되었으며, 더불어 기존 Dynamic Mode Decomposition(DMD) 기법을 구현하였다. 또한, 액체 추진제(혼합액체 연료)의 대체(모사) 연료를 구성한 후 축소 화학반응 기구를 개발하고 검증을 완료하였다.
※ open source와 commercial tools에 적용 가능

활용 사례

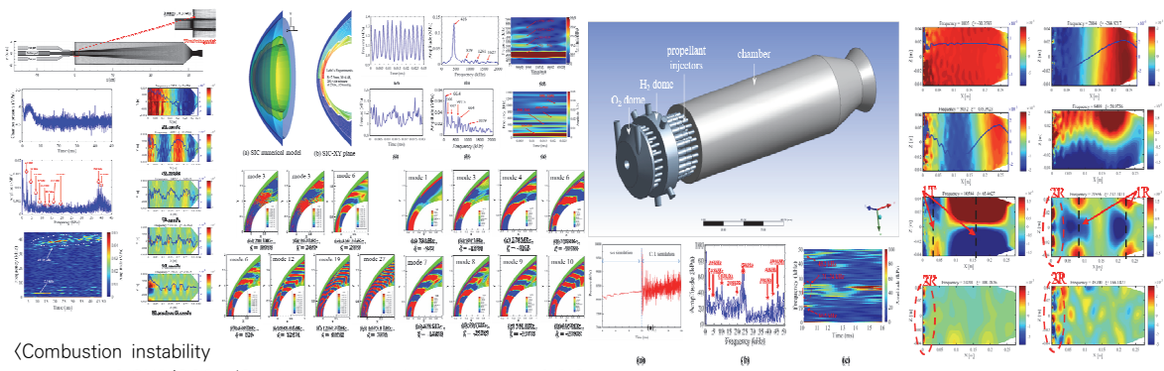
연소불안정 후처리 분석 코드를 GCSC (Gas Centered Swirl Coaxial) injector에 적용하여 연소불안정 발생 시점과 주요 공진주파수, 음향모드를 파악하여 연소불안정 평가에 활용될 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

연소불안정 후처리 분석 코드는 로켓엔진 개발 과정에서 연구개발진이 필요로 하는 여러 도구중 하나로 단순한 분석도구로부터 고수준의 분석도구까지 다양한 도구들이 있으며, 본 과제의 연구 성과물로써 최신의 분석도구를 확보하였다. 또한, 로켓엔진 연구개발 현장에서 수치해석자들이 필요로 하는 추진제의 화학반응기구로서 여러가지의 축소반응모델을 개발하였으며, 개발된 축소반응모델은 일반적으로 통용되는 CHEMKIN 포맷으로 작성되어 있어, open source와 commercial tools에서도 쉽게 사용할 수 있다.

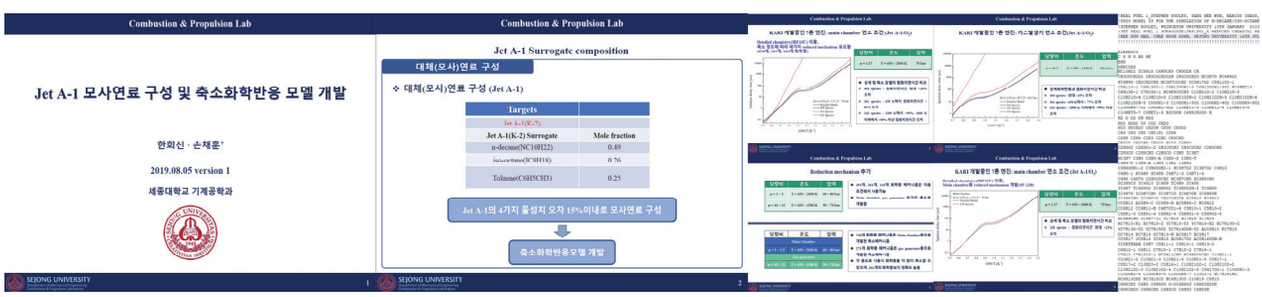
활용 가능 분야

후처리 분석 도구를 이용하여 연소불안정 발생 시점과 주요 공진주파수, 음향모드를 파악할 수 있으며, 이러한 도구들이 통합코드로 이식되면서 여러 사용자들이 용이하게 연소불안정 특성을 평가할 수 있도록 개발하였다. 특히 로켓, 가스터빈엔진 등 여러 연소기 시험 평가 실무진이 활용한다면 시험 결과 분석이 용이하고 현상을 좀 더 명확히 이해할 수 있으며, 연소 안정성을 향상시키는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제공된 축소반응모델은, 개발 실무진이 수치해석적 연구를 수행할 때 활용할 수 있으며, 국내에서 사용되는 특정 추진제와 특정 연소 조건에 적합한 화학반응 모델을 필요에 따라 자체적으로 개발할 수 있을 것이다. 이에 따라, 계산 소요 시간을 상당히 줄일 수 있고 해석 결과의 정확도도 향상될 것으로 기대된다.



〈Combustion instability evaluation of GH2/GO2 combustor〉 〈Combustion instability evaluation of SIC combustion〉 〈Combustion instability evaluation of DLR-BKD combustor〉

▲<그림 1> 개발한 후처리 분석코드를 적용, 여러 고해상도 수치해석 결과를 분석하여 연소불안정성을 평가한 결과물



The 1st version of reduced chemical mechanism manual.

항공유(Jet A-1) 모사연료 구성 및 각 연소 조건(주 연소실, 가스발생기)에 대한 3가지 버전(238개 화학종: 주연소실용, 271개 화학종: 가스발생기, 361개 화학종: 주 연소실/가스발생기에 공통으로 적용)의 축소화학반응 모델을 개발

▲<그림 2> 개발한 제트 연료용 축소화학반응모델 및 사용 매뉴얼

성과명	(13) 우주 비행체 재진입 환경에서 삭마 재료의 열기계적 거동 모형화		
주관연구기관	전북대학교	연구책임자	신 의 섭
연락처	063-270-3995	이메일	esshin@jbnu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	재진입 환경, 아크 가열 풍동, 삭마 재료, 열기계적 거동		

상세 성과내용

연구의 필요성

고온 플라즈마 발생 원리에 의한 아크 가열 풍동을 이용하면 재진입 극한 환경에 노출된 내열 재료의 삭마 특성 등을 확인할 수 있다. 아크 가열 풍동의 노즐 형상 및 크기, 노즐 팁에서 시편까지의 거리가 실험 결과에 영향을 주기 때문에 신뢰성 있는 삭마 실험을 위해서는 플라즈마 입력 전류, 전압, 압력, 유량 등의 정밀한 분석이 필요하다. 열 보호 시스템에 사용되는 삭마 재료는 온도에 따른 비선형성이 매우 높기 때문에, 실험을 통해 역학적 특성을 확인하고 기본적인 열적 특성도 파악해야 한다.

삭마 복합재료가 고온 환경에 노출되면 열분해 및 삭마 과정을 겪게 되고 재료 내부에는 기공이 생성된다. 미시 응력을 유발하는 기공 압력은 재료의 파손과도 밀접하게 연관되어 있기 때문에 이를 정확하게 예측하여 열 보호 시스템에 반영하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 실험 기반의 미시역학적인 접근 방법을 활용하면, 섬유 및 기지 자체의 특성으로부터 전체 복합재료의 거동 해석이 가능해지고, 또한 열/구조 해석의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

초고온 환경의 삭마 재료 거동 특성 예측과 같은 문제는 재료 및 경계 비선형을 포함해야 하며, 열분해와 함께 삭마 과정에서 발생하는 다양한 현상들이 열화학적/열기계적으로 연계되어야 한다. 재료가 삭마 되어 사라지는 현상에 대한 수치 모델링과 열기계적 연계 데이터 교환을 위한 인터페이스 구성이 필요하다.

연구 목표

아크 가열 풍동을 이용한 재진입 환경 모사 및 고엔탈피 유동 측정 기법을 개발하고 내열 재료의 삭마 실험에 관한 기준 설정 및 정량화된 실험 분석 결과를 제시한다. 또한 미시역학 기반의 다공성 복합재료 전산 모형을 개발하고 열기계적 거동 해석을 통하여 물성을 산출함으로써 내열 재료의 삭마 특성 데이터 확충을 목적으로 둔다.

연구결과

○ 아크 가열 풍동을 이용한 재진입 극한 환경 모사

플라즈마 토치를 이용한 아크 가열 풍동을 사용하여 열 보호 시스템의 재진입 극한 환경을 모사하고 이에 대한 표면 온도, 유동 속도, 열 유속 등을 측정하여 고엔탈피 유동 측정 기법을 개발하였다.

○ 내열 복합재료의 삭마 실험 및 정량적 분석

아크 가열 풍동을 이용하여 총 3종의 내열 재료(탄소/페놀릭, 탄소/탄소, 흑연)에 대한 17번의 삭마 실험을 수행하였다. 이후 3차원 표면 측정기(3D surface measurement system, SMS) 및 주사 전자 현미경(field emission scanning electron microscope, FE-SEM) 등의 측정 장비를 이용하여 내열 재료의 삭마 실험 전후 표면 및 내부 삭마 특성을 분석하였다.

○ 내열 복합재료의 열기계적 거동 해석

분리-혼합 기법을 이용하여 내열 재료의 열-기공-탄성 거동에 대한 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 미시역학 대표 체적 요소를 이용한 다공성 복합재료의 표준 전산 모형 60종을 개발하였다. 이후 거시

적 거동을 효과적으로 예측하기 위하여 삭마 실험 시편의 내부 영상 기반 3차원 전산 모형19종을 개발하여 유효 탄성 계수와 열전도도를 산출하였다.

○ 열 보호 시스템 설계 및 해석 절차 확립

열 보호 시스템 설계를 위한 국내 고유의 데이터 시스템, PoCoDATA (porous composite data)의 기본 틀을 구축하였다. 본 과제에서 수행한 연구 실적을 기반으로 다양한 분야의 연구팀의 결과를 체계적으로 분류하였다. 또한 단순 데이터의 저장 및 공유 뿐 아니라 정립된 삭마 재료의 특성 분석 및 해석 절차를 제시하여 효율적인 열 보호 시스템 설계가 가능토록 하였다.

활용 사례

열 보호 시스템의 설계를 위한 데이터 시스템을 구축하였다. 시스템은 크게 1.재료 및 시편, 2.아크 가열 풍동을 이용한 삭마 실험, 3.재료의 삭마 특성 분석, 4.전산 모형 및 해석으로 구성된다. 또한 내열재료, 열구조, 열유체 연계 해석 인터페이스 설정 기법 구축 및 아크 가열 풍동을 이용한 삭마 실험 및 전산 해석에 대한 종합 분석이 활용되고 있다.

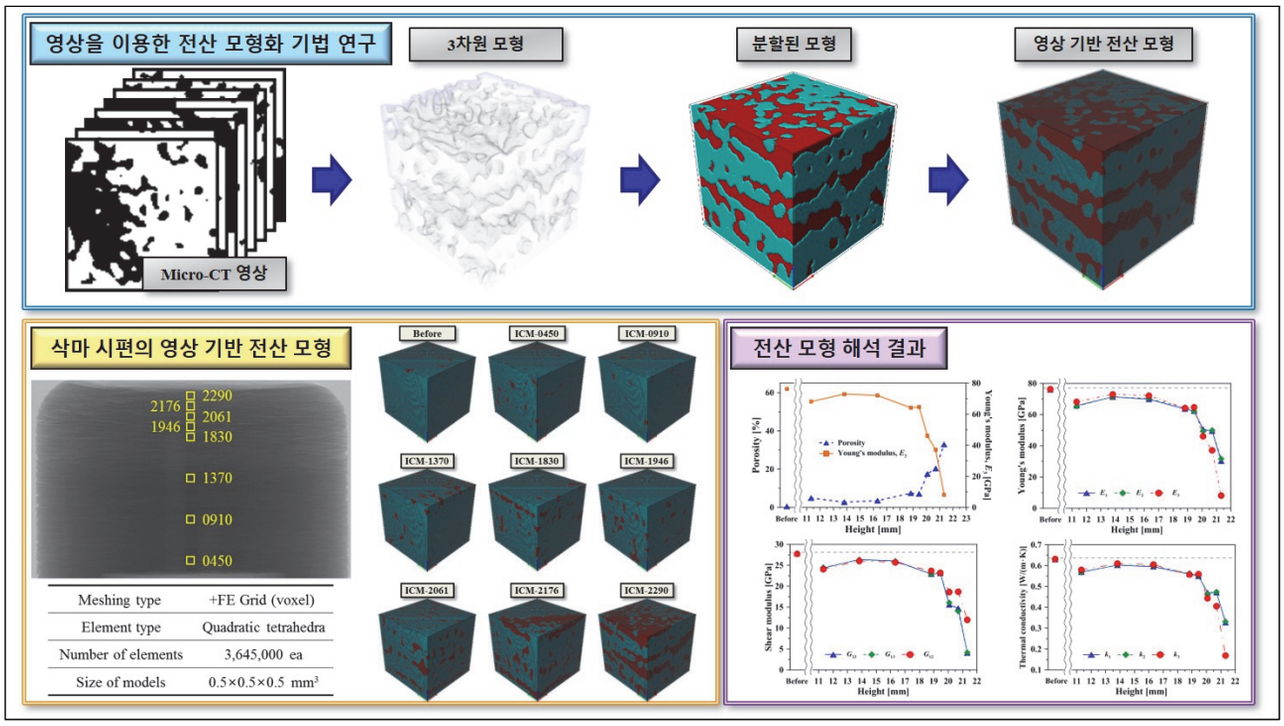
기존지식/ 기술대비 차별성

고엔탈피 초음속 아크 가열 풍동의 경우, 대학과 연구소에서 낮은 출력을 갖는 아크 발생기를 개발하거나 아크 발생기 내부 유동에 관한 전산 해석 등의 연구를 진행한 바 있으나 MW급 규모의 풍동에 대한 연구는 진행되지 않았다. 본 과제에서는 국내 최초로 구축된 아크 가열 풍동을 이용하여 우주 궤도 재진입 환경의 공력—재료-구조 연계 실험 및 해석 절차를 확립하였다.

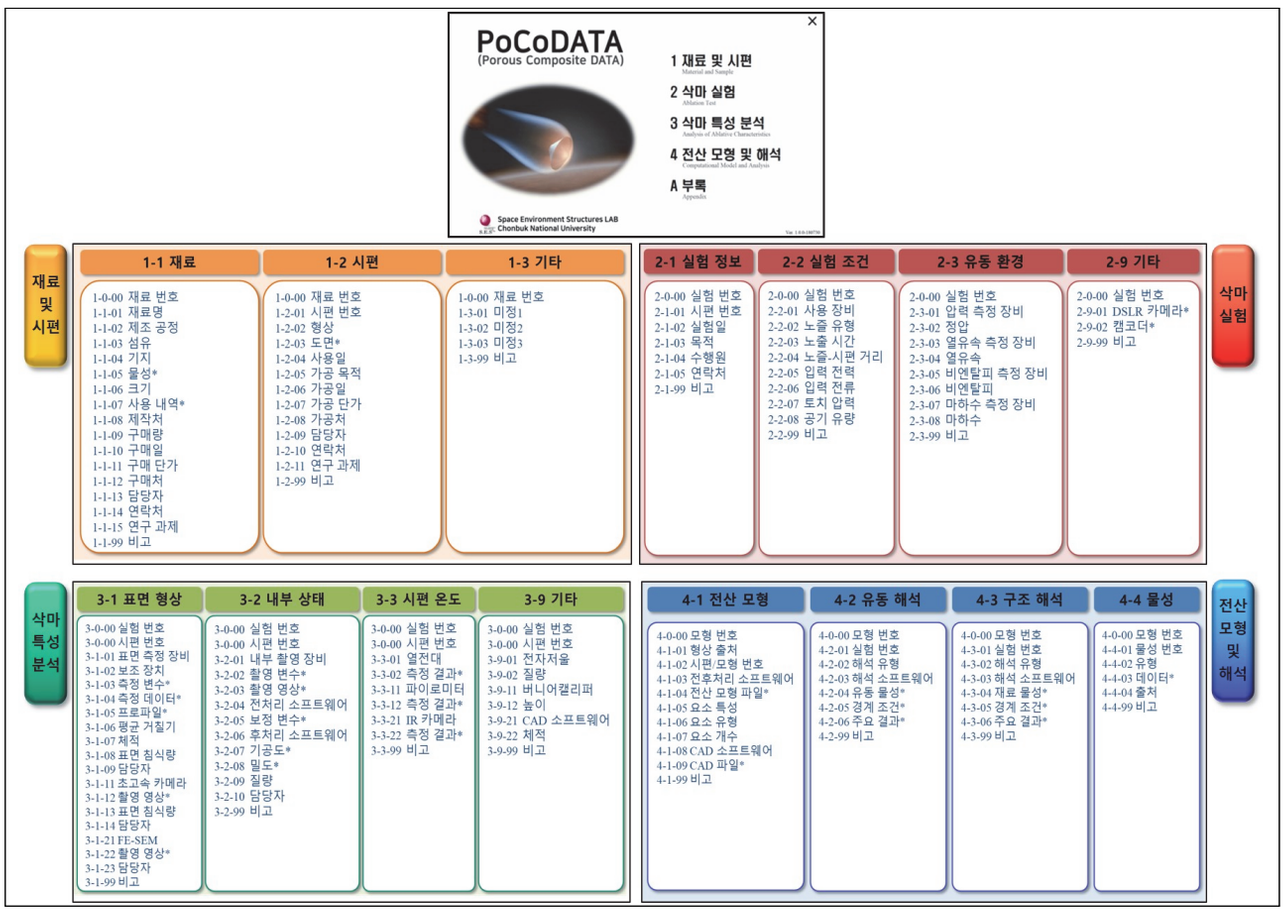
삭마 실험 데이터를 처리하는 있어 최신 3차원 micro-CT 영상 처리 기법을 접목하여 삭마 시편의 밀도, 기공도 등 내부 상태 정량화에 성공하였으며[그림 1 참조], 미국 국제무기거래규정(ITAR) 등 기술 이전이 제한되어 있는 열 보호 시스템 설계를 위한 데이터베이스의 기본 틀을 구축하였다.[그림 2 참조]

활용 가능 분야

본 연구과제 결과를 통해 내열 재료의 삭마 현상 예측 기술 및 재료 상태 분석에 활용할 수 있다. 또한 고온, 고압 환경에 노출되는 내열 재료 분야, 나노 신소재 합성 분야, 위성용 플라즈마 추진기 설계 등에 간접적으로 적용이 가능하다. 열 보호 시스템에 사용되는 내열 복합재료 구조에 대한 신뢰성 있는 지상 시험이 가능하므로 우주 탐사선 귀환, 우주 쓰레기 소각, 대륙간 탄도탄 등의 재진입 비행체 설계에도 활용할 수 있다.



▲<그림 1> 다공성 복합재료의 영상 기반 전산 모형 개발 및 열기계적 물성 산출



▲<그림 2> 삭마 실험/해석 자료 처리를 위한 데이터시스템 구축

성과명	(14) 발사체 개발용 열 유동수치모사 프로그램 개발 및 사용자 환경 구축		
주관연구기관	㈜넥스트폼	연구책임자	신 재 렬
연락처	010-7763-2687	이메일	jrshin@nextfoam.co.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	발사체, 전산유체역학, 오픈소스, 사용자환경, 웹환경		

상세 성과내용

연구의 필요성

지난 수십 년간의 computing power의 비약적인 발전으로, 발사체의 설계 방법이나 설계 기법에서도 제한적인 실험에만 의존하지 않고 CFD 기술을 활용하여 효율성과 경제성을 확보하려는 방향으로 급변하였다 할 수 있다. 발사체에 수반되는 열/유동 현상은 시스템의 aerodynamic, thermal design뿐만 아니라, 추진 관련 설계에서도 연료의 저장 및 공급, 추진제의 분사, 혼합, 연소 등 매우 복잡하고 복합적 현상으로 수반되어 나타난다.

이러한 복잡한 열/유동 현상을 해석하기 위한 도구로써 많은 상용 CFD 해석 프로그램들이 개발되어 활용되고 있으나, 과도한 라이센스 비용으로 적극적 또는 대규모 활용에 어려움이 있다. 또한, 상용 CFD 프로그램에는 발사체 개발 실무자들의 요구사항을 제대로 반영하기 어려우므로 in-house 코드 개발도 병행되고 있다. 여기에 상용 CFD 프로그램은 범용성 user interface 측면이 강하기 때문에 발사체 전용으로 사용하기에는 편의성이 떨어지며, 발사체 해석 분야에 따라 세부적으로 모듈화를 고려하지 않아 타 기술과 연계할 수 있는 확장성이 확보되기 어려운 상황에 있다.

최근에 발표되고 있는 해석용 공개 소프트웨어들은 그 성능이 상용 프로그램 못지않다. 다양한 공개 소프트웨어 중에서 OpenFOAM이 항공우주, 조선, 자동차 분야에 활용이 증대되고 있다. OpenFOAM은 대규모해석자원을 이용할 수 있는 병렬처리, 이상유동, 연소 등을 적용할 수 있는 다물리학 라이브러리를 포함하고 있으며, C++ 기반의 객체 지향 언어로 작성되어 사용자 요구사항 및 새로운 기법을 즉각적으로 적용할 수 있는 뛰어난 대응성 및 확장성을 갖추고 있다. 본 연구에는 OpenFOAM을 기본 플랫폼으로 적용하여, 우리의 지식이 녹아 들어간 발사체 요소 기술 해석 전용 프로그램을 개발하여 기술적인 독립을 이루고자 한다.

연구 목표

발사체 개발용 열유동수치모사 CFD 플랫폼을 공개 소프트웨어기반으로 개발하고 사용자의 사용 편의 증진을 위해 사용자환경(GUI)를 개발하도록 한다.

연구결과

○ LVAFoam (Launch Vehicle Analysis OpenFOAM)

- 외부유동 (LVAFoam-Aero): 외부유동 전용해석 솔버를 공개 소프트웨어 OpenFOAM 기반으로 개발했고, 저속에서 고속에 이르는 공력해석에 적합하도록 속도-압력-엔탈피 연계 해석 방법이 적용된 솔버이다. 한국항공우주연구원 열공력팀의 협조하에 발사체 외부공력에 대한 블라인드 테스트(bechmark test)에서 개발된 LVAFoam-Aero가 기존 프로그램에 버금가는 성능을 보여주었다. [속도-압력-엔탈피 연계 해석 방법 및 이를 수행하기 위한 컴퓨팅 시스템 (10-1975919, 특허), PBConNCFD-UH (C-2019-010213, 한국저작권위원회)]
- 내부유동 (LVAFoam-Inducer): 터보펌프와 같은 회전유동에 특화된 단상 유동해석 솔버로 개발되었으며, 항공우주연구원 터보펌프팀의 협조하에 터보펌프 인듀셔 유동에 대한 블라인드 테스트에서 개발된 LVAFoam-Inducer가 기존에 활용하고 있는 프로그램과 유사한 성능을 보여주었다.

- 난류연소 (LVAFoam-Flame): 외부유동(LVAFoam-Aero)솔버에 연소반응을 해석할 수 있는 모듈을 보강하고 항공우주연구원 연소기팀에서 요청한 Flamelet을 적용한 솔버를 개발 하였다. [PBConNCFD-F (C-2018-026302, 한국저작권위원회)]

○ 사용자 환경(GUI)

- 단독 사용자환경(LVAFoam GUI): 개발된 모듈별 전용해석 솔버를 활용하기 위한 사용자 환경을 python 프로그램밍 언어로 작성하여 구축하였다. OpenFOAM과 기 개발된 솔버를 활용할 수 있도록 해석 설정환경을 제공하며 병렬 및 단독해석을 실행할 수 있는 설정도 포함되었다.
- 웹 사용자환경(LVAFoam Web GUI): 내부 또는 원격 네트워크를 활용해 연구지역 이외에서 웹 기반으로 해석을 수행할 수 있도록 웹 사용자환경을 구축하였다. 보안을 위해 지정된 사용자만 사용할 수 있도록 제한하였다. 웹기반 CFD 해석 시스템 및 그의 해석 방법, 10-2018-0159667, 출원

활용 사례

○ LVAFoam (Launch Vehicle Analysis OpenFOAM)

개발된 LVAFoam-Aero, LVAFoam-Inducer, LVAFoam-Flame은 항공우주연구원 해당팀인 열공력팀, 터보펌프팀, 연소기팀에도 프로그램 설치 및 교육을 진행하였다. LVAFoam-Flame의 경우 개발 코드 내용을 중점으로 연소기팀과 기 개발된 프로그램의 고도화를 위한 협업을 진행하고 있다.

○ LVAFoam 요소 기술의 활용을 통한 사업화

개발된 LVAFoam을 바탕으로 대우건설 “2차원 와류진동 해석 소프트웨어 개발”에 적용하여 재생산하여 개발하였고, 부산대학교 “리눅스기반 연소유동 해석 플랫폼 기능 확장”에 연소모듈과 분석도구를 의뢰받아 제작하여 납품하였다.

요소 기술인 웹 사용자환경을 바탕으로 한국조선해양 “디지털트윈 기반 배관시스템 열유동 Virtual Commissioning 자동화 플랫폼 개발”과 산업통산자원부 “중견조선소용 LNG추진 선박 및 성능 해석 시스템 개발”에 사용자 요구를 반영하여 기 개발된 웹 사용자환경을 재생산하여 개발 중에 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구에서 큰틀의 발사체 개발용 열유동수치모사 CFD 플랫폼을 기준으로 항공우주연구원 실무진과 협의를 통해 실무진이 필요로 한 해석 기법과 응용을 위한 요구 사항을 반영한 개발 플랫폼을 완성하였다. 따라서 본 과제는 상위에서 이루어지는 개발 개념보다 하위에서 이루어지는 실무진 요구사항을 반영한 자발적인 연구 개발이란 의미가 크다.

오픈소스활용을 통한 라이선스 비용 무료화 및 발사체 요소 해석 프로그램의 국산화를 달성하였고, 발사체 요소 해석 전용 사용자 환경(GUI) 확보하게 되었다. 상용 해석 프로그램 대비 사용자 요구사항에 대한 빠른 반영 및 개선이 가능하다란 점이 오픈소스를 활용한 개발의 장점이다. 또한, 다른 상용 프로그램에 없는 기능인 웹 사용자환경을 통해서 연구환경에 제약 없이 해석 수행이 가능한 특징을 가지고 있다.

활용 가능 분야

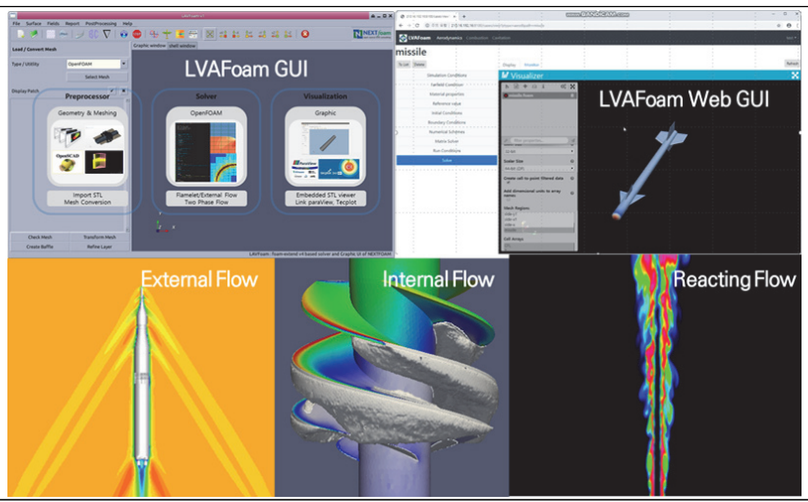
본 연구 결과는 발사체 요소 기술 해석을 위한 프로그램 개발이지만, 기본적인 전산유체해석 기능은 포함하고 있어서 활용 사례와 같이 추진 및 연소 관련 분야에서 이미 활용되고 있으며, 추후 아래와 같은 분야에서 해석용역, 특화 프로그램 개발이 가능할 것으로 판단된다.

○ 건축 및 구조물 풍해

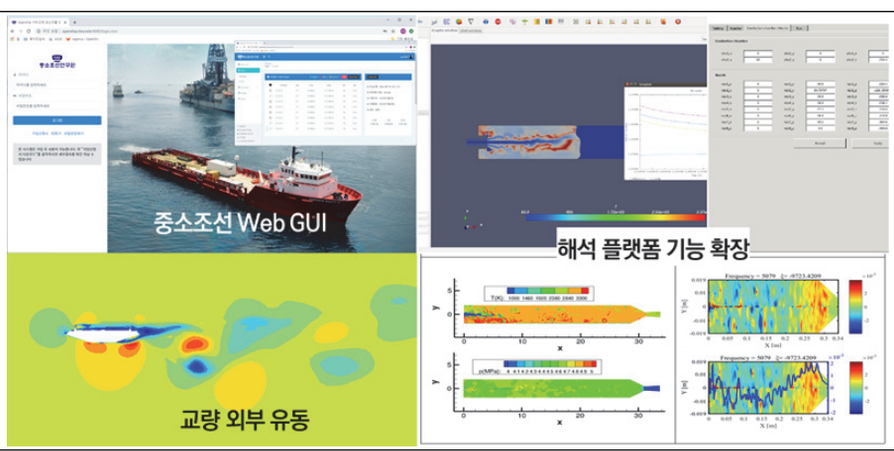
기후변화로 인해 고층건축물의 풍해가 빈번하게 발생하고 있고, 교량 또한 바람의 영향을 많이 받는 구조물이다. 바람에 대한 풍환경 및 풍하중을 LVAFoam-Aero를 통해 눈에 보이지 않는 바람의 영향을 고찰 할 수 있는 좋은 분야이다. 빌딩풍, 단지/지구의 풍환경, 건축물의 풍압/풍력, 교량의 진동과 같은 외부공력으로 발생할 수 있는 안전문제를 파악할 수 있는 좋은 도구이다.

○ 사업용 보일러 연소기 및 공기 흡입식 연소기

기존의 연소해석과 달리 LVAFoam-Flame에서 도입된 Flamelet 기법은 연소반응과 같은 상미분방정식을 매번 계산할 필요가 없기 때문에 기존 연소해석보다는 시간적 우위를 가진다. 따라서 LVAFoam-Flame을 활용하여, 산업용 가스터빈 연소기의 효율을 재고할 수 있는 해석에 도움이 될 것으로 판단된다.



▲<그림 1> LVAFoam GUI/Web 및 해석 기능



▲<그림 2> LVAFoam 성과 활용 사례

성과명	(15) 재생냉각채널에서의 열분해 연구를 통한 발사체 케로신들의 코킹 한계 파악		
주관연구기관	충북대학교	연구책임자	안 규 복
연락처	043-261-3596	이메일	kbahn@cbnu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	재생냉각, 냉각채널, 케로신, 열전달, 열분해		

상세 성과내용

연구의 필요성

재생냉각 연소기에서 케로신은 추력을 발생시키는 추진제 뿐 아니라 고온, 고압의 연소가스로부터 냉각채널로 구성된 연소실을 보호하는 냉각제 역할을 동시에 수행하게 된다. 고성능 액체로켓엔진 연소기의 열적 내구성을 보장하기 위해서는 재생냉각 기술이 필수적이며, 케로신 냉각 방식의 연소기에서는 특히 구리합금 적용 영역에서 케로신 열분해(코킹)가 발생하지 않도록 설계해야 한다.

연구 목표

케로신 재생냉각 방식 액체로켓엔진 연소기의 다양한 작동 조건에 대하여 재생냉각채널 내 케로신(Jet A-1)의 압력손실/열전달/열분해 특성을 실험적으로 확인함으로써 액체로켓엔진 연소기의 냉각설계/해석기술 향상 및 설계 최적화에 필요한 기초 데이터를 확보하는 것이다.

연구결과

본 연구개발은 세 단계로 진행되었으며, 각 단계별 연구개발성과는 아래와 같다.

○ 재생냉각채널 압력손실 특성 연구
- 수력 특성 확인을 위한 모사 냉각채널 설계 및 제작함
- 냉각채널 가공방법(cutter, endmill), 곡률(straight, spiral), 형상(너비, 높이)에 따른 수력 특성 연구 수행
- 냉각유체 종류(물, Jet A-1)에 따른 수력 특성 연구를 수행
- 재생냉각 설계/해석에 사용된 기존 마찰계수 설계식 검증/수정을 완료

○ 재생냉각채널 케로신 열전달 특성 연구
- 고압 케로신 가열 시험장치 설계 및 제작
- 열전달 특성 확인을 위한 모사 냉각채널 설계 및 제작
- 냉각유체 종류(물, Jet A-1), 가열온도, 속도에 따른 열전달 특성 연구를 수행
- 재생냉각 설계/해석에 사용된 기존 Nusselt number 설계식 검증/수정 완료

○ 재생냉각채널 케로신 열분해 특성 연구
- 열분해 특성 확인을 위한 모사 냉각채널 설계 및 제작
- 가열온도, 가열시간에 따른 열분해 특성 확인
- 케로신 종류(Jet A-1, SK 등유, YK-D80N)에 따른 코킹 발생 한계 확인

활용 사례

본 연구결과를 바탕으로 한국항공우주연구원에서는 기존 Jet A-1을 대체할 새로운 발사체 연료를 액체로켓엔진 연소기 시험에 사용하여 점검하고 있으며, 본 연구결과의 중요성을 인지하여 한국항공우주연구원 한국형발사체개발사업 예산에서 3년(2019 ~ 2021) 간의 후속 연구를 지원받고 있다. 국방과학연구소에서는 많은 무기체계에 케로신 연료들을 사용 중이며, 이와 관련 2년(2020 ~ 2021) 간의 용역과제를 수행하고 있다.

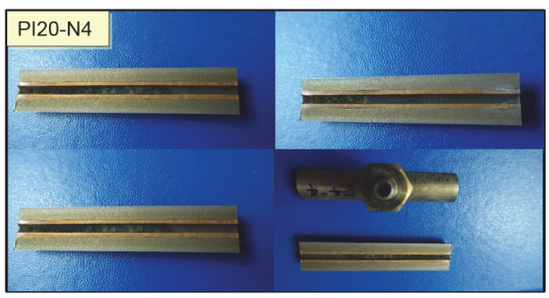
기존지식/ 기술대비 차별성

케로신 종류(Jet A-1, SK 등유, YK-D80N)에 따른 코킹 발생 한계 시험을 수행하여, 방향족(aromatic) 성분, 황(sulfur) 성분이 열분해에 어떠한 영향을 주는지 확인한 것이다. 이를 통해 코킹 물질을 분석하여, 주어진 온도 범위에 따라 방향족에 의한 코킹인지 황에 의한 코킹인지를 파악한 것이다.

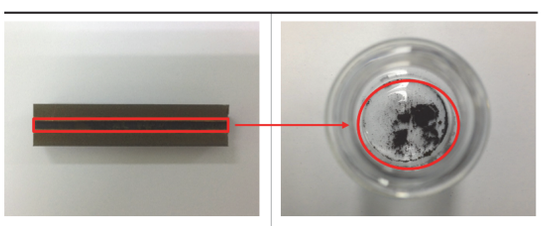
활용 가능 분야

본 연구개발결과는 현재 진행 중인 한국형발사체 및 후속 발사체용 액체로켓엔진 연소기 재생냉각채널 설계/해석에 직접 적용이 가능하며, scramjet, ramjet, gas turbine 등 케로신을 이용하는 군수무기 개발에도 좋은 설계 자료로 활용될 수 있다. 연구개발 과정에서 습득된 고압 연료가열 시험장치는 향후 메탄엔진 개발 등에서도 활용될 수 있을 것이다.

향후 한국형발사체 개발용 통합 프로그램 개발 및 사용자 환경 구축이 진행될 수 있으며, 여기에 매우 중요한 실험 데이터로 활용될 수 있다. 국내에 액체로켓엔진 재생냉각 연소기의 열전달을 수치적으로 연구하는 연구자들에게 좋은 참고자료로 활용될 수 있다.



▲<그림 1> 3차 케로신 열분해 시험 후 절단 사진



Test specimen | Collected coking material

Material	Coking	Jet A-1
C (wt%)	1.4	85.5
H (wt%)	0.2	14.5
N (wt%)	0.0	
S (wt%)	11.7	

▲<그림 2> 3차 케로신 열분해 시험 후 코킹 성분 분석

성과명	(16) 범용 우주발사체 비행 분석 소프트웨어 연구 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	안 재 명
연락처	042-350-3730	이메일	jaemyung.ahn@kaist.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	발사체 설계, 비행 분석, 범용 소프트웨어, 의사결정 지원, 케이스 스터디		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주발사체 설계 역량 제고를 위해 다양한 발사체의 모델링 및 비행 정보 시뮬레이션, 체계적인 분석 궤적/성능최적화, 연관된 다양한 발사체 연구개발 업무를 지원하는 범용 성능 해석 소프트웨어의 필요성에 따라 연구를 수행하게 되었다.

연구 목표

다양한 발사체 연구개발 업무의 지원이 가능하고 세계 수준의 수월성을 갖는 발사체 비행 분석 소프트웨어의 획득 및 성능 검증을 통해 국가 우주 개발 프로그램의 주요 의사 결정을 지원하고, 개발된 소프트웨어 보급 및 교육 활용을 통한 발사체 기술 관련 관심 고취, 저변 확대, 관련 인력 양성 등을 연구목표로 수행하였다.

연구 결과

본 연구를 통해 범용 발사체 비행 분석 소프트웨어 핵심모듈 및 응용모듈을 개발하였고, 각종 케이스 스터디 수행(한국형 발사체 활용, 복수위성 궤도 투입 등) 및 관련 연구과제 지원활동을 수행하였다.

활용 사례

본 연구결과를 기반으로 항공우주공학 교육에 활용하였으며, 정지궤도발사체의 국내독자개발 타당성 연구 등의 연구활동에도 적용된 바 있다.

○ 학부생들의 항공우주공학 교육 활용
연구/개발 결과물인 범용 비행 분석 프로그램의 큰 목적 중 하나인 교육 활용 활동으로, 지금까지 개발된 기본 시뮬레이션 모듈을 학생들의 교육에 사용 중이다.
※ AE200 기초우주프로젝트 (KAIST 학부 2학년) /
AE401 항공우주시스템설계 II (KAIST 학부 4학년)

○ 타 연구/개발 사업 활용
"과학로켓센터 건립 및 운영방안 수립", "정지궤도발사체의 국내독자개발 타당성 연구", "달 탐사선용 발사체 상단 시스템 구성안 개념 설계", "우주 물체의 낙하점 및 분산 영역 예측 연구"

기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구는 기존 기술대비 다양한 우주발사체에 대해 Flexible한 모델링 및 시뮬레이션/최적화가 가능하며, 모듈 형태의 개발 통해 설계의 다양한 단계에 적용 가능한 범용성을 확보하였으며, 실제 우주발사체 운용 상황을 반영한 다양한 Case Study를 수행하였다.

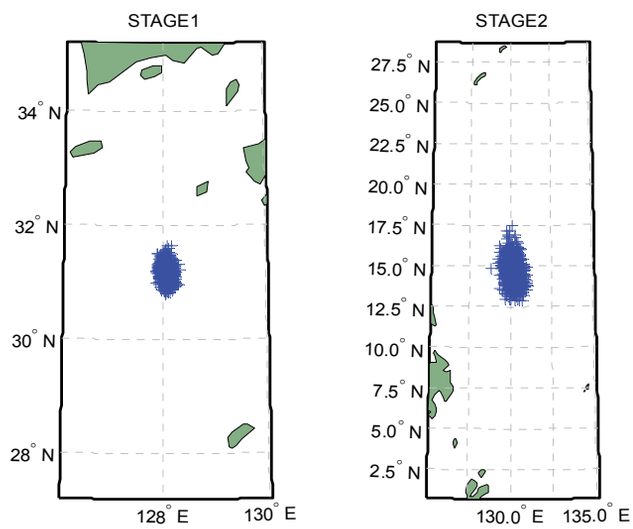
활용 가능 분야

○ 산업적 측면

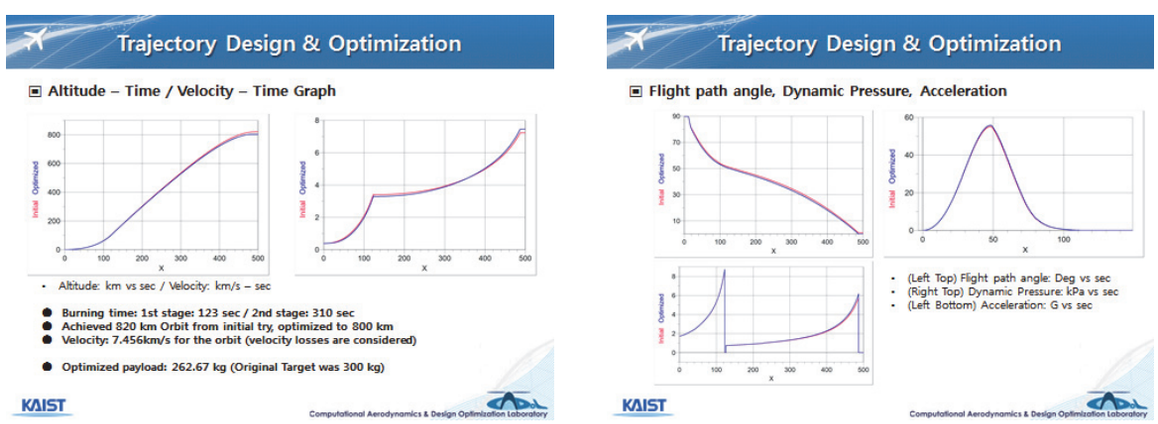
해당 기술 획득 통해 발사체 설계 효율성/체계성 측면의 역량을 강화하였으며, 국가 우주 기술전략 의사 결정을 지원하기 위한 틀 제공 및 완성된 소프트웨어를 통해 기술 저변 확대와 인력 양성 효과가 기대된다.

○ 기술적 측면

비행안전 분석 역량 강화 및 위험 분석과 연계한 비정상 비행 분석 등의 신기능 개발 및 적용을 통해 진보된 형태의 범용 비행 분석 소프트웨어를 획득하여 국가 우주개발 프로그램에 기여할 수 있다.



▲<그림 1> 개발된 비행분석 소프트웨어 모듈 중 Stochastic simulation 결과



▲<그림 2> 개발된 소프트웨어를 활용한 AE400 수업 발표 자료(Final Presentation)

성과명	(17) 초 고온 내열성을 가지는 항공우주용 접착소재		
주관연구기관	인천대학교	연구책임자	안 호 선
연락처	032-835-8668	이메일	hsahn@inu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	접합소재, 고내열성, 고열전도도, 변성실리케이트, 그래핀필러		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 소재로서의 고내열 성능은 필수요소이기에 우주 산업용 소재들은 고내열성을 위해 합금, 복합재료 같은 재료의 혼합을 통해 물성을 강화하였다. 하지만 발사체 및 선체에 적용되는 접착 소재의 경우 Epoxy계, Silicon계, Polyimide계, Phenolic계, Polyurethane계 등이 사용되지만 모든 소재의 실제 가용온도가 300℃ 미만이라 우주산업에서 요구하는 가용온도 범위에 못 미치고 있는 것이 현실이다. 실리 케이트계 소재의 경우에는 가용온도가 1300℃로 고내열, 고강성의 물성을 보유하고 있다. 또한, 간편한 공정으로 인해 경제적인 이점 등 우주산업에서 요구하는 물성값을 지닌 최적의 소재라고 판단되어 본 연구진은 변성 실리 케이트기반 고내열 접착제를 개발하고자 하였다.

연구 목표

본 연구는 우주항공용 고내열 열 전도성 접합 소재에 대한 기초기술 개발을 그 목적으로 한다. 이를 위해 내열에 적합한 실리 케이트 기반 접합 소재를 개발하고, 그래핀 필러를 분산, 수평 방향으로 배향하는 메커니즘을 연구하며, 최종적으로 고온 저압 상황에서의 물성 평가를 통해 우주항공용 접합 소재로써 적용성 평가를 수행하였다.

연구결과

본 연구성과는 기존 항공우주 강재용 접착 소재의 낮은 내열성(약 300도) 문제를 해결하였다. 동 연구는 내열성 측면에서 강점을 가지는 무기물 기반 접착 소재인 변성 실리 케이트를 이용하며 무기물 기반 접착제의 단점인 낮은 접착력을 접착 방법개선 및 필러 배합을 통하여 1300도 이상의 내열성을 가지며 38MPa의 접착력을 가지는 접합 소재를 개발하였다. 고온 내열성을 가지면서 강재용 접합 소재로 이용이 가능한 접합강도를 가지는 접착 소재로서 고온 상황에서 접합이 필요한 산업 분야에 다양하게 사용 가능한 점에서 큰 의미가 있다.

활용 사례

○ 대기권 재진입(약2500℃) 시 고내열성의 세라믹 기반의 내열 타일을 선체표면에 접착하여 고온으로부터 선체를 보호하는 TPS(Thermal Protection System)에 현재 사용 중인 접착 소재를 대신하여 사용한다면 내열성 측면에서 강점을 가질 수 있다.

○ 고 열전도성 내열 접착 소재는 우주항공 분야를 상정한 기초 소재 시장뿐만 아니라 가스터빈, 터보차저, 폐열회수 시스템과 같은 고내열성이 요구되는 분야에서 활용할 수 있으며, 기술전파를 통해 관련 산업으로의 기술적 경쟁력 향상에 이바지할 것이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

기존 우주 항공 산업용 접착 소재는 강력한 접합강도를 가지고 있었으나 내열 온도가 높지 않아 실제 산업현장에서 사용하기에 문제점이 있었다. 본 연구의 성과는 1300도 이상의 내열 온도를 가지면서 38MPa 이상의 강력한 접합강도를 가지는 접착제를 개발하여 고온 산업 전반에 걸쳐 사용 가능한 접합 소재를 개발하였다.

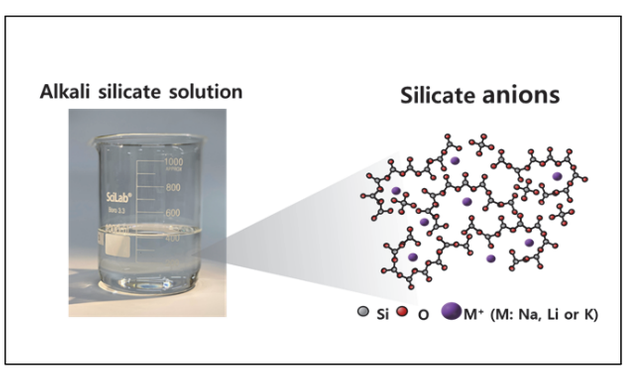
활용 가능 분야

○ 우주발사체 선체의 내열 시스템이 요구하는 접착소재의 내열성능 및 안정성 향상을 위한 열전도 필러 배향기술 개발을 통해 향후 궤도 재진입용 및 행성 탐사용 우주발사체가 요구하는 기초 소재에 대한 원천기술 확보

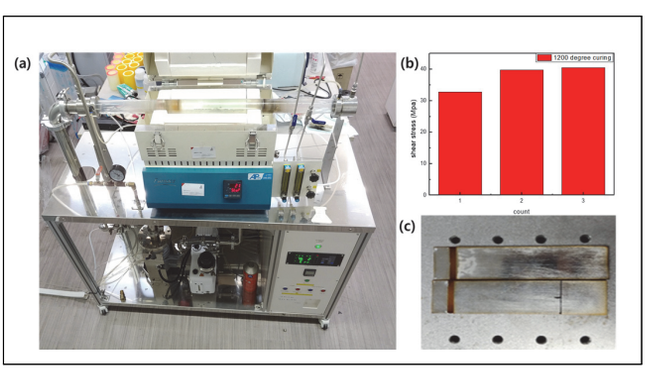
○ 변성 실리 케이트 소재 내 저차원 필러의 배향 제어 메커니즘을 통해 다양한 필러 배합을 통한 접착 소재의 기능화 연구의 기술적 토대 마련

- 위성체의 태양전지 집광 효율을 위한 반사방지 코팅, 대전 방지 코팅, 전자파 차폐 코팅(EMI shieding coating) 등

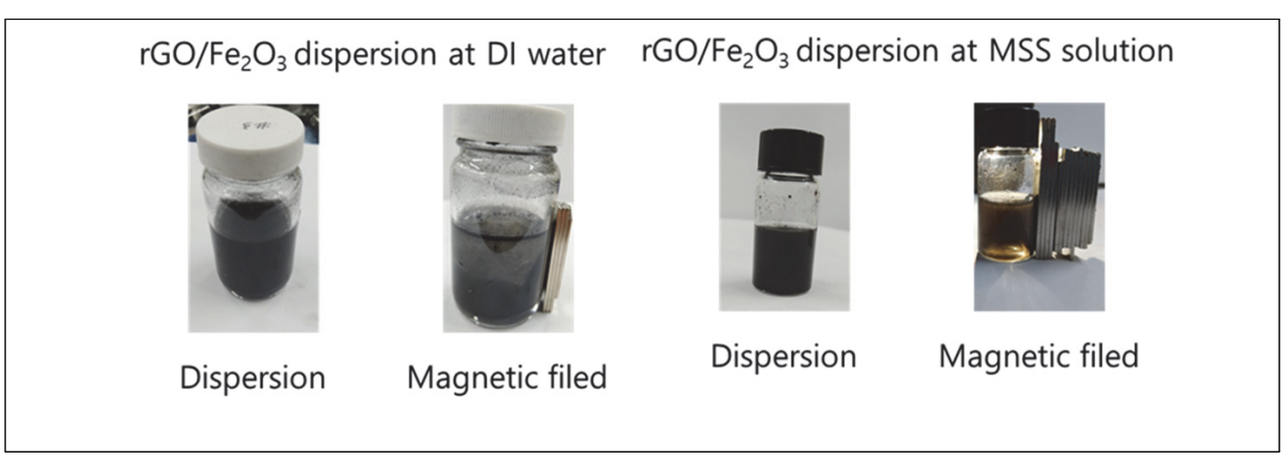
○ 우주개발 산업의 기초 소재 중 하나인 내열 소재에 대한 국가 기술 자립도 향상 및 기초 소재 산업화에 대한 기술적 지원



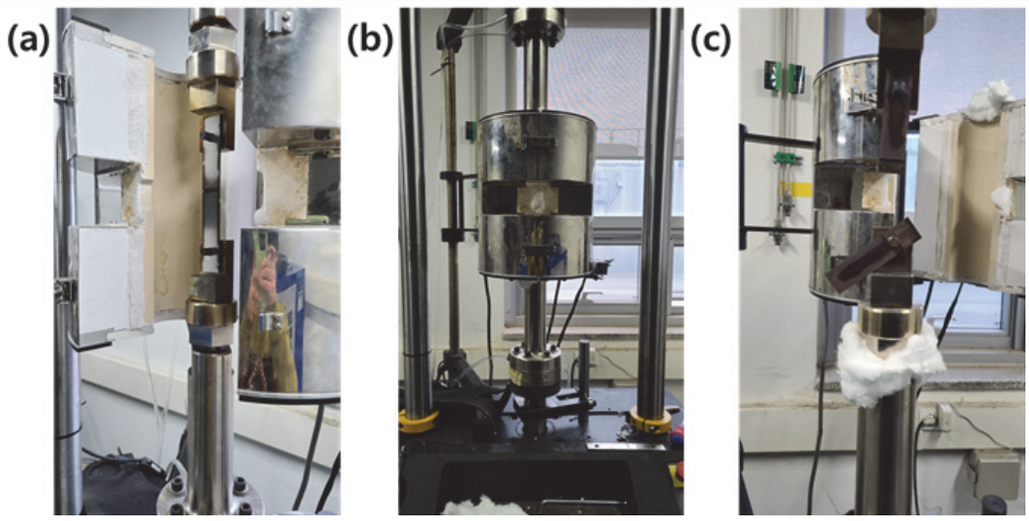
▲<그림 1> alkali silicate 용액



▲<그림 2> (a) 고진공 튜브 전기로, (b) 고온 경화 후 경화 후 전단 강도, (c) SUS304의 고온 경화 후 시편의 표면 사진



▲<그림 3> rGO/Fe_2O_3 powder의 DI water, MMS solution에 대한 분산 및 자기장에 따른 배열



▲<그림 4> 고온 환경에서의 전단시험 (a) 인장 지그에 체결된 인장 시편, (b) 인장 시험 중 분위기 온도를 가열하는 전기로, (c) 고온 인장 시험이 끝난 후 인장 시편

성과명	(18) 제트 소음 해석을 위한 고차-고해상도의 강건한 수치해석 기법 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	이 덕 주
연락처	010-5451-3716	이메일	djlee@kaist.edu
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	고차-고해상도, 수치해석 기법		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 발사체 발사 실패의 주요 원인 중 하나는 제트 소음에 의한 제어전자장비의 파손이다. 제트에 의한 공기 중의 진동이 발사체 표면 및 제어부에 가진을 주게 되므로, 제트 음향의 발생과 전파에 대한 이해가 필요하다.

소음의 발생에 대한 메커니즘 이해와 소음 예측을 위해서는 주로 '시뮬레이션'이 사용되는데, 기존의 전산유동해석기법(CFD)으로는 작은 크기의 소음을 해석하기 어렵게 되므로, 매우 높은 정확도의 해석 기법을 필요로 하게 된다.

연구 목표

우주 발사체의 제트에 의한 공기 진동 발생에 대하여 수치적으로 예측하기 위한 전산공력음향(CAA:Computational Aero-Acoustics) 알고리즘을 개발하고자 하였다. 기존에 이미 개발된 고차-고해상도 수치기법이 몇몇 존재하지만, 유속이 빠르고(초음속) 높은 에너지를 가지는 발사체의 제트를 해석하기에는 수치기법 계산이 발산하기 쉽다. 그러므로 본 연구에서는 특별히 고온/고속 유동에서 발산하지 않는 수치기법 개발을 목표로 하여, 제트와 제트로 인한 작은 음향 에너지를 효율적이고 효과적으로 계산할 수 있도록 하였다.

연구결과

○ 수학적으로 최적화 기법을 도입하여 수치기법에 사용되는 상수를 특별한 값으로 유도하여 매우 높은 해상도 특성을 가지는 수치기법을 유도하였다.(그림 1)

○ 높은 정확도로 소음을 해석할 수 있을 뿐만 아니라, 급격한 물리량의 변화를 가지는 충격파에서도 안정적인 해석이 가능하여, 충격파가 존재하는 제트 유동 및 이로인해 발생하는 소음을 모두 해석하기에 적절한 수치기법이 개발되었다.(그림 2)

○ 마하수 2.3의 제트의 경우 NASA에서 수행한 실험의 결과와도 잘 일치할 뿐만 아니라, 높은 주파수 영역대 (30,000 Hz)까지 좋은 결과를 보여주었다(그림 3). 또한 특히 다발의 발사체 상황에서는 단발의 발사체와 다른 공명에 의한 특정 주파수의 현상도 해석이 가능하였다.(그림 4)

활용 사례

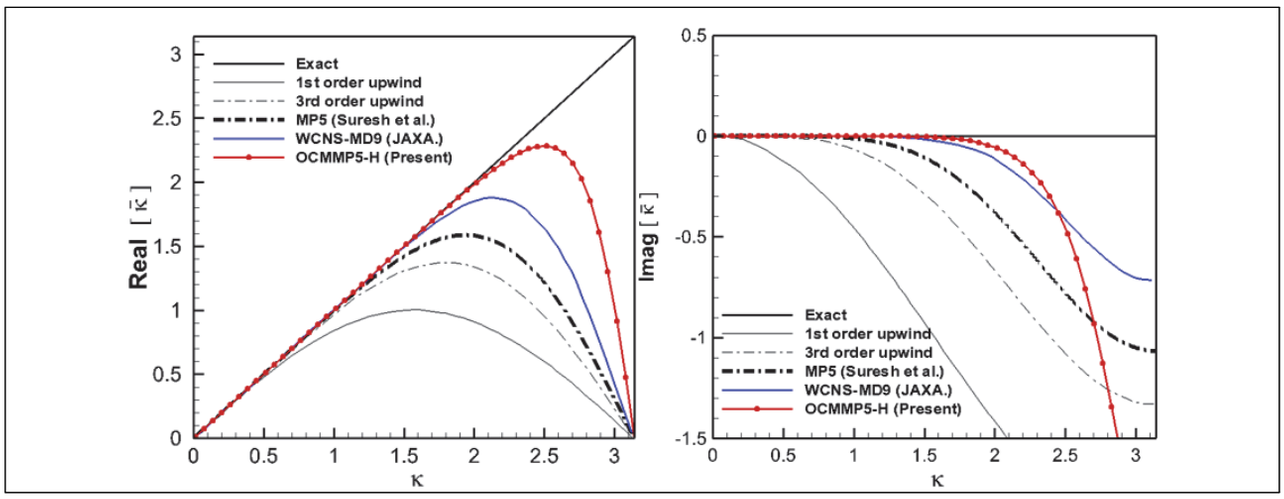
발사체 제트에 의한 소음은 발사체 표면에 음향하중으로 작용하여 구조 물 및 전자장비의 파손을 가져올 수 있다. 제트 해석을 통해 발사체의 페어링에 도달하는 압력또한 계산이 가능하였다.(그림 5) 발사체 뿐만 아니라 고속 전투기 제트에 의한 전투기 표면 음향하중 계산에도 사용이 가능하다.

기존지식/ 기술대비 차별성

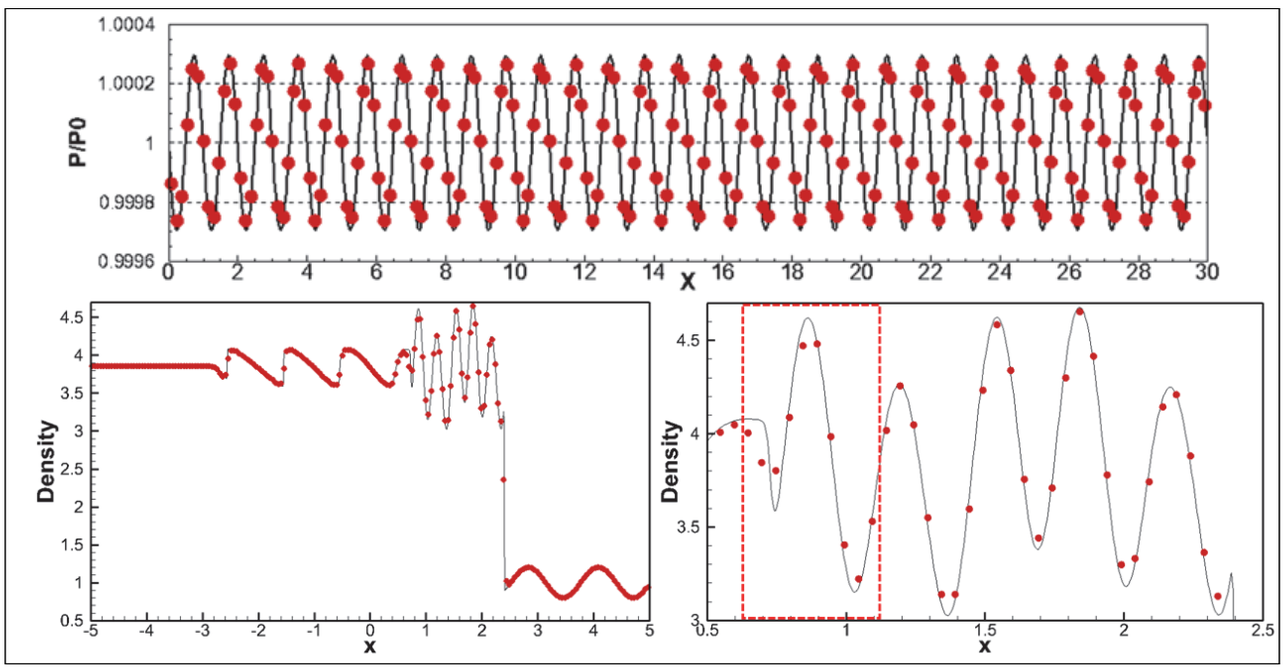
새로운 수치해석의 개발로 고온/고속의 제트 그리고 다중 발사체에 의한 제트 유동 및 소음예측이 가능하게 되었다. 고차-고해상도 특성을 통해 음향을 정확하게 해석할 수 있을 뿐만 아니라 이러한 소음원에 의한 원거리 그리고 물체 표면에 산란, 회절에 의한 표면 음압도 계산이 가능하였다.

활용 가능 분야

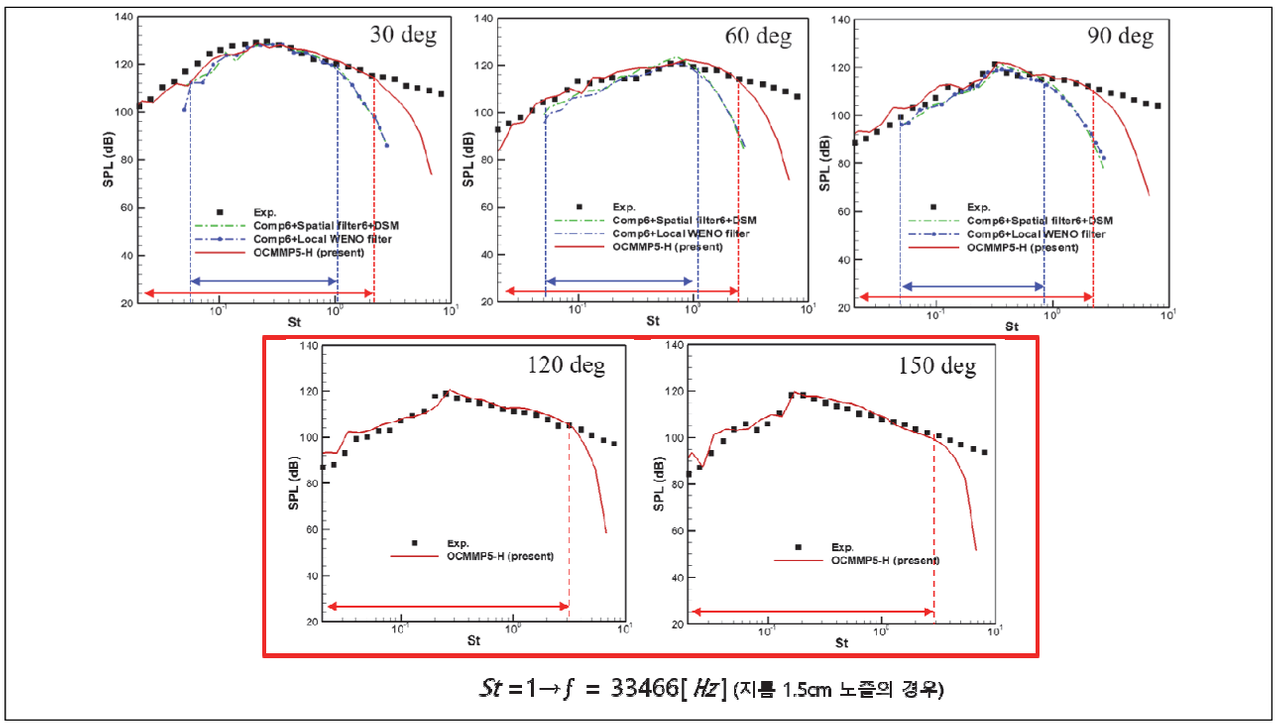
국내에서는 나로호를 성공적으로 발사하였으며, 누리호 발사체가 현재 개발진행중에 있다. 특별히 누리호는 4개의 발사체가 클러스터링이 되어있는데, 개발된 수치기법은 이러한 다발 노즐의 해석에 적절히 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 본 연구에서 개발한 수치기법은 초음속뿐만 아니라 아음속 영역도 모두 계산 가능한 수치기법이며, 유동 소음 분야에 다양하게 적용될 수 있을 것이다.



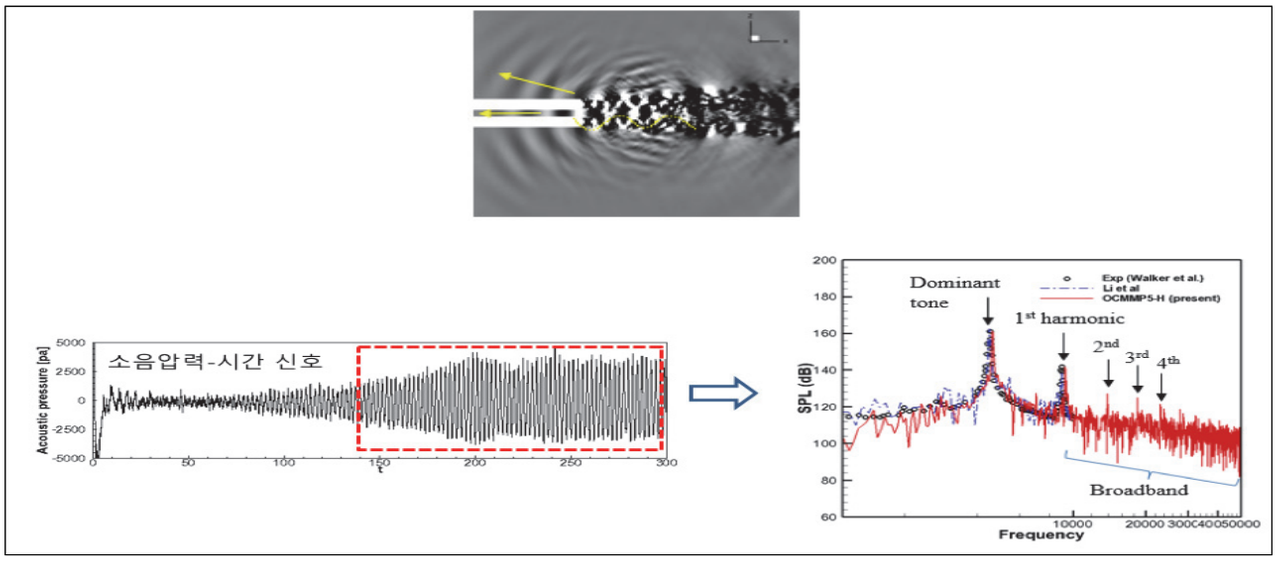
▲<그림 1> 새롭게 제안된 수치기법의 해상도 : (red line) 개발된 수치기법



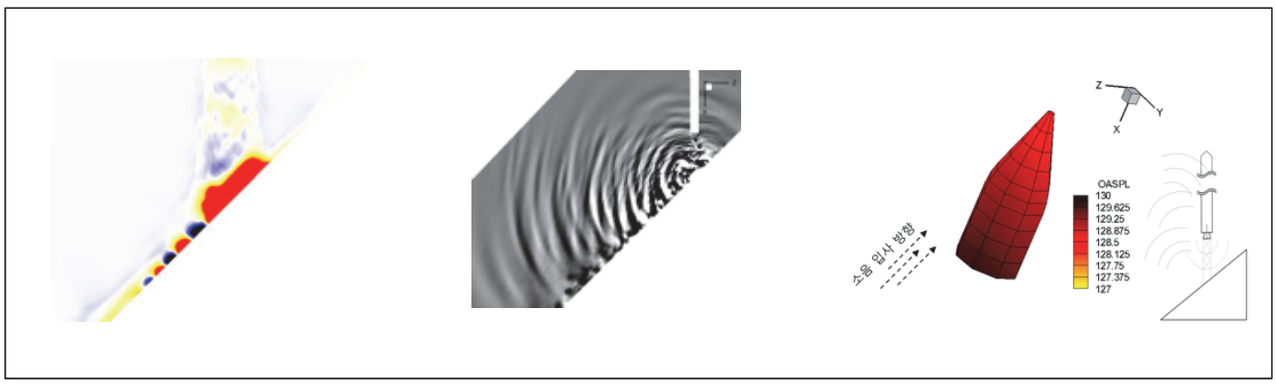
▲<그림 2> 1차원 수치해석 Test : (위) 소음전파해석; (아래) 충격파-엔트로피파 간섭해석



▲<그림 3> 새롭게 제안된 수치기법의 해상도: (red line) 개발된 수치기법



▲<그림 4> 트윈제트 해석 예



▲<그림 5> 발사체 수치해석 예 : (위) 디플렉터를 고려한 발사체 제트 소음 해석; (아래) 페어링에 도달하는 소음압력

성과명	(19) 다단연소사이클 엔진 주연소기 요소 제작 기술 개발		
주관연구기관	㈜비츠로넥스텍	연구책임자	이 병 호
연락처	031-489-2110	이메일	rheebh@vitzrotech.com
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	다단연소사이클엔진, 내산화코팅, 내열도금, 금속3D프린팅		

상세 성과내용

연구의 필요성

달탐사선 발사 등의 고성능 발사체에 적용되는 다단연소사이클 엔진의 주연소기를 제작하기 위해, 해외 선진 기술을 바탕으로 핵심 요소기술을 선행 개발하여, 향후 고성능 발사체 엔진 개발 기술 기반 확보의 필요에 따라 연구과제를 수행하였다.

연구 목표

본 연구를 통해 내산화코팅 공정 개발, 내열 도금 공정 개발 및 금속 3D 프린팅을 적용한 헤드 제작 공정을 개발하는 것이다.

연구결과

내산화코팅 공정기술, 내열 도금 공정기술, 금속 3D프린팅 부품 적용 공정 개발하였으며, 다단연소사이클 엔진 주연소기에 적용하여 연소시험을 통한 성능검증을 완료하였다.

활용 사례

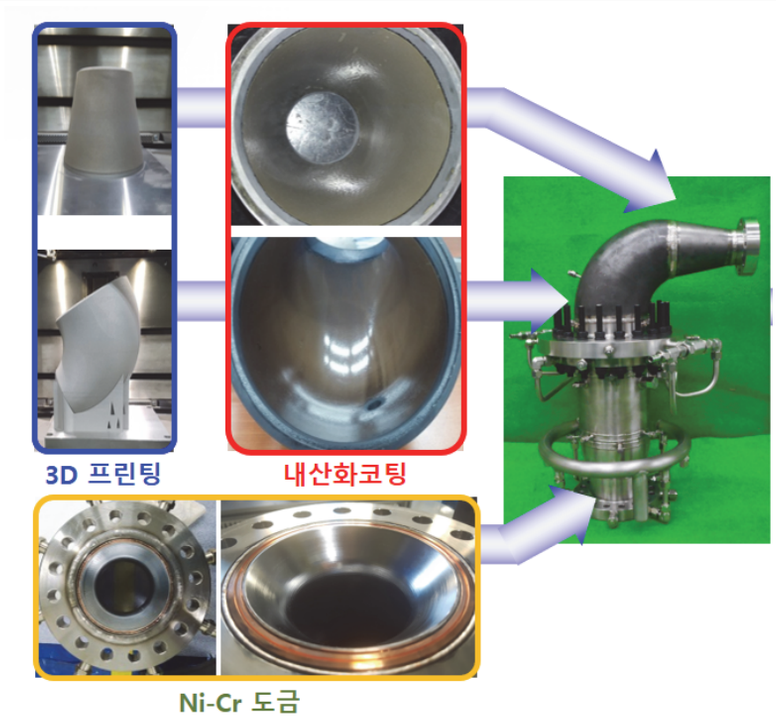
항공우주연구원에서 개발 중인 다단연소사이클 엔진 실물형 연소기에 본 기술 전체를 적용하여, 연소기제작을 계속 수행하고 있으며, 한국형발사체 후속사업 엔진용 고압 연소기 개발에 내열도금에 적용 및 소형 메탄 엔진 개발에 금속 3D 프린팅 연소기 개발에 적용하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

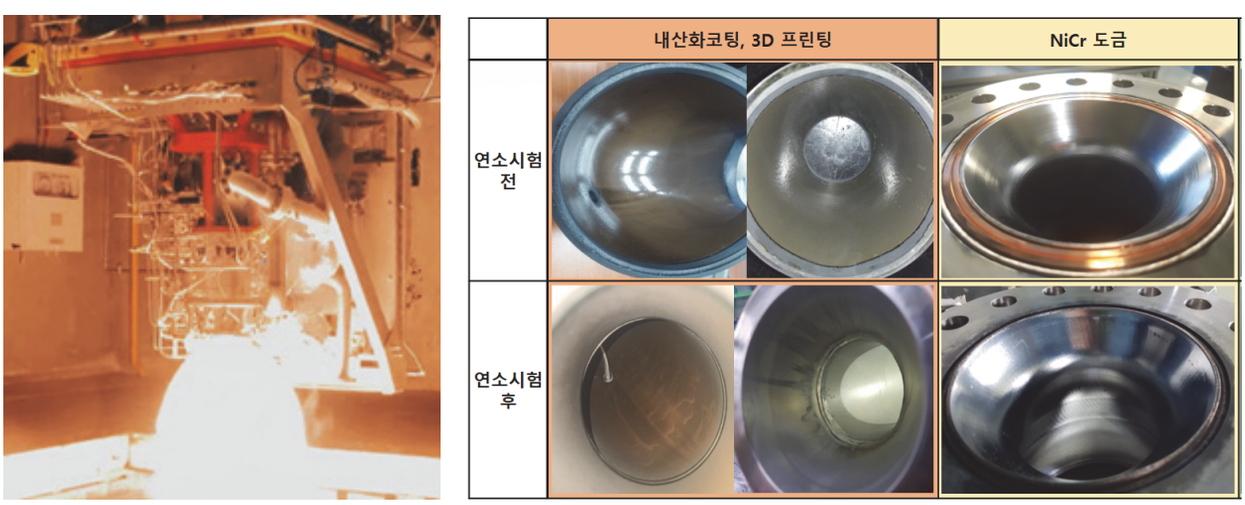
발사체 연소기에서 요구하는 조건(내산화코팅, 내열도금)은 일반 산업계에서 사용되는 기술보다 매우 높은 신뢰도(고온 고압)를 요구함에 따라, 실제 해외 우주선진국에서 적용하고 있는 기술을 기반으로 국산화 기술개발을 추진 (발사체 전용 기술로 개발)하고 있는 상황이다. 발사체 엔진 주요부품의 금속 3D 프린팅 적용은 소형/저비용 발사체의 New Space 트랜드에 따라 비약적으로 증가하고 있으나, 반드시 엔진 연소시험을 통해서 검증되어야 하며, 본 과제로 개발된 금속 3D 프린팅 부품이 적용된 연소기는 엔진 연소시험으로 검증되어 활용성이 높은 기술이다.

활용 가능 분야

본 연구의 결과물인 내산화코팅 기술은 고온 산화분위기에 노출되는 극한환경 제품 (가스터빈, 발전소)에 적용이 가능하며, 내열도금 기술은 내열과 내구성을 모두 필요로 하는 고온환경 제품 (고온프레스)에 적용이 가능하다. 금속 3D 프린팅 기술은 발사체 액체로켓 엔진 및 열교환기에 활용이 가능할 것으로 기대된다.



▲<그림 1> 다단연소사이클 엔진용 주연소기에 적용된 과제 기술 내역



▲<그림 2> 다단연소사이클 엔진 연소시험을 통한 요소기술 성능 검증(연소시험 : 한국항공우주연구원)

성과명	(20) 레이저 충격파 기반 발사체 파이로 충격파 전파 고속 가시화 시작품 개발 및 충격 저감구조 연구		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	이 정 률
연락처	042-350-3728	이메일	leejrr@kaist.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	화약폭발유도충격파, 레이저충격파, 비접촉 가진, 비접촉 센싱		

상세 성과내용

연구 필요성

화약 분리 장치의 작동으로 발생되는 파이로 충격파는 매우 짧은 작동 시간동안 분리장치의 종류에 따라 1 MHz 이상의 고주파 영역에서 매우 큰 가속도 값을 갖는다. 이러한 충격파들은 구조물을 따라 전파하며 발사체 내부 또는 위성에 장착되어 있는 전자 탑재물의 기능을 비정상적으로 작동시키거나 오작동을 유발하게 된다.

이러한 충격파의 정확한 측정 및 전파특성을 시뮬레이션 하는 기술들이 많이 연구 되고 있다. 하지만 충격파 계측에 있어 접촉형 가속도계를 사용할 경우 굴곡진 표면에서 측정이 불가능 하거나 혹은 10 kHz 이상의 주파수 성분의 측정이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그리고 수치해석 (유한요소해석)을 통해 충격파 전파 양상을 가시화 할 수 있지만 계산 시간이 오래 걸리며 평판 혹은 실린더 등 간단한 구조서만 가능하다는 단점을 가지고 있으며 정량적 시뮬레이션을 위해서는 측정값을 모델 입력값으로 사용해야 하는 경우가 대부분이다. 또한 전파 중 반사파 및 회절파등과 간섭을 일으키기 때문에 소스가 다수이거나 소스가 연속적일 경우(예, 선형화약) 수치해석이 현실적으로 어렵다. 특히, 실구조에 적용하고자 할 때는 체결기구, 용접부위, 재료변화계면, 형상변화 등이 존재하여 사실상 다채널 가속도 센서 시스템을 이용한 실험적 분석에 의존할 수밖에 없다.

이에 본 연구에서는 레이저빔의 Q-switching 기술을 이용하여 파이로 충격파를 모사하고 실구조에 레이저빔 스캐닝을 수행하여 복잡한 형상 및 재료로 구성된 발사체의 서브시스템(subsystem)에서 실험적으로 획득된 파이로 충격파를 복원하여 전파 동영상으로 제시할 수 있으며 폭발과 관련된 다양한 변수들을 변화시키며 전파 동영상을 simulation 할 수 있는 HW 및 SW를 세계 최초로 개발하고자 한다.

연구의 목표

레이저충격파의 훈련 및 변환을 통해 발사체 파이로 충격파 전파를 고속 가시화하는 시작품을 개발하고, 이를 적용하여 복잡한 발사체 실구조 Sub-system에서 파이로 충격파의 전파 양상 및 가속도 전달을 정량적으로 제시·평가하여 충격 저감 구조 설계에 활용될 수 있음을 보인다.

연구결과

○ 발사체 파이로 충격파 전파 고속가시화 시작품 개발

레이저충격파를 활용하기 위해 레이저충격파와 다양한 소스의 구조충격파의 비교연구가 수행되었다. 점형화약에 의한 폭발유도 충격파의 비접촉/원거리 계측 시스템을 구축하여 계측하고, 이를 기반으로 레이저충격파를 폭발유도충격파로 변환하는 기술을 개발하였다. 이 후, 시스템을 확장하여 선형화약 폭발유도 충격파를 시뮬레이션 하기 위한 다점동시 센싱 하드웨어를 개발하였다. 넓은 영역에서 고속으로 레이저충격파를 시뮬레이션하기 위한 레이저충격파 생성/제어/수집 동기화 시스템이 구축되었으며, 레이저 시뮬레이션과 동시에 충격파 전파 가시화 결과를 제시할 수 있는 시작품을 개발하였다.(그림 1)

○ 시작품 적용: 충격저감 구조연구

폭발볼트의 체결위치에 따른 충격파 전파를 가시화 하고 저감 구조에 대한 연구를 수행하였다. 충격절연재료 및 체결방식을 달리 하여 다양한 조건에서 충격파의 저감 영향을 시뮬레이션 및 가시화하였으며,

payload bay와 payload attach fitting(PAF)를 모사한 축소 구조에서 충격파 전파를 가시화하여 실구조에서도 높은 신뢰도를 갖는 시뮬레이션 결과 획득이 가능함을 보였다.

활용 사례

본 과제를 통해 개발된 시작품과 시작품을 이용하여 수행된 충격파 저감 구조 연구를 계속하여 ㈜한화에서 개발하는 충격 저감 파이로 장치 개발(과제명: 저충격 PMD 충격해석 및 계측기법 개발)에 활용하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

미국 Jet Propulsion Laboratory에서는 기계적 충격파 생성기법으로, slug 충돌을 이용한 실험적 모사 장비를 개발하였지만 충격파를 실 구조에서 예측할 수 있거나 충격파의 전파를 가시화하는 기술은 보유하고 있지 않다. 이에 본 연구에서는 레이저빔 펄스가 생성에 낼 수 있는 가속도는 1 g 정도에 불과하지만 수십 MHz까지 모든 주파수 성분을 가질 수 있어 레이저빔 펄스로 가진하고 전파 속도를 지배하는 주파수 범위 및 가속도의 크기와 관련된 전파거리에 대한 감쇠 특성을 주파수 영역에서 분할 매칭시켜 폭발유도 충격파의 Shock Response Spectrum과 시간영역 신호를 정량적으로 복원할 수 있음을 세계 최초로 확인하였다. 나아가 레이저빔을 레이저 거울로 스캐닝하여 충격파 전파 영상을 가시화하는 기술을 개발하였다. 충격파 전파 영상의 가시화는 레이저빔 조사가 가능한 대상체의 모든 지점에서 pyroshock을 가속도 단위로 정량적으로 예측할 수 있음을 의미한다.

활용 가능 분야

본 연구에서 개발된 장비는 세한된 숫자의 계측지점에서 획득한 폭발유도 충격파를 활용하여 구조 전체에서 가속도의 예측하고 가시화 할 수 있는 장비로, 발사체 구조에서 파이로장치에 의해 전파되는 충격파의 전파경로나 전달량 등을 규명하여 보다 높은 안전성을 갖는 발사체 구조 설계에 기여할 수 있다. 발사체에 탑재되는 위성체를 포함하여 각종 탑재장비에의 충격파영향을 평가, 분석에 활용 가능하며 새로 개발되는 파이로장치 표준 성능평가 장비로써도 활용이 가능하다. 또한 파이로 충격파 관련 전문인력 양성 및 재교육을 위한 Demonstrator 등으로도 활용하여 전문인력 양성에도 기여 할 수 있을 것으로 보인다.

▲<그림 1> Noncontact explosive-induced shock measurement system and multipoint simultaneous laser shock sensing system

성과명	(21) 후방분사를 적용한 하이브리드 로켓의 연소모델링 연구		
주관연구기관	건국대학교	연구책임자	이 창 진
연락처	02-450-3533	이메일	cjlee@konkuk.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	하이브리드 로켓, 난류 연소, 연소 불안정성, 후방 분사, LES		

상세 성과내용

연구의 필요성

하이브리드 로켓은 고체로켓과 액체로켓의 장점을 결합한 형태로, 선진국을 비롯한 여러 나라에서 개발이 이루어지고 있으나, 국내에서는 상대적으로 연구개발이 활발하지 않다. 향후 하이브리드 로켓을 활용한 발사체, 미사일 등의 필요성이 보다 확대될 것이며, 미사일 기술 통제 체계 등에 의해 국가 간 기술 이전이 원천적으로 불가능하므로, 자체적인 개발이 시급하다.

하이브리드 로켓에서의 후방 연소 기술은 하이브리드 로켓의 성능을 향상시키기 위한 연료 성능 변경 및 연료 형상 변경 이외의 로켓 구성을 바꾸므로 해서 성능을 향상시키는 새로운 개념의 기술이다. 따라서 본 연구에서는 후방 연소 기술을 확립하기 위한 여러 기초 연구가 이루어지며, 최종적으로 각 단계를 고려한 최적화 과정을 통해 후방 연소를 적용한 하이브리드 로켓의 성능 향상 연구개발을 수행하였다.

연구 목표

본 연구는 먼저 1차 연소에 필수요소인 농후연소 가스를 생성함과 더불어 효율적인 목표 수치를 달성하고, 1차 연소에서 생성된 농후연소 가스를 이용하여 2차 연소 장치를 구성 및 2차 연소를 효율적으로 진행하여 하이브리드 로켓의 성능향상을 확인을 목적으로 한다.

연구결과

Fuel center/ Oxidezer annulus type의 인젝터 형상을 사용한 시험조건에서 산화제/연료 속도 비, 모멘텀 비가 감소함에 따라 연소성능이 향상되었으며, 충돌각은 30 deg.에서 가장 높은 연소성능을 갖는 것으로 확인하였다. 모델링 결과를 이용해 최적화 형상 및 시험조건을 확인하였으며, 이는 충돌각 30 도, 모멘텀 비 0.08에서 이론적으로 95% 이상의 연소효율을 가졌다.

AP 15 wt% 까지 첨가 시 하이브리드 로켓 연소특성인 압력에 대한 연소특성 변화 없음을 확인하였으며, O/F variation 1.01 수준까지 억제되었다(1% 변동). AP 및 Boron을 연료에 첨가함으로써, 비추력 향상을 확인하였으며, 이에 기존 하이브리드 로켓의 연소성능과 동일한 수준의 성능을 유지하면서 연소 중 O/F 변화에 따른 추력손실을 방지 할 수 있어 더 높은 시스템 성능을 가질 것으로 판단된다.

하이브리드 로켓에서 발생하는 불안정연소는 상대적으로 높은 당량비 및 짧은 후연소실 챔버 길이에서 나타남을 확인하였으며, 불안정연소 발생은 고주파수 (500 Hz) 압력/연소 진동의 결합 상태와 직접적으로 연관이 있으며 양의결합일 때만 불안정연소가 발생함을 확인하였다. 이때 당량비는 위 두 고주파수 진동의 결합상태를 바꾸는 중요한 인자이며, 당량비 변화를 통해 결합 상태를 변경하고 나아가 불안정연소 발생을 회피할 수 있음을 확인하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

하이브리드 로켓에 관한 많은 연구가 진행된 가운데, 낮은 연소율 극복하는 방법으로는 다공포트를 이용하거나, AP, Boron과 같은 에너지첨가물을 넣는 등 여러 가지 방법이 제시되고 있다. 하지만 이와 같이 연료 자체에 변화를 주기보다는 전체적인 하이브리드 로켓 구성을 바꾸므로 해서 로켓성능을 향상시키는 새로운 개념의 하이브리드 로켓이 제시되고 있는데, 후방연소 하이브리드, 가스발생기 하이브리드 등이 해당된다.

후방연소 하이브리드 같은 경우, 기존 하이브리드와 비슷한 연소과정을 가지는데, 고체연료와 액체/기체산화제를 이용해 1차 연소시키고, 여기서 나오는 농후연소 가스를 이용하여 2차적으로 들어오는 산화제와 재혼합하여 2차 연소하는 로켓을 지칭한다. 가스발생기 하이브리드의 경우 1차 연소를 고체로켓의 연소과정과 비슷한 과정을 가지는데, 고체 추진제를 이용하여 농후연소 가스를 만들고, 위에서 말했던 후방연소 하이브리드와 유사한 방법으로, 2차에서 들어오는 산화제와 재혼합하여 2차 연소되는 로켓이다.

다단연소 하이브리드 로켓의 경우 후방연소 하이브리드 로켓과 시스템적으로는 매우 유사하다. 다만, 1차 연소실에서 생성되는 가스가, 본 다단연소 하이브리드 로켓의 경우 상대적으로 더 높은 농후연소를 생성한다는 차이점이 있다. 상대적으로 높은 농후연소가스를 생성함에 있어 후방연소 하이브리드 로켓의 단점을 아래와 같이 해결할 수 있다.

- 더 낮은 연소온도가스를 갖기 때문에 2차 산화제 인젝터의 냉각문제를 손쉽게 해결할 수 있다.
- 하이브리드 로켓 연소특성인 연소 중 O/F 비 변화가, 낮은 운용 O/F범위에서는 작기 때문에, 높은 정도의 농후연소가스(낮은 O/F비)를 생성한다면, 연소 중 O/F비 변화를 최소화 할 수 있다. 이에 따라 2차 산화제 인젝터의 유량조절의 범위가 줄어들게 되며, 이에 따라, 유량조절의 범위에 따른 산화제 공급 시스템의 불안정성을 최소화 할 수 있다.

다단연소 하이브리드 로켓은, 후방연소 하이브리드 로켓이 가지는 장점을 유지하고 단점을 최소화 및 개선하는 로켓 개념이다. 본 연구를 통해 기존 하이브리드 로켓 및 후방연소 하이브리드 로켓 대비 다단연소 하이브리드 로켓의 성능 증가가 얼마만큼 있는지를 분석하고, 더불어 경제성, 안정성, 복잡성, 신뢰성 등을 토대로 분석이 진행되었다.

활용 가능 분야

후방 연소를 활용한 하이브리드 로켓의 성능 향상에 대한 본 연구결과는 KSLV-II 개발 후 추진해야 할 고성능엔진 개발 기술, 복합추진기관 설계 기술, 연소 해석 및 계측 기술 등에 대한 기초원천기술로 기능할 수 있다. 또한 인공위성, 초음속민항기 등 민간의 항공우주 관련 산업에 활용되어 신산업 창출에 기여할 수 있다. 한편, 기술적 측면에서 차세대 하이브리드로켓 핵심기술 자력확보, 로켓엔진 개발 비용과 시간 단축, 상업용 우주발사체 시장으로의 진입을 통한 우주 선진국 도약 등의 결과를 낳을 수 있으며, 나아가 국가안보 및 국가 위상 제고 등의 효과를 기대할 수 있다.

개발기술의 민간파급 및 민간 활용이 가능하며, 향후 성장 동력 산업으로의 발전, 타 분야에 대한 폭넓은 활용, 고급 전문 인력 양성 등이 가능하게 할 수 있다. 아울러, 고성능 발사체의 재사용을 위한 발사체 설계기술 확보, 지구 저궤도에 진입을 하는 저 비용 인공위성 발사체 확보, 국가 우주개발 사업 중 발사체 개발을 위한 기초기술 확립 등을 가능하게 할 수 있다.

성과명	(22) 고속 경계층 천이 예측 및 제어 기법 개발		
주관연구기관	광주과학기술원	연구책임자	지 솔 근
연락처	062-715-2773	이메일	sjee@gist.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	경계층 유동, 난류 천이, 비행체, 천이 제어		

상세 성과내용

연구의 필요성

비행체 경계층 유동의 층류-난류 천이는 비행체의 항력에 직접적인 영향을 끼치며, 경계층 유동 박리에도 관련이 있다. 그리고 높은 마하수의 유동에서는 천이 지점 전후로 공력 가열에 큰 변화가 생겨 고속 비행체를 보호하는 열차폐 시스템 설계 시 경계층 천이는 필수적으로 반영되는 유동 현상이다. 발사체와 고속 비행체 설계 제작을 주도하는 여러 국가는 천이 예측과 제어의 선진 기술을 개발하고 있으며, 국내에서도 효율적으로 천이 지점을 정확히 예측하고 제어하는 기법 개발이 필요하다.

연구 목표

천이 예측과 하류(downstream) 난류 경계층 정밀 모사를 위한 천이/난류 하이브리드 기법인 PSE+LES(포물형 안정성 방정식과 대와류모사 결합) 기법 제시, DNS(직접수치모사) 수준의 신뢰성을 가지며 보다 적은 계산 소요 비용을 갖는 기법 제시 및 수치해석을 통한 천이 제어 기법을 제안한다.

연구결과

○ 경계층 천이 및 난류 유동 해석체계 구축 완료
- PSE+LES 결합 기법을 개발하여 오픈소스 코드인 OpenFOAM 계열 코드에 적용
- 비압축성 유동의 경계층은 OpenFOAM v4 이후 버전에 적용.
- 초음속/극초음속 경계층은 rhoEnergyFOAM에 적용.

○ 천이제어 기법 제안
- 천이를 야기할 수 있는 불안정성 모드의 증폭 감쇄를 위한 국소적 벽면 가열/냉각.
- 천이를 야기할 수 있는 불안정성 모드들 간의 상호작용을 억제하기 위한 모드간 위상 제어
- 다공성 표면 위 극초음속 경계층의 수치해석을 통해 Mack 2차 모드의 증폭 감소 및 그에 따른 천이 제어 가능성 확인

활용 사례

본불안정 모드 중 sub-harmonic 모드 증폭으로 야기되는 아음속 경계층 천이에 대한 성공적인 모사 [Jee, S. 외 2018, J. Fluids Eng.; Kim, M. 외 2019 Comp. Fluids]하였으며, PSE+LES 기법에서 사용되는 아격자(subgrid-scale) 모델의 층류-난류 천이 상황에서 모델 성능 정밀 분석 [Kim, M. 외 2020, Comp. Method Applied Mech. Eng.]을 수행하였다. 또한, 마하수 3 초음속 경계층 유동에서 불안정한 경사파 쌍(oblique wave pair)로 인한 난류 천이에 대한 성공적인 모사 [Lim, J. 외 2021, Aerospace Sci. Tech.], 마하수 4.5 극초음속 경계층의 불안정한 Mack 2차 모드를 국소 표면 온도로 제어 및 마마하수 6 극초음속 경계층의 천이 제어를 위한 다공성 표면 적용으로 불안정한 Mack 2차 모드 감쇄에 성공하였다. 이를 통해 1,2차(primary, secondary) 불안정 모드간의 위상 변화로 천이지점이 최대 약 $\Delta Re_{x_{tr}} \simeq 10^5$ 만큼 지연되는 것을 아음속 경계층에서 확인하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

기존 DNS 급의 천이 영역 예측 정확도를 확보하면서도 DNS 대비 계산소요 비용 100배 이상 절감하였으며, 국내 경계층 천이 예측을 위한 연구는 대부분 경험식 또는 모델링에 의존해 왔으나, 안정성 이론에 기반한 유동 물리를 반영한 이론적인 천이 예측 기법의 타당성과 정확성을 확인하였다. 저속 뿐만 아니라 초음속/극초음속을 포함한 고속 경계층 천이 현상에 대한 근본적인 연구를 수행하였다.

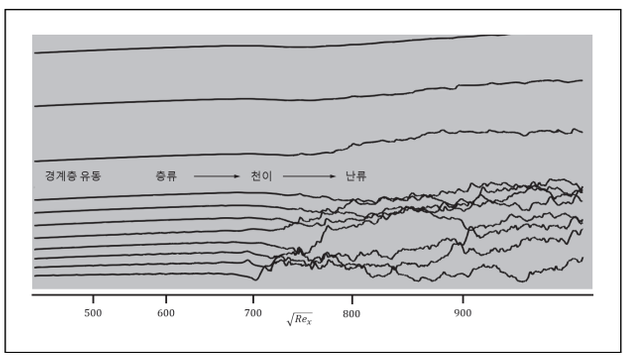
PSE+LES 기법은 미국 NASA 지원을 받는 스태포드 대학 난류연구센터(CTR)에서도 진행 중이며, 아음속 경계층에서는 본 연구진과 비슷한 연도에 연구결과를 발표 함 (국제학회발표논문 기준으로는 본 연구진이 최초임). 초음속 경계층에 적용하는 결과는 본 연구진 논문(현재 minor revision 진행 중)이 세계 최초가 될 것으로 예상된다.

활용 가능 분야

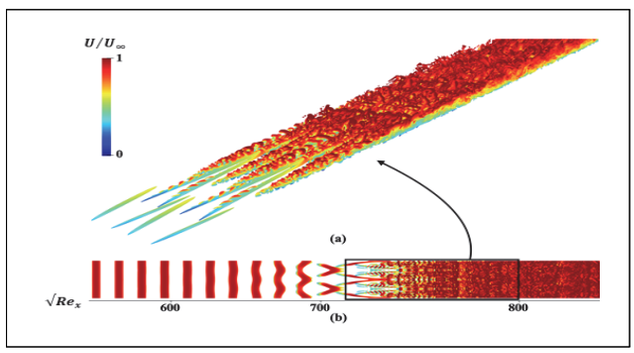
○ 고성능 발사체/비행체 공력 설계에 기여
초음속/극초음속 비행체 공력 설계 및 해석 시 천이지점 예측된다.지구 재진입 비행체의 열차폐 설계를 위한 천이지점 예측 및 지구 재진입 비행체의 열차폐 설계를 위한 천이지점 예측

○ 데이터 기반 저차 천이 모델 개발에 기여
RANS 해석용 천이 모델 개발에 필요한 고신뢰성 데이터의 신속 확보 및 활용이 가능하고, 비정상 3차원 난류 천이 현상에 대한 시·공간 4차원 데이터 제공 가능하다.
※ 현재 난류 빅 데이터는 미국 유럽 등의 기관에서 잘 정리되어 공개되어 있으나, 난류 천이에 대한 빅 데이터는 매우 부족한 상태임

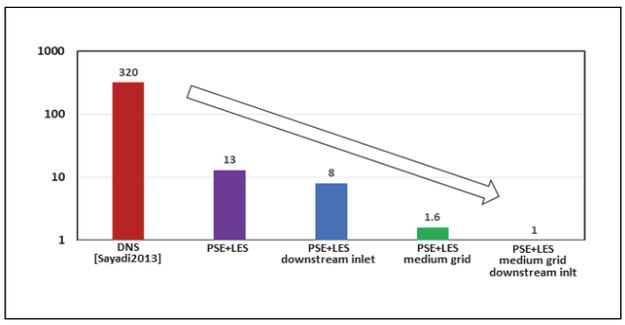
○ 고효율 터보머신 블레이드 설계에 기여
레이놀즈 수가 작아 천이가 예상되는 터보머신의 고효율 블레이드 설계를 위한 고정밀 공력 데이터 제공이 가능하고, 자유류 교란이 매우 강한 터보머신내 환경에서 블레이드 경계층 유동의 천이 지점 해석으로 확장하여 블레이드의 공력 하중의 정확한 예측 및 이를 기반한 블레이드 설계가 가능하다.



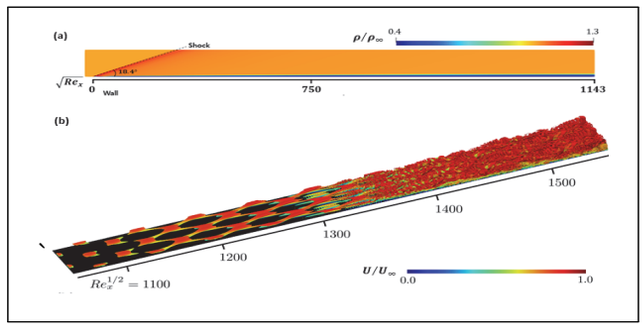
▲<그림 1> 경계층 유동의 층류-난류 천이 개념도 (Q-criteria)



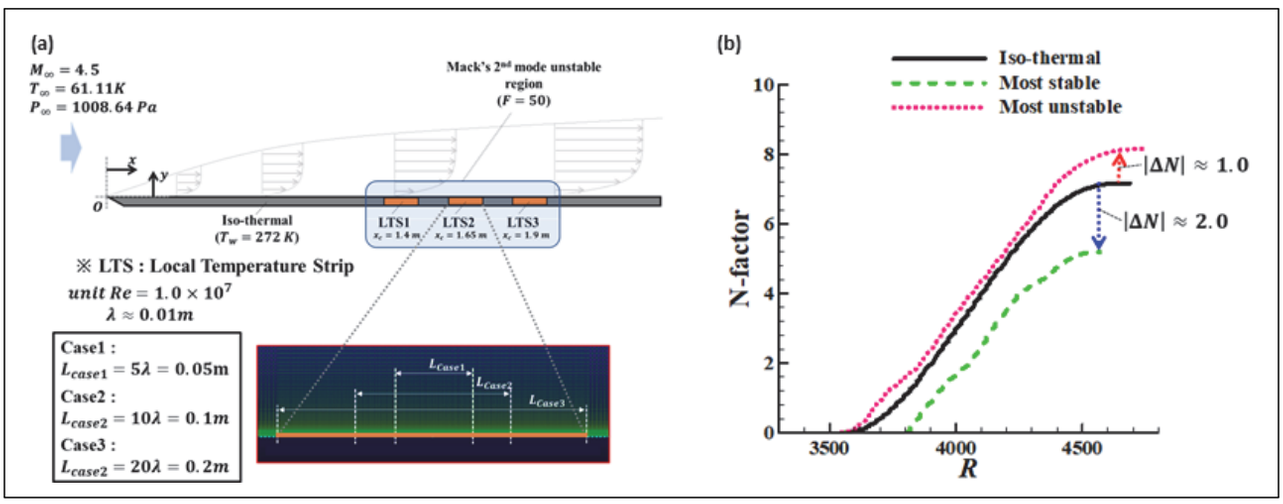
▲<그림 2> 경계층 난류천이 유동의 와류 구조 가시화



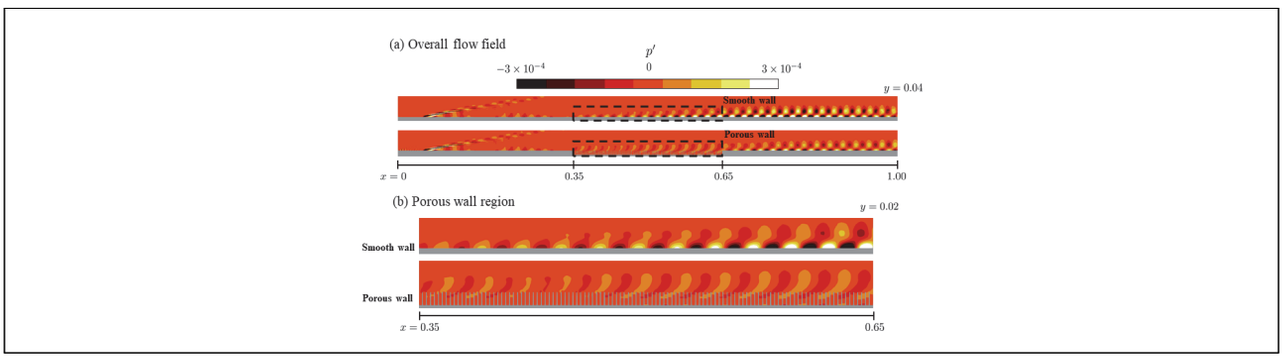
▲<그림 3> PSE+LES 기법의 계산 요구도를 기존 DNS와 비교 (100배 이상 계산량 감소)



▲<그림 4> PSE+LES 기법을 마하수 3 초음속 경계층 유동에 적용하여 불안정한 경사파 쌍(oblique wave pair)으로 인한 난류 천이 정밀 모사



▲<그림 5> 마하수 4.5 극초음속 경계층 유동에 대하여 국소적 표면 냉각/가열로 불안정한 Mack 2차 모드 증폭률 (N) 억제 및 촉진



▲<그림 6> 마하수 6 평판 위 경계층 유동에서 다공성 표면을 사용하여 불안정한 Mack 2차 모드의 증폭 감쇄. 압력 교란 p' 가시화. 기준 길이 및 압력 : Lref=0.2m, Pref=22.3kPa.

성과명	(23) 고내열 고엔트로피 합금 기반 복합소재 개발		
주관연구기관	국민대학교	연구책임자	최 현 주
연락처	02-910-4287	이메일	hyunjoo@kookmin.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	발사체, 추진기관, 내열, 고엔트로피, 복합소재		

상세 성과내용

연구의 필요성

기존의 내열합금 (Ni기 초내열합금, W계 내열합금 등)이 지니는 한계(고온에서의 강도 저하, 높은 비중)를 극복할 수 있는 새로운 내열소재 개발이 필요하다.

연구 목표

상온 항복강도 1200 MPa 이상, 1000℃ 항복강도 500 MPa 이상의 초내열 고엔트로피 합금 기반 복합소재를 개발하는 것이다.

연구결과

본 과제에서는 기계적 합금화 및 소결 공정 중 탄소/산소 등 비금속원소 기반 in-situ 강화상 생성 방법을 통해 Nb-Mo-Ta-W 고엔트로피 합금 기반 복합소재를 개발하였으며, 기존 과제 수행 목표를 훨씬 상회할 뿐 아니라 기존 소재의 특성을 상회하는 초내열 소재를 개발하였다.

활용 사례

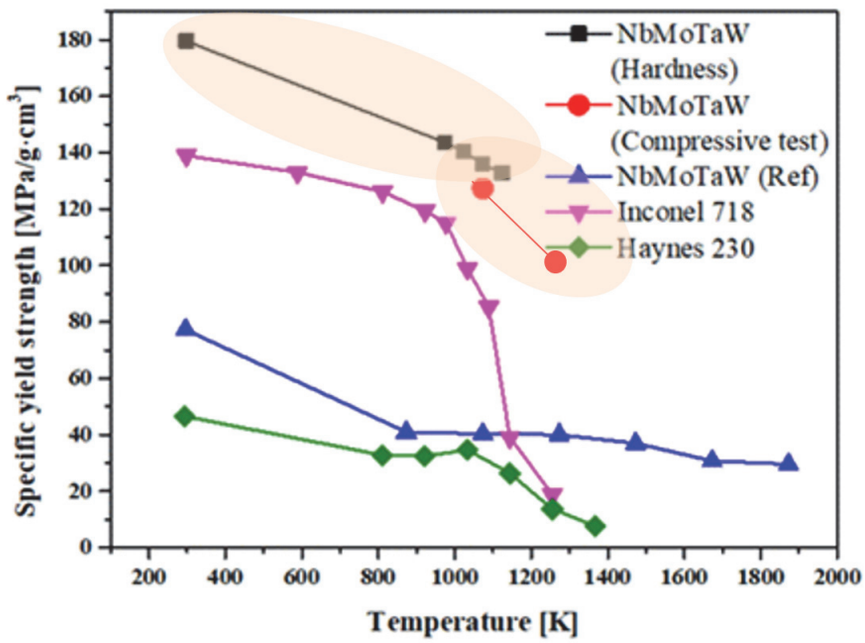
본 과제는 2020 종료 과제로서, 아직 실제 시스템에 적용된 바는 없다.

기존지식/ 기술대비 차별성

고 엔트로피 합금 기반 복합소재의 개발결과는 전세계적으로 미흡하며, 본 연구 과제에서 보이는 우수한 상온/고온 특성, 내산화성을 지닌 소재는 전세계적으로 보고된 바가 없다.

활용 가능 분야

본 연구에서 제안하는 HEA 기반 복합소재는 높은 비강도/비강성, 고온에서의 안정성, 환경저항성으로 우주발사체 추진기관용 내열 부품소재로서 활용 가능하리라 기대된다. 기존 초내열 합금의 응용을 대신할 수 있는 HEA 소재는 철강재료가 견디기 어려운 가혹한 환경인 고온 고내식성 환경에서의 우수한 기계적 특성 유지 및 산화저항성으로 인하여 고온의 엔진용 부품, 가스터빈 등의 응용이 기대된다. 뿐만 아니라, 원자력시스템, 기계적 특성 향상에 따른 경량 구조 소재, 마모 특성 향상에 따른 마모/윤활 소재 등에 활용 가능하다.



▲<그림 1> (상온 강도> 2000 MPa, 1000℃ 강도>800 MPa) 소재시험 결과

성과명	(24) 수직이착륙용 발사체에 적용 가능한 고도보정용 노즐의 추력성능 및 시스템적 분석		
주관연구기관	충남대학교	연구책임자	허 환 일
연락처	042-821-6687	이메일	hwanil@cnu.ac.kr
분야	발사체		
키워드(5개 이내)	핀틀 엔진, 추력기 챔버 어셈블리, 듀얼 벨 노즐, E-D 노즐, 고도보정		

상세 성과내용

연구의 필요성

재사용·저비용 발사체 및 달착륙선에의 활용 목적으로 수직이착륙이 가능한 핀틀 추력기 기술을 결합하고, 고도 보정용 듀얼 벨 노즐을 접목시킨 핀틀 엔진 발사체 및 달착륙선의 핵심기술에 대한 연구가 요구되고 있다.

발사체의 효율을 높이기 위한 방안으로 최적의 팽창비를 유지하고 조절할 수 있는 고도보정노즐에 대한 연구개발이 반드시 선행되어야 한다. 고도보정 노즐을 사용한 경우 일반적인 벨 노즐을 사용했을 경우 보다 비추력을 향상시킬 수 있고, 이에 따라 추진제의 무게 절감 및 노즐 길이 절감과 같은 장점이 있어 차세대 발사체 개발에 활용이 가능하다.

연구 목표

본 연구에서는 국외의 핀틀 추력기 및 듀얼 벨 노즐에 관한 기술 자료를 분석하고, 수치해석기법을 활용한 형상 및 성능 연구를 진행하여 듀얼 벨 노즐을 적용한 핀틀 엔진 추력기를 설계·제작하고 기초 공압 실험과 고도보정노즐의 적용 가능성에 대해 분석함으로써 향후 우주 발사체 및 탐사선 추력기 개발의 핵심 기초 연구 자료로서의 활용을 최종 목표로 한다.

연구결과

본 연구에서는 향후 저비용/재사용 발사체 개발에 활용하기 위해 비추력을 향상시킬 수 있는 고도보정 노즐에 대하여 연구하였다. 기존에는 발사체의 비추력을 향상시키기 위한 방법으로 연소실의 연소압을 향상시키는 것에 한정하였으므로 개발비용과 시간이 많이 소요되는 한계를 가지고 있었으나, 동 연구의 고도보정용 노즐은 동일한 연소압에서 노즐만을 변경함으로써 비추력을 향상시킬 수 있는 특징이 있다. 특히, 미국 SpaceX사에서는 현재 개발 중인 Raptor 엔진에 고도보정용 노즐인 듀얼 벨 노즐을 적용하여 개발을 수행 중인 것으로 알려져 있다. 전 세계적으로 고도보정용 노즐 연구가 활발한 가운데, 동 연구성과는 고도에 따라 최적 팽창비를 유지하고 조절할 수 있는 고도보정용 노즐의 추력성능을 분석한 것과 현재 개발 중인 한국형발사체(KSLV-Ⅱ)의 1단 엔진 조건에 듀얼 벨 노즐 및 E-D 노즐을 적용하여 시스템측면에서의 실제 적용 가능성을 분석한 것에 의미가 있다. 특히 우주기술 개발에 도움이 되는 방향으로 연구개발목표를 변경하여 최종연구목표인 핀틀 엔진 TCA(Thrust Chamber Assembly)에 대한 종합적인 성능 분석 및 고도보정용 노즐을 적용한 한국형발사체의 성능 개선 방향을 제시한 것에 의미가 있다. 현재 우리나라는 한국형발사체 개발에 집중하고 있지만, 차세대 발사체 개발 시 SpaceX사와 같은 사례를 참고하여 수직이착륙이 가능하도록 핀틀과 고도보정용 노즐이 적용된 고성능 차세대 발사체의 개발과정에 서 본 연구에서 획득한 기초연구 결과를 활용할 수 있을 것이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

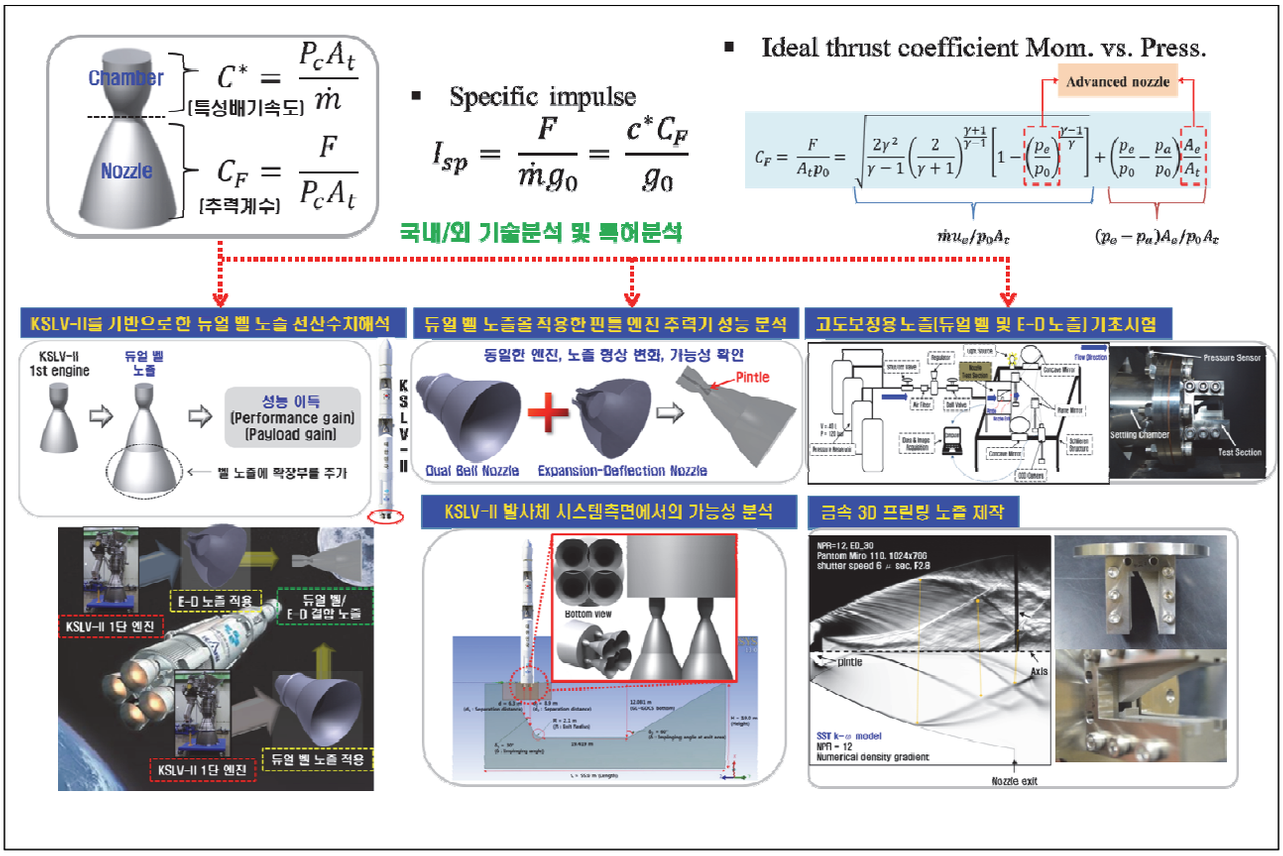
우주 발사체의 성능, 즉 로켓 엔진의 비추력을 향상시키기 위한 방법으로는 연소실만의 특성인 특성배기속도를 향상시키는 방법과 노즐만의 특성인 추력계수를 향상시키는 방법이 있다. 연소실의 연소압을 증가시켜 비추력을 향상시키는 방법은 매우 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 본 연구에서 사용한 고도보정 노즐 기술은 동일한 연소실을 사용할 때 노즐의 추력계수를 향상시킬 수 있는 방안으로 미국의 SpaceX를 포함하여 다양한 기관에서 개발이 수행되고 있다.

활용 가능 분야

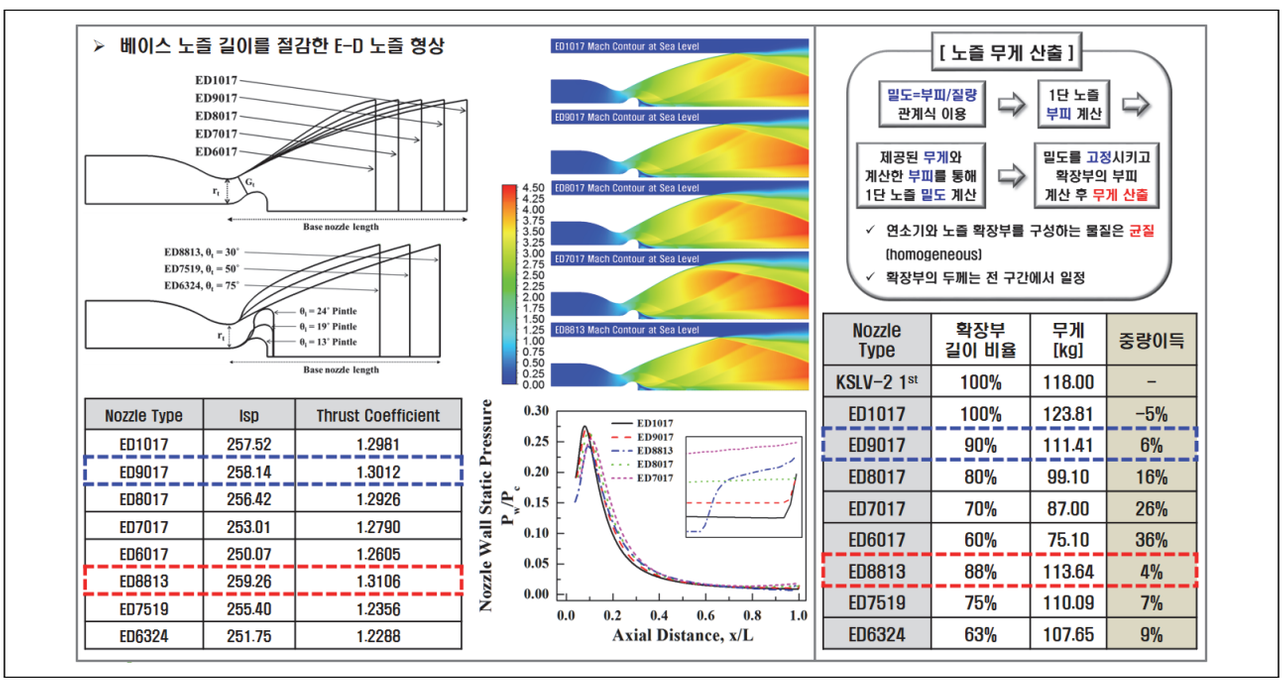
핀틀을 이용한 추력조절 기술은 추력조절 기법들 가운데 높은 기술력을 요구하지만, 추진기관의 크기와 상관없이 핀틀 기술의 적용이 가능하여 항공우주뿐만 아니라 다양한 산업 분야에 적용 가능하다. 특히 민간 우주개발 분야에 있어 핀틀 기술은 발사체의 메인 엔진, 발사체 자세제어 시스템, 유인 우주선의 발사 안전 시스템, 착륙선 및 탐사선의 자세제어기 등으로 활용 가능하다. 국방 분야에서는 핀틀 기술이 전투기 사출 좌석 등에 실제 활용되고 있으며, 미사일의 자세를 제어하는 측 추력기에도 일부 활용되고 있다.

국내에서는 장기적 관점에서 우주개발 계획을 진행하고 있기 때문에 핀틀을 이용한 추력조절 기술력을 확보한다면, 향후 차세대우주 발사체 개발 계획에 적극 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 핀틀 기술은 추력 조절뿐만 아니라 액체추진제 로켓 또는 자동차 엔진의 연료 분사 인젝터 등 유체 또는 기체의 유량을 조절하는 용도로 확대 적용이 가능하기 때문에, 향후 추가적인 연구와 더불어 산업체로의 기술 이전이 확대된다면 미래의 핵심 기술로서 산업 전반에 걸친 다양한 활용이 기대된다.

미국의 SpaceX에서는 최근 우주탐사에 활용할 예정인 Raptor 엔진 모델에 본 연구의 핵심 중 하나인 듀얼 벨 노즐의 사용 가능성을 제시하였다. 현재 우리나라는 한국형발사체 개발에 집중하고 있지만, 차세대 발사체 개발 시 SpaceX사와 같은 사례를 참고하여 수직이착륙이 가능하도록 핀틀과 고도보정 노즐이 적용된 고성능 차세대발사체 개발과정에서 본 연구에서 획득한 기초연구 결과를 활용할 수 있을 것이다.



▲<그림 1> 연구개요



Nozzle Type	Isp	Thrust Coefficient
ED1017	257.52	1.2981
ED9017	258.14	1.3012
ED8017	256.42	1.2926
ED7017	253.01	1.2790
ED6017	250.07	1.2605
ED8813	259.26	1.3106
ED7519	255.40	1.2356
ED6324	251.75	1.2288

Nozzle Type	확장부 길이 비율	무게 [kg]	중량이득
KSLV-2 1st	100%	118.00	-
ED1017	100%	123.81	-5%
ED9017	90%	111.41	6%
ED8017	80%	99.10	16%
ED7017	70%	87.00	26%
ED6017	60%	75.10	36%
ED8813	88%	113.64	4%
ED7519	75%	110.09	7%
ED6324	63%	107.65	9%

▲<그림 2> 대표적 연구결과

제2장

위성체 분야

성과명	(1) 우주 환경에서의 GaN 소자 성능 열화 분석 및 예측		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	강 건 욱
연락처	02-2123-2825	이메일	kwkang75@yonsei.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	질화 갈륨 소자, 양성자 조사, 전기적·광학적 성능, 결함 생성 기작, 멀티스케일 시뮬레이션		
상세 성과내용			

연구의 필요성

우주 환경에서 방사선에 노출된 반도체는 내부의 결함이 생김과 함께 그 성능이 감소하며, 조사되는 양성자의 에너지에 따라 AlGaN/GaN HEMT(High Electron Mobility Transistor) 소자의 포화전류(saturation currents)가 감소한다. 하지만 방사선에 의해 발생하는 반도체 소자 내의 결함의 생성과정에 대한 이해가 부족하며 더불어 결함과 반도체 성능 사이의 관계를 정확하게 알지 못하여 이에 대한 연구 수행이 필요하다.

연구 목표

본 연구의 목표는 양성자(proton)에 의한 GaN 내의 결함 생성 메커니즘과 거동을 이해하고, GaN 기반 HEMT/LED 소자의 성능을 평가하고자 함. 이 결과를 기반으로 성능 예측 기법을 제안하고자 한다.

연구결과 및 사례

○ 시뮬레이션을 통한 결함생성 예측

지구 저궤도 및 정지궤도에서 인공위성이 받는 방사선 종류와 조사량을 도출하여 양성자가 지구 저궤도 영역에서 주된 방사선임을 파악하고, 입자수송 시뮬레이션 툴인 Geant4를 통한 재료 내 Primary Knock-on Atom(PKA)의 에너지 프로파일을 추출하였다. PKA 에너지 프로파일을 기반으로 분자동역학 시뮬레이션 툴인 LAMMPS를 활용하여 재료 내부에 생성되는 점결함의 종류, 개수와 그 비율을 예측하였고, 추가로 재료 내 존재하는 전위결함과 양성자에 의하여 생성되는 점결함과의 상호작용을 LAMMPS를 통해 검토하였다.

○ 실험을 통한 소자의 성능손상 데이터 확보

GaN 기반 Resistor, HEMT와 LED 소자를 제작하고 양성자 조사 전/후의 특성변화를 확인하였고, 각 소자에서 나타나는 특성변화에 대한 정성적인 원인을 제시하였으며, 손상된 HEMT와 LED에 대하여 성능 회복을 위한 Annealing 조건을 확보하였다.

○ 성능손상예측 및 비교

시뮬레이션을 통해 계산된 점 결함의 개수를 통하여 재료의 성능손상비율을 예측할 수 있는 effective non-ionizing energy loss (effective NIEL)을 계산하였고, 이를 기존의 Monte-Carlo 시뮬레이션에서 예측하는 NIEL, 수행한 실험 결과로부터 확보된 재료 열화 비율, 그리고 논문으로 출판된 열화 비율을 비교하였을 때, effective NIEL이 재료의 열화 비율을 높은 정확도로 예측할 수 있음을 확인하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

기존에는 실험으로만 방사선 조사 후의 소자의 성능 변화량을 예측할 수 있음. 본 연구에서 제안한 멀티스케일 시뮬레이션 기법을 활용하면, 특정 방사선 조사 시 재료 내부의 점결함 개수를 예측하고 이로부터 재료의 열화 정도를 예측할 수 있는 파라미터를 제시할 수 있다.

또한, 특정 에너지와 조사량을 띄는 방사선 조사 시험을 한 번 수행하여 확인되는 재료의 성능 변화 값을 알 수 있으면, 시뮬레이션에서 확보한 열화 비율 파라미터와 결합하여 더 이상의 실험 수행 없이 다양한 에너지와 조사량에 따른 최종 상태에서의 소자 성능을 예측할 수 있으며, 이를 통해 실험의 횟수를 줄여 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 전망한다.

활용 가능 분야

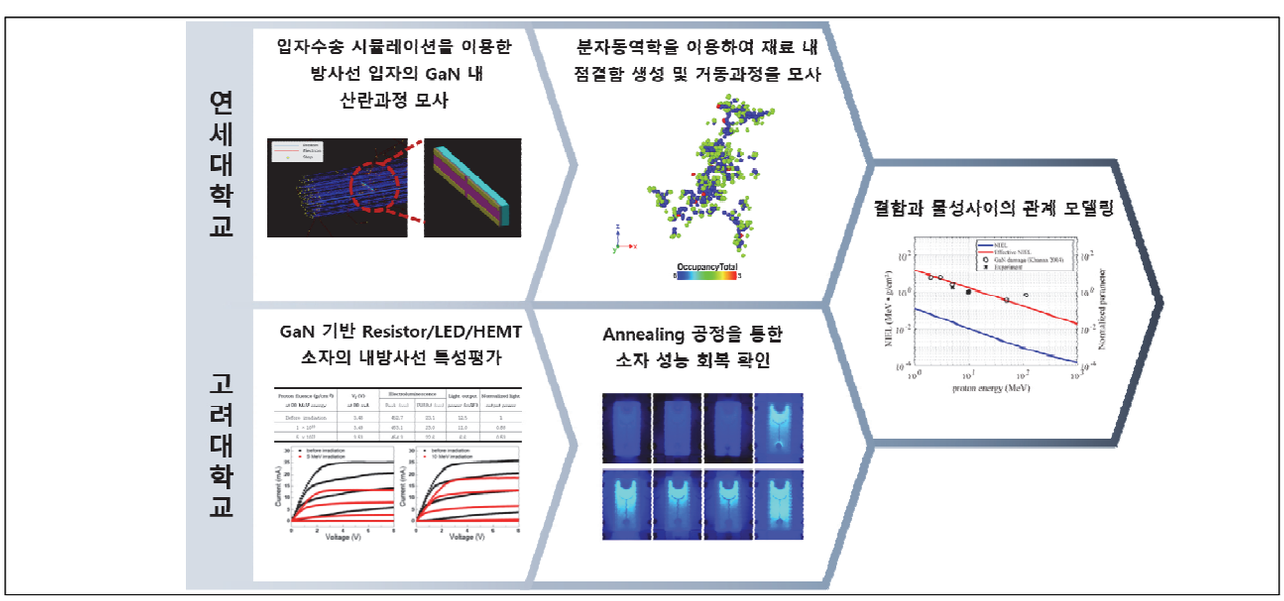
○ 미래원천기술 확보 및 신산업 창출

전자소자의 선폭이 수 nm 수준에 가까워짐에 따라 우주방사선에 의한 오작동 관련 보고가 늘어나고 있고, 대부분의 전자소자의 경우 화합물반도체를 기반의 소자이므로 본 연구개발을 통한 결과는 우주산업에서 사용되는 다양한 전자제품에 적용될 수 있을 것으로 전망한다.

항공우주연구원의 우주개발중장기계획'가운데 인공위성 독자개발 및 부품의 국산화에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상한다.

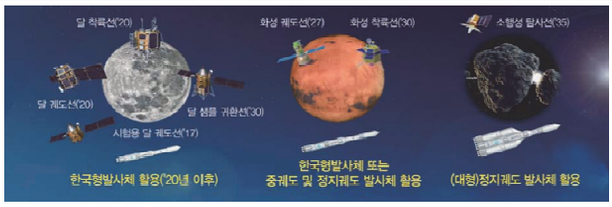
○ 후속 연구 수행

확보한 기법을 산업과 학계에서 주목받고 있는 재료(예, Ga2O3 또는 다양한 2차원 재료로 확장하는 기초 연구를 수행하여 우주 환경에서 사용 가능한 소자를 구분하고 이에 대한 데이터베이스를 쌓을 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 현재는 반도체 소자 내부의 생성되는 결함에 대한 연구를 수행하였는데, 실제 우주 환경에서는 절연체에 생성되는 결함에 의한 성능손상도 존재함을 확인하였다. 최근 h-BN이 새로운 절연체로서 관심을 받고 있는데, 본 연구의 기법을 확장하여 절연체에서의 결함 생성을 소자의 성능 변화와 연결할 수 있도록 하는 것이 필요하다고 판단된다.



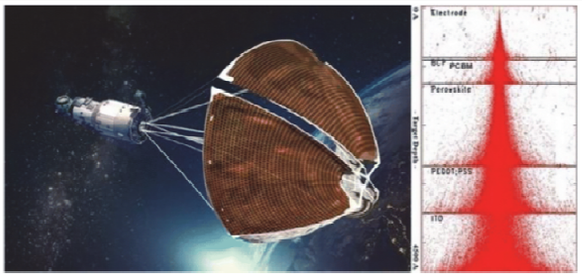
▲<그림 1> 연구내용의 개요

활용 방안 1



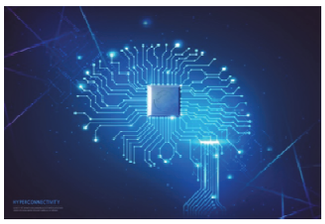
- 우주방사선에 의한 오작동 관련 보고가 늘어나고 있는 추세
- 우주산업에서 사용되는 다양한 전자제품에 적용될 수 있을 것으로 예상
- 항공우주연구원의 '우주개발중장기계획' 가운데 인공위성 독자개발 및 부품의 국산화에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 예상

활용 방안 2



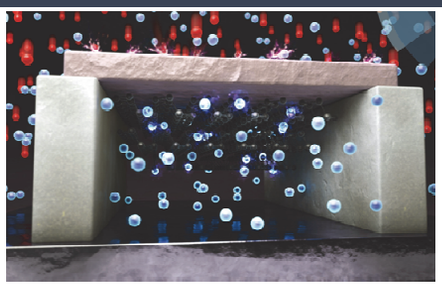
- 본 과제의 수행 과정 중 도출된 GaN 기반 소자의 최적 회복 조건을 이용하여 실제 우주 환경에서 우주 방사선에 의해 저하된 소자의 성능 회복에 기여할 수 있음

활용 방안 3



- 본 연구를 통해 이루어지는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 딥러닝을 수행
- MD 혹은 MC의 계산을 수행하지 않고 소자 내 결함 및 성능 예측 모델을 개발 및 상업화

활용 방안 4



- GaN 기반 전자 및 광학 소자의 우주 방사선에 의한 데미지에 따른 성능 저하를 최소화 할 수 있는 차폐 조건에 대한 기본 데이터로의 활용 가능성을 가짐

▲<그림 2> 연구 활용 방안 요약

성과명	(2) 친환경 접촉점화성 이원추진제 추력기 핵심기술 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	권 세 진
연락처	042-350-8601	이메일	trumpet@kaist.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	친환경 접촉점화성 추진제, 저장성 추진제, 위성 추진, 과산화수소		

상세 성과내용

연구의 필요성

독성(특히 발암성) 및 부식성이 강하고 폭발 위험이 높은 기존의 저장성 액체 추진제의 단점을 개선하고자, 기존 맹독성 액체 추진제와 비교할만한 성능을 갖는 친환경 접촉점화성 추진제 개발의 필요성 대두되었으며, 우주 추진 시스템 개발 단계에서 안전성을 높임과 동시에 개발기간을 단축하고 전체 비용을 획기적으로 줄일 수 있는 저장성 추진제 필요성의 증대에 따른 연구필요성이 증대되었다.

연구 목표

기존 맹독성 추진제와 대비 비교할만한 성능을 갖는 친환경(혹은 저독성) 접촉점화성 이원추진제 개발 및 개념검증을 수행한다.

연구결과

과산화수소를 산화제로 사용한 친환경 접촉점화성 이원추진제를 개발하고, 접촉점화 추진제의 점화 성능 및 반응 특성을 평가할 수 있는 실험 방법 확립하였다. 또한, 500 N급 친환경 접촉점화성 이원추진제 설계와 지상연소시험을 통한 친환경 접촉점화성 이원추진제 적용가능성의 검증 및 과산화수소 산화제를 이용한 막 냉각 가능성을 실험적으로 검증하였다.
추력기 연소 불안정 해결 및 가변 추력제어를 위한 핀틀 인젝터를 개발하였고, 산업체 기술이전의 성과를 창출하였다.(기술료 1억 원)

활용사례

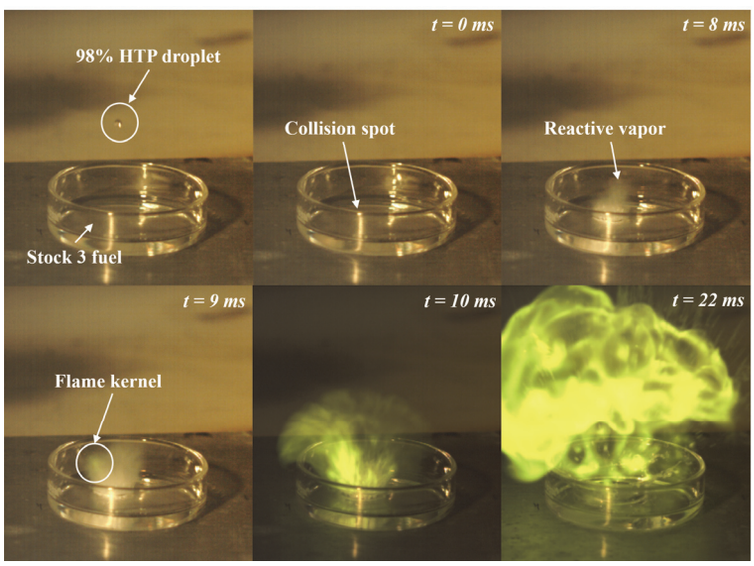
본 과제의 연구결과를 통해 2018년도부터 수행한 국방과학연구소 기초연구“국방 고기동 상층 추진기술 특화연구실”도출 및 선정되었다.

기존지식/ 기술대비 차별성

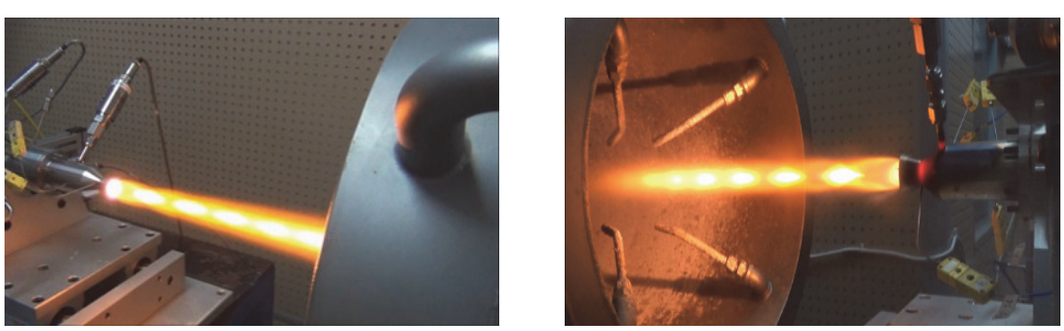
과산화수소를 산화제로 이용하여 국내에서 최초로 접촉점화(hypergolic) 특성을 갖는 추진제 개발을 통해 최초로 과산화수소 및 저독성 반응성 연료를 이용한 500 N급 추력기 지상 연소시험을 수행하였으며, 친환경 접촉점화성 추진제를 이용한 단독 추력 제어용 핀틀 인젝터 설계 및 개념 검증을 수행하였다.

활용 가능 분야

○ 맹독성 접촉점화 추진제의 모사 유체로 활용 가능
○ 인공위성 추진 시스템
○ 우주 탐사를 위한 우주 탐사선 추진 시스템
○ 발사체 보조 추진 시스템
○ 사운딩 로켓의 추진 시스템
○ 점화 열원 공급을 위한 액상 점화 장치



▲<그림 1> 반응성 연료 (stock3) + 98 wt.% H2O2 접촉점화 현상



▲<그림 2> 친환경 접촉점화성 이원추진제를 활용한 500 N급 추력기 지상 연소 시험

성과명	(3) 우주비행체 랑데부/도킹/군집운용을 위한 고정밀 PSD센서 시스템		
주관연구기관	충남대학교	연구책임자	김 승 균
연락처	042-821-6689	이메일	skim78@cnu.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	반도체 위치 검출기, 군집운용, 상대항법, 도킹, 랑데부		

상세 성과내용

연구의 필요성

군집위성이나 우주쓰레기 제거 등 위성의 랑데부/도킹에 필요한 상대항법 기술에 대한 요구도가 높아지고 있다. 특히 최근에 활발하게 연구가 진행 중인 중소형 위성의 경우 효율적인 소형의 저전력 상대항법 기술이 필요한 상황이며, 이를 위해 PSD (Position Sensitive Detector)라는 반도체 위치 검출 소자를 활용한 상대항법 센서시스템을 개발한다.

연구 목표

본 연구는 우주환경에서 우주비행체 사이의 랑데부/도킹/군집운용을 수행하기 위한 PSD 센서와 비콘 모듈을 이용한 상대 거리 및 상대 자세 측정 시스템 개발, 모의 시뮬레이션 환경 구축 및 지상 실험 환경 구축을 최종 목표로 한다.

연구결과

멀티콥터와 같은 드론의 자동착륙/도킹 및 군집비행 분야에 접목하여 응용연구를 수행하여, PSD/1D라이다/관성센서 등의 상대항법용 이종센서 융합기술을 개발하였다.

활용 사례

본 연구의 성과를 활용하여 PSD 보정/처리기술이 필요한 우주, 항공, 로봇, 공장자동화 관련 기업에 기술이전이 가능하며, 중소형 위성의 랑데부/도킹/군집운용에 직접적으로 적용이 가능하다. 또한,본 연구의 비접촉식 측정방식은 산업현장의 정밀 거리측정용으로 사용이 가능하며, 특히 상대항법이 필요한 군집 드론 및 로봇분야의 타 사업에 활용이 가능할 것으로 보인다.

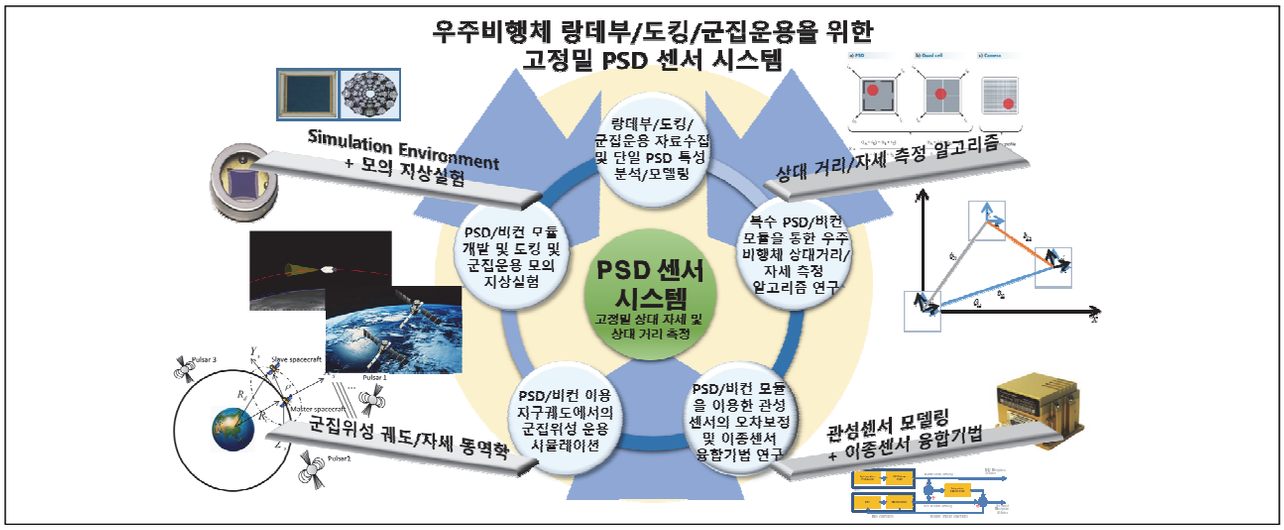
기존지식/ 기술대비 차별성

랑데부/도킹를 위한기초 연구로 PSD 센서와 비콘을 이용한 상대항법은 기존의 CCD나 CMOS 센서를 이용한 경우보다 낮은 계산시간과 우수한 운용효율을 가지며, 소형 위성의 랑데부/도킹 임무에 적용이 가능하다. 또한, 복수 PSD-복수 비콘 모듈과 관성센서를 융합한 이종센서 융합 기법 알고리즘의 성능을 검증하였다는 면에서 기존의 접근법과 차별되며, 지상 모의시험을 통하여 실제 PSD 센서의 focal length와 잡음 특성 등을 분석하여 상대항법 알고리즘에 적용/검증하였다.

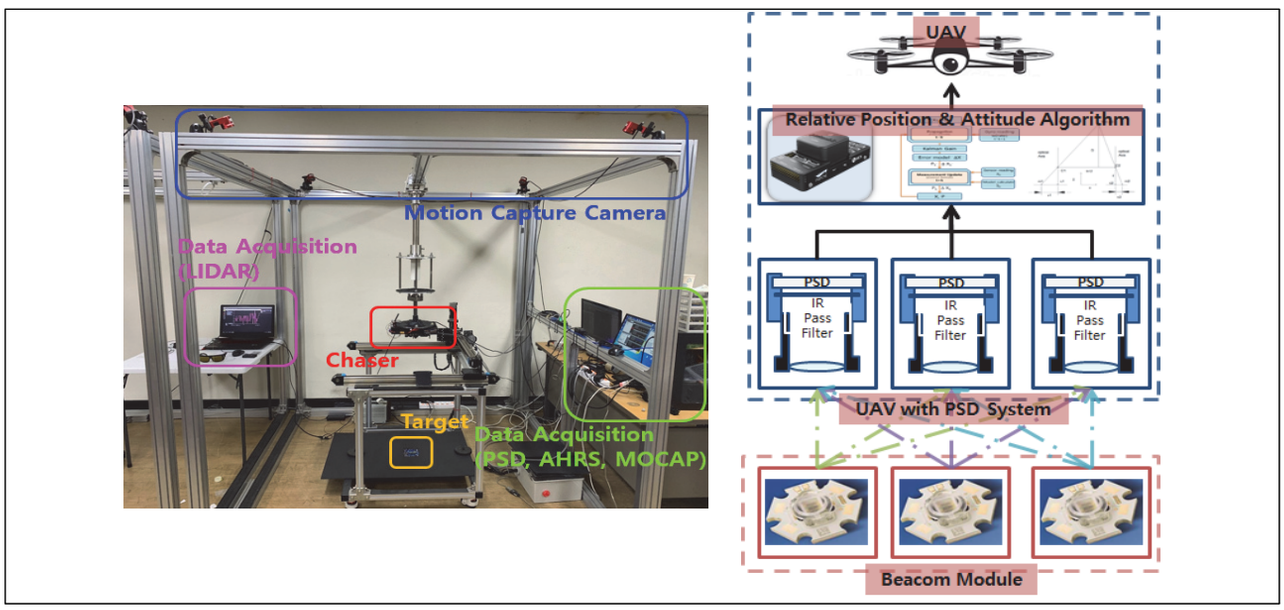
활용 가능 분야

본 연구의 결과물은 국가 우주기술의 핵심으로 “우주개발 중장기 계획”에서 고려중인 “차세대 중/소형 위성을 활용한 도킹 기술”에 기초 연구로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 우주비행체 이외의 다양한 영역에서 활용될 수 있으며, 그 예는 다음과 같다.

○ 우주비행체 랑데부/도킹/군집운용: 상대항법 알고리즘 개발 및 기초실험
○ 우주임무: 위성 및 우주비행체 임무의 다변화를 통한 우주기술 경쟁력 제고, 인공위성의 협력임무를 통한 임무수행능력 향상
○ 산업분야: 극한 우주환경을 고려한 복합 우주기술 관련 산업분야에 기술파급 효과
○ 인력양성: 우주시스템에 대한 기초지식 습득 및 전문 연구를 통한 우주분야 인력양성
○ 활용 및 응용분야: 큐브위성 및 소형위성 장착을 통한 위성 신개념 임무 수행 가능 (우주비행체간 랑데부/도킹/큐브위성 군집운용)



▲<그림 1> 고정밀 상대항법 센서시스템 개발



▲<그림 2> 이종센서 융합기술을 적용한 상대항법 기술의 적용 사례

성과명	(4) 우주비행체를 위한 초고속 충격 장비 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	김 천 곤
연락처	042-350-3719	이메일	cgkim@kaist.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	초고속 충돌, 우주 쓰레기, 우주 구조물, 2 Stage Light Gas Gun, Whipple Shield		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 쓰레기(space debris)와 미소유성체(micrometeoroids)는 우주 구조물과 초고속 충격으로 인한 우주선의 손상이 매년 증가하고 있으며, 앞으로도 우주 쓰레기의 기하급수적인 증가가 예상된다. 그러나, 우주 파편의 초고속 충돌의 위험에 대한 구체적인 대책들과 초고속 충돌 실험 방법들이 정립되어 있지 않으며, NASA, EAS, JAXA 등 해외 우주기관에서는 초고속 충격 장비를 이용하여 우주선의 외벽 구조를 설계하지만, 국내에는 우주 구조물을 위한 초고속 충격 장비가 갖추어지지 않은 상태로, 이에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

연구 목표

본 연구를 통해 우주 파편의 초고속 충격을 모사하기 위한 초고속 충격 장비(Two Stage Light Gas Gun)를 개발하고, 우주 비행체를 위한 보호 시스템의 연구 개발 및 실험 방법을 정립하는 것이다.

연구결과

국내 최초 4.3 km/s까지 초고속 충격이 가능한 장비를 개발하였으며, 다양한 우주 임무와 가혹한 우주 환경 속에서 우주 비행체를 보호할 수 있는 여러 종류의 구조 및 재료가 제안되었고, 초고속 충격 실험으로 타당성을 입증하여 여러 SCI/SCIE 저널의 논문으로 출판되었다.

활용 사례

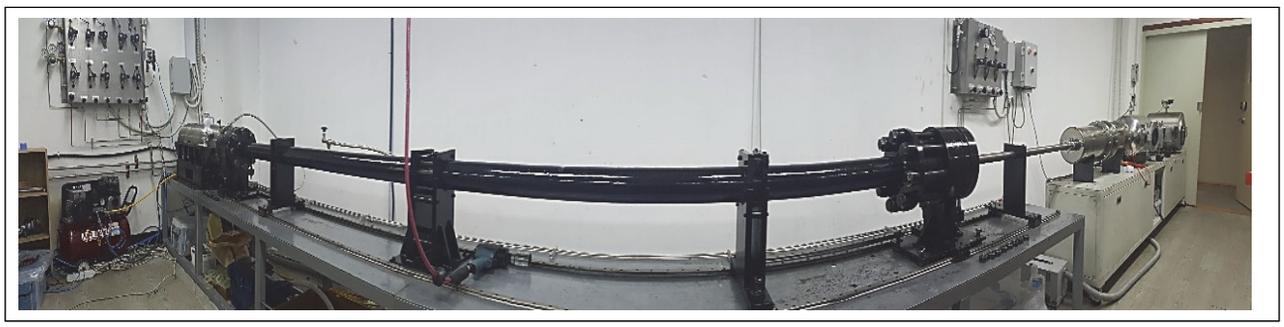
코오롱 사의 헤라크론 섬유 개발에 본 장비를 이용하여 방탄 성능을 실험하였으며, 코오롱 사의 요청으로 UHMWPE 복합재료들의 방탄 성능 실험을 수행하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

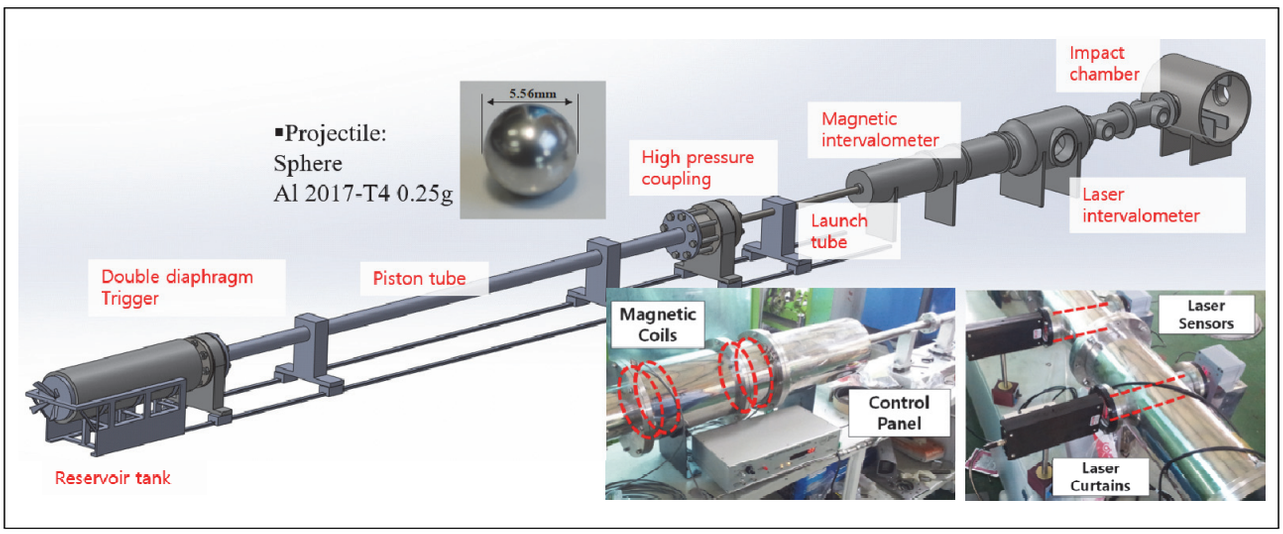
국내 최초 4.3km/s 초고속 충격이 가능한 장비를 자체 개발하였으며, 우주 파편으로부터 우주 비행체를 보호하기 위한 연구와 실험이 국내 최초로 수행되었다. 이를 통해 해외 연구기관이 보유하고 있는 초고속 충격 장비에 비해, 매우 저렴한 비용으로 초고속 충격 실험이 가능하다.

활용 가능 분야

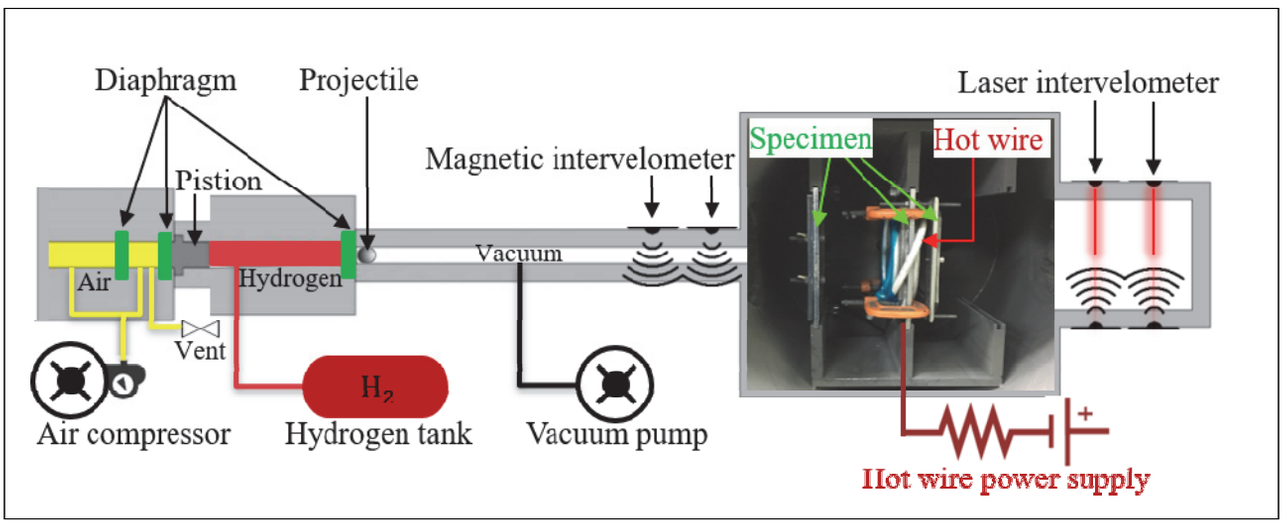
추후 국내 유인우주선이나 파편 충돌을 고려해야 하는 대형 위성을 제작할 경우, 본 장비가 활용되어 우주 구조물 외벽 구조 설계에 큰 도움이 될 수 있으며, 기존 방탄 실험뿐만 아니라, 초고속 충돌에 대한 방탄 실험 및 재료의 극한성능에 대한 실험이 가능하다.



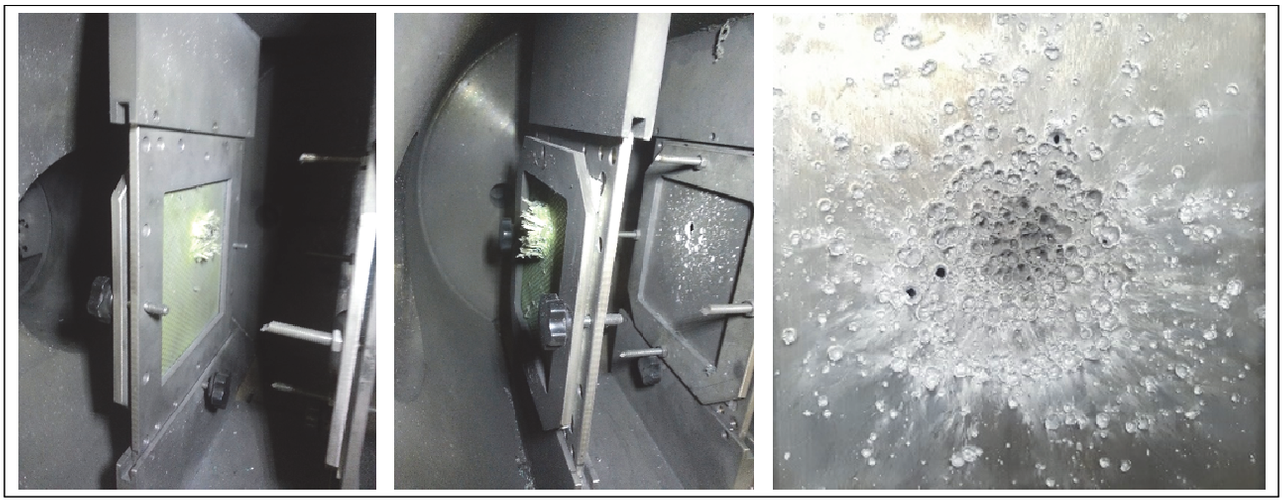
▲<그림 1> 초고속 충격 장비 (2 Stage Light Gas Gun)



▲<그림 2> 초고속 충격 장비 개략도1



▲<그림 3> 초고속 충격 장비 개략도2



▲<그림 4> 우주 구조물의 초고속 충격 실험

성과명	(5) 우주 방사선 저항성 신소재 개발		
주관연구기관	서강대학교	연구책임자	김 충 익
연락처	02-705-7964	이메일	choongik@sogang.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	우주방사선, 산화물반도체, 박막트랜지스터		

상세 성과내용

연구의 필요성

원자력 발전소, 항공기 등을 비롯해 우주공간은 많은 양의 방사선에 노출이 될 수 있는 환경이다. 이런 환경에서 사용되는 전자기기들은 고 에너지의 방사선에 의해 고장이나 성능 저하를 일으켜 경제적 손실이 커지기도 한다. 이에 우주 공간에서 안정적으로 작동하는 전자소자를 개발하는 일은 무엇보다 필요하다.

연구 목표

본 연구에서는 전자기기를 구성하는 대표적 소자인 박막트랜지스터를 기반으로 우주 환경에서 안정적으로 작동하는 우주 방사선 저항성이 우수한 유무기 하이브리드 박막트랜지스터를 구현하고자 하였다.

연구결과

본 연구를 통해 방사선 저항성이 우수한 산화물 반도체 소재 조합을 최적화하였으며 1015 cm-2 dose의 매우 높은 방사선 조사량에도 우수한 저항성을 보임을 확인하였다. 결과적으로 우수한 방사선 저항성 박막트랜지스터를 개발하여 다양한 응용가능성을 확인하였다.

활용사례

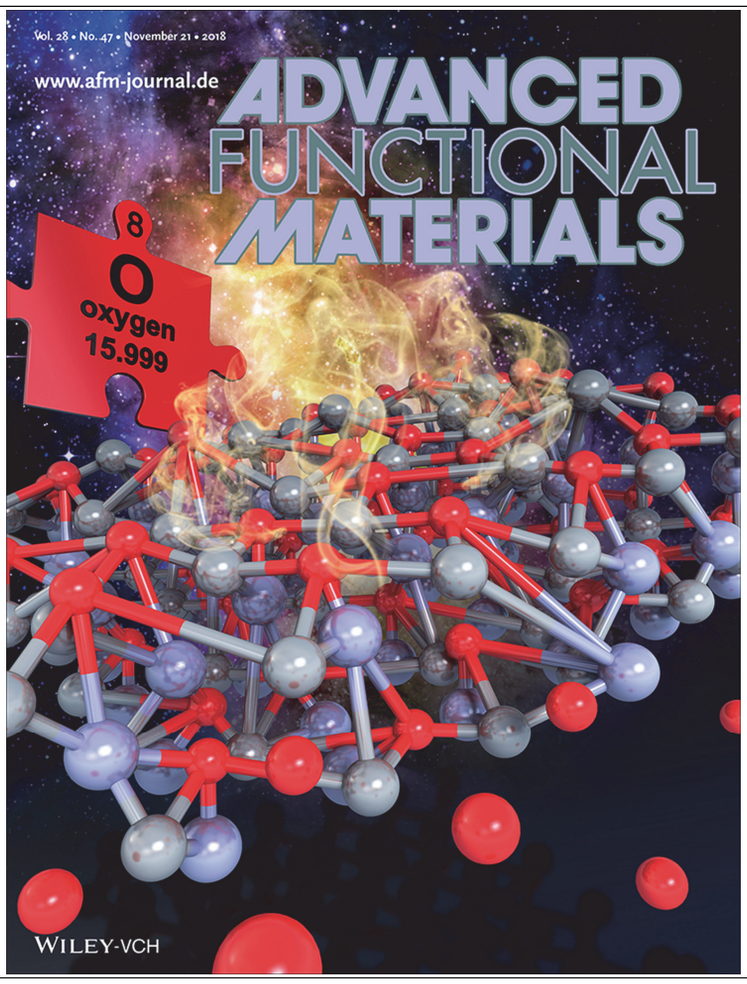
신규 산화물반도체 소재는 우주공간에서 인공위성이 수 백 년 이상 시간 동안 받는 양에 해당하는 높은 방사선 조사량에도 그 특성이 거의 변화하지 않는 모습을 보여주었기에, 우주공간에서 활용되는 인공위성, 우주정거장뿐 아니라 원자력발전소, 항공산업, 의료산업 등에도 신규 산화물반도체소재를 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

기존지식/ 기술대비 차별성

우주 방사선 하에서 다양한 정보전자 소재의 성능 변화, 나아가서 우주환경에서 안정적으로 작동하는 전자소자에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았음. 우주 산업 및 기타 방사선 환경하의 여러 산업을 고려할 때 방사선 환경에서 높은 안정성을 갖는 반도체 소자의 개발은 경제적 가치가 매우 높다.

활용 가능 분야

반도체 소자는 다양한 환경에서 사용되는 핵심적 소자로 기존 초박막 액정표시장치(TFT-LCD)나 차세대 유기발광다이오드(OLED) 산업에서 가장 핵심적 기술이기에, 우주공간에서 활용되는 인공위성, 우주정거장뿐 아니라 원자력발전소, 항공산업, 의료산업 등에도 신규 산화물반도체소재를 적용할 수 있을 것으로 기대한다.



▲<그림 1> 우주방사선 저항성 산화물반도체 소재

성과명	(6) 큐브위성 위성체 플랫폼		
주관연구기관	㈜ 솔탑	연구책임자	김홍래
연락처	042-334-2001	이메일	hrkim@soletop.com
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	큐브위성 플랫폼, Plug & Play, 큐브위성 비행소프트웨어, CAN 통신		

상세 성과내용

연구의 필요성

큐브위성의 시장이 커짐에 따라 국내에서도 큐브위성에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 대부분의 큐브위성 개발자들은 해외제품을 사용하고 있기 때문에 국내 자본의 해외 유출과 함께 원천 기술에 대한 확보가 불가능한 상황이다. 따라서 국내 위성 플랫폼을 구축하여 국내 수요뿐만 아니라 해외 시장에서도 경쟁할 수 잇는 큐브위성을 구축할 필요가 있다.

본 연구에서 적용될 Plug & Play는 현재 큐브위성 개발자 및 향후 개발 의사가 있는 사람들의 개발 진입장벽을 낮추는데 크게 공헌하고 국내 및 해외 시장의 향상에 기여될 것으로 기대하고 있다. 현재 10kg 이하 나노위성은 CAGR(Compound Annual Grow Rate)이 연 30% 이상으로 그 시장이 점차 커지는 추세이며, 다양한 분야의 개발자들이 참여하고 그에따라 임무도 다양해지고 있다. 하지만 기존 큐브위성 제품들은 아직 그 사용자 층이 위성 관련 전문 지식을 가지고 있는 사람만이 접근 할 수 있다는 접근성의 문제가 존재하며, 입문자가 쉽게 위성을 개발하기 어려운 문제가 있다. 반면에 Plug & Play 방식을 사용하는 장치는 장치를 연결만 하면 사용자가 별다른 조작 없이 인터페이스가 되어 바로 위성 운용이 가능하다는 장점이 있기 때문에 입문자가 쉽게 위성을 개발할 수 있도록 지원한다.

또한, 위성 플랫폼 기본 버스로 CAN(Controller Area Network)를 적용하였는데 이는 보다 신뢰성 있는 큐브위성 시스템의 제공이 가능하다. 기존의 큐브위성 플랫폼은 I2C통신을 기반으로 하고 있는데 I2C는 처음 California Polytech에서 큐브위성을 개발할 때 채택한 인터페이스로 현재 PC 컴퓨터에서도 사용되는 범용적인 인터페이스지만 I2C로 연결이 되는 모듈 중 하나라도 오류가 발생하면 전체적으로 통신오류가 나는 Hang-up 문제가 있으며, Pull-up 형상에 따라 통신이 불능상태가 되기도 한다. 큐브위성에서도 이러한 문제점이 나타나는데 QB50 Pre-cursor 임무에서 이러한 문제점을 제시하였고, 기존의 큐브위성들도 단지 지상과 통신이 안되는 고장문제가 아닌 인터페이스 관련 근본적인 문제로 인해 불능이 되었다고 예측하고 있다. 따라서 본 연구에서는 대형위성에서도 사용되며 저가로 공급이 가능한 CAN 통신을 기본 통신 방식으로 채택하였다.

연구 목표

○ Can Plug & Play가 적용된 큐브위성 플랫폼 개발
- 큐브위성 탑재 소프트웨어 개발을 위한 IDE Tool 개발
- CAN Plug & Play Framework, Architecture 개발 및 라이브러리 개발
- CAN Plug & Play 기반의 명령 및 데이터 처리계 개발
- CAN Plug & Play 기반의 전력계 개발
- CAN Plug & Play 기반의 통신계 개발
- CAN Plug & Play 기반의 자세제어계 개발

연구결과

○ 큐브위성 탑재 소프트웨어 개발을 위한 IDE Tool 개발
- 플랫폼 구성품의 소프트웨어를 사용자가 편하게 개발할 수 있는 IDE Tool을 개발하였고 제공하는 플랫폼과 관련하여 각종 시험을 할 수 있도록 지원

○ CAN PnP Framework, Architecture 개발 및 라이브러리 개발
- CAN 통신 기반의 PnP(Plug & Play) Framework, PnP Architecture, PnP 라이브러리 개발(CAN 통신 지원 마이크로컨트롤러에 다양하게 적용) 수행

○ CAN PnP 기반의 명령 및 데이터처리계 개발
- 명령 및 데이터처리계 하드웨어 / ARM 계열 명령 및 데이터처리계 / 명령 및 데이터처리계 비행소프트웨어 라이브러리 개발 수행

○ CAN PnP 기반의 전력계 개발
- 태양전력변환기 하드웨어(MPPT, Maximum Power Point Tracker), 배터리충전기 하드웨어(Lithium Ion 및 Lithium Polymer 배터리용), 전력변환기 하드웨어(3.3V, 5V, 12V), ARM 계열 전력계 관리 시스템 개발 수행

○ CAN PnP 기반의 통신계 개발
- 아마추어무선통신용 UHF/VHF 통신시스템(Full Duplex)과 임무데이터용 S-band 통신시스템 개발(Half Duplex)

○ CAN PnP 기반의 자세제어계 개발
- 자세 결정 및 제어알고리즘 라이브러리, 초소형 태양센서, 모듈형 자기장센서, 큐브위성용 반작용휠, 큐브위성용 지자기토커, 모듈형 자세제어서브시스템

활용 사례

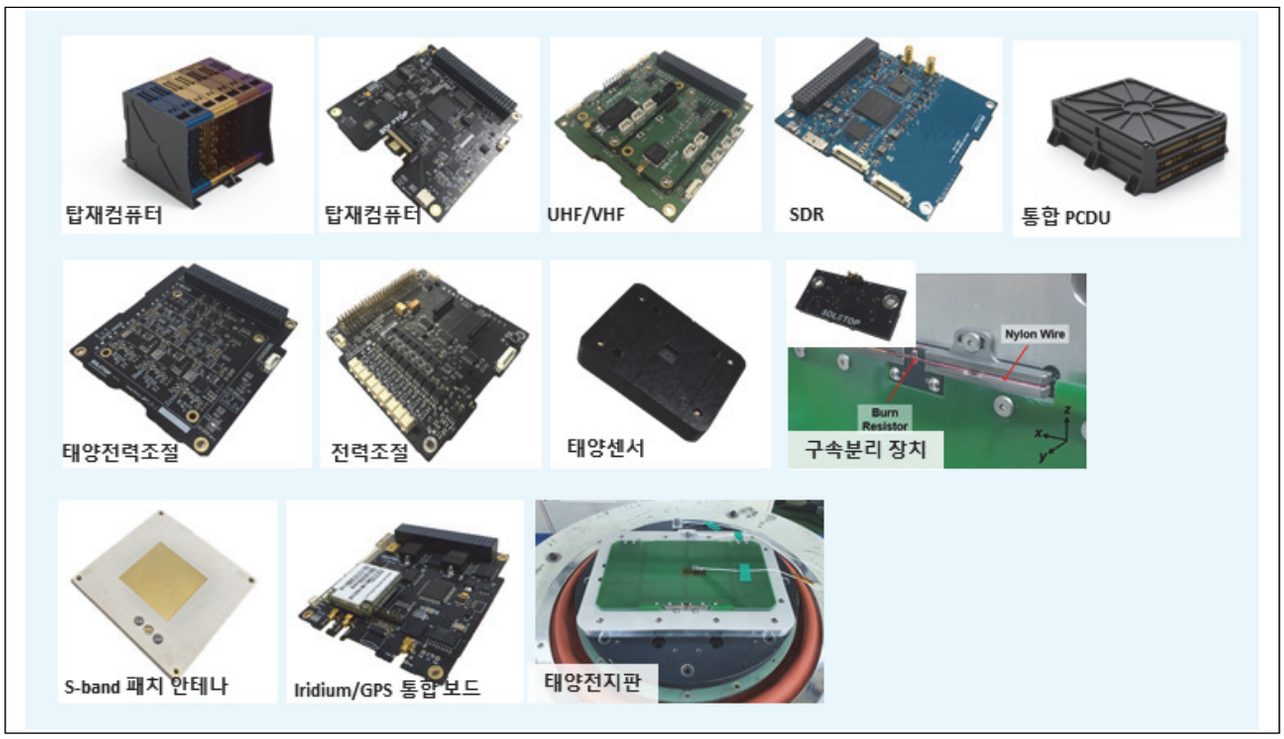
큐브위성 위성체 플랫폼은 2017년 큐브위성 경연대회 참가 팀인 KMSL팀의 OBC와 CANYVAL-C팀의 분리장치에 적용되었으며 한국 천문연구원에서 개발 중인 SNIPE 6U 초소형위성에 Iridium/GPS 통합모듈에 활용되었다. 또한, 2019년 큐브위성 경연대회를 통해 조선대학교에서 개발중인 STEP Cube Lab-II 큐브위성에 일부 구성품으로 적용될 예정이고, ㈜솔탑의 자체 위성인 SOLESat-01에서 OBC와 통신 구성품을 적용하여 검증할 예정이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

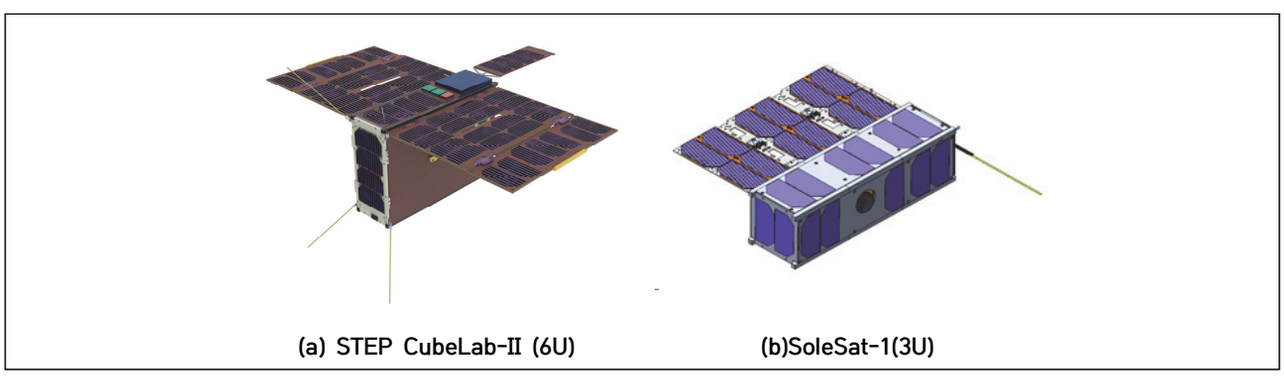
Space Plug & Play Architecture 형태로 빠르게 조립 및 시험이 가능하고 큐브위성 개발에 대한 진입장벽을 낮출 수 있다. 고가의 외산 상용 하드웨어를 자체 개발한 하드웨어로 대체함으로써, 초소형 인공위성 임무의 개발 및 수행 효율성을 제고한다. 또한, 재사용성이 높은 비행소프트웨어를 활용함으로써 다음 위성 개발 사업에서 업무 효율성이 증대 될 수 있다.

활용 가능 분야

큐브위성 위성체 플랫폼은 CAN Plug & Play Architecture 기반으로 설계/제작된 플랫폼으로 100kg 미만의 초소형위성에 적용가능(3U, 6U 50kg 이상의 플랫폼에 적용 가능)하고 국내 큐브위성 경진대회에 참가하는 팀들 대상으로 큐브위성 구성품 제공이 가능하며 각종 큐브위성 임무 수행지원이 가능하다. 그리고 국내 위성시스템을 공부하는 학생에게 교보재 형태로 판매가 가능하며 차 후 해외 큐브위성 개발자에게도 구성품 판매가 가능하다.



▲<그림 1> CAN Plug & Play를 적용한 ㈜솔탑의 초소형위성 플랫폼 제품군



▲<그림 2> CAN Plug & Play를 적용하여 개발 중인 초소형위성 프로그램

성과명	(7) 탄성 메타물질을 통한 인공위성 테더 시스템 개발		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	박 노 철
연락처	02-2123-4530	이메일	pnch@yonsei.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	우주 테더, 탄성 메타물질, 강건 설계, 외란 흡수		

상세 성과내용

연구의 필요성

인공위성에 부착된 테더에 추력 및 항력을 발생시켜 인공위성의 궤도제어에 필요한 추진제와 이를 분사시키기 위해 사용되는 전력의 소비를 획기적으로 감소시킬 수 있는 인공위성 궤도제어용 테더 시스템을 설계할 필요가 있다. 또한, 매우 긴 길이를 가지고 있는 테더 시스템은 지구자기장 변화와 케이블 방출 등 테더 시스템의 추가로 인해 야기되는 외란에 의한 불안정성이 증가하므로 이에 대비하기 위해 테더 시스템의 안정성 평가 및 궤도제어 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 더욱이 초소형운석 혹은 우주 잔해의 충돌로 발생하는 큰 외란이 발생할 경우, 능동 제어만으로 테더 시스템을 안정시키는 데 한계가 있어, 테더 시스템에 발생하는 큰 외란이 인공위성의 자세와 궤도에 미치는 영향을 최소화하기 위해 본 연구에서는 메타물질 단위 구조를 배열한 탄성 메타물질 테더 시스템을 개발함으로써 전체 시스템의 외란에 대한 강건성을 확보하였다.

연구 목표

외란에 강건한 인공위성 테더 시스템을 개발하기 위하여 탄성 메타물질을 사용하여 외란으로 발생한 진동을 흡수하여 테더 시스템의 안정성을 높이고, 인공위성으로 전달되는 진동을 줄이고자 한다.

연구결과

○ 테더 시스템의 안정성 평가 및 궤도제어 알고리즘 개발

인공위성 궤도제어용 테더 시스템에 대한 자기장 변화와 케이블 방출 등 테더 시스템의 추가로 야기되는 외란에 의한 불안정성 증가에 대비한 테더 시스템의 안정성 평가 및 궤도제어 알고리즘을 개발하였다. 테더 시스템의 안정성을 평가하는 판단 근거로써 정/동적 장력비를 산정하였고, 최대허용회전각을 통한 테더 시스템의 판단 알고리즘을 제안하였다. 최종적으로 본 연구에서 제안한 MRAC 제어 알고리즘을 사용하여 실제 크기의 테더 시스템이 안정화됨을 확인하였다.

○ 메타물질 단위 구조를 배열한 탄성 메타물질 테더 시스템을 개발

테더 시스템에 발생하는 초소형운석 혹은 우주 잔해의 충돌로 발생하는 큰 외란에 의한 인공위성의 자세와 궤도에 미치는 영향을 최소화하기 위해 메타물질 단위 구조를 배열한 탄성 메타물질 테더 시스템을 개발함으로써 전체 시스템의 외란에 대한 강건성을 확보하였다. 이를 위해 본 연구에서는 탄성 메타물질을 사용하여 테더 시스템의 진동 저감 능력을 향상하고자, 진자 형태 탄성 메타물질을 설계하였다. 또한, 상사성 이론을 통해 실제 크기와 동일한 동특성을 가지는 축소 모델을 설계하였고, 구축한 축소 모델의 지상 실험을 통해 유한요소해석의 타당성을 확인하였다. 진자 형태 탄성 메타물질이 가지는 다중 밴드갭의 발생 원리 및 제어 가능성을 분석하였고, 진동 저감 성능 향상을 위해 넓은 밴드갭을 만드는 설계 방법론을 제안하였다. 최종적으로 실제 테더 시스템에 진자 형태 탄성 메타물질을 적용하여 외란에 의해 발생한 진동이 감소함을 확인함으로써, 외란에 대한 테더 시스템의 강건성을 확보하였다.

활용 사례

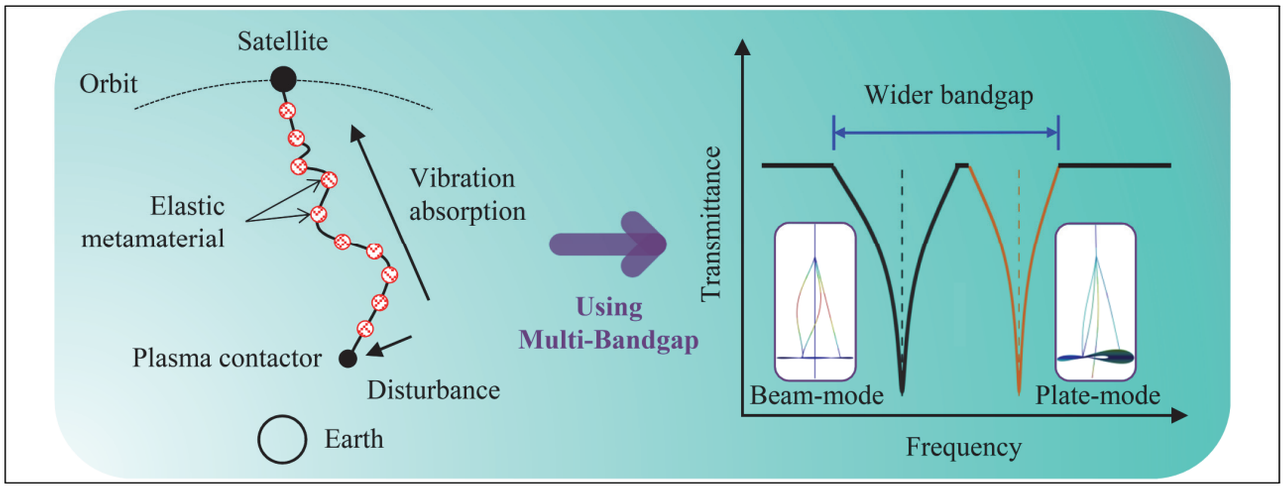
테더 시스템에 흐르는 전류와 지구자기장과의 상호작용으로 발생하는 로렌츠 힘을 이용하여 추력 또는 항력을 발생시키고, 이로 인해 인공위성 혹은 우주선 등 우주 장비의 궤도제어가 가능하다. 또한 인공위성은 추진제의 소모 및 배터리의 방•충전횟수와 태양전지판의 성능 저하 그리고 카메라 등 탑재 장비의 노후화로 인하여 수명이 결정되므로, 테더 시스템은 추진제를 절약하고 전력 소비를 감소시켜 위성의 사용수명을 연장할 수 있는 장비로 주목받고 있고 지구 주위를 공전하고 있는 우주 잔해의 문제가 대두되는 시점에서, 테더 시스템을 통한 우주 잔해 제거 및 인공위성을 자체적으로 폐기할 수 있는 무동력 폐기처리기술에도 적용할 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

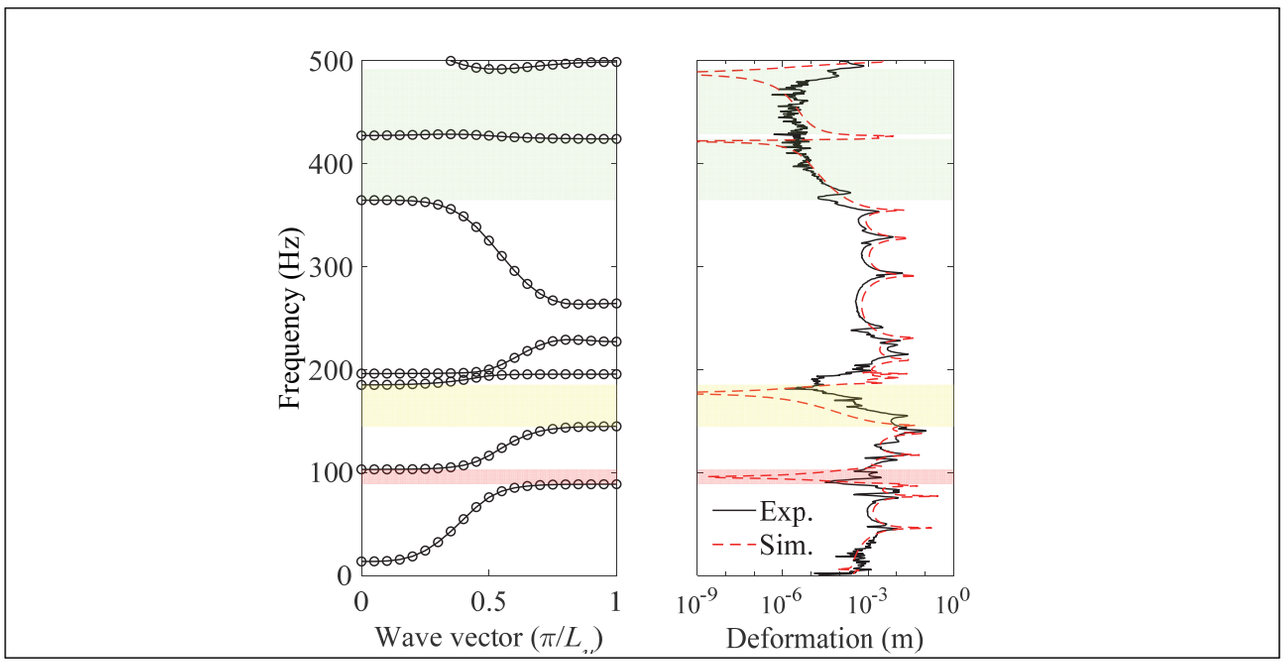
현재까지 외란에 대한 테더 시스템의 제어는 액추에이터 및 전류의 세기를 통하여 이루어졌다. 본 연구에서는 운석 충돌과 같이 능동 제어 한계를 넘는 외란이 테더 시스템에 발생하였을 때, 탄성 메타물질의 내부 공진을 통하여 자체적으로 외란을 흡수하는 테더 시스템을 개발하였다.

활용 가능 분야

우주 내에서 화물을 다른 위치로 운송하기 위해 일반적으로 많은 양의 추진체가 필요하지만, 테더 시스템을 사용함으로써 자체로 발생시키는 추력 및 항력으로 적은 양의 추진체만으로 화물 운송이 가능하여, 우주 내에서의 화물 운송 시스템 역할을 할 수 있을 것이라 기대한다.
또한, 본 연구 성과는 케이블 로봇, 케이블 3D 프린터, 전개식 mesh형 우주 안테나 등 다양한 분야에서 사용되는 유연 구조물의 설계와 안정성 확보 및 외부 충격과 같은 외란에 대한 강건성을 확보하기 위한 메타물질 설계에 적용할 수 있다.



▲<그림 1> 진자형태 탄성 메타물질을 통한 테더 시스템의 외란 흡수 메커니즘



▲<그림 2> 축소모형 실험 및 해석을 통한 진자형태 탄성 메타물질의 테더 시스템 외란 흡수 성능 검증

성과명	(8) 분리형 우주망원경의 핵심기술 개발과 우주검증		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	박 상 영
연락처	02-2123-5687	이메일	spark624@yonsei.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	큐브위성, 분리형 우주망원경, 위성편대비행, 위성제작		

상세 성과내용

연구의 필요성

차세대 첨단 우주망원경 기술 개발을 통하여 위성 편대비행/랑데부/도킹 등의 기술을 선도적으로 확보한다.

연구 목표

분리형 우주망원경의 핵심 시스템 연구 및 편대비행 큐브위성 개발 및 우주 검증이다.

연구결과

○ CANYVAL-X 미션의 두 대의 큐브위성 개발 및 발사
○ 분리형 우주망원경의 핵심 시스템 개발
○ 위성편대비행을 위한 비행 소프트웨어 개발
○ 분리형 우주망원경의 기술시험 및 우주검증 및 분석

활용사례

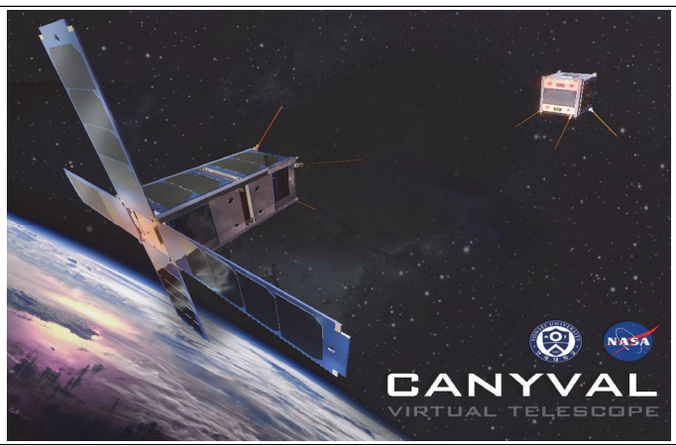
○ 승계된 큐브위성 미션 CANYVAL-C 개발 (2017 큐브위성 경연대회 선정)
○ NASA Goddard Space Flight Center와 국제 협력 토대 마련
○ 위성개발 고급 인력 양성 및 벤처기업 창업
○ 위성 편대비행에 대한 기반기술 제공
○ 위성 랑데부 및 자율도킹에 대한 기반기술 제공
○ 위성 상대항법 및 상대운동 제어에 대한 기반기술 제공

기존지식/ 기술대비 차별성

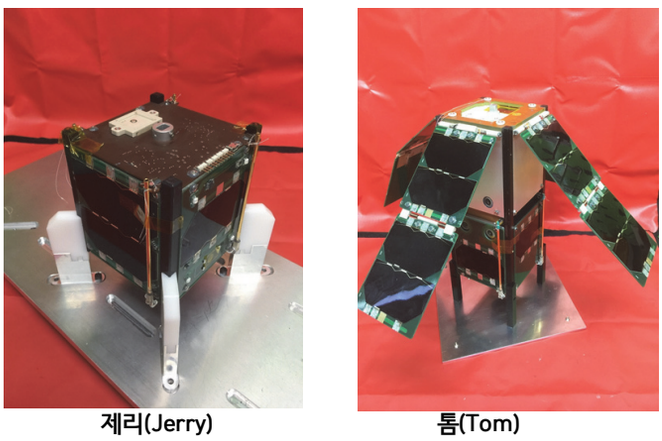
○ 기존의 우주망원경은 모두 단일위성으로 구성
○ 두 대의 위성으로 구성되는 분리형 우주망원경(virtual telescope)은 차세대 우주망원경으로서 높은 분해능의 영상 획득 제공
○ 위성 편대비행 GNC(Guidance Navigation Control) 기술 선도
○ 위성 편대비행 활용

활용 가능 분야

○ 위성 편대비행이 필요한 각종 우주 미션 구현
○ 위성 랑데부 및 위성 도킹이 필요한 각종 우주미션 구현
○ 여러 종류의 군집위성(위성군) 미션
○ 우주쓰레기 제거 미션 / 우주 레이저 광통신 미션
○ 태양의 플레어의 X선 관측 미션
○ X선 천문학의 고해상도 관측 미션

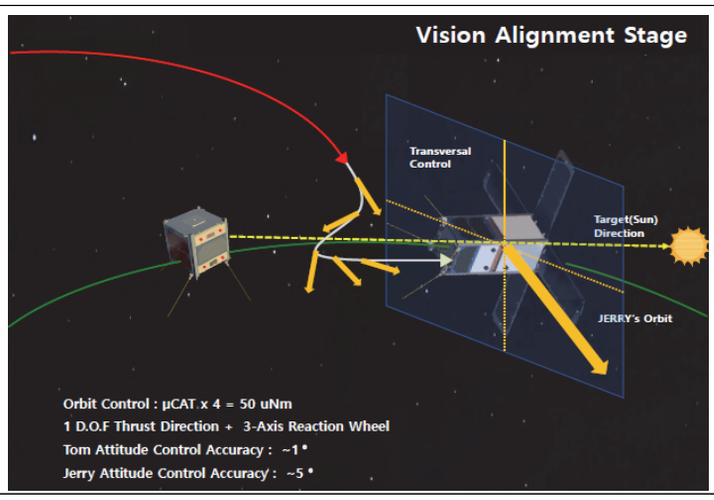


▲<그림 1> CANYVAL-X 큐브위성 미션



제리(Jerry) 톰(Tom)

▲<그림 2> 개발된 두 개의 큐브위성



▲<그림 3> 편대비행 시나리오

성과명	(9) 선형비점수차가 제거된 비축반사광학계를 적용한 스웨덴 과학위성 MATS의 국제공동 개발		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	박 수 종
연락처	010-6226-9913	이메일	soojong@khu.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	우주망원경, 비축반사망원경, 지구관측위성, 광학수차이론		

상세 성과내용

연구의 필요성

지구의 중간권은 지구 대기층과 우주공간의 중간지역으로 지구 기후 연구에 중요한 자료를 제공하고 있다. 이러한 중간권 관측을 위해 우주망원경으로 지구 지평선 위를 관측해야 하는데, 입사광에 차폐가 없어야 하고, 넓은 시야와 넓은 파장대의 동시 관측이 필요하다. 비축반사광학계에서 나타나는 선형비점수차를 제거해야 광학 성능을 만족할 수 있으며, 선형비점수차가 제거되는 특정 조건이 수학적으로 존재한다는 이론이 있지만, 실제로 제작된 사례가 없다.

연구 목표

본 연구팀에서 개발한 선형비점수차가 제거된 이론을 적용한 비축반사망원경을 스웨덴 팀과 국제 공동 개발하는 것이다.

연구결과

선형비점수차가 제거되는 반사광학계를 설계하고, 스웨덴 과학위성 MATS(Mesospheric Mirglow/Aerosol Tomography and Spectroscopy)의 우주망원경에 적용하였으며, 스웨덴 팀과 공동으로 제작 및 테스트를 수행하여 비행 모델 검증을 마쳤다. MATS 위성은 2020년 말 또는 2021년 초에 발사 예정이다.

활용사례

한국연구재단 2020년 한-프랑스 협력기반조성사업의 지원을 받는 “우주의 최저 표면 밝기를 관측하는 MESSIER 탐사위성의 타당성 조사연구”가 선정되었으며, 본 연구 기간은 2020.12.01.-2022.11.30. 이고 연구비는 총 30,000,000원 임. 유럽 연합이 추진하는 MESSIER 위성의 구경 400mm 우주망원경의 광학설계에 본 연구팀의 선형비점수차가 제거된 광학 이론을 적용하는 연구를 시작하였다.

또한, 한국연구재단 무인이동체 원천기술 개발사업의 세부 위탁과제로 “무인이동체 임무장비 광학계 설계 및 분광영상 모델개발” 연구가 선정됨. 본 연구팀의 선형비점수차가 제거된 광학 이론을 적용하여 무인이동체에 탑재하는 초분광 적외선 카메라의 광학 설계 및 광기계 설계 연구를 시작하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

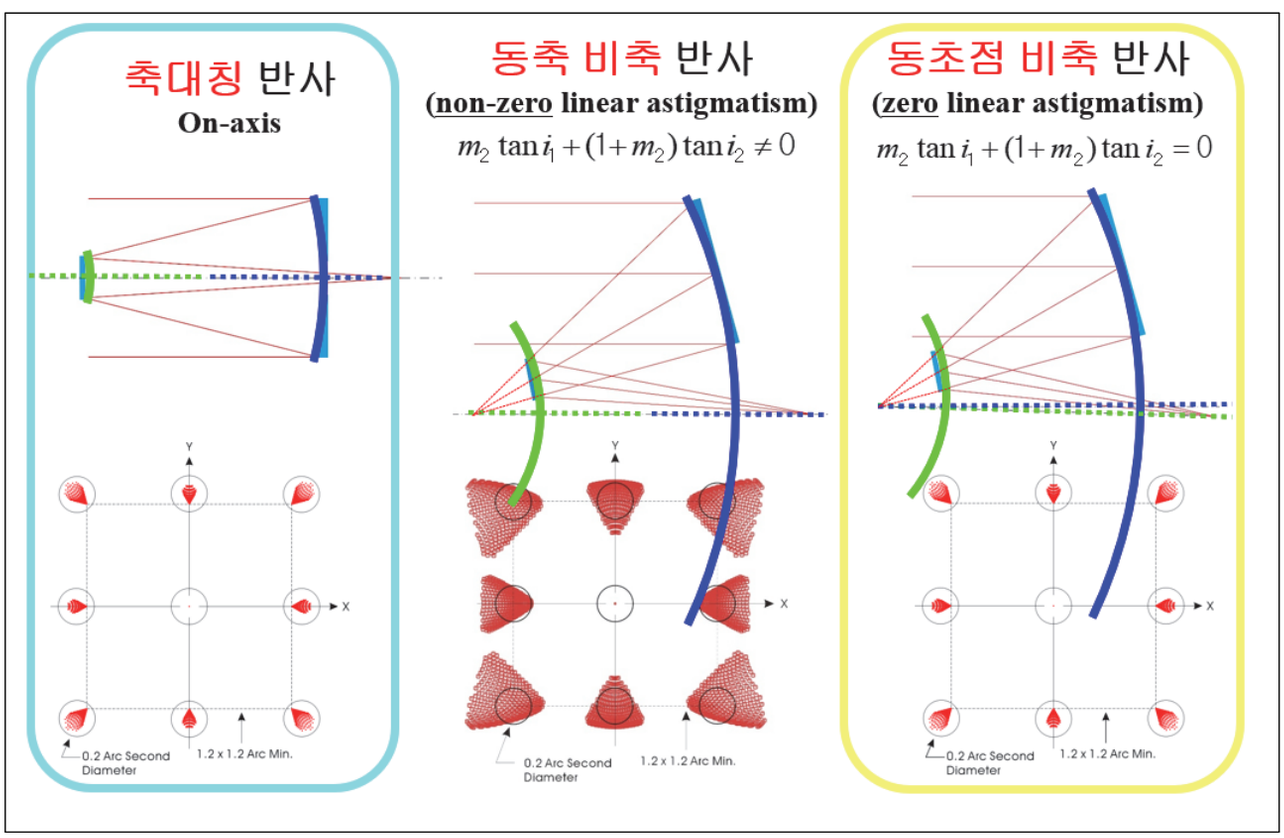
본 연구팀에서 개발하는 선형비점수차가 제거된 동초점 비축반사망원경은 기존에 널리 사용되는 굴절식 망원경, 축대칭on-axis) 반사망원경의 단점을 보완할 수 있는 혁신적인 새로운 개념의 망원경이다. 선형비점수차가 제거된 동초점 비축반사 광학계는 이론이 나온 후, 자유곡면 반사경의 제작과 광학 정렬의 기술적 어려움으로 현실화하는데 어려움이 있었으나, 스웨덴 과학위성 MATS 의 성공으로 제작이 가능하다는 사실을 증명하였다.

또한, 국내의 우주망원경 연구는 실패를 회피하기 위해 기존에 충분히 검증된 기술을 선호하는 경향이 있어서, 검증되지 않은 새로운 기술을 개발하고 적용하는데 어려움이 있었으나, 본 기술의 가치를 인정한 스웨덴 팀과 국제 공동 연구를 통하여 기술을 개발하고 검증하였다.

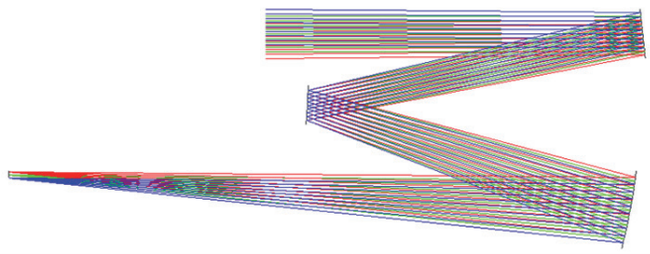
활용 가능 분야

○ 적외선 우주망원경
비축 반사망원경의 반사경을 알루미늄으로 제작하고 광기계 부품을 같은 재질의 알루미늄으로 제작하면 열 팽창/수축 문제를 자연적으로 해결할 수 있어서, 적외선 우주망원경에 적합하다.

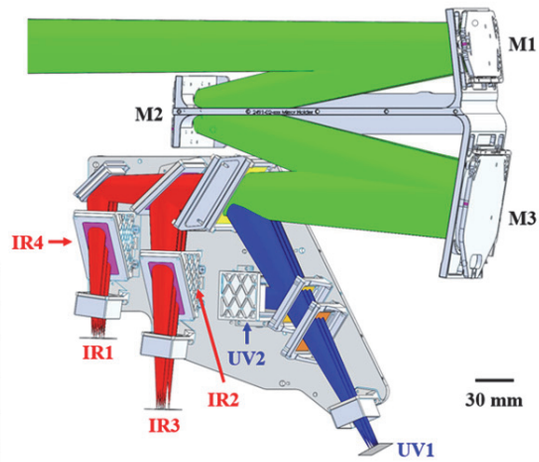
○ 군사용 적외선 카메라
망원경의 모든 부품을 알루미늄으로 제작하면 전체 광기계 구조를 매우 견고하게 장착할 수 있어서 군사용으로 활용할 수 있음.



▲<그림 1> 선형비점수차가 제거된 카세그레인 광학계의 예



Parameter	Value
EPD (Entrance pupil diameter)	30mm
Focal length	270mm
Field of view	5.5° x 1°
Wavelength coverage	UV ~ NIR
Detector pixel size	21 x 529 μm



▲<그림 2> 스웨덴 과학위성 MATS 의 지구관측 망원경. 왼쪽은 광학 설계와 사양을 보여주고 오른쪽은 6 밴드 분광 카메라의 구조

성과명	(10) 우주핵심기술개발사업을 통한 통신탑재체용 다중 채널화필터 우주 인증모델 개발		
주관연구기관	(주)큐니온	연구책임자	박 종 희
연락처	042-719-2140	이메일	martin.park@qnion.com
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	고주파 필터, 멀티플렉서, 우주인증, 인증모델, 멀티팩터		
상세 성과내용			

연구의 필요성

우리나라는 우주강국으로의 도약을 위해 국내기술의 자립도를 확대하고 이를 토대로 해외로의 수출을 적극적으로 권장하고 있으며, 수많은 정보와 지식을 공유하고 전달하는 수요가 점점 늘어나기 때문에 위성통신을 위한 하드웨어도 다기능/고용량 데이터를 처리할 수 있는 능력의 확보가 필요하다. 본 연구에 정지궤도 및 통신위성의 입·출력단에 다중채널화필터를 탑재함으로써, 광대역 위성통신 서비스가 가능해 지는데 기여할 수 있다.

연구 목표

본 연구의 목표는"통신탑재체용 다중 채널화필터 우주 인증모델 개발"이며, 개발모델의 설계 및 제작, 인증모델의 설계 및 제작을 하는 것이다. 구성품에 대한 입력필터 설계 기술, 전력분배기 설계 기술, 채널필터 설계 기술, 베이스판 및 브라켓 설계 기술, 기구설계 기술을 확보하고 우주 인증을 위한 Ka대역 다채널 필터 국산화 제작 기술을 구축하고자 한다. 또한, 통신탑재체용 다중 채널화필터 우주 인증 기술을 확보하기 위하여 최악조건 분석기술, 신뢰성분석 기술, 기구해석 기술을 확보하고 환경시험을 통한 발사 및 우주환경에 대한 시험인증을 수행하는 것이다.

연구결과

전기적 성능검증을 위한 개발모델의 설계 및 제작을 수행하였고, 초기에는 국내 및 해외 참고문헌등과 기술을 분석하고 개념설계를 통하여 기본적인 구성과 목표에 대한 만족여부를 판단하고, 상세설계를 통해 개념설계의 보완 및 실제작 도면과 같은 설계 자료를 생성하였다. 또한, 개발모델의 전기적 성능을 개선하고 우주환경을 고려한 물리적 설계가 포함된 인증모델의 설계 및 제작을 수행하였으며, 초기에 개발모델의 개선점을 분석한 전기적 성능 설계와 소형/경량화를 위한 기구설계가 이루어졌으며, 3D 모델링 설계, 최악조건 분석, 신뢰성 분석, 기구해석과 같은 분석 설계가 수행되어, 이를 바탕으로 인터페이스 도면을 산출하였다.

우주환경에 대한 인증시험인 환경시험을 수행하여, 발사환경시험인 진동/ 충격시험과 우주환경 시험인 온도시험 및 열진공시험이 실시되었으며, 환경시험 전후로 인증모델의 전기적 성능목표의 측정을 완료하였다. 또한, 마케팅 활동으로 국제 우주항공학회와 같은 우주항공과 관련된 해외 유수의 학회에 기술 및 제품 홍보활동을 수행하여, 사업화를 위한 노력을 수행하였다.

활용 사례

정지궤도 공공복합통신위성 등 신규 개발 될 통신위성에 개념설계 단계에서 부터 적용이 논의되고 있으며, 현재 긍정적으로 검토 중에 있다. 또한, 해외 선진업체에 방문하여 시제품에 대한 사업화를 논의하였으며, 선진업체에서 요구하는 추가 보완사항(복층화, 경량화)을 충족시키기 위한 연구개발이 검토되고 있다.

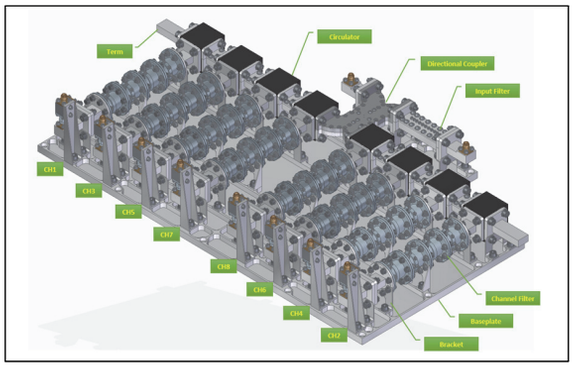
기존지식/ 기술대비 차별성

해외 선진국들은 다양한 주파수 대역과 다양한 채널로 구성된 입력 멀티플렉서 및 출력 멀티플렉서는 십수년 전에 이미 개발하여 위성에 적용하고 있다. 하지만 국내에서는 천리안위성에 적용된 Ka대역 3채널 멀티플렉서가 다채널 멀티플렉서로는 유일한 사례이다. 따라서, 본 과제를 통하여 획득된 Ka대역의 8채널 멀티플렉서 기술을 우주인증하였으므로 향후 국내에서도 다채널 멀티플렉서를 활용하여 고속, 대용량의 위성통신 기술을 개발할 수 있는 능력을 확보할 수 있다.

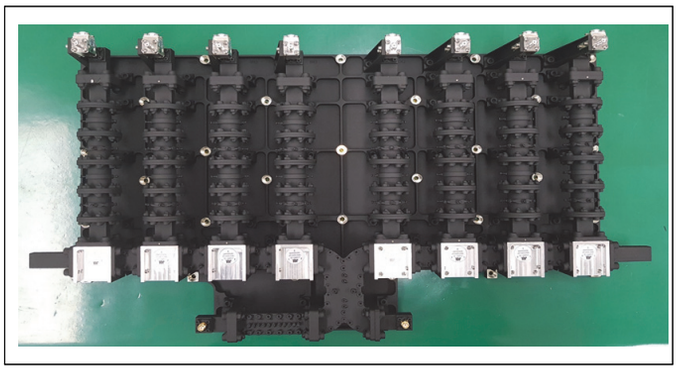
활용 가능 분야

본 과제를 통하여 획득한 Ka 대역 다채널 필터의 우주인증 기술을 바탕으로, 민, 관 통신위성의 통신탑재체에 IMUX와 OMUX의 비행모델을 제품화하여 활용할 예정이며 통신탑재체의 국산화를 이룩할 수 있는 기반을 마련할 계획이다. 또한, 정지궤도위성, 다목적실용위성, 차세대소형위성/중형위성 등에 다양한 고주파부품으로 응용이 가능하며 향후 국내기술로 위성을 제작하여 수출하는데도 기여하고 다중 채널화필터의 설계 및 제작 기술은 L대역, S대역, X/Ku대역으로 접목이 가능할 것으로 판단된다.

향후 민간, 군, 국제협력 서비스 등 다양한 분야로의 적용이 가능하여, 향후 급변하는 통신시장 대응에 준비할 수 있는 기반을 마련할 수 있었으며, 본 과제로 IMUX와 OMUX를 국산화하여 수입을 대체한다면, 2030년까지 총 114.4억의 수입대체비용이 발생하고 정부의 위성수출계획에 따라 총20.8억 원의 수출기대비용이 발생할 것으로 예상된다.



▲<그림 1> Ka대역 8채널 필터의 형상 모델링



▲<그림 2> Ka대역 8채널 필터의 제작 형상

성과명	(11) 이온화 물질을 동반하는 전기추력기 성능설계 및 해석 프로그램 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	성 홍 계
연락처	02-300-0104	이메일	hgsung@kau.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	전기 추력기, 전자기장 유동 방정식, 추력기 성능해석, 이혼화 모델링, 플라즈마 거동 해석		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주에서 사용되는 추력기 중 전기 추력기는, 연료의 저장이 용이하고 추력을 얻는 방식이 단순하여 소형화에 유리하다는 장점을 갖고 있다. 또한, 추진제를 전자기장 하에 가속하여 높은 속도로 방출하기 때문에, 전기 추력기는 화학 추력기보다 상대적으로 높은 비추력과 효율을 갖는 장점이 있다. 그러므로 전기 추력기는 인공위성의 자세 제어용 추력기로 사용될 뿐만 아니라 심우주 탐사용 추력기로 사용되고 있으며, 해외 여러 연구진에 의해 현재 활발한 연구가 진행 중이다. 특히, 전기 추력기의 전산 모사 기술은 해외에서 30여 년 전부터 현재까지 개발 및 사용되고 있으며, 전기 추력기 개발에 큰 영향을 미쳐왔다. 그러나, 국내 전기 추력기 전산 모사 기술 수준은 해외의 수준보다 미약한 실정이다. 점진적으로 증가하는 세계 심우주 연구 및 지구 저궤도 인공위성 개발 추세를 볼 때, 전기 추력기의 전산 모사 및 해석 기술 확보는 전기 추력기의 개발에 필수적이다. 전기 추력기의 전산 모사 기술 확보에 따른 기대효과는 국내 전기 추력기 관련 분야 연구개발 분위기 조성 기여, 개발 기간 단축, 비용 절감 및 전기 추력기의 물리적 해석 능력 향상 등으로 예상된다.

연구 목표

이온화 물질을 동반하는 전기추력기 성능 설계 및 해석 프로그램 개발

○ 추진제 이온화에 대한 물리적 모델링

○ 추력기 작동 메커니즘 이해 및 플라즈마 유동 특성 해석

○ MHD(Magnetohydrodynamics) 방정식을 이용한 추력기 유동장 해석

연구결과

전기 추력기는 추진제가 이온화 영역 내에서 이온화되어 전자기력에 의해 가속됨에 따라 추력을 얻는다. 따라서, 전기 추력기 특성에 따른 성능 예측 기법이 요구된다. 본 연구에서는 PPT(Pulsed Plasma thruster)와 홀(Hall) 추력기의 성능해석 프로그램 개발을 위해 추진제 표면에서 발생하는 삭마(ablation) 현상과 플라즈마 발생 메커니즘을 모델링하고, 추진제가 전하를 띄고 전자기장의 영향을 받아 거동하므로 이를 고려한 MHD(Magnetohydrodynamics) 방정식을 각 추력기 시스템에 맞게 수립하여 성능해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 전기추력기의 추력 발생 메커니즘을 구현하고 전기추력기의 성능 설계/해석 프로그램을 개발하였다.

활용사례

○ 민간기업 위성 적용 전기 추력기 성능 분석 및 성능예측 활용

기존 제작한 HET(Hall Effect Thruster) 실험 결과 분석을 통한 보정상수 도출 및 개량 HET 성능 예측 결과 도출

기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구의 연구결과로 도출된 PPT 추력기 성능해석 기법은 기존의 실험 모델기반의 성능해석 기법과 다르게 이론적 모델에 기반을 두고 있으므로 보다 범용적인 PPT 추력기 성능 해석 예측에 활용될 수 있다. 또한, 홀 추력기 해석기법은 보정 상수에 대한 모델링 값을 제시함으로써 기존의 선행연구자의 해석 결과보다 실험 결과와 유사한 결과를 도출할 수 있다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 추후 전기 추력기 개발에 있어 보다 효율적인 연구에 기여할 수 있으며, 저온 플라즈마 유동장 해석 관련 기본 이론 개념을 제시할 수 있다는 것에 연구의 우수성이 있다.

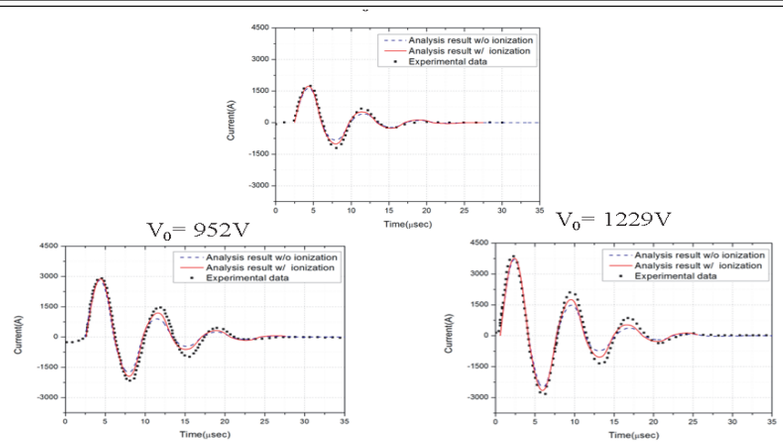
활용 가능 분야

본 연구의 연구결과로 확보되는 전기 추력기 성능해석 기술은 전기 추력기 설계 및 해석에 직접적으로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 플라즈마 공정 해석 기술 확보에 기여할 수 있다.

- ○ 전기추력기의 개발에 필요한 유동장 해석 기술 개발 활용
- ○ 전기추력기의 기초 설계 인자 설정 활용
- ○ 전산해석을 통한 상세 해석과 유동 모델링 개발로 전기추력기 형상 최적화 활용 가능
- ○ 플라즈마 및 전도성 유체의 유동 해석 기술 제고
- ○ 추력기 자세제어 시스템 분야 및 탐사 위성 추력기 개발 분야 활용 가능

< PPT 작동 조건 및 형상 >

High Voltage Capacitor	
Capacitance (μF)	4.06
Charging Voltage (V)	596, 952, 1229
Cap. Inductance (nH)	310
Cap. Resistance (mΩ)	33
Electrode	
Width (mm)	20
Thickness (mm)	10
Discharge Channel length (mm)	60
Separation (mm)	30



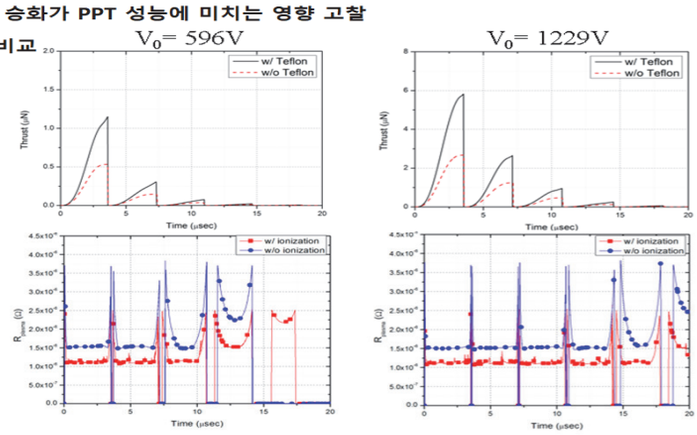
- 선행 실험 연구 결과와 비교 해석 결과 검증 : 방전전류의 변화 패턴이 유사함을 확인

▲<그림 1> PPT 성능해석 프로그램 검증

◆ 작동 전압에 따른 추력 예측
◆ 테플론 승화 고려/미고려 조건 비교를 통해 테플론 승화가 PPT 성능에 미치는 영향 고찰
◆ 추진제 이온화 고려에 따른 플라즈마 저항값 변화 비교

< PPT 작동 조건 및 형상 >

High Voltage Capacitor	
Capacitance (μF)	4.06
Charging Voltage (V)	596, 952, 1229
Cap. Inductance (nH)	310
Cap. Resistance (mΩ)	33
Electrode	
Width (mm)	20
Thickness (mm)	10
Discharge Channel length (mm)	60
Separation (mm)	30



- 작동 전압 증가에 따라 추력 증가 확인
- 테플론 승화에 따른 추력 증가 및 테플론 이온화에 따른 플라즈마 저항 감소 확인

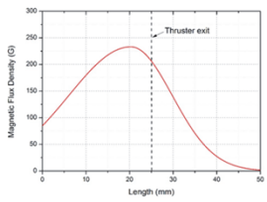
▲<그림 2> PPT 작동 조건에 따른 추력 변화 고찰

◆ 성능해석 기법의 정확도 향상을 위한 열전달, 전자-벽면 충돌 및 다가 이온 적용 해석 수행

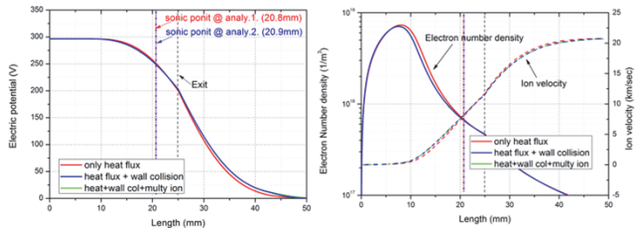
Hall thruster geometry	
Length (L, mm)	25
Height (h, mm)	17.2
Cross area (Ac, cm^2)	45
Plasma characteristic	
Mass flow rate ($\dot{m}$, mg/sec)	5.32
Electron temperature at cathode (Te, eV)	2.7
Discharge voltage (V_d, V)	293.3
Discharge current (I_d, A)	4.5

	Experiment	Reference	Current study 1 (only heat cond.)	Current study 2 (heat cond. + wall coll.)	Current study 3 (multivalent ions)
I_d	4.5A	4.51A	4.5A	4.5A	4.5A
F	82mN	108.0mN	82.0mN	81.9mN	81.9mN
α_B		~1/235	1/239	1/300	1/301

〈해석 결과 선행 연구 결과 비교 분석〉



<해석조건 및 적용 자기장 일차원 분포>



〈해석 결과 분석, 좌 : 전위 변화, 우 : 전자 수밀도, 이온 속도 변화〉

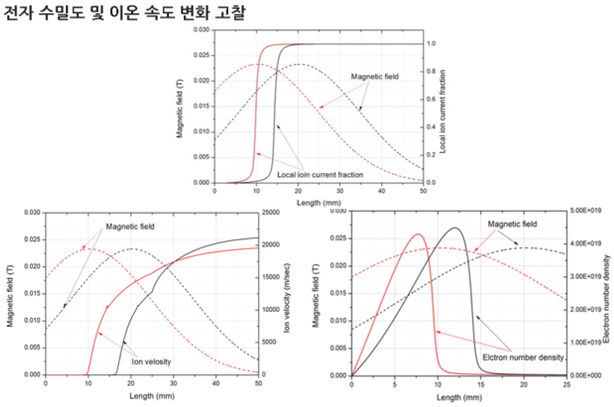
- 열전달과 다가 이온화 고려 해석 결과 선행 실험 연구/해석연구와 비교
- 기존 해석 연구보다 실험에 근접한 결과 도출

▲<그림 3> HET 유동 특성 고려에 따른 해석 결과

◆ 추력기 내외부 자기장 분포 변화에 따른 전자 수밀도 및 이온 속도 변화 고찰

〈해석 조건〉

Hall thruster geometry	
Length (L, mm)	25
Height (h, mm)	17.2
Cross area (Ac, cm^2)	45
Plasma characteristic	
Mass flow rate ($\dot{m}$, mg/sec)	5.32
Electron temperature at cathode (Te, eV)	2.7
Discharge voltage (V_d, V)	293.3
Discharge current (I_d, A)	4.5



〈해석 결과 분석, 상 : 국부 이온화율 변화, 하좌: 이온 속도 변화, 하우 : 전자 수밀도 변화〉

- 추력기 내부 전자기장 세기가 높을 수록 전자 수밀도 및 이온속도 증가율 상승
- 이온화 발생 시점 또한 추력기 내부로 이동함

▲<그림 4> HET 자기장 분포 변화에 따른 유동장 변화 분석

성과명	(12) 위성용 MMIC 기반 X-band GaN SSPA(Solid State Power Amplifier) 개발		
주관연구기관	한국전자통신연구원	연구책임자	염 인 복
연락처	042-860-5674	이메일	ibyom@etri.re.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	고출력증폭기, 위성탑재체, X-대역, GaN MMIC, 전파영상레이다		

상세 성과내용

연구의 필요성

고출력 신호 송출이 가능한 능동배열 안테나 소형화에 절대적으로 필요한 기술인 GaN 고효율 고출력 증폭기 MMIC 기술 개발 및 국내 저궤도 중형 위성(500kg급), 소형 위성 (100kg급) 그리고 정지궤도 통신 방송 위성에 적용 가능한 GaN 인증모델 SSPA 기술 개발의 필요에 따라 수행된 과제이다.

연구 목표

위성용 X 대역 GaN 고출력증폭기 MMIC, 위성용 X대역 GaN 기반 SSPA를 개발하는 것이다.

연구결과

○ 15 W 및 30 W GaN 고출력증폭기 MMIC 설계 및 제작
- 15 W HPA 성능 : 9 ~ 10 GHz, 15 W 출력, 22 dB 이득, 29 % PAE
- 30 W HPA 성능 : 9 ~ 10 GHz, 30 W 출력, 22 dB 이득, 35.4 % PAE

○ 위성용 X 대역 GaN 기반 SSPA 개발
- 엔지니어링 모델(EM) SSPA 제작 및 시험, 예비설계(PDR) 및 상세설계(CDR) 수행
- 위성용 부품 제작 공정을 적용하여 인증 모델(QM) SSPA 제작 및 성능 시험수행
- QM SSPA 우주 인증 시험 (Shock, Vibration, EMC, Thermal Vacuum Test) 수행

활용 사례

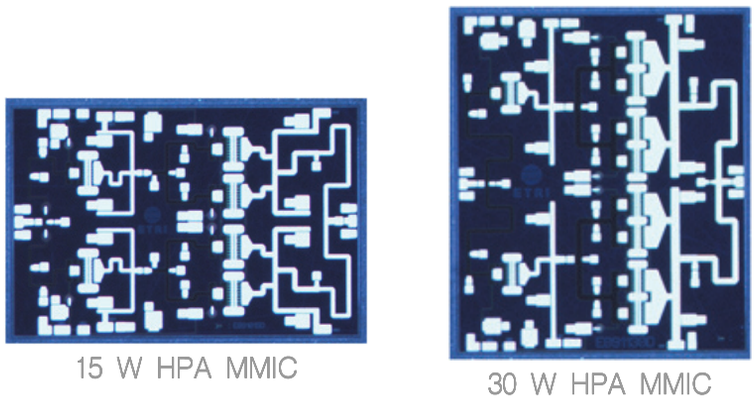
차세대소형위성2호(2022년 발사 예정)의 우주핵심기술 탑재체용 비행모델(FM) SSPA를 개발 중이며, 발사 후 궤도상 인증시험을 수행할 예정이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

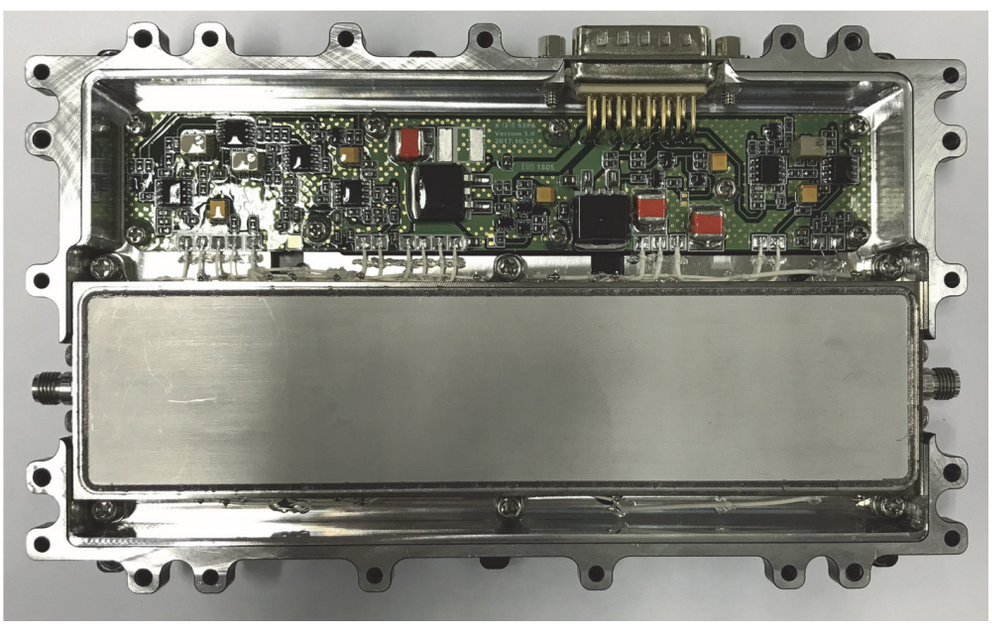
본 과제를 통해 X-band 우주용 GaN 소자 및 부품 개발 기술, GaN MMIC 및 Transistor 인증 프로세스 확립, X-band 우주용 GaN 기반 SSPA 개발 기술을 확보하였다. 본 기술의 차별성으로 기존 기술은 진공관증폭기(TWTA) 사용으로 능동 배열안테나 구현이 곤란하였으나, GaN기반 SSPA는 기존 제품대비 소형/경량/고신뢰성을 갖는 우주용 증폭기를 구현하였다.

활용 가능 분야

본 연구의 결과물을 활용하여 저궤도 영상 레이더 위성탑재체와 궤도/정지궤도 통신 탑재체에 활용이 가능하다. 또한, 항공기용 송수신 모듈 및 지상용 레이더에 활용이 가능할 것으로 판단된다.



▲<그림> X-대역 GaN 고출력증폭기 MMIC



▲<그림> X-대역 GaN 기반 인증 모델(QM) SSPA

성과명	(13) 에너지 재생형 진동절연장치와 결합된 무전력형 가변 방사율 열제어 복합시스템개발		
주관연구기관	조선대학교	연구책임자	오 현 웅
연락처	062-230-7183	이메일	ohu129@chosun.ac.kr
분야	위성체		
키워드	수동형 진동절연, 에너지 재생, 가변 방사율 방열판, 우주 열 제어		

상세 성과내용

연구 목표

본 연구에서는 고온과 저온의 온도환경에 따라 무전력으로 방사율 가변이 가능하여 저온에서의 히터 열 제어를 불필요로 하는 등 효율적 열 제어가 가능한 열 제어 시스템을 구축하고, 영상품질 저하 원인으로 작용하는 진동발생원에 압전소자 또는 전자기 형태의 에너지 하베스터가 결합된 수동형 진동절연기를 적용하여 진동 차폐와 동시에 진동발생원으로부터의 진동에너지를 회수하여 열 제어 시스템 구동을 위한 전력 생성이 가능한 무전력형 가변 방사율 열 제어 및 진동절연 복합 시스템 개발을 목표로 한다.

연구결과

○ 발사진동 및 궤도 미소진동 저감용 수동형 진동절연기 개발

- 진동 발생원인 우주용 냉각기에 별도의 발사구속장치 적용 없이도 인증수준의 발사진동 및 미소진동 절연성능 보장이 가능한 초탄성 SMA 메쉬와셔 기반 진동절연기를 개발하고, 이에 대한 인증시험을 완료하여 우주급 적용 가능성을 입증하였으며, 연구성과의 우수성을 인정받아 국제 소음진동공학회(I-INCE/미국) 우수논문상 수상 및 기술이전((주)한화시스템)을 완료하였다.
- 또한 상기 SMA의 우수한 소재특성에 주목하여 2축 김벌식 X-밴드 안테나용 초탄성 SMA 메쉬와셔 기어를 개발하였으며, 기존 Airbus 사에서 개발한 티타늄 기어에 비해 소성변형에 강인하면서도 우수한 진동 절연성능 보장이 가능함을 입증하였다.

○ 진동절연기와 결합된 미소진동 에너지 하베스팅 시스템 개발

- 위성 영상품질 관점에서 항상 차폐의 대상으로 존재하는 우주용 냉각기 미소진동을 전기에너지로 변환하는 에너지 하베스팅 기술에 주목하였으며(미소진동을 활용한 에너지 하베스팅은 종래에 시도된적 없음), 상술한 수동형 진동절연기에 동 흡진기형 에너지 수확장치가 결합된 복합 시스템 구축 및 재생된 에너지를 활용하여 저 전력 가속도 센서의 구동원으로 활용 가능함을 실험적으로 입증하였다.
- 상술한 동 흡진기형 수확장치 외에도, 피에조 수확장치용 서지유발 동기화 스위칭 기법을 개발하였으며, 종래 스위칭 기법을 적용하더라도 에너지 수확이 불가능한 미소진동 레벨에서도 유효한 에너지 수확이 가능함을 실험적으로 입증하였다.

○ 가변 방사 및 전도 열제어기 연구

- 정전효과로 대전되는 비드를 이용하여 방사율 가변이 가능하며, 방사율 유지를 위한 지속적인 전력소모를 불필요로 하는 대전입자형 MEMS기반 가변 방사율 방열판의 열제어 성능을 실험적/해석적으로 입증하였다.
- 또한 우수한 열전도 특성을 갖는 액체금속을 열전달 매체로 이용하는 가변 열전도 방열판을 제안하고, 시편시험을 통해 저전력형 MHD 펌프를 이용한 액체금속 구동에 따른 가변 열제어 효과를 입증하였다.

활용 사례

본 연구의 산출물인 발사진동 및 궤도 미소진동 저감용 수동형 진동절연기의 경우, 유사설계 진동절연기가 다목적실용위성 7호, 425 EO/IR 위성의 적외선 탑재체 비행모델에 응용/적용 되어 국가 연구 개발기관에 납품되었다.

활용 가능 분야

○ 발사진동 및 궤도 미소진동 저감용 수동형 진동절연기

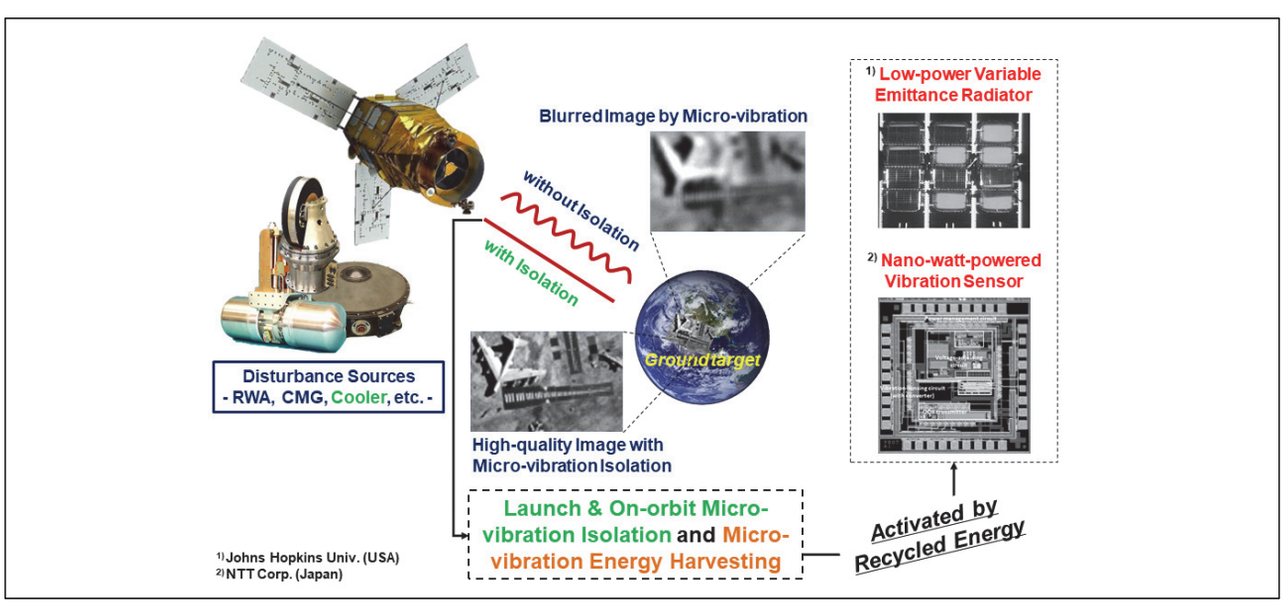
- 진동절연기 기술의 경우, 진동발생 탑재장비(플라이 휠, 극저온 냉각기 등)의 저진동 요구조건 완화가 가능하여 해외 및 국내 산업체에 기술이전 기대가 가능하고, 국내주도 우주용 냉각기 (우주핵심기술개발사업) 개발 시 관련 기술의 활용이 가능하다.
- 진동절연기 및 초탄성 기어 연구에 적용된 초탄성 SMA의 경우, 소재 기본특성 시험(수소취성 시험, 방사능 시험, 탈기체 시험)등을 통한 확장연구 수행을 통해 우주급 소재로의 적용 가능성이 입증될 경우, 초탄성 소재에 대한 우주임무 확장/응용 가능성이 높다.

○ 미소진동 에너지 하베스팅 시스템

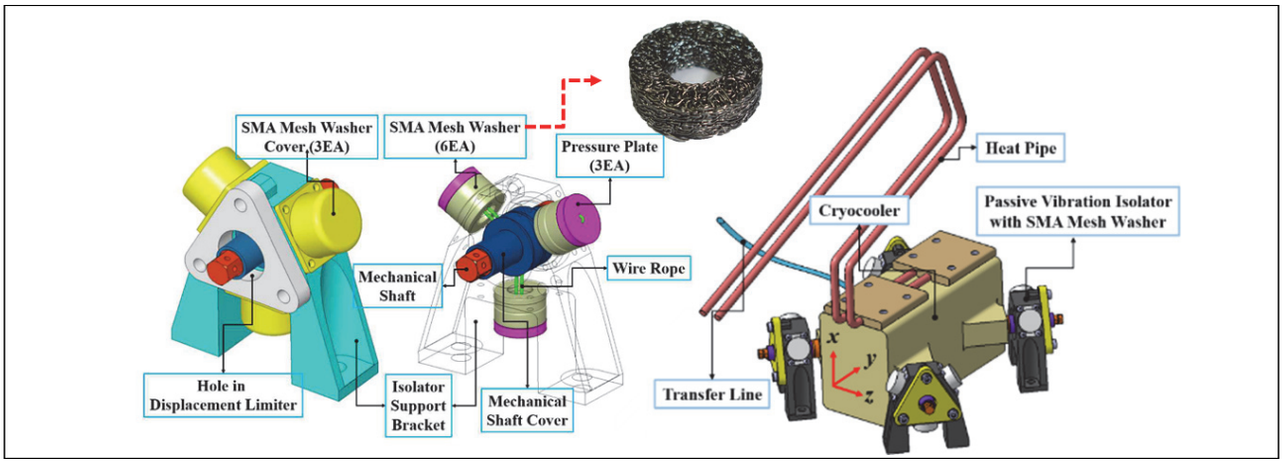
- 미세진동 에너지를 재생하여 생성된 전기에너지를 배터리 등과 같은 저장장치를 통해 축적하고, 이로부터 가변 방사율 열제어기를 비롯해 저 전력기반 장치의 전력원으로 활용이 가능하다.
- 위성의 소형화 및 다 기능화가 요구되는 우주기술 경향을 고려할 때, 에너지 수확장치의 활용 가능성이 높다

○ 가변 방사 및 전도 열제어기

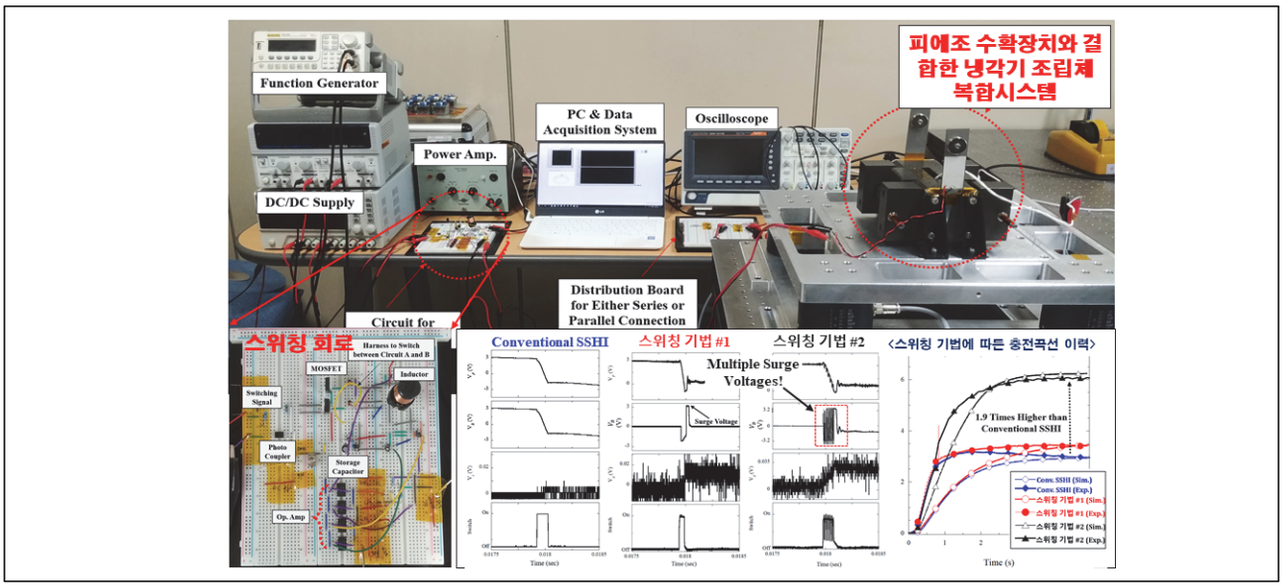
- 임무장비 비운용 시 온도강하 방지를 위한 추가적인 히터 열 제어가 필요 없어 시스템의 단순화가 가능하며, 전력 버짓 측면에서의 이득이 기대 가능하다.
- 상기 열제어기는 위성의 임무 고도화 및 경량화 추세에 따라 부피 및 공간이 제한적인 소형 위성에도 적용이 용이하면서도 효율적인 열제어가 가능한 이점이 있다.
- 개발된 열제어기는 뛰어난 열적특성을 갖는 액체금속인 갈린스탄을 활용함에 따라 우주분야 외 타 산업분야에도 열완충질량 및 냉각장치로의 활용 가능성이 매우 높다.



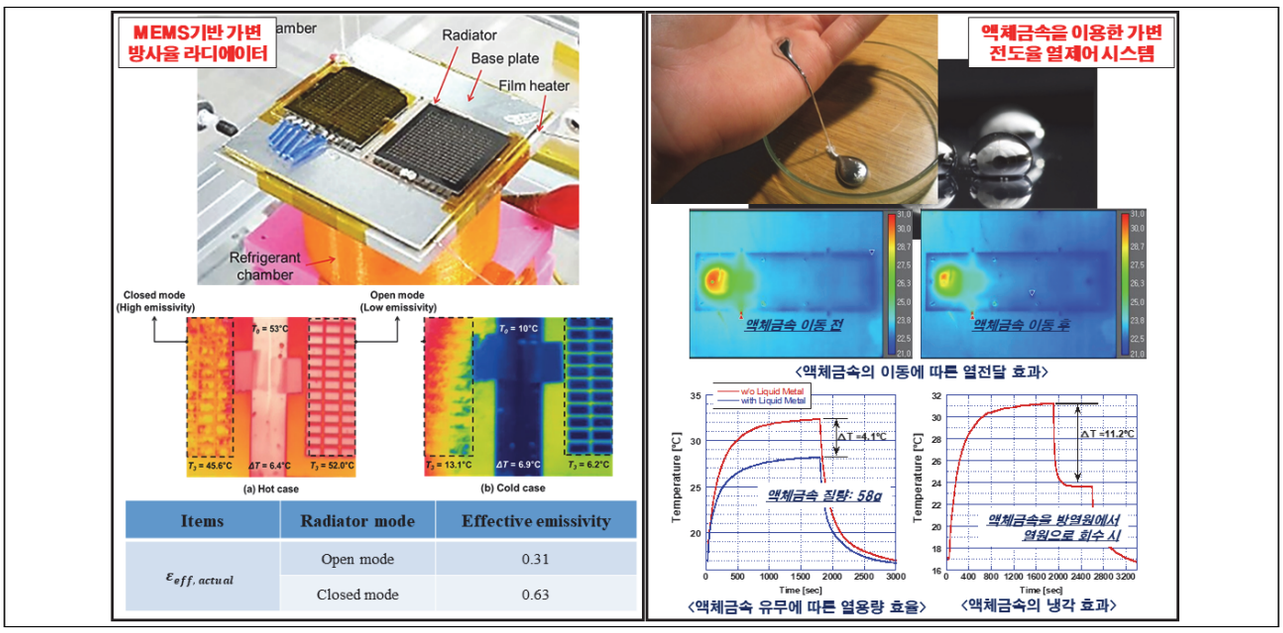
▲<그림 1> 에너지 재생형 진동절연장치와 결합된 무전력형 가변 방사율 열제어 복합시스템 연구 개요



▲<그림 2> 의탄성 형상기억합금 메쉬와셔를 적용한 우주용 냉각기 진동절연기



▲<그림 3> 피에조 수확장치와 결합한 진동절연 시스템 및 미세진동 수확용 스위칭 기법



Items	Radiator mode	Effective emissivity
$\varepsilon_{eff,\,actual}$	Open mode	0.31
	Closed mode	0.63

▲<그림 4> 가변 방사 및 전도 열제어기

성과명	(14) 차세대 한국형 위성항법시스템 개발용 신호설계 Tool 개발		
주관연구기관	인하대학교	연구책임자	원 종 훈
연락처	032-860-7406	이메일	jh.won@inha.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	차세대 위성항법시스템, 신호설계 방법론, 해석적 시뮬레이션, 수치적 시뮬레이션, 위성항법수신기		
상세 성과내용			

연구의 필요성

미국의 GPS(Global Positioning System)로 대표되는 전 지구 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 시각 동기 된 항법위성에서 송출하는 항법메시지 및 코드신호를 수신하여 각 위성으로부터의 전파 도달시각 측정 및 위성 위치를 계산하고, 이로부터 기하학적 삼각법을 이용하여 수신기 안테나의 위치, 속도, 시각을 계산하는 것을 기본 원리로 PNT(Position, Navigation, Timing) 서비스를 제공한다. 1993년 GPS 전가동 및 전자기기의 사용이 현대인의 필수품이 됨에 따라 GNSS 기술을 기반으로 한 PNT 서비스 기술이 국가 인프라망의 핵심으로 자리매김하고 있다.

이러한 GNSS 기술의 중요성을 인식한 미국, 러시아, 유럽, 중국, 일본, 인도 등 우주강국들은 자국의 독자적인 GNSS를 구축 또는 기존 시스템을 현대화하는 작업을 꾸준히 진행 중이다. 대한민국도 이를 인지하고 한국형 보정위성항법시스템(K-SBAS) 개발 프로그램을 진행 중이며, 차후 국가사회 인프라망의 독립성, 안정성, 보안성 등의 이유로 한국형 위성항법시스템 개발에 관한 수요가 제기되었다.("우주개발 중장기 계획"에 의거 항법위성 발사(2030) 및 독자위성항법시스템 구축(2040))

GNSS를 독자적으로 개발하기 위해서는 위성체 및 지상국 구축 기술 외에 독자적인 GNSS 신호설계 기술이 필수이다. 주요국들은 타국의 도움 없이 자국만의 기술을 활용하여 독자적인 신호체계를 구축하고 있으며, 신호설계에 관한 핵심기술 유출을 극히 꺼려하고 있는 실정이다. 따라서 차세대 한국형 위성항법시스템(KPS) 개발을 위한 신호설계 기술에 대한 연구 및 신호설계 Tool 개발이 필요하다.

연구 목표

본 과제는 위성항법시스템 개발을 위한 신호설계 방법론 및 범용 신호설계 시뮬레이터 S/W Tool 개발을 목표로 하며, 이를 활용하여 KPS 개발 시 이용할 수 있도록 해당 분야 연구진들과 공유하는 방식으로 연구를 진행한다.

연구결과

○ GNSS 신호설계 방법론 제시
GNSS 신호설계 파라미터 및 신호성능지수에 대한 고찰 및 관계식 도출

○ 해석적(Analytical) 기법 기반 GNSS 신호설계 및 성능평가 시뮬레이터 (ASDST) 개발
GNSS 신호설계 파라미터 및 신호성능지수 간의 관계식 기반 해석적 시뮬레이터 개발(그림 1 참조)

○ 수치적(Numerical) 기법 기반 GNSS 신호설계 및 성능평가 시뮬레이터 (USDST)개발
GNSS 위성 탑재체, 채널 및 수신기 모델링을 통한 end-to-end 시뮬레이터 개발(그림 2 참조)

활용 사례

본 과제의 연구 결과물인 GNSS 신호설계 기초 기술 및 시뮬레이션 Tool 기술을 해당 분야 연구진들에게 공유하여 국가차원의 GNSS 신호설계팀 구성에 이바지하고, KPS 개발 시 발생할 외국 GNSS 당국과의 협의 시 기술적 Back-data 도출 및 KPS 개발 (시스템 설계, 검증, 시험, 평가)에 적극 활용 예정이다. 이를 위하여 국내 KPS 항법신호 설계팀(한국항공우주연구원 주도(2018.06); 충남대, 연세대, 인하대 참여)과 공동연구를 수행하였고 본 과제의 중간결과물인 해석적 신호설계 Tool SW를 공유하고 사용 중에 있다. 이와 관련된 일련의 연구과제를 아래 표에 나타내었다. 일련의 항법신호 설계팀의 KPS 항법신호 설계 관련 연구개발 과정에 본 과제의 연구개발 결과물인 ASDST 및 USDST를 활용 중 또는 예정이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

차세대 GNSS 신호설계 기술과 관련하여 기존 국내에서는 국방 GNSS센터 및 국과연을 중심으로 제한된 연구범위를 갖는 GNSS 신호설계를 위한 기초연구를 수행하였다. 한편, 유럽우주청(ESA)은 2007년부터 2030+ 서비스를 목표로 차세대 위성항법 신호 설계에 관한 일련의 프로그램을 가동 중이며, 이에 따라 해석적/수치적/HILS 방식 신호설계 시뮬레이터를 순차적으로 구현 및 완료하였다. 이를 기반으로 다양한 방식의 새로운 통신신호기술을 이용하는 차세대 GNSS 신호설계 분야에 적극 활용 중이다. GPS 운영국인 미국의 경우 시스템 현대화의 일환으로 새로운 신호를 설계하였으며, 이때 신호 설계 목표를 충족하도록 신호설계 파라미터를 조정하여 그 결과를 비교함으로써 수행되었다.

따라서 본 과제 결과물인 GNSS 신호설계 방법론 및 해석적/수치적 기법 기반 GNSS 신호설계 및 성능평가 시뮬레이터를 통해 미국, 유럽 등의 우주강국과 유사한 수준의 GNSS 신호설계 기술 확보를 위한 기반을 마련하였다.

활용 가능 분야

○ KPS 개발 로드맵 단축

GNSS 시스템 자체를 설계하는 것 이상으로 시스템 설계를 도와주는 다양한 설계 Tool 개발이 필수이다. 신호설계 Tool 개발 시 필수적으로 수행되는 신호설계요소와 성능판별지수 사이의 복잡한 관계에 대한 분석은 차세대 KPS 개발에 필수라 판단된다. (아래 1~3은 정식 KPS 개발프로그램 가동 전 수행되어져야 하며, 2단계 및 3단계는 본 과제의 연구 성과물을 확장함으로써 성취할 수 있음)

1-단계. 궤도설계 Tool
2-단계. 해석적 모델기반 신호설계 S/W Tool
3-단계. 수치적 신호설계 및 수신기 성능검증 S/W Tool
4-단계. HILS 기반 신호설계 및 수신기 성능검증 Tool
5-단계. 지상시험 테스트베드 (예: 미국 Yuma Test Range - 단일위성, 독일 GATE - 다중위성)
6-단계. 시험위성 1~2기 발사 (IOV)
7-단계. 서비스 위성 발사 (IOC) 및 완성 (FOC)

○ 타 사업 활용 (한국형 위성항법시스템 기반 응용 연구)

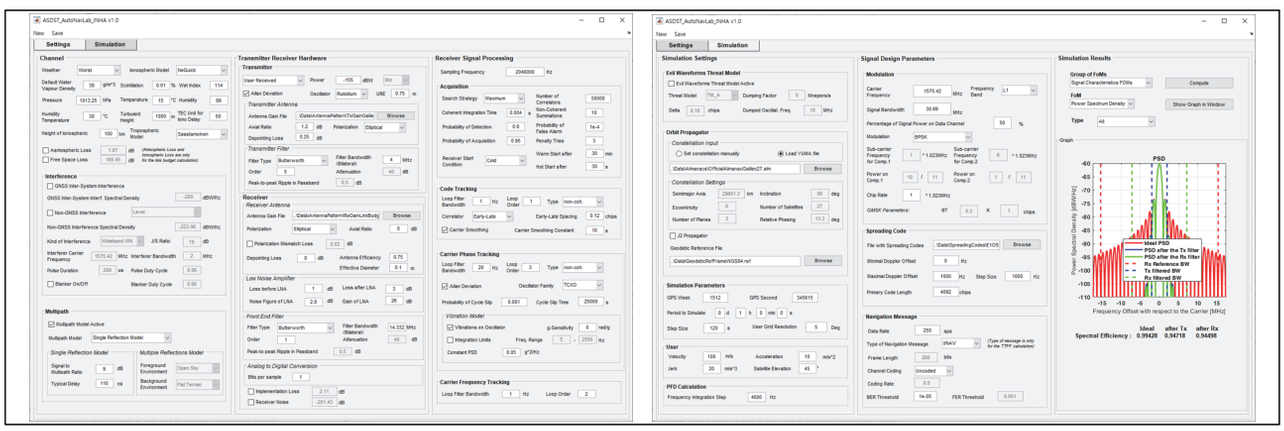
과제명: 미래 한국형 위성항법시스템을 이용하는 커넥티드 무인이동체 개발을 위한 민군겸용 가상환경 시뮬레이터 기술

부처명/사업명: 과학기술정보통신부/중견연구

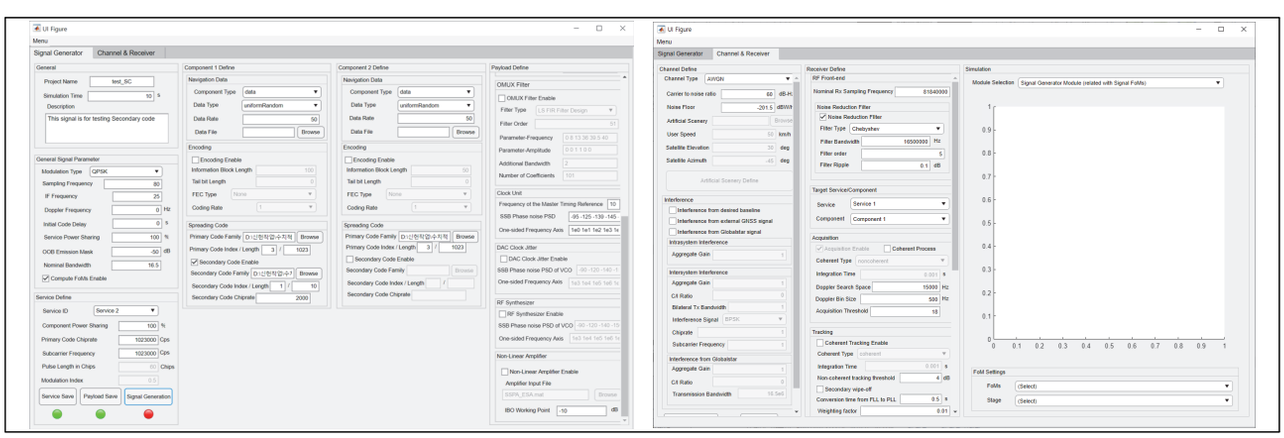
활용방법: 이 연구과제는 미래 한국형 위성항법시스템 및 자율주행 기술을 통합하는 가상환경 시뮬레이터를 개발하고, 이를 활용하여 무인이동체 자율주행 AI 알고리즘 개발 및 성능 평가를 위한 통합 연구개발 Tool 구현을 목표로 하며, 이를 위해 아래와 같이 네 단계의 연구를 수행한다.

(i) 미래 한국형 위성항법시스템 신호생성기 및 신호처리기 개발
(ii) 가상환경 자율주행 드라이빙 시뮬레이터 개발 및 (i)과 연동
(iii) 다양한 민/군겸용 커넥티드 무인이동체 시나리오 구현
(iv) (i)~(iii)을 활용한 자율주행 AI 알고리즘 연구개발 Tool 구현

본 과제의 연구개발 결과물인 위성 탑재 신호생성기, 채널 및 지상 수신기 모델링과 범용 신호생성 및 처리 시뮬레이터 Tool은 해당 연구과제의 연구내용 중 (i) 미래 한국형 위성항법시스템 신호생성기 및 신호처리기 개발에 활용될 예정이다.



▲<그림 1> 해석적 신호설계 시뮬레이션 툴 (ASDST)



▲<그림 2> 수치적 신호설계 시뮬레이션 툴 (USDST)

성과명	(15) 통전/통열 탄소섬유강화(CFRP) 복합소재 제작기술 개발		
주관연구기관	한국과학기술연구원	연구책임자	유 재 상
연락처	063-219-8156	이메일	jamesyu@kist.re.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	전기전도도, 열전도도, 탄소섬유 강화 복합소재, 프리프레그, 스티칭기법		

상세 성과내용

연구의 필요성

현재 연구 개발 중인 위성체의 주요 구조체 소재로 경량화와 치수 안정성 증대의 이점으로 탄소섬유 강화 복합재료가 활용되고 있음. 위성 구조체는 전자파 적합성 및 정전기 방전 조건을 만족하기 위한 통전 성능과 발열이 심한 전장품의 열을 배출하는 통열 성능을 가져야 하지만 기존의 탄소섬유 강화 복합재료의 통전/통열 성능이 매우 낮아 전장품 배치 변경 또는 통전 소재의 추가 설치 등이 요구되기 때문에 복합재료를 사용함으로써 얻는 경량화 및 치수 안정성 등의 이점이 반감되었으며, 이에 통전/통열이 용이한 복합재료의 기지재료를 확보하여 우주용 복합재료 원소재(프리프레그)를 확보하는 것이 위성 산업에 절실하다.

연구 목표

○ 최종목표

통전/통열 기능성이 향상된 위성구조체용 탄소섬유 강화 복합소재 개발

○ 세부목표

- 열/전기 전도도가 향상된 다기능성 고분자 조합 및 최적화 기술개발
- 전도성이 향상된 고분자를 이용한 위성구조체용 탄소섬유 강화 복합 (CFRP) 프리프레그 제작 기술개발
- 탄소섬유 Stitching을 이용한 라미나 두께 방향 전도도 제어 기술개발
- 유한요소법 및 균질화 기법 등을 이용한 위성체 구조 및 열/전기 특성 해석 기술개발

연구 결과

○ 고분자 복합소재를 이용한 위성구조체용 CFRP 프리프레그 제작 기술개발

고분자 내 고전도성 필러의 균일분산 복합체 연구의 경우 결정성 에폭시의 합성 및 고전도성 필러를 이용한 고전도성 복합체를 만드는 데 성공하여 열전도도 13.5 W/mK, 전기저항 수평/수직방향 1.70 Ω/sq를 달성하였다. 또한, 위성구조체용 CFRP 제작을 위한 고함침 CF 프리프레그 제작 연구의 경우 기존의 프리프레그 제작 방식에 고함침성을 가질 수 있는 조건 및 공정을 개발하여 99.6% 함침율을 가지는 프리프레그를 제작하였다.

○ 통전/통열 CFRP 라미나 제작 및 샌드위치 패널 제작 기술개발

통전/통열 CFRP 라미나 제작 및 샌드위치 패널 제작 기술개발을 위하여 위성 구조체용 CFRP 라미나 제작, 제작된 라미나를 이용한 샌드위치 패널 제작 및 기계적 물성 측정에 관한 연구를 진행하였음. 개발된 Pitch계 CFRP의 열/전기적 성능의 경우 열전도도 in-plane 141.50 W/mK, through-plane 30.44 W/mK, 전기저항 0.16Ω/sq, 기계적 물성 tensile modulus 420 GPa을 달성하였다. 단, tensile strength의 경우 재료의 한계에 의해 1490 MPa 수준으로 달성함. 이는 재료가 가진 고유 한계 물성을 개발 및 발전시킨다면 열전도도/전기전도도, 기계적 물성을 모두 만족시키는 복합재료가 개발될 것이다.

현재 이를 보완하기 위하여 KIST에서는 CNT yarn fiber를 활용한 높은 수준의 기계적, 열, 전기 전도

도를 가지는 복합소재의 개발을 위해 분자동역학을 활용한 분자 간 tensile strength, interaction energy 등에 관한 연구를 토대로 위성구조체용 복합소재에 적용 가능한 제품 개발 및 연구를 진행 중이다.

○ 복합재료 구성물질의 종류, 형상 및 배치를 고려한 통계적 물성 예측 기술개발
통전/통열 CFRP의 물성 예측을 위한 모델링 및 시뮬레이션에 관한 연구를 진행, 완성하였다. Analytic 및 Computational 미시역학 기법을 이용한 복합소재의 물성을 예측하였고, 이를 바탕으로 유한요소법, 균질화 기법 등을 활용한 위성체 구조재의 기계적, 열적, 전기적 특성을 예측, 비교할 수 있는 독자적인 기법을 개발하였다. 실험 결과 대비 모델링을 통하여 예측한 복합재료의 결과는 목표로 하였던 예측 정확도보다 상회하는 수준의 완성된 결과를 보여줌으로써, 개발된 기법을 활용하여 향후 인공위성체에 쓰이는 복합재료의 물성을 높은 정확도로 예측할 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 결정성 에폭시의 합성 및 고전도성 필러의 균일분산 복합체 연구를 통해 고전도성 복합체를 만드는 데 성공하여 열전도도 13.5 W/mK, 전기저항 수평/수직방향 1.70 Ω/sq를 달성하였다.

○ 위성구조체용 CFRP가 고함침성을 가질 수 있는 조건 및 공정을 개발하여 99.6% 함침율을 가지는 프리프레그를 제작하였다.

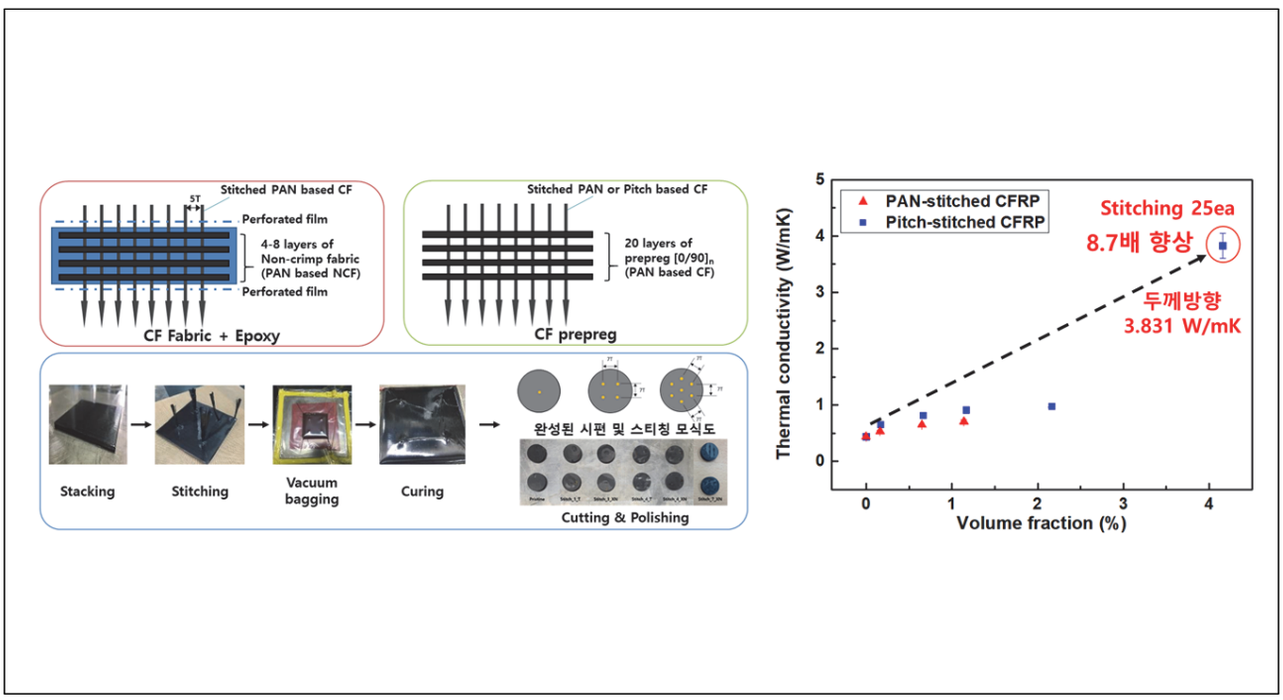
○ 통전/통열 CFRP 라미나 제작 및 샌드위치 패널 제작 기술개발을 위하여 위성 구조체용 CFRP 라미나 제작, 제작된 라미나를 이용한 샌드위치 패널 제작 및 기계적 물성 측정에 관한 연구를 진행하였으며, 결과적으로 기존 사용 중인 위성구조체용 복합재료의 열/전기 전도도를 상회하는 수치를 얻었다.

○ Analytic 및 Computational 미시역학 기법을 이용한 복합소재의 물성을 예측하였고, 이를 바탕으로 유한요소법, 균질화 기법 등을 활용한 위성체 구조재의 기계적, 열적, 전기적 특성을 예측, 비교할 수 있는 독자적인 기법을 개발하였다.

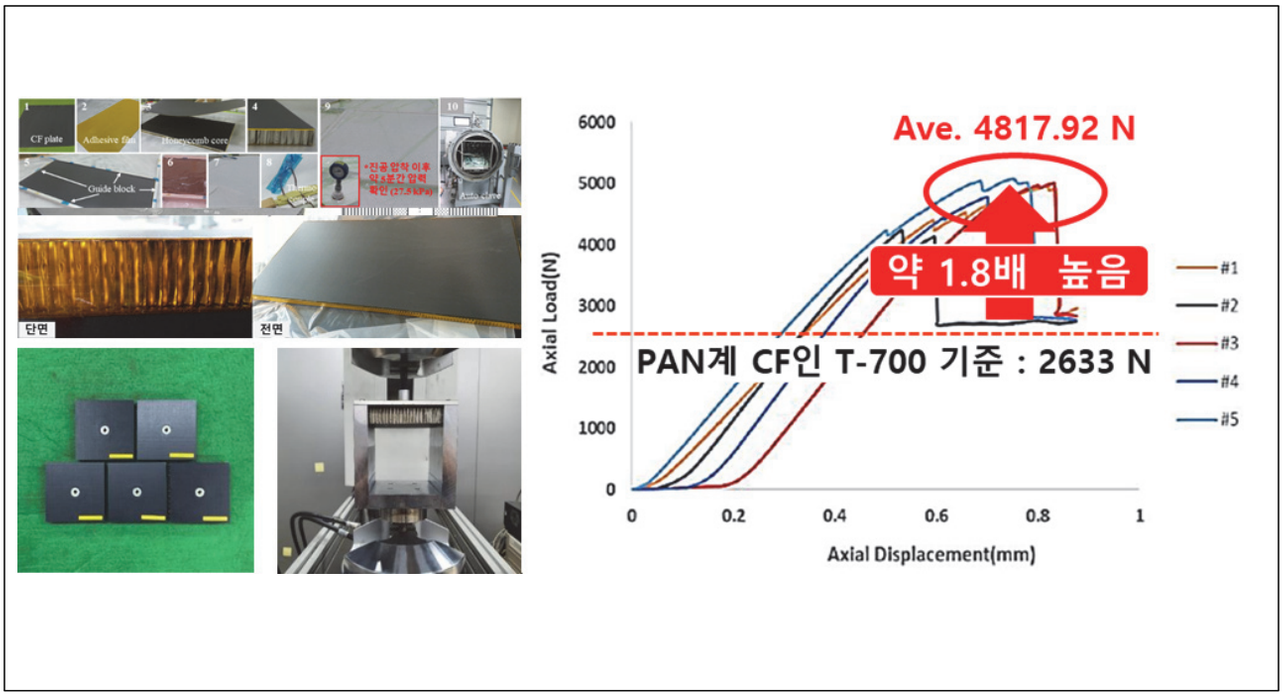
활용 가능 분야

○ 통전/통열 복합재료의 개발 결과에 따른 활용 방안
- 다목적 실용위성 6호, Terra-SAR와 같은 복합재료 인공위성에 적용하여 기존의 복합재료 인공위성이 가지고 있던 전장품 배치의 한계를 극복하여 인공위성의 설계 효율화 및 진정한 경량화 확보하였다.
- 위성 산업에 적용함으로 국산화 소재 기술 확보 및 수입 대체효과를 통해 원화 절감이 예상된다.
- 위성 산업뿐만 아니라 고발열 전장품을 탑재하는 항공, 발사체, 자동차 등 IT 기술이 적용되는 다른 산업에 파급되는 스핀오프(spin-off)가 기대된다.
- 매우 낮은 전기저항성을 가지므로 전자파 적합성(EMI/EMC) 및 정전기 방전(ESD)을 요구하는 부품에 활용이 기대된다.

○ 미시역학 및 FEA 기반 통계적 물성 예측 연구 성과물의 활용 방안
- 고분자 전도성 예측 및 통계적 물성 예측을 빠른 시간 내 정확히 모사할 수 있는 시뮬레이션 기법 개발은 학술/산업적 측면에서 그 파급력과 응용성이 매우 큰 기반 연구산업이다.
- 본 과제로 개발되는 유한요소법 기반 필러-수지 간 물리/화학적 거동모사는, 전도성이 향상된 고분자 제조공정 및 전도성 향상을 위한 다양한 고성능 필러 소재 적용 복합소재의 물성 예측 연구에 활용 가능하다.
- 현재까지도 복합재료 시뮬레이션의 방법론적 정립은 원천기술이 매우 높은 주제이며, 후속 연구개발 및 산업계에 파급력이 높은 실용화 기술을 확보하는데 용이함. 본 과제에서 제안된 이론적 연구 특성을 적극적으로 활용하여 가속화된 재료의 복합화 및 합성에 따른 고부가 가치 연구 확장에 나설 계획이다.



▲<그림 1> 스티칭 기법을 이용한 CFRP 두께방향 열전도도 향상에 관한 연구



▲<그림 2> 개발된 위성구조체용 CFRP 라미나 적용 샌드위치 패널의 제작 및 기계적 물성 측정 결과

성과명	(16) 정지궤도위성용 이원추진제 로켓엔진의 화학반응 열유동 해석 및 배기가스 영향 연구		
주관연구기관	세종대학교	연구책임자	이 균 호
연락처	02-3408-4384	이메일	khlee0406@sejong.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	우주추진, 이원추진제, 로켓엔진, 배기가스, 정지궤도위성		

상세 성과내용

연구의 필요성

진공의 우주공간에서 로켓엔진으로부터 배출된 배기가스는 과도한 팽창에 의해 확산하면서 위성체에 충돌하게 된다. 그 결과, 교란 힘/토크(disturbance force/torque) 발생, 열적 하중(thermal load), 오염(contamination) 등 여러 가지 유해한 영향들을 위성체에 끼치며, 궁극적으로 이러한 문제점들은 결국 위성체의 기능과 수명을 단축시킬 수 있는 요인으로 작용하므로 위성체 설계 단계에서부터 로켓엔진으로부터 배출된 배기가스의 거동을 정확히 예측하는 연구가 매우 중요하다.

연구 목표

본 연구에서는 정지궤도 위성체에 일반적으로 사용되는 이원추진제 로켓엔진(액체원지점엔진 및 자세제어용 추력기)의 배기가스가 위성체에 미치는 영향을 전산열유체역학 이론을 이용해 국내기술로 수치적으로 예측하는 것이 목적이다.

연구결과

개발한 프로그램을 이용해 국내 최초로 태양전지판을 포함한 3차원 정지궤도 위성체에 대한 10 N급 이원추진제 추력기 및 400 N급 액체원지점엔진에서 배출된 배기가스의 거동과 영향을 본격적으로 해석하였다. 모노메틸하이드라진 연료와 사산화이질소 산화제 간의 4단계 화학반응을 10 N급 추력기의 배기가스 해석에 적용한 연구결과는 해외 전문가들로부터 전 세계에서 최초로 적용한 독창성을 인정받는 성과를 이루었으며, 국내 자체기술로 위성체 설계 및 수명과 직결된 핵심기술을 확보함으로써, 해외 선진국들과의 기술격차를 최소화하는데 기여하였다. 국내 최초로 태양전지판을 포함한 3차원 정지궤도 위성체에 대한 10 N급 이원추진제 추력기 및 400 N급 액체원지점엔진에서 배출된 배기가스의 거동과 영향을 본격적으로 해석하였다.

활용 사례

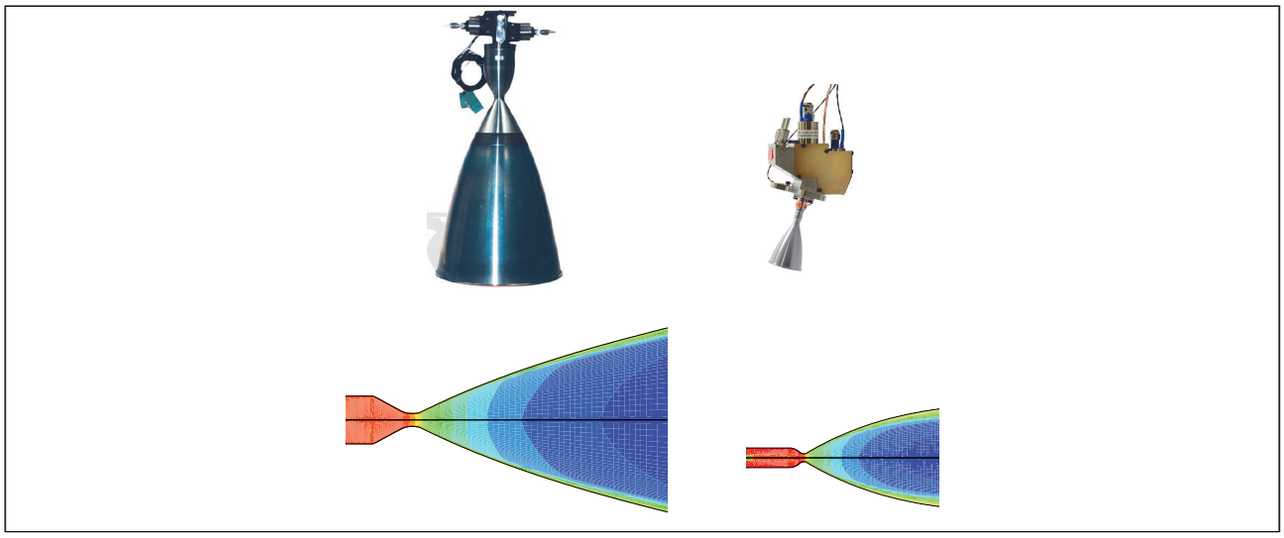
국내에서 개발 중인 인공위성 및 달착륙선에 본 연구에서 수립한 방법을 자체적으로 적용하여 해석을 수행하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

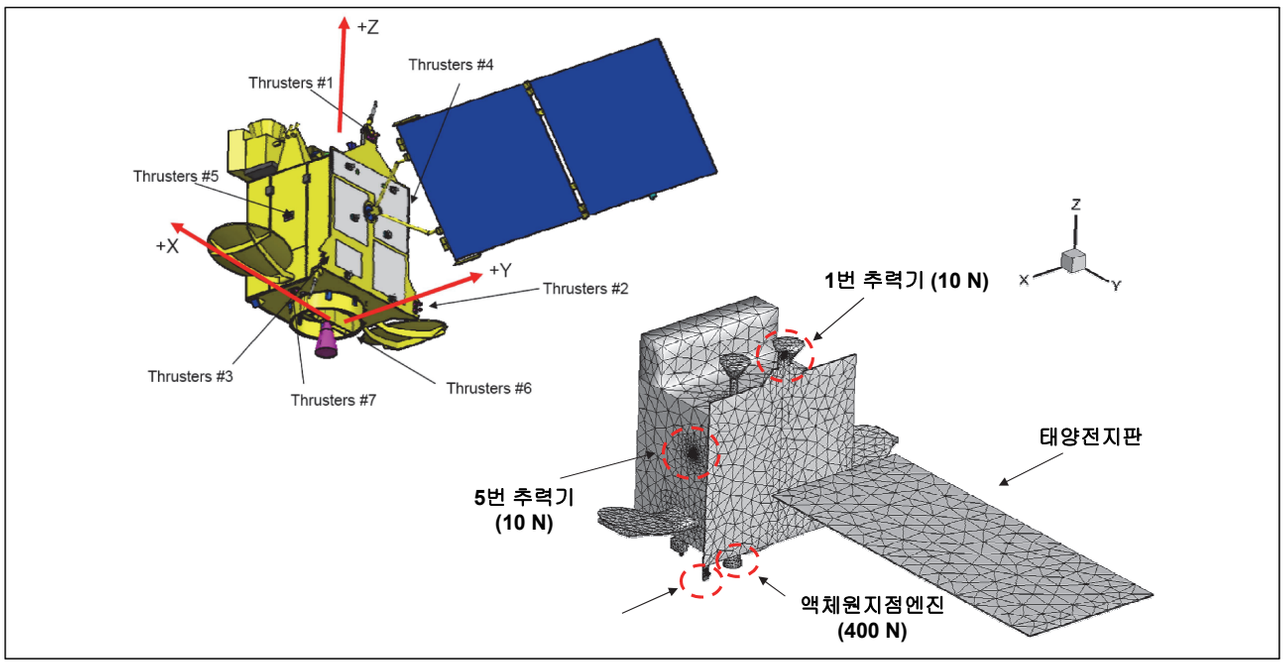
기존 연구에서 적용한 연료와 산화제 간의 단순 화학평형반응 외에도 4단계 화학반응을 전 세계에서 최초로 배기가스 해석에 적용하여 이원추진제 로켓엔진 배기가스의 거동 및 충돌로 인해 위성체에 미치는 영향을 해석함으로써 실제적인 이원추진제 로켓엔진의 작동조건에 따른 영향을 계산 및 예측하였으며, 본 연구결과를 바탕으로 위성체 설계과정에서 불필요한 설계여유를 줄임으로써 위성 개발의 최적화를 한층 증대시킬 수 있다.

활용 가능 분야

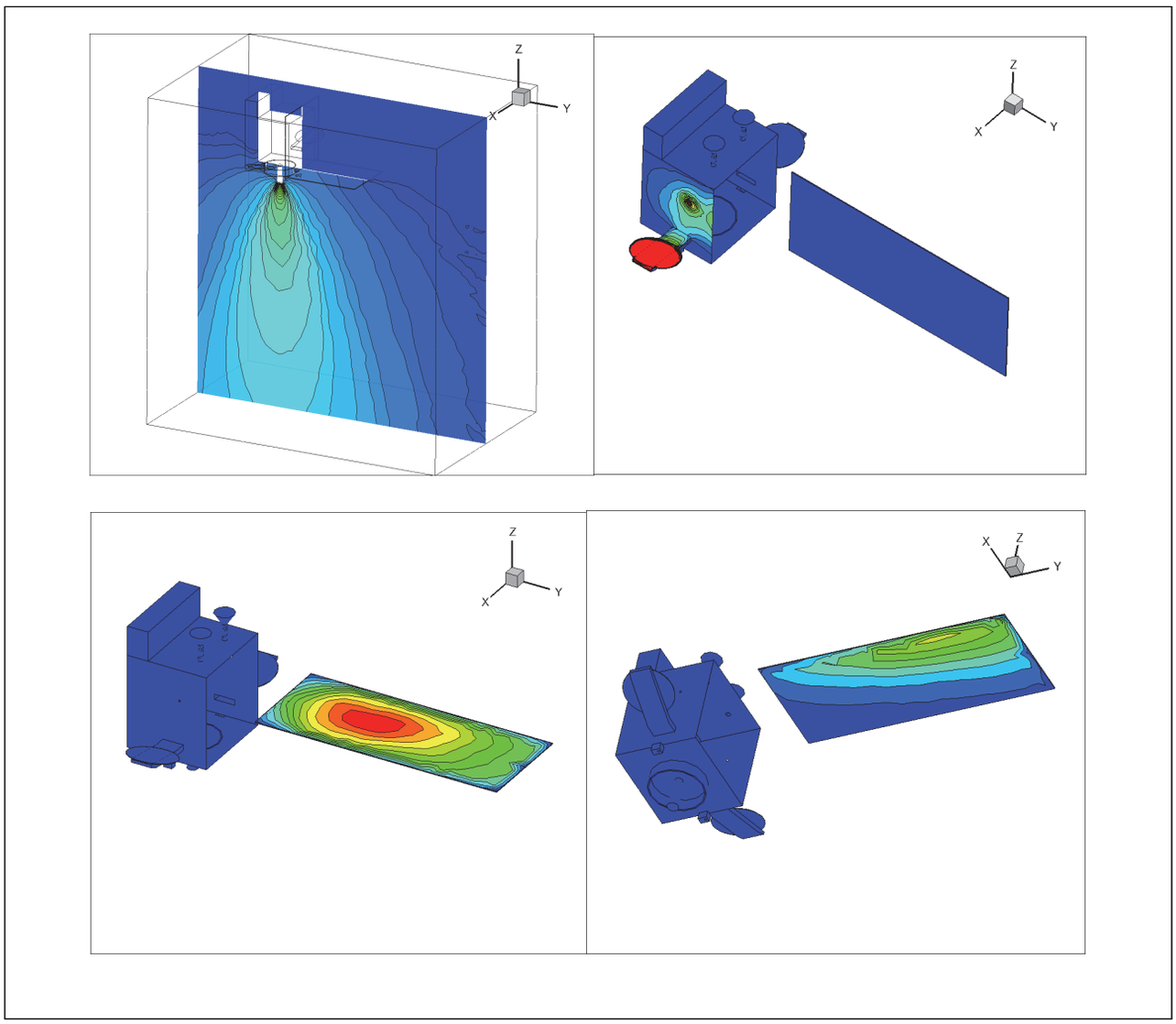
국가 우주개발중장기 계획에 명시된 인공위성 및 달착륙선의 설계에 활용이 가능하다.



▲<그림 1> 정지궤도위성용 이원추진제 로켓엔진 형상 및 내부 열유동 해석 결과



▲<그림 2> 정지궤도 위성체 및 3차원 격자 형상



▲<그림 3> 정지궤도 위성체 배기가스 거동 및 미치는 영향 해석 결과

성과명	(17) CMG기술을 활용한 위성의 기동분석 및 제어기술		
주관연구기관	조선대학교	연구책임자	이 현 재
연락처	062-230-7276	이메일	h.leeghim@chosun.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	인공위성, 제어모멘트자이로, 고토크, 기동성능분석		

상세 성과내용

연구의 필요성

최근의 다양한 수요의 증가로 인해서, 인공위성이 주어진 시간 내에서 많은 임무가 주어지는 것이 일반적이다. 지구관측위성의 경우 짧은 시간동안 다양한 지역의 영상을 촬영하는 복잡한 임무를 수행하는 것이 일반화되고 있다. 이것은 인공위성의 기동성능과 밀접한 관계가 있다. 제어모멘트자이로(CMG,Control Moment Gyro)는 인공위성 제어를 위한 구동장치로써 기존의 반작용 휠(RW, Reaction Wheel)보다 주어진 전력대비 상대적으로 매우 큰 토크를 발생시킬 수 있다는 장점을 지니고 있다. 이 때문에 최근 대부분의 대형 위성에서는 다양한 임무에 대한 요구를 수행하고자 제어모멘트자이로를 장착하여 위성의 자세를 제어하는데 활용하고 있다. 제어모멘트자이로는 기본적으로 개발 및 제작하는데 상당한 기술이 요구한다. 더불어, 이 구동장치는 특이점(Singularity) 문제를 야기한다. 특이점이 발생하게 되면, 위성의 자세를 제어하기 위한 제어 토크를 적절히 생성할 방법이 존재하지 않는다. 따라서, 제어모멘트자이로를 위성의 자세제어를 위한 기본수단으로 활용할 경우, 특이점문제를 완전히 해소하는 것은 매우 중요하다.

연구 목표

본 연구에서는 인공위성에 제어모멘트자이로(CMG, Control Moment Gyroscope)을 장착하여 위성을 제어하고자 할 때 발생하는 특이점 문제를 해결하는데 목표를 두고 있다. 특이점은 위성의 제어에 있어서 생성해야 되는 토크의 발생을 예측이 불가능하게 만드는 단점을 가지고 있다. 더불어, 초기단계에서 위성의 기동성능을 분석할 때 상당한 어려움을 야기 시킨다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하고, 위성 설계 시 적절한 제어모멘트자이로의 사양을 선택하는데 기초적인 자료를 제공하며, 특이점에서 완전히 자유로운 제어모멘트자이로의 구동법칙을 개발하는 것이 목표이다. 더불어, 관련 기술을 적용하고자 하는 CMG하드웨어를 설계 및 개발하여 시험을 수행하고 검증하는 것이다.

연구결과

○ 각운동량 분석기법 개발

현재 인공위성의 자세제어를 위한 구동장치의 형태에 있어서 피라미드(Pyramid-type Configuration of CMGs) 형태와 지붕구조(Roof-type Configuration of CMGs) 형식을 활용한 4개의 자이로모멘트 활용하는 것이 기본적인 구조이다. 본 연구에서는 각각의 구조에 따른 특이점 분석을 통해서 지붕구조(또는 Box90)의 형식이 특이점 회피에 매우 유리하다는 결과를 도출하였다.

본 결과를 바탕으로 주어진 구조를 활용 시, 특이점을 완전히 해소하고 초기에 인공위성의 기동 성능을 분석 할 수 있는 기반이 되는 연구를 수행하였다.

특이점을 완전히 배제하고, 각각의 3축에 대한 최대한 활용 가능한 각운동량을 계산하는 새로운 형식의 맵, FAM(Feasible Angular Momentum) Chart를 개발하였다. 이 챠트를 활용하게 되면, 초기단계의 위성 설계 시 제어모멘트자이로의 사양에 따른 위성의 기동 성능을 반작용휠을 적용하여 분석하는 방식과 거의 동일한 수준에서 위성의 기동성능 분석이 가능하게 하며, 최적의 제어모멘트자이로를 선정할 수 있도록 한다.

○ 제어모멘트자이로 구동법칙
FAM 챠트를 활용하여 주어진 각운동량의 범위내에서 제어모멘트자이로를 구동시에 특이점을 완전히 회피하며 토크를 생성할 수 있다. 그러나, 주어진 범위내에서 명확하게 구동되는 알고리즘이 추가적으로 필요하다. 기존의 많이 사용되는 특이점 회피 알고리즘, 즉, 공운동 구동법칙(Steering Law based on Null motion) 또는 특이점 강인 구동법칙(Singularity-robustness Steering law)등이 있으나, 개발된 FAM 챠트와 본 연구에서 새롭게 제안한 HL 구동법칙 (Half-leading Steering Law)을 적용하게 되면 주어진 환경조건에서 100% 특이점 문제를 해소하면서 CMG의 활용이 가능하게 한다.

활용 사례

위성에 사용되는 제어모멘트자이로는 매우 고가이다. 따라서, 제어모멘트자이로를 적용함에 있어서 사용자의 요구에 맞는 적절한 성능의 위성을 설계하는 것은 매우 중요하다. 현재 국내의 연구기관은 대형위성의 고기동성을 확보하기 위하여 제어모멘트자이로를 고려하고 있고, 이에 대한 적절한 기동성능분석이 필요하나 특이점으로 인하여 매우 분석이 난해한 상황이다. 본 연구에서 개발된 FAM 챠트를 활용하여 위성의 성능을 적절히 분석하였으며, 그에 따른 최적의 제어모멘트 자이로를 선정하는데 활용하였다. 더불어, 제어모멘트자이로의 구동을 위하여 제안된 알고리즘을 적용하기 위한 협의를 진행하고 있다.

국내의 제어모멘트자이로를 제작하고 있는 (주)레벌루티와 공동협력을 통해서 향후 제어모멘트 자이로의 개발 및 구동법칙 시스템 개발을 위한 업무협약을 진행하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

제어모멘트자이로의 특이점 문제과 관련하여 기존의 대부분의 연구는 특이점을 회피하는 방법에 대하여 논하고 있으며, 위성의 성능을 분석하는 적절한 방법을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 더불어, 특이점 회피 알고리즘도 성능위주로 개발되며 이들의 안정성 및 성능을 검증하기엔 부족하다고 볼 수 있다.

본 연구는 직접적으로 활용 가능한 수준으로 FAM챠트가 개발되어 있어서 위성의 성능분석이 매우 용이하다. 더불어, 구동법칙의 경우엔 기존의 방법과 완전히 차별적이며 개발된 HL구동법칙을 지붕구조의 제어모멘트자이로에 적용하였을 때 완전히 신뢰할 수 있는 성능을 보장한다.

활용 가능 분야

○ CMG는 향후 대형위성 뿐만아니라 소형위성까지도 CMG의 활용이 증대되고 있어 위성의 자세제어 구동기로써 매우 활용도가 높다고 볼 수 있다.
○ CMG는 자세제어를 수행하기 위한 다양환 활용도로 증대되고 있는데, 최근에는 선박등의 요축 자세제어 구동기로써 활용되고 있다. 따라서, 현재의 위성용 CMG보다 용량이 큰 CMG의 개발이 필요하다.
○ CMG의 고토크를 응용하여, 초대형 선박등에 활용 가능한 초대형 고출력 엔진 시스템에 적용 가능하여 현재 개발중에 있다. 더불어, 발전시스템에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

성과명	(18) 인공위성 탑재를 위한 원격 및 정적 변환 방식의 푸리에 변환 분광 기술 연구를 통한 실시간 분광 분석이 가능한 푸리에 변환 분광기 시스템 개발		
주관연구기관	한서대학교	연구책임자	장 원 권
연락처	041-660-1324	이메일	jwk@hanseo.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	Static modulation, Fourier transform, Remote sensing, Satellite payload		

상세 성과내용

연구의 필요성

○ 정보수집 능력 향상

국가 간의 위성 탑재체의 정보수집능력에 대한 경쟁이 심화되고 있는 상황에서 지표면의 화학정보를 폭넓은 파장 범위에서 빠른 시간에 측정할 수 있는 분광시스템을 지구 저궤도 위성에 탑재 가능토록 개발하는 것은 고해상도의 영상정보와 함께 우주산업 정보 기술력의 매우 중요한 요소이다.

○ 독자적인 분광 기술 확보

현재 Fourier변환 분광기술은 지구저궤도 위성 탑재에 어려운 한계를 가지고 있으므로 이를 극복할 수 있는 정적변조 방식을 개발하고 문제가 되는 분해능 향상 연구를 통해 독자적인 정적변조 Fourier변환 분광기술력을 확보하는 것이 필요하다. 또한, 환경규제 및 환경시장변화에 대비할 수 있는 독자적인 모니터링 기술의 중요성이 커지고 있으므로 선진국 의존도가 큰 원천 및 핵심 부품 기술 개발을 통해 국제 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

○ 적용분야

- 대기환경: 대기질 관찰로 해당지역의 대기 성분을 분석
- 국가안보: 접근이 불가능한 지역의 시설물의 가동여부와 운용실태 파악
- 해양환경: 해양의 성분 분석에 의해 해양생물의 분포 및 변화를 분석
- 환경감시: 도시화, 산업화의 영향에 의한 대기 환경의 변화와 시설물의 불법 운용 여부 감시
- 자원분야: 지상의 생명체 분포 및 생장 정보 획득

연구 목표

지구 저궤도 위성에 탑재하여 원격으로 지구 표면의 대기를 탐침하기 위하여. <u>정적 변조(static modulation)방식을 통해 고속의 측정속도를 가지고 vibration free한 푸리에 변환 분광기의 핵심 기술 개발</u>

연구결과

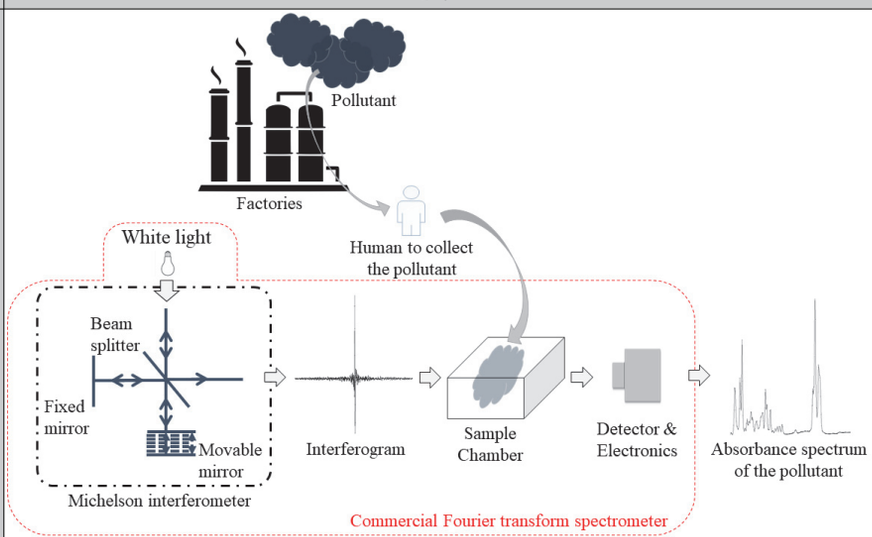
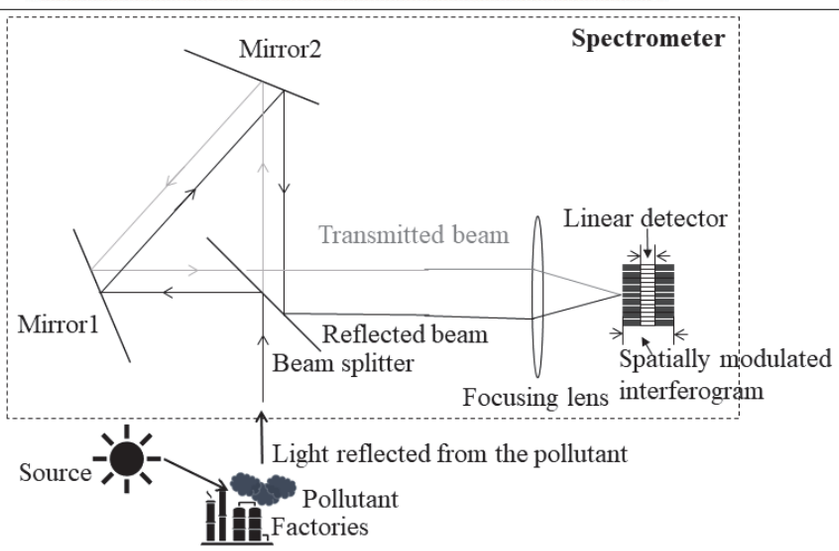
○ 정적 변조 푸리에 변환 분광기에서 생성하는 공간 함수의 인터페로그램에 사용할 수 있는 푸리에 변환 알고리즘을 설계하고 실시간으로 분석할 수 있는 소프트웨어를 개발하였으며, 충분한 광량 및 높은 분해능을 달성할 수 있는 다양한 정적 변조 기반 간섭계 구조를 제안 및 구현하였다. 특히, 근적외선 대역에서 30cm-1 수준의 우수한 분해능을 달성하였다.

○ 정적 변조 기반 푸리에 변환 분광기를 통해 근적외선 대역에서 백색광원에 대한 spatially modulated interferogram 및 Fourier transformed spectrum을 실증하였으며, 특히 1.57㎛에 존재하는 CO2 흡수를 측정을 실증하였다.

활용사례

정적 변조의 특성을 활용하여, 영상 및 분광 신호의 동시 수집이 가능한 분광기에 대한 후속 연구를 진행 중에 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

	개략도	특징
기존분광기구조		· Interferogram을 얻기 위해서 간섭계 내의 두 개의 거울 중 하나가 움직여야 하는 구조이며, 측정 하는 동안에 신호의 왜곡이 쉽게 발생함 · 시료가 무조건 수집되어, 분광기 내부에 삽입되어야 하므로, 유해물질의 경우 안전사고의 위험이 높음
정적변조분광기구조		· Interferogram을 얻기 위해 움직임이 필요한 구성요소가 없으므로, 고속으로 측정이 가능하고, 측정 중인 신호의 왜곡 발생에 기여하는 요소가 없음 · 시료에서 반사되는 광원을 측정하는 것을 기반으로 하므로 이동체에 탑재되어 넓은 지역에 대한 오염지도를 그리는 것에 활용할 수 있음

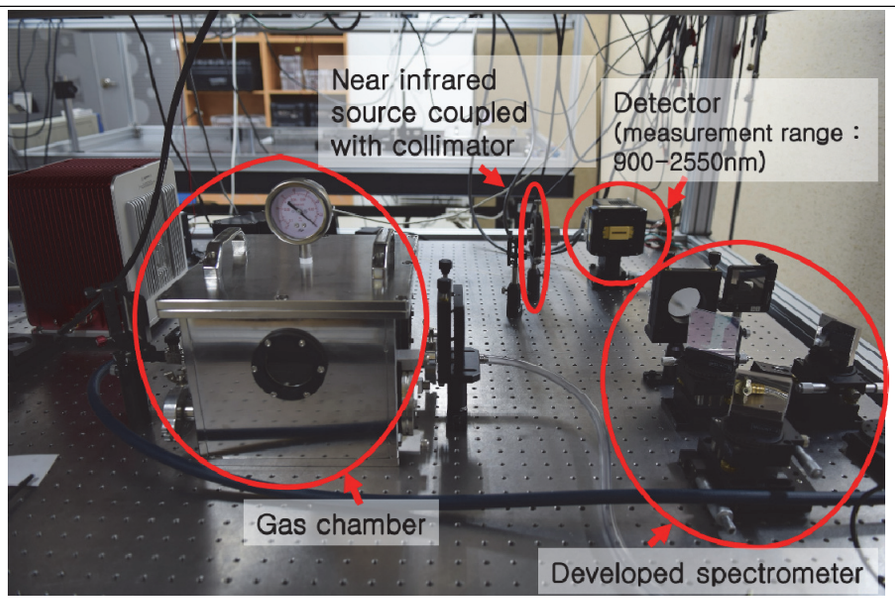
활용 가능 분야

○ 저궤도 위성 탑재체

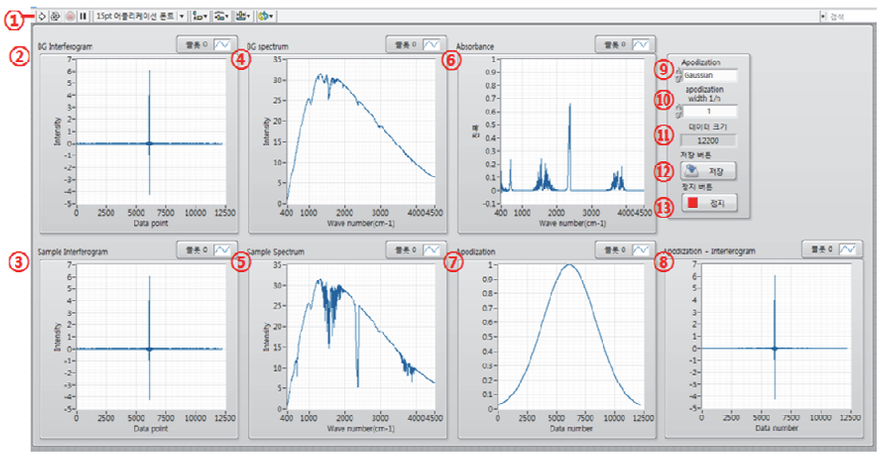
정적 변조 기반의 푸리에 변환 분광기는 기계적 진동 및 광 정렬에 강한 내성을 가지고 있으므로 위성 발사시에 우려되는 충격에 견딜 수 있으며, 분광 신호를 얻기 위해 매우 짧은 시간(약 2ms)가 소요되므로 고속으로 이동하는 저궤도 위성에 탑재되어 활용하는데 적합하다.

○ 접근 불가능한 지역에 대한 원격 측정

시료에서 반사되는 광원을 측정하는 광을 분석하기 때문에, 유해물질이 존재하며 접근이 어려운 지역에 대해 정적 변조 기반 푸리에 변환 분광기가 유용하게 활용될 수 있음



▲<그림 1> 정적 변조 기반 푸리에 변환 분광기 시스템



기 능
① : 계측 시작
② : Background Interferogram Plot
③ : Sample Interferogram Plot
④ : Background Spectrum Plot
⑤ : Sample Spectrum Plot
⑥ : Absorbance Plot
⑦ : Apodization 함수 Plot
⑧ : Apodization 함수 적용 후 Interferogram
⑨ : Apodization 함수 선택
⑩ : Apodization 함수 폭 선택(1/n)
⑪ : 전처리 후 데이터의 개수
⑫ : 데이터 실시간 저장
⑬ : 계측 정지

▲<그림 2> 정적 변조 푸리에 변환 분광기에서 실시간 분광 처리 패널

성과명	(19) 친환경추진제 분해용 고내열성 촉매 성형체 개발		
주관연구기관	공주대학교	연구책임자	전 종 기
연락처	041-521-9363	이메일	jkjeon@kongju.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	하이드록시암모늄나이트레이트, 친환경추진제, 액상단일추진제 분해, 인공위성추력기, 성형체 촉매		

상세 성과내용

연구의 필요성

인공위성 자세제어 추력기, 그리고 군용 추진기관 추력기에 사용되는 하이드라진(hydrazine) 추진제는 REACH(Registration Evaluation Authorization and Restriction of Chemicals)에 “Annex XIV”로 분류된 맹독성 물질로서 전 세계적으로 대체물질을 연구 중이며, 최근 해외에서 안전성과 취급이 용이한 하이드록시암모늄나이트레이트(HAN) 및 암모늄디니트로아마이드(ADN)이 주성분인 친환경 저독성의 단일계 액상추진제(Green Propellants)가 활발히 개발되고 있다.

HAN 계열 추진제의 장점은 첫째, 낮은 발암물질 함량(조작성 향상 및 안전성으로 인한 비용 절감), 둘째, 높은 성능 (높은 specific impulse 및 높은 밀도로 인한 추진제 소비 감소, 탱크 크기 감소로 인한 중량 감소), 셋째, 낮은 빙점 (추진제 동결 예방에 필요한 히터의 전력 소비 감소) 등이다.

상기와 같은 장점을 지니고 있는 반면에, 점화 response 개선 및 폭발 가능성 제어가 필요하다. 특히 고온 연소기체에 견딜 수 있는 고내열성 촉매 및 촉매 지지구조 개선이 필수적이다. 즉, 추력기에 적용하기 위해서는 저온 분해활성을 갖는 동시에 고온에서 내구성을 갖는 촉매 성형체 (비드, 펠렛, 모노리스, 또는 메탈폼) 개발이 필수적이다.

연구 목표

친환경 추진제의 주 원료인 하이드록시암모늄나이트레이트(hydroxylammonium nitrate, HAN)을 고순도로 제조하는 공정을 개발하고, HAN을 주성분으로 하는 액상단일추진제 분해용 고내열성 촉매 성형체를 개발하는 것을 목적으로 한다.

연구결과

○ 고순도 하이드록시암모늄나이트레이트 (HAN) 제조 공정

HAN 합성에 필요한 고순도의 질산 및 하이드록실아민을 이용하여, 액상에서 습식합성법을 사용하여 HAN 수용액(60 %)을 합성한 후, 감압농축 및 반용매 적용공정을 통하여 수분을 제거하고 95% 순도의 입자상 HAN을 추출하였다. 또한, 입자상 HAN을 연료 및 용매에 용해시켜 고함량 액상추진제를 제조하고 기초 물성을 분석하였다.

○ HAN 기반 액상단일추진제 분해용 고내열성 촉매 성형체 개발

다양한 종류의 금속이 담지된 촉매 성형체(펠렛, 허니콤, 메탈폼)를 제조하고, 제조 방법과 열처리 조건이 촉매의 물리화학적 특성과 HAN 기반 액상단일추진제 분해 활성에 미치는 영향을 분석하였다. 고온에서 열처리한 구리/허니콤 촉매를 사용한 HAN 기반 액상단일추진제의 분해실험에서 분해개시 온도를 대폭 낮추었으며 이를 통해서 촉매 성형체의 고내열성 및 저온 분해활성이 우수함을 확인하였다. 고온에서 열처리한 구리/허니콤 촉매 및 구리/헥사알루미네이트 펠렛 촉매를 사용한 HAN 기반 액상단일추진제의 반복 분해 실험을 통해서 촉매의 저온 분해활성과 압축 강도가 유지됨으로써 촉매 성형체의 반복 재사용 가능성을 확인함으로써, 저온 분해활성과 고온에서의 내구성을 동시에 갖는 촉매 성형체를 개발할 수 있었다.

활용 사례

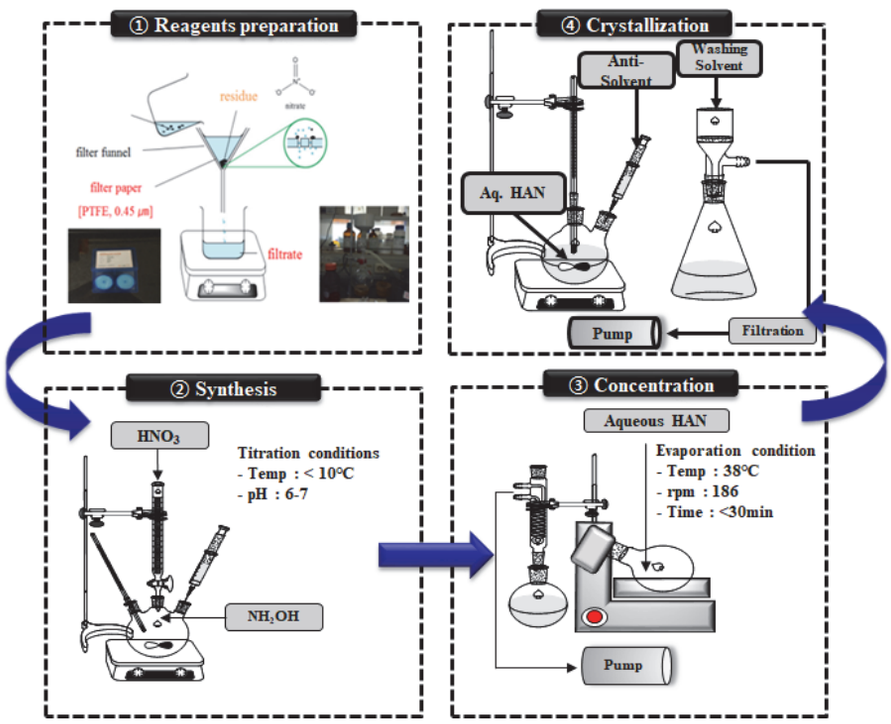
친환경 액상단일추진제와 추진제 분해용 촉매 성형체는 인공위성 자세제어 추력기에 적용되는 연료 및 구성품으로, 고성능 추력기의 핵심 연료와 부품에 해당하며, 항공우주연구원과 국방과학연구소 및 민간 기업에서도 연구를 진행 중이다. 본 사업의 친환경 액상단일추진제 제조 기술과 추진제 분해용 촉매 성형체 제조 기술을 활용하여 항공우주연구원 또는 국방과학연구소와의 후속 연구를 모색 중이다. 또한, 허니콤과 메탈폼 촉매를 제조하는 민간 기업과 추력기 제조 관련 민간 기업이 본 사업의 핵심 기술에 관심을 갖고 협의를 진행한 바 있으며, 본 사업을 통해서 출원한 특허가 등록 된 후, 민간 기업으로의 기술 이전에 활용할 예정이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

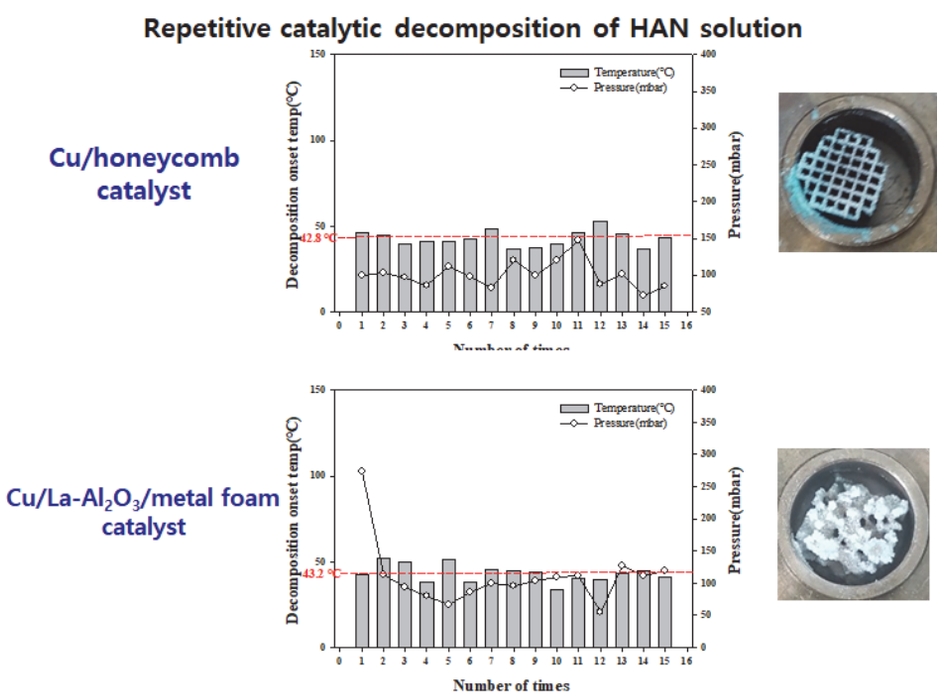
HAN 기반 액상추진제 분해용 성형 촉매로서 저온분해활성과 고내열성을 동시에 갖춘 성형 촉매는 아직까지 알려진 바가 거의 없다. 본 연구에서는 선진국에서 공개하지 않는 친환경 액체추진제 분해용 펠렛 촉매, 허니콤 촉매 및 메탈폼 촉매의 제조 방법을 최적화하고, 아직까지 문헌상에 알려진 바가 없는 고온처리/반복분해실험을 시도하여 촉매의 고내열성을 확인하였다.

활용 가능 분야

본 연구의 결과는 친환경 액상 추진제의 주성분인 하이드록시암모늄나이트레이트(HAN)를 고순도로 제조하고, HAN 기반 액상단일추진제 분해용 고내열성 촉매 성형체 제조 기술을 개발한 것으로, 다른 종류의 친환경 액상추진제 생산 기술 및 추진제 분해용 고내열성 촉매의 국산화를 위한 기초 기술로 활용 가능하다.



▲<그림 1> 고순도 하이드록시암모늄나이트레이트 제조 공정 개요



▲<그림 2> HAN 기반 액상 추진제 반복 분해실험을 통한 촉매 성형체 내구성/내열성 확인

성과명	(20) 나노위성용 3축 자세제어를 위한 가변속제어모멘트자이로 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	정 동 원
연락처	02-300-0134	이메일	djung@kau.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	가변속제어모멘트자이로, 3축자세제어, 특이점회피, 나노위성		

상세 성과내용

연구의 필요성

최근 위성 탑재체의 처리능력이 향상되고 소형화 되면서, 과학적 데이터 획득 및 다양한 신기술을 빠르게 적용할 수 있는 저궤도 소형위성의 활용도가 증대되고 있다. 특히 지구탐사 또는 통신중계와 임무를 가진 소형위성은 성공적인 임무수행을 위해서는 위성의 3축 자세안정화가 아주 중요한 요소로 식별되며 전통적으로 소형위성에 채택되어진 수동적 자세안정화 기법으로는 요구되는 임무규격을 만족시킬 수 없어 능동적인 자세안정화 및 제어 기법이 필수적으로 요구되게 된다.

위성의 3축 자세제어를 위해서는 정밀한 자세결정시스템과 비선형 제어이론에 기반한 3축 자세제어로직에서 계산된 제어토크를 구현할 수 있는 정밀 구동기시스템에 필요하다. 일반적인 위성 구동기로는 추력기, 마그네틱토커, 반작용휠이 있으나 각각의 구동기의 운용시간 및 토크발생 능력의 한계로 인해 오랜기간 지속적인 정밀 자세제어를 수행하기에는 부적합하다. 반면, 제어모멘트자이로(Control Moment Gyro; CMG)는 토크증폭(Torque amplification) 특성으로 자세제어 토크 발생에 효과적이며 지속적으로 정밀 자세제어가 가능하다는 장점이 있다. 이와 같은 장점에도 불구하고 제어모멘트자이로는 특정 조건에서 임의 방향으로 토크를 발생시킬 수 없는 특이점(Singularity)이 존재하여 일반적인 위성 자세 제어를 위한 구동기로 널리 활용되지 않았다. 이에 2000년대 초반부터 특이점 문제를 해결하기 위한 다양한 방법이 제시되었고 그중에서 스핀휠 각운동량의 방향과 크기를 동시에 제어하는 가변속제어모멘트자이로(Variable Speed Control Moment Gyro; VSCMG) 기술이 제안되었다.

따라서 본 연구진은 이러한 가변속제어모멘트자이로가 실제 나노위성에 적용 가능함을 확인하기 위해, 나노위성의 탑재공간 제약을 고려한 초소형 제어모멘트자이로 구동기를 설계하고, 시작품 제작을 통해 설계규격 적합성을 분석하였다. 또한 정밀 토크측정 장비를 사용하여 제작된 가변속제어 모멘트자이로의 토크 출력 성능을 검증하였으며 최종적으로 나노위성급 3축 자세제어 지상모의 시험장비 구축을 통해 가변속제어모멘트자이로의 3축 자세제어성능 및 특이점 회피 성능을 검증하는 연구를 수행하였다.

연구 목표

본 연구는 가변속제어모멘트자이로의 동역학적 특성을 분석하고 이를 기반으로 가변속제어 모멘트자이로 동역학 모델링 및 특이점회피 제어로직을 개발하는 이론적인 부분과 가변속제어 모멘트자이로의 전자부/기구부 하드웨어 설계기법 연구, 가변속제어모멘트자이로의 나노위성 적용 가능성 판단을 위한 시작품 제작 및 성능 검증을 목표로 하고 있다.

연구결과

○ 가변속제어모멘트자이로 시작품 개발

나노위성(큐브위성)의 제한된 탑재공 간을 고려하여, 소형화, 경량화된 가변속제어모멘트자이로 시작품 개발하였다. 개발된 가변속제어모멘트자이로의 크기는 48×48×48 mm3 의 용적을 가지며, 4개의 유닛을 클러스터링 할 경우에 0.5U의 (1U: 10cm×10cm×10cm 의 큐브위성 용적 단위) 부피를 차지하게 되어 1U급 큐브위성에도 탑재 가능하며, 단일 유닛으로서의 가변속제어모멘트자이로는 스핀휠 및 김발제어를 위한 자체 제어보드를 탑재하고 있어 상위 시스템인 인공위성의 자세결정 및 제어시스템에서 제어 명령을 전달받아 하위레벨 제어를 구현하고 상태점검 기능등을 구현할 수 있어 인터페이스를 단순화 할 수 있어 효율적인 제어가 가능하다.

○ 가변속제어모멘트자이로 성능 시험

개발된 가변속제어모멘트자이로의 성능을 검증하기 위해서 정밀 미세토크 측정장치 및 GUI기반 토크측정 실험 환경 구성하였고 이를 활용하여 시작품의 토크출력 성능 시험을 수행하였다. 성능 시험 결과 시스템 설계규격을 만족하는 것으로 확인되어 성공적인 연구 개발이 되었다고 판단된다.

○ 나노위성급 지상모의시험장비 구축 및 3축 자세제어 실험

3자유도 운동이 가능한 나노위성급 지상모의시험장비를 개발하였으며, 이를 사용하여 3축 자세제어 기능 및 성능을 확인하였다. 이를 기반으로 가변속제어모멘트자이로를 활용한 3축 자세제어기법의 성능 시험평가 완료하여 최소 자세각 오차성능이 0.1도가 됨을 확인하였다.

활용 사례

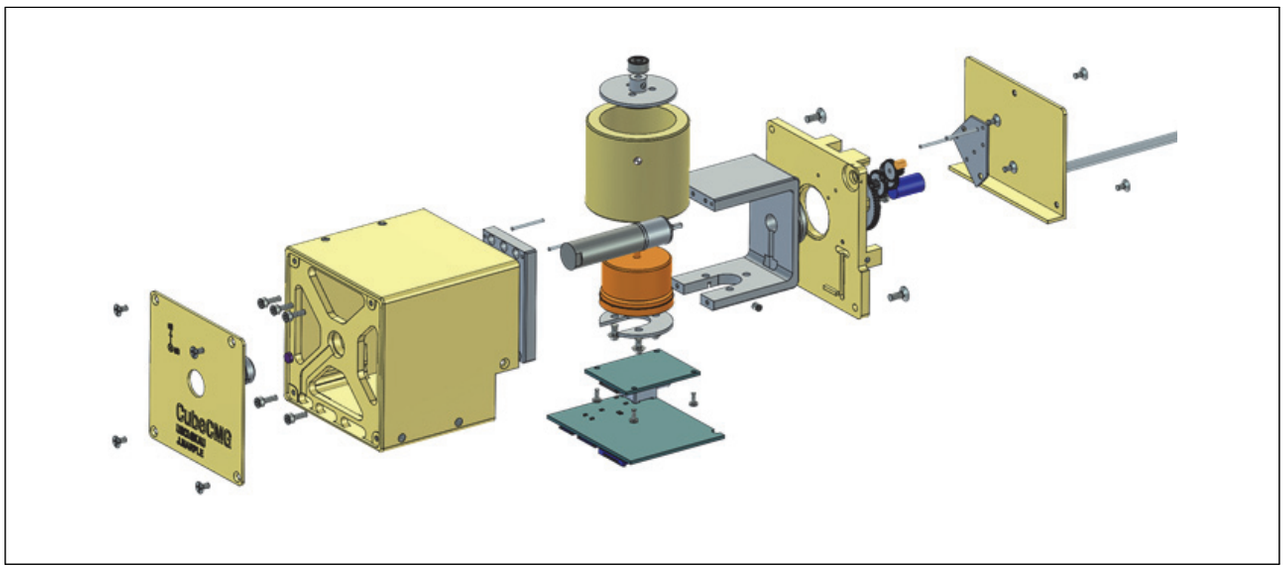
제어모멘트자이로 기술은 1970년대 처음 개발된 단일김발 제어모멘트자이로의 형태로 개발되었고 1970년대 발사된 우주정거장 Skylab의 자세제어를 위해 3축의 이중김발 제어모멘트자이로 (Dual-axis CMG) 형태로 적용되었으며, 이후 Salyut, MIR, 국제우주정거장 같은 대형 우주 구조물의 자세제어를 위한 토크 발생기로 CMG를 활용되었다. 특히 국제우주정거장에서는 4개의 CMG를 임무 수행의 주된 제어기로 활용한 대표적인 예이며, 복합적인 외란토크(중력구배, 대기저항, 태양풍)를 보상하기 위한 용도로 사용되어진 것으로 보고된다. 이러한 우주급 상용 CMG를 개발한 회사는 L3-com(미국), 하니웰(미국), Astrium(프랑스)가 있고, 주로 75Nm급 이상의 대형 CMG를 개발하여 이를 독점 공급하고 있음. 이에 반하여 최근 추세에 맞추어 Honeybee Robotics(사)는 소형 위성용 (5~100kg 급) 모듈형 CMG를 개발하여, 고기동성이 요구되는 소형 위성의 3축 자세제어에 제어모멘트자이로를 활용하는 방향을 제시하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

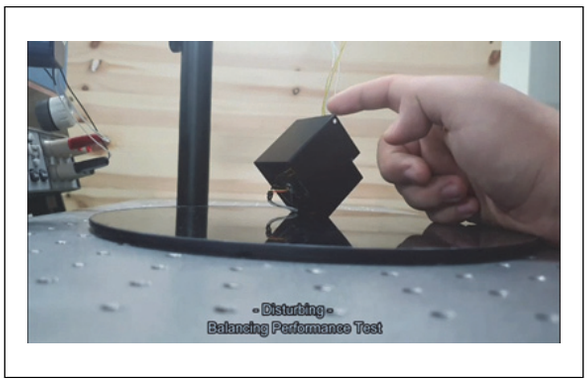
본 연구를 통해 설계, 개발된 시작품은 기존 기술대비 저전력 마이크로컨트롤러를 채택하여 모터구동을 위한 전자부 일체형 설계를 수행하여 전력소모를 획기적으로 줄였으며, 이를 통해 부피 대비 고출력 제어토크(180 Nm/m3 급)를 생성할 수 있다. 특히, 토크출력 성능을 확인하기 위하여 정밀 토크출력 성능 시험 결과외에도 3축 회전이 가능한 지상모의시험장치를 통해 실제 자세제어 성능시험을 수행하여 연구결과의 신빙성을 높일 수 있었다.

활용 가능 분야

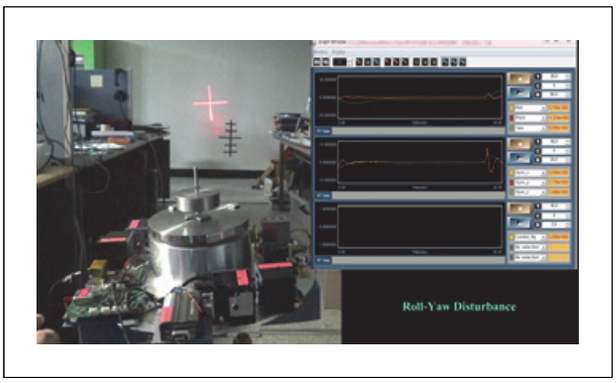
연구 결과로 개발된 가변속제어모멘트자이로와 구축된 지상모의시험장비를 활용하면 다양한 종류의 인공위성 3축 자세제어 알고리즘을 하드웨어를 통해 실시간적으로 검증할 수 있어, 개발된 알고리즘의 실제 위성 적용 가능성을 높일 수 있다. 특히, 가변속제어모멘트자이로의 특이점 회피 관련 개선된 조향로직 개발에서 직접적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 시작품 제작을 통해서 축적된 기구부 및 전자부 통합설계 기술은 추후 소형위성급의 가변속제어모멘트자이로 개발에 직접적으로 활용될 수 있어 항공우주산업 발전에 기여할 수 있다. 더불어 가변속제어모멘트자이로는 토크출력 성능으로 인해 자동차, 항공기, 선박등의 산업분야에서 대형 구조물등의 자세안정화에 요구되는 경우 직접적으로 활용할 수 있어 이에 대한 새로운 시장 창출이 가능하며 해당 분야로 기술 파급 효과가 클 것으로 생각된다.



▲<그림 1> 개발된 초소형 가변속 제어모멘트자이로 분해도



▲<그림 2> 제어모멘트자이로 토크발생 검증실험 (1축 자세제어)



▲<그림 3> 에어베어링을 활용한 제어모멘트자이로 3축자세제어 성능 검증 실험

성과명	(21) 저궤도 위성용 GPS/Galileo 복합수신기 QM 개발		
주관연구기관	(주)두시텍	연구책임자	정 진 호
연락처	042-280-1400	이메일	jjh@dusi.co.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	위성항법, 위성체, 복합항법, 지피에스, 저궤도		

상세 성과내용

연구의 필요성

저궤도 위성 임무는 영상촬영, 센서데이터 획득을 위해 위성의 정밀한 기준위치, 속도 및 시간 정보를 제공해주는 복합항법장치를 탑재하고 있으며 초고속 항행, 무결성 신뢰도, 고정밀 위치 등의 요구조건을 만족하지 못할 경우 데이터 신뢰도를 확보할 수 없어 반드시 위성과 같이 초속 8km이상 비행중 10~100m이내 정밀한 위치결정이 요구되는 우주핵심 탑재가 필수적 요소이다.
그동안 국내 위성개발에 탑재되는 기준위치, 속도 및 시간정보를 제공해 주는 위성항법수신기는 해외 수입에 의존하였고 산학연은 장기간 기술국산화를 위해 우주핵심기술사업을 통해 대등한 기술과 신뢰성 정확도를 만족하는 저궤도 위성용 GPS/Galileo 복합수신기 개발 하였다.

연구 목표

저궤도 위성용 GNSS 이중 주파수 복합항법수신기는 GPS/Galileo 핵심기술 기반 우주궤도를 비행하는 On-Board 내비게이터를 복합 운영하는 기술개발을 목표로 차세대 소형, 중형 등 저궤도 위성에 탑재가능한 개발을 목적으로 한다.

연구결과

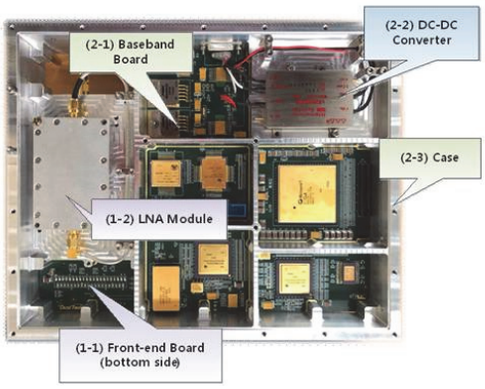
○ 저궤도 위성 임무획득 정밀좌표에 필요한 초고속 위치결정 엔지니어링 공학모델 개발
GPS/Galileo 복합운용 수신기 Baseband 신호처리 Board 구현 및 복합수신기 공학모델(EM) 설계를 통해 안테나 수신부, Down/AD converter, PLL RF Front End부와 Signal 처리부, Data I/F(1553B), TCXO/OCXO등 신호획득/추적 Baseband부 개발을 하였고 On-board Navigator등 GPS(L1,L5)/Galileo(E1,E5a) 엔지니어링 공학모델(EM) 설계와 HW검증을 하였다.

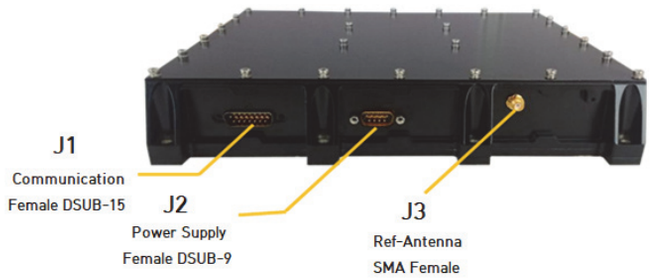
○ 저궤도 복합수신기 Mission 시나리오 품질 인증모델 개발
엔지니어링 공학모델(EM) 검증을 통해 위성 Mission 시나리오 시험을 위한 품질인증모델(QM) 설계와 GPS/Galileo 겸용 상관기 및 신호민감도 실용화 GPS(L1,L5)/Galileo(E1,E5a) 신호획득/추적 인증모델(QM) 시제를 추가개발 하였고 정밀한 기준위치, 속도 및 시간정보에 대한 무결성 성능평가는 해외재품과 연동시험을 통해 동동이상의 높은 품질을 항공우주연구원과 함께 장시간 시뮬레이션을 통해 성능을 검증 하였다.

○ 저궤도 복합수신기 우주환경 운영을 위한 품질 인증
GPS/Galileo 복합항법장치의 우주환경 실험을 통한 저궤도 운영 적합성 검증을 위해 진동시험, 전자파, 열진공 시험등 GNSS 복합항법장치 위성 탑재환경 에서의 우주부품 적합시험을 수행하여 우주품질인증(QM)을 취득하였으며 본 연구 성과는 해외의존하는 항법장치를 국산화로 대체할 수 있는 높은 성능과 신뢰도를 확보하게 되어 우주탑재 가능성을 기대할 수 있다.

활용 사례

본 연구 성과는 실험실 환경에서 우수성을 평가 받았지만 우주환경 운영의 헤리티지 확보가 이루어지지 않아 우주시장 진입이 불가능한 문제를 해소하기 위해 과기부로부터 차세대 소형 2호 위성탑재(2021년 예정) 계약을 통해 2017년부터 비행모델(FM) 시제 제작을 추진하고 있으며 향후 우주핵심기술 성능 검증을 위해 고흥 우주센터의 나로호에 탑재되는 첫 위성탑재와 국내 개발된 우주핵심기술인 위성용 복합항법 장치 성능 품질검증에 대한 기대감으로 사업을 준비하고 있다.





또한 차세대 소형2호 위성 탑재 성공이후 차세대 중형 및 국방용 위성 등 저궤도 다양한 국내외 위성 탑재를 기대하고 있으며 향후 고고도, 정지위성, 달탐사 등에 독자 우주용 복합항법장치 기술개발을 추진하는 원동력과 우주항법 주권확보도 기대하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

위성항법(GNSS)은 인류최대 발명품으로 GIS기반 길안내 자율주행등 일상생활에서 편리하게 사용하지만 미국, 유럽, 중국, 러시아등 선진국가는 독자항법 체계를 갖추고 군사적 목적으로 사용하고 있으며 우주용 GNSS 수신기는 전략무기 사전승인(E/L)품목으로 제약을 받고 있다.

GPS위성은 미국의 고의오차(A/S)해제로 자동차, 스마트폰, 선박, 무인기등 대중화 되었으나 언제든 고의오차 개연성으로 EU연합은 Galileo, 중국은 북두위성등 각국이 독자항법을 추진하고 있으며 특히 탄도미사일에 사용되는 고고도(고도 8km이상)/고가속(초속 500m이상) 위치정보 획득을 우려하여 우주용 GNSS 수신기 핵심기술은 철저한 보안과 수출승인(E/L)을 받고 있어 본 기술은 우주항법 주권 회복을 위해 반드시 국내 핵심기술 확보와 부품국산화가 필요한 분야이다.

활용 가능 분야

지상통신의 제한과 음영지역 해소를 위해 저궤도 위성시장은 글로벌 통신서비스 체계를 위한 대규모 위성수요 확대와 무인이동체, 해양안전등 500km미만 저궤도위성 수요는 급격히 늘어날 것으로 예상되며 4차 산업혁명에서 위성활용을 통한 첨단산업으로 빠르게 성장할 것으로 전망하고 있다.

본 연구의 결과는 차세대 소형 2호 위성을 통한 우주적용 헤리티지 확보로 국내 우주핵심부품 시장 진입 기반을 마련하고 고고도 달탐사 등 우주시대에 필요한 정밀항법 기술로 활용 가능하다. 최근 미국 일본 등 우주부대창설과 같이 우주시대를 예고하고 있으며 코로나19 펜데믹 이후 세계시장 주도권은 우주산업을 기반으로 국방 및 무인자동차, 무인이동체등 자율운행 기술이 본격화 될 것으로 예상되므로 본 연구 결과를 연계 활용하면 국내 우주산업 발전기여가 예상된다.

성과명	(22) 저독성 단일계 액상추진제 제조		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	조 영 민
연락처	031-201-2485	이메일	ymjo@khu.ac.kr
분야	위성체		
키워드(5개 이내)	고체산화제, 액체 추진제, 촉매분해, 단일추진제 추력기, 비추력		

상세 성과내용

연구의 필요성

본 연구는 독성 Hydrazine 대체를 위한 저독성 추진제 개발 필요성, 우주개발 선진국과의 기술격차 해소 및 핵심기술 국산화의 필요성에 의해 수행되었다.

연구 목표

본 연구를 통해 단일추진제 시험용 추력기 시스템 개발 및 성능평가를 수행하는 것이다.
※ 1N급 EM형 추력기 설계 및 제작, 점화지연(〈100ms), 비추력(〉250sec)

연구결과

○ 비염소계 산화제 합성수율(〉55%), 용융온도(92-95˚C), 분해온도(150-230˚C)
○ 단일계 액상추진제 어는점(〈-30˚C), 밀도(1.25-1.40 g/cm3), 점도 (3.4-3.7 mPa·sec), 열분해(〈170˚C), 독성평가(LC50, 800-1500 mg/kg)
○ 고내열성 지지체 Hexaaluminate 제조(공침법) 및 활성성분 담지(Cu, Pt, Ir)
○ 액상 추진제 촉매 분해활성 평가(〈130˚C)
○ 추력 성능평가
- Continuous mode : 966.36 mN (ISP: 246.35s)
- Pulse mode : 1085.986 mN (ISP: 275.26s)

활용 사례

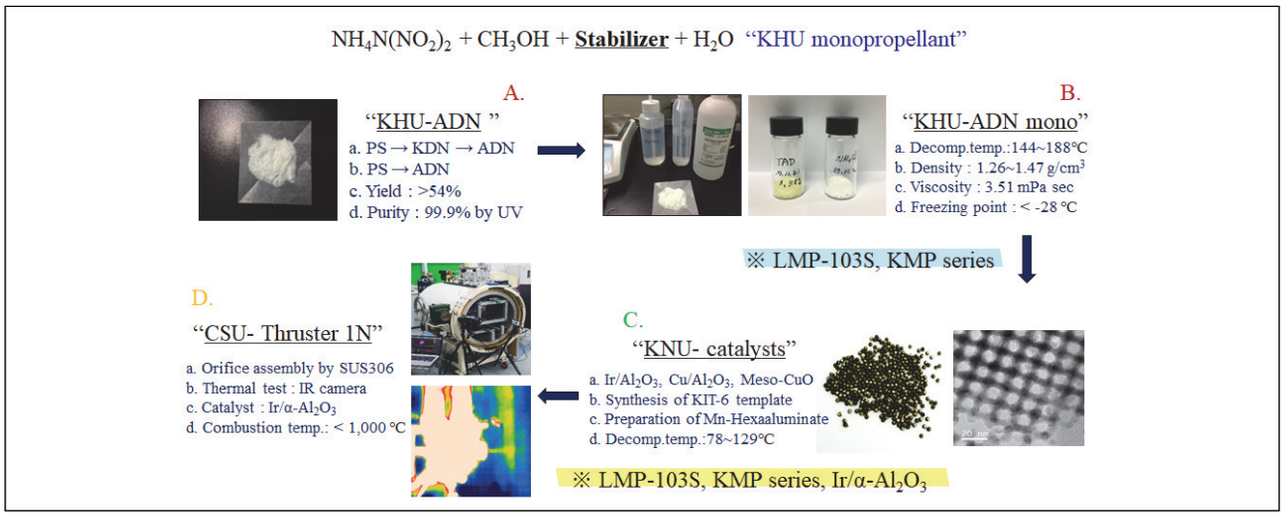
과제를 통하여 구성된 연구 인프라를 유지함으로써 주 연구기관(경희대학교)으로부터 제조한 ADN 기반 액상 추진제 및 공주대학교의 저온 분해용 촉매를 안정적으로 준비하고, 연구개발을 통하여 제작한 추력기(조선대학교)에서 분해실험을 지속함으로써 '산화제-촉매-추력연소'의 체계적 실험을 를 자체적으로 진행하여 후속연구를 위한 기반 데이터를 확보하고 있음. 또한, 연속적으로 연구결과를 국내외 학술지에 논문으로 발표함으로써 연계주제에 관한 통합연구 프로그램이 국가 과제나 국제공동연구 사업으로 생성될 수 있도록 홍보하고 있음.

기존지식/ 기술대비 차별성

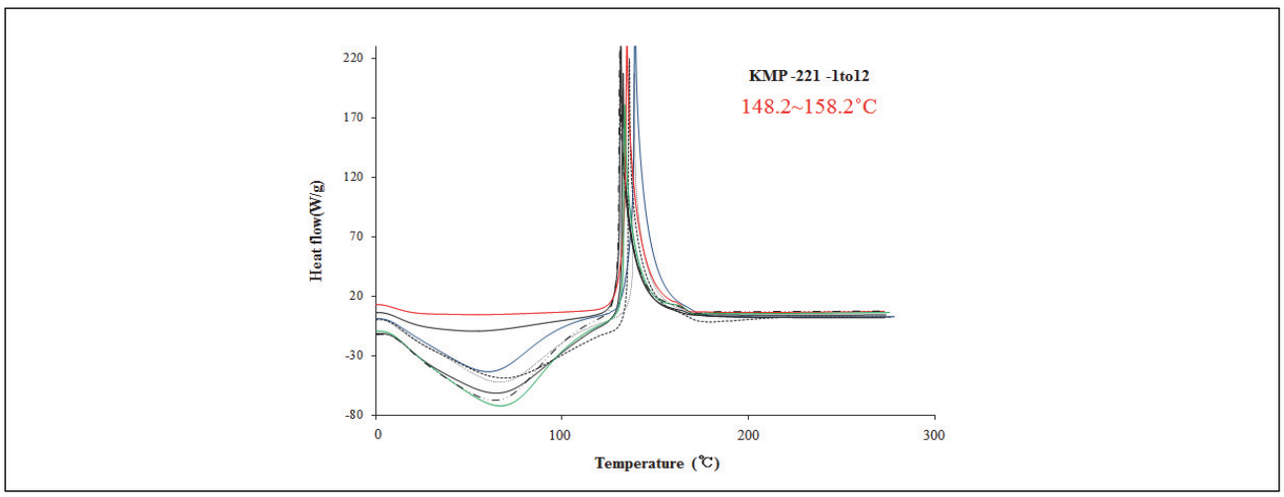
본 연구의 기존 기술대비 차별성은 추진제/촉매 통합 평가기법을 수립하였으며, 추진제나 촉매의 조성 변화에도 비교적 쉽게 성능 평가 및 선별이 가능하다는 것이다. 또한, 저 독성 추진제 화염 시각화 및 성능 평가를 통해 추진제 분해 특성 및 영향력 평가가 가능하다.

활용 가능 분야

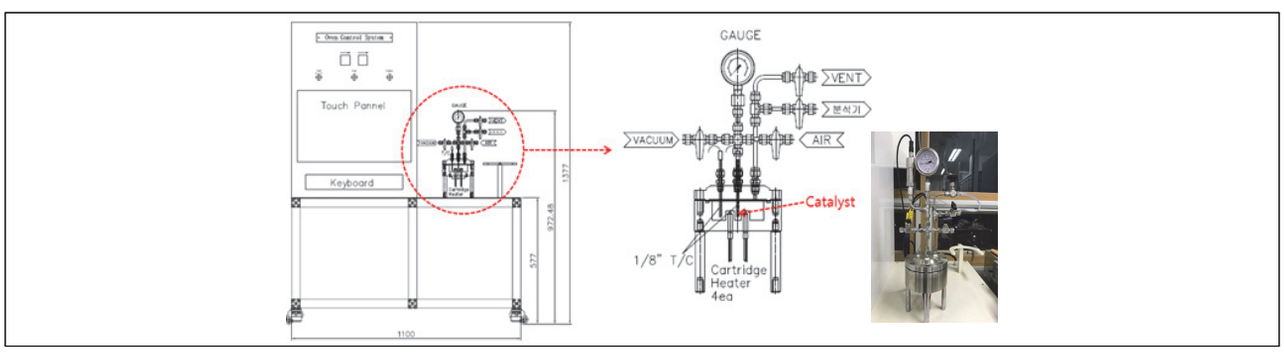
○ Orbital Maneuvering System (OMS)
○ Reaction Control System (RCS)



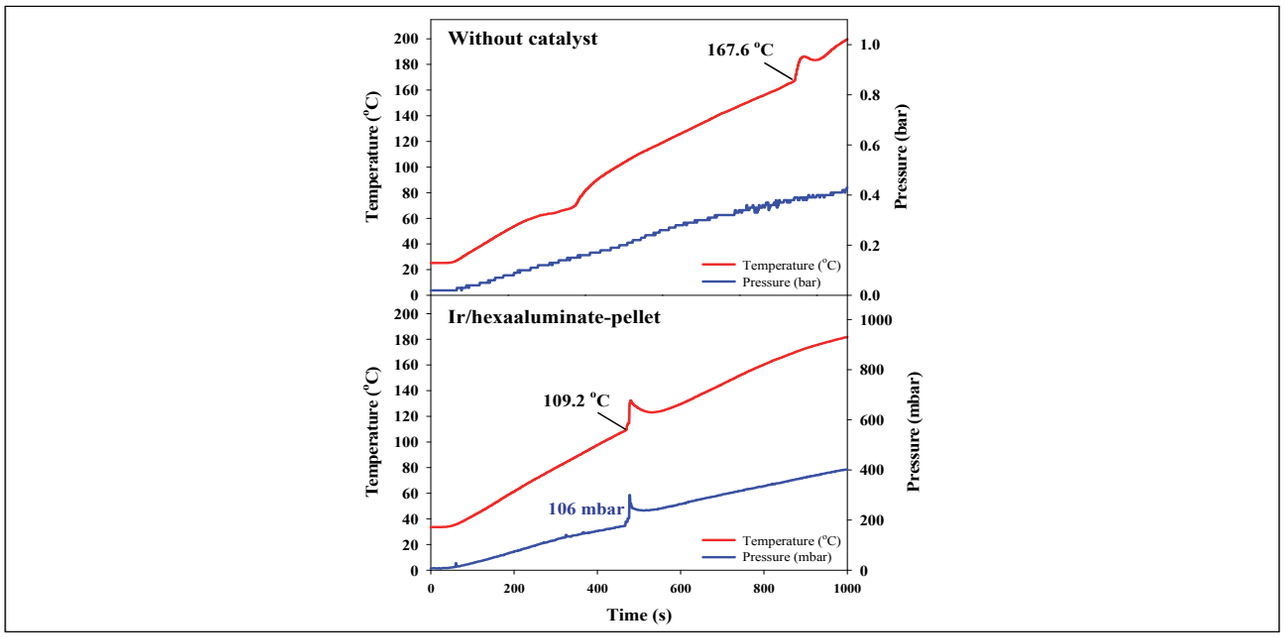
▲<그림 1> "저독성 단일계 액상추진제 제조연구" 진행모식도



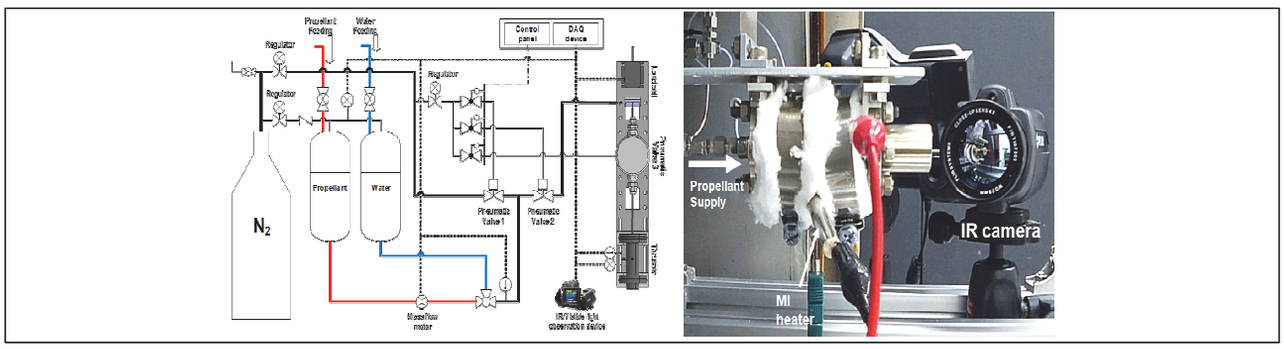
▲<그림 2> 액상추진제(KMP series) 분해실험 결과



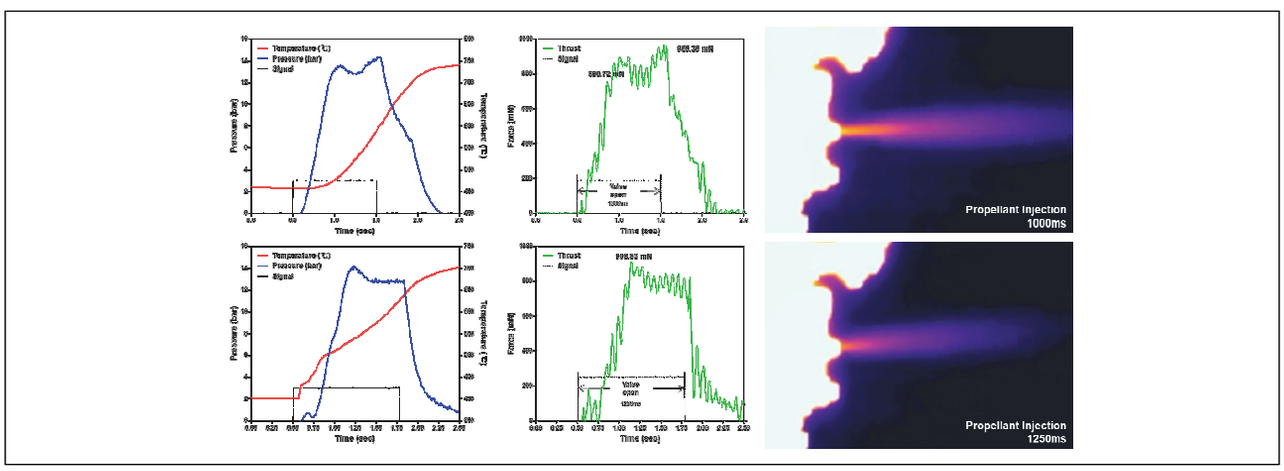
▲<그림 3> 촉매 분해용 회분식 반응기



▲<그림 4> 합성 촉매의 액상추진제(KMP series) 분해 성능평가



▲<그림 5> 단일추진제 추력 측정 시스템(TMS) 설계 및 제작



▲<그림 6> 1 N급 저 독성 단일추진제 추력기 성능평가

제3장

위성활용 분야

성과명	(1) 지상 및 저궤도 위성에서 수집된 위성항법신호를 이용한 지진활동 검출 기술 개발		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	기 창 돈
연락처	02-880-1912	이메일	kee@snu.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	위성항법 시스템, 전리층 교란, 지진 검출, 지진 해일 검출, 저궤도 위성		

상세 성과내용

연구의 필요성

역사적으로 지진과 같은 자연재해는 막대한 인명 피해와 물질적 피해를 초래하였다. 일본과 같이 환태평양 지진대에 위치한 지역에 비해 한반도는 지진의 빈도가 낮지만, 2016년 9월 12일 경주에 강진이 발생하는 등 한반도도 더 이상 지진의 안전지대라고 할 수 없다. 따라서 지진에 의한 피해를 미연에 방지하기 위해, 지진 발생 기술 개발에 대한 연구가 필요하다.

연구 목표

본 연구에서는 이중주파수 GPS 측정치를 활용한 지진 감시 기술을 개발하고 이를 활용한 지진의 예측 가능성 연구를 수행한다. 기존에는 지상 기준국만을 활용한 연구가 주를 이루었으나, 본 연구에서는 지상 기준국의 지역적 한계를 극복하기 위해, 저궤도 위성에 탑재된 이중주파수 GPS 수신기를 활용하여, 지진에 의한 전리층 교란 검출의 신뢰성을 향상하는 연구를 수행한다.

연구결과

위성항법신호를 활용하여 지진 발생 상황에서의 전리층 이상 현상의 특성을 분석하고, 지진이 없는 정상 상황에서의 전리층 변화 특성과 비교하여 지진에 의한 전리층 교란을 검출하는 알고리즘을 개발하였다. 또한, 저궤도 위성에서 수집된 위성항법 신호를 통해 지진, 특히 지진 해일에 의한 전리층 교란을 검출하는 알고리즘을 개발하였다.

활용 사례

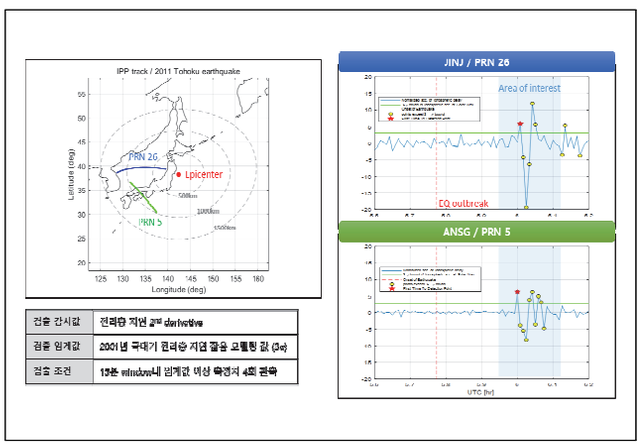
개발된 알고리즘의 전리층 교란 검출 성능은 2011년 동일본 대지진 발생 시기에 수집된 위성항법 데이터에 적용하여 검증하였다. 그 결과 위성항법 신호를 활용하여 지진 및 지진 해일의 발생 감시 가능성을 확인하였으며, 지진 해일의 경우 조기 경보 및 지진 해일의 도착 시간 예측 가능성 또한 확인하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

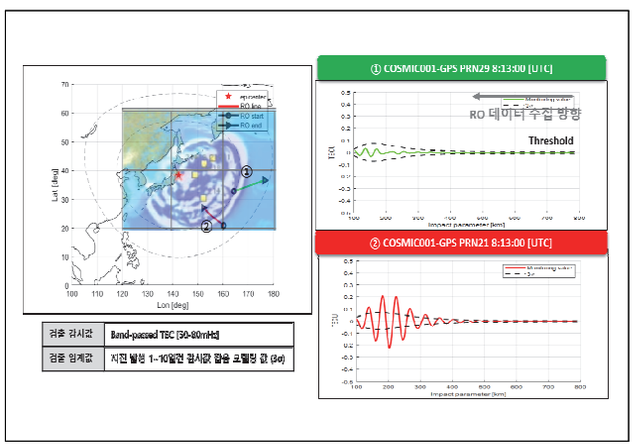
기존의 연구에서는 지진에 의한 전리층 교란의 현상 분석에 그친 것에 반해 본 연구에서는 전리층 교란의 감시값, 검출 판단 기준을 설정하여 실용적인 지진 검출 알고리즘을 개발하였다. 또한, 기존 위성항법 측정치를 활용하는 연구에서 지상 기준국의 지역적 한계로 인해 감시 영역이 제한된다는 문제를 저궤도 위성에서 수집된 측정치를 활용함으로써 극복하였다.

활용 가능 분야

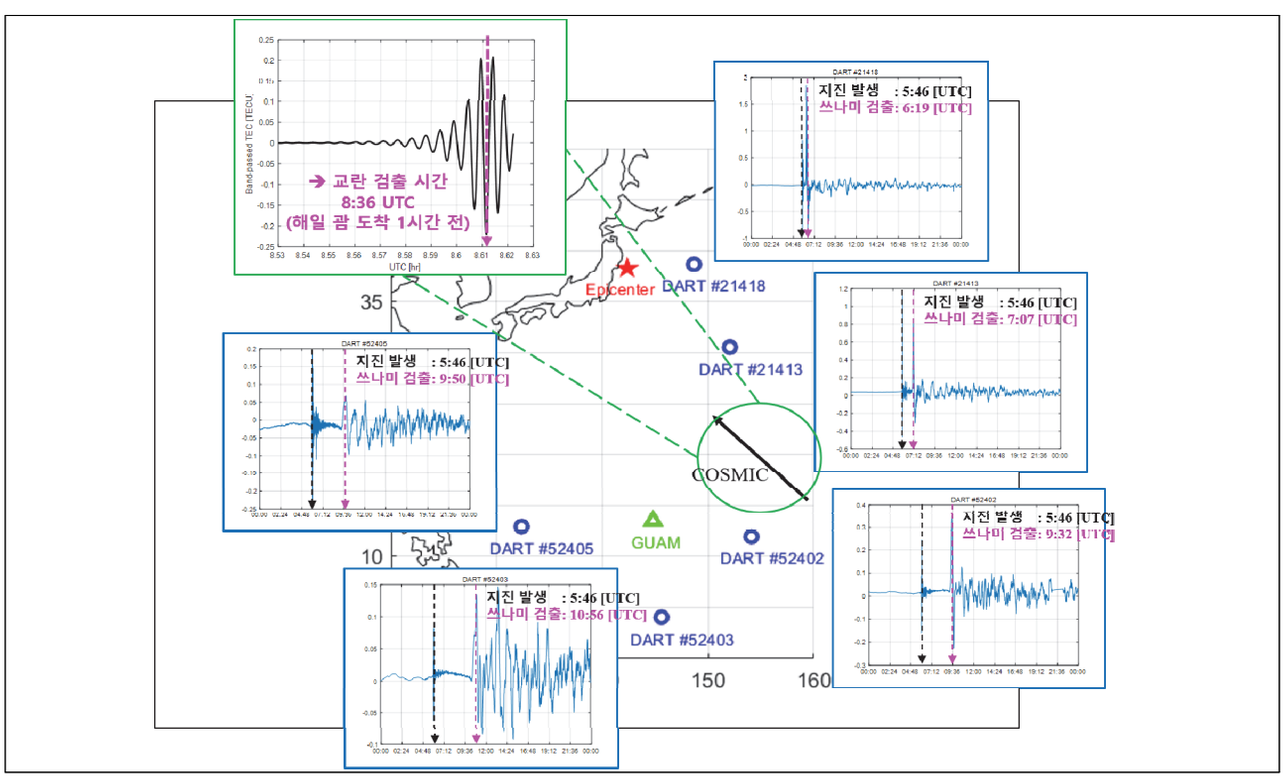
본 연구 과제에서 개발된 기술은 자연재해·재난경보 시스템이라는 국가적 재난관리 시스템에 활용될 수 있는 기술로, 재난 상황에서 국민의 재산 및 국가 기반시설 보호라는 측면에서 국가적 경제 손실을 줄일 수 있는 효과가 있다. 그리고 해당 기술은 자연재해·재난 상황에서 국민의 생존 및 보호에 기여할 수 있는 기술로, 우주기술 중의 하나인 위성항법기술을 이용하여 국민 안전에 기여할 수 있다는 의식을 고취시켜 우주개발 인재 확보 및 우주개발 활성화에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후 국제협력을 통한 충분한 저궤도 위서 수 확보 및 정부의 우주개발 중장기 계획의 일환으로 발사 예정인 인공위성을 추가로 활용하는 경우, 효율적인 지진 관측·검출이 가능한 실시간 감시 시스템 개발에 활용 가능할 것으로 판단된다.



▲<그림 1> 지상 기준국 활용 지진에 의한 교란 검출 결과



▲<그림 2> 저궤도 위성 활용 지진 해일에 의한 교란 검출 결과



▲<그림 3> 저궤도 위성과 해상 부표(DART)의 지진 해일 검출 결과

성과명	(2) 위성 군을 이용한 대규모 복합 재해재난의 피해 평가		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	김 용 일
연락처	02-880-7364	이메일	yik@snu.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	복합 재해재난, 다중분광 데이터, 다중편파 합성개구레이더, 아리랑 위성 군, 피해 평가		

상세 성과내용

연구의 필요성

대규모 복합 재해재난은 위성군(constellation)을 이용한 원격탐사 기법을 활용하여 효과적으로 피해를 평가하고 의사결정을 지원할 수 있다. 이에 본 연구는 상호보완적인 다중편파 SAR와 다중분광 광학 데이터를 이용하여 신속하고 정확하게 대규모 재해재난의 피해를 평가하는 기술을 개발하였으며, 기술 개발을 통하여 대한민국 아리랑 위성 군 운용에 따르는 다중센서 위성정보의 활용성을 극대화하고자 하였다.

연구 목표

본 연구는 데이터 확보 시나리오에 기반하여 다중분광 광학 데이터, 다중편파 SAR 데이터, 광학 및 SAR 데이터, 열적외 데이터 등 다양한 가용 영상 자원을 활용한 재해재난 평가 기술을 개발하였다. 개발 과정에서 센서 및 재해재난 종류의 다양성을 고려하여 여러 종류의 재해재난 중 홍수, 지진, 쓰나미, 산불, 기름유출로 인한 피해를 선정하여 이에 대한 피해 평가 알고리즘을 개발하였다.

연구결과

(대표적인 개발 알고리즘)

○ 2010년 아이티 지진 발생 전후 건물 피해 평가
차분 시드 기반 영역 확장법을 이용하여 건물 지진 피해 영역의 자동 추출 기법을 개발하였다. 이를 통해 건물의 피해 클래스 분류와 함께 개별 건물의 피해 위치 분석을 수행하였다. 결과적으로 제안 기법을 이용한 건물 피해 결과는 지진으로 인한 건물 피해 평가의 세밀도를 향상시켰다.

○ 2011년 동일본 대지진 발생 전후 쓰나미로 인한 도심지 피해 평가
비등방성에 대한 사전 정보를 바탕으로 개선된 MRF 기반 변화탐지 알고리즘을 제안하였으며, 이를 쓰나미 피해 전후의 SAR 데이터에 적용하여 쓰나미 피해 정도 추정을 수행하였다. 기존의 알고리즘보다 내부 변수에 대한 민감성이 감소하여 SAR 영상의 노이즈 감소 효과를 확인하였다.

○ 2011년 동일본 대지진 발생 전후 쓰나미로 인한 침수 피해 평가
픽셀 단위의 다중 편파 SAR 영상의 단점을 보완하기 위해 객체 기반 분석(Object-based Image Analysis; OBIA)을 적용하여 동일본 대지진으로 인한 지진해일 피해 평가를 수행하였다. 제안 기법의 피해 평가 결과는 정량적인 분석을 통해 높은 탐지 정확도를 제시함으로써 높은 활용 가능성을 나타내었다.

○ 2015년 인도 웨스트 벵갈 지역 홍수 발생 전후 침수 피해 평가
구름이 없는 홍수 전 광학 영상의 수분 지수(NDWI)를 활용한 정보와 SAR 영상의 후방 산란 값 및 질감 정보를 결합하여 홍수 지역을 탐지하는 알고리즘을 제안하였다. 이종 센서 영상의 정보 융합을 통해 홍수 피해 지역을 산출함으로써, 센서 간 상호보완된 결과를 제시하였다.

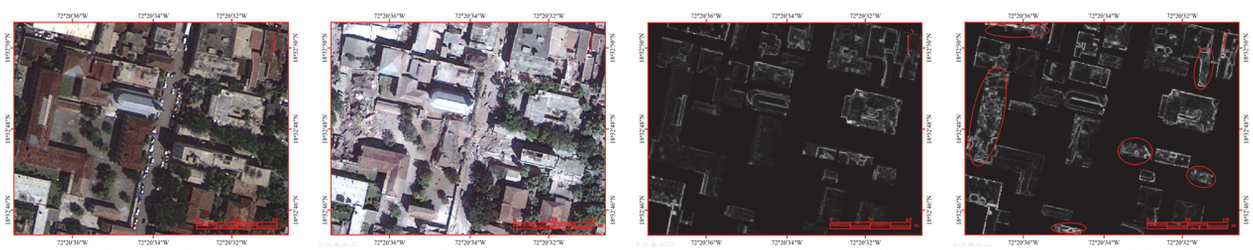
기존지식/ 기술대비 차별성

실제 재해재난이 발생한 사례 지역의 피해를 평가함으로써, 향후 발생 가능한 다양한 재해재난에 대한 피해 분석 역량을 마련하였다. 특히 향후 개발될 다중편파 SAR 아리랑 위성의 활용을 준비하는 선제적 연구

로서, 궁극적으로는 아리랑 위성 군의 SAR 및 다중분광 광학 위성을 이용한 위성정보의 활용성을 증대시키며, 국내 위성정보 활용 시장의 활성화에 기여할 것으로 판단된다.

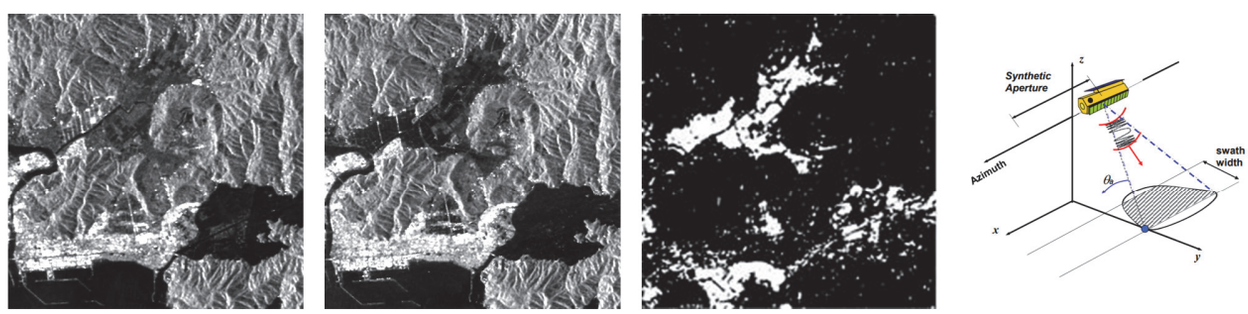
활용 가능 분야

본 연구의 피해 평가 기술은 데이터 분석가의 개입 없이 신속하게 피해 정도 분석을 정량적으로 수행할 수 있으므로 실제 재해재난 발생 시 빠른 초동 대처와 복구를 위한 기반기술로 활용될 수 있다. 일례로, 국가적 재해재난의 긴급 상황 시 다중편파 및 다중분광 데이터를 이용한 피해지도 제작과 피해 범위 분석을 통해 신속한 의사결정을 지원할 수 있다. 또한, 정부 및 관련 기관의 사후 피해보상과 지원을 위한 객관적인 판단 기준으로 활용될 수 있다. 이에 따라 정량화된 피해 수준에 따라 피해 정도를 선별하고 한정된 복구 인력과 비용의 효율적 투입이 가능하다.



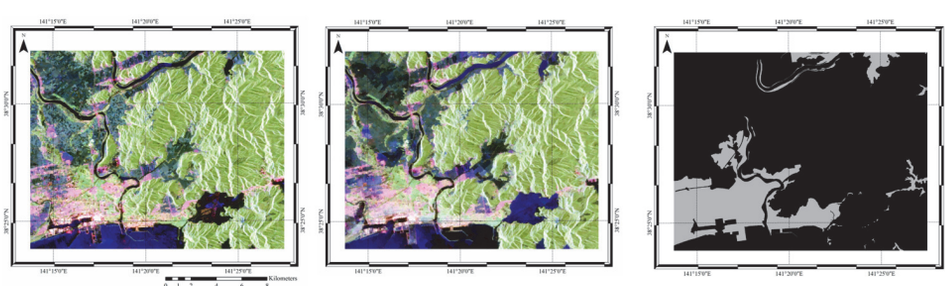
(a) 지진 발생 전 영상 (b) 지진 발생 후 영상 (c) 지진 발생 전 영상에 대한 건물 에지 추출 결과 (d) 지진 발생 후 영상에 대한 건물 에지 추출 결과

▲<그림 1> 2010년 아이티 지진 발생 전후 건물 피해 평가



(a) 쓰나미 발생 전 SAR 영상 (b) 쓰나미 발생 후 SAR 영상 (c) 변화탐지 기법 적용 결과 (d) SAR 위성의 영상 취득 원리 (출처 : Alberto Moreira, DLR)

▲<그림 2> 2011년 동일본 대지진 발생 전후 쓰나미로 인한 도심지 피해 평가

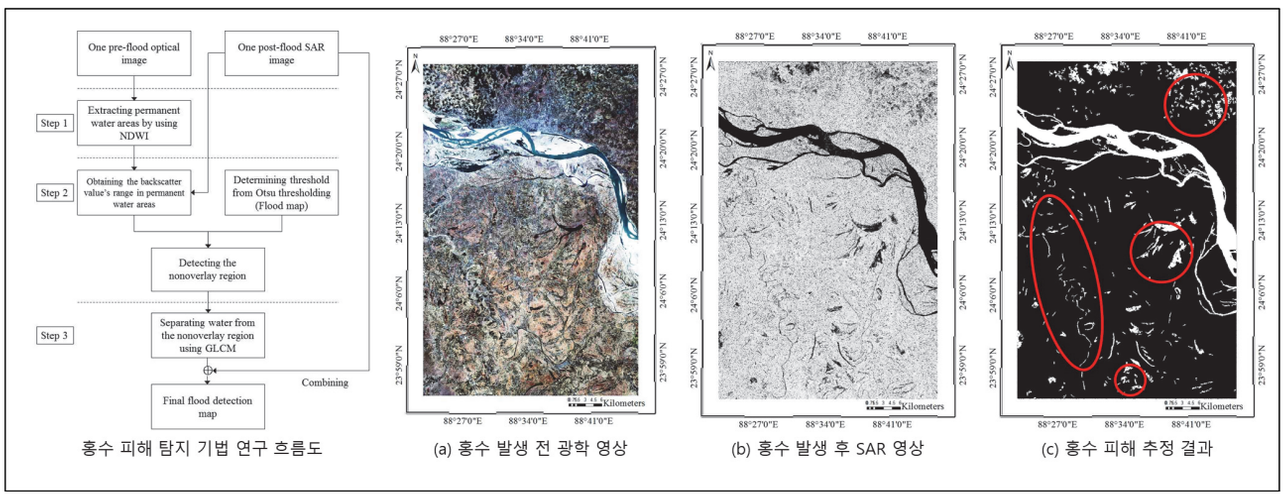


(a) 쓰나미 발생 전 다중편파 SAR 영상 (b) 쓰나미 발생 후 다중편파 SAR 영상 (c) 침수 피해 추정 결과

피해 추정 지역 정확도 분석 (%)	
전체 정확도	94.12
생산자 정확도	100.0
사용자 정확도	92.90
Kappa 계수	0.8182

(d) 기법 정확도 분석 결과

▲<그림 3> 2011년 동일본 대지진 발생 전후 쓰나미로 인한 침수 피해 평가



홍수 피해 탐지 기법 연구 흐름도 (a) 홍수 발생 전 광학 영상 (b) 홍수 발생 후 SAR 영상 (c) 홍수 피해 추정 결과

▲<그림 4> 2015년 인도 웨스트 벵갈 지역 홍수 발생 전후 침수 피해 평가

성과명	(3) 저궤도위성용 SBAS 보정정보 적용기술 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	김 정 래
연락처	02-300-0110	이메일	jrkim@kau.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	SBAS, 저궤도 위성궤도,GNSS, 궤도결정, 무결성		

상세 성과내용

연구의 필요성

지구 저궤도위성은 위성항법(GNSS) 수신기를 사용하여 실시간으로 위치를 결정하는데, GNSS 신호오차에 영향을 받아서 위치 정확도 및 안정성이 제한된다. GNSS 오차에는 GNSS 위성궤도, 시계 및 전리층에 의한 신호지연 오차가 있다. SBAS (Space Based Augmentation System)는 지구 정지궤도위성에서 GNSS 오차 보정신호를 송신하는 시스템으로 이를 사용하면 실시간 위치 정확도를 획기적으로 높일 수 있다. 또한 신호 품질에 관한 정보도 제공하여 사용자위치 추정값에 대한 신뢰성 여부도 파악할 수 있다.
지구저궤도 위성도 SBAS 신호를 수신할 수 있으므로 탑재한 GNSS 수신기에 SBAS 신호를 적용하면 위치정확도를 향상 시키고 GNSS 신호 오류에 의한 위치오차 급증도 예방할 수 있다. 단, SBAS는 항공기용으로 개발하였으므로 저궤도위성에 직접 적용할 수 없다. SBAS 보정정보를 저궤도위성에 효율적으로 적용하기 위해서는 주요 정보에 대한 보완 및 수정이 필요하다.
한편, 저궤도위성의 한반도 상공 비행 시 국내 운용 SBAS와 결합하면 항법정확도 및 안정성 향상이 가능하다.

연구 목표

항공기용으로 개발된 SBAS 보정신호를 저궤도위성 GNSS 수신기에 적용하기 위한 기반연구를 수행한다. 지구표면과 지구궤도에서 가장 차이가 나는 SBAS 전리층 보정정보를 변환하는 기법을 개발하고, 전지구를 비행하는 위성의 항법을 위해 궤도 및 시계 보정정보 영역을 확장하는 기법을 개발한다. SBAS의 주요 기능인 무결성정보를 저궤도위성에 적용하기 위한 기법을 개발한다. GNSS 수신기에 위성동역학 모델을 결합한 항법필터에 SBAS 신호를 결합하는 연구를 수행한 뒤, 실제 GNSS 및 SBAS 데이터를 이용하여 성능 검증을 수행한다.

연구결과

○ 저궤도위성용 SBAS 전리층 보정정보 생성 기법
GNSS 신호는 대기권을 통과하여 지상에 도달하는데, 전리층에 의해 신호가 지연되고 사용자 위치오차를 유발한다. SBAS는 전리층에 의한 신호지연 크기를 추정하여 보정정보 형태로 제공한다. 그런데, 이는 지상 사용자를 위한 것으로 지구 저궤도와 지상은 GNSS 신호가 통과하는 전리층영역이 크게 다르기 때문에 SBAS 전리층 보정정보를 그대로 사용할 수 없다. 본 연구에서는 항공기용으로 제공되는 SBAS 전리층 보정신호를 저궤도위성용으로 변환하는 기법을 개발하였다.

○ SBAS 보정정보 공간 확장 기법
SBAS 보정정보는 다수의 지상수신국에서 수신된 GNSS 신호를 이용하여 보정정보를 생성하기 때문에 GNSS 신호를 수신할 수 없는 지역에 대해서는 보정정보를 생성할 수 없다. 지상수신국이 없는 해양지역에서는 보정정보를 제공할 수 없는데, 저궤도 위성은 해양지역을 포함한 전지구를 비행하기 때문에 SBAS 보정정보를 사용할 수 있는 영역이 제한되게 된다. SBAS 보정정보에 포함된 GNSS 위성궤도, 시계 및 전리층에 의한 신호 지연 오차는 시공간적으로 상관관계를 가지기 때문에 시공간으로 확장하는 것이 가능하다.
본 연구에서는 시계열 추정기법 및 외삽기법을 사용하여 SBAS 보정정보 제공영역을 확장하는 기법을

개발하였다.

○ GPS-SBAS 항법필터 개발 및 검증

위성궤도는 위성동역학모델을 사용하면 높은 정확도로 예측 가능하기 때문에, GNSS 수신기 단독으로 사용하는 것보다는 동역학모델과 결합하는 것이 위치 정확도와 안정성을 높일 수 있다. 본 연구에서는 기 보유한 위성동역학모델과 SBAS 보정정보 처리 기능을 결합한 항법필터를 개발하였다. 개발된 SBAS-GNSS 항법필터는 우주에서 수신된 GPS 데이터와 지상에서 수신된 SBAS 데이터를 결합한 실제 데이터를 이용하여 성능 검증을 수행하였다.

활용 사례

저궤도위성 GNSS 수신기에 SBAS 적용 가능 여부를 증명하였으며, 알고리듬 고도화 및 하드웨어 개발을 통해 후속 연구에 활용될 수 있다. 본 연구를 통하여 후속 연구 진행 시 필요한 기반 알고리듬을 확보하였다. 한편, 개발된 알고리듬과 소프트웨어는 GNSS/SBAS 관련 연구에 활발하게 활용되고 있다. 위성 GNSS 데이터 성능분석, SBAS 데이터 처리 및 SBAS 전리층 보정정보 확장 등에 활용되고 있다.

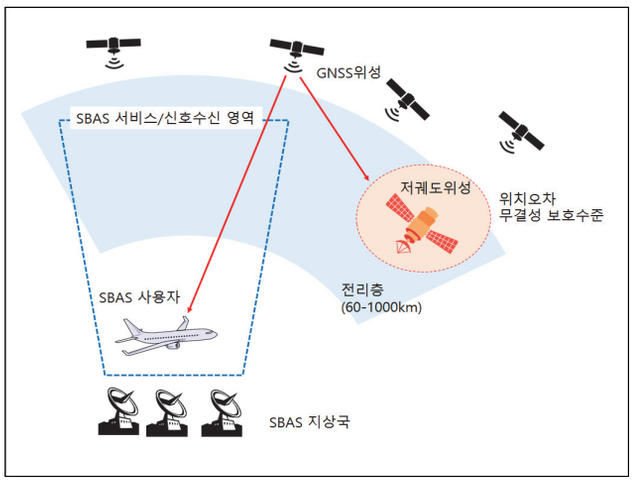
기존지식/ 기술대비 차별성

저궤도위성에 SBAS를 결합하는 연구는 세계 최초로 시도된 연구이다. 전세계 SBAS 연구자는 대부분 항공기 및 지상이동체를 대상으로 연구하기 때문에, 위성동역학 및 궤도결정에 대한 이해가 필요한 궤도결정 연구에 참여하기는 어렵다. 본 연구책임자는 두 분야에 모든 참여한 독특한 경험을 바탕으로 본 연구를 제안하였다.

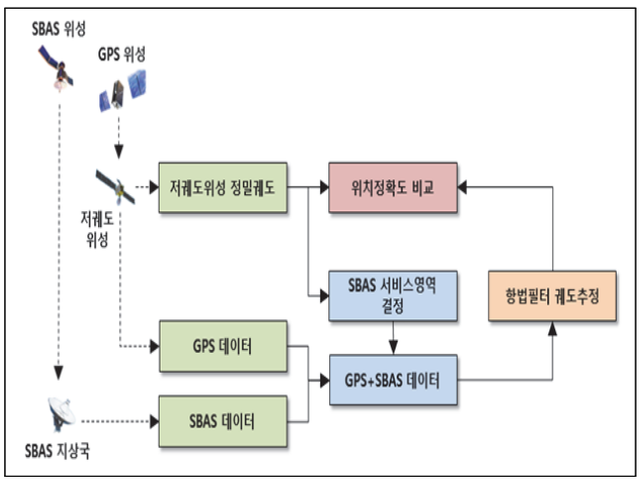
본 연구는 SBAS 궤도/시계/전리층 보정정보를 확장하는 개념을 세계 최초로 제안하였다. 이러한 확장기법은 저궤도위성뿐만 아니라 지상사용자도 사용할 수 있는 기법으로 우리나라와 같이 SBAS 서비스영역이 좁은 지역에서 유용하게 사용할 수 있는 기법이다. 특히 Galileo NeQuick G 모델을 이용한 SBAS 전리층 보정정보 변환기법을 세계 최초로 제안하였는데, 이는 실시간으로 높은 정확도를 얻을 수 있는 기법이다.

활용 가능 분야

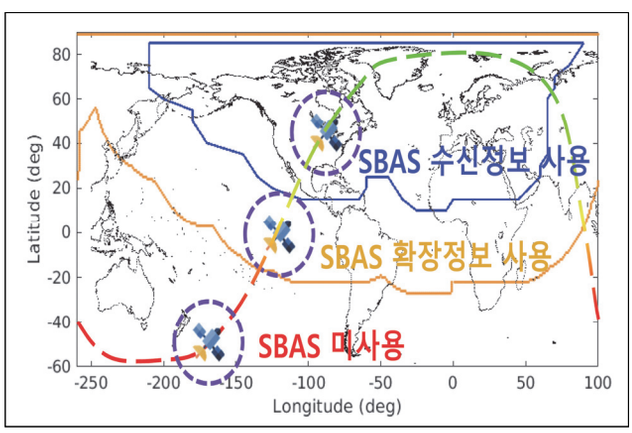
향후 실용화를 염두에 두고 진행하였기 때문에 후속연구 후 국내개발 우주용 GNSS 수신기에 탑재하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 GPS-SBAS 데이터 후처리 소프트웨어를 개발하였는데 이는 TRL 3 수준이다. 후속 연구를 통해 실시간 처리 및 HILS 검증을 완료하면 TRL 5 수준에 도달할 수 있다. 개발한 알고리듬의 위성탑재는 신뢰성을 고려하여 2단계로 나누어 진행할 수 있다. 1단계는 기존 GNSS 수신기에 SBAS 처리 모듈을 추가로 부착하는 형태이며, 이를 통해 우주 성능이 검증되면 2단계에서는 SBAS 기능을 결합한 GNSS 수신기를 개발할 수 있다.



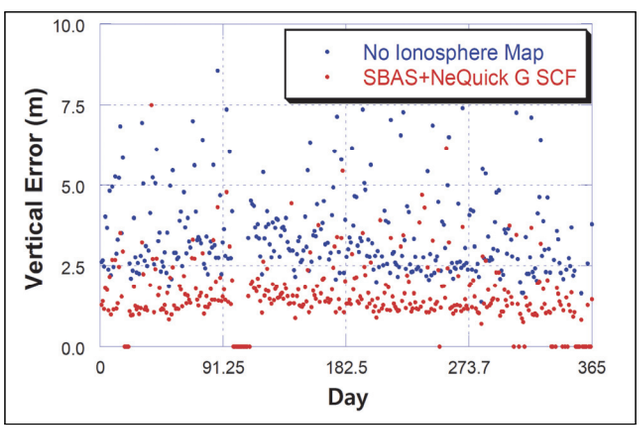
▲<그림 1> 저궤도위성용 SBAS 적용기술 연구개발 개요



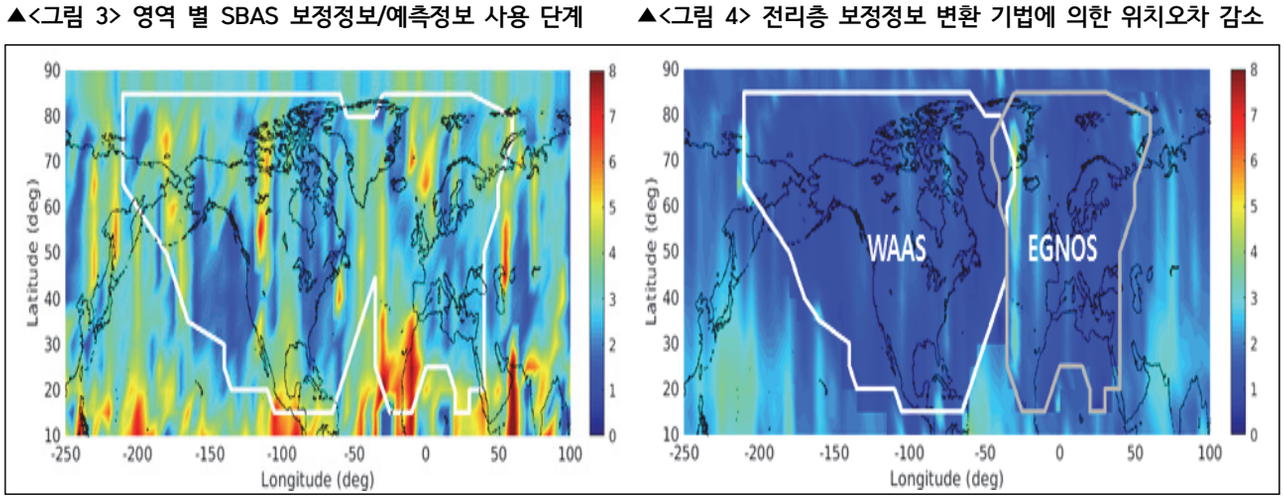
▲<그림 2> 실제 위성관측 GPS 데이터를 이용한 성능검증절차



▲<그림 3> 영역 별 SBAS 보정정보/예측정보 사용 단계



▲<그림 4> 전리층 보정정보 변환 기법에 의한 위치오차 감소



▲<그림 5> SBAS 적용에 의한 저궤도위성 위치결정 정확도 향상
(위치오차: (좌) GPS 단독, (우)GPS+SBAS+동역학모델 결합)

성과명	(4) 위성 기반 태양유도 엽록소 형광물질 관측을 통한 육상생태계 광합성 모니터링		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	류 영 렬
연락처	02-880-4871	이메일	yryu@snu.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	태양유도 엽록소 형광, 광합성, 지면모형, 생물계절		

상세 성과내용

연구의 필요성

태양유도 엽록소 형광물질(SiF)은 식물의 광합성과 밀접한 관계를 지니고 있으며 분자와 잎 수준에서 많은 연구가 진행되어왔다. 최근 들어 우주위성에서 SiF를 직접 관측할 수 있는 파장대(O2A band, ~760 nm)가 가용해지면서, 위성 기반의 SiF를 이용한 광합성 연구가 주목을 받고 있다. 초고해상도 O2A band를 관측하는 위성 센서들로 OCO2, GOME-2, GOSAT등이 있다. 이 센서들로부터 SiF자료가 제공되고 있으나 해상도가 성글고 (1-50 km 해상도) 대기 효과에 의한 자료 결측 혹은 자료 질의 저하가 발생하며, 군락규모에서 SiF의 기작에 대한 이해 부족으로 위성 자료 해석에 어려움을 겪고 있다. 따라서 SiF의 심도 있는 이해를 위해서는 현장에서의 SiF 관측이 동시에 진행되어야 한다. 또한 기존 위성 센서의 단점을 보완할 수 있는 추가적인 모델 개발이 필요하다.

연구 목표

○ 현장 SiF 관측 시스템 개발: 760 nm근처에 초점을 둔 초고해상도 분광계, fiber optic switch, fiber optics 이 결합된 현장 SiF 관측 시스템을 개발하여 육상 생태계 플럭스 타워에 구축한다.

○ SiF 군락 복사전달모형 개발: 현장 관측 자료를 이용하여 SiF 군락복사전달모형(BESS-SiF)을 개발하고 평가한다. BESS-SiF에서 계산되는 군락의 광합성을 플럭스 타워에서 관측된 군락의 광합성 자료를 이용하여 평가하고 향상시킨다. 군락 규모의 SiF에 대한 기작을 이해한다.

○ 위성영상 SiF 평가: 현장 SiF관측 자료를 위성영상 SiF 해상도로 업 스케일링시키기 위해 BESS-SiF를 이용한다. 스케일링 과정을 통하여, 위성영상 및 Airborne에서 관측된 SiF를 평가한다.

○ 위성영상 SiF를 이용한 광합성 모니터링: 위성영상 기반의 SiF의 시공간 패턴을 분석하며, 패턴을 조절하는 주요 인자를 이해한다. 군락규모에서 규명된 SiF와 광합성의 관계를 이용하여 위성영상 SiF 기반의 육상 생태계 광합성 모니터링 시스템을 개발한다.

연구결과

○ 육상에서 SiF를 관측하는 시스템 개발, 구축, 및 안정화

- 자동적으로 SiF를 관측 및 집록할 수 있는 독자적인 시스템을 구축하였다.(그림 2) 구축된 실시간 관측 시스템이 SiF 신호에 반응하고 자료를 구축하는지 실제 식물을 이용하여 평가완료 하였다.

○ 직접 관측한 분광 데이터 기반으로 SiF와 식생에 의한 탄소순환 및 주변 환경 인자의 관계를 밝힘

- 철원 농경지에서 식생의 총 일차 생산량(GPP), 광합성 유효 복사량 (APAR), Vcmax, 엽면적 지수(LAI)를 지속적으로 관측하였다.(그림 3)
- 철원 농경지의 SiF는 GPP와 선형관계를 보임에도 불구하고, APAR와 상관관계가 더 높은 것을 확인하였다.(표 1)
- SiF와 GPP 의 관계에 있어서, 벼의 생장 단계에 따라 관계의 그래프 기울기와 상관관계 정도에 차이가 있음을 확인 하였다.(그림 4)

○ SiF 군락복사전달 모형 (BESS-SiF) 개발

- BESS는 광합성/에너지 수지/증산/복사전달이 결합된 생·물리 모형이다. 군락을 양엽과 음엽으로 단순화한 two-leaf canopy model이다. 에너지, 탄소, 물, 복사 플럭스들을 위성자료 MODIS를 이용하여 iteration과정을 통해 추정하는 모델이다.

- BESS에서 계산된 양엽과 음엽의 광합성으로부터, SiF를 역으로 산출하였다. 두 big-leaf에서 방출된 SiF를 two-stream 복사전달 모형을 이용하여 최종적으로 군락 밖으로 방출되는 SiF를 계산하였다.
- 실제로 철원 농경지에서 관측한 SiF와 BESS-SiF를 비교 평가한 결과, 선형의 상관관계를 보이는 것을 확인 하였다 (그림 5).
- 공간 스케일을 확장시켜, Airborne에서 얻은 SiF, 인공위성에서 추정한 SiF가 BESS-SiF와 공간적 패턴이 비슷하고, 서로 선형적인 관계를 보이는 것을 검증하였다.(그림 6)

활용사례

○ 지속적으로 분광 정보를 얻을 수 있는 현장 관측 시스템 구축
- 장에서 분광 반사도 및 SiF를 지속적으로 동시에 관측할 수 있는 시스템은 국내에 아직 구현된바 없다. 본 연구를 통해 새로운 시스템을 구축하였을 뿐만 아니라, 2년 동안 지속적으로 데이터를 수집하였다. 또한 수집한 내용을 바탕으로 SiF, GPP 그리고 APAR와의 관계를 밝혔다.

○ SiF를 활용한 전 지구 육상생태계 광합성 지도 제작
- BESS-SiF를 이용하여, 전 지구 육상생태계 광합성량을 추정할 수 있는 지도를 제작하였다.(그림 7)
- 이는 우리나라뿐만 아니라, 전 지구의 탄소순환을 이해하는데 유용하게 사용될 수 있을 있다. 다양한 수종, 환경에서의 SiF와 GPP의 관계를 밝히는데 사용될 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 독자적인 현장 분광 관측 시스템 구축하였다. 이를 바탕으로 SiF를 관측하기 위한 시스템에 대한 내용으로 특허 1개를 출원 완료하였다.

○ 직접 관측한 철원 농경지 분광 데이터를 기반으로 SiF와 주변 환경 인자들 간의 관계를 분석하고 선행연구에서 알 수 없었던 관계를 밝혔다. 이를 기반으로 유수한 저널에 출판 완료하였다. (Remote Sensing of Environment, JCR기준 Remote sensing 분야, rank 1 IF: 6.46).

○ 이 과제를 통해 진행된 전지구 SiF와 광합성에 대한 연구를 바탕으로, 광합성에 대한 리뷰 논문을 Remote Sensing of Environment에 주저자로 출판 완료하였다.

○ 본 과제를 통해 전 지구 BESS-SiF모델을 개발함으로써, 전 지구 육상생태계 광합성량을 도출하였다. BESS-SiF 모델은 생리학적 기반의 모델로, 기존의 연구들에서 사용한 Machine learning을 이용한 방법이나, 단순 보간 법을 이용하여 산출한 전 지구적 SiF 결과와는 차별성이 있다.

활용 가능 분야

○ 탄소시장에 선도적으로 대응하는데 기여:
- 광합성은 탄소순환에서 가장 큰 비중을 차지하며 탄소 흡수원을 이해하는데 가장 중요한 변수이다.
- 탄소시장에 대응하기 위해서는 광합성의 시공간 패턴을 이해하는 것이 필수적이다.
- 본 연구에서 개발한 BESS-SiF는 전 지구 탄소순환 및 탄소 흡수량을 정량화하는데 도움을 줄 수 있다.

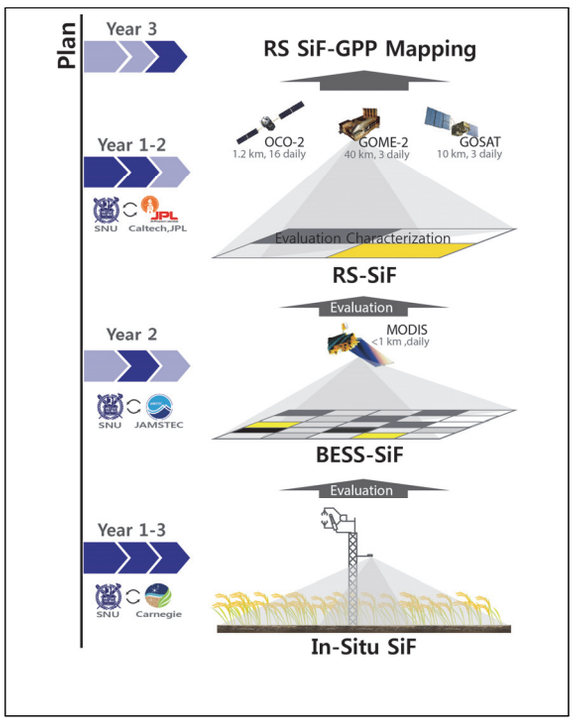
○ 육상생태계의 탄소 순환을 모니터링 하는 위성체 센서 개발 및 자료전처리에 기여:
- O2A밴드는 그간 대기 원격탐사분야에서 널리 활용되어왔다. 특히 에어로졸, 대기 프로파일 등을 모니터링 하는데 유용한 밴드로 활용되어왔다.
- 대기에서만 활용되던 O2A밴드를 육상생태계의 탄소순환에 활용함으로써, 동일한 분광계로 대기와 육상을 동시에 모니터링할 수 있는 기술 개발에 기여할 수 있다.

○ 식생의 스트레스를 탐지하는 기술 개발:
- SiF는 식생의 수분 혹은 영양물질 등에 의한 스트레스에 빠르게 반응하는 것으로 알려져 있다. 따라

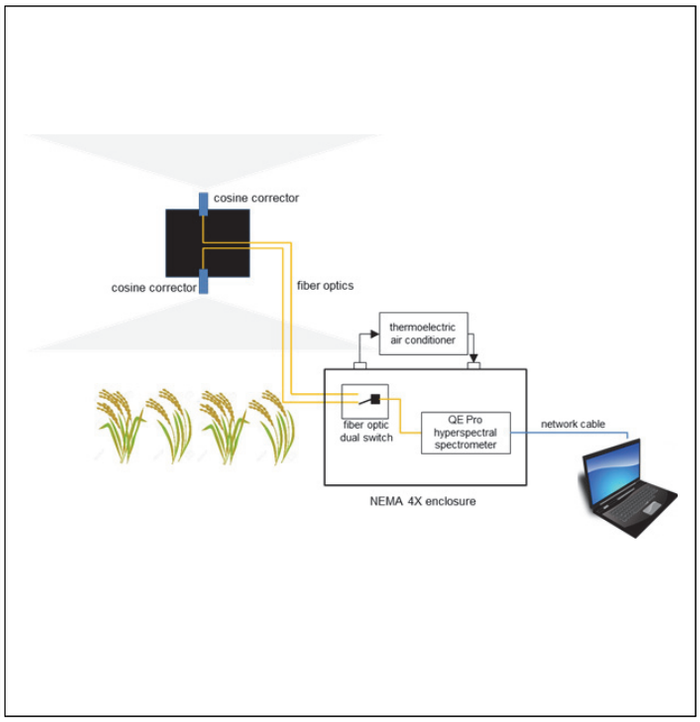
서, 위성 기반의 SiF를 이용해 생태계의 건강 상태를 모니터링 하는데 기여할 수 있다.
- 농업 생산성 모니터링에 기여할 수 있다. 현장 관측 SiF 시스템을 이용하여 작물의 작황정보 모니터링이 가능할 것이며, 이로부터 정밀농업(precision agriculture) 산업에 기여할 수 있다.

○ 근접 분광센서 시스템 개발에 활용:
- 현장에 구축한 SiF 시스템은 spectrometer, fiber optic, foreoptics, 항온계, 컴퓨터, 인터넷 등이 결합된 하나의 모듈로, 과제 기간 동안 꼼꼼하고 정교한 테스트를 거쳤다.
- 개발한 분광센서 시스템은 향후 근접 분광센서 시장의 확장에 기여할 수 있다.

○ 탄소순환의 불확실성을 크게 낮추는데 기여:
- 광합성은 탄소순환에서 불확실성이 가장 큰 요소 중 하나이다. SiF는 광합성의 직접적인 지표로서, 탄소순환의 불확실성을 크게 줄이는데 기여할 수 있다.
- 탄소순환의 불확실성을 낮춤으로서 기후 변화 시스템 예측 향상에 기여할 수 있다.



▲<그림 1> 연구개발 추진체계



▲<그림 2> 실시간 관측 시스템

성과명	(5) 딥러닝을 이용한 태양 고에너지 양성자 플럭스의 시간 변화 예보 모델 개발		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	문 용 재
연락처	031-201-3807	이메일	moonyj@khu.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	태양 고에너지 양성자, 플레어, 코로나질량방출, 예보모델, 심층신경망		

상세 성과내용

연구 목표

본 연구의 목표는 딥러닝을 이용하여 태양 고에너지 양성자 플럭스의 시간 변화 예보 모델을 개발하는 것이다.

- 태양 고에너지 양성자 플럭스의 시간 변화 예보를 위한 경험적인 모델 개발
- 인공 신경망 기법과 경험적 모델 함수를 이용한 양성자 시간 변화 예보 모델 개발
- 태양 활동 현상과 태양 고에너지 양성자 플럭스의 상관관계 연구
- 합성곱 신경망을 이용한 플레어 발생확률 예측모델 개발
- 순환 신경망을 이용한 시간 변화에 따른 태양 고에너지 양성자 플럭스 예측모델 개발
- 개발된 모델의 성능 평가 및 기존 모델과 비교 분석

연구의 필요성

태양 고에너지 양성자 현상은 순수 과학적 목적뿐만 아니라 실생활에 대한 이용 측면에서도 매우 중요한 연구 분야이다. 최근 인간의 다양한 우주 활동으로 인해 우주 환경 연구에 대한 필요성이 대두되고 있다. 여러 선진국에서는 과학적 목적뿐만 아니라 상업적 목적을 위해 많은 위성을 발사하고 있다. 또한 지구를 넘어 달과 화성 등 태양계를 탐사하기 위한 장기간의 우주 프로젝트가 계획 중이다. 이에 따라 기기뿐만 아니라 우주인의 직접적인 보호를 위해서도 우주 환경에 대한 이해는 매우 중요하다. 우주 환경의 여러 요인 중에서 태양 고에너지 양성자 현상은 인간의 우주 활동에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다 (Feynman and Gabriel, 2000). 2003년 NOAA Space Weather Prediction Center (SWPC)에서 우주 환경 관련 고객을 대상으로 시행한 설문조사 결과는 태양 고에너지 양성자 현상 예보가 우주 환경에서 가장 중요한 요소임을 보여 준다. 국내 우주산업 또한 우주기상에 의하여 피해를 입은 사례가 다수 존재한다.
현재까지 위성 및 지상 관측을 통해 많은 양의 태양 관측 자료가 축적되었다. 본 연구에서는 태양의 빅데이터를 이용하여 확률 분포 함수를 이용한 경험적 양성자 예보 모델과 자율학습 기반의 심층 신경망을 이용한 양성자 예보 모델을 개발하였다. 본 연구를 통해 개발된 태양 고에너지 양성자 예측모델은 기존 운영 모델을 상호 보완 할 수 있으므로 국내외 우주기상 예보센터에서 직접적으로 활용 수 있을 것으로 기대한다.

연구결과

○ 태양 고에너지 양성자 플럭스의 시간 변화 예보를 위한 경험적 모델 개발

- 플레어 인자와 와이블 함수(Weibull function)를 이용한 Well-connected 양성자 플럭스의 시간 변화 예보 모델을 제작하였으며, 모델과 관측 결과의 최대 양성자 플럭스의 상관관계는 0.63이고 RMSE는 0.57로 (단위: log10) 유의미한 결과를 보였다. 또한 플레어 인자와 굼벨 함수(Gumbel function)를 이용한 Poorly-connected 모델을 제작하였으며, 모델과 관측 결과의 최대 양성자 플럭스의 상관관계는 0.63로 RMSE 0.74로 (단위: log10) 유의미한 결과를 보였다.

○ 인공 신경망 기법과 경험적 모델 함수를 이용한 양성자 시간 변화 예보 모델 개발
- 양성자 최대 플럭스와 증가/감소시간의 예측값과 관측된 값 사이의 평균 제곱근 에러값은 각각 1.02 (단위: log10), 15.2/29.03 (단위: 시간) 값을 얻었다.

○ 태양 활동 현상과 태양 고에너지 양성자 현상 상관관계 연구
- 고에너지 양성자 입자 발생확률과 최대 플럭스가 플레어(등급, 발생 위치, impulsive time from start to peak flux)와 CME(속도, 각크기) 물리량에 의존하는 것을 밝혔다. 태양의 극자외선 파동이 발생지역에서 관측 위성의 태양 코로나 지역의 자기력선 연결지점까지 도달하는 시간과 태양 고에너지 입자가 관측 위성에서 관측되는 시간 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 밝혔다.

○ 심층 신경망을 이용한 예보 모델 개발
- 합성곱 신경망과 태양 자기장 이미지를 이용하여 플레어 발생 예측모델을 개발하였으며, 해당 모델은 86%의 정확도를 보여준다. 플레어 플럭스를 예측하기 위해 심층 신경망 기법을 이용하여 와이블 함수의 수치를 구하였고. 와이블 함수만을 이용한 모델보다 심층 신경망 기법을 적용한 모델에서 더 좋은 예측성능을 보여 주었다. 순환 신경망 기법의 하나인 Long-Short Term Memory(LSTM) 을 이용하여 시계열 특성을 반영한 양성자 예측모델 구축 하였다. 자기 회귀 모델을 활용한 양성자 예측 결과와 LSTM 양성자 예측모델을 비교하였으며, 그 결과 평가 기간 중 LSTM 모델은 약 0.08, 자기 회귀 모델은 약 0.09의 로그 스케일 오차를 보여 주었으며, 태양 양성자 현상 기간 동안 LSTM 모델은 약 0.36, 자기 회귀 모델은 약 0.40의 로그 스케일 오차를 보여 주었다.

활용 사례

○ 후속 연구에서 딥러닝의 LSTM을 적용한 태양 고에너지 양성자 플럭스 예보 모델 실용화를 위해 모델 성능 개선하였다(그림 1).
후속 연구에서 딥러닝의 LSTM을 적용하여 플레어 플럭스 예측 모델 개발하였다.(SCI급 논문 게재)
후속 연구에서 딥러닝의 cGAN을 적용하여 STEREO위성의 EUVI 극자외선 이미지에서 태양 표면의 자기장 이미지를 생성하였다.(SCI급 논문 게재)(그림 3)
현재 여러 딥러닝 방법(LSTM, sequence-to-sequence, cGAN, CNN)을 적용하여 우주기상, 태양 관측, 은하 관측, 기상 등 다양한 연구를 진행하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

와이블 함수, 굼벨 함수 등의 확률 분포 함수를 이용하여 양성자 플럭스 예측 모델을 개발하였다. 플레어, CME, 극자외선 파동 현상과 태양 고에너지 양성자 현상 사이의 연관성을 밝혔다.
심층 신경망(Deep Neural Network) 모델을 GOES 위성 태양 X-선 자료와 태양의 SOHO/MDI, SDO/HMI 이미지에 적용하여 태양 고에너지 양성자 발생 등급과 양성자 플럭스 예측 모델을 학계 최초로 개발 하였다.
합성곱 신경망(Convolutional Neural Network)을 이용한 양성자 발생 등급 예측 모델 개발 하였다.
순환 신경망(Recurrent Neural Network)을 이용한 시간 변화에 따른 양성자 플럭스 예와이블 함측 모델 개발 하였다.

활용 가능 분야

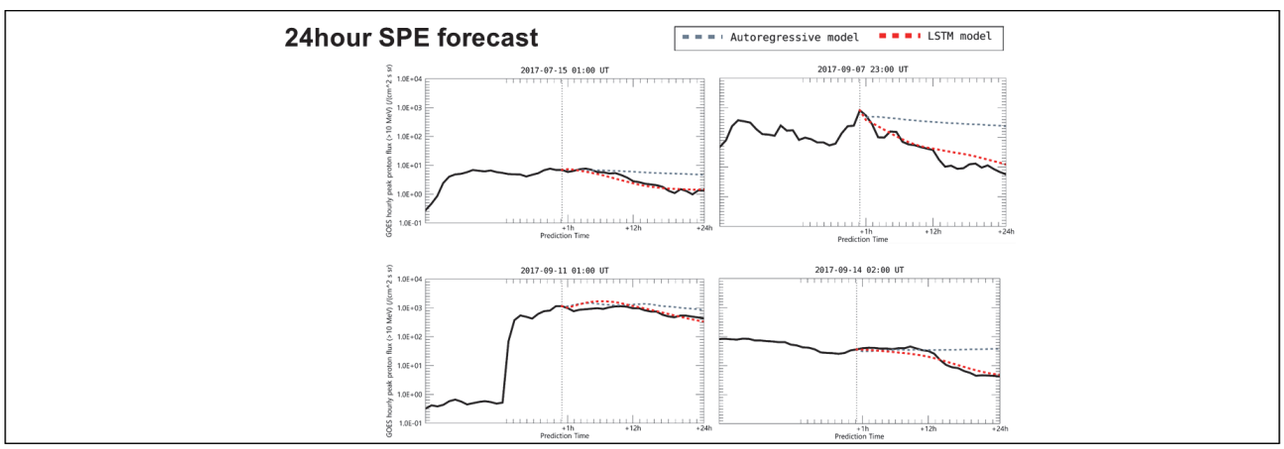
○ 기술적 측면
S 등급 단계와 양성자 발생 확률 정도의 태양 고에너지 양성자 예측 수준에서 양성자 플럭스의 시간 변화를 예측 할 수 있는 기술 향상했다.(기존 기술 대비 30-40% 향상)
태양 고에너지 양성자 예측 기술에서 국제 경제력 확보 및 국제사회에 기여도를 증대할 수 있다.

태양 고에너지 양성자 예측 모델을 개발함으로서 선진국의 기술의존도를 줄이고 기술 자립도를 확보하여 우리나라의 통신, 위성, 항법, 군사 등 국가 기간시설을 보호할 수 있다.

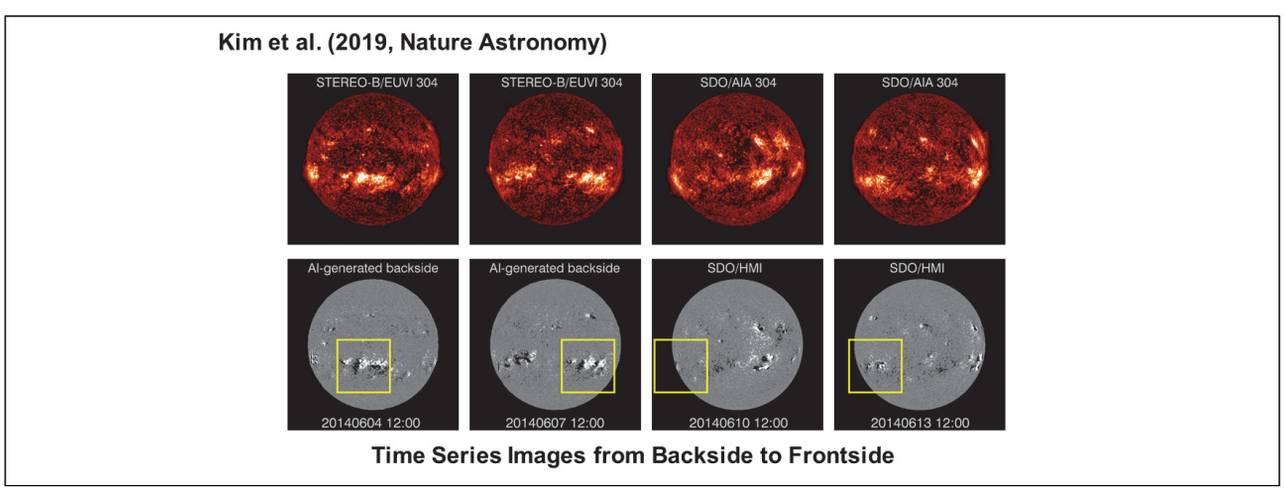
○ 경제적, 산업적 측면

국내 위성. 통신 산업의 보호를 위해 태양 고에너지 양성자 시간 변화 예측 시스템을 구축함으로서 양성자 발생으로 인한 통신 교란, 인공위성 피폭, 궤도이탈, 수명 단축 등으로 발생할 수 있는 경제적 손실 및 사회적 혼란 방지 한다 (기존 대비 20-30% 향상).

태양 고에너지 양성자 시간 변화 예보 시스템을 구축함으로서 태양 고에너지 양성자 발생으로 인한 극항로에 운행하는 국내외 항공기들의 방사선 노출, 항로 이탈, 통신 두절의 피해가 감소한다.(기존 대비 20-30% 향상)



▲<그림 1> 딥러닝의 LSTM을 적용하여 24시간 태양 고에너지 양성자 플럭스를 예측한 결과



▲<그림 2> 딥러닝 cGAN을 적용하여 STEREO/EUVI 이미지에서 태양 표면 자기장 이미지를 생성한 결과

성과명	(6) 고분리도 단일 배열 안테나를 활용한 Ka대역 위성 중계기술 개발		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	민 병 욱
연락처	02-2123-5880	이메일	bmin@yonsei.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	중계기, 배열안테나, Ka대역, 자기간섭제거, 고분리도		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 산업이 발전함에 따라 우주 탐험 거리는 점점 늘어나고 있음. 그에 따라 위성의 수요도 증가하는 추세이다. Geosynchronous Earth Orbit(GEO)보다 낮은 궤도에서 공전하거나, 달 뒷면과 같이 통신 음역 지역, 지구와 거리거 너무 먼 경우 통신이 어려워지게 된다. 따라서 지구에서 송신한 신호를 수신하고, 다시 그 신호를 증폭하여 재송신하는 중계 위성과 중계 시스템이 필요하다.

특히 Ka 대역은 트래픽 급증으로 인해 위성통신 주파수가 점점 높아지고 있는 상황에서 대역폭이 넓어 전송속도 및 gain-to-noise temperature (G/T) 에 유리하며 안테나 및 회로 소형화에 유리하다. 또한 현재 지표면 근처에서 많이 쓰이는 C, X Band와 간섭이 일어나지 않는 장점이 있다. 높은 동작 주파수로 인해 Ka-band 회로 설계가 어렵고 관련 연구도 많지 않아 Ka 대역의 중계기술 및 원천 기술 확보는 시급한 과제이다.

연구 목표

연구 목표는 고분리도 단일 배열 안테나를 활용한 Ka대역 위성 중계기술 개발로, 6개의 세부 목표(SIC, SDRs, RF front end, beam-forming network, 2D array antennas, 4x4 butler matrix)로 나누어 개발을 진행하였다. 가장 중요한 연구내용은 SIC, 자기간섭제거로 간섭신호를 크기가 같고 위상이 반대인 신호로 상쇄하여 근본적으로 해결하는 회로를 연구 개발 하는 것이다. 또한 SDR 연구를 통해 RF 영역을 포함한 대부분 블록을 소프트웨어로 컨트롤 하는 전송제어 기술을 활용하여 SIC를 컨트롤 하는 것이 필요했으며, USRP 장비와 NI사의 소프트웨어를 활용하였다. Ka-band를 USRP 주파수로 내려주는 별도의 RF front end를 구성이 필요하다, 배열안테나의 빔포밍을 위한 beam-forming network를 개발, 고분리도 butler matrix를 활용하여 하나의 배열안테나로 동시 송·수신이 가능하도록 하는 연구가 요구되었다. 특히 신호를 송·수신하는 배열안테나의 개발은 연구실의 기자재인 USRP의 작동범위가 (0.4-4.4 GHz, 1.2-6 GHz) 이므로, Ka-band를 USRP에서 사용가능한 주파수로 내려주는 별도의 RF front end 구성이 필요하였다. 마지막으로 4x4 butler matrix 8개로 beam-forming network를 구현하여 하나의 2D array 안테나로 송·수신 각각에 적용되는 두 개의 빔을 만들어 1차적인 분리도 향상을 꾀하고, 2차적으로 SIC 회로를 통하여 60 dB 정도의 분리도 향상을 달성하는 것이 최종 목표이다.

연구결과

○ 고분리도 중계 기술 개발

Ka 대역 중계기술 개발을 위해 2차년도에 2.4 GHz에서 80 MHz 대역폭, 50 dB 분리도를 달성한 것에 이어 3차년도에서는 5G 주파수중 하나인 3.5 GHz에서 100 MHz 대역폭, 평균 60 dB 의 분리도를 달성하였다.. SIC 부문에서 circulator 2개와 chip antenna 2개를 20 dB ~ 25 dB의 passive SIC를 달성, total SIC (passive + active SIC) 평균 60 dB를 달성하였다.(그림 1) 또한 RF front end의 효율적인 설계와 함께 NI사의 SDR 플랫폼인 USRP, LabView를 연동하여 RF SIC를 실시간으로 VNA를 통하여 측정하였음. Butler matrix를 활용한 beam-forming network 및 array antenna의 제작/측정을 하였다. 3~4차년도에는 USCD와의 국제공동연구를 통해 Ka대역에서 다중안테나기반 고분리도를 활용한 전이중통신 실험에 성공하였다.(그림 2)

활용 사례

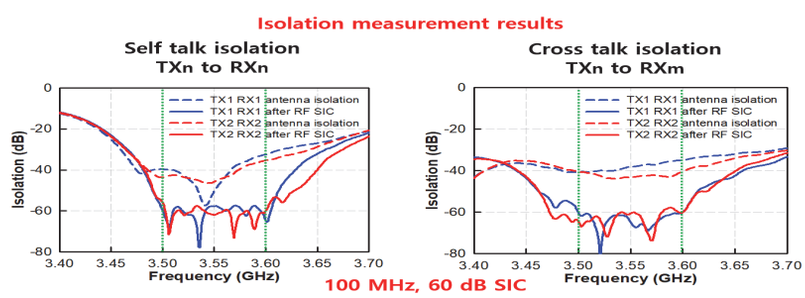
중계에서 불가피한 송·수신간 간섭을 해결하여 중계기술의 핵심원천기술인 간섭제어기술을 확보하는데 가장 큰 의의가 있으며, 또한 향후 우주 탐사거리 증가 및 통신량 증가로 중계위성의 개수 및 수요가 늘어날 것이며, 단일 안테나를 이용하여 분리도가 높은 다중 빔포밍 기술은 하나의 중계 위성으로 여러 개의 위성을 효율적으로 통제할 수 있는 위성간 시스템의 핵심 기술로 이어질 것으로 기대 된다. 차세대 주파수 대역인 Ka 대역 통신에 고도화된 SIC 기술 적용으로 통신 채널 증대 효과도 중요한 의의를 갖는다.

기존지식/ 기술대비 차별성

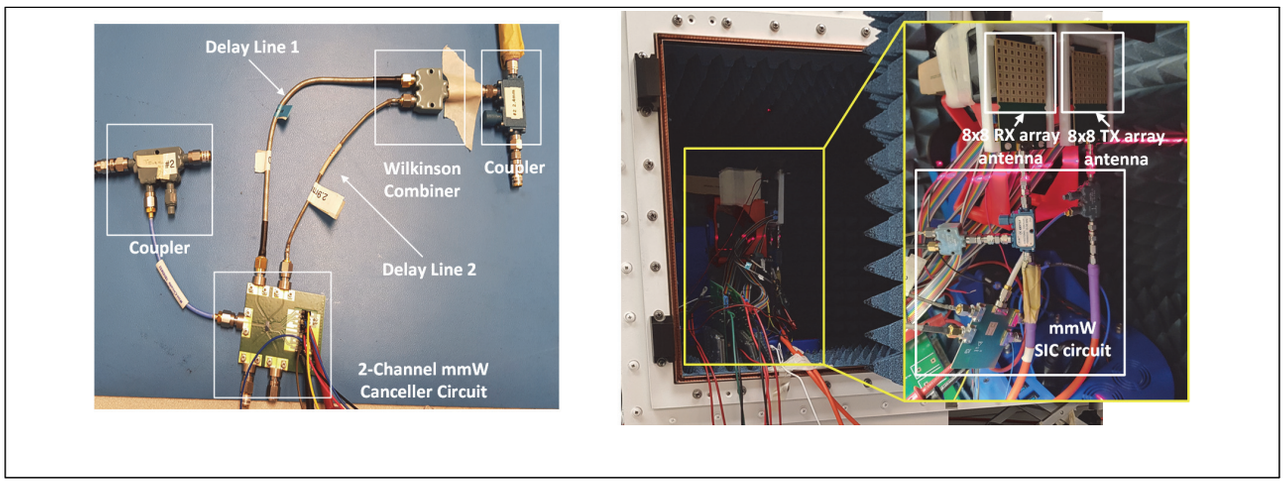
세계적인 수준의 -60 dB 분리도를 통한 SIC 기술을 이용하여 중계기술의 핵심원천기술인 간섭제어기술을 확보하는데 가장 큰 의의가 있다. 또한 송, 수신 각각의 배열안테나를 활용하여 두 개의 빔 형성으로 근본적인 분리도 향상을 꾀하였으며, Ka 대역에서 다중 안테나기반 전이중통신 시스템을 구현하였다.

활용 가능 분야

Ka 대역의 SIC는 아직 연구가 활발하지 못한 분야로 특허(지식재산권) 획득이 용이하므로 기술 선점이 중요하며 본 과제의 핵심 목표인 SIC 60 dB를 5G 대역인 3.5 GHz 부근에서 달성함과 동시에 중계기술 최종 시스템에 구현에 필요한 기술을 확보함으로써 향후 위성 및 각종 통신망 중계기술의 원천핵심기술을 확보하였다. 또한 60 dB 이상의 고분리도 SIC 기술과 RF front-end 및 beam-forming network 설계 기술은 중계 위성 뿐 아니라 5G 및 군 통신 기술로도 사용 될 수 있으며 학술적 가치 뿐 아니라 상업적 가치가 높을 것으로 예상된다.



▲<그림 1> 2 x 2 MIMO full duplex radio front-end VNA 측정 결과(-60 dB 분리도 달성)



▲<그림 2> 국제 공동연구(UCSD)로 진행한 Ka 대역
(좌) 하이브리드 mmW SIC 회로 (우) 다중 안테나 기반 전이중 통신 시스템

성과명	(7) 원격탐사 기반 갯벌 주제도 제작 기술 개발 및 시범지역 DB 구축		
주관연구기관	㈜지오스토리	연구책임자	신정일(대리인 김익재)
연락처	010-2310-8606	이메일	petchild88@nate.com
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	갯벌, 주제도, 원격탐사, 지리정보, 소프트웨어		

상세 성과내용

연구의 필요성

갯벌은 경제적, 환경적, 생태적으로 다양한 중요성을 가지고 있으며 인간 생활에 직접적인 영향을 미치고 있어 지속적인 모니터링과 관리가 필요하다. 해양수산부에서는 연안 GIS 데이터를 대축척 형태로 제공하고 있으나, 갯벌의 지형도 및 퇴적상에 대한 주제도는 제공되고 있지 않는 실정이다. 우리나라는 다양한 센서를 탑재한 원격탐사위성을 운용하고 있으며, 이를 이용하여 갯벌 지형도 및 주제도 제작이 가능하다. 따라서 인간 생활에 직접적인 영향을 끼칠 수 있는 갯벌 조간대의 지형도 및 퇴적상에 대한 원격탐사 기반 주제도 제작기술을 개발·공급할 필요가 있다.

연구 목표

SAR위성, 광학위성, 유·무인기 기반의 다중플랫폼 원격탐사 기반 갯벌지형도(DEM) 제작하고 DEM 융합 방법을 개발하여 이를 통해 다중플랫폼 원격탐사 기반 갯벌 주제도 제작 기술을 개발하여 갯골의 위치 및 속성 추출, 퇴적상 분포도 제작 방법을 개발한다. 또한 정확도 검증과 시범지역 GIS DB 구축을 통해 프로토타입 SW를 개발하고 현업화 가능성을 분석한다.

연구결과

○ 정성적 연구개발성과
- 개별 플랫폼(드론, 항공기, 위성 SAR등)기반 DEM 제작
- 다중 플랫폼 DEM 융합기술 개발
- 갯골 분포도 추출 기술 개발
- 갯골 속성(폭, 깊이) 추출 기술 개발
- 갯벌 퇴적상 분류 기준 수립 및 분류 기술 개발
- 갯벌 주제도 제작 프로토타입 SW 개발
- 3개 시범지역에 대한 갯벌주제도 DB 구축 및 통계자료 생산
- 현장조사 및 항공 라이다/초분광 센서를 이용한 참조자료 수집
- 갯벌주제도 DB 정확도 평가
- 프로토타입 SW 시험적용 및 현업화 가능성 분석
- 사업화 방안 수립

○ 정량적 연구개발성과
- 국외 SCI 논문게재 2건, 국내 논문 게재 3건, 특허출원 3건, 특허등록 1건, 인력양성 4건, SW등록 1건, 현장적용 6건

활용 사례

본 연구의 결과는 접근성의 제한으로 조사가 어려웠던 갯벌에 대한 조사 자료 확보 방법을 제공함으로써, 다양한 분야에 활용할 수 있다. 특히 원격탐사 기반의 신속한 정보 획득은 재해·재난 대응자료, 갯벌 관리 및 보존을 위한 기초자료, 정책 수립 및 의사결정의 보조 자료를 구축하는데 도움을 준다. 국립해양조사원의 해양안전지도 제작, 갯골분포도 제작, 연안해역 재질분포도 제작 사업과 한국수산자원공단의 천연해조장 조사, 갯녹음 실태조사, 갯벌 퇴적상 조사 사업과 해양환경관리공단의 블루카본 정보시스템 구축 사업 등 연구성과를 활용한 DB 구축 용역사업을 수행하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

갯벌은 재질과 조수간만의 차로 지형 및 속성 정보 획득을 위한 접근이 용이하지 않아 갯골의 위치 및 현상의 파악이 미진한 상황이다. 기존 연안 주제도에서 갯벌은 하나의 카테고리로 구분하여 갯벌의 위험성 및 변화를 파악하긴 힘들었다. 본 연구의 성과는 기술적인 측면에서는 연안 모니터링을 위한 국내 독자기술을 확보하고, 다목적실용위성영상의 활용성을 증대 시키는 효과가 있을 것이다. 경제·산업적 측면에서는 갯벌 조사비용의 감소와 함께 갯벌 주제도 제작 알고리즘과 SW 구축을 통한 부가가치 창출, 위성영상 시장의 활성화를 기대할 수 있다.

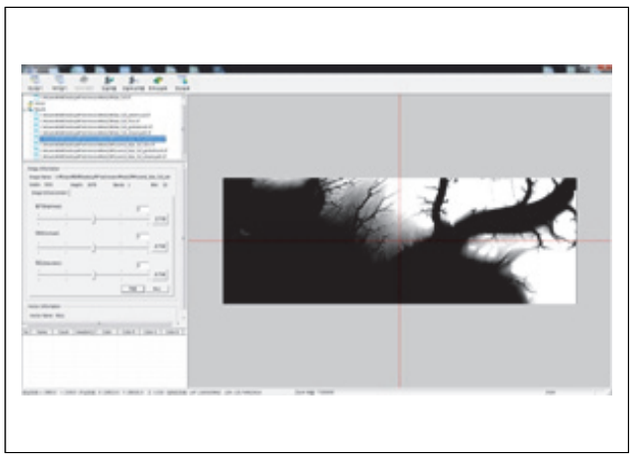
활용 가능 분야

○ 연구 기초자료
- 연안조사 시 자료의 측정과 관련된 중복을 없애 기초자료로 활용 가능
- 국토개발, 환경·자원조사 등 다양한 학문분야와 연안관련 모델 및 소프트웨어 개발 시 필요한 기초자료 제공
- 고해상도 위성자료로부터 주기적인 갯벌 지형도 제작이 가능함으로써 비 접근 지역에 대한 정보 갱신이나 정확한 개체 추출에 활용 가능
- 갯벌 생태적 특성에 대한 주제도 제작 기술 개발을 위한 기초자료 제공

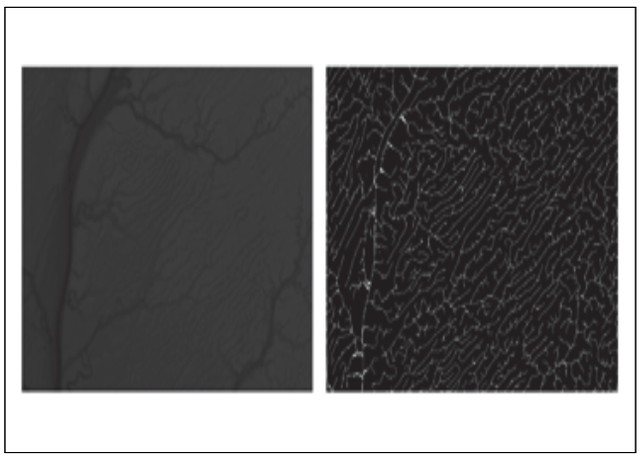
○ 재해 및 재난 대응자료
- 재해, 재난 및 사고 발생 시 신속한 대응을 위한 구조 활동 보조자료 제공

○ 정책관련 의사결정 보조자료
- 연안 및 갯벌 관련 정책 결정 및 이행 시 의사결정의 보조 자료로 활용

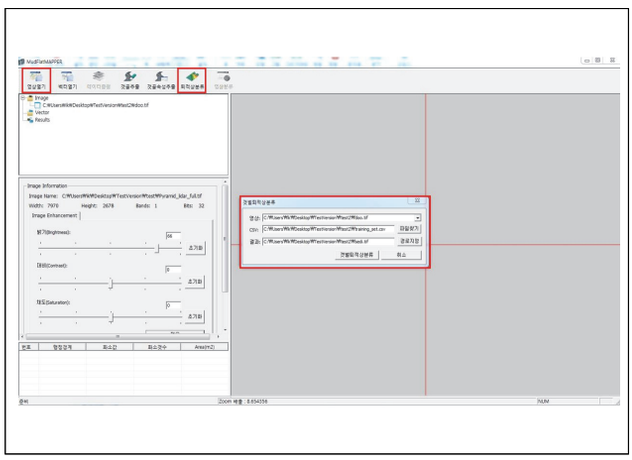
○ 연안 개발 및 갯벌 관리·보존의 기초자료
- 자연, 자원 및 환경적으로 매우 중요한 위치에 있는 갯벌을 지속적으로 보호 및 관리할 수 있도록 체계적인 갯벌 관리 시스템 구축에 활용 가능
- 조력발전소 및 해양바이오디젤 생산지 선정 등 친환경 녹색성장산업 추진을 위한 기초자료 제공
- 고해상도의 갯벌 주제도를 이용하여 연안환경 변화의 시계열 모니터링 가능



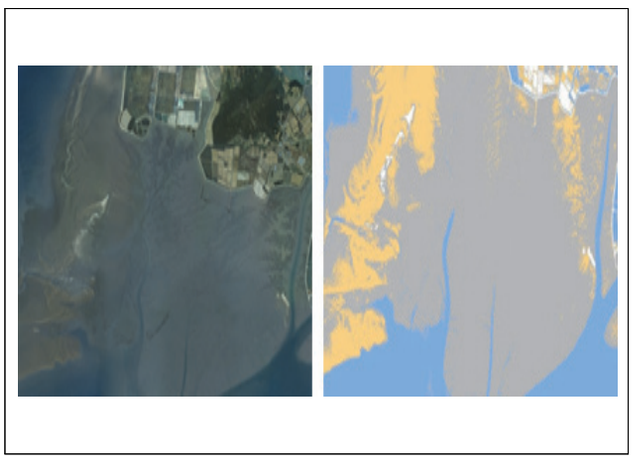
▲<그림 1> 갯골 추출 기능 프로토타입 SW



▲<그림 2> 갯골 추출 결과 예시



▲<그림 3> 퇴적상분류 기능 프로토타입 SW



▲<그림 4> 퇴적상분류 결과 예시

성과명	(8) 위성 SAR에 의한 지표 이동물체의 탐지 및 속도 복원		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	원 중 선
연락처	02-2123-2673	이메일	jswon@yonsei.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	위성활용, SAR, 이동물체, 속도복원, 지표변위		

상세 성과내용

연구의 필요성

전천후 관측 능력을 갖춘 SAR를 이용하여 지표의 변위 및 이동물체 탐지와 속도복원은 대표적 활용 기술 중 하나이다. 그러나 정밀한 지표 변위 및 속도 추정 이론 및 활용 기술은 아직 완성 단계에 이르지 못하고 있다. 또한, 국내 SAR의 특성 및 한반도 특성을 고려한 국내 개발 독자적인 활용 기술 개발은 국내 위성 개발 및 활용 최적화에 필수적이다.

연구 목표

인공위성에 탑재된 영상레이더(SAR)를 이용한 지표 변위 및 지상 이동물체의 효과적인 탐지(GMTI)와 이동속도 복원 기술을 개발하고, 국내 위성 SAR 시스템 및 차세대 다중채널 위성 SAR에 대한 활용 극대화 기술 도출한다.

연구결과

국내 위성 SAR 최적화된 지표변위 및 지상 이동물체 탐지/속도복원 기술 획득 및 검증하였으며, 저속도 자연 이동물체 분석 기술 개발 및 물체 이동에 의한 영향으로 품질저하 된 SAR 영상의 개선 알고리즘 개발하였다.

활용사례

하와이 화산 분출에 따른 변위 관측, 남극 해빙의 유동성 분석, 지상 이동 차량 및 선박의 탐지와 2차원 속도 분석을 수행하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

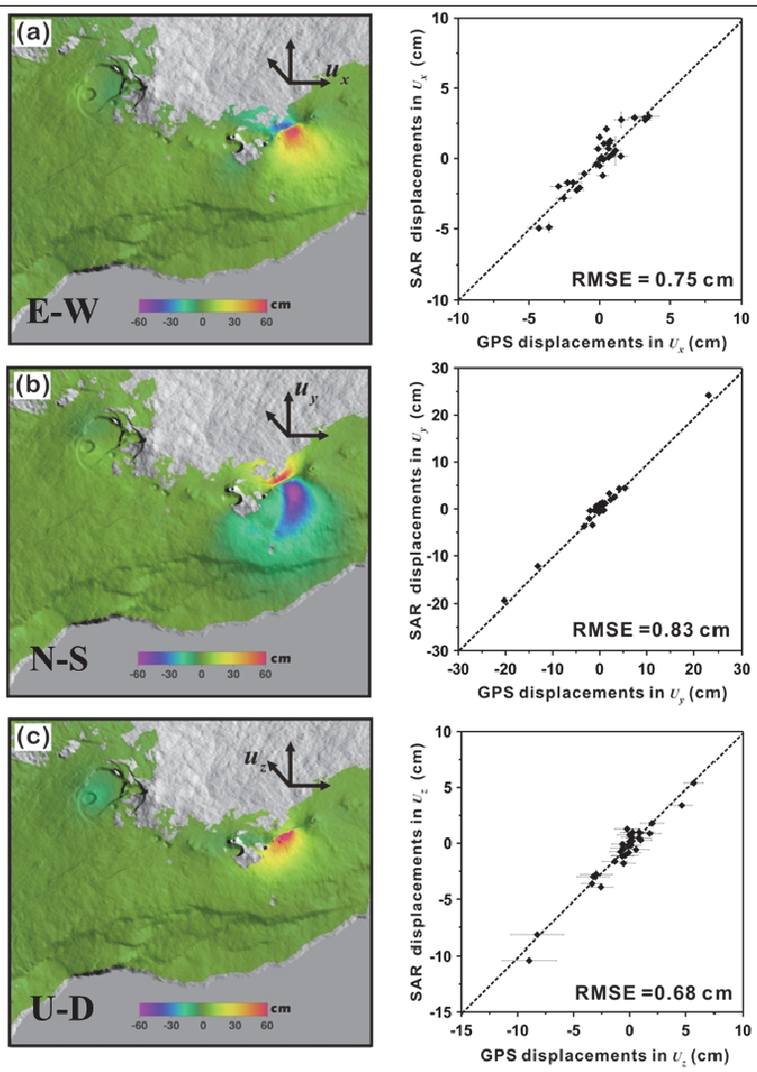
기존에 제시하지 못 하였던 새로운 방법의 개발 및 이론적 완성도 개선하였으며, 국내 위성을 이용한 검증으로 국내 위성 활용 능력을 제고하였다.

활용 가능 분야

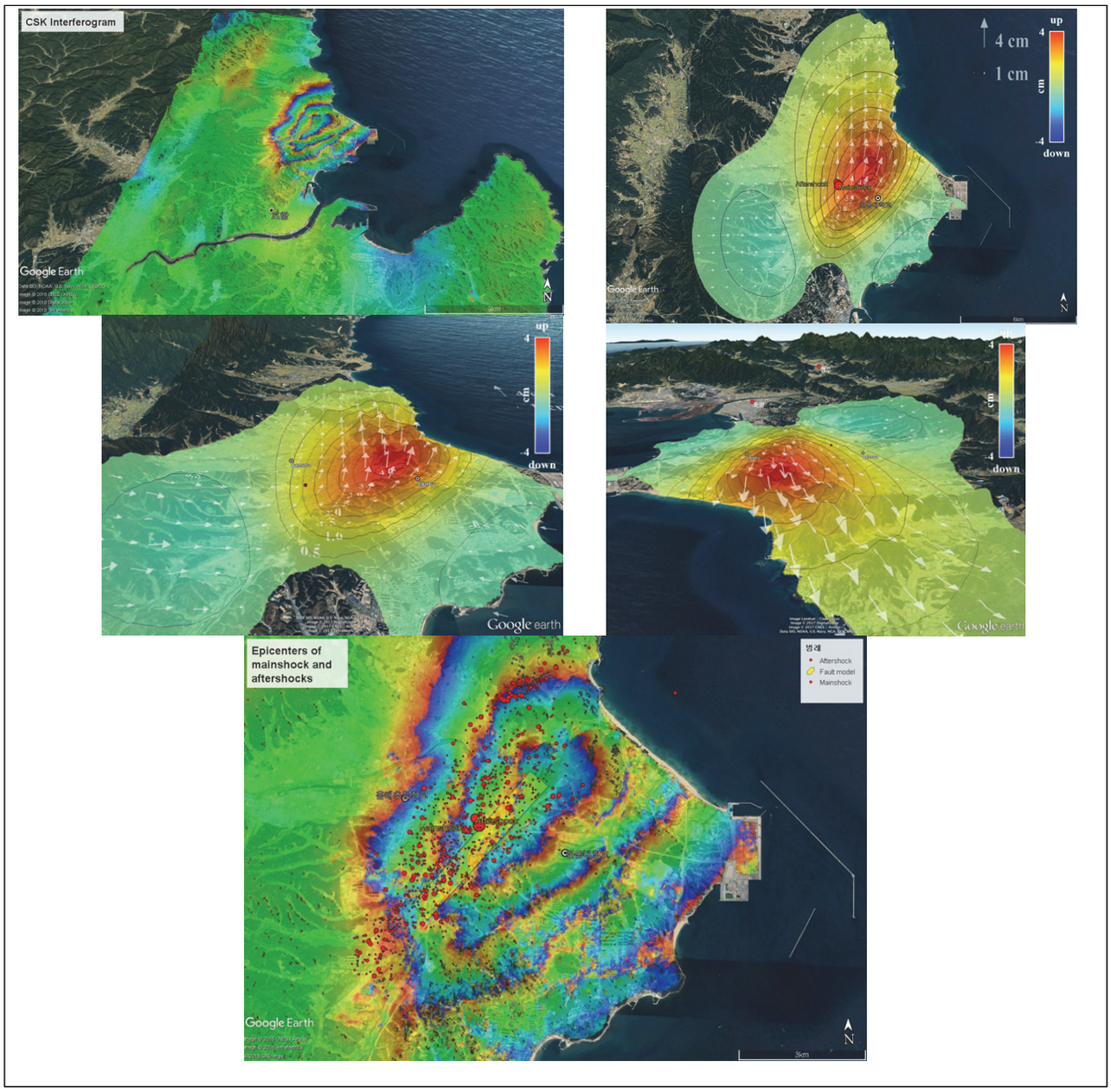
○ 지질재해 관측 (지진, 화산, 산사태 등)
- 최근 증가하고 있는 한반도 내에서의 지진 발생 지역의 활성 단층대 활동에 대한 장기 모니터링
- 아시아 지역의 환태평양 화산대의 활화산 및 지진 유발 활성단층대의 관측
- 산사태 가능성 높은 지역의 지표 변위 관측

○ 극지 관측
- 북극 항로 개설에 필수적인 유빙 모니터링
- 지구 온난화에 따른 극지방 영구통토의 해빙에 따른 강력한 온실가스인 메탄가스 유발 활용 모니터링

○ 지상 이동물체 탐지
- 접근 어려운 지역의 차량 등 지상 이동물체 탐지 및 이동속도 정밀 복원
- 연안의 불법 선박 탐지 및 특성 분석



▲<그림 1> COSMO-SkyMed x-밴드 SAR를 이용한 킬라우에아 Kamoamoa eruption 이벤트에서의 3차원 지표변위 관측 결과 및 GPS대비 정확도 검증결과: (a) 동-서 변위성분, (b) 남-북 변위성분, (c) 상-하 이동성분.



▲<그림 2> 포항지진 진앙 분포 및 위성 SAR를 이용한 지표변위 분석을 통한 지하 단층 특성 분석 예

성과명	(9) 위성항법군과 수신기의 다양성을 포용하는 유연 확장형 GNSS 네트워크 기술 개발		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	이 형 근
연락처	02-300-0131	이메일	hyknlee@kau.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	GNSS, 네트워크, 분산형, 마스터 스테이션, 소프트웨어		

상세 성과내용

연구의 필요성

GNSS 네트워크 마스터 스테이션 (Master Station) 핵심 요소 기술, 분산화된 GNSS 상시관측소 네트워크 형성 및 무중단 운용을 위한 원천 기술을 확보한다.

연구 목표

현재 국내에는 충분히 많은 GNSS (Global Navigation Satellite Systems) 상시관측소가 설치되어 있으나, 정밀 GNSS 네트워크 운용 소프트웨어와 관련해서는 국내 개발이 전무하며 국외 수입에 의존하고 있다. 상시 관측소의 밀도 및 분포를 증가시켜 획기적인 정확도의 측위를 다양한 미래 기술에서 가능하게 하기 위해서는 GNSS 네트워크 운용 소프트웨어의 원천 기술 확보가 시급하게 요구된다.

연구결과

본 연구를 통하여 다중 GNSS의 효율적인 활용에 크게 영향을 미치는 전리층 지연, DCB, 그리고 ICB의 분리 추정 문제를 체계적으로 다루었음. 이에 덧붙여 동기화되지 않은 GNSS 측정치들의 시공간 융합기법, 다중 상시관측소의 고장 검출 및 식별, 그리고 네트워크 내 상시관측소의 추가 및 분리를 통한 네트워크 재형상 등 끊김 없이 GNSS 네트워크를 운영하기 위한 다양한 기능을 고려하여 정밀 GNSS 네트워크 핵심 소프트웨어 모듈들로 구현하였다.

활용 사례

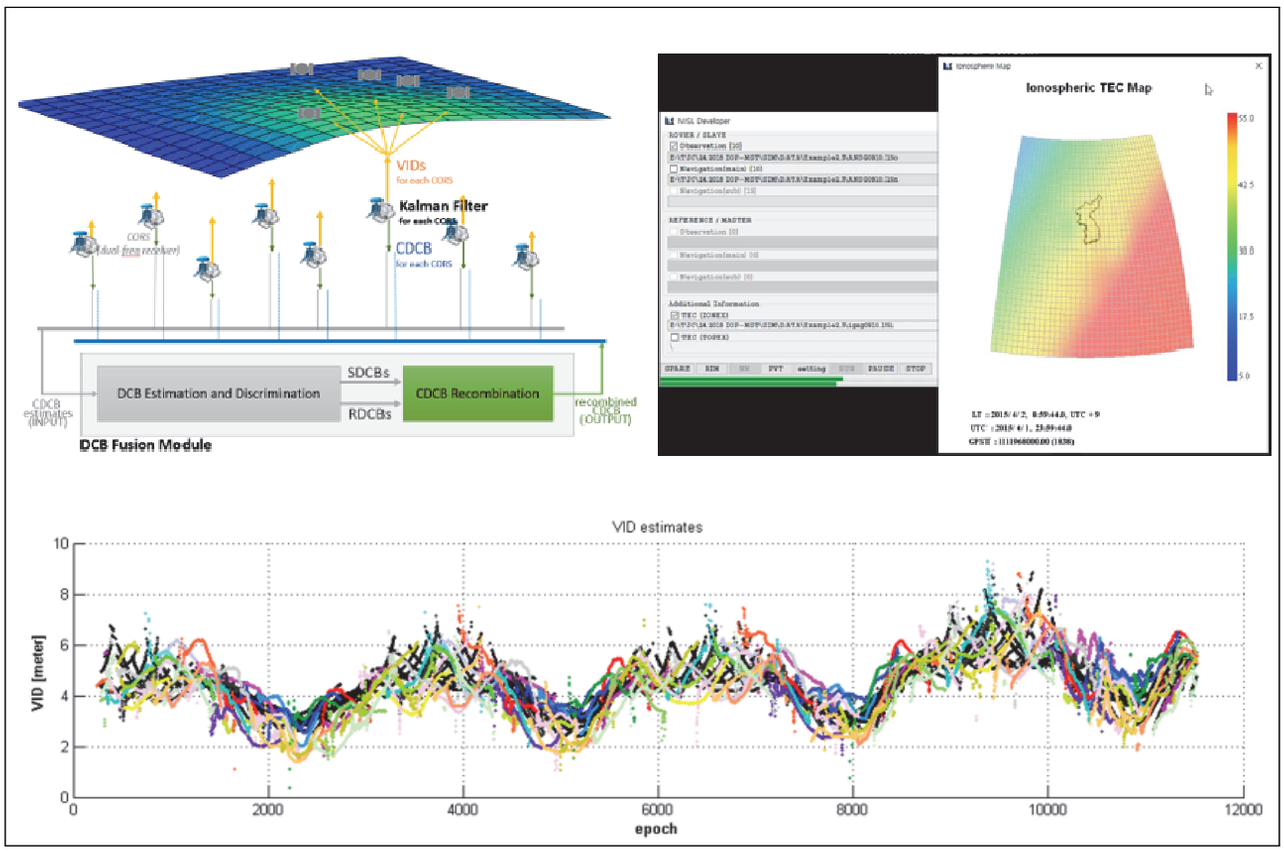
개발된 GNSS 네트워크 핵심 소프트웨어 모듈들을 결합하면 추가적인 작업을 최소화하며 다양한 GNSS 보정시스템과 응용 소프트웨어의 설계 및 개발을 효율적으로 수행할 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

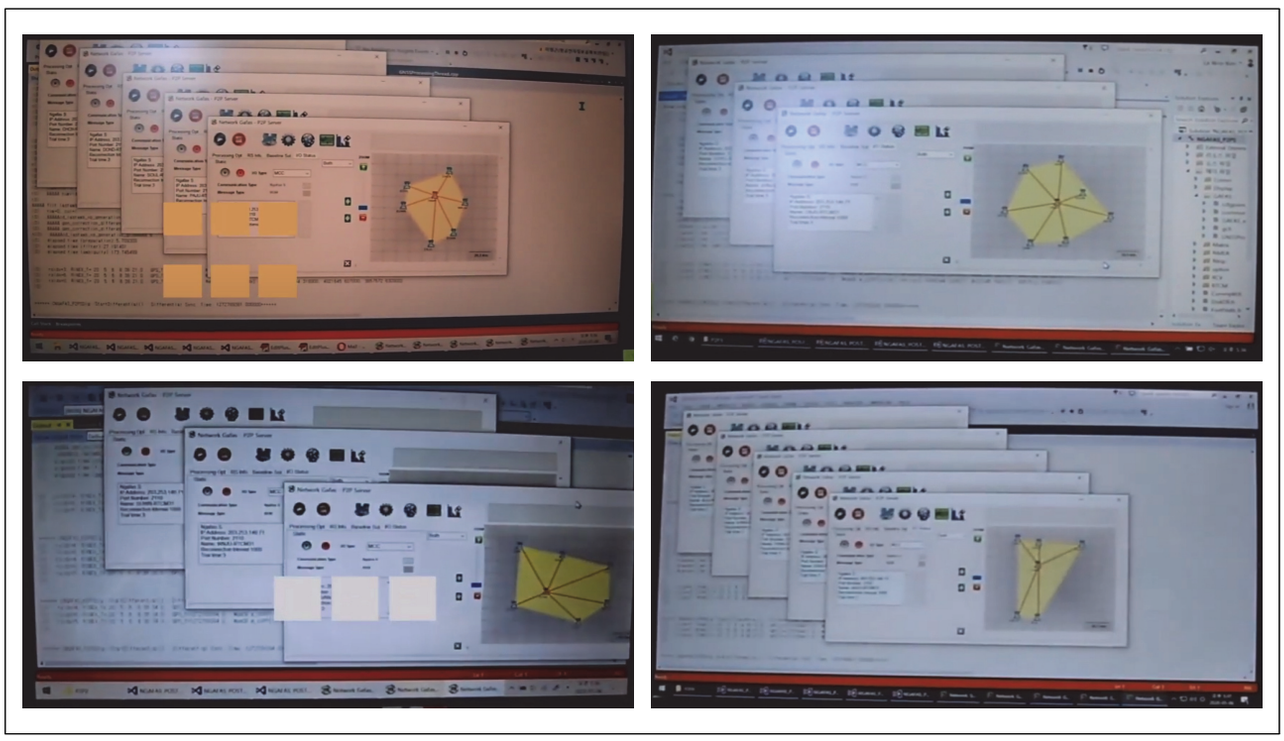
정밀 GNSS 네트워크 운용 소프트웨어와 관련해서는 국내 개발이 전무하며 국외 수입에 의존하고 있는데, 본 연구에서는 다중 GNSS의 지상인프라 구현과 관련된 대다수의 기능을 C/C++ 언어로 구현 및 정리하였다.

활용 가능 분야

본 연구를 통하여 개발되는 기술은 한국형 정밀 GNSS 네트워크 기술의 국산화에 활용 가능하며, 추후 한국형 위성항법시스템 (KPS) 개발 시에 지상시스템의 설계 및 시험 평가에 직접적으로 활용 가능하리라 예상됨. 정밀 GNSS는 무인기/드론/무인자동차/무인선박 분야 등에 매우 큰 시장 잠재력을 가지고 있으며 ITS, LBS, IoT, 자율주행, 그리고 건설자동화 등 다양한 분야에서 신기술 창출에 기여하리라 기대된다.



▲<그림 1> 개발된 전리층 지연, 위성 DCB, 그리고 수신기 DCB의 분리 추정 소프트웨어의 실행 화면



▲<그림 2> 개발된 분산형 GNSS 네트워크 운영 소프트웨어의 실행 화면

성과명	(10) 인공지능을 이용한 우리나라 위성자료 융합 활용 재난 모니터링 기술 개발		
주관연구기관	울산과학기술원	연구책임자	임 정 호
연락처	052-217-2824	이메일	ersgis@unist.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	미세먼지, 산불, 폭염, 인공지능, 다중위성자료융합		

상세 성과내용

연구의 필요성 및 목표

오늘날 우리는 미세먼지, 산불 폭염 등 다양한 환경 문제에 직면해 있다. 본 연구는 다중 위성자료 융합 모델링을 통해 우리나라 정지궤도 및 극궤도 위성 활용성을 증대시키고, 동아시아 지상 미세먼지 농도 추정, 산불 탐지, 폭염 모니터링을 통해 최종적으로 동아시아 위성 활용에서의 국제적 위상을 제고하는 것을 목표로 한다.

세부 연구목표로는 첫째, 다중 위성자료 융합 모델링을 통한 우리나라 정지 및 극궤도 위성 활용 증대. 둘째, 우리나라 위성 자료 융합 기반의 미세먼지 농도 추정, 산불탐지, 폭염 모니터링 알고리즘 개발 및 검증. 셋째, 인공지능을 이용한 산출물 개발, 넷째, 개발된 알고리즘을 통한 동아시아 산불, 미세먼지, 폭염 모니터링이 있다.

연구결과

○ 다중 위성자료 융합 모델링을 통한 우리나라 정지궤도 및 극궤도 위성 활용 증대
다양한 위성(천리안, MODIS, TRMM, Himawari-8 등) 산출물(L1 산출물 및 지표면온도, 식생지수, 강수량 등)자료를 구축하였다. 특히, 인공지능 및 최적화 기법을 융합·활용하여 고부가 산출을 개발하여 우리나라 정지궤도(알고리즘 개발 중심) 및 극궤도(알고리즘 검증 중심) 위성 활용 증대와 동아시아 환경 모니터링을 수행하였다.

○ 지상 미세먼지 농도 추정 기법 개발 (그림 1)
다양한 통계 기법을 통해 우리나라 정지궤도 위성(GOCI)기반 AOD와 기타 위성 산출물 및 모델 자료로부터 지상 미세먼지 농도를 추정하였다. 또한, 다중 위성 자료(GOCI, MODIS, GPM 등)를 융합 활용하여 인공지능 기반의 지상 미세먼지 농도추정 기법 개발 및 검증을 수행하였다. 추가적으로 동아시아 지상 미세먼지 모니터링 및 GK-2A/2B 위성 자료 활용 가능성을 평가하였다.

○ 산불탐지 알고리즘 개발 (그림 2)
Himawari-8 위성을 활용하여 우리나라 중소형 산불탐지에 최적화된 알고리즘을 개발하였다. 특히, 임계값 알고리즘과 기계학습을 융합하여 산불탐지 알고리즘 개발방법을 제시하였다. 또한, 산불탐지 알고리즘의 동아시아 확장 및 GK-2A/2B 위성 자료 활용가능성을 평가하였다.

○ 폭염 모니터링 알고리즘 개발 (그림 3)
폭염 모니터링을 위한 위성기반 대기온도 추정 알고리즘을 개발하고, 폭염 모니터링 알고리즘의 동아시아 확장 가능성을 평가하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 기존 산불 탐지 알고리즘들과 달리 임계값을 고정시키지 않아 산불 탐지 정확도를 높이고, 기계학습을 함께 적용하여 오탐지율이 낮도록 알고리즘을 개발하였다. 특히 중소규모 산불 탐지율이 기존 알고리즘들보다 높음을 확인하였다.

○ 기존 위성기반 미세먼지 농도 추정 알고리즘의 경우 구름 등으로 인한 정보를 얻을 수 없었지만, 본 연구에서 제시한 전천에서의 지상 미세먼지 농도 추정 알고리즘의 경우 공간적으로 연속적인 지상 미세먼지 농도 분포 패턴에 대한 모니터링이 가능하였다.

○ 기존 폭염 모니터링이 관측소 및 수치모델 기반으로 이뤄져왔다면, 본 연구에서 제시한 위성기반 알고리즘을 통해 상세한 공간해상도로 정확도 높은 여름철 폭염 모니터링이 가능해졌다.

활용 가능 분야

개발된 알고리즘을 이용하여 동아시아의 과거 및 현재의 미세먼지, 산불, 폭 염 정보를 추출할 수 있으며 미래 기후 예측 모델링과 연계하여 미래의 상황도 전망해 볼 수 있다. 본 과제의 결과물은 기후변화가 미세먼지, 산불, 폭염에 미치는 영향을 연구하는 타 연구기관에서 좋은 참고자료로 활용할 수 있다. 향후 재난재해 모니터링에 적합한 본 연구를 통한 위성센서 개발에 기여할 수 있을 것이며, 본 연구의 결과물은 관련 기관에 기술 이전을 통해 그 활용도를 극대화 시킬 수 있다. 본 연구를 통해 기후변화에 대응한 앞으로의 각종 정책 개발의 자료로 활용될 수 있으며, 정부 기관의 녹색성장, 온실가스, 기후변화, 재난재해 관련 정책수립에 활용할 수 있고 기후변화 관련 국제회의 참석 시 과학적 기본정보로 활용할 수 있을 것이다.

○ 지상 미세먼지 농도 추정 기법의 활용

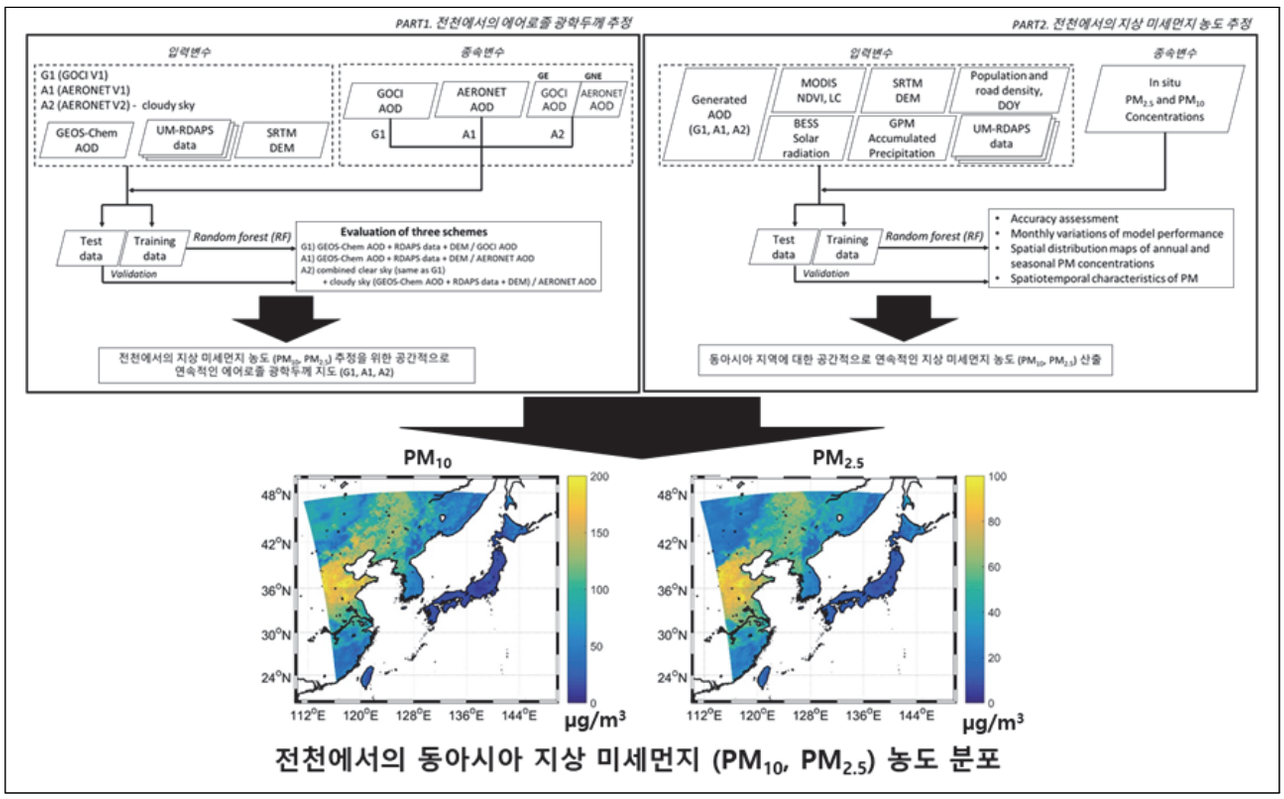
정지궤도 위성기반 산출물을 활용함으로써 지속적인 지상 미세먼지 농도 관측이 가능하며, 추후 GK-2A/2B 위성 기반 에어로졸 산출물을 활용·개선할 수 있다. 본 연구를 통해 산출된 지상 미세먼지 농도 정보는 다른 지구 시스템 및 환경 모델의 입력변수로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구결과를 통해 공간적으로 연속적인 지상 미세먼지 농도 분포를 보다 자세하게 이해할 수 있다. 실생활에서 국민 건강 및 보건상의 문제 해결과 미세먼지 관련 정책의 기초자료로써 활용할 수 있을 것이다.

○ 산불탐지 알고리즘의 활용방안

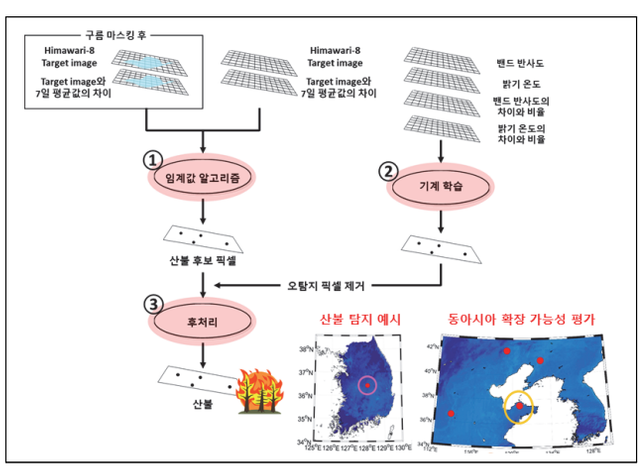
정지궤도 위성을 활용함으로써 지속적인 산불 탐지 모니터링이 가능할 것이다. 추후에 GK-2A AMI 센서에 맞게 알고리즘을 보정하여 적용 가능할 것이며, 산불 초기 탐지와 확산 방향 모니터링은 산불 발생 시 대응 방법을 결정할 때 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 폭염 모니터링 알고리즘의 활용방안

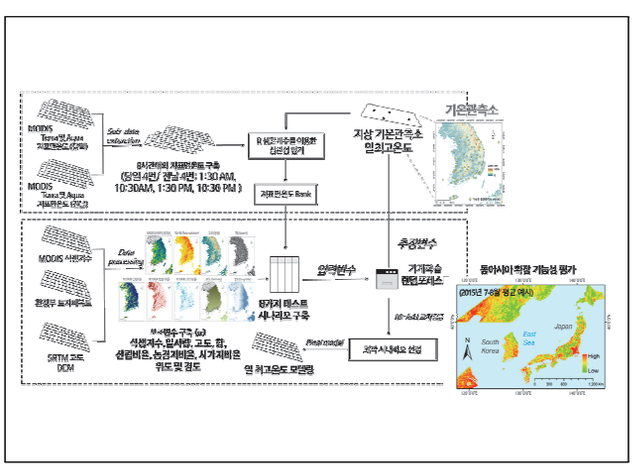
폭염 모니터링 알고리즘을 GK-2A에 적용하여 10분 간격의 고해상도의 대기온도 모니터링이 가능할 것이다. 이를 통해 기존 수치예보모델 기반 기온 분석장 자료보다 더 편하고 신속하게 기온자료를 제공 할 수 있을 것으로 기대되며, 수치예보모델의 입력 자료로 활용되어 가치 창출이 가능해질 것이다.



▲<그림 1> 본 연구에서 제시한 전천에서의 지상 미세먼지 농도 추정 알고리즘



▲<그림 2> 본 연구에서 제시한 산불 탐지 알고리즘



▲<그림 3> 본 연구에서 제시한 폭염 모니터링 알고리즘

성과명	(11) 위성정보기반 개인용 탐색구조 단말기 개발		
주관연구기관	㈜에스알씨	연구책임자	임 종 근
연락처	051-412-6197	이메일	chkym@oksrc.com
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	PLB, Cospas-Sarsat, Homming Signal, 항공용 VHF, 위치 프로토콜		

상세 성과내용

연구의 필요성

위성정보기반 개인용 탐색구조 단말기는 해양, 육상, 항공으로 구분되어 각각의 전담기관과 소관법령에 의해 의무적으로 비치토록 규정되었다.
Cospas-Sarsat의 중고도 수식구조(MEO-SAR) 도입에 따라 기하급수적인 수요 증가가 예상되는 품목의 기술개발과 고가의 수입제품에 대한 수입대체 효과가 예상된다.

연구 목표

406.040MHz의 Cospas-Sarsat 시스템을 기반으로 하는 개인휴대탐색구조 단말기와 121.5MHz 및 243MHz 항공용 음성통신 기능을 개발한다.

연구결과

본 연구를 통해 개발 산출물을 통해 Cospas-Sarsat 국제인증을 획득하였으며, 해상용 휴대형 탐색구조 단말기 특허를 출원하였다.

활용사례

잠수함 승조원 인명구조용 제품으로 공급하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

기존 탐색구조 단말기는 위성 조난신호와 Homming신호로 구성되어 조난 사고가 발생하지 않을 경우 전혀 사용되지 않거나 비치 자체를 꺼려한다. 본 연구를 통해 개발된 기술은 탬색구조 기능을 위한 위성 조난신호, Homming 신호와 함께 121.5MHz, 243MHz의 항공 음성통신 기능을 부가하여, 국내에서 사용이 허가되지 않았던 품목으로 전량 수입에 의존해오던 제품의 국산화를 달성하였다.

활용 가능 분야

○ 잠수함 승조원용 탐색구조 단말기(PLB)
○ 잠수함용 구조신호탄(S-EPIRB)
○ 상용 개인 탐색구조 단말기

▲<그림 1> 잠수함 승조원용 탐색구조 단말기

▲<그림 2> 수심 200m 내압용기에 탑재된 탐색구조 단말기

성과명	(12) 우주용 고전력 GaN 반도체 소자의 계층적 열 관리 기법 개발		
주관연구기관	성균관대학교	연구책임자	조 정 완
연락처	031-299-4863	이메일	jungwan.cho@skku.edu
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	질화 갈륨, 전력반도체소자, 계층적 열관리 기술, 소자 단위 열관리, 열물성		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 환경에서 최적화된 질화갈륨 (Gallium Nitride; GaN) 기반 전력반도체 소자의 계층적 열 관리 기법을 개발한다.

○ GaN 박막과 여러 종류 기판, 그리고 트랜지스터 소자용 고유전율 유전 산화 박막의 열전도도 및 계면 열저항 계측/분석 (계측 방법: 열반사율 온도측정법)

○ GaN 반도체 소자 온도 계측 (계측 방법: 열반사율 이미징 기법)

○ 트랜지스터 junction 근처 수백 μm 이내(near-junction) 열전도 냉각 기술과 junction으로부터 수 mm 떨어진 system & package level에서 냉각수 유동에 의한 대류 냉각 기술을 체계적으로 고려하는 계층적 열관리 시뮬레이션 기법을 개발한다.

연구 목표

질화갈륨 (GaN) 기반 전력반도체 소자는 우수한 전기적·물리적 특성으로 인해 고전력/고주파수 작동이 필수적인 우주용 전장품에 많이 사용되고 있다. 하지만, 고전력 작동으로 인해 GaN 반도체 소자의 전력 밀도는 트랜지스터 junction 바로 근처에서 수 MW/cm2에 이르며, 이로 인해 junction 근처 과열점의 온도는 최대 ~300 °C 까지 상승한다. 이로 인한 GaN 반도체 소자의 발열 현상은 우주용 전장품의 성능 및 수명 저하의 주요 원인이 되고 있다. 유지보수가 어려운 우주 환경을 고려할 때, 우주용 전장품의 수명과 신뢰성, 성능 향상을 위해 GaN 반도체 소자의 발열 현상의 획기적인 개선이 반드시 필요한 실정이다. 이를 위해 본 연구는 우주 환경에서 최적화된 GaN 반도체 소자의 계층적 열 관리 기법을 개발하고자 한다.

연구결과

본 연구에서는 고전력 GaN 트랜지스터 내 구성 소재, 즉 GaN 박막 및 기판 소재(다이아몬드, 실리콘 등) 그리고 고유전율 게이트 절연막 소재의 열전도도를 정밀 계측하였다. 특히, 비등방성 및 비균일성 열전도도를 지녀 도전적이라 할 수 있는 다이아몬드의 열전도도를 계측하였고, 수십 나노미터 두께의 게이트 절연막 소재의 열전도도 계측이라는 도전적인 계측을 수행하였다. 또한, 고전력 GaN 트랜지스터의 발열 현상을 근본적으로 해결하기 위해, 소자단위(device-level)에서 패키지 및 시스템 단위(package & system-level)까지 고려하는 계층적 열관리 기법을 개발하였다.

이를 바탕으로 본 연구팀은 총 3년의 연구기간 동안 SCI(E) 논문 6편 게재를 완료하였으며, 이 중 5편을 JCR 분야별 상위 10% 이내 저널에 게재하였다 (이 중 2편은 JCR 분야별 상위 5% 이내 저널에 게재). 또한, 총 3년의 연구기간 동안 국제 학술대회 초청강연(Invited talk) 1건, 국내 학술대회 논문발표 5건의 실적이 있으며, 2건의 수상실적 (젊은공학자상, 한국정밀공학회, 2018.05; 2019년 학술대회 우수논문상, 대한기계학회, 2020.03), 총 4명(석사3명/학사1명)의 학위배출인력 실적이 있다.

활용사례

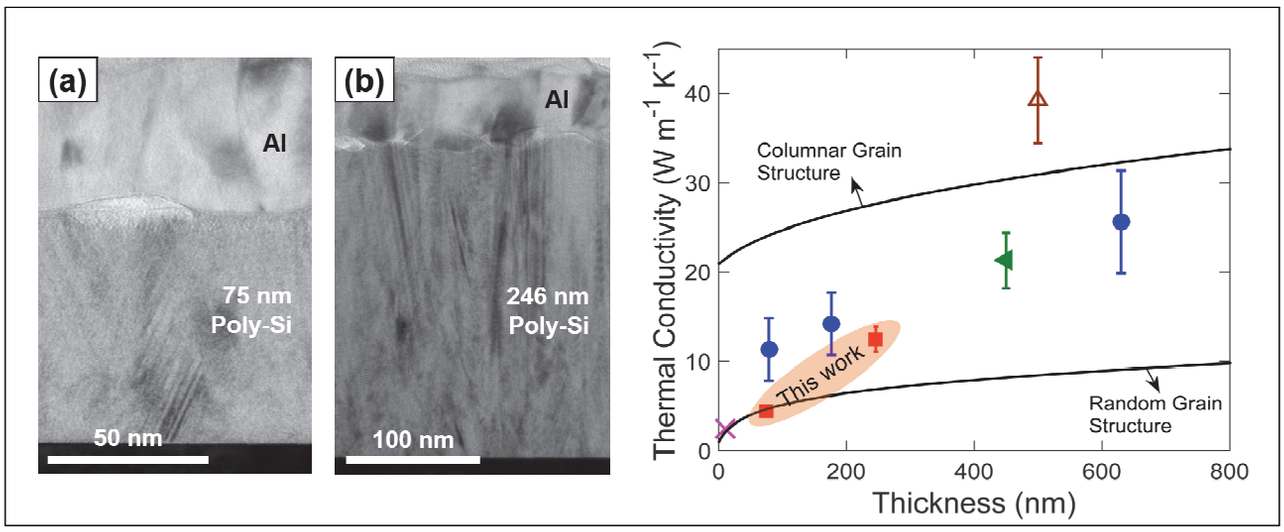
본 과제를 통해 개발된 박막의 열전도도 정밀 계측 기술 및 열관리 시뮬레이션 기법을 향후 실제 GaN 소자 제조업체와의 협업을 통해 적용할 예정이다. 특히, 본 연구팀은 국내 최대 GaN 기반 전력반도체 소자 제조업체인 '(주)알에프에이치아이씨 (RFHIC)'와 협업을 강화하고 있으며, 이를 통해 발열 현상 개선과 GaN 전력반도체 소자의 디자인 최적화 및 신뢰성·성능 향상을 이루려고 한다. 궁극적으로 국내 독자적 기술 기반 확보를 통해 국내 GaN 기반 전력반도체 산업 성장에 기여하고, 또한 국내 우주 산업의 경쟁력 증대에 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

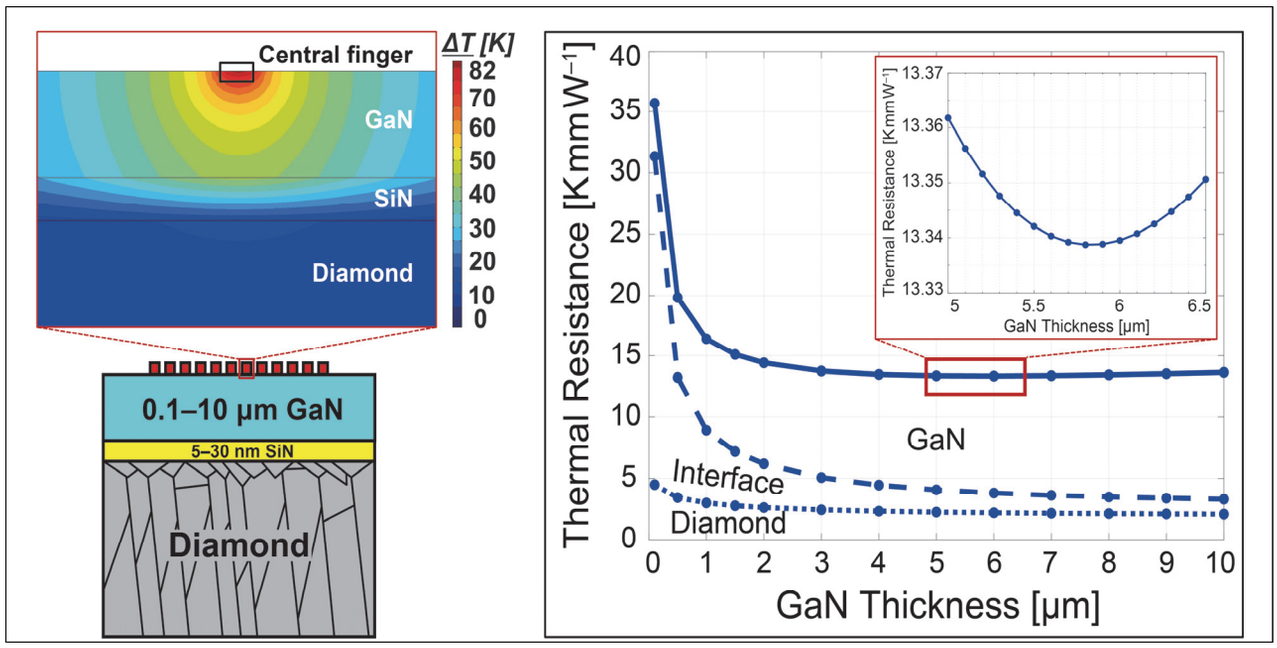
기존의 고전력 GaN 트랜지스터의 열관리 기술 분야에서, GaN 트랜지스터 구성소재의 열전도도 및 계면 열저항을 체계적으로 계측하는 연구는 전 세계적으로 제한적으로 이루어져 왔다. 이는 벌크 스케일 소재와는 달리, 마이크로/나노스케일 소재인 GaN 트랜지스터 구성소재의 경우, 열전도도 계측할 수 있는 방법이 제한적이고, 또한 전 세계적으로 소수의 연구팀만이 계측기술을 보유하고 있다. 본 연구팀은 본 과제를 통해 그러한 계측기술을 보유하였으며, 이를 바탕으로 체계적으로 GaN 트랜지스터 구성소재의 열전도도 계측 연구를 수행하였다. 또한, 고전력 GaN 트랜지스터의 소자단위(device-level)에서 패키지 및 시스템 단위(package&system-level)까지 고려하는 계층적 열관리 기법을 통해, 기존 연구에서 제시하지 못한 체계적인 열관리 기법을 제시하였다.

활용 가능 분야

본 연구를 통해 고전력 GaN 트랜지스터의 발열 현상을 근본적으로 해결하기 위해, 소자단위(device-level)에서 패키지 및 시스템 단위(package & system-level)까지 고려하는 계층적 열관리 기법을 개발하였다. 이를 통해 고전력 GaN 트랜지스터의 발열 현상을 근본적으로 해결하는 데 기여할 수 있으며, 이는 궁극적으로 GaN 트랜지스터의 성능 및 신뢰성 향상으로 이어질 수 있다. 또한, 본 연구를 통해 개발될 계층적 열 관리 기술은 GaN 기반 LED의 열 관리에 바로 적용가능하며, 나아가 스마트폰, 디스플레이, 통신장비, 전기자동차 등 다양한 전자 장치의 발열 현상 개선 및 성능신뢰성 향상에 광범위하게 응용 가능하다.



▲<그림 1> 다결정 Si 박막의 두께 변화 및 결함밀도 변화에 따른 열전도도 변화. 출처: Kim, J., and Cho, J., Energy Conversion and Management, Vol. 179, pp. 243-248, 2019 (JCR 분야별 상위 5% 논문)



▲<그림 2> 질화갈륨 (GaN) 박막의 두께에 따른 GaN-on-diamond 트래지스터 소자 내 near-junction의 열저항 변화 및 분석. 출처: Song, C., Kim, J., and Cho, J., International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 158, pp. 119992, 2020 (JCR 분야별 상위 10% 논문)

성과명	(13) 천리안/Metop-A 위성자료를 이용한 황사 발생 예측 정확도 개선 연구		
주관연구기관	성균관대학교	연구책임자	최 민 하
연락처	031-290-7539	이메일	mhchoi@skku.edu
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	황사, 위성, 원격탐사, 토양수분, 강우		

상세 성과내용

연구의 필요성

최근까지도 황사는 국민 건강에 직접적인 악영향을 끼칠 뿐 아니라 농업, 산업 분야에서도 심각한 위협으로 작용하고 있다. 이로 인해 황사의 발원지와 이동 경로를 추정하는 연구를 포함하여 황사 관측 및 발생 메커니즘 규명에 관한 연구가 활발히 진행 중이나, 현상의 특성상 입자의 물리적 특성과 기상 조건에 크게 좌우되기 때문에 다각적 측면에서의 분석이 요구된다.

황사는 광범위한 지역에서 발생하여 광역적으로 이동 및 분포하기 때문에 현상에 대한 면밀한 이해를 위해서는 다양한 시·공간 해상도를 갖는 수문인자를 복합적으로 활용해야 한다. 따라서 한반도에 영향을 미치는 황사의 이동 경로 예측, 공간 분포 분석 등을 통한 대책 마련을 위해서는 인공위성 기반 수문기상 자료의 활용이 필수적이다.

연구 목표

환경·수문학적 관점에서 황사 발생 메커니즘을 분석하고 인공위성 자료를 바탕으로 황사 발생 빈도·강도의 경향성을 수치로 증명하여 최종적으로는 황사 예보 시스템을 개선하는 것을 목표로 한다. 특히, 인공위성 기반 수문인자(토양수분, 강우, 풍속) 자료를 활용하여 광범위한 황사 발생 패턴을 분석하고, 각 인자들 간의 상관성 분석을 통해 정량적 근거를 제시하고자 하였다.

연구결과

황사 발생은 발원지의 지표 상태 인자나 풍속, 풍향 등 바람 관련 인자에 크게 영향 받는 것으로 나타났으며, 토양내 수분함유량이 황사 발생에 핵심적인 역할을 하는 것으로 나타났다. 토양수분이 낮을 경우(건조할 경우) 토양 입자 사이의 응집력이 감소하기 때문에 높은 토양수분 값을 갖는 지역일수록 황사 발생에 더 높은 풍속을 필요로 하였다. 즉, 토양수분에 따라 황사 발생에 대해 서로 다른 임계 마찰 속도를 필요로 하는 것을 확인하였다.

공간적으로 연속적인 황사 분석을 위해 에어로졸 광학 깊이(AOD) 자료와 SMOS 위성 토양수분 자료를 활용하여 황사 발생을 시뮬레이션 한 결과 실시간 황사 발생 예측과 황사 추세 분석에 적합한 자료로 활용될 수 있는 것을 확인하였다(해당 연구 결과는 JCR 상위 3% 저널인 Geophysical Research Letters에 게재되었으며, 위성자료를 활용한 황사 발생 지역 예측 기법은 특허명 「황사 발생 지역 예측 장치 및 방법」으로 2017년 출원, 2019년 등록되었다).

활용 사례

개선된 황사 발생 예측 기법 및 시·공간적으로 연속적인 황사 모니터링 기술은 황사의 사회·경제적 영향 평가적 측면에 있어 높은 신뢰도 및 정확도를 제공한다. 특히, 본 연구에서는 이를 인공지능(Artificial Intelligence) 및 기계학습(Machine Learning)과 연계하여 대기 오염으로 인한 질병(안구, 순환계통 및 호흡기계 질환) 발생 확률을 정량적으로 계산하였다. 추가적으로, 대기오염상태와 사망인구 간 관계성을 바탕으로 한 건강영향평가를 통해 서울시 대기오염 정도가 개선될 경우 매우 큰 경제적 손해를 막을 수 있음을 보였다(해당 연구는 대기오염 연구를 보건 분야에 적용한 주요 연구로 인정받아 JCR 상위 10% 및 20% 저널(Environmental Research, Science of the Total Environment)에 게재되었다).

기존지식/ 기술대비 차별성

이전까지 수행된 황사 관련 연구는 황사 발생을 유발하는 개별적 요소들과 황사의 빈도에 대한 단편적 분석 및 현상 관측에 그쳐, 황사를 유발하는 근본적 원인 등 황사 예보에 필수적인 분석이 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 황사 예측 정확도를 향상시켜 황사로 인해 발생하는 다양한 피해에 보다 효과적으로 대응하기 위해, 황사 발생 시기에만 시행되는 한시적 대책에서 탈피하여 황사 발생 메커니즘을 환경·수문학적 관점에서 분석하였다. 또한, 기상 관측소에서 측정된 자료를 활용하여 황사를 분석한 기존 연구의 한계를 해결하고자, 시공간적 대표성을 가진 자료를 제공하는 위성 기반 자료와 위성 기반 자료의 비교적 짧은 관측 기간을 보완해 줄 재분석자료, 그리고 황사 관측 자료를 복합적으로 사용하였다.

활용 가능 분야

○ 황사 피해방지 대책수립

우리나라 황사는 중국, 몽골 등에서 기원하는 장거리 이동 대기현상으로써, 그 정도가 심해짐에 따라 오염상황에 대한 정보 제공과 피해 저감 노력이 꾸준히 요구되어 왔다. 이에 2008년「황사 종합대책」을 통해 황사 관측망 구축, 유해물질 분석 등 황사 피해 방지를 위한 대책을 마련하였다. 위성 자료는 황사의 공간 분포 탐지, 이동경로 파악, 원인 분석 등 황사 관련 정보 획득에 다양하게 활용될 수 있으며, 황사 피해방지 대책마련에 유의미한 자료를 제공할 수 있다.

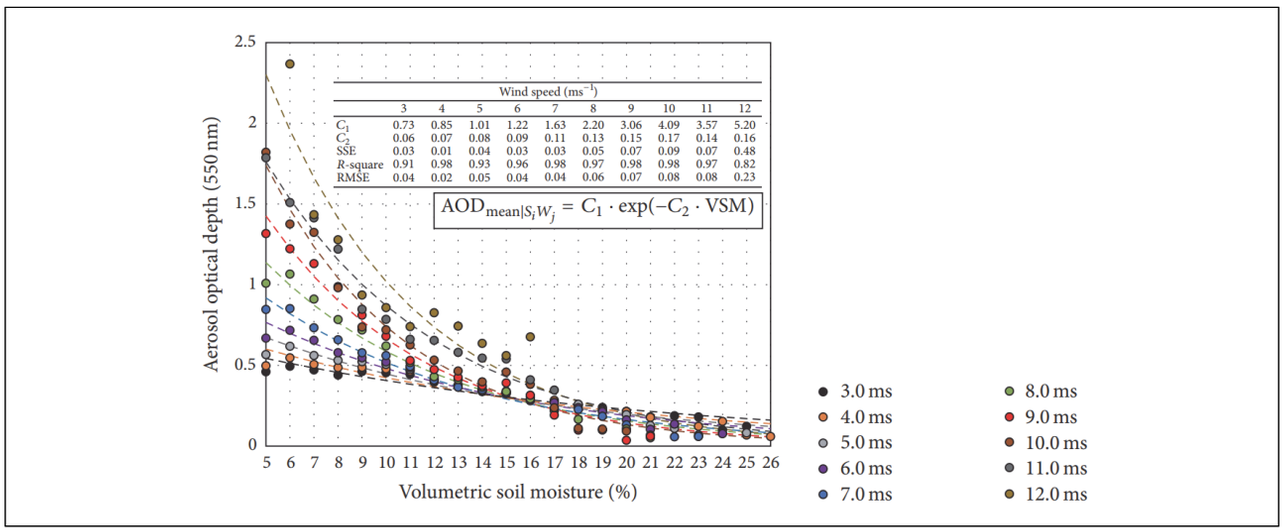
○ 황사 관측소 설치

현재 황사 발원 지역 부근에는 한중공동관측소, 중국 기상국 관측소 등의 황사 관측망이 운영되고 있으며, 황사와 관련된 수문·기상 자료들이 수집되고 있다. 본 연구 성과는 수집된 자료들과 인공위성 자료의 상호 검증을 통해 보다 양질의 분석 자료를 생산하기 위한 기반 기술이 될 것이며, 신규 네트워크의 구축 및 운영에도 중요한 근거자료가 될 수 있다.

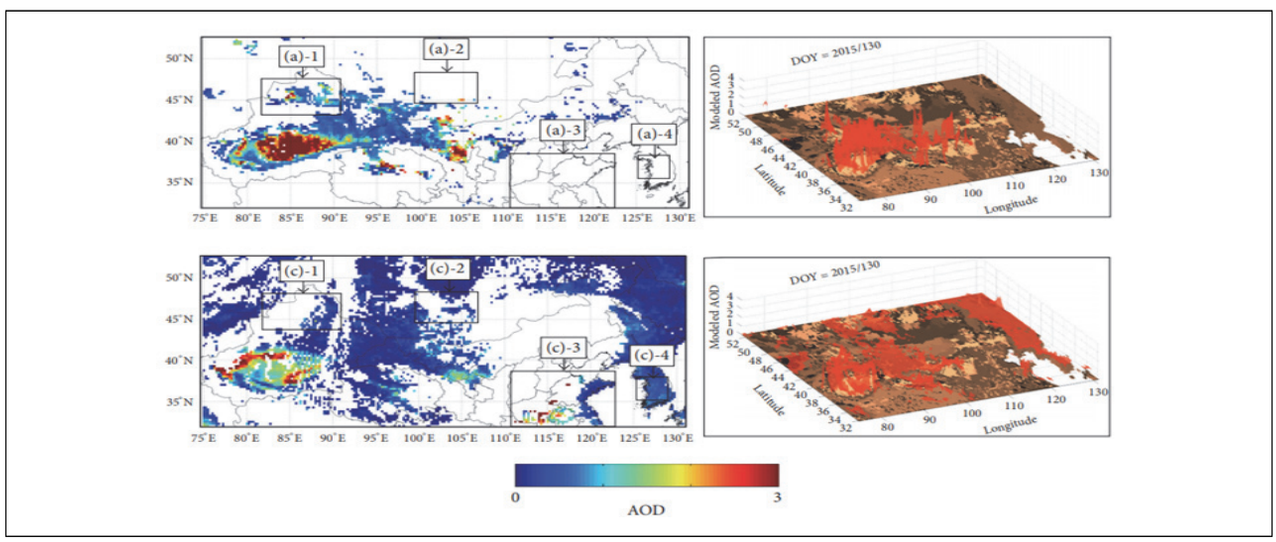
○ 추가적인 연구의 필요성

인공위성 관측 기술은 황사 뿐 아니라 미세먼지의 공간 분포를 관찰하고 미세먼지 입자와 초미세먼지 입자를 구별하는 데에도 효과적으로 사용될 수 있다. 따라서 황사 분진 뿐 아니라 인간 활동(대기 오염원)으로부터 발생하는 미세먼지에 대한 공간 분포를 파악하고 이를 황사 예측 모델과 연계하여 추후 환경·보건 분야에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

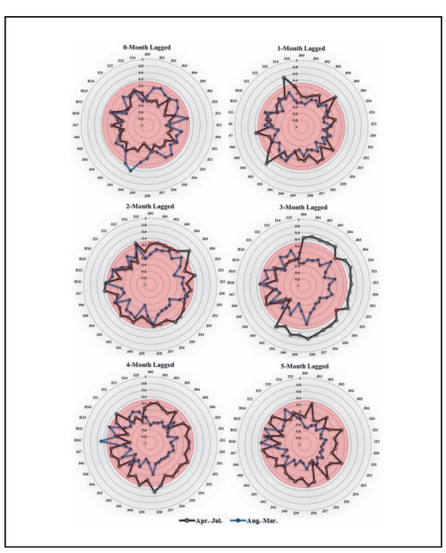
대기오염 현상은 보통 발생, 이동, 소멸의 과정을 거치며, 환경에 따라 가라앉은 분진이 비산하여 재발하는 경우가 있다. 각 과정은 대기 오염원에 의한 발생을 제외하고는 모두 수문·기상학적 요소에 의해 결정되며, 따라서 현재 미세먼지 등의 예보에 기상예보가 연계되고 있다. 나아가, 대기오염 현상에 대해 수문·기상학적으로 접근하여 대기오염 인자별 발생원인 및 발원지를 명확하게 밝혀낼 필요가 있으며, 이후 원인/발생원별 저감 대책을 마련한다면 보다 효율적인 관리가 이루어질 것으로 기대된다.

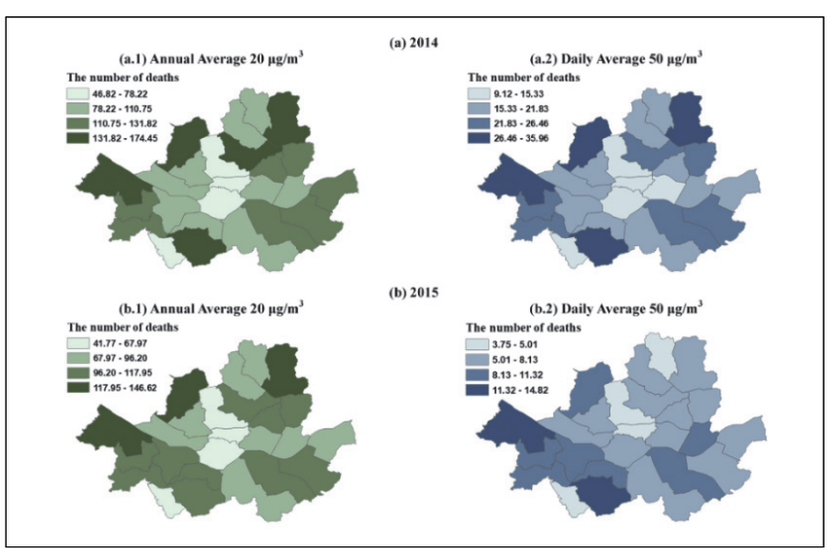


▲<그림 1> 풍속 구간별 평균 AOD-토양수분 상관성 분석



▲<그림 2> SMOS 위성 자료를 활용한 황사 발생 시뮬레이션 결과(위), AOD 관측지도(아래)





▲<그림 3> 대기오염 관련 질병 분석 자료 ▲<그림 4> 대기오염 상태 개선을 통한 사망인구 감소 추이

성과명	(14) 마이크로위성용 저전력 전기추력기 및 할로우음극 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	최 원 호
연락처	042-350-3827	이메일	wchoe@kaist.ac.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	마이크로위성, 저전력 전기추력기, 자기장 제어, 플라즈마 진단 및 기초물리		

상세 성과내용

연구의 필요성

일반적으로 전기추력기는 전기장을 통한 플라즈마 내 이온의 가속으로 추력을 생성하며 화학식 추력기에 비해 비추력이 높다. 따라서, 제한된 연료량으로부터 확보할 수 있는 인공위성 및 탐사선의 속도변화(⊿V)가 더 높으며 미국, 일본, 러시아 등 우주선진국에서는 이미 다양한 우주임무에 활발히 활용 중이다. 최근, 지구관측 및 우주탐사 등 여러 우주임무에서 100 kg 미만의 마이크로위성의 활용빈도가 증가하는 만큼 해당임무에 활용가능한 저전력 전기추력기와 전기추력기 방전에 필수적인 저전력 음극의 중요성 역시 크게 증가하고 있다. 미국 NASA에서는 2021년 큐브샛(6U)을 활용한 달탐사(IceCube 프로젝트)에 80 W급 전기추력기를 활용할 예정이다. 그러나, 일반적으로 저전력 전기추력기 개발은 크기가 작아 열발생 및 입자 손실과 같은 난제를 수반하며 추력성능이 고전력 추력기에 비해 낮다. 이에 따라, 저전력 고효율 전기추력기 연구개발은 세계적으로 난이도가 높다. 따라서, 향후 국내 소형 및 마이크로위성 기반 우주임무 수행을 위해서 심도있는 추력기 관련 연구개발이 반드시 필요하다.

연구 목표

본 연구개발에서는 전산모사를 통한 자기장 제어설계를 기반으로, 마이크로위성용 50 W급 저전력 전기추력기 랩모델을 개발하고, 전기추력기 방전에 필요한 핵심부품인 할로우음극 랩모델을 설계 및 제작하였다. 또한 개발된 전기추력기와 할로우음극의 통합방전시험을 통한 방전 안정성과 요구 추력성능을 확보하고, 관련한 기초물리 연구를 수행하였다.

연구결과

○ 50 W급 저전력 전기추력기 자기장 설계 및 랩모델 제작

본 연구개발에서는 먼저 전산모사를 활용하여 저전력 전기추력기 채널 내 자기장 제어설계와 채널구조를 도출하였다. 자기장 제어설계 기술을 바탕으로, 양극전력 범위 50 - 150 W 내 방전 가능한 저전력 전기추력기 랩모델(총 7여기)를 제작하였으며, 각각의 기초 방전특성을 조사하였다. 또한, 추력기의 운전변수(양극전압, 양극유량, 자기장 세기 등) 변화에 따른 기초 방전특성을 분석하여 최적구조(채널반경, 채널깊이, 자기장 형상 및 세기 등) 도출하였다. 특히, 제작된 랩모델 50 W급 전기추력기에서 양극전력 50 - 100 W에서 해외유수 그룹과 비슷하거나 더 우수한 추력성능을 확보하였다.(양극전력 60 W, 추력 3.8 mN, 양극효율 28%, 비추력 913 s)

○ 개발된 저전력 할로우음극 랩모델 개발 및 저전력 조건 방전 안정성 확보

저전력 할로우 음극은 전기추력기 활용에 필수적인 부품으로, 본 연구개발에서는 입자거동 및 열전달 전산모사를 기반으로 할로우 음극 랩모델을 설계 및 제작하였다. 제작된 할로우 음극의 여러 방전변수(음극유량, 키퍼전압, 키퍼전류) 변화에 따른 방전을 통해 안정적인 음극 내부구조를 도출하였다. 특히 본 할로우 음극은 저전류, 저유량 및 저전력 조건(음극유량 0.2-25 sccm, 키퍼전류 0.2-2.0 A, 키퍼소모전력 5-33 W)에서 안정적인 방전을 보였으며 안정적인 연속방전을 확인하였다. 또한, 제작된 저전력 전기추력기 헤드부 랩모델과 40-80 W 양극전력 내 안정적인 통합 방전조건을 도출하였다.

○ 저전력 전기추력기 이온빔 진단계 구축

본 연구개발에서는 저전력 전기추력기 플라즈마 연구를 위한 여러 탐침진단계(패러데이탐침, 전위지연탐침 및 ExB탐침 설계 및 제작에 따른 이온전류밀도, 이온에너지분포 및 다중전하이온 비율 측정기술)를 구축, 성공적으로 측정하였다. 또한, 수 mN에 불과한 저전력 전기추력기의 미세추력 측정을 위한 측정장비(1 mN이하 수준의 추력측정 가능 및 7.4 μN 수준 분해능 확보)를 구축하고, 레이저형광유도 분광측정시스템을 통한 2차원 이온속도분포 고급측정기술을 확보하였다.

○ 저전력 전기추력기 플라즈마 기초물리현상 규명에 따른 다수의 학술성과 확보 및 국내외 연구교류 네트워크 구축

위 연구개발을 통해 저전력 원통형 홀추력기 플라즈마의 다중전하이온 비율이 추력성능에 미치는 영향(H. Kim et la., Appl. Phys. Lett., 23, 062002 (2014), IF: 3.521 포함 총 3편)과, 프랑스 CNRS 연구팀과 협업하여 저전력 원통형 홀추력기 채널 외부 초고속이온 발생 메커니즘을 세계최초로 규명(Y. Lim et al., Plasma Sources Sci. Technol., 26, 03LT01 (2017), IF: 4.128)하였다. 뿐만 아니라, 저전력 원통형 홀추력기 플라즈마 내 이온속도분포 측정 및 채널 내외 가속구조 진단 및 저전력 전기추력기 채널 내 자기장제어 전후 형상에서의 운전변수 (양극전압, 양극유량)변화에 따른 방전모드변화 물리적 특성 진단과 같은 심도있는 기초물리를 수행하였다. 결과적으로 연구개발 기간 내 SCI 논문게재 총 6편, 특허등록 3건, 국제 및 국내학회 발표 각 24건 및 35건 수행하였으며, 항공우주연구원, 핵융합연구소, 항공대, 울산대 그리고 ㈜쎄트렉아이 등 다수의 산학연 기관으로부터 49명의 회원을 기반으로 한국전기추력기연구회 (Korea Electric Propulsion Society) 네트워크를 구축하여 성공적으로 운영하였다.

활용 사례

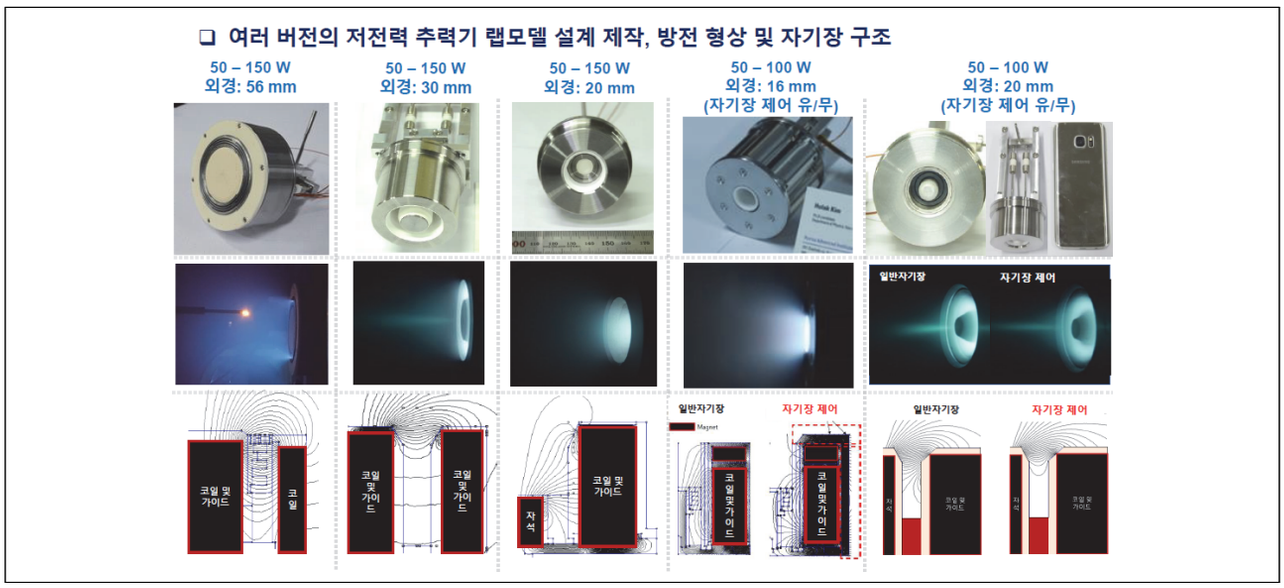
전기추력기 연구개발은 활발한 연구가 수행되는 해외와 달리, 국내에서는 본 연구팀 이외 수행기관이 거의 없으며, 특히 100 W이하 저전력 전기추력기 개발 및 상세 진단연구 수행기관은 본 연구팀 이 유일하다. 본 연구팀은 2013년 발사된 과학기술위성3호에 300 W급 홀추력기 개발을 수행한 바 있으며, 본 연구개발을 통해 획득된 100 W 이하급 저전력 전기추력기 자기장 및 채널구조 설계와 방전시험 결과는 공학적 개발을 통한 상업모델 개발을 위한 기초자료로 활용이 가능하다.

기존지식/ 기술대비 차별성

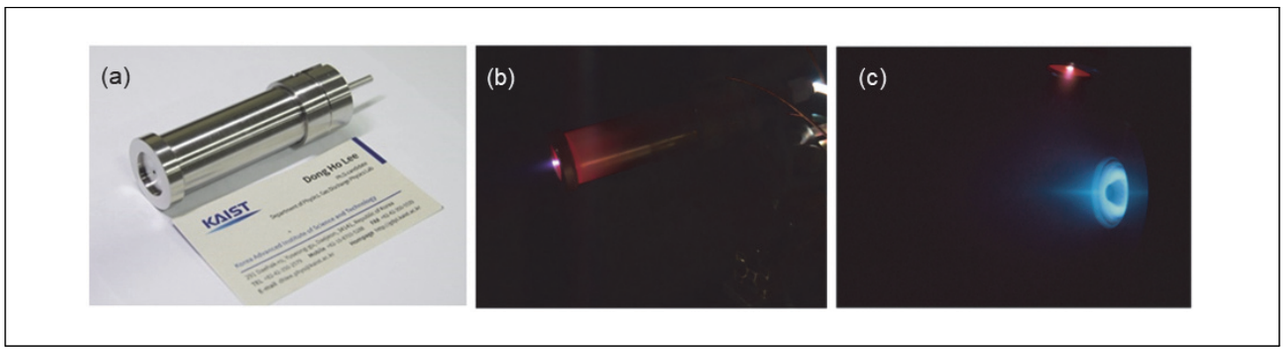
기존의 kW급 이상의 고전력 전기추력기와 고전력 할로우 음극에 비해 100 W급 이하의 저전력 전기추력기와 해당 추력기 운전을 위한 저전력 할로우 음극은 방전 시 낮은 방전전류와 채널구조적 특성으로 인해 안정성이 낮아 연구개발 난이도가 높은 편이다. 특히, 저전력 전기추력기는 kW급에 비해 채널크기 및 폭이 작아 자기장제어 설계의 한계, 채널 벽으로의 열 및 입자손실 등의 과학적 난제를 수반하여 안정적 방전유지가 어려워 세계적으로 연구개발 난이도가 매우 높다. 뿐만아니라, 저전력 음극은 전기추력기를 저전력 영역에서 방전하기 위한 필수 요소품목으로 음극의 저전력 운용을 위해 낮은 키퍼전류에서 안정적으로 방전하여 전자를 제공해야 하나, 열전자방출이 감소하여 안정적인 방전이 어려우므로, 기존의 고전력 전기추력기와 할로우음극의 연구개발에 비해 연구개발의 난이도가 전반적으로 높다.

활용 가능 분야

본 연구개발에서 수행한 저전력 전기추력기 분야는 최근 활용빈도가 급증하는 소형 및 초소형 인공위성내 활용가치가 매우 뛰어난 우주핵심기술로서, 향후 국내 독자적인 소형위성 기반의 근지구관측, 심우주 탐사 임무수행을 위해 반드시 확보되어야할 기술로 판단된다.



▲<그림 1> 본 연구개발에서 개발된 각 저전력 전기추력기 랩모델, 방전형상, 그리고 자기장 설계결과



▲<그림 2> 본 연구개발에서 개발된 (a) 저전력 할로우음극 개발품, (b) 단독 운전 및 (c) 개발된 전기추력기와의 통합방전 사진

성과명	(15) 과학기술위성 3호 주탑재체 적외선 우주관측자료 활용연구		
주관연구기관	한국천문연구원	연구책임자	한 원 용
연락처	042-865-3219	이메일	whan@kasi.re.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	과학기술위성 3호 활용, 적외선 우주망원경, 우주관측자료, 자료처리시스템, 천문학		

상세 성과내용

연구의 필요성

2013년 11월 성공적으로 발사된 과학기술위성 3호의 주탑재체인 적외선우주망원경 MIRIS (Multi-purpose InfraRed Imaging System, 다목적 적외선영상시스템)는 우주초기 생성흔적인 적외선 우주배경복사와 은하면에서 이온화된 고온의 가스분포에 대한 적외선 우주 관측연구를 목적으로 하고 있다. 따라서 과학임무를 수행하기 위한 우주망원경 위성운용과, 생성된 적외선 우주관측 자료의 처리 및 활용연구가 절실히 필요하게 되었다.

연구 목표

과학임무에 최적화된 위성운용 및 시험개발 되었던 기존 우주관측 자료처리 시스템의 개선, 보완, 그리고 확보한 우주관측 자료를 활용하는 우주천문 연구를 수행함으로써 우주망원경을 탑재한 과학기술위성 3호의 우주관측 영상자료를 국내외 관련분야 연구기관의 연구자들과 협력하여, MIRIS 우주망원경의 활용도를 향상시키고자 한다.

연구결과

과학기술위성 3호의 주탑재체인 MIRIS의 우주관측 주임무를 완수하기 위하여 관측계획을 수립, 실행하여 총 2,600여회 우주관측을 성공적으로 수행하였으며, 우주관측 자료분석 결과를 반영하여 지상실험 자료에 기반해 개발되었던 자료 처리 파이프라인 소프트웨어를 개발하고 적외선 우주관측 자료는 Web을 통해 전 세계에 공개하였다.

활용 사례

우주기초기술 연구분야인 적외선 우주망원경 운용 및 자료처리 분석에 활용하고, 우주관측 연구 분야에는 우리은하의 고온가스분포 및 성간물질 특성 연구에 활용하여 논문화 되었다.

기존지식/ 기술대비 차별성

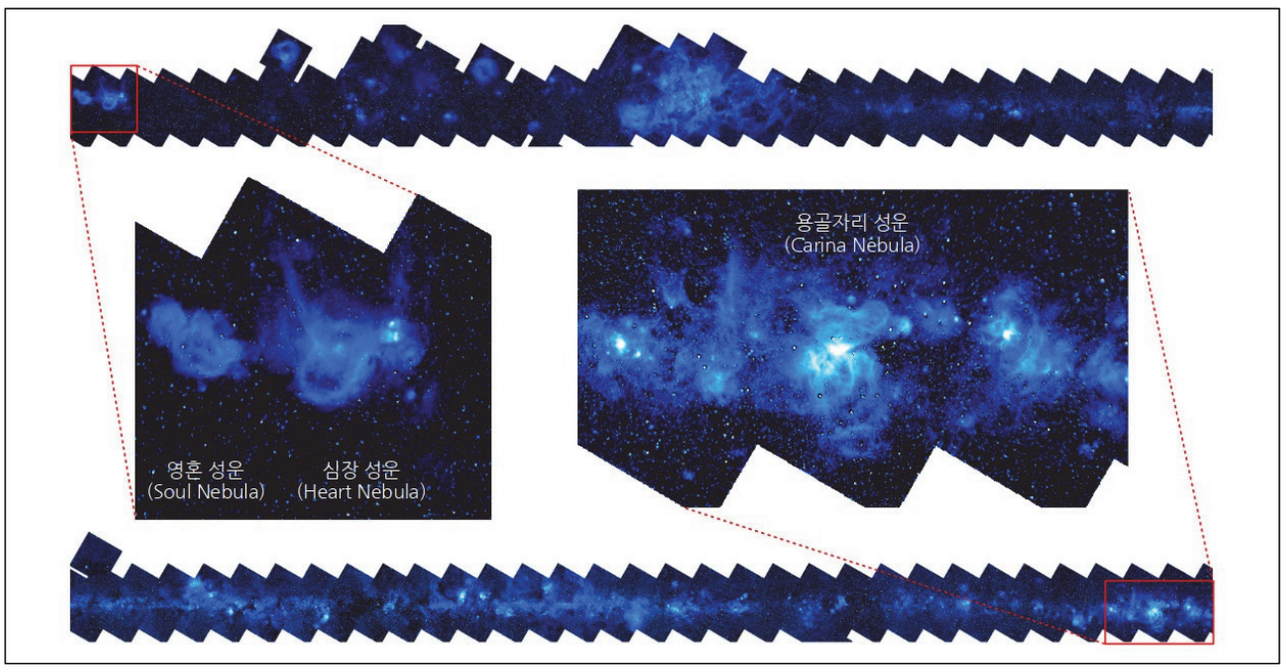
국외에서는 다양한 파장 영역에 걸쳐 관측할 수 있는 우주망원경이 개발되어 왔으며 최근에는 2m급을 넘는 대형 우주망원경이 다수 개발되고 있는데, 대형 우주망원경은 좁은 영역을 자세하고 심도있게 관측하는 것을 목적으로 하는 반면, 소형 우주망원경은 넓은 면적을 빠르게 탐사관측하는 것을 주요 임무로 하고 있다. 이 연구에서 개발한 MIRIS 적외선 우주망원경 위성운용 기법과 적외선 우주관측자료처리 소프트웨어는 우주의 넓은 영역을 빠르게 관측하는 탐사관측 자료분석 연구하기에 최적화되어 있다.

활용 가능 분야

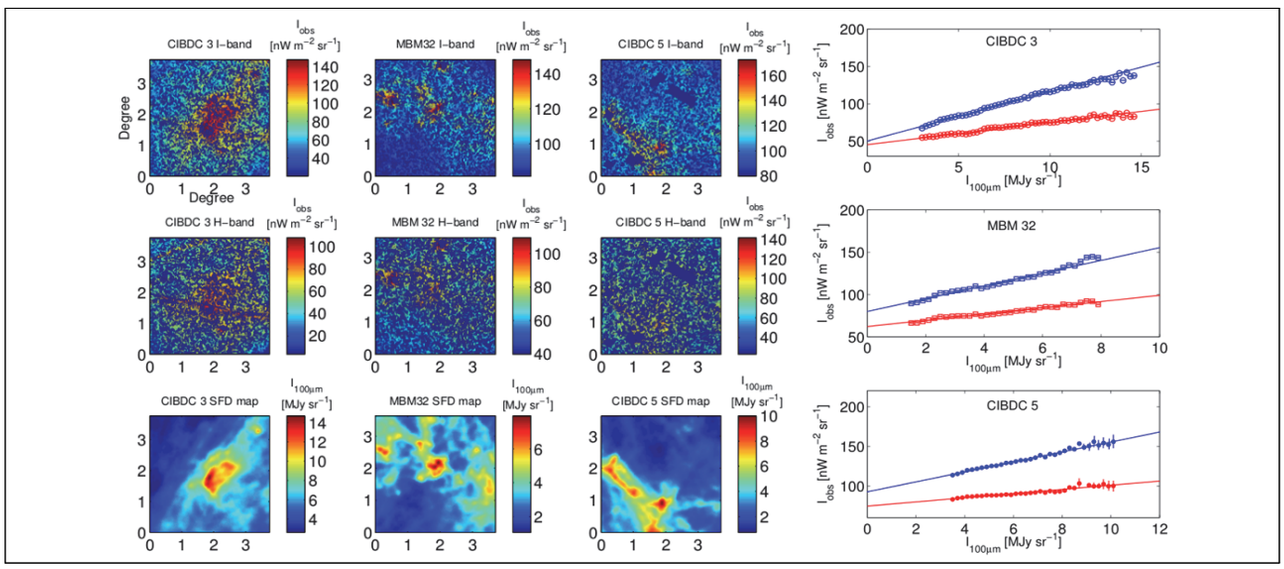
이 연구에서 개발된 우주망원경 운용기술 및 자료처리 소프트웨어는 적외선 우주관측 영상처리 분석에 활용 가능하며 적외선 우주관측 탑재체 분야 기초원천 기술로 활용 가능하다. 또한, 적외선 영상처리 검보정

관련 분야에 응용할 수 있으며 순수과학 연구목적 이외에 극미광 적외선 탐사기술의 다양한 산업분야에 폭넓은 활용 가능성이 있다.

우주천문학 연구분야에서 MIRIS를 활용한 연구는 The Astrophysical Journal Supplement Series (ApJS 2018, Impact Factor, 8.561)에 논문으로 발표되었는데, 이 논문에 활용하였던 관측자료는 전체의 10% 미만이므로, 향후 우주과학분야 후속 논문연구에 많은 활용가능성 있다. 아울러 MIRIS 우주망원경 시스템소개 및 우주관측 자료 공개는 Nature Astronomy(2017, 10월호)를 통하여 발표되었으므로, 전세계 관련 분야에서 많은 활용가능성이 있다.



▲<그림 1> 우리은하 은하면을 따라 수행한 MIRIS의 Pa-αlpha 방출선 관측 영상을 합쳐 만든 은하면 전체(은경 방향 360도, 은위 방향 약 5도) Pa-αlpha 방출선 영상



▲<그림 2> MIRIS로 관측된 세 개의 우주관측 영역 영상(왼쪽 위와 가운데), 해당 지역 먼지방출선 영상(왼쪽 아래)과 100μm 우주먼지 방출선량 함수로 얻은 영상에서의 근적외선 밝기(오른쪽)

성과명	(16) 실내외 연속측위를 위한 실내항법/저가형 GNSS 통합 단말기 개발		
주관연구기관	㈜아센코리아	연구책임자	황 국 연
연락처	02-6267-7810	이메일	kyhwang@ascen.co.kr
분야	위성활용		
키워드(5개 이내)	GNSS, 무선통신,G P S, 실내측위, 연속측위		

상세 성과내용

연구의 필요성

실내에 있어도 위치 확인(MEMS + 전파측위)이 가능하며 GPS만의 위치서비스가 아닌 보다 안정되고 정확한 GNSS(Multi-GNSS: GPS: 미국, Glonass: 러시아, Beidou: 중국)를 수신할 수 있는 기술개발과 부품/제품의 상용화가 절실하게 요구된다.

연구 목표

○ 실내외 연속측위를 위한 실내항법/저가형 GNSS 통합 단말기 개발 및 상용화
○ 실내 측위를 위한 보행항법(MEMS Sensor)/전파항법(DAP 연동) 복합모듈 개발
○ 실외 측위향 GNSS (GPS+Glonass+Beidou), 3종 통합 Multi-GNSS 모듈 개발
○ 융합 모듈을 적용한 항법 단말기 개발, 국내(KC),국제(유럽CE,미국FCC) 인증획득

연구결과

본 과제를 통해 개발되는 기술은 실내외 연속측위가 가능한 복합기술이며 위치정보를 필요로 하는 모든 서비스와 시스템에 직접/즉시 적용이 가능한 기술이다.

○ 실내외 연속 측위가 필요한 소방, 경찰, 군용 위치관제 장치의 핵심모듈 적용가능
○ LBS 기반 노약자의 위치관제를 위한 위치추적 단말장치, 시스템 적용모듈/장치
○ 현재 100% GPS 기반 (10m)정확도의 위치서비스를 사용 중인 차량 네비게이션
○ 고층건물, 숲등 신호 음영지역(신호회절, Multi-Path)의 보완 기능 제공 가능기술

활용사례

○ 위치기반서비스(LBS)의 핵심요소인 GPS의 위치오차 개선과 실외 음영지역 해소 및 실내에서의 위치파악 등의 핵심기술/제품을 활용하여 사물인터넷(IOT), O2O분야, 실내 내비게이션 분야에 적용한다.

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 실내외 연속측위를 위한 실내항법/저가형 (정확도,정밀도 1.5m. CEP 기준) 정밀 GNSS 통합 단말기 개발를 진행 한다. 본 과제의 개발 기술을 이전 받아 기술을 추가개발 하고 핵심 모듈을 제작한다.

○ 실내 연속 측위를 위한 보행항법(MEMS Sensor 기반 전파항법(DAP 연동) 모듈 개발을 진행 한다. 실외 측위를 위한 최초 시도인 GNSS (GPS+Glonass+Beidou) 통합 기술 개발을 통한 정밀 Multi-GNSS 모듈 개발을 완료한다.

활용 가능 분야

○ 기술적 측면

실내외 연속 측위가 가능한 융합 GNSS 기술은 웨어러블 디바이스의 대표적인 기술과 제품이다. 정부주도의 공공안전 분야를 시작으로 일상생활에까지 적용될 수 있는 핵심 기술과 제품임. 본 기술은 실내외에 제한되지 않은 기술을 기반으로 다양한 장치에 적용이 가능하며 특히 소형화, 경량화하여 신체에 착용할 수 있도록 구현이 가능함.

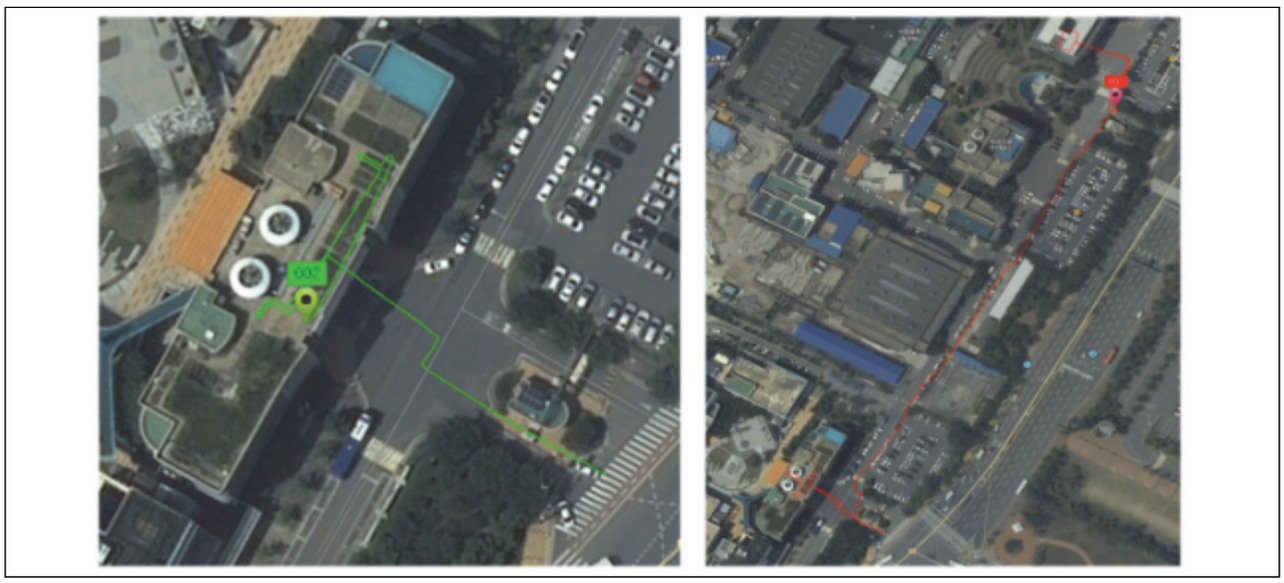
특히 다중 GNSS 기술은 향후 한국형 SBAS(Satellite Based Augmentation System) 위성 서비스를 위한 수신기 및 응용기술/제품에 대한 기술기반 구축

방식	장점	단점	보완
MEMS 기반단 독측위	단독 보행 알고리즘 적용 GPS 연계 구성 쉬움 시스템 구성이 단순/알고리즘처리	누적/고도 오차보완필요 Heading 초기화 자세 제어 복잡	Multi-GNSS 연계 Heading/고도오차보정 전파측위 누적오차제거 자세구분기능추가 MEMS 센서 융합설계 GNSS data 연계 강 결합(Tightly Coupled) 구조 설계
전파기반 RF측위	전파 측위기능으로 누적오차 낮음 통신 연계 RF/Hopping 가능 자세 구분용이, 위치정확도 높음	시스템 복잡/RF 구성 다수 인원 동시관제 제약 고가의 시스템구성	
GPS	단순한회로 구성, 약결 합 (Loosely Coupled) 구조, 회로 단순	정확도, 정밀도 낮음 (3,0m~10m)	

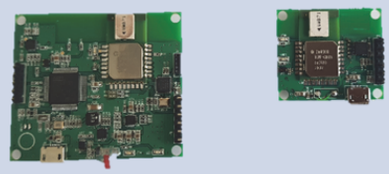
○ 경제적, 산업적 측면

위치기반서비스(LBS)의 핵심요소인 GPS의 위치오차 개선과 실외 음영지역 해소 및 실내에서의 위치파악 등의 핵심기술/제품을 활용하여 사물인터넷(IOT), O2O분야, 실내 내비게이션 분야 적용.

치매노인이나 미아의 실내외 정밀위치파악, 기타 레저/스포츠분야, 긴급구조서비스, 군사, 해양, 비행항로관리, 측량 등 다양한 위치서비스가 필요한 분야에 핵심기술이나 모듈, 완제품 등으로 응용이 가능함. 피트니스 및 웰빙, 헬스 케어 및 의료, 제조업, 군사 부분 등의 여러 산업분야에 적용이 가능하기 때문에 그 제품에 대한 경제적 파급효과는 매우 큼.



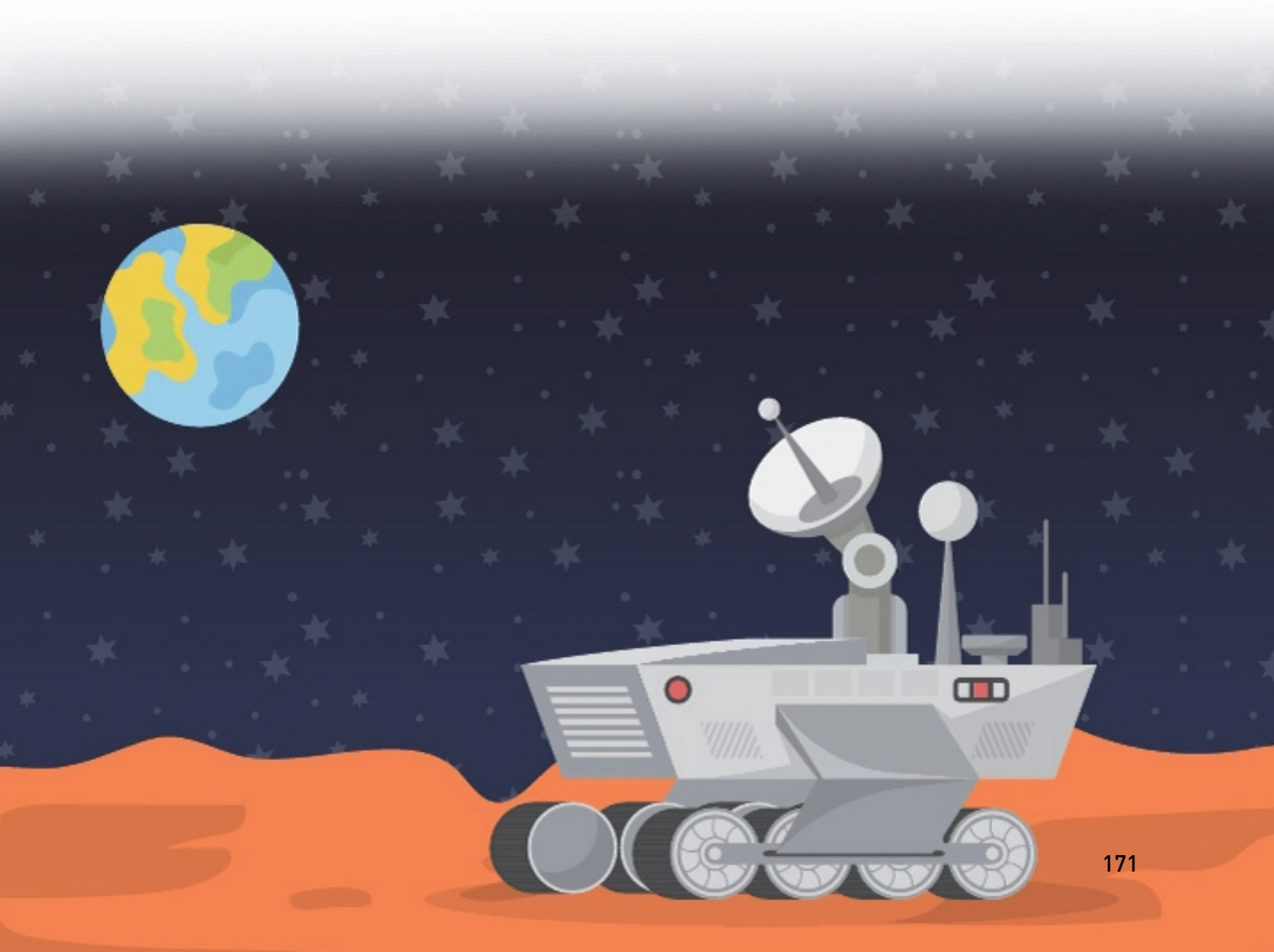
▲<그림 1> 실내외 연속 측위 모니터링 화면

구분	주요 개발 모델	
보행항법 단말 • PDR/1:4EA • GNSS • Bluetooth • UWB • RF.400MHz		
	PDR/GNSS with Bluetooth with sensor	PDR/UWB with RF(400MHz) DAP/UWB
GNSS통합 단말 • GNSS • Bluetooth • RF.400MHz • PDR/Sensor		
	Multi GNSS with RF. External Antenna	Multi GNSS/PDR with RF & Antenna

▲<그림 2> 주요 개발 모델

제4장

우주탐사 분야



성과명	(1) 포식성 미생물과 바이오라세인을 이용한 미소중력 환경에서의 다제내성병원균 처리 연구		
주관연구기관	울산과학기술원	연구책임자	Robert J. Mitchell
연락처	052-217-2513	이메일	esgott@unist.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	델로비브리오 박테리오보루스, 바이오라세인, 미소중력, 다재내성, 병원균		

상세 성과내용

연구의 필요성

미소중력에서 일어나는 많은 변화는 우주인과 병원균 모두에 동시에 일어남. 항생제 내성의 증가, 생장속도의 증가와 같은 병원균 측면과 우주인의 골밀도 감소, 면역력 약화, 근육량 감소 등 우주인 측면으로 구분됨. 즉 병원균은 강해지고 우주인은 약해졌다. 이로 인해 잠재적인 병원균의 제거 방법 연구는 우주시대에 우주인 생존에 기본적인 정보를 제공할 수 있다. 또한 더 나아가 다제내성 병원균이 향후 우주인에게도 치명적인 문제를 일으킬 것이라 예상할 수 있다.
따라서, 우주에서의 항생제 내성변화를 관찰하고, 이를 무시할 수 있는 살균법, 병원균 제거법등을 시도해 보고 미소중력에서 성공 및 효율을 확인할 필요가 있다.

연구 목표

본 연구의 목적은 생물과 비생물적 방법을 이용하여 미소중력하의 인간 병원균을 살균하는 방법을 평가하고자 하였다.

○ 미소중력조건의 다제내성 병원균 형태, 항생제 내성 변화 관찰
○ 미소중력 조건의 포식균주 포식능 평가
○ 미소중력 조건의 바이오라세인 항생능 평가
○ 포식균주 및 바이오라세인 복합처리를 통한 다제내성 병원균 제거방법 구축
○ 미소중력 조건의 포식균주 및 바이오라세인 복합처리 개발

연구결과

미소중력 내의 다제내성 대장균의 항생제 내성의 변화를 확인하였으며, 일반중력, 미소중력에서의 포식성 균주 델로비브리오 박테리오보루스 HD100의 생장 특성을 관찰하고 비교하였다. 또한, 포식성 균주인 델로비브리오 박테리오보루스 HD100을 이용하여 인간 병원균을 미소중력하에서 포식시키고 그 능률을 평가하였다.
미소중력하에서의 메티실린 내성 황색포도상구균의 항생제내성 패턴의 변화를 관찰하였고, 미소중력하에서 바이오라세인을 이용하여 메티실린내성 황색포도상구균의 살균능을 평가하였다. 추가적으로, 미소중력하에서의 바이오라세인과 포식성 미생물 복합 처리법을 연구하였다.

활용 사례

다제내성 병원균 복합 배양물을 포식미생물과 바이오라세인을 이용하여 효과적으로 제어함. 해당 배양물은 일반적으로 알려진 Chloramphenicol과 Gentamicin농도의 10배를 동시에 투여해도 (각각 350mg/L, 500mg/L)제어가 불가능 했으나 본 연구에서의 포식미생물 바이오라세인 복합처리로 3 log reduction을 확인함. 이를 이용해 다제내성 복합배양물에 활용할 수 있으리라 판단하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

미소중력에서 일반적인 병원균의 경우 그 내성이 향상되는 것으로 알려져 있으나, 실험 결과 내성의 변화는 항생제의 종류에 따라 증감하는 것으로 확인하였으며, 또한 본 연구에서 주로 활용한 포식미생물과 바이오라세인의 경우 미소중력에서 효과가 감소하지 않는 것을 확인하고 이 두 항생제의 공동사용을 통한 미생물 제거가 가능하고, 서로 상조효과를 기대할 수 있다는 것을 확인하였다.

활용 가능 분야

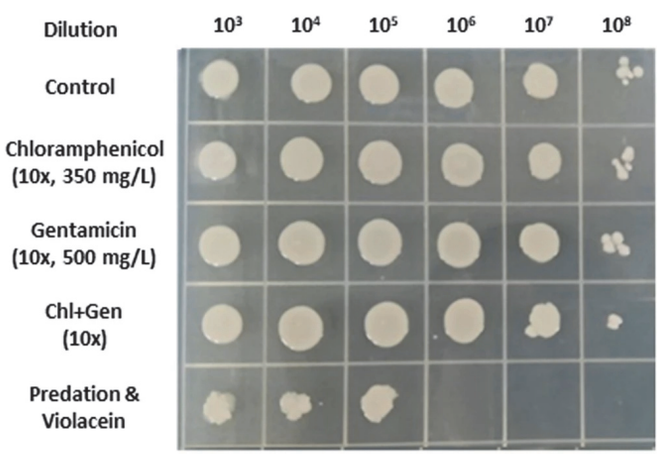
본 연구를 통해 다음과 같은 활용이 가능한 것으로 예측된다.

○ 미소중력 조건하의 포식성 미생물과 바이오라세인의 항생능률 확인

○ 미소중력하에서의 인간 병원균의 변화양상과 그 변화를 줄이는 잠재적 방향에 대한 정보를 제공

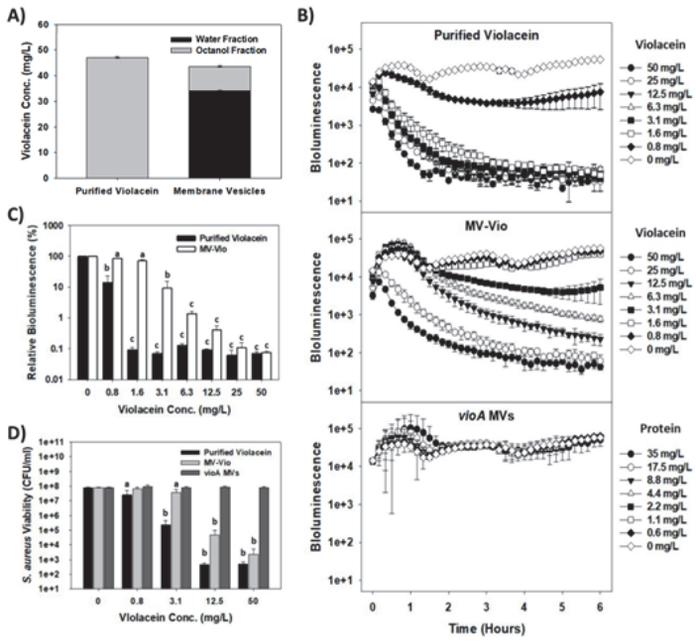
○ 일반적인 상황에서도 다제내성 병원균의 처리에 포식미생물과 바이오라세인을 활용

○ 다제내성 병원균의 복합감염과 같은 특수상황에서의 포식미생물-바이오라세인 복합처리의 활용



A. baumannii 및 S. aureus의 다제내성 균주를 포함하는 배양물의 제거.
A. baumannii, S. aureus CCARM 3090의 복합 배양은 Chloramphenicol, Gentamicin이 두 항생제를 각각 혹은 함께 처리 (Chl + Gen)하고, 포식미생물과 바이오라세인으로 이중처리함 (Predation & Violacein)로 처리함. 두 항생제의 농도는 실험실 실험에서 일반적으로 사용되는 것보다 10 배 더 높음. 이중 처리가 더 높은 병원균 제거능을 가짐.

▲<그림 1> 다제내성 병원균, 복합 배양물의 제거



바이오라세인의 생산과 membrane vesicle을 이용한 전달 규명
생산된 바이오라세인이 membrane vesicle을 이용해 전달되고 있으며 이는 미생물이 자연적으로 생산한 소수성 항생작용제(violacein)가 membrane vesicle이라는 전달 수단을 통해 전달될 수 있다는 사실을 직접 증명함.

▲<그림 2> 바이오라세인의 생산과 membrane vesicle을 이용한 전달 규명

성과명	(2) 우주 적외선 분석을 위한 전리기체분자의 구조 분석		
주관연구기관	강원대학교	연구책임자	권 찬 호
연락처	033-250-8496	이메일	chkwon@kangwon.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	성간물질, 우주적외선, 고분해능 질량.분광계, 진동 스펙트럼, 분자구조		

상세 성과내용

연구의 필요성

성간물질을 구성하는 화학종의 종류와 구조를 연구할 수 있는 가장 강력한 방법은 진동 구조에 대한 정보를 담고 있는 우주적외선 스펙트럼 (IR 스펙트럼)을 측정하고 이를 기체상 분자 양이온들의 진동 스펙트럼 데이터베이스와 비교하는 것이다. 이를 위해서는 실험실에서 측정된 다양한 분자 양이온들의 진동 스펙트럼과 구조 해석에 관한 연구를 수행하고 그 결과들의 데이터베이스를 축적하는 일이 선행되어야 한다. 일반적으로 중성 분자들의 경우 적외선 진동 스펙트럼들이 얻어져 충분한 데이터베이스가 만들어져 있는데 반해, 전리기체분자 (주로 분자양이온)의 경우 진동 스펙트럼들은 거의 알려져 있지 않아 관측된 우주적외선 스펙트럼과 비교 대조군이 크게 부족하며 한국의 경우 전무하여 미국 NIST의 데이터베이스에 의존해야 하는 실정이다. 성간물질 연구 시 검출되는 우주적외선을 분석하여 물질의 성분 및 구조를 밝혀내기 위해서는 이들의 진동 스펙트럼과 구조 해석에 관한 데이터베이스가 반드시 필요하다. 또한 우주의 진화에 대한 직접적인 정보를 제공하기에 성간 물질의 구성에 대한 정보는 매우 중요하다.

연구 목표

우주 적외선은 성간 물질을 확인할 수 있는 분자 진동구조에 대한 정보를 제공한다. 성간물질 (ISM)은 우주에 존재하는 진공자외선, x 선, 양성자, 전자 등 고에너지의 전자기 복사나 입자들 때문에 대부분 기체상의 라디칼이나 분자 양이온 상태로 존재한다. 성간물질은 별의 생성과 진화 과정에 화학적이고 동력학적으로 매우 중요한 역할을 하였기 때문에 성간물질을 구성하는 분자 종들을 검출하고 확인하는 일은 매우 중요하다. 발견되었거나 예측되는 성간 종들의 분자 진동구조 확인을 위해 고 분해능 진공자외선 질량분석 문턱 이온화 (VUV-MATI) 분광법을 이용하여 진동 스펙트럼을 측정한다. 측정된 성간 종들의 진동 스펙트럼을 전산 해석하고 분자 구조를 확인하며 이들의 구축된 데이터베이스를 활용하게 하는 것이 본 연구의 목표이다.

연구결과

우주 적외선은 우주를 구성하는 화학종들이 방출하는 적외선 스펙트럼이다. 화학종들의 구조적 정보를 담고 있기 때문에 우주 적외선을 측정하고 분석하면 성분을 알 수 있다. 그러나, 우주와 같은 극한 조건에서는 주로 분자 라디칼 및 라디칼 양이온 등 수명이 극히 짧은 비정규 화학종 형태로 존재하기 때문에 우주 적외선을 분석하기 위해 필요한 대조군 스펙트럼이 거의 존재하지 않는다. 본 연구는 성간 물질로 예측되는 분자종의 고 분해능 적외선 스펙트럼을 측정하고 해석하는 방법을 개발하는 우주 기초연구이다. 연구 성과로써 우주 적외선 스펙트럼과 직접 비교할 이형태체 포함 16종의 적외선 스펙트럼을 측정하였고 해석 결과를 구축하였다. 이러한 연구결과는 세계적으로 최초의 시도라서 획기적이다.

활용 사례

우주 적외선 망원경에서 관측한 데이터 분석에 대조군으로써 활용할 수 있도록 성간 물질의 고분해능 진동 스펙트럼을 축적하였다.

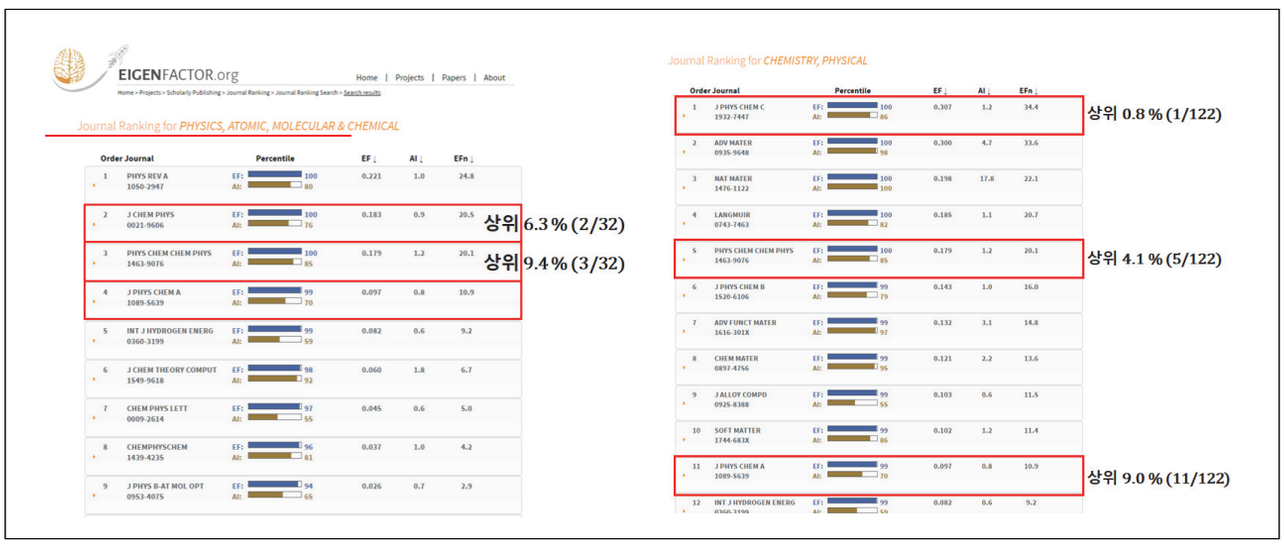
기존지식/ 기술대비 차별성

성간 물질을 구성하는 전리기체분자의 경우 고 분해능 진동 스펙트럼이 거의 없다. 따라서 연구 성과로써 제시되는 기체상의 분자 라디칼 양이온의 고 분해능의 진동 스펙트럼과 해석 결과는 우주 적외선 분석을 위해 필요한 대조군 스펙트럼을 제공하여 성간 물질을 구성하는 화학종의 구조에 대한 새로운 자료가 될 것이다. 또한 새롭게 확인되어지는 이들 화학종의 진동 스펙트럼들은 최첨단 연구 결과를 지향하는 전문 학술지에 발표되어 전 세계에 공개될 것이다. 게다가 질량분석기를 제작, 설치 및 개조하는 과정은 그 자체가 첨단 기기 분석에 대한 전문가를 양성하는 과정이며, 스펙트럼 해석을 통해 우주기초연구 수행에 필요한 전문가를 양성하게 될 것이다.

활용 가능 분야

연구 결과(최초 발견 실적 등)의 향후 활용 방안으로, 우주 망원경 관측 자료와 비교군이 필요한 국외 연구자와 국제 협력이 가능하다. 연구로부터 성간 물질의 우주 적외선 분석에 필요한 reference 스펙트럼으로써 다양한 전리기체 분자 양이온의 고 분해능 진동스펙트럼을 쉽고 정확하게 계산하여 이형태 구조를 결정할 수 있기 때문에 후속 연구로서 적외선 공명 이온 분광법을 이용한 다양한 분자라디칼 및 양이온계의 개별 이형태체의 구조 규명과 반응성 연구에 가능하다.

측정된 이들의 진동 스펙트럼은 우주 적외선 스펙트럼 분석을 위한 데이터베이스로 구축되어 성간 물질에서 발견되는 분자 라디칼 종과 그들의 이형태 구조를 확인하는 데 크게 활용될 것이다.



▲<그림 1> 논문게재 실적

성과명	(3) 다파장 편광 탐사를 통한 월면 표토층 연구		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	김 성 수
연락처	031-201-2441	이메일	sungsoo.kim@khu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	달 탐사, 편광 관측, 우주 풍화, 달 자원, 미세먼지		

상세 성과내용

연구 목표

월면에서 반사되는 태양 빛의 편광(light polariation)은 달 표토층 입자의 크기와 성분을 알려주는 중요한 정보이나, 이전의 달 궤도선에서는 한 번도 탐사되지 않았다. 달 편광 관측은 지구로부터만 일부 이루어졌는데, 특히 CCD 또는 CMOS를 이용한 고정밀, 고해상도 관측은 지구로부터도 수행된 적이 없다. 이에 고정밀, 고해상도 월면 편광 관측을 수행하고 이를 정밀히 분석하여, 달궤도에서의 체계적인 편광관측 전략을 세우고, 또 이에 적합한 관측기기를 고안·설계하는데 도움이 되는 정보를 생산할 필요가 있었다.

연구의 필요성

한국 최초로 시도되는 달 궤도 탐사 프로그램에 우리나라 고유의 과학임무로 전월면 편광 탐사를 제안하고, 편광 탐사를 필요한 기초연구 및 선행연구를 수행하는 것이 목표이다.

연구결과

한국의 시험용 달궤도선(KPLO, 2022년 중반 발사 예정) 과학 탑재체 중 하나로 〈광시야 편광 카메라〉를 제안했고, 우수한 평가점수를 얻어 3개의 한국측 과학 탑재체 중 하나로 선정되었다. 현재 이 기기는 한국천문연구원에서 제작 중에 있으며, 2020년 12월에 KPLO 본체를 제작하고 있는 항공우주연구원에 납품할 예정이다.

달궤도로부터의 편광관측에 대한 선행연구로, CCD를 이용하여 지상으로부터 체계적인 고정밀, 고해상도 월면 편광관측을 수행하였다. 이로부터 나온 자료를 이용하여 최초로 달 앞면 전체에 대한 표토 입자 크기 지도를 작성하였으며, 위도가 높아질수록 표토입자의 크기가 커진다는 중요한 발견을 이루었다.

달에는 대기가 없고 강이나 바다를 이룰 정도의 다량의 물이 존재하지 않기 때문에 월면에서의 풍화는 지구에서와는 매우 다르다. 월면에서의 풍화는 태양으로부터 오는 입자(광자, 전자, 양성자)와 태양계 내에 떠도는 미소유성체들과의 충돌에 의해 일어난다. 본 연구과제를 통해 월면 우주풍화 현상의 종합적 이해를 위한 중대한 과학적 실마리(우주풍화에 있어 태양풍과 미소유성체들 간의 상대적 중요도, 미소유성체들의 입사 방향 분포 등)를 제공하였다.

활용 사례

본 연구과제에서 처음으로 작성한 달 앞면에 대한 표토 입자크기 지도 및 향후 한국 시험용 달궤도선으로 얻게 될 달 전체에 대한 표토 입자크기 지도는 미래에 있을 월면 활동을 설계하는데 큰 기초자료가 될 것이다. 월면 활동은 미세한 표토 입자들에 의해 제한을 받을 수 밖에 없기 때문에 입자 크기에 맞추어 기기나 활동이 설계되어야 하나, 현재로서 입자 크기를 원격으로 측정할 수 있는 방법은 편광 관측 밖에 없다.

본 연구과제에서 습득된 지식과 경험을 바탕으로, 1) 지구 대기 중 미세먼지와 수증기 층 탐지를 위한 큐브샛 위성용 편광카메라 개발 사업을 NASA 및 부산시와 공동으로 진행 중에 있으며, 2) NASA Commercial Lunar Payload Services 프로그램의 한국 측 과학임무로 월면 고해상도 3차원 카메라 및 월면 부유입자 탐지 카메라를 개발 중에 있다.

기존지식/기술 대비 차별성

본 연구과제에서 제안하여 선정된 한국 시험용 달궤도선의 〈광시야 편광 카메라〉는 시험용 달 궤도선에 탑재될 4개의 한국측 탐사기기 중 유일하게 달궤도에서 한 번도 시도된 적 없는 고유의 탐사 방법(편광관측)을 이용한다.

과제의 과학적 성취 결과 중 하나인 〈월면 표토 입자 크기의 위도 의존성〉은 관련 학계에 상당히 큰 충격을 준 독창적인 결과였으며, 이를 통해 달 표면에 부딪히는 미소유성체의 입사 방향의 비균일성을 처음으로 밝히게 되었다.

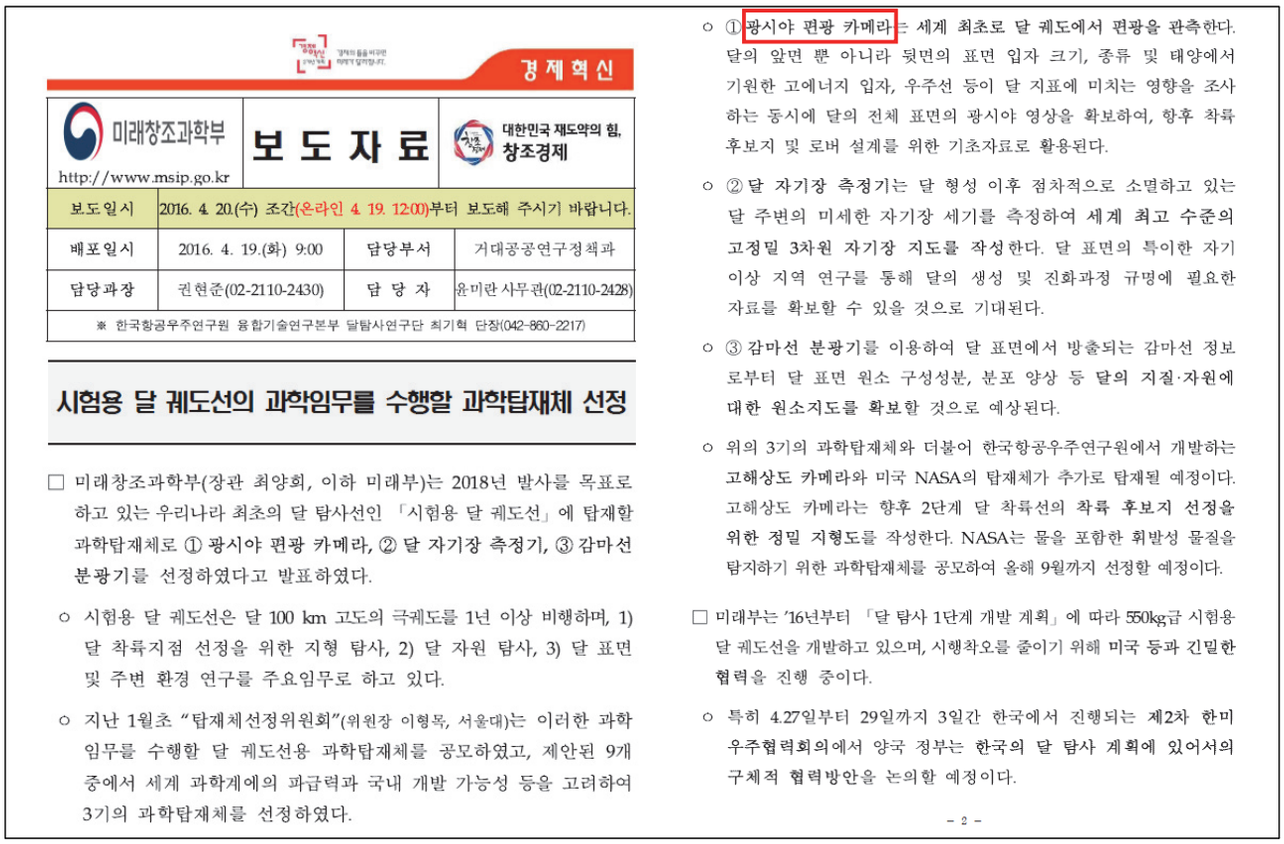
활용 가능 분야

○ 한국 고유의 우주탐사 임무 발굴

본 과제에서 개발된 〈표면 반사광 편광관측〉 방법은 향후 화성이나 소행성 우주탐사에 이용될 수 있으며, 한국이 비교 우위를 가지는 우주탐사 분야가 될 것이다.

○ 달 자원 발굴

월면 표토 입자크기 지도를 통해 미래 핵융합 발전의 연료 중 하나로 고려되고 있는 He-3와, 지구의 희귀금석 중 하나인 티타늄의 월면 분포와 매장량을 추정하는 것이 가능하다.



경제혁신

미래창조과학부 http://www.msip.go.kr

보 도 자 료

대한민국 재도약의 힘, 창조경제

보도일시	2016. 4. 20.(수) 조간(온라인 4. 19. 12:00)부터 보도해 주시기 바랍니다.		
배포일시	2016. 4. 19.(화) 9:00	담당부서	거대공공연구정책과
담당과장	권현준(02-2110-2430)	담 당 자	윤미란 사무관(02-2110-2428)
※ 한국항공우주연구원 융합기술연구본부 달탐사연구단 최기혁 단장(042-860-2217)			

시험용 달 궤도선의 과학임무를 수행할 과학탑재체 선정

□ 미래창조과학부(장관 최양희, 이하 미래부)는 2018년 발사를 목표로 하고 있는 우리나라 최초의 달 탐사선인 「시험용 달 궤도선」에 탑재할 과학탑재체로 ① 광시야 편광 카메라, ② 달 자기장 측정기, ③ 감마선 분광기를 선정하였다고 발표하였다.

○ 시험용 달 궤도선은 달 100 km 고도의 극궤도를 1년 이상 비행하며, 1) 달 착륙지점 선정을 위한 지형 탐사, 2) 달 자원 탐사, 3) 달 표면 및 주변 환경 연구를 주요임무로 하고 있다.

○ 지난 1월초 "탐재체선정위원회"(위원장 이형목, 서울대)는 이러한 과학임무를 수행할 달 궤도선용 과학탑재체를 공모하였고, 제안된 9개 중에서 세계 과학계에의 파급력과 국내 개발 가능성 등을 고려하여 3기의 과학탑재체를 선정하였다.

○ ① 광시야 편광 카메라는 세계 최초로 달 궤도에서 편광을 관측한다. 달의 앞면 뿐 아니라 뒷면의 표면 입자 크기, 종류 및 태양에서 기원한 고에너지 입자, 우주선 등이 달 지표에 미치는 영향을 조사하는 동시에 달의 전체 표면의 광시야 영상을 확보하여, 향후 착륙 후보지 및 로버 설계를 위한 기초자료로 활용된다.

○ ② 달 자기장 측정기는 달 형성 이후 점차적으로 소멸하고 있는 달 주변의 미세한 자기장 세기를 측정하여 세계 최고 수준의 고정밀 3차원 자기장 지도를 작성한다. 달 표면의 특이한 자기 이상 지역 연구를 통해 달의 생성 및 진화과정 규명에 필요한 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

○ ③ 감마선 분광기를 이용하여 달 표면에서 방출되는 감마선 정보로부터 달 표면 원소 구성성분, 분포 양상 등 달의 지질·자원에 대한 원소지도를 확보할 것으로 예상된다.

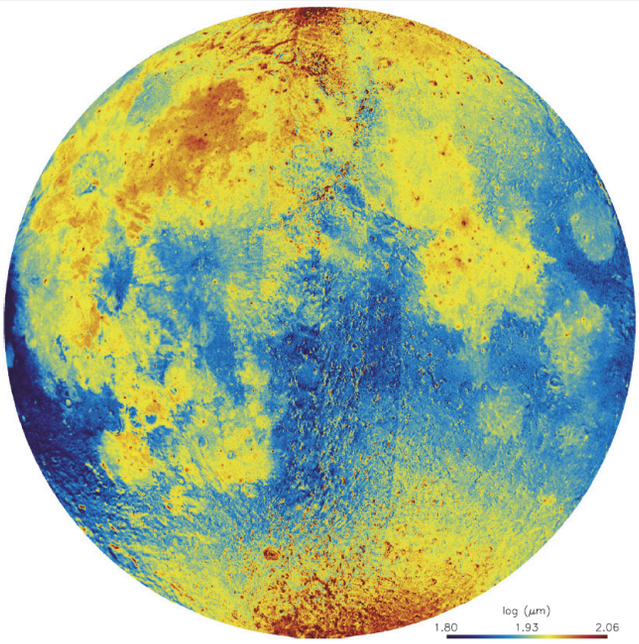
○ 위의 3기의 과학탑재체와 더불어 한국항공우주연구원에서 개발하는 고해상도 카메라와 미국 NASA의 탑재체가 추가로 탑재될 예정이다. 고해상도 카메라는 향후 2단계 달 착륙선의 착륙 후보지 선정을 위한 정밀 지형도를 작성한다. NASA는 물을 포함한 휘발성 물질을 탐지하기 위한 과학탑재체를 공모하여 올해 9월까지 선정할 예정이다.

□ 미래부는 '16년부터 「달 탐사 1단계 개발 계획」에 따라 550kg급 시험용 달 궤도선을 개발하고 있으며, 시행착오를 줄이기 위해 미국 등과 긴밀한 협력을 진행 중이다.

○ 특히 4.27일부터 29일까지 3일간 한국에서 진행되는 제2차 한미 우주협력회의에서 양국 정부는 한국의 달 탐사 계획에 있어서의 구체적 협력방안을 논의할 예정이다.

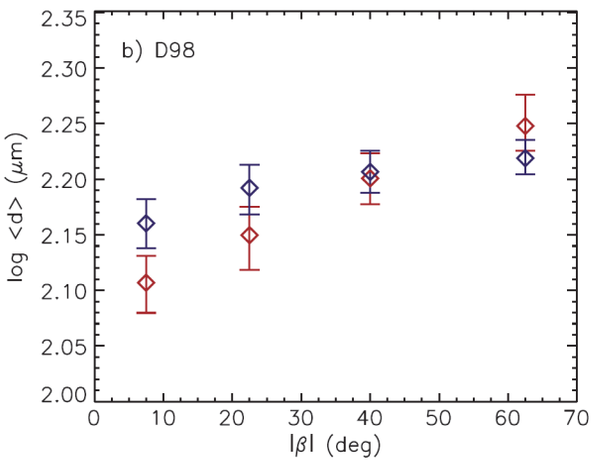
- 2 -

▲<그림 1> 한국 시험용 달 궤도선 탑재체 중 하나로 <광시야 편광 카메라> 선정



본 과제에서 세계 최초로 획득한 달 앞면 전체에 대한 표토 입자 크기 지도. 푸른 색으로 갈수록 입자의 크기가 작아진다. 월면 표토 입자의 크기가 작은 지역일수록 그 지역의 표토가 우주풍화에 더 노출되어 있었다는 것을 뜻하며, 미래 핵융합 발전의 연료 중 하나로 고려되고 있는 He-3의 양도 많을 것이라는 것을 뜻한다.

▲<그림 2> 최초로 달 앞면 전체에 대한 월면 표토 입자 크기 지도 완성



위도에 따른 표토 입자 크기의 변화 (파란색은 바다, 붉은 색은 고원 지역). 저위도에서 입자가 더 작은데, 이는 월면에 부딪히는 수mm~수십cm 크기의 미소유성체들의 입사 방향이 등방적이지 않고 주로 적도면을 따라 입사한다는 것을 의미한다. 이러한 사실을 본 과제에서 처음으로 보였으며, 해당 학계에서는 매우 놀라운 발견으로 여겨지고 있다. 이러한 발견은 향후 월면 기지 건설에 제약 조건으로 쓰일 수 있다.

▲<그림 3> 최초로 달 앞면 전체에 대한 월면 표토 입자 크기 지도 완성

166 | NATURE | VOL 571 | 11 JULY 2019

LUNAR DREAMS

Fifty years after Apollo, Nature *profiles five researchers whose work will shape the next half century of Moon science.*

BY ALEXANDRA WITZE

in Cambridge. Over the course of 4 weeks, the team found 36 space rocks on the ice. This month, she will get her first real shot at analysing those samples, which have just arrived in the United Kingdom on the slow boat that has carried them from Antarctica.

She hopes to identify at least one rock that began its journey on the Moon. "We've managed to find pieces of [the asteroid] Vesta on one of the trips I've been on," she says. "But I'm desperate to find a lunar meteorite."

Joy, a geochemist, has studied some of the most famous rocks brought back by the Apollo astronauts. In 2012 she reported

Chae Kyng Sim

permanent programme, a UK complement to the long-running US-led Antarctic meteorite hunt that happens every year.

Every time Joy and her colleagues spot a dark speck on the ice, she hopes it is a lunar meteorite, a potential treasure trove of information about the Moon conveniently dropped here on Earth. "That's why we keep going back to get more," she says.

CHAE KYUNG SIM: SOIL SLEUTH

Chae Kyung Sim definitely does not want to travel to the Moon. Squashed into her aeroplane seat on a recent trip from South Korea to Texas, she tried to pass the time by watching the film *First Man*, which dramatizes Neil Armstrong's journey to the Moon. Seeing him in the Apollo capsule made a

© 2019 Springer Nature Limited. All rights reserved.

본 과제에서 양성된 박사후 연구원인 심채경 박사가 과제기간 동안의 연구업적으로 영국 Nature지 116호(2019년 7월 11일자)에서 <향후 50년을 이끌 5인의 젊은 달 과학자> 중 한 명으로 선정. 심채경 박사는 본 과제에 참여하면서 월면의 우주풍화 현상을 집중적으로 연구하여 단기간 내에 세계적으로 인정받는 연구업적을 창출했다.

▲<그림 4> 본 과제에서 양성된 신진 연구인력의 연구가 세계적으로 인정받음

성과명	(4) 우주 의학 기초 연구를 위한 복합 환경 모사 플랫폼 및 생체 모사 시스템 연구		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	김 성 완
연락처	010-9021-6513	이메일	sungwan@snu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	우주의학, 미세중력, 중력모사, 세포성장, 암세포		

상세 성과내용

연구의 필요성

무중력/미세중력 등의 상태에서는 지구의 정상중력에서 관찰할 수 없었던 새로운 생물학적 현상이 발생한다는 연구결과가 있기에 극한 중력환경을 모사할 수 있는 플랫폼 개발이 필요하다. 개발된 플랫폼에서 암세포를 배양하고 다양한 생체 현상을 관찰함으로써 유인 우주 개발시대를 대비하여 우주 여행객 및 우주인의 안전과 건강에 필요한 기초지식을 확보할 수 있다. 나아가, 의생명과학 분야에서 새로운 이해를 확장하고 질병의 예방과 혁신적 의료기술 개발을 위한 초석을 마련하는 것이 중요하다.

연구 목표

미세중력 등의 복합환경 모사 플랫폼을 설계하고 알고리즘을 고안한다. 플랫폼을 제작하여 유효성을 평가한 뒤, 여러 중력 모사 환경에서 다양한 조건을 부여하여 암세포의 성장 변화를 연구한다. 이를 통해 우주의학의 지식적 토대를 마련한다.

연구결과

다양한 중력 모사플랫폼 및 알고리즘을 고안하였으며 실제로 제작하여 유효성을 검증하였다. 이를 바탕으로 정상 HDF 세포와 lymphoma의 성장 변화를 미세중력(simulated microgravity) 조건에서 비교하였으며, lymphoma cell은 성장이 유의하게 억제되었으나, 정상 세포는 1g 환경과 유의한 차이 없이 정상적으로 성장하였다. 이에 따라 암세포가 선택적으로 억제되는 것과 관련된 생물학적인 signaling pathway를 확인하였다. Adherent type인 HDF와의 비교가 더 적합한 breast cancer cell에 대해서도 동일한 과정의 실험을 진행하였으며, Breast cancer cell 또한 미세중력 조건에서 세포 성장이 유의하게 억제됨을 확인하였다. 이를 통해 우주 환경에서의 암세포를 억제하고 암을 치료할 수 있는 여러 메커니즘 및 가능성을 살펴볼 수 있을 것으로 기대한다.

활용 사례

미세중력 환경 내에서의 암세포 성장 및 항암제 민감성 변화를 연구하고, NK세포의 성장과 활성도를 확인하는 등 다양한 암세포 실험에 적용한다. 또한 암세포 이외에 피부세포, 오가노이드 등과 같은 여러 생물학적 시료에 대해서도 연구를 수행한다.

기존지식/ 기술대비 차별성

우주인들은 미세중력 하에서 다양한 생리학적인 변화(muscle atrophy, bone demineralization, immune dysregulation, changes in cellular functions)를 겪는 것으로 알려져 있으나, 우주에서의 실험은 비용 및 접근성의 문제로 기회가 상당히 제약적이다. 본 연구에서는 이를 극복하고 비용 및 효율성을 확보하면서 우주의학에 대한 지식을 탐색하기 위해 우주와 근접한 복합환경 모사 시스템을 제안하였고 유효성을 검증하였으며 실제 암세포 성장이 정상세포에 비해 감소함을 밝혔다. 아직까지 이와 관련된 연구는 전 세계적으로 충분히 이루어지지 않았으며, 지식의 측면에서도 초기 단계에 있다. 따라서 향후 유인우주탐사와 우주의학의 초석을 마련한다는 점에서 차별성이 있다.

활용 가능 분야

○ 우주 의학의 토대 마련

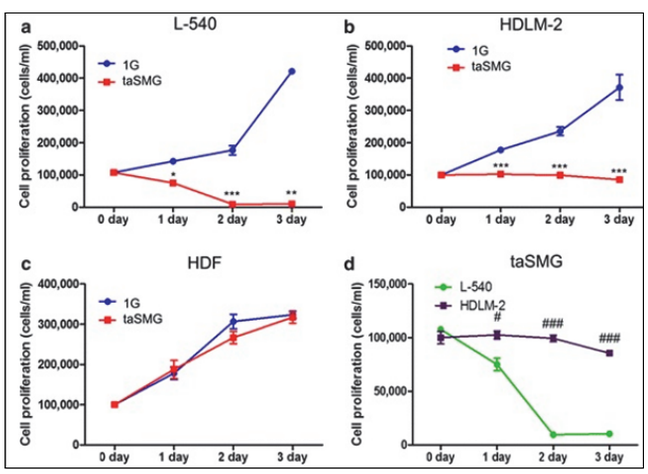
미세중력에서 암세포의 성장 저해 및 사멸과 관련한 메커니즘 규명을 통해, 새로운 암치료 및 세포 면역 치료의 가능성을 확보하며, 미세중력 환경에서 다양한 암세포에 적용함으로써 다양한 응용 가능성을 탐색할 수 있다. 또한 난치성 암환자의 치료 대안으로서 우주 의학의 가능성을 확인하며, 이를 통해 암 연구에 의공학, 우주항공의학을 융합하여 학문 간의 교류를 통한 창의적 발전을 도모하고 유인 우주 탐사를 위한 원천 기술을 확보할 뿐만 아니라 우주 의학 분야의 선도적 역할을 수행할 수 있다.

○ 암세포에 대한 기초 연구 및 치료제 개발

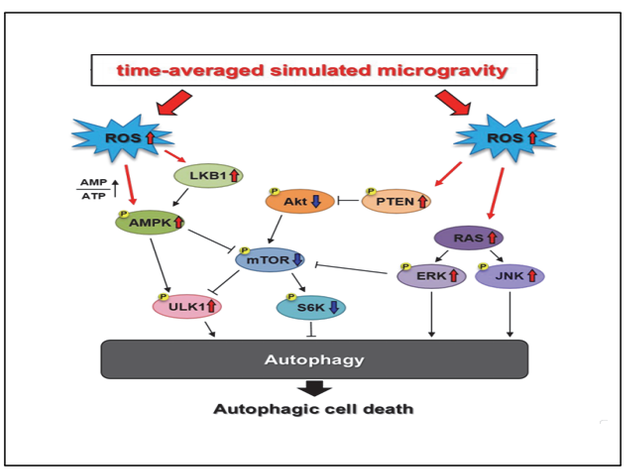
미세중력 요인을 포함한 세포 스트레스 기반 현상을 규명하고 암세포에 대해 적용함으로써, 정상세포와 암세포의 비교 분석을 통하여 암 성장과 관련된 바이오 마커를 이론적으로 규명하고 발암인자를 동정하며 항암제 개발에 대한 단서를 제공할 수 있다.

○ 유인 우주탐사 가능 국가와의 협력연구 유도 및 사업화 제안

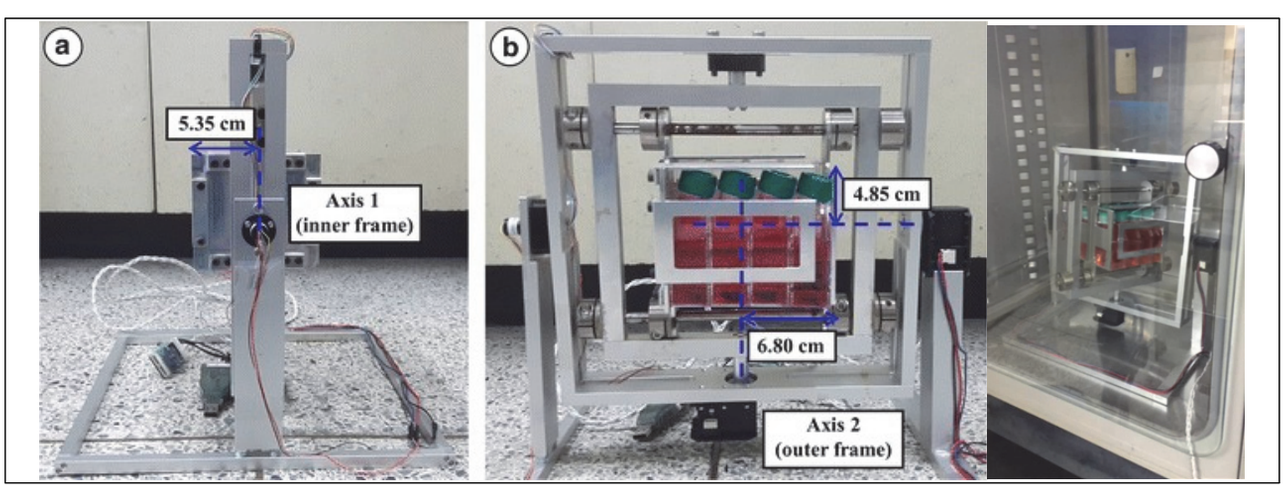
의학, 공학, 세포생물학 등의 융합적 연구를 통한 전략적 핵심 원천기술 확보의 토대를 마련하고 다양한 세포 및 대상을 바탕으로 하여 다양성을 통한 국제 협력 연구의 기초를 다지고 의료 신기술에 대한 파급효과의 고양을 기대한다.



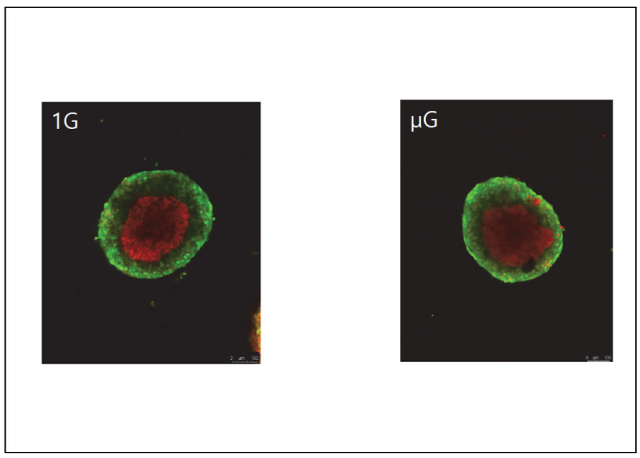
▲<그림 1> Hodgkin´s Lymphoma 및 정상 Human Dermal Fibroblast (HDF) 성장 패턴 비교



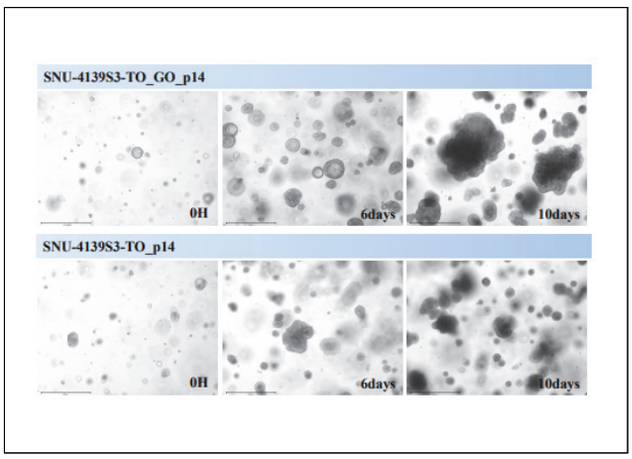
▲<그림 2> 인간의 호지킨 림프종 세포의 신호전달과정과 미세중력의 효과 분석



▲<그림 3> 개발된 중력환경 모사 3D clinostat hardware 및 플랫폼



▲<그림 4> Fibroblast의 thickness에 관한, 정상 및 미세중력 간 비교 결과



▲<그림 5> 미세중력환경 내에서의 오가노이드 배양
(한국세포주은행(Korean Cell Line Bank, KCLB), unpublished data)

성과명	(5) 한반도 전리권 예측 모델 개발		
주관연구기관	충남대학교	연구책임자	김 용 하
연락처	042-821-5467	이메일	yhkim@cnu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	전리권, 로켓 분사율, 수치모델		

상세 성과내용

연구의 필요성

전리권은 고도 ~60 km 이상에 전자와 이온이 분리되어 전기적 성질을 띄는 때는 대기권역이며, 전리권은 전파 통신, 위성 통신 및 위성항법 신호에 직간접적으로 영향을 끼치기 때문에 지속적인 감시와 예보가 필요하다.

연구 목표

본 연구에서는 각종 측정 자료로부터 한반도 상공 전리권의 상태을 3차원으로 추산하고, 물리화학적 과정을 모사하는 모델을 개발하여 단기적 전리권 상태 변화를 예측하고자 한다.

연구결과

전지구 전리권 물리모델을 기반으로 국지적 3차원 전리권 모사 모델을 개발하였으며, 북한 로켓 (광명성-4호) 발사시 전리권 변화 측정 자료로부터 로켓의 분사율과 분사 성분을 추정하였다.

활용사례

국립전파연구원 우주전파센터의 전리권 예측모델의 기반으로 활용하였다.

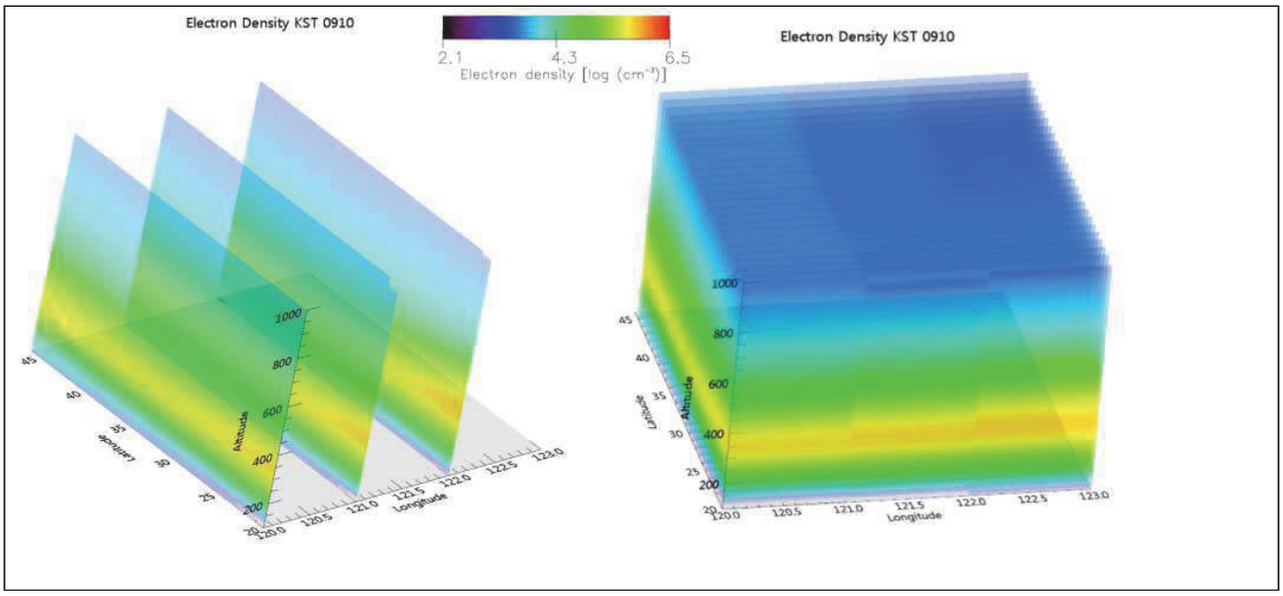
기존지식/ 기술대비 차별성

기존의 전지구 전리권 물리모델 (SAMI-2)은 국지적인 전리권 모사에 정확성이 떨어지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 한반도 인근에 맞게 구획하고, 태양 X-선 플럭스 효과를 추가하고, 이오논존데 자료와 GPS/TEC 자료를 동화할 수 있는 모델을 개발하였으며, 세계 최초로 4D-Var 기법을 전리권 구조 분석에 사용한 사례로, 향후 응용가능성이 풍부하다.

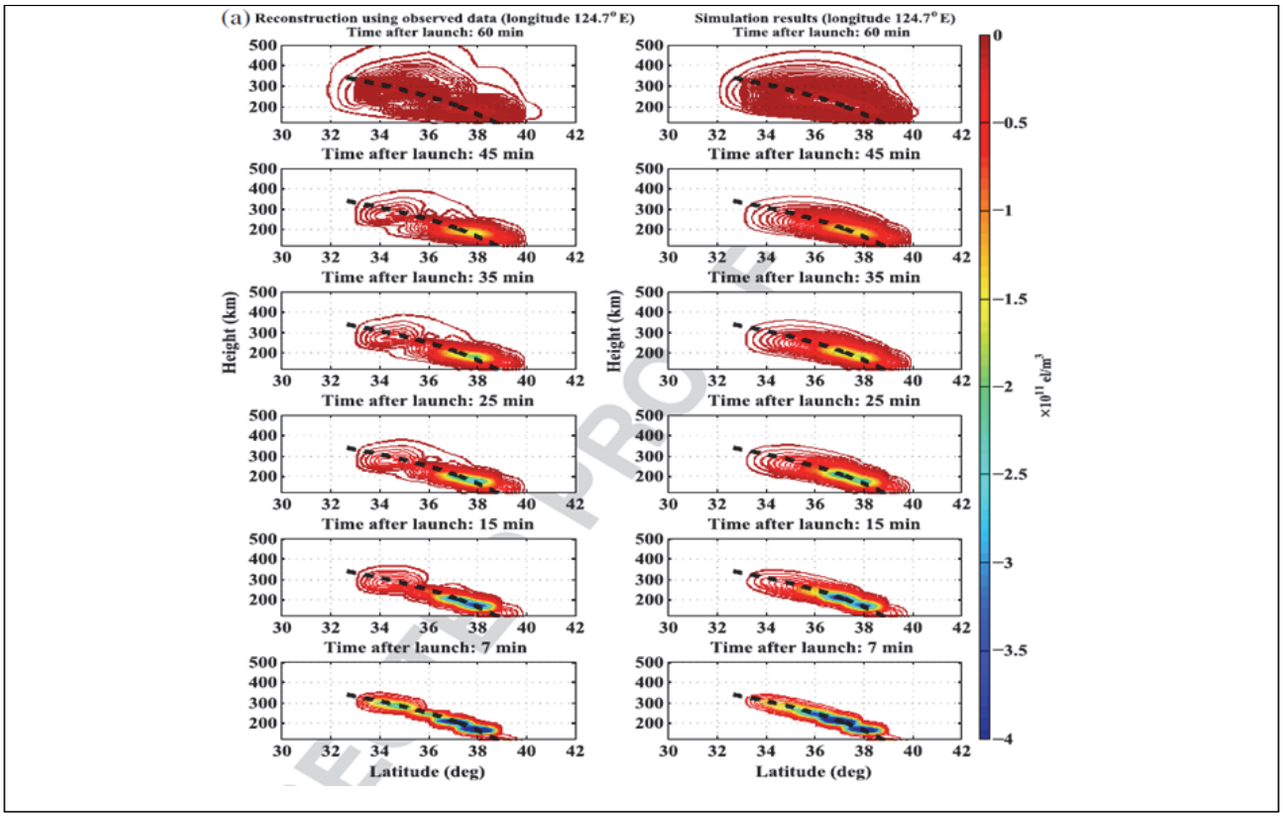
활용 가능 분야

○ 국지 전리권 단기 예보 모델 개발의 기반으로 활용
국립전파연구원 우주전파센터의 단파 통신 예보 모델 향상 및 GPS 신호 두절/감쇄 현상에 전리권 상태 요인 분석에 활용이 가능하다.

○ 국지 전리권 변화를 분석하는 도구로 활용
각종 로켓 분사의 전리권 영향 분석 및 북한 로켓의 특성 분석이 가능하다.



▲<그림 1> 국지전리권 예측 모델의 출력 예시



▲<그림 2> GPS/TEC 자료로 구성한 북한 광명성-4호 로켓 분사로 인한 전리권 감쇄현상

성과명	(6) 탐사 로버를 이용한 광범위 달 탐사를 위한 무선 임펄스 기반 위치추적센서 및 시스템 개발		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	김 태 욱
연락처	02-2123-5770	이메일	taewook.kim@yonsei.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	무선 임펄스 통신, 위치추적기술, 달 탐사, 도래시간 차 측위, 센서		

상세 성과내용

연구의 필요성

단기간 동안 넓은 범위의 달 탐사를 하기 위해서는 다수의 탐사로버들을 활용해 동시에 탐사를 진행하는 것이 필요한데, 이를 위치 추적 시스템을 이용하여 탐사 진행 중인 탐사로버 위치를 실시간으로 파악할 필요가 있다. 또한 무선 임펄스 송수신기를 이용한 거리측정 모듈을 활용하여, 탐사로버의 3차원 공간 상 위치 정보를 실시간으로 산출 가능하기 위해서는 측위 알고리듬의 설계가 필수적이며, 우주공간에서의 광범위 달 탐사를 효율적으로 수행하기 위해서는 장거리 측위기술이 가능해야 하므로 기존 개발된 무선 임펄스 하드웨어 구조의 성능보완 연구를 수행하여야 한다.

연구 목표

본 연구는 달 탐사 시에 탐사로버의 위치를 기준 모선으로부터 탐사 반경을 획기적으로 늘릴 수 있도록 무선 임펄스 통신을 기반으로 하는 위치추적 센서 시스템을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 송수신 위치추적 센서 칩을 개발하여 실시간으로 광범위한 반경에서 여러 탐사로버들의 위치를 동시에 감지하기 위해서 탐사로버 간 센서 네트워크 기반 실시간 위치 탐지 기법을 활용하는 위치추적 시스템을 개발하였다.

연구결과

-80 dBm 수신감도, 50 dB 이득 변환을 가지는 무선 임펄스 수신기를 개발하였음. 또한 0dBm/MHz 수준의 출력을 갖는 무선 임펄스 송신기를 개발하였다.

무선 임펄스 기반 거리측정 하드웨어 구현을 위한 시간-디지털 변환기(TDC)를 개발하였을뿐만 아니라 1° 각도 해상도를 가지는 빔포밍 송신기 모듈을 개발하였으며, 제약 조건을 포함하는 도래시간 차 강인 최소자승 측위 알고리듬을 설계하였다. 위 결과에 이어 도래시간 차 측정치를 사용하는 위치추적 알고리듬을 개발하였다.

활용 사례

무선 임펄스 기반의 위치 추적기술은 달 탐사뿐만 아니라 실생활에서도 적용이 가능한 기술이다. 무선 임펄스 기반의 위치 추적 시스템은 GPS로 정확한 측위가 불가능한 건물 내부에서도 대상의 정확한 위치 파악이 가능하다. 이러한 기술은 재난 발생 시 구조원간의 위치를 실시간으로 파악하며 서로 협력할 수 있는 시스템을 구축하여 구조 활동을 효율적으로 진행시켜 인적, 물적 피해를 최소화 할 수 있음. 또한 공장 내의 기계들이 서로 통신하며 위치를 파악하고 네트워크를 구축해 공장 전체에 대해 사무 자동화를 이루어 낼 수 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

2017년 기준, 전 세계적으로 달 표면에 탐사로버를 주행시킨 국가는 3국 뿐이며, (구 소련, 미국, 중국) 기존에 개발된 탐사로버들은 상대 위치정보를 기반으로 하여 지구 상에서 탐사로버를 조종하며, NASA에서 개발한 대표적인 화성탐사 로버인 'Curiosity'가 이러한 기술을 채택한 것으로 알려져 있다. 모선-탐사로버 간 상대기하 측정치 정보를 활용하여 탐사로버의 절대 위치를 산출할 수 있는 센서 하드웨어 기술 및 측위 알고리듬 연구를 진행하는 기관은 전 세계적으로 찾아보기 힘들며, 어떤 센서 하드웨어를 구성하는 것이 최적의 기술인지를 알려주는 연구 결과가 없는 상황이다.

우리나라에서도 우주 탐사의 자체 원천기술 확보를 위해 국내 우주연구 개발을 위한 달 탐사기술 관련 연구가 크게 진행되고 있으나, 탐사로버의 절대 위치추적 시스템을 자체적으로 개발하는 연구를 수행하는 비율은 상당히 낮다.

활용 가능 분야

○ 로봇 서비스 산업

실내 위치추적을 위해 제안된 측위 시스템을 도입하여 로봇의 현재 위치를 실시간으로 확인 가능하게 보다 정확하고 신속한 자율주행 체계를 구축할 수 있다.

○ 자동차 산업

무선 임펄스 기술의 장점인 높은 해상도를 활용하여 정밀 자동주차, 차량 간 통신(V2V) 구축 등 자율주행이 가능한 스마트 차량산업에 필수적인 기술로 자리매김이 가능하다.

○ 공장 자동화 산업

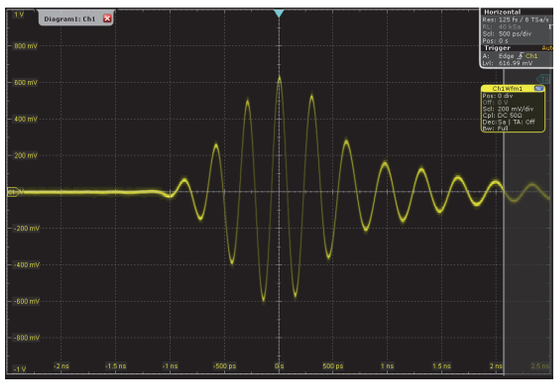
공장 내의 자동화 로봇의 실시간 위치정보를 활용하여 공장의 제어시설 자동화 설비를 갖출 수 있으며, 공장 자동화 로봇에 자율주행 기능을 추가할 수 있다. 또한, 물품 양산의 효율을 위해 지정된 자리에서 동일한 작업/공정을 진행하는 공장의 특성 상, 작업을 수행하는 로봇의 일정한 이동 경로를 제어할 수 있는 알고리듬이 제안된 위치추적 시스템과 병합될 경우 무인 자동과 공장 구축 가능성이 매우 높아지고 있다.

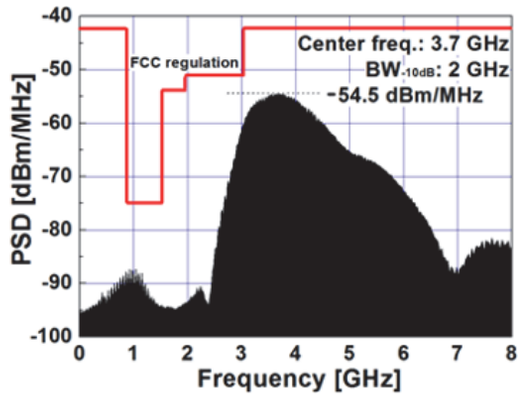
○ 물류 산업

빠르고 정확한 운송이 요구되는 본 산업에서, 기존에 사람을 동원하여 직접 분류하는 운송 시스템에 제안된 위치추적 시스템을 도입함으로써 착오로 인한 미발송 등의 실수를 줄일 수 있고, 사람의 능력으로는 수행하기 버거운 작업을 로봇이 수행하여 효율적인 운송 체계를 확립할 수 있다.

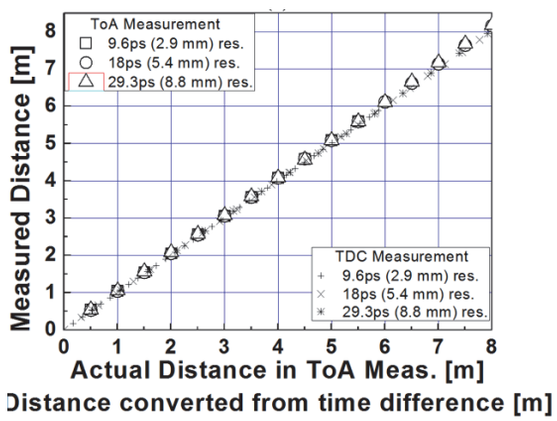
○ 실내 재난에 즉각적인 대응

예기치 못한 재해/재난으로 인하여 실내에 갖힌 사람들을 효율적으로 발견 및 구출하는 작업을 수행하기 위해서는 여러 구조대원들이 서로의 위치 정보를 실시간으로 공유할 수 있어야 하며, 이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 위치추적 시스템을 활용할 수 있다.





▲<그림 1> 실제 무선기 송수신기 측정결과



▲<그림 2> TDC 기반 위치추적 수신기의 실제 거리 측정 결과

성과명	(7) 달 표면의 시료채취와 탐사를 위한 협업 매니퓰레이션 및 네트워크 체계 연구		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	김 현 진
연락처	02-880-9252	이메일	hjinkim@snu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	매니퓰레이션, 영상 항법, 자율 주행, 다중 로봇		

상세 성과내용

연구의 필요성

자율 탐사 작업에 영상 항법 시스템이 필수적이나, 비정형적이고 명암 차가 극심한 환경에서 성능 저하되는 문제점이 있어, 단일 로버의 고장, 운용 시간 제약, 발사 비용 대비 효율성 문제 등에 대한 대응 기술 필요하다.

연구 목표

로버들 스스로 주변 지형과 이동 가능성을 판단하여 협력적으로 작업을 수행하는 자율 항법 및 다중 로버 네트워크 시스템 운용에 필요한 핵심 기술을 개발하였다.

연구결과

불규칙한 조도 변화에 강건한 영상 기반 주행거리 측정 시스템 및 방법(등록번호 10-1766823)에 대한 특허를 출원하였다.

활용사례

GPS 가 동작하지 않고 조도가 불규칙적으로 바뀌는 환경에서 영상 기반 자율 주행 기술 개발 및 카메라를 탑재한 차량으로부터 도로 주변 구조물이나 다른 차량 등에 대한 3차원 정보 추정 기술을 개발하였다.

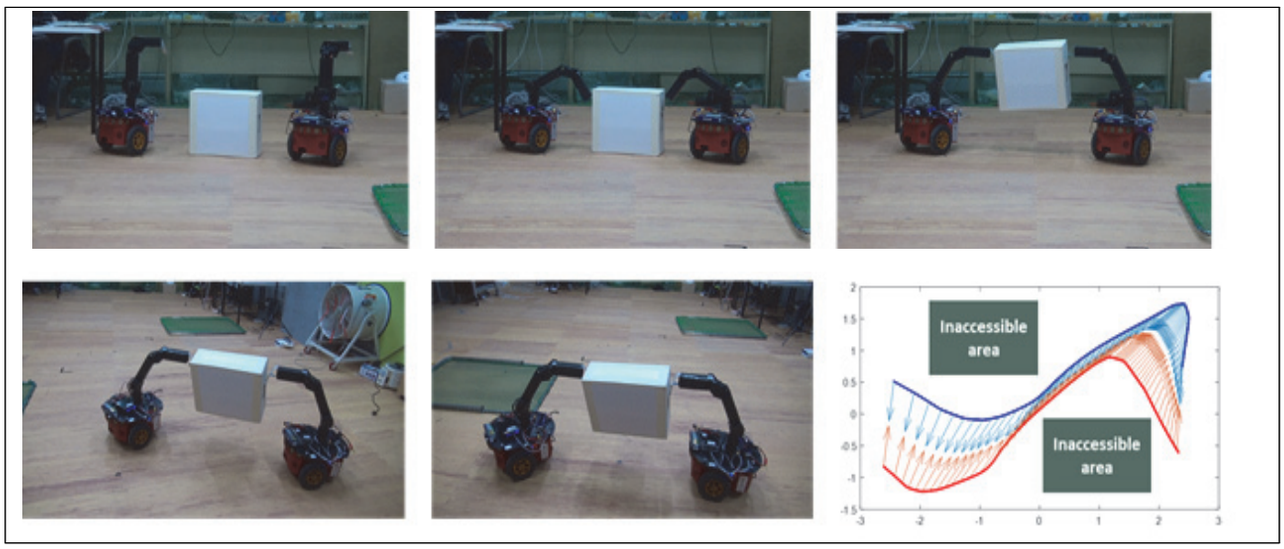
기존지식/ 기술대비 차별성

기존 영상 기반 항법 기술은 조도가 일정하다고 가정을 기반으로 하기 때문에 빛 조건의 변화가 사전에 알려지지 않고 갑자기 발생할 경우 추정 정보가 발산하게 된다. 본 기술은 광도 변화 모델 내의 변수를 설정하고 영상 내의 패치들이 서로 다른 변화 모델을 따른다고 설정하여 이를 카메라의 6자유도 운동과 함께 추정함으로서, 프레임간의 전체적인 빛 변화 뿐 아니라 부분적인 변화까지 보상이 가능하다.

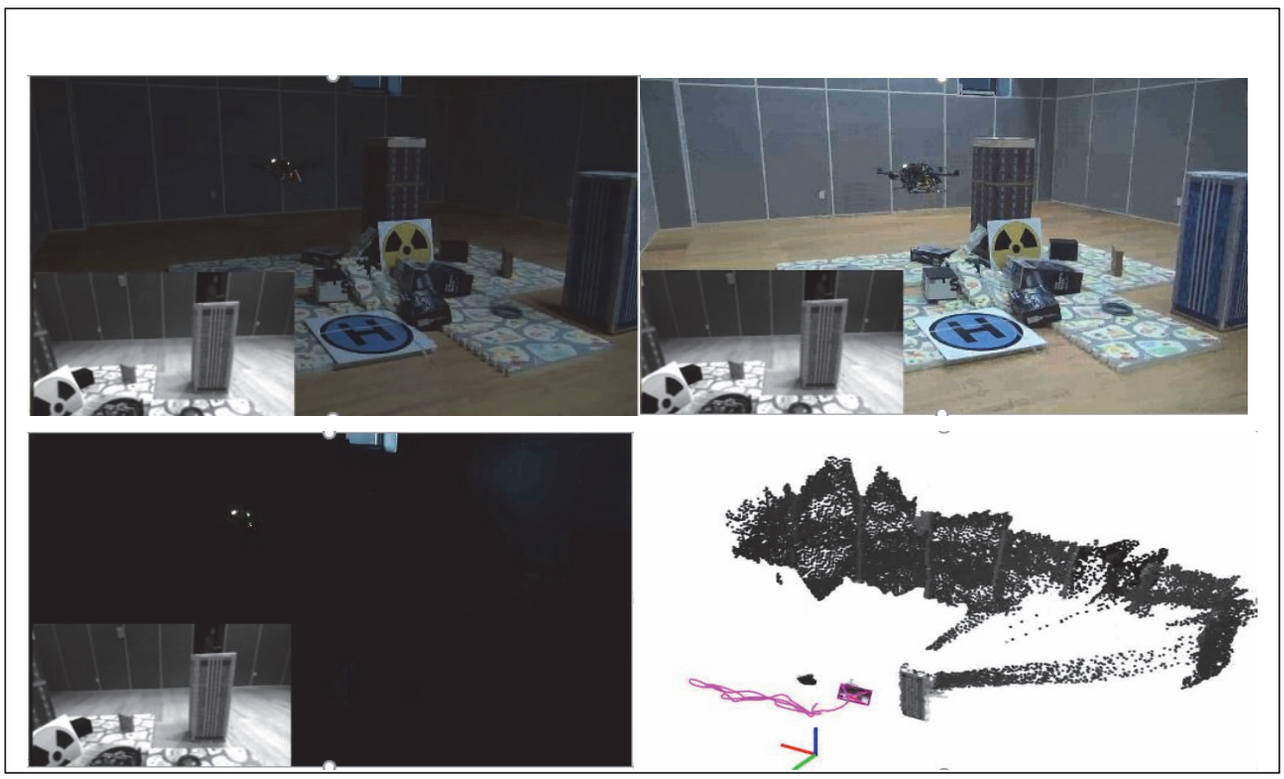
활용 가능 분야

○ 원격 탐사 및 자율 작업
소형화 된 다수의 로봇을 이용하여 발사 비용을 높이지 않고서도 탐사 효율 증대 및 고장에 대한 강건성을 높이는 기술은 원격 탐사, 넓은 공간에서의 로봇 작업에 활용이 가능하다.

○ 자율 주행 및 자율 비행
자율주행차량, 도심 모빌리티 등의 신산업 분야에서는 GPS 등이 동작하지 않는 상황에서 안정적인 항법 솔루션이 필수적으로, 본 과제에서 산출된 특허 기술은 조명 조건에 대한 민감성을 낮추기 위해 활용 가능하다.



▲<그림 1> 협업형 매니퓰레이션을 이용한 물체 조작/운송



▲<그림 2> 조명이 갑자기 바뀌는 상황에서도 안정적인 자율 비행을 가능하게 하는 영상 항법 기술로 적용한 사례(후속 연구)

성과명	(8) 로켓플룸-월면 상호작용 및 표토입자 분산 예측기법		
주관연구기관	경상대학교	연구책임자	명 노 신
연락처	042-772-1645	이메일	myong@gnu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	착륙선, 우주탐사선, 플룸-표면 상호작용, 착륙 리스크		

상세 성과내용

연구의 필요성

달착륙선이 자세제어와 착륙 하강속도 감소용 로켓추진노즐들을 이용하여 월면 착륙지점에 접근할 경우, 로켓추진노즐로부터 고속으로 배출되는 기체 플룸이 월면에 충돌하게 되며, 수백 kg 이상의 표토입자를 분사시킨다. 이로 인해 표토입자가 달착륙선 본체와 센서에 충돌할 경우, 부품의 물리적 손상 및 기능 오작동을 야기하여 달탐사 임무에 막대한 지장을 초래할 수 있다.

연구 목표

달착륙선 비행의 가장 위험한 단계인 월면고도 약 30미터부터 시작되는 착륙과정 중 수반되는 로켓플룸-월면 -입자분산 상호작용에 관한 해석모델과 전산모사 시뮬레이션 기술을 개발하는 것을 목표로 한다.

연구결과

로켓 플룸과 달표면, Regolith 입자의 상호작용은 Dust와 진공으로 분출되는 고속기체의 상호작용을 묘사하는 수학적 모델을 개발한 다음, 연속-희박영역을 단일체계에서 계산하는 2차 구성모델 기반의 전산 시뮬레이션 기술을 개발하였다.

활용사례

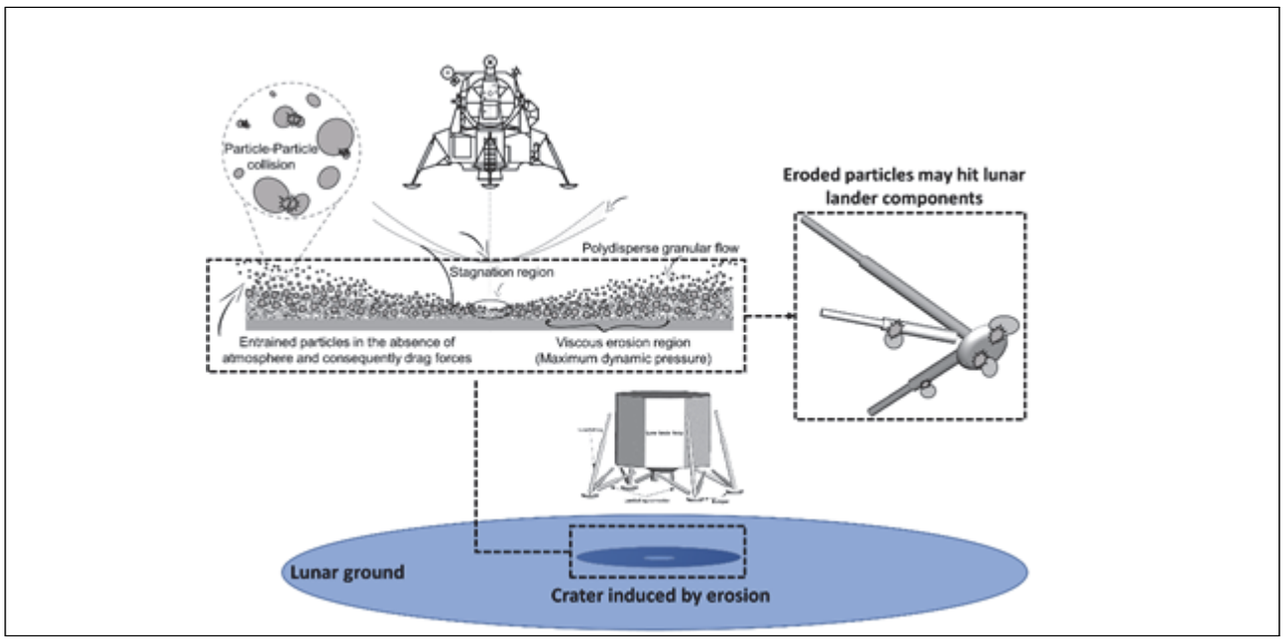
Crater Dimension 등의 착륙 시 지면의 Hazard가 어느 정도일 때 회피해서 착륙해야 하는지를 판단하기 위한 지면의 Hazard에 따른 착륙 유무, Parametric Study, Landing Leg의 Shielding 문제에 활용하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

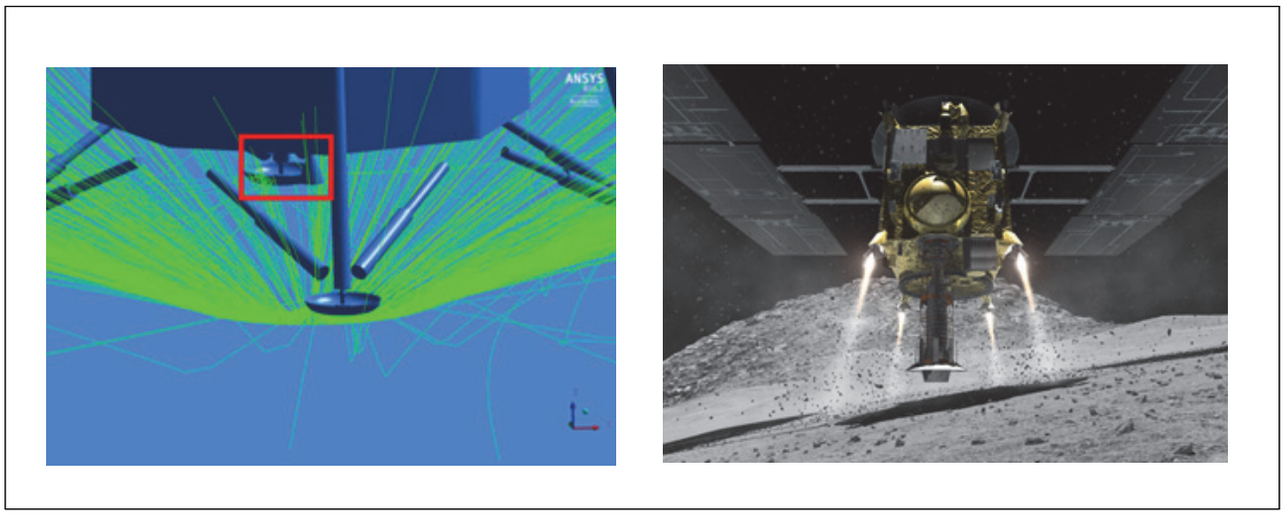
면의 희박상태 기체 거동을 효율적으로 묘사할 수 있는 Boltzmann 방정식 기반의 신규 연속류-자유류 단일체계 해석기법을 개발하였음. Apollo 우주비행사 John Young이 최근 “Dust is the number one concern in returning to the moon”라고 고백한 문제를 해결하고자 하는 최초의 시도이다.

활용 가능 분야

달착륙선의 경사착륙, 노즐 각 변경, Multi-engine 시스템 등과 같은 도전적인 문제로 확장이 가능하며, 특히 다중노즐에 의한 플룸-플룸 및 다중플룸-월면 상호작용은 단일노즐에 비해 집중 효과 등 일부 차별된 결과를 산출할 것으로 예상한다. 또한 달 탐사 후 샘플 귀환시 수반되는 이륙 (Ascent) 비행 시뮬레이션 추가연구로 이어질 수 있으며, 착륙 경우보다 높은 에너지가 소요되어 로켓플룸-월면-입자분산 상호작용에서 Heat Flux물리 현상이 중요할 것으로 예상한다. 그리고 소행성 등 달 이외의 우주 탐사선 착륙 문제에도 활용이 가능하다.



▲<그림 1> 달착륙선 착륙 단계 플룸-표토입자 상호작용 및 취약 구성품



▲<그림 2> 우주 탐사선의 경사 착륙 시뮬레이션

성과명	(9) 리소그래피 기반으로 제작된 3차원 다공성 탄소 패턴을 적용한 초소형 슈퍼커패시터		
주관연구기관	서강대학교	연구책임자	문 준 혁
연락처	02-705-8921	이메일	junhyuk@sogang.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	광간섭 리소그래피, 3차원 탄소 패턴, 마이크로슈퍼커패시터, 부피당 에너지밀도		

상세 성과내용

연구의 필요성

유선 충전이 불가능한 우주에서, 장수명, 고에너지, 고출력 및 높은 구동 안정성을 갖는 에너지원은 필수적이다. 최근 상대적으로 고에너지 밀도의 리튬 이차 전지가 인공위성 및 우주복 등에 활용되고 있다. 그러나, 리튬전지의 폭발, 발화의 문제는 우주환경에서 생명과 직결되는 문제이므로, 개선이 필요하다. 본 연구에서는 기존 리튬 전지의 안전성 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 새로운 형태의 커패시터 기반 소형 에너지 저장장치를 개발한다.

연구 목표

본 연구에서는 초소형 수퍼캐패시터를 개발한다. 구체적으로는 카본나노구형입자를 기반으로 한 인터디짓 형태의 in-plane 타입의 전고체 수퍼캐패시터를 개발한다. 이를 위해 고밀도 카본 소재를 개발하고, 이것의 나노구조 및 전기적 특성을 제어한다. 전고체 마이크로 수퍼캐패시터 소자 최적화 및 전기 화학 평가를 수행한다. 10 mWh/cm3 수준의 부피당 에너지 밀도 및 30 W/cm3 수준의 출력 밀도 (상용 리튬 박막 전지 대비 우수한 특성)의 초소형 수퍼커패시터를 개발한다.

연구결과

본 연구진은 3차원 광간섭 리소그래피를 이용하여 제작한 고분자 패턴을 탄화하여 고에너지밀도 초소형 슈퍼커패시터를 제작하였다. 플라즈마 에칭 공정을 이용하여 인터디짓형 전극을 제작하였다. 고분자 젤 전해질을 이용하여 전고체 소자를 제작하였다. 7.1 mF/cm2의 고용량과 100 mV의 높은 주사 속도에서도 81 %의 용량 유지를 달성했다. 또한, 7.1 mWh/cm3의 부피당 에너지밀도와 66 W/cm3의 출력밀도를 달성했다.

활용 사례

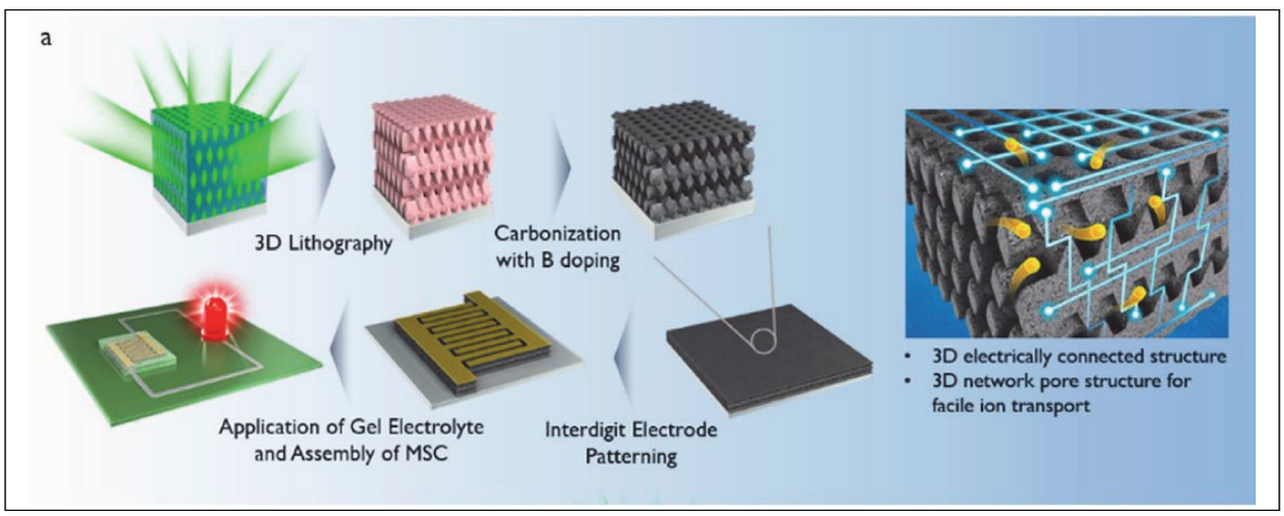
현재 연구진에서 개발한 in-plane 슈퍼커패시터는 기본적인 성능을 확보한 단위소자를 확보하였다. 대량 생산이 가능한 공정개발을 통한 특허 확보로 기술이전을 도모한다. 또한 우주 분야외에 초소형 에너지저장 소자가 요구되는 웨어러블 소자에 적용이 가능할 것이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

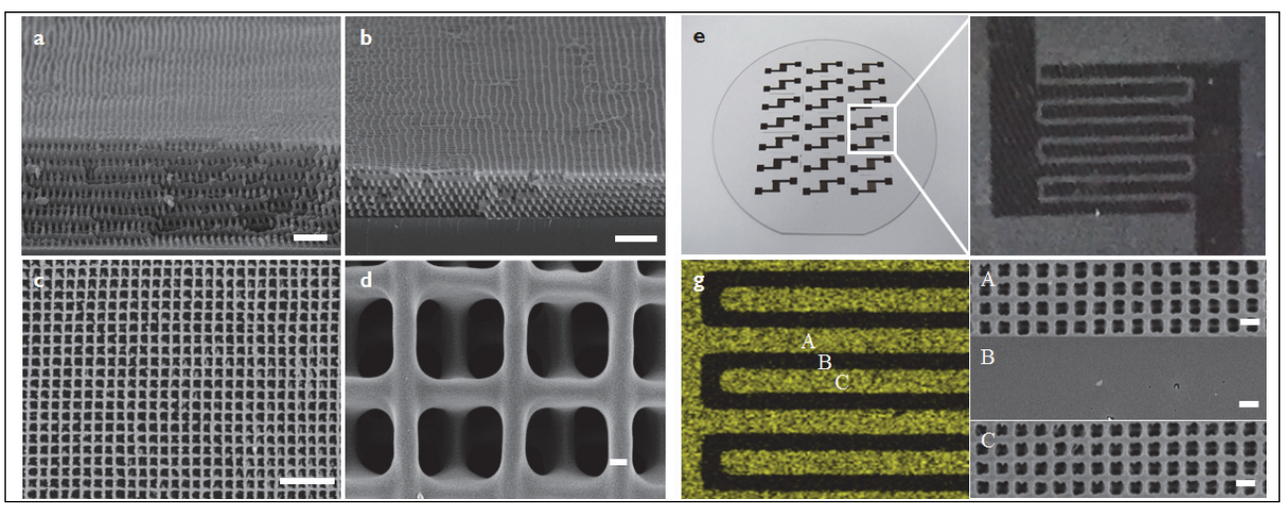
기존 마이크로미터 두께의 얇은 탄소 전극의 경우 부피당 에너지밀도 측면에서 충분한 성능이 발현되지 못하였다. 본 연구에서는 네트워크 기공구조를 갖는 카본 전극을 제작하고, 커패시턴스를 약 10배 향상시켰다. 초소형 소자를 위한 카본 전극으로 기존 카본의 성능 한계를 넘을 수 있는 소재로 활용 가능성을 보였다.

활용 가능 분야

○ 본 연구의 3차원 다공성 카본 패턴은 기존 탄소 전극보다 더 얇은 전극 두께임에도 불구하고 마이크로 슈퍼커패시터 적용 시 고에너지밀도를 달성하여 차세대 에너지 저장소자의 소형화에 기여할 수 있다. 네트워크 기공에 의해 향상된 유사커패시턴스는 높은 주사 속도와 전극 너비의 변화에도 용량 손실이 없는 것으로 확인되었다. 본 연구의 카본 패턴은 고용량 및 고출력의 다양한 에너지 소자 구현이 가능할 것으로 판단된다.



▲<그림 1> 3차원 네트워크 카본 패턴-초소형 수퍼커패시터 제작



▲<그림 2> (좌) 3차원 카본 패턴의 전자현미경 이미지, (우) 박막으로 구현된 양극/음극의 전자현미경 이미지

성과명	(10) MEMS 마이크로미러 기반의 고출력 광원 스캐닝 광학계를 이용한 원격 탐사 LIDAR 연구		
주관연구기관	단국대학교	연구책임자	박 재 형
연락처	031-8005-3640	이메일	parkjae@dankook.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	LIDAR, 스캐닝 마이크로미러, 고출력 광원, 원격 탐지, MEMS		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 탐사 로봇과 소형 위성에 탑재될 수 있는 원격 탐사 LIDAR 센서 적용을 위해서는 고속 스캐닝 광학소자 및 광학계의 소형화와 경량화가 가능하여야 한다. 이를 위해서는 고출력 광원을 원하는 곳으로 반사시키는 조향장치의 소형화가 필수적이다.
기존의 반사경을 통한 레이저 조향은 무거운 중량을 갖기 때문에 소형 인공위성과 소형 탐사로봇에 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 MEMS 기술을 적용하여 LIDAR의 초소형화 및 초경량화를 통해 다양한 응용이 가능하다.

연구 목표

본 연구의 최종 목표는 극한 우주 환경에서 우주탐사 로봇과 소형 위성에 탑재될 수 있는 원격 탐사 LIDAR (Light Detection and Ranging) 센서 적용을 위한 마이크로미러 기반 고출력 광원 스캐닝 광학 시스템 기반 기술을 개발하는 것으로서 스캐닝 마이크로미러를 최적화하고 마이크로미러 및 고출력 광원이 결합된 LIDAR 광학 시스템을 구현하여 원격 감지 성능을 검증한다.

연구결과

○ 고출력 광원 스캐닝 마이크로미러 설계 및 제작
- 로렌츠 힘을 이용한 전자기력 2축 구동 마이크로미러 프로토타입 제작
- SiOG 기판을 이용함으로써 간단한 제작공정을 구현 (4장의 Photolithography 마스크)
- 마이크로미러 구동각 극대화를 위한 자석 최적결합 구조 설계 및 하우징 제작
- 굴절률이 다른 박막 다층 구조를 적용한 반사율 개선 최적 구조 설계 및 표면 제작

○ 고출력 광원 스캐닝 마이크로미러 성능 분석 및 최적화
- 레이저 스캔 변위 측정 PSD와 주파수 가변 FPGA 보드를 적용하여 공진주파수 특성분석
- 마이크로미러 인가 전류에 따른 대각 회전각 구현
  (수평축 광학 스캔각도: 24.45°, 수직축 광학 스캔각도: 26.32°)
- 펄스 신호 인가를 통한 마이크로미러 응답속도 측정
- 수직축 및 수평축 동시 구동을 통한 레이저 스캔 실험
- 다층 박막구조의 마이크로미러 적용 특성 분석 및 고출력 내구성 개선 (반사도: 96.2%)
- 진공 패키징 적용이 가능한 전자기력 구동 마이크로미러 구조 제안 및 설계

○ 스캐닝 마이크로미러를 적용한 LIDAR 광학계 프로토타입 구현
- 스캐닝 마이크로미러 적용이 가능한 원격 거리 탐지 LIDAR 광학계 설계 및 구현
- Indirect 방식의 TOF(Time of Flight) 방식을 적용한 LIDAR 광학계 구현
- 레이저 송신부와 광센서 수광부의 렌즈 및 하우징 설계
- 스캐닝 마이크로미러의 속도와 레이저 펄스 폭 및 주파수 고려를 통한 거리 정보 이미지 데이터 추출 방식 설계 및 적용

- 마이크로미러 레이저 스캐닝 방식을 이용한 원격 탐지 3D 이미징을 위한 수신부 신호처리 방식 설계

○ 웨이퍼 단위 진공패키징 전자기력 2축 구동 마이크로미러 구현
- 수평, 수직축 공진주파수 11.92 kHz (Q-factor 1923), 1.76 kHz (Q-factor 765.9)최대 광학 스캐닝 각도 26.3°구현

○ 고출력 광원 스캐닝 마이크로미러 반사도 개선
- Optical peak power 6W 이상의 ns pulsed laser 스캐닝 마이크로 미러 구동 신뢰성 검증
- 2.3W 급의 고출력 fs pulsed laser 구동 신뢰성 확보(6시간 연속 구동 시 구동각도 0.16° 이하, 공진주파수 2 Hz 이하의 변화 신뢰성 구현)
- 미러 표면 반사도 96.3% 달성

○ 마이크로 미러와 고출력 광원 모듈 결합 LIDAR 시스템 구현 및 성능 평가

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 본 연구에서 개발한 마이크로 미러는 웨이퍼 단위로 진공 패키징된 2축 전자기력 구동 마이크로 미러로서 11 ㎜ x 8 ㎜ x 13 ㎜의 초소형 레이저 스캐닝 유닛으로 적용될 수 있으며 저전력, 광각 변위 스캐닝이 가능하다.

○ 기존 LIDAR 시스템은 큰 크기의 반사거울을 직접 회전하거나 광학계 자체가 회전하는 구조로 크기나 중량이 매우 크다. 소형 무인 탐사기나 자율 주행차, 우주탐사 로봇 등에 적용하는 데에는 한계가 존재한다. 작고 효율적인 LIDAR 광학계는 여러 응용에도 적용이 유리하다.

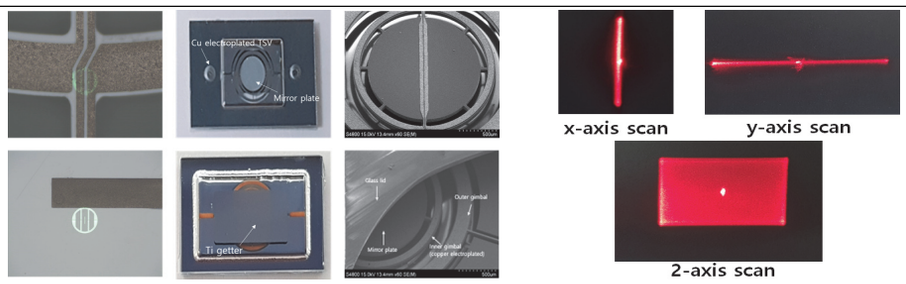
○ 고출력 광원의 마이크로미러 스캐닝에 의한 우주 환경 동작 및 지형탐사는 보고된 바가 없어 다양한 우주 탐사 기술 및 무인 자율 자동차 등의 원격 센서로 적용 가능한 기술로서 관련 핵심기술 선점에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

활용 가능 분야

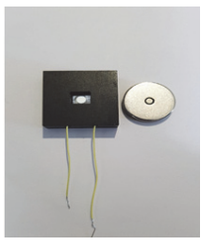
○ 고출력 광원 스캐닝 마이크로미러 기반 원격 탐지 광학계는 라이다에 응용하여 우주 및 환경 분야에서 초고층대기의 미량성분 분포 측정, 태양광의 세기 및 흡수도 분석, 인공별 생성 등에 이용 가능하다. 또한 의료, 제조업, 환경, 기상, 국방 등 광범위한 영역에서 활용 가능하다. 의료 분야에서는 내시경에 장착하여 레이저 매스와 무절개 암세포 제거 내과 수술이 가능하고, 그 정밀성과 시술 편의성을 높일 수 있다. 산업적으로 반도체 칩 표면 인쇄, 리모콘 문자판 인쇄 장치, 영화필름 면상의 자막 인쇄 장치 등의 소형화가 가능하고 가격 경쟁력을 높일 수 있다. 기존의 대면적 거울과 달리 MEMS 기술을 이용한 스캐닝 마이크로미러는 고속으로 회전이 가능하고 초소형화, 초경량화에 유리하며 저전력 구동이 가능하므로 혁신적인 고출력 광원 응용 제품 개발을 더욱 앞당길 것으로 기대된다.

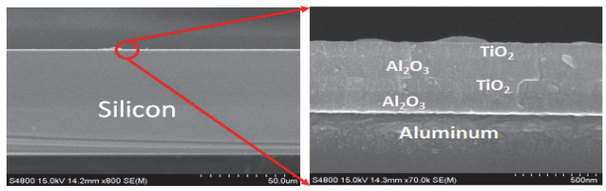
○ 고출력 광원을 스캐닝할 수 있는 마이크로미러의 개발은 높은 에너지의 광원에 견딜 수 있는 반사면을 확보하여야 함과 동시에 큰 변위와 넓은 반사면, 기계적 안정성, 우주환경 탑재성을 고려한 저전압 구동 특성까지 구현하여야 하는 어려운 기술이다. 또한 고출력 광원을 마이크로미러를 적용하여 스캐닝하고 측정 대상에서 반사되어 나오는 빛을 집속하는 광학 장치 기술은 우주 탐사 로봇과 소형 위성에 탑재되는 광학 센서 시스템에서 다양하게 적용될 수 있다.

○ 본 과제를 통하여 고출력 광원 스캐닝 마이크로미러의 제작 기술과 이를 이용한 광학 센서 시스템의 기반 기술을 확보할 수 있다. 이는 우주 환경에서의 무인/원거리/광대역 탐지를 가능하게 하고 동시에 LIDAR 원격 탐지 장치의 소형화, 경량화를 위한 핵심 기술로서 활용이 가능하다. 적외선 분광 및 라만 분광법을 원거리 광대역 탐지 장치로도 운용할 수 있을 뿐만 아니라 현재의 라이다 시스템의 성능 개선 및 초소형화에도 적용될 수 있는 필수적인 기술로서 활용될 것으로 기대된다.

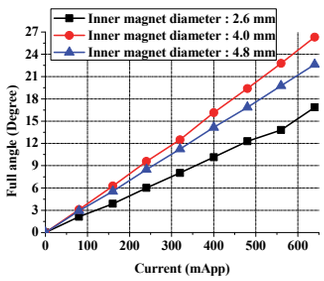


▲<그림 1> 진공 패키징 마이크로미러 및 레이저 스캔 결과

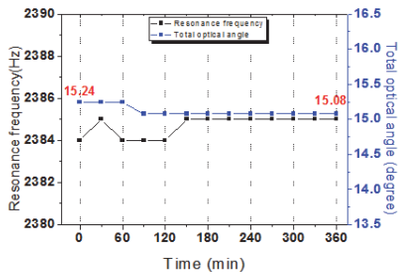




마이크로미러 반사면 표면 확대 SEM 사진

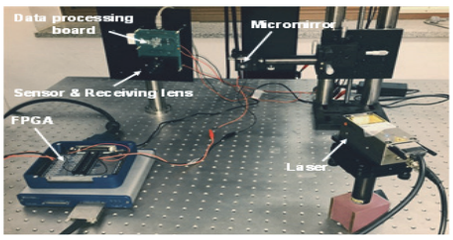


수직축 광학 스캔 각도 측정 결과



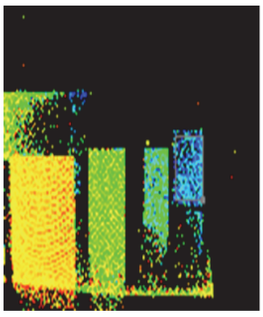
공진주파수에서의 광학스캔각도 변화

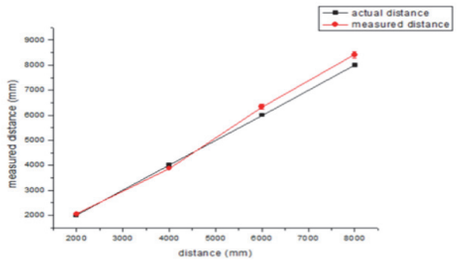
▲<그림 2> 마이크로미러 성능 분석 및 최적화



마이크로미러를 이용한 원격탐지 LIDAR 광학계

각 거리에 따른 Laser scanning LIDAR 이미지





마이크로 미러로 구현된 LIDAR 광학계의 거리 측정값

▲<그림 3> 스캐닝 마이크로미러 기반 LIDAR 광학계 측정 결과

성과명	(11) 3D 클리노스탯을 이용한 마이크로중력 시스템 개발		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	박 준 수
연락처	033-760-2560	이메일	junsoo@yonsei.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	microgravity, AMPK, autophagy, 3D-clinostat		

상세 성과내용

연구의 필요성

국제우주정거장과 생물학 실험용 자체로켓이 없어서 연구자체가 불가능한 상황으로 국내에서 마이크로중력에 의한 세포생물학 연구가 많이 진행되지 않았다.

연구 목표

3D 클리노스탯을 이용하여 마이크로중력 환경을 만들고 세포배양을 통해서 신호전달 등과 마이크로중력이 세포에 미치는 영향을 파악하고 어떤 신호전달에 영향을 주는지를 확인하고자 한다.

연구결과

3D clinostat을 이용하여 마이크로중력을 형성하고, 최적화 조건을 계산하였으며, 3D clinostat에 배양한 세포에서 자가포식(autophagy)과 더불어 AMPK 과련 신호전달이 증가한다는 것을 확인하였다.

활용사례

논문출판 (Microgravity Science and Technology (2017))에 3D 클리노스탯을 이용한 마이크로중력 형성 최적화 연구와 (DNA and Cell Biology (2014))에 세포신호전달 관련 연구를 출판하였다.

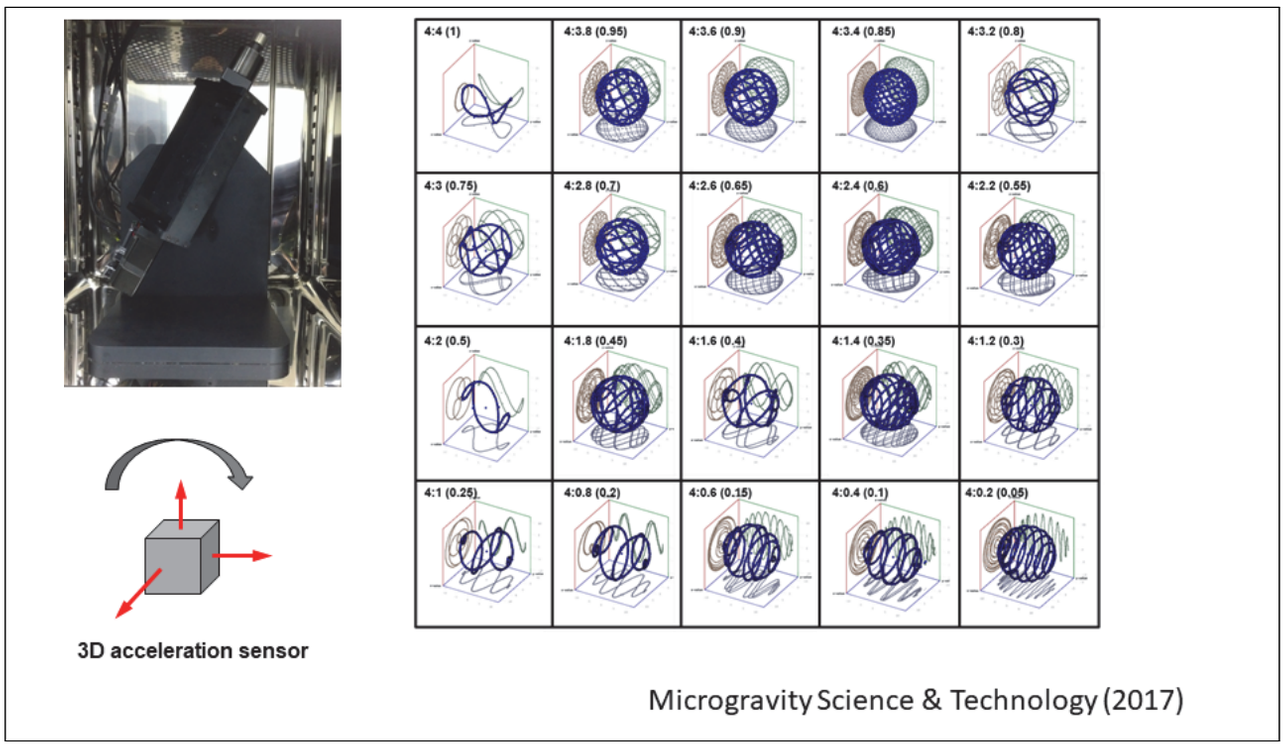
기존지식/ 기술대비 차별성

국내 최초로 3D 클리노스탯을 제작하고 세포신호전달과 최적화 연구를 진행하였다.

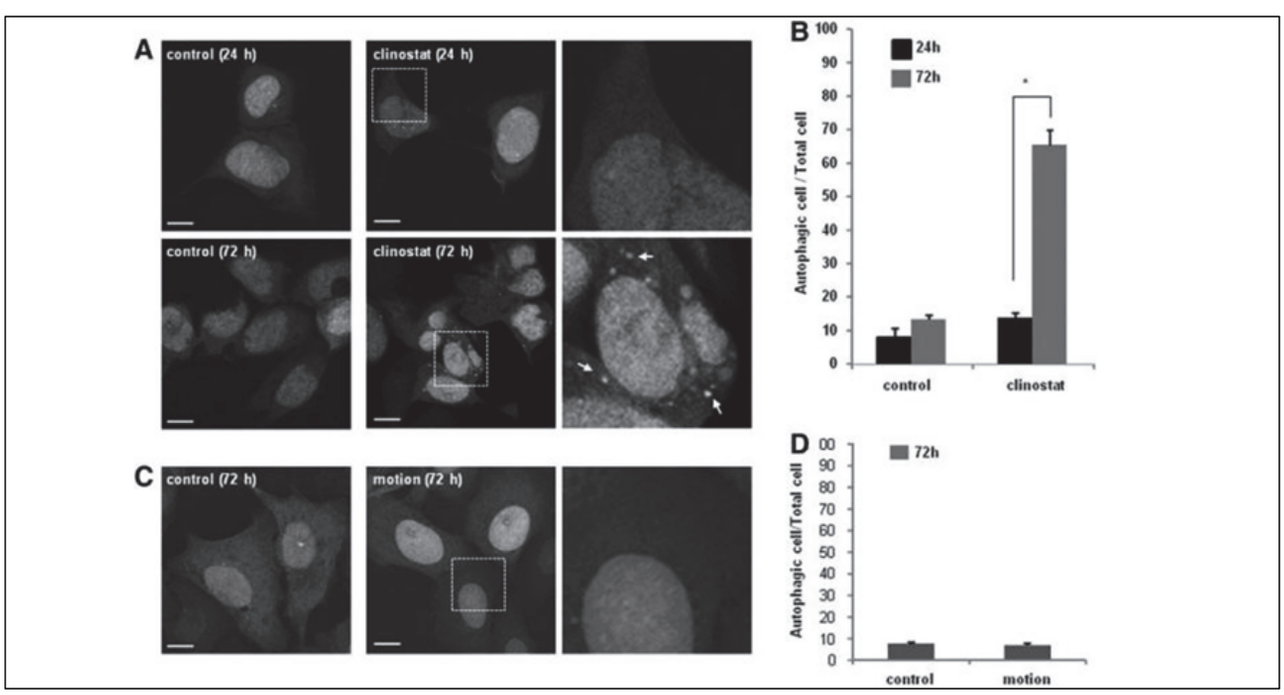
활용 가능 분야

○ 우주실험 선행연구
국제우주정거장(ISS)나 로켓을 이용한 우주생물학 연구를 시도하기 전 선행연구 시스템으로 활용이 가능하다.

○ 중력생물학 분야
세포가 중력과 같은 물리적인 환경에 어떻게 대처하는지에 대한 연구 및 중력이 세포의 신호전달에 미치는 기전 연구시스템으로 응용이 가능하다.



▲<그림 1> 3D-클리노스탯과 최적화를 위한 연구결과



▲<그림 2> 3D-클리노스탯에서 세포배양시 자가포식체(autophagosome) 형성 관찰

성과명	(12) 인공위성 다중영상의 실시간 영상위치결정, 오차보상 및 유지 기술 연구		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	방 효 충
연락처	042-350-3722	이메일	hcbang@ascl.kaist.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	지구관측위성, 실시간 운용, 영상위치 결정 및 오차보상, 다중영상 관측장비, 하드웨어 모의시험		

상세 성과내용

연구의 필요성

첫째, 인공위성 영상 수요가 증가함에 따라 영상위치의 정밀도가 요구된다. 구체적으로는 태풍 이동 경로 예측을 위한 기상 영상 수요가 증가하고 있고, 해양 관측, 대기 관측에 대한 요구가 증가하고 있는 시점에서 정확한 지점이 정밀하게 촬영된 영상이 요구된다. 또한, 급변하는 한반도 정세의 변화를 빠르게 정확히 감지하기 위한 영상이 요구된다. 둘째, 지상 촬영 시 고해상도의 영상을 획득하기 위해 지구의 일부분을 찍어 중첩하는 방식이 사용되는데, 영상촬영 임무 정확도에 따라 중첩 폭이 좁아지게 된다. 따라서 영상 위치의 정확도를 높이는 것이, 반복 수행하는 영상촬영 횟수를 감소시키고, 영상촬영 임무 가용 시간을 증대시킴에 따라 더욱 많은 영상촬영 임무를 수행할 수 있다. 셋째, 영상 위치결정, 오차보상 및 유지를 위한 오프라인 방식의 기술들은 빠른 주기로 변화하는 인공위성 내부 오차요소까지 보상하기에는 한계가 있다. 따라서, 위성에 장착된 탑재 컴퓨터를 통하여 오차요소를 결정하고 보상하는 능동적이고 실시간적인 방식이 요구된다. 넷째, 실시간 영상 위치결정, 오차보상 및 제어 기술은 미국, 유럽 연합에서는 상당 부분이 내부 보안 문서로, 일부 공개된 특허 자료도 세부 기술은 공개되어 있지 않다. 따라서 국제협력을 통한 개발은 불가능하고, 소프트웨어 구매에도 상당한 액수가 요구된다.

연구 목표

1단계 목표는 영상위치결정, 오차보상 및 유지를 위한 기초기술을 확보하고 영상 관측장비의 Scan-mirror 기동보상과 디지털서보루프 기동의 강건제어기법을 연구한다. 또한, 영상 위치결정, 오차보상 및 유지 알고리듬의 통합프로그램을 구현한다. 2단계 목표는 특수임무(궤도보정, 모멘트 보정을 위한 기동) 분석 및 실시간 적용 가능성을 분석하고 영상 위치결정, 오차보상 및 유지 심화 기술을 확보한다. 최종적으로 개발 알고리듬 검증을 위해 HILS 테스트를 수행한다.

연구결과

1단계 연구결과로는 첫째, 영상위치 결정 및 오차보상 알고리즘 개발을 통해 실시간 정밀 궤도, 자세 추정 및 전파기법에 관한 연구를 수행하였고, 관측장비 자체오차 결정 및 영상 오차 보상기법에 관한 연구를 수행하였다. 또한, scan-mirror의 김벌기동 보상 알고리즘을 구현하였다. 둘째, MATLAB 기반의 GUI 시뮬레이터를 개발하여 온보드 컴퓨터 기반의 실시간성 사전 검증을 위한 알고리즘의 성능평가를 수행하였다. 셋째, 핵심기술 알고리즘의 PILS 구현 및 검증을 수행하여 실시간 운용 검증을 위한 PILS 시스템의 기본 구조를 설계하였고, PILS 하드웨어/소프트웨어를 구축하였다.

2단계 연구결과로는 첫째, 특수임무 분석 및 실시간 적용 가능성을 분석함으로써 실시간 정밀궤도, 자세 추정 및 전파기법에 관한 연구, 관측장비 자세오차 결정 및 영상오차 보상기법, 다중영상 관측장비의 거동 보상제어 기법이 적용된 시뮬레이터를 확장하였다. 둘째, 실시간 영상처리 및 영상 생성 시뮬레이터를 개발함으로써 리눅스(Linux) 기반의 영상처리 시뮬레이터의 개발, 온보드 컴퓨터 기반의 알고리즘의 실시간성 검증을 위한 가상영상 위치오차 생성의 성능 평가를 수행하였다.

마지막으로, 핵심기술 알고리즘의 HILS를 구현 및 검증하여 실시간 운용 검증을 위한 HILS 시스템의 기본 구조설계, HILS 하드웨어/소프트웨어 구축, HILS를 활용한 실시간 오차보상 및 유지 시뮬레이션을 수행하였다.

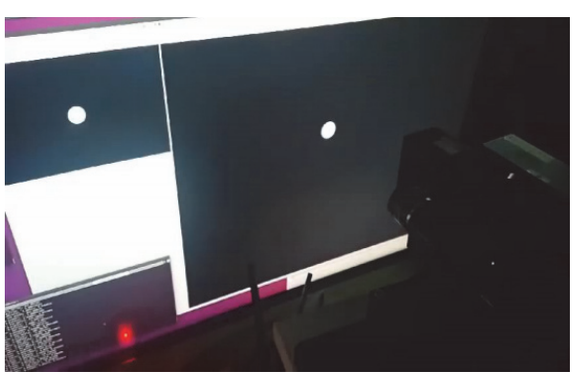
기존지식/ 기술대비 차별성

첫째, 기존의 연구는 지상국 중심의 영상위치 결정, 오차보상 알고리듬 연구가 이루어진 반면, 본 연구에서는 탑재 컴퓨터에서의 실시간 영상 위치 결정, 오차보상 및 유지할 수 있는 기술 연구이다. 둘째, 기존의 타 연구에서는 알고리듬만이 연구되었으나, 본 연구에서는 하드웨어 실험을 통한 알고리즘 검증을 수행하였다. 셋째, 기존의 타 연구에서는 단일 영상탑재체에 대하여, 궤도 및 자세 오차가 있는 경우의 오차보상을 할 수 있는 연구가 진행되었다면, 본 연구에서는 다중 영상 (Multiple-imaging) 탑재체에 대한 오차보상 및 유지가 이루어질 수 있는 알고리듬을 연구하였다.

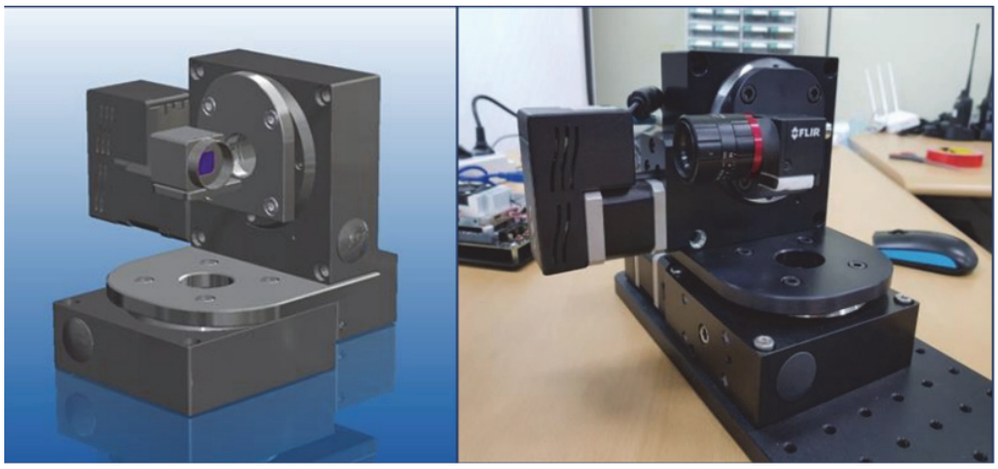
활용 가능 분야

첫 번째로 활용 가능한 분야는 실시간 영상위치 결정 및 오차보상 알고리즘 연구가 있는데, 구체적으로는 실시간으로 영상 위치결정, 오차보상 및 유지 심화 기술 획득, 위성의 궤도 특성 및 성능 해석이 가능한 통합소프트웨어의 개발, 구축한 PILS 시스템을 이용한 탑재소프트웨어 검증 기법 확립을 위해 활용이 가능하고, 추후 국내 인공위성의 탑재소프트웨어 개발 시 관련 기술의 활용방안을 모색하는 데 유용하게 활용할 수 있다. 두 번째로 활용 가능한 분야는 핵심기술 탑재 지상검증 플랫폼 제작이 있는데, 지상검증용 플랫폼 구축을 통한 하드웨어 제작 노하우를 축적할 수 있고, 구축한 HILS 시스템을 이용한 탑재소프트웨어 검증 기법을 확립할 수 있다. 또한, 지상검증 시험데이터 수집 및 분석 소프트웨어 개발에도 사용할 수 있다. 마지막으로 국가 우주개발 사업 관련 인력양성, 국내외 학술활동 및 워크샵을 통한 관련 기술 정보교류, 기술이전 등과 같은 기타목적으로 활용할 수 있다.

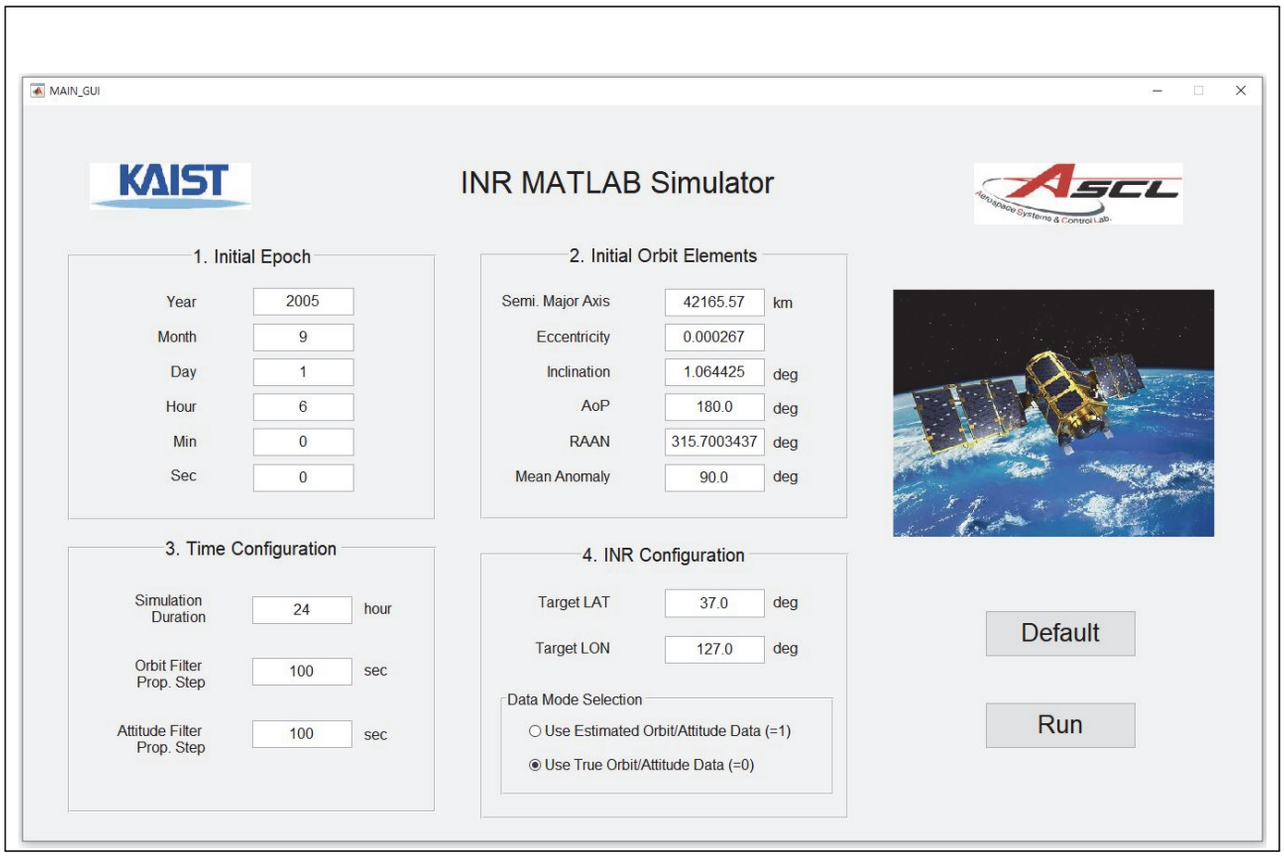
▲<그림 1> 영상위치결정 HILS 검증 플랫폼 시스템 구성



▲<그림 2> HILS 검증 플랫폼 실시간 영상 인식 및 김벌 구동



▲<그림 3> 2축 Scan-Mirror 김발 시스템 지상 테스트 베드



▲<그림 4> 통합 시뮬레이터의 초기 구성화면 및 사용자 입력 부분

성과명	(13) 비용 효율적인 우주환경 시험 플랫폼 제공을 위한 고고도 과학기구 개발		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	이 관 중
연락처	02-880-4152	이메일	kjyee@snu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	해상회수, 고고도 과학기구, 우주환경시험, 영압력기구, 비행시험		

상세 성과내용

연구의 필요성

○ (우주환경 시험인프라의 중요성) 미래 우주발사체 개발/성능향상에 필요한 우주핵심기술개발 시 개발 모듈을 우주환경조건에서 실험할 수 있는 시설 및 인프라가 필수적이다.

○ (우주환경시험의 고비용성) 발사체나 지상시험을 통한 우주환경시험은 막대한 비용이 소요된다.

〈표1. 우주환경시험 플랫폼〉

발사체	• 로켓 혹은 인공위성을 이용하여 시험체를 우주공간에 위치시킨 후 직접 시험 • 발사체의 경우 1회 발사비용 수백억원 소요 * 일본 JAXA의 엡실론 로켓 1회 발사비용 약 400억원
지상시험	• 지상에서 우주환경과 유사한 저압, 저온의 환경을 조성하여 시험 • 지상 우주환경시험 시설의 경우 저압, 저온을 위한 압력조절시설과 단열시설이 필요하기 때문에 시험시설구축 및 운용 시 고비용 필요

○ (고고도 과학기구 - 비용 효율적인 우주환경시험 플랫폼 제공) 우주환경과 유사한 성층권에서 운용되는 과학기구에 우주환경시험이 필요한 장비를 장착하면 적은 비용으로 우주환경시험이 가능하다.

〈표2. 고고도 과학기구의 장점〉

비용의 경제성	기구를 제작하고 운용하는 비용이 매우 낮음 * 과학위성 발사 비용의 1/20 ~ 1/100 비용
준비기간 신속성	기구 제작에서 발사까지 6개월 정도의 비교적 단기간에 준비가능
발사장소의 비제약성	발사체 대비 발사 장소에 제약이 적음
시험의 안정성	낮은 발사실패 가능성 및 장시간 안정적으로 시험가능

연구 목표

비용 효율적인 우주환경 시험 플랫폼 제공을 위한 고고도 과학기구 개발 및 향후 지속적인 활용을 위한 과학기구 제작기술 및 운용기술 확보

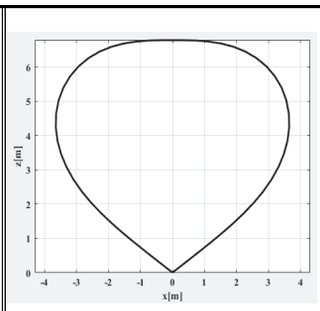
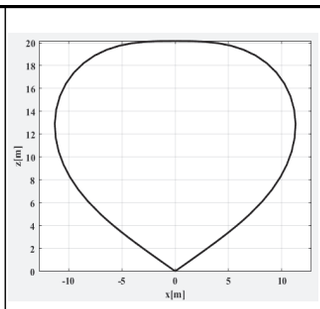
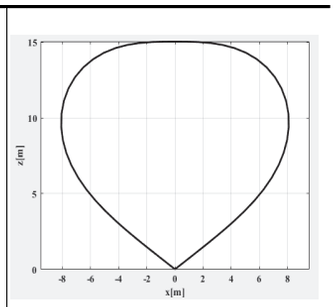
① 대형 과학기구 설계 제작
② 대형 과학기구 임무장비 체계 개발
③ 대형과학기구 운용기술확보

연구결과

○ 대형 과학기구 설계 제작

- 영압력(Zero pressure) 기구 설계 프로그램 개발
- 설계한 기낭 형상을 바탕으로 기상 정보를 대입하여 비행 궤적을 도출할 수 있는 예측 프로그램 개발【표3】
- 영압력 기구 제작【그림 1】
  - 임무형상에 따른 기구의 크기 및 형상 도출, 이 후 설계된 형상을 바탕으로 실물 제작
  - 목표고도 10/20/25km, 임무장비 3/10/50kg 급 과학기구를 기낭 제작업체인 Hangis와 협력하여 제작

〈표 3. 목표고도 및 페이로드 무게에 따른 기낭 형상 설계 예시〉

과학 기구 형상			
높이	7m	20m	15m
부피	168.2m^3	4863.8m^3	1837.6m^3
무게	2.82kg	26.52kg	13.86kg
기구분류	20km(목표고도) / 10kg(페이로드)	30km(목표고도) / 50kg(페이로드)	25km(목표고도) / 50kg(페이로드)

○ 대형 과학기구 임무장비 체계 개발

- 비행통신/항법 및 전원시스템
  - 원격측정, 추적 및 제어 명령 수행을 위한 시스템 개발 및 검증
    - * 저비용, 사용 용이성, 호환성, 제품 개발 신속성을 고려하여 오픈소스 하드웨어 /소프트웨어를 이용하여 개발
    - * 통신두절 상황을 대비한, 다중화조치로 주(UHF), 보조(Iridium 위성) 통신 사용
    - * 해상 운용을 위한 방수, 부유 기능 탑재
    - * 비행시험을 통해, 개발한 임무장비 체계의 작동 신뢰성 검증
  - 안전을 위한 하위 시스템 개발 및 장착
    - * Buzzer: 선박에게 경고음을 송출하여 장비와의 충돌 방지 및 회수팀의 식별을 용이하게 함
    - * Back-up GPS tracke: 주 위치 추적 시스템의 고장 상황을 대비한 소형 보조 위치추적 장치
    - * Air Traffic Control transponder: 위치/고도를 교통관제소에 송신하는 트랜스폰더 장착
- 임무장비 시스템【그림 2】
  - 회로 모듈 개발: 전력 분배, 제어, 측정, 데이터 송수신을 담당하는 회로 기판을 모듈화 하여 개발
  - 구조 및 케이스 개발: 운용환경과 지상/해상 회수 방법을 감안한 모듈 보호 구조 제작
  - 해상회수 고려 부력, 방수, 내충격성, 비가시선 통신시스템 설계/제작
- 지상지원 시스템: 통신, 추적, 제어시스템(TT&C)【그림 3】
  - 기구 상태정보 수신 및 제어명령 송신
    - * 추적 시스템 다중화를 위하여 UHF 및 이리듐 위성통신 활용
    - * 이리듐 위성통신 시스템 활용하여, 전파가시선 이외 위치에서도 상시적으로 기구 위치 파악 및 제어 가능토록 개발
  - 휴대성이 용이하여 지상 및 이동국(Mobile station)에 동시 사용가능

- 구글 맵과 연동하여 사용자에게 실시간 위치를 가시화(Monitoring)

○ 대형과학기구 운용기술확보

• 과학기구 비행시험 장소 및 임시공역 확보 절차 수립【그림 4】
- 국내최초 과학기구 운용에 따른 국토부 항공교통과와 과학기구 시험 비행 승인/협조 체계 구축
- 시험비행 관련 안전 저해요소 식별/대책 수립
  * 외란에 의한 영압력기구 기낭 손상 방지를 위한 대형 격납시설을 삼척 시청과 협조하여 확보
  * 인구밀도가 낮은 해변가에 위치한 삼척 폐조선소를 발사장소로 확보하여 과학기구의 비정상적 거동 발생 대비 인명/재산 피해 발생가능성 사전 제거

• 고고도 과학기구 궤적 예측 프로그램 개발【그림 4】
- 실제 환경조건과 시뮬레이션상 불확실성을 고려한 확률론적 몬테카를로 방법 사용하여 발사 및 회수 가능 발사일정 수립

• 원격측정, 추적, 제어 프로그램 개발을 통한 실시간 경위도 및 고도 데이터 수집
- 소형 및 휴대용 추적시스템으로 해상 회수팀 독자적으로 추적 수행

활용사례

현재까지 활용된 사례는 없다.

* 미 고고도 과학기구 회사인 World view에서 해상회수 운용 관련 질의 및 협조 요청 사례가 있었으나, 연구자 졸업 및 과제종결로 미 진행.
* Dale Haun, World View, Director, Launch/Ground Operations

기존지식/ 기술대비 차별성

○ 한국적 해상회수 절차 수립 및 검증
- 과학기구 선진국에서 일반적으로 수행되는 지상회수방법은, 국내 여건상 회수가 제약됨
  * 분리된 임무장비가 인구밀집 지역에 낙하하여 안전사고 유발 가능성 상존
  * 인원이 접근 할 수 없는 산악 지역에 낙하하여 회수 실패 가능성 상존
- 안전사고 예방, 회수 효율성 증대를 위해 한국적 해상회수 절차수립/시행
  * 기구운영 간 비상상황 발생 대비 항공기 운항 및 인구밀도가 낮은 동해 공역 사용
  * 해상회수 효율성 증대를 위해 울릉도 회수 전진기지 활용 절차 정립 및 실 비행 검증 수행

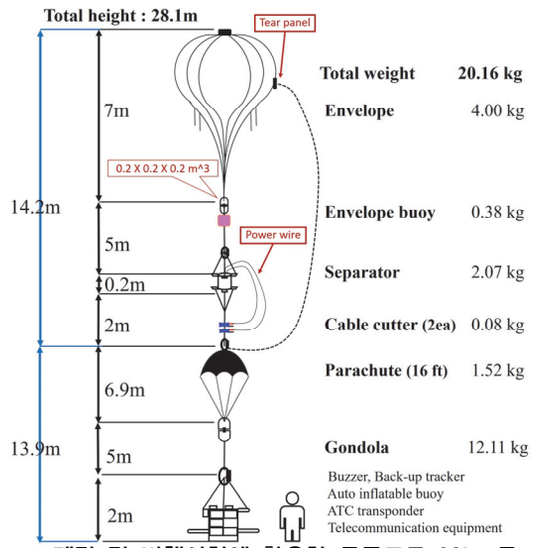
※ 일본 항공우주국(JAXA)에 이어 세계 2번째로 해상회수 시험 성공하였다. 특히, 울릉도 회수 전진기지 활용시 동해안(삼척)에서 발사 후 비행시험 조건(기상, 목표비행/회수시간 등)에 따라 동해 연안 또는 울릉도 근해에서 발사 및 회수가 가능하므로 기구 운용성 향상에 기여

활용 가능 분야

○ 화성탐사 항공기 낙하시험
- 화성탐사 항공기 시스템의 부품 및 작동신뢰성 검증
- 화성과 유사한 성층권 저밀도 환경에서의 비행체 거동 데이터 측정 및 수집

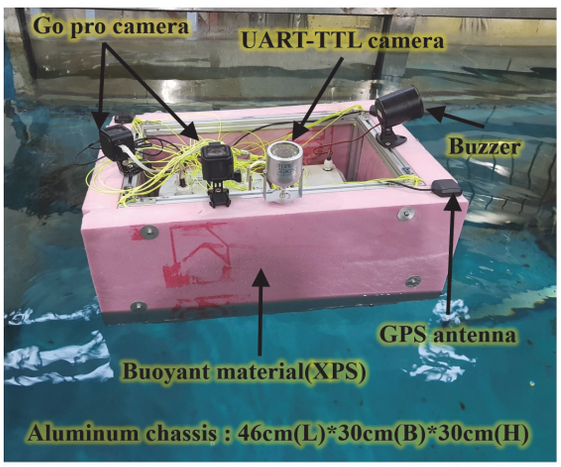
○ 고층기상 대기과학 연구를 위한 플랫폼으로 활용
- 과학기구를 이용하여 한반도 및 극지 상공의 고고도 기상의 대기운동과 화학조성을 관측하여 기상예측 모델에 반영하고, 국제적인 관련 데이터 공유에 기여 가능
- 미세먼지 이동경로 관측 및 성분분석 등, 대기의 순환 연구를 통해 지속적인 대기환경 분석 및 예측 기술 개발에 기여 가능
- 성층권 오존층 변화에 대해 정확한 관찰과 이해를 할 수 있는 관측망을 구축하여 환경변화를 체계적으로 연구하는데 기여

<영압력기낭 형상(목표고도 10km / 페이로드 3kg)>

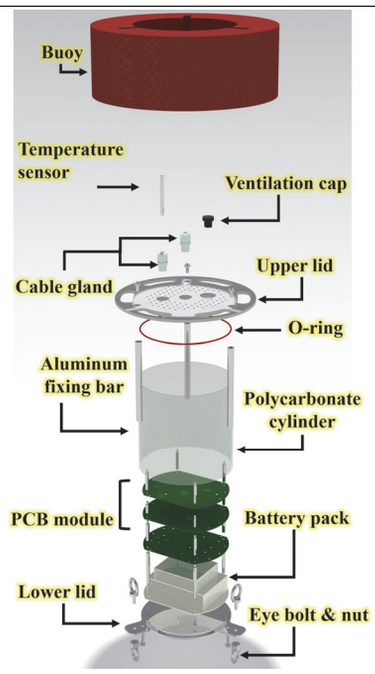


<제작 및 비행시험에 활용한 목표고도 20km급 고고도과학기구 형상>

▲<그림 1> 영압력기구 형상

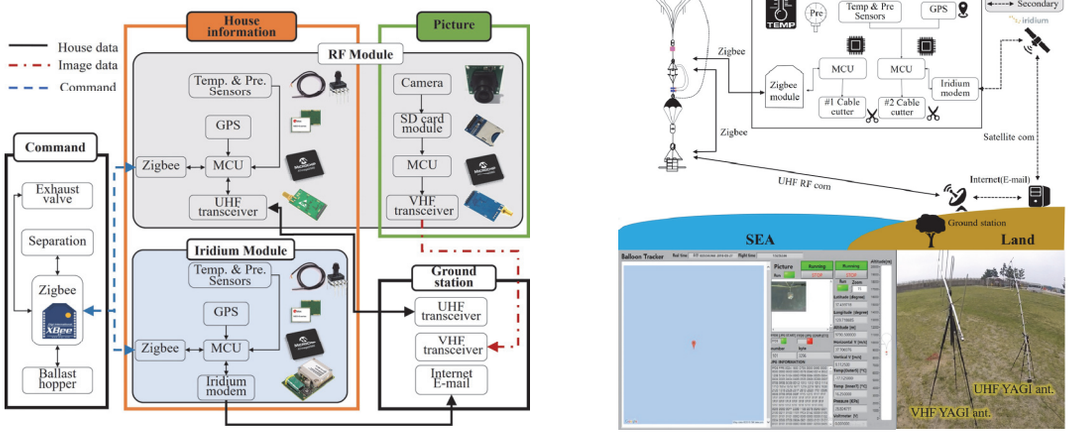


<임무장비 Gondola>



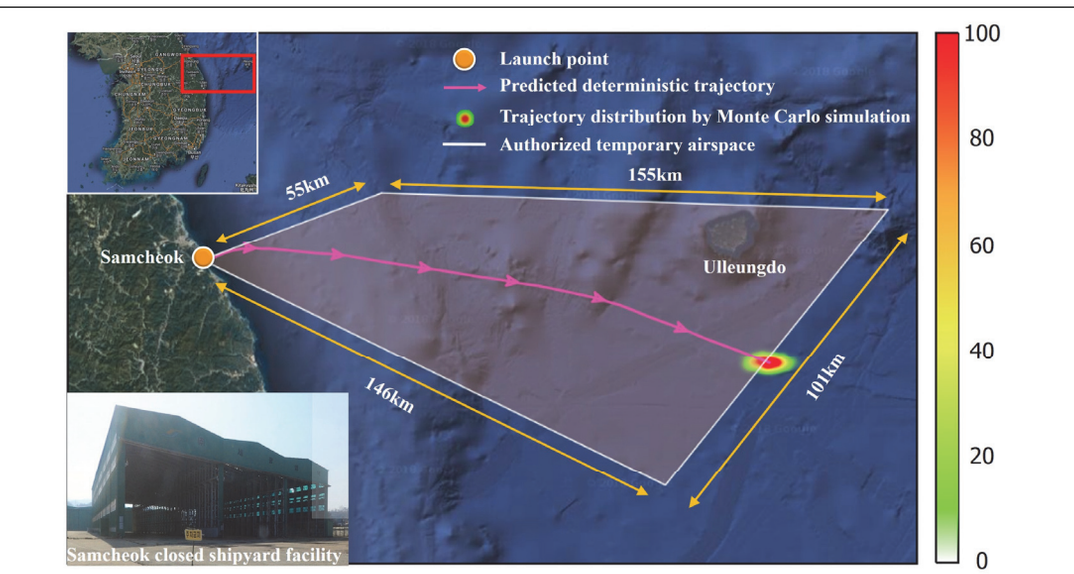
<기낭-임무장비 간 분리장치 Integrated Separation System>

▲<그림 2> 임무징비 형상



<곤돌라 TT&C 시스템의 기능적 구성도> <TT&C 시스템 및 체계 구성도>

▲<그림 3> 영압력기구 형상



▲<그림 4> 과학기구 비행시험 장소, 확보한 동해 임시공역 상 비행궤적 예측결과

성과명	(14) 광역 행성탐사 로버 위치인식, 3차원 탐사 지도 작성 및 환경모델링 기술 개발		
주관연구기관	성균관대학교	연구책임자	이 석 한
연락처	031-299-6471	이메일	lsh1@skku.edu
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	로버기반 달 및 행성 탐사, 로버 위치 추정, 오차누적 최소화, 시각 기반 자세 추정, 3차원 탐사환경 모델링		
상세 성과내용			

연구의 필요성

우주기술의 자립을 위한 2020년 달탐사 미션(국정과제 20)과 행성탐사 미션(항우연 비전 2040)에서 로버 기반의 탐사 미션의 성공을 위한 핵심원천기술을 개발하여 우주산업 육성을 통한 창조경제 구현 기여 및 우주 국제협력 강화로 우주개발 촉진과 국가위상 제고함하고자 함 구체적으로 한국형 탐사 로버를 위한 장거리/광역 탐사, 귀환 방문 탐사를 포함한 정밀하고 구조적인 탐사, 시간지연, 탐사효율, 탐사 비용 등의 문제 해결책인 자율 탐사기술을 개발하고자 한다.

연구 목표

달/행성에서 로버 기반 장거리/광역 (40km 이상) 자율탐사 실현에 필수적인 달/행성 표준 좌표계 기준 3차원 정밀 로버 위치/자세 추정 (추정 오차 최대 20m/3도 이내) 및 3차원 탐사환경 모델링/탐사영역 AR(증강현실) 지도 작성 기초기술 개발한다.

연구결과

○ 광역 행성탐사 로버 위치인식 및 환경 모델링 기술 개발

6D Visual SLAM의 누적오차를 최소화하는 새로운 방법을 개발하여 광역탐사로버의 장거리 Global Localization 누적오차를 세계최고 수준인 3%를 훨씬 능가하는 0.9% 수준으로 달성했다. 1단계 6D SLAM 성능 향상하였다. 열악한 달표면 영상 환경에서 성능/신뢰도 확보하였으며 Visual Odometry와 Sun Sensor/Star Tracker 일체형 센서와의 융합을 통한 거리 대비 오차 누적 최소화 하였다. (현 6%를 3%로 향상, 특히 저고도 태양 시 오차 최소화) 경로 누적 3D Point Cloud와 DEM제공 지형 데이터의 정합을 통한 로버 위치/자세 교정하였다. (Global 위치 오차를 현 60m에서 30m 이내로 향상) 스테레오 Depth 오차가 큰 10m 이상 영역의 3D Point Cloud 획득을 위한 Structure From Motion 기법을 적용하였으며 누적된 3D Point Cloud로부터 장애물/Hazard 검출, 주행 가능 영역 도출 및 3차원 환경 모델링을 수행하였다.

○ Sun Sensor/Star Tracker 일체형 센서 개발

세계 최초로 Black Sun Effect를 이용한 초소형 Sun Sensor(Single Sun Sensor: 1.0*1.0*1.75mm, 6 Sun Sensor 집적:23*23*12mm)를 세계적 수준의 성능(Azimuth: 0.11도, Elevation: 0.078도 정밀도)으로 개발하였다. 또한 Curved Vane을 이용한 고효율의 독창적 Baffle 설계 기술의 개발을 통하여 고성능(Azimuth 및 Elevation: 0.00025도 정밀도) Star Tracker 센서 프로토타입을 개발하였다. 다중 카메라 기반 소형/경량 저가의 Sun Sensor/Star Tracker 일체형 센서 개발하였으며 (35*35*20mm, Sun Sensor/Star Tracker는 각기 카메라 6대/4대로 구성, Star Tracker용 Baffle 설계) Sun Sensor/Star Tracker 일체형 센서 Prototype 제작하고 실험/평가 하였다.

활용 사례

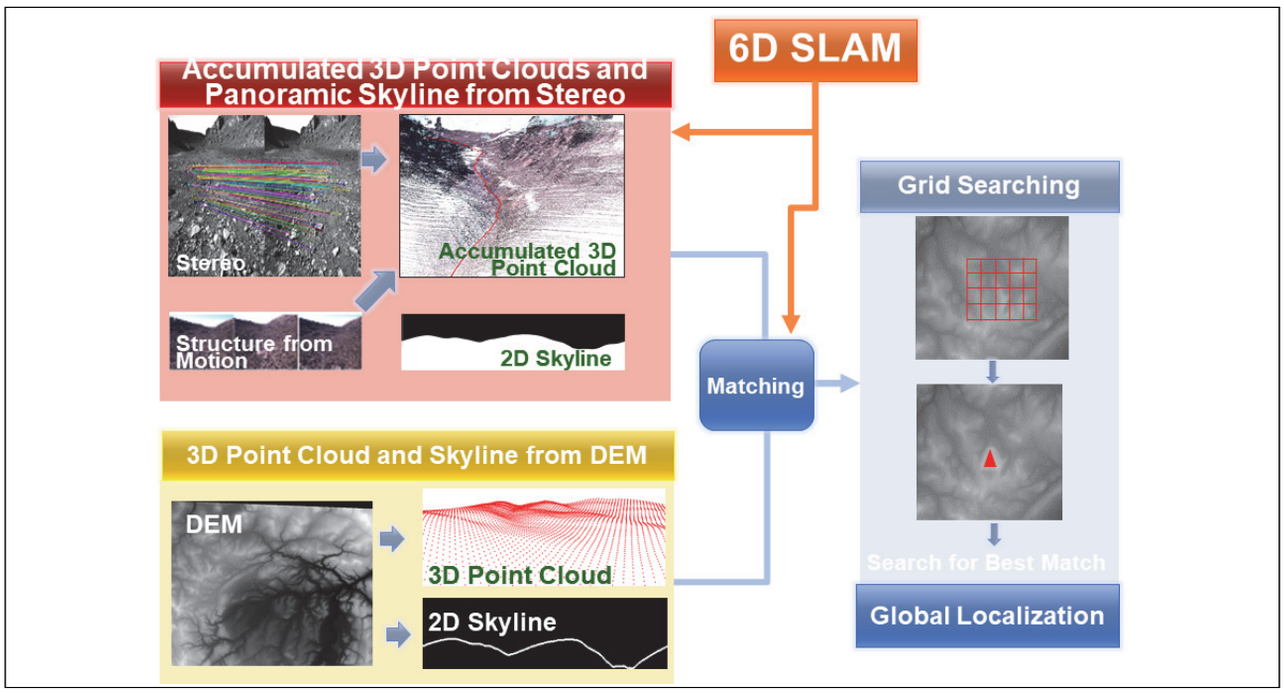
정부에서 추진했던 달 탐사 프로젝트에서 달 탐사 로버 미션을 위한 원격 제어 시스템에 현재 개발되고 있는 기술이 활용될 수 있음. 개발된 장애물/위험지역 검출 및 주행가능 영역 추정 기술은 KIST에서 진행 중인 달탐사 로버 개발에 적용한다. 특히, 장애물/위험지역 검출, 주행가능 영역 추정을 통해 원격제어를 보조하기 위한 로버 주변의 3차원 환경 정보를 제공한다.

기존지식/ 기술대비 차별성

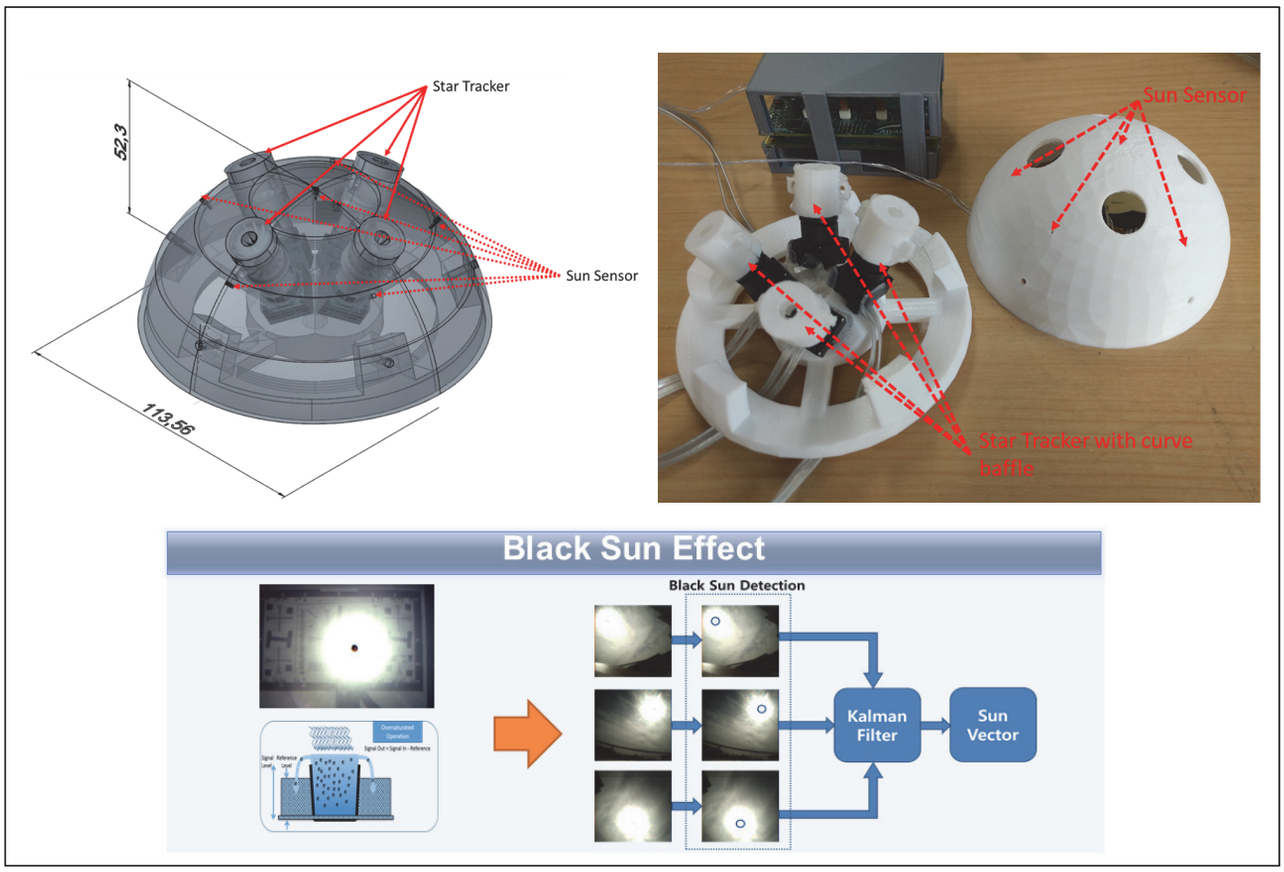
Global Localization 연구에서 Sun Sensor/Inclinometer Data 와 Visual Odometry를 융합하여 누적 오차를 최소화(Visual Odometry 기반 위치 누적 오차 8%에서 6% 이내로 축소)하고, Sun Sensor/Inclinometer Data 와의 융합을 최적화하는 Visual Odometry Key Frame 선정 방법 구현하였고, 6D SLAM에 Local Landmark Outlier 제거 기법 적용 등을 바탕으로 고유의 Extended Space 기반 Data Fusion 방법을 Unknown Cross Correlation 을 갖는 Data Source 로 확장하여 적용하여 DEM 기반 Global Localization을 통한 높은 수준의 위치/자세 교정이 가능하다는 점의 차별성이 있다.
경로 누적 3D Point Cloud 와 DEM 제공 지형 Data 의 정합을 통한 Global Localization 과 원거리 Landmarks 3D Data 획득을 위한 Structure From Motion 기법 적용 및 이를 기반으로 한 Global Localization을 통한 정합 수하였고, 정합된 3D 환경 Model 로부터 장애물/Hazrd 검출 및 Driveable Road 도출할 수 있으며 Multi-Resolution Quadtree 기반 연산 속도 향상, 자체 개발한 3D Simulation GUI를 제공한다는 점에 차별성이 있다.
또한, Black Sun 현상을 이용하여 임의 태양 방향에 대한 추정이 가능하도록 다수의 저가 카메라들을 반구형으로 배치하였고 3개의 카메라에서 얻은 영상 결과를 융합하여 보다 정밀한 결과를 추정 가능하다는 차별성을 갖고 있다.

활용 가능 분야

자율주행/ 위치 인식 기술은 국방, 농업, 해양, 건설, 복지, 교육 등 로봇작업과 로봇의 이동을 이용할 수 있는 광범위한 분야에서 직접 활용이 가능하며, 스마트기기를 연동한 개인서비스로봇, 장애인/노인을 위한 안내로봇, 농경지/과수원 자동분무, 제초로봇뿐만 아니라 국방, 재난, 항공, 수중탐사 등에 직접적으로 활용이 가능하다.
특히 행성/달 유사 환경 시뮬레이션 및 지상 실험을 통한 검증 평가를 통한 원천기술로 기술 확장과 기술 이전을 통해 다양한 분야에서 활용이 가능하다.



▲<그림 1> 광역 행성탐사 로버 위치인식 및 환경 모델링 기술 개발



▲<그림 2> Sun Sensor/Star Tracker 일체형 센서

성과명	(15) VLS(Vapor-Liquid-Solid) 기법을 이용한 심우주 시스템 방열용 가변열전도 히트파이프(VCHP) 특성연구		
주관연구기관	한국항공대학교	연구책임자	장 석 필
연락처	02-300-0179	이메일	spjang@kau.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	가변열전도 히트파이프, 극한환경(심우주), 방열시스템, VLS Growth Wick, 나노유체		

상세 성과내용

연구의 필요성

심우주 환경용 무인 착륙선 및 로버의 방열기술은 미국, 러시아, 중국 같은 일부 국가만이 보유하고 있는 핵심기술로서 국내의 경우 우주 기술 자립을 위한 노력의 일환으로 위성 및 발사체 기수의 해외 의존도를 낮추려고 노력하고 있으며 심우주용 방열 기술은 여전히 미미한 상황이다. 특히 심우주용 방열기술을 해외로부터 전수받기 위해서는 정치적, 경제적으로 많은 비용을 지불하여야 한다. 따라서 선진 우지 기술 능력을 갖추기 위해서는 심우주용 방열기술에 대한 독자적인 연구 및 원천 기술 확보가 필수적이다.
따라서 본 연구진은 심우주 극환 환경에 적용 가능한 착륙선 및 로버에 필수적으로 장착된 전자장치 박스의 온도 조절 장치인 Heat Rejection System (HRS) 개발을 위한 기초 연구를 수행하고자 한다. 이를 위해 대표적인 심우주 환경인 달표면 환경에서 적용할 수 있는 HRS로 최근 미국, 중국에서 사용된 VCHP (Variable Conductance Heat Pipe, 가변 열전도 히트파이프)의 증발부의 온도 균일성, 무게당 열전달 용량의 크기, 중력에 영향에 따른 열전달 특성 변화에 대한 기초 연구를 진행하고자 한다. 최종적으로 극한환경에서 100W의 방열성능을 가진 Lab-scale의 시작품을 제작하고 설계 원천 기술을 획득하고자 한다.

연구 목표

극한환경 (온도범위:100 ~ 390 K, 압력: 10-7 Torr)에서 착륙선 및 로버의 전자장치 박스 (Electronics Box)에 필요한 방열 시스템 (Heat Rejection System)용, 하이브리드 VCHP(가변 열전도 히트파이프)의 작동 특성에 관한 기초연구를 수행하고자 한다. 특히 Lab-scale의 하이브라드 VCHP을 개발하는데 필요한 심우주 극한 외부조건에 따른 작동 성능 및 설계 조건을 기초 실험 및 계산을 이용하여 분석하고 그 결과를 이용하여 극한환경에서 100W의 방열성능을 가진 Lab-scale의 시작품을 제작하는 것을 목표로 한다.

연구결과

○ 차세대 심우주용 방열시스템 개발에 필수적인 극한 환경 실험 장치 구축
심우주용 방열시스템 개발에 필수적인 극한 환경 (온도범위: 100 ~ 390 K, 진공도: 10-7 Torr)을 모사할 수 있는 용량 220, 극저온 펌프를 장착한 원통형 실험용 챔버를 구축하였으며 내부에는 개발된 VCHP의 중력 영향을 확인할 수 있는 Titling 조절 장치가 구축되어 있다.

○ VCHP 성능을 향상 시킬 수 있는 원천 기술 I : 메탄올 기반 나노유체 개발
극저온 환경에서 사용할 수 있는 작동유체는 일반적으로 암모니아, 메탄올, 펜탄을 사용하고 있으나 5대 선정기준인 우수한 Heat Transfer Capacity, 온도에 따른 작은 Saturation Pressure 변화 폭, 낮은 Melting Temperature, NCG와의 반응성이 없음, 낮은 독성을 바탕으로 메탄올을 선정하였으며 특히 본 연구팀 10년간 이상 독보적으로 보유하고 있는 나노유체 제조 기술을 이용하여 모세관력을 증가시킬 수 있는 메탄올 기반 나노유체 개발하였으며 개발된 나노유체를 작동유체로 사용하였다.

○ VCHP 성능을 향상 시킬 수 있는 원천 기술 II : VLS Growth Wick 개발
일반적으로 VCHP의 Wick는 Sintered Wick, Groove Wick 또는 Mesh Wick을 사용한다. 이런 Wick는 각각 장단점이 존재한다. Sintered Wick은 Capillary Force는 크나 Permeability가 작아서

압력강하 특성이 좋지 않고 Groove Wick이나 Mesh WicK는 Permeability는 커서 압력강하 특성은 우수하나 Capillary Force가 상대적으로 적은 단점이 있다. 본 연구에서는 Mesh Wick에다 나노입자를 증착시켜 압력강하 특성도 우수하고 Capillary Force도 큰 VLS Growth Wick을 개발 독창적으로 개발하여 VCHP에 적용하였다.

○ VCHP의 열저항 및 최대 열전달량 예측 모델링 제시

Methanol-based Al2O3 나노유체를 작동유체로 하며 Multi-scale Screen Mesh Wick이 장착된 VCHP의 이론적 열저항 모델 및 최대열전달 모델을 기존 Flat Front Model를 변형시켜 제시하였으며 제시된 모델을 바탕으로 Lab-scale VCHP을 디자인하고 성능을 예측하였다. 또한 이론적으로 제시된 성능과 실험적 결과를 비교하여 Modified Flat Front Model의 타당성을 검증하였다.

○ Lab-scale VCHP 시작품 개발

총 무게 2.5kg 미만, 방열기준 100W이상의 성능 기준을 만족하는 VCHP Lab-scale 시제품을 제작하였으며 VCHP의 열저항, 최대열전달량, Temperature Swing, Thermal Diode, Titling Effect을 실험적으로 제시하였다.

활용 사례

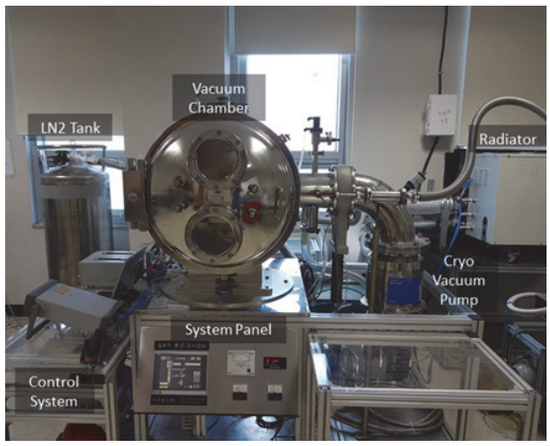
본 연구에서 개발된 2가지 원천 기술인 Methanol-based Al2O3 나노유체는 일반적인 평판형 Heat Pipe의 작동유체로 사용가능하다. 또한 VLS 기법을 이용한 Multi-scale Screen Mesh WIck 또한 대변전 평판형 Heat Pipe의 대체 WIck을 사용할 수 있는 기술이다. 본 기술들은 향후 전기자, 수소차, UAM (Urban Air Mobility)의 동력원인 Li-ion Battery 냉각 장치의 중요 기술로 사용될 예정이며 중소기업들과 대면적 냉각장치 기술로 적용하고 있는 중이다.

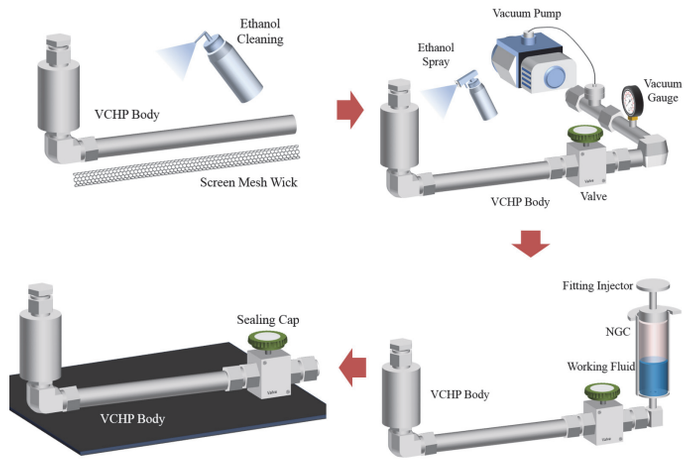
기존지식/ 기술대비 차별성

본 연구에서는 2가지의 원천기술을 바탕으로 독자적인 심우주 환경에서 사용가능한 100W 용량을 Lab-scale VCHP을 제작하였다. 특히 독자적인 2가지 원천 기술은 기존의 VCHP 작동유체의 극저온 및 모세관력 한계를 극복한 Methanol-based Al2O3 나노유체와 VCHP의 최대 열전달량을 극대화하고 Tilting Effect를 최소화할 수 있는 VLS 기법을 이용한 Multi-scale Screen Mesh Wick이다. 본 연구에서 개발된 2가지 원천기술은 기존 지식 및 기술대비 VCHP의 성능을 월등히 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

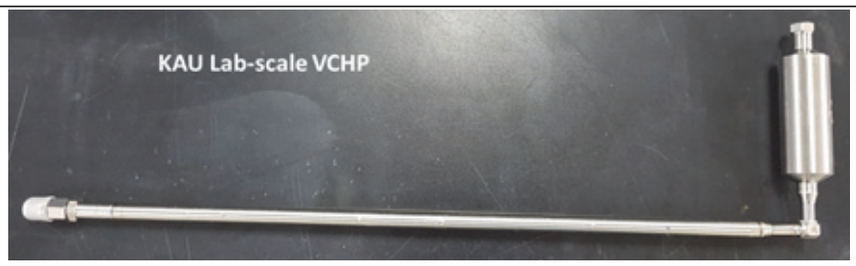
활용 가능 분야

본 연구를 통해 얻어진 기초 연구 결과는 향후 2022년 달 탐사에 사용될 착륙선 및 로버의 방열시스템(HRS)에 직접적으로 사용 될 수 있으며 더욱이 심우주 환경 탐사, 예를 들면 화성, 목성 탐사 등에 사용될 수 있는 한국형 우주 방열시스템의 원천 기술이 될 것으로 사료된다. 또한 본 연구 결과는 극저온 환경에서 사용되어야 할 고집적 전자부품의 능동적 열제어가 필요한 산업기계 및 일반 환경에서 고발열 냉각장치에 사용될 수 있을 것으로 기대된다.





▲<그림 1> 극한 환경 실험 장치 및 VCHP 제작 공정



목표 사항	목표 성능	달성 내용
방열기준	100W 이상	**100W 이상 방열량 달성**
Maximum Tilting Angle	20° (심우주, 달)	**20° (심우주, 달)에서 작동 확인** **20° (1G, 지구)에서 작동 확인**
작동유체	암모니아	**암모니아, 메탄, 펜탄의 정량적 비교를 통한 작동유체 선정 완료**
제작 무게	2.5kg 미만	**750g 미만**
응축부 환경	100 ~ 390K, 10^{-7}Torr	**100 ~ 390K, 10^{-7}Torr 달성 확인**
작동 허용 범위	263 ~ 323 K	**353 ± 5 K (100 ~ 390K)**

▲<그림 2> 가변열전도도 히트파이프(VCHP) 시제품 및 성능

성과명	(16) 달 표면 이상 자기장 연구 및 측정 기반기술 개발		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	진 호
연락처	031-201-2480	이메일	benho@khu.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	자기장측정기, 달탐사, 탑재체, 우주탐사, 행성탐사		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주탐사를 위해서는 수행해야 할 임무조건과 관련 기반기술 구축을 위한 기초연구가 요구된다. 이에 달을 대상으로 우주탐사에 요구되는 과학임무 중 자기장 측정기에 관하여 주제를 선정하고 이에 따른 과학임무와 관련기반 기술이 요구되었다.

연구 목표

우주탐사에 있어 천체의 자기장연구는 우주환경변화를 연구하는데 가장 중요한 요소일 뿐만 아니라 태양계 천체의 경우 탄생과 진화에 중요한 단서를 제공하는 인자이기도 하다. 이에 1단계에서는'달 표면에 존재하는 자기장 조사'였으며 2단계 최종 세부 목표는 자기장 측정기술 연구 및 자기장 측정기 시험모델 개발'이었다. 이에 우주탐사용 자기장측정 기술연구는 국외 우주 선진국들의 자기장 측정기술 분석을 통해 국내에서 시도할 수 있는 영역을 설정하였고 우주탐사용 자기장 측정기 시험모델 개발은 자기장 센서의 실험실 모델을 개발하고 대한민국 시험용 달 궤도선, 남극 자기장 측정시설에 국내 순수 독자기술로 활용한 연구이다.

연구결과

달 표면 자기이상지역 과학연구 및 기반 기술을 활용하여 달표면 자기 이상지역에 관한 연구를 수행하였으며 국내에서는 처음 시도한 분야이다. 특히 본 연구를 통해 달 탐사의 과학적 의미를 추가하며 독자적인 연구기반을 구축하였고, 또한 관련 기반기술을 활용하여 반도체형 자기장검출기 실험실 수준의 개발과 이를 바탕으로 대한민국 달탐사 탑재체로 활용하는 연계 성과를 이루었다.

활용 사례

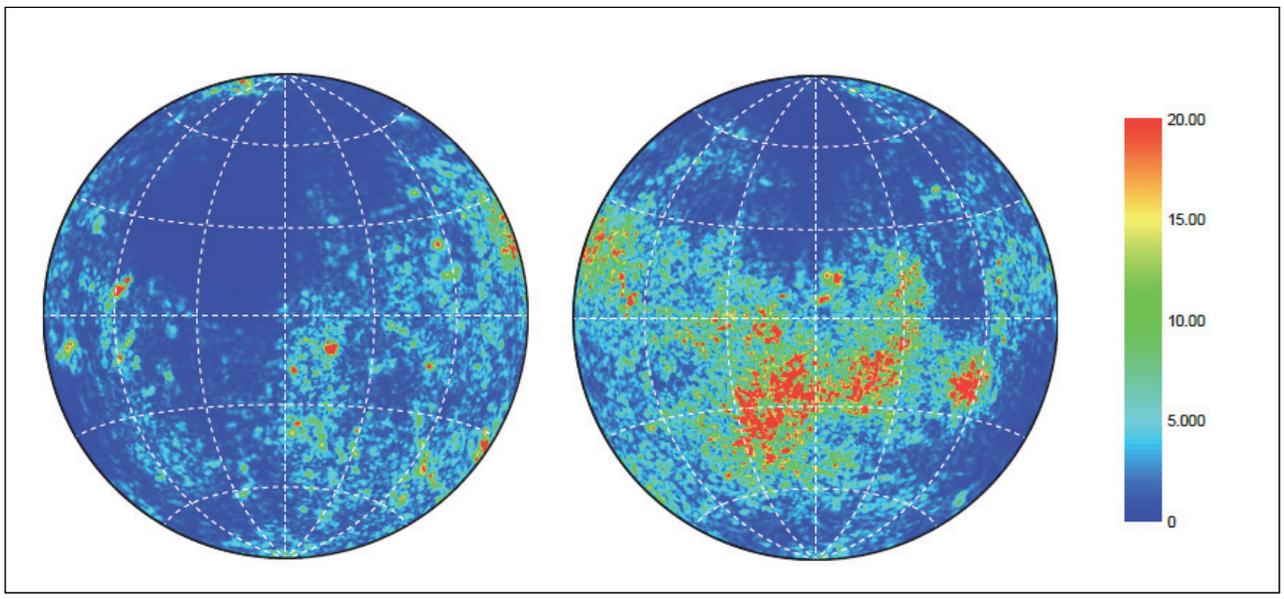
대한민국 달탐사 시험용 달 궤도선 자기장 탑재체로 선정되어 과학임무와 국내기술을 활용한 탑재체 제작을 수행하였고, 한미 달탐사에서 달 착륙선 탑재체 후보 선정되어 지속적으로 연구를 수행중이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

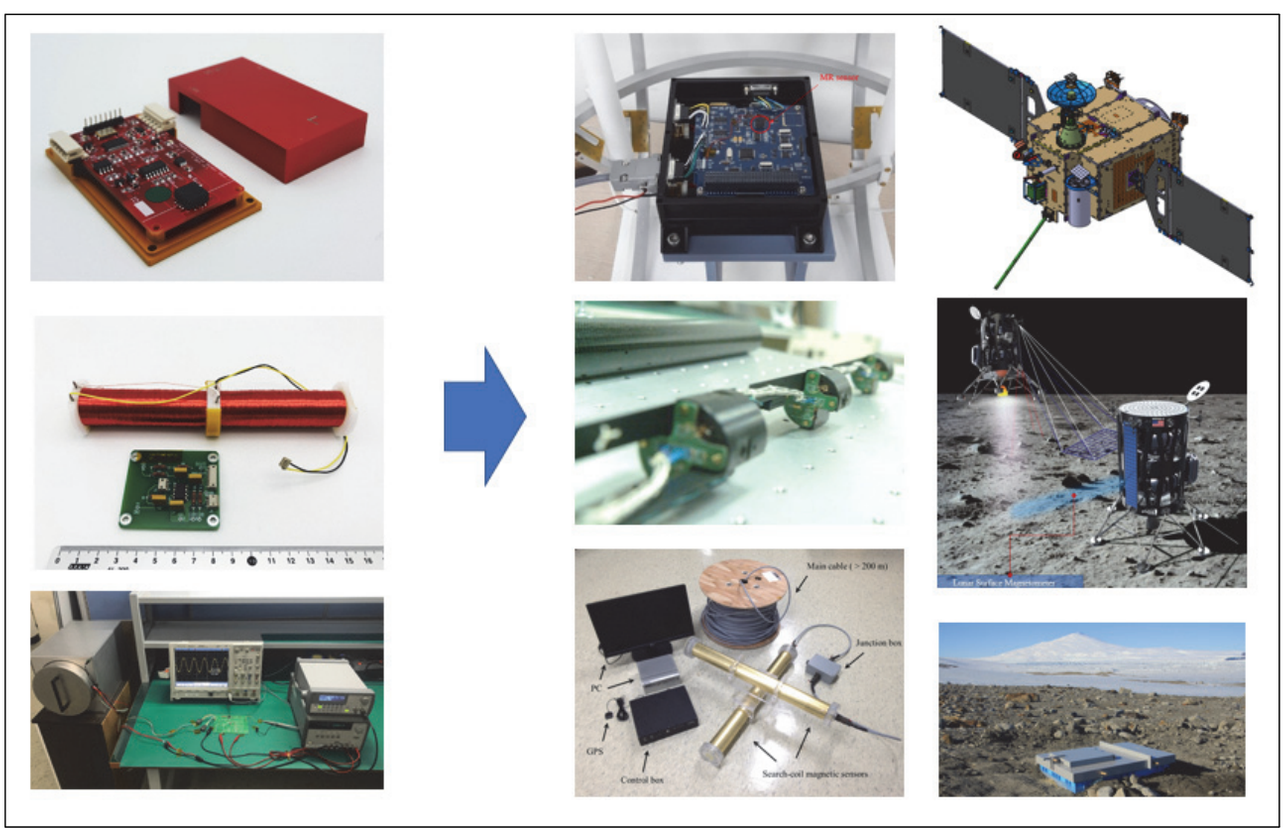
기존의 고정밀 자력계 검교정 기반지식을 확보 후, 새로 개발한 국내 센서를 여러개 활용하는 시스템으로 자기장 정밀도를 향상 시키는 연구를 진행하였다. 이는 우주탑재체의 경량화 및 부피를 줄일 수 있으며 우주탐사에서 활용할 수 있는 새로운 방법을 시도한 것으로 평가 받고 있다. 또한 달탐사 연구에서 새로운 추정 방법으로 달 표면의 자기장 세기와 원천의 깊이에 관한 연구를 도출한 바 있다.

활용 가능 분야

본 연구를 통해 국내외 보호기술인 우주탐사용 자기장 측정기를 지속적으로 연구하여 달탐사 및 우주탐사 자기장 연구 활용 하며 정밀 자기장 측정 분야에 응용할 수 있을 것으로 기대한다.



▲<그림 1> 달 자기이상 지역 연구 결과



▲<그림 2> 기초성과를 이용한 달 탐사선, 착륙선, 남극기지 활용

성과명	(17) 한국형 달탐사(2단계) 원격 자원탐사용 탑재체 핵심기술 개발		
주관연구기관	한국천문연구원	연구책임자	최 영 준
연락처	042-865-3266	이메일	yjchoi@kasi.re.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	달탐사, 적외선분광기, 감마선분광기, 중성자검출기, 극저온냉동기		

상세 성과내용

연구의 필요성 및 목표

한국형 달탐사 (2단계)의 궤도선 탑재체할 수 있는 원격 자원탐사용 적외선 분광기와 감마선 분광기, 중성자 검출기 엔지니어링 모델(Engineering Model)을 각각 개발 함. 적외선 분광기는 달에 존재할 것으로 추정되는 물의 존재를 확인할 뿐 아니라 달 표면 광물을 탐사하고, 감마선 분광기 및 중성자 검출기는 달 표면의 광물원소 분포를 원격탐사하는 장비이다. 본 연구를 통해 정부출연연구원이 보유하고 있는 강점기술들을 융합하여 달탐사 핵심 탑재체 개발기술을 독자적으로 확보하고자 한다.

연구결과

파장 2~4 um의 적외선영역에서 파장분해능 100이상의 6.4kg 무게와 전력 15W 이하의 달탐사용 적외선 분광기의 엔지니어링 모델(EM)을 국내기술로 개발하였으며, 에너지 범위 0.1~10 MeV에 대해서 1.33MeV 에서 에너지분해능 3.4KeV를 가지는 감마선 분광기의 엔지니어링 모델(EM)과 열중성자, 열외중성자, 빠른 중성자를 검출할 수 있는 중성자 검출기 엔지니어링 모델(EM)을 합쳐서 무게 30kg, 전력 15W 이내에서 개발할 수 있는 기술을 확보하였다.

활용사례

위성 및 드론을 이용한 적외선 지상관측, 우주자원지도 작성, 고에너지 우주방사선에 의한 항공승무원 피폭 위험도 측정 등에 활용이 가능하다.

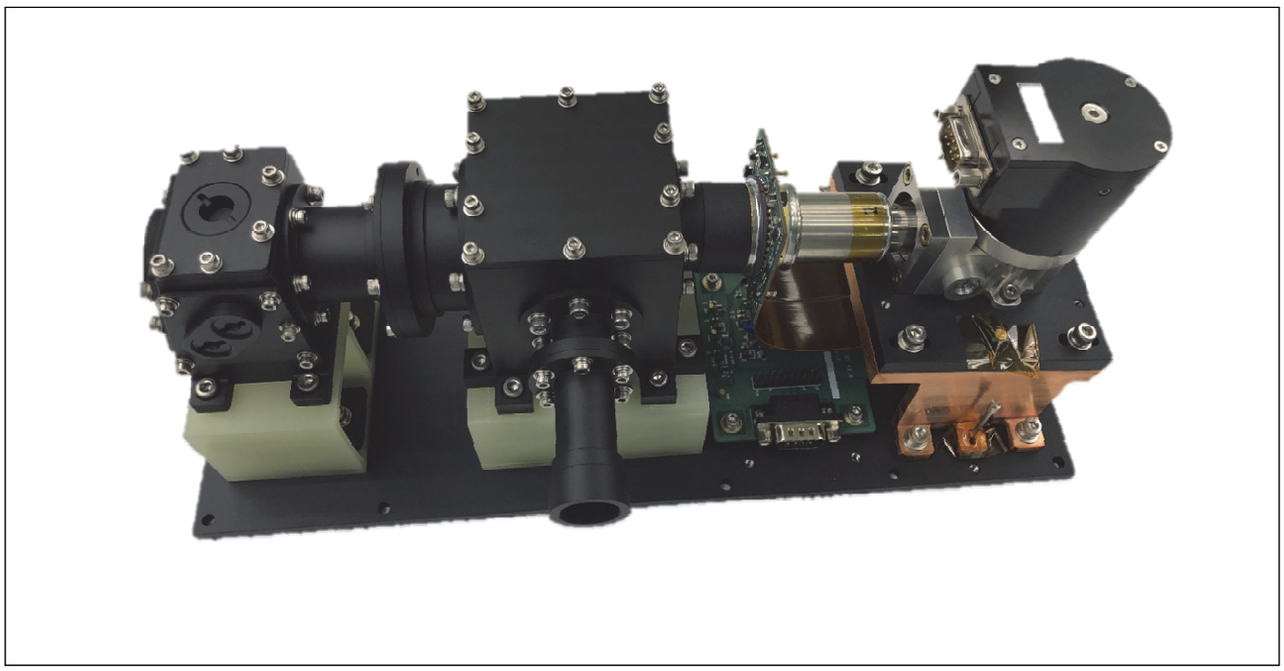
기존지식/ 기술대비 차별성

○ 우주급 적외선 분광장비의 개발 및 성능검증 관련 모든 과정의 국산화
달표면 물분자 검출을 위한 요구사항 도출, 적외선 분광기 광학계/전자부 등 설계 및 성능 해석, 적외선 광학렌즈가공 및 검증, 적외선센서 국산화, 우주급 냉동기 국산화, 적외선분광기 시스템의 파장/흑체복사 검보정 체계, 열진공/내방사선 등 우주환경시험, 우주탑재체 개발 프로세스 및 품질보증

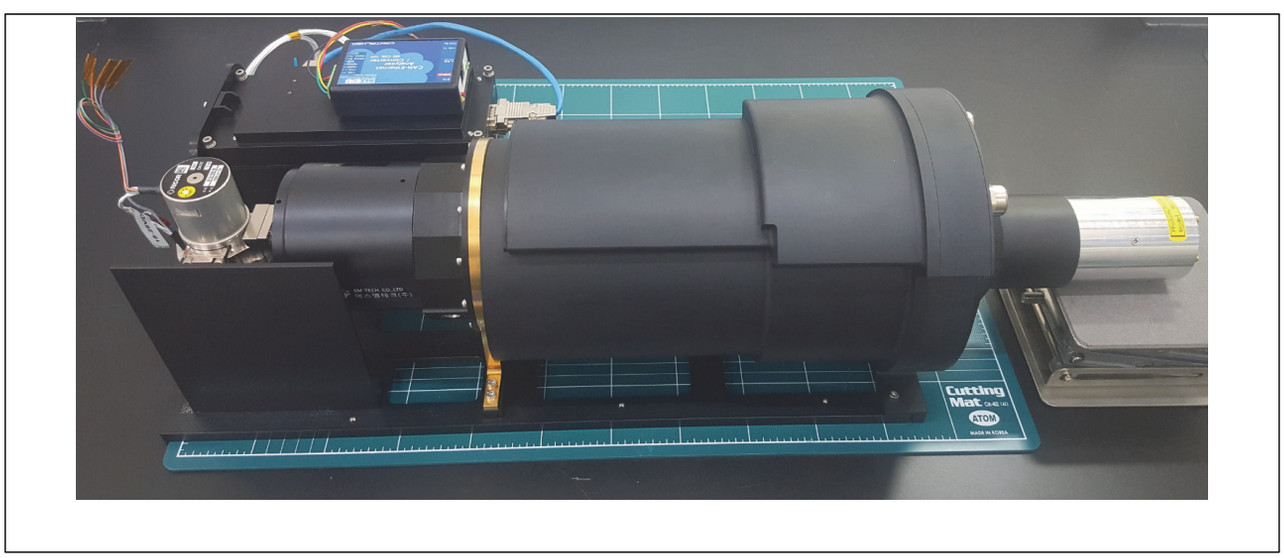
○ 우주급 감마선분광기와 중성자 검출기 개발기술 확보
고순도 게르마늄센서를 이용한 감마선 분광기 체계개발 기술, 해외 선진국 수준의 에너지분해능 확보(3.4KeV@1.33MeV), 열(Thermal)/열외(Epithermal)/빠른(Fast) 중성자 동시 측정 시스템, 성능검증체계

활용 가능 분야

한국형 달탐사 (2단계) 궤도선에 탑재할 수 있는, 달 원격탐사용 중적외선 분광기 개발기술을 독자적으로 확보하고, 달 탐사선에 탑재시 달 표면의 물 및 광물자원에 대한 분포지도를 제공하여 줄 것으로 기대된다. 또한, 중적외선 분광기는 향후 화성, 소행성 등과 같은 미래 우주탐사를 위해 항상 탑재되어야 하는 핵심 탑재체이기 때문에, 자체 개발기술 확보를 통해, 독자 우주탐사 기술을 완성할 수 있다. 중적외선 기술은 국방분야 EO/IR 감시장비 기술에 파급효과가 크다.



▲<그림 1> 적외선 분광기 조립 형상



▲<그림 2> 감마선 분광기 조립 형상

성과명	(18) 궤도선 영상 기반의 초정밀 수치 표고 모델 추출 기법 개발		
주관연구기관	한국과학기술원	연구책임자	최 한 림
연락처	042-350-3727	이메일	hanlimc@kaist.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	수치 표고 모델, 궤도선, 딥러닝		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 탐사에서 대상 천체에 대한 정밀한 지형도를 구축하는 것이 필수적이나, 이에 대한 국내 기술은 미흡한 생태로 궤도선에서 얻은 영상으로 정밀한 수치표고모델을 구축하는 효과적인 기법의 개발이 필요하다.

연구 목표

기존 달 영상을 이용, 위치와 태양각 등의 조건에 따라 달 표면 영상을 단계별로 생성하는 영상 생성 시뮬레이터를 개발하고, 이를 활용하여 고정밀도 수치 표고 모델 추출 기법을 정립하였다.

연구결과

NASA Ames 연구소와의 협업을 통해 달 전역의 수치표고모델을 생성할 수 있는 소프트웨어 개발 및 음영지역, 데이터 손실 등 열악한 환경에서 수치표고모델의 정밀도를 높일 수 있는 기법을 개발하였으며, 수치표고모델을 활용한 착륙지 선정 기법을 제시하였다.

활용사례

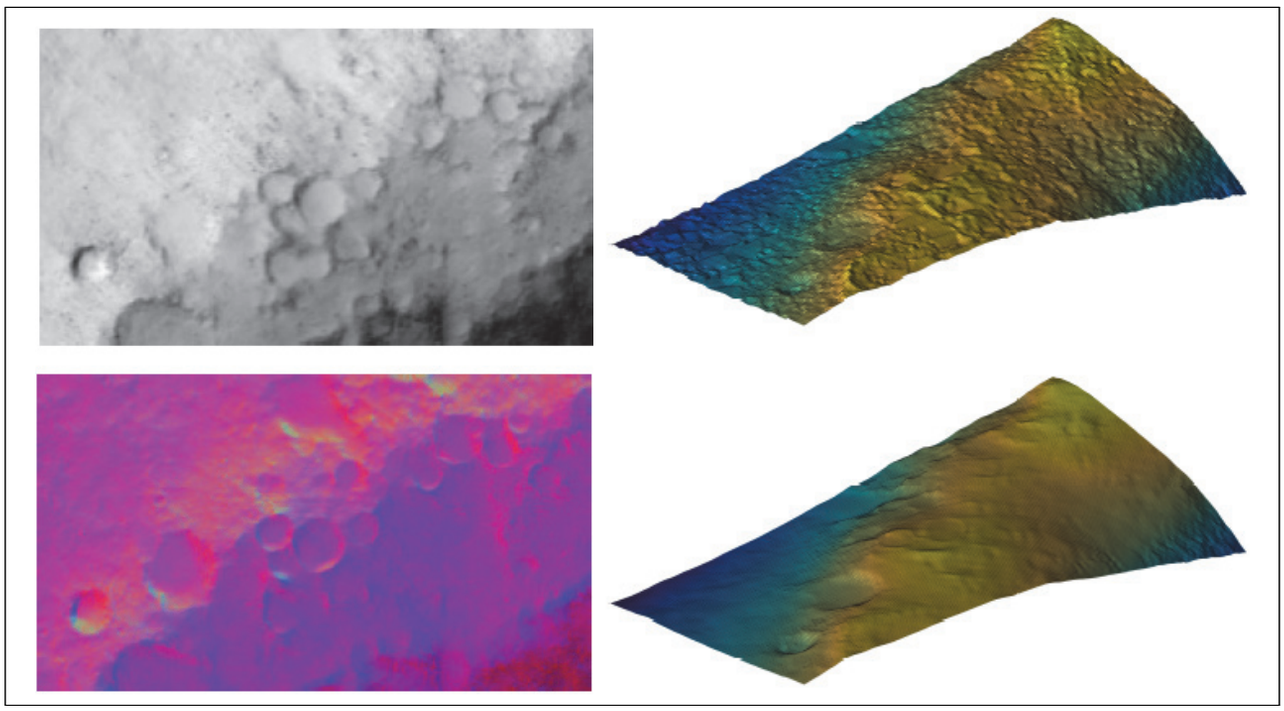
수치표고모델이 반영된 단계별 영상 시뮬레이터를 웹기반으로 개발하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

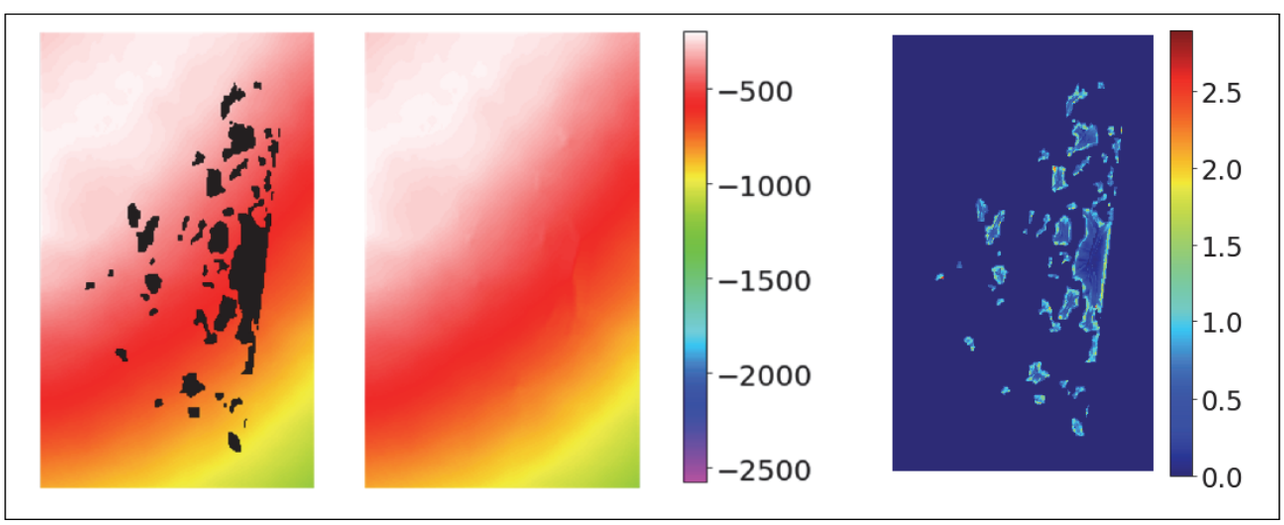
본 연구는 그림자가 있는 암영지역에서도 정밀도를 향상시킬 수 있는 수치표고모델 구축 알고리즘을 개발하였으며, 영상 데이터의 누락, 손실 상황에서 비어 있는 수치표고모델을 효과적으로 메꿀 수 있는 재구성하는 딥러닝 기법을 개발하였다.

활용 가능 분야

○ 달탐사에서 임무 지역의 사전 선정, 분석에 개발한 영상 시뮬레이터 활용 가능
○ 지형을 고려하여 달착륙선의 임무를 설계하고 계획하는 데에 개발된 수치표고모델 활용 가능
○ 지구관측 위성의 정보를 분석하는 데에도 관련 연구성과 활용 가능



▲<그림 1> 표면수직벡터 추출을 통한 수치표고모델 정밀도 개선
(좌상: 원본영상, 좌하: 표면수직벡터영상, 우상: 기본 수치표고모델, 우하: 개선된 수치표고모델)



▲<그림 2> 신경망프로세스 기법을 활용한 데이터 소실 영역에서의 수치표고모델 복원
(좌: 손상된 수치표고모델, 중:복원된 수치표고모델, 우: 오차)

성과명	(19) 위성/달-지상간 채널 시뮬레이션 기반 레이저 통신 기술연구		
주관연구기관	연세대학교	연구책임자	한 상 국
연락처	02-2123-4016	이메일	skhan@yonsei.ac.kr
분야	우주탐사		
키워드(5개 이내)	광 위성통신, 대기 채널 모델링, 인공위성, 우주 탐사		

상세 성과내용

연구의 필요성

기존 RF 무선통신기술을 이용한 위성통신관련 표준화가 2003년도부터 진행되어오면서 대부분 제정 완료되었으나, RF 신호 전송특성으로 인해 대용량 전송시스템 구현 어려움이 있다. 따라서 위성-지상간 대용량 무선 통신을 구현하기 위해서는 빛을 이용한 광 위성통신 시스템 구현이 필수적이다. 미국, 일본, 유럽 등 선진국들에 비해 광 위성통신 기술연구와 직접적으로 관련된 국내 연구는 걸음마 상태이며, 시장 및 표준화 동향도 파악되지 않고 있다.

따라서 본 연구진은 위성-지상간 대용량 무선 통신을 구현하기 위해, 위성-지상간 대기 채널을 정밀 분석하고 모델링을 진행하였다. 더불어 모델링을 에뮬레이션할 수 있는 테스트베드를 통해 위성-지상간 레이저 통신 연구를 수행하였다.

연구 목표

달궤도선/위성-지상간 레이저 기반 광 무선통신의 전송채널 모델링 및 시뮬레이션, 변복조, 부호화 설계를 통한 실시간 우주 광 무선통신 시뮬레이션 장치 개발을 목적으로 한다.

연구결과

대기채널 모델링을 광 도메인에서 생성하는 에뮬레이터 설계를 통해 위성-지상간 채널 시뮬레이션 장치를 구성하였다. 또한 FPGA를 이용한 LDPC 코딩 및 블록 인터리브드 기법 구현 및 전송 성능 향상을 위한 대기채널 열화 보상 송수신 기법 개발을 통해 송수신단의 기본적인 구성을 완료하였다. 그림 1과 같이 대기채널 모델링, LDPC 코딩, 변복조기법, 채널 보상 알고리즘 등을 포함한 테스트베드를 통해 우주 광 무선통신 성능 분석 진행하였다.

또한, 고속 전송을 위한 새로운 PP-DPSK 송수신 기법을 개발하였다. 그림 2는 PP-DPSK 개념도 및 송수신 구조를 보여주고 있는데, TX에서는 수직한 두 편광에 각각 PP-DPSK 신호 변조한 후 EDFA를 이용하여 전송 파워를 증폭시키고 RX에서는 수직한 두 편광을 coupling시킨 후 balanced detection하는데 delay-line interferometer를 사용하지 않기 때문에 일반적인 DPSK와 달리 multi-rate 기능 구현 용이하다. PP-DPSK 변조 방식은 2 개의 bit가 1 개의 symbol을 구성하고 있고 첫 번째 bit는 pulse의 위치를 나타내고, 두 번째 bit는 pulse의 optical phase의 차이를 나타낸다. 송신부의 EDFA는 average power limited amplifier로 이와 같이 변조할 경우 signal power가 일반적인 DPSK에 비해 두 배 증폭이 되어 3dB SNR 확보할 수 있다.

활용 사례

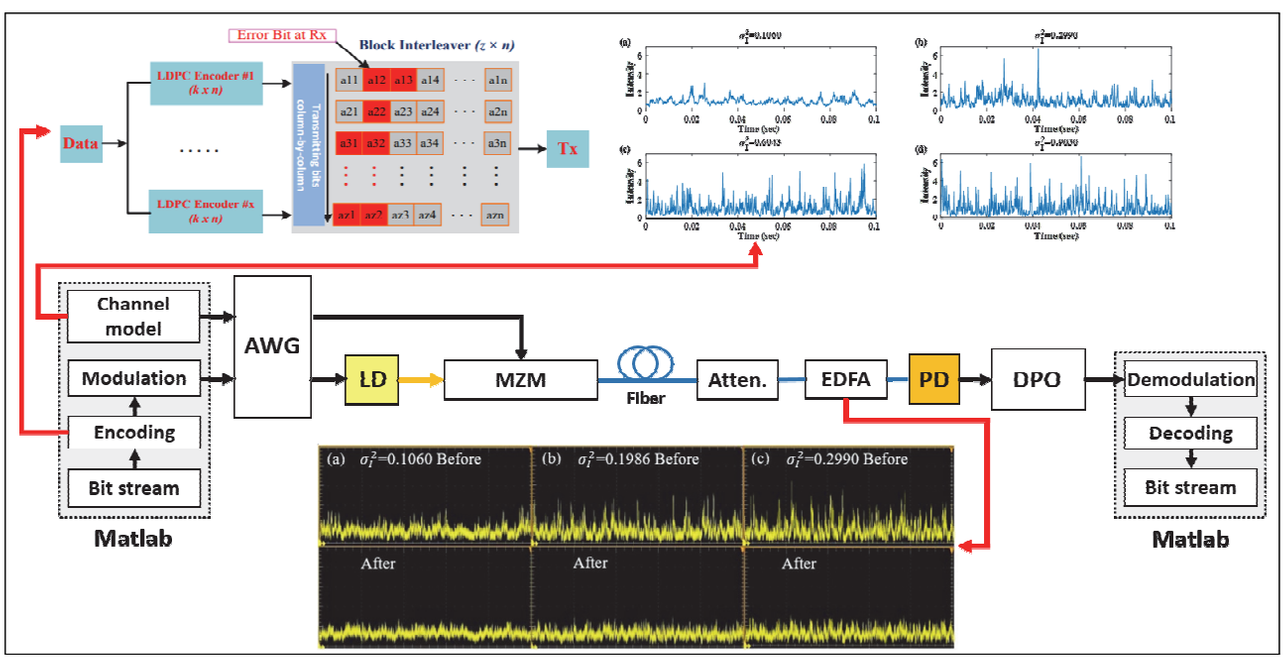
지상-지상간, 지상-UAV간, 위성-위성간, UAV-위성간 등 무선 광 통신의 모든 어플리케이션에 활용할 수 있으며 현재, 무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발에 활용하고 있다.

기존지식/ 기술대비 차별성

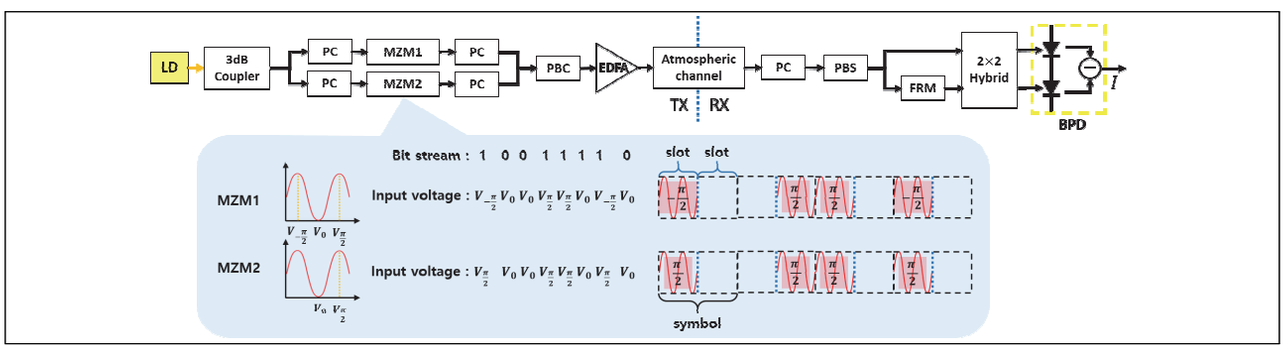
NASA의 위성 광 통신 데모 정보를 통해 채널 모델링에 필요한 현실적인 파라미터 설정하였고 이를 활용하여 시뮬레이터의 유효성 및 현실성을 향상시켰다. 위성 광 무선통신에서 발생하는 열화를 극복하기 위해 송신단, 수신단, 부호화기, DSP 등 다양한 관점에서 창의적인 연구를 진행하였다. 페이딩 채널에서 효과적인 블록 인터리브드 기법을 개발 및 적용하여 LDPC 성능 향상시켰다. EDFA, SOA 등을 이용한 기법을 개발하여 대기 채널에서 발생하는 열화를 효과적으로 보상 위성 광 무선통신 기술 트랜드에 뒤쳐지지 않고 본 과제 목표 이상의 성능인 기가급 전송을 위한 Pulse positioned Differential Phase Shift Keying 기법을 제안하였다.

활용 가능 분야

본 연구를 통해 확보된 대기권 채널 모델링 및 광 위성전송 기술은 초고속 위성간 제어 및 관측 관련 데이터 중계, 우주탐사선 및 위성과 지상 관제국간 대용량 정보 전송에 이용할 수 있다. 또한, 본 연구를 통해 확보된 광 위성통신 핵심기술을 이용하여, 지구관측위성에서 얻어지는 데이터나 재해감시용 데이터 처리 등에도 활용되어 추후 전개되는 우주산업의 핵심통신기술로서 경제성 확보할 수 있다. 유효한 시뮬레이터로 인해 위성 광 통신 탑재체 개발 시 성능 평가의 도구로 활용하여 기술 개발 비용 및 시간 절감 가능하고 위성-지상간 광 무선 통신뿐만 아니라 UAV-지상, UAV-위성 등 무선 광 통신의 모든 어플리케이션에 활용 가능하다.



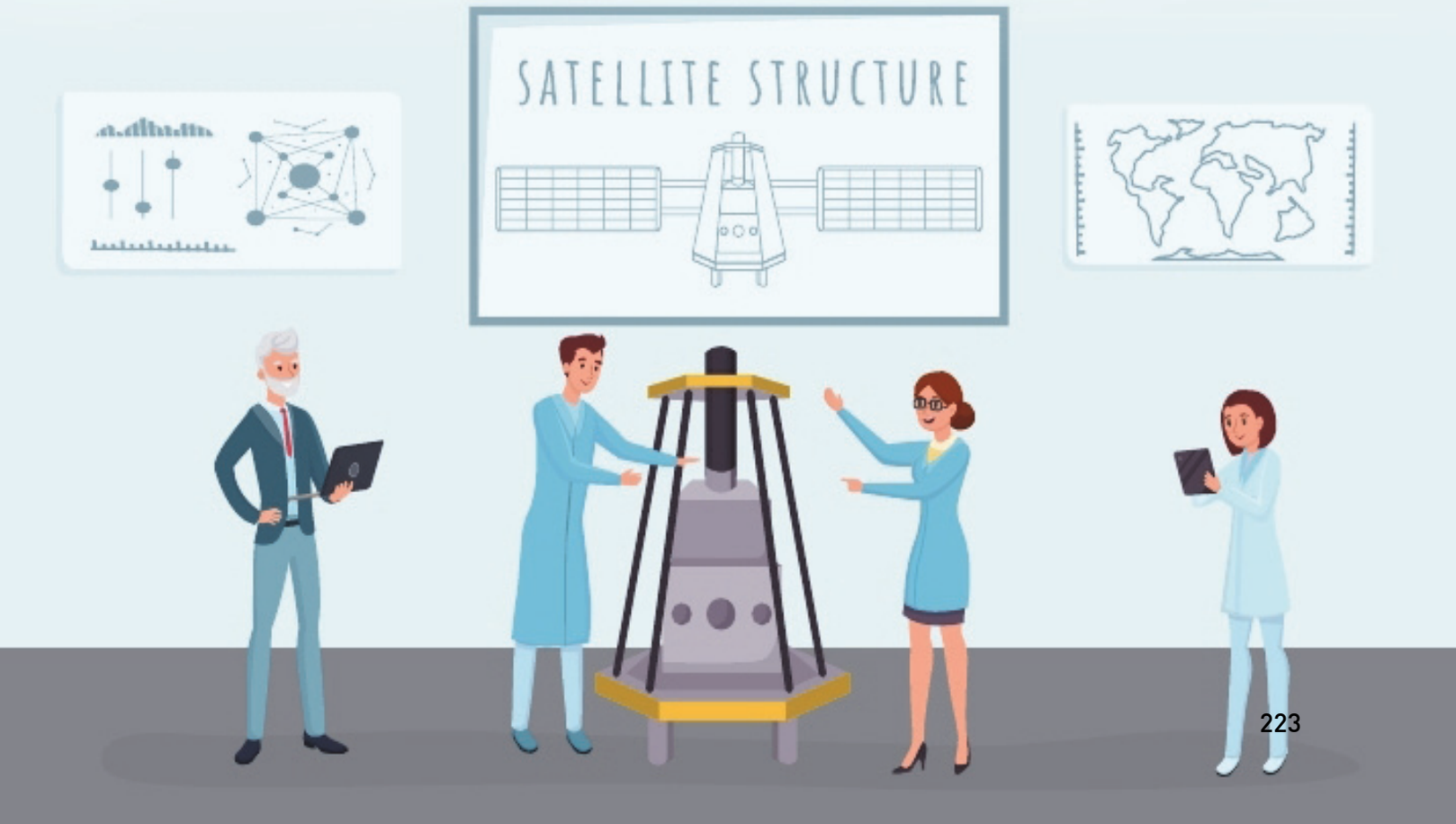
▲<그림 1> 우주 광 무선통신 시뮬레이션 장치 모식도



▲<그림 2> pulse positioned differential shift keying 개념도 및 송수신 구조

제5장

기 타



성과명	(1) 우주부품시험시설 구축		
주관연구기관	한국산업기술시험원	연구책임자	김 경 희
연락처	055-791-3675	이메일	oliver77@ktl.re.kr
분야	기타(우주부품시험시설)		
키워드(5개 이내)	우주환경시험시설, 우주부품 국산화, 민간주도 우주산업화, New Space, 우주기술경쟁력 강화		

상세 성과내용

연구의 필요성

그간 정부의 지속적인 투자로 우리나라 우주산업은 시장규모, 참여기업 수, 참여인력 등 모든 면에서 매년 괄목할만한 성장을 이루어 왔다. 반면 국가 차원의 우주개발 추진 전략에 따라 우주용 장치 등 부분품을 개발하는 민간기업의 기술력 향상에는 상대적으로 부족하였으며, 민간기업도 국내 우주시장의 한계 및 우주부품의 Heritage 부족에 따라 기술력 축적 보다는 해외수입을 통한 조립/생산에 중점을 두었다.

그러나, New Space 시대를 맞아 국내 우주산업이 국가가 주도하는 산업에서 민간 중심으로 이양됨에 따라 기업이 개발하는 우주용 장치 및 장비에 대한 생산량이 증가하였으며, 이로 인해 기존 항우연이 보유한 대형 시험시설 및 장비로는 기업들이 개발하는 부품 단위의 시험수요 및 국산화를 위한 연구에 필요한 가용 시험시간을 충족하기 어려운 실정이다.

이러한 국내 여건과 해외 우주환경시험시설의 운영 사례를 종합해 볼 때, 항우연에 구축되어 있는 대형 우주환경시험시설을 보완할 수 있는 민간기업 대상의 우주환경시험에 특화된 중소형 시설장비의 필요성이 대두되었으며, 전량 해외에서 수입하고 있는 소자급 우주부품 수급 체계에서 벗어나 민간 우주기술 경쟁력을 확보하기 위한 국내 우주산업 생태계 기반을 조성하고자 우주부품 시험시설 구축사업을 수행하게 되었다.

연구 목표

민간 우주산업체 기술지원을 위해 NASA, ESA 등이 제정한 국제적 수준의 우주환경시험규격을 충족하는 우주부품환경시험 기반시설을 구축하는 것을 목표로 한다. 또한, 시험평가 및 기술지원을 위한 조직 및 전문인력을 확보하고, 공신력 확보를 위한 국제공인시험기관 자격 획득 등 시험평가능력 국제부합화 및 고도화를 추진한다.

연구 결과

○ 민간 우주산업체 전용 우주부품시험시설 및 장비 구축

경남 진주시 상대동 일원에 연면적 약 6,000 제곱미터, 지하 1층, 지상 2층의 '우주부품시험센터'를 구축 완료하였으며, 발사환경시험실, 궤도환경시험실, EEE시험실, EMC시험실 4개 시험실은 Class 10,000 수준의 청정실로 구성하여 국제 우주시험소 규격에 부합하도록 하였다. 또한 우주환경 전문 시험장비 24종 30기를 성공적으로 구축하여, 한 시험 시설에서 국제 우주환경시험 규격이 요구하는 대부분의 시험을 원스톱으로 수행할 수 있는 환경을 마련하였다.

○ 우주부품 시험체계 및 품질시스템 구축

시험시설 구축사업 및 시험평가 서비스 제공을 위해 위성체 개발 및 우주환경시험 경력 4년 이상의 전문인력 5인을 채용하였으며, 시험평가 품질 관리를 위해 한국산업기술시험원 내부 규정에 따라 시험업무 절차서 1건, 시험별 시험업무지침서 6건을 개발, 등재 완료하였다. EMC시험의 경우 KOLAS 인정을 획득하였으며, 발사환경시험, 궤도환경시험, EEE시험의 경우 2021년 1월까지 KOLAS 인정을 획득 할 계획이다.

○ 공신력 확보 및 활용성 제고

우주부품시험평가 연구위원회를 구성하여 총 14회 위원회를 개최하였으며, 위원회 의견을 반영하여 시험장비 및 시험평가 공신력 확보를 위한 제언을 수용하였다. 또한 시험기술 고도화를 위해 구성원 전원에 대해 국내외 유관기관(AIRBUS D&S, 항우연, KAIST 인공위성연구소, 한국항공우주산업, 쎄트렉아이 등)을 방문하여 시험 참관 및 실무교육을 수료하였다. 국내외 인지도 확대를 위해 유럽 우주환경시험기관(iABG, Alter, ESTEC, NRL)과 협력 네트워크를 구축하고, 국내 시험소 8개소에 대한 벤치마킹을 수행하여 시험소 운영 노하우 및 의뢰처 편의를 도모하였다.

활용 사례

2020년 2월 5일 우주부품시험센터가 개소하였으나 우주산업체의 시험요구로 2019년 09월부터 순차적으로 구축이 완료된 우주환경시험장비를 조기 운영하여 우주산업체의 기술지원을 적극 수행하였으며 2020년 08월까지 약 1년여간 국내 18개 기업으로부터 57건의 우주환경시험평가를 성공적으로 수행 완료하였다. 2020년 올해 말까지 약 20여 건의 시험평가를 추가로 수행 할 예정이다. 특히 소자급 우주부품시험실에 구축된 19기의 우주소자 스크리닝 및 파괴물리시험 전문 장비는 항우연과 국내 다수의 우주산업체들과 공동으로 수행중인 우주부품 국산화 연구에 적극 활용하고 있다. 또한 구축된 기반시설을 활용하여 국책연구과제 4건, 기업수탁과제 1건, 지자체 지원개발과제 2건 등 후속 과제를 확보하여 수행 중에 있다.

기존지식/기술대비 차별성

기존 국내 우주환경시험평가 시설은 항우연, KAIST 인공위성연구소가 보유중에 있다. 기존 시설은 자체 연구개발하는 소/중/대형위성의 시스템급 또는 서브시스템급 시험을 위해 고가의 대형 시설장비를 보유중에 있으며 자체 연구개발 시험을 목적으로 한다. 따라서 민간 우주산업체가 개발한 유닛급, 소자급 시험을 수행하기에는 시험비용이 높아 경제성이 떨어지며, 자체 연구개발 시험평가를 우선하기 때문에 기업의 시험 적시성이 떨어진다. 반면 한국산업기술시험원 우주부품 시험센터는 민간 우주산업체 전용의 시험시설로 중소형 시험시설장비를 다수 구축하여 기존 기관대비 비용을 최대 50%까지 낮추고, 의뢰 기업이 원하는 일정에 시험을 수행할 수 있는 여건을 마련하였다. 더불어 한국산업기술시험원은 50년 이상 시험평가 업무를 수행한 국내 유일의 종합 공공시험 인증기관으로 국제수준에 부합하는 시험인증체계를 확보하고 있어 기존 기관 대비 제 3자 객관적인 검증으로 더 높은 공신력을 확보할 수 있다.

활용 가능 분야

○ 우주 소자급 부품 국산화

위 활용 사례에 언급한 바와 같이 일반 우주용 부품의 시험평가 뿐만 아니라 현재 해외에서 전량 수입하고 있는 소자급 우주부품의 국산화를 위한 다수의 시험장비를 갖추고 있어 국내 기업이 개발한 부품에 대한 우주적합성 검증 및 인증을 수행 할 예정이다.

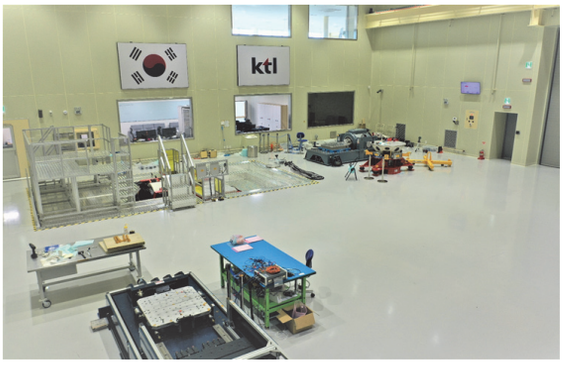
○ 국방분야 시험평가

MIL-STD 등 국방분야에서 요구하는 시험평가 항목 대다수는 우주환경시험과 유사성이 높다. 우주부품 시험센터는 구축 당시 ECSS, NASA 규격 외 MIL-STD, SMC 규격에 포함된 열환경, 진동환경, EMC 환경에 대한 시험까지 수행할 수 있는 장비를 구축하여 국방분야에도 활용이 가능하다. 실제 기업 요청에 의해 MIL-STD-810G에서 요구하는 고도시험을 4건 이상 수행하였다.

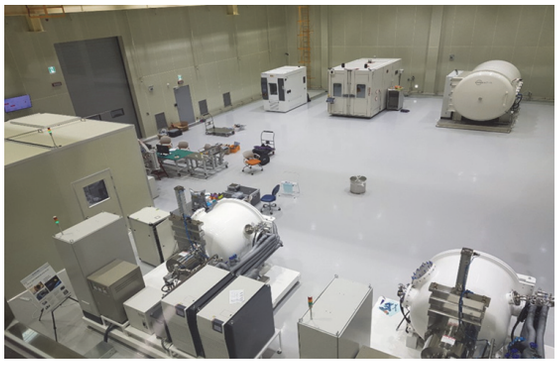
○ 산·학 우주환경시험기술 컨설팅

시험시설 내 전문인력 및 시설장비를 활용하여 국내 우주산업체의 우주용 제품 개발 시 기술 컨설팅을 수행 할 예정이며, 국내 항공우주공학제를 운영하는 대학의 학생들을 대상으로 우주환경 및 시험평가 기술교육을 실시해 인력양성에 활용 할 예정이다.

▲<그림 1> 우주부품시험센터 전경



▲<그림 2> 우주부품시험센터 발사환경시험실 전경



▲<그림 3> 우주부품시험센터 궤도환경시험실 전경

▲<그림 4> 우주부품시험센터 EEE시험실 전경

▲<그림 5> 우주부품시험센터 EMC시험 제어실 전경

▲<그림 6> 우주부품시험센터 EMC시험 챔버 전경

성과명	(2) 과중력과 중력변화에 의한 생체 스트레스 규명 및 계량모델 창안		
주관연구기관	서울대학교	연구책임자	김 상 건
연락처	02-880-7840	이메일	sgk@snu.ac.kr
분야	기타(중력과 스트레스)		
키워드(5개 이내)	중력 자극, 에너지 대사, 산화적 스트레스, 미토콘드리아, 소포체 스트레스		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주 항공기를 타고 임무를 수행하는 과정에서 인체는 과중력에서 무중력에 이르는 과도한 중력변화를 경험하게 된다. 인간과 타 생명체가 받는 과중력은 생체 스트레스로 예상되지만 현재 이를 측정하는 근거 및 생체지표 정보가 없는 실정이다. 우리나라 우주항공의 발전을 위해서는 과중력/중력변화 스트레스를 이해하고 이에 대비하는 체계의 확보가 필요하다. 이를 위해서는 과중력이 생체에 미치는 영향에 대한 과학적 근거와 이를 계량하는 지표가 요구된다.

연구 목표

중력 변화는 세포골격계 및 세포 소기관을 교란하므로 이를 “장력 스트레스”로 볼 수 있다. 이러한 세포골격계 교란은 생체 항산화체계 변화와 밀접히 관련되므로 장력 스트레스는 산화적 스트레스를 유발할 것으로 예상한다. 또한 이는 에너지 대사를 교란할 가능성이 높음. 본 연구에서는 과중력 스트레스를 장력스트레스-항산화스트레스-에너지 대사 교란으로 연결되는 "Trigonal stress"로 제안하여 탐구하고, 생체 정량 지표를 발굴하며, 결과를 활용한 계량 방법을 창안하고자 하였다. 간은 에너지원과 외부 물질이 유입되는 대사 중심 장기이며 외부에서 가해지는 스트레스에 민감하므로 이를 중심으로 과중력 스트레스가 생체에 미치는 영향을 관찰하였고, 추가로 타 주요 장기(근육, 신장)로 연구를 확대하여 중심 장기간의 연계 의존성을 파악하는 연구를 수행하였다.

연구결과

우주 및 항공 과학 분야와 산업에서 외부 환경의 변화가 생명체에 미치는 영향과 그 파급에 관한 정보는 이 분야 발전의 경쟁력, 효율성과 안전성 담보에 핵심적으로 필요한 사항으로, 각 국가의 기밀사항으로 간주되며, 향후 우주 및 항공 과학 분야의 경쟁에 있어 매우 중요한 정보로 취급될 수 있다. 그러나 국내에서는 과중력 변화로 특징되는 외부 환경의 변화가 생체에 미치는 영향에 대한 연구는 미약한 실정이다. 본 연구에서는 중력 스트레스가 가하는 세포 신호 및 기능의 교란, 이와 관련된 분자 기작을 이해하고, 이를 계측할 수 있는 biomarker를 발굴하여 중력변화의 생체반응을 계량화하는 새로운 체계를 구축하고자 하였다.

분자지표를 활용한 생체 스트레스의 평가: 중력가속도 장치를 활용하여 다양한 조건의 과중력이 장기 및 세포에 미치는 영향을 탐구함. 과중력에 의한 장력스트레스가 생체에 가해지는 스트레스를 ① 산화적 스트레스, ② 에너지대사 교란의 스트레스, ③ 장력 스트레스에 의한 세포골격계와 소기관의 위치 및 형태적 변화를 연구함. 이는 중력 스트레스가 미치는 세포신호 및 기능의 교란과 관련된 기초/기반지식의 축적에 기여. 본 연구의 결과는 국내외 연구자에게 기술을 제공함으로서 연구의 방향을 제시하는 등 관련된 학문 분야 발전에 기여할 것으로 기대한다.

활용사례

본 연구에서 도출되는 자료를 의약적으로 활용할 경우 과도한 중력 변화가 수반되는 우주여행 고위험군의 규명 및 이를 최소화하기 위한 예방 및 치료약물의 개발에도 활용될 것으로 기대되며, 항공우주산업에 필수적인 의약적 가이드라인의 지표로서 응용적 가치가 있을 것으로 예상된다.

기존지식/ 기술대비 차별성

우주과학은 공학, 물리학, 화학, 생물학에 기초하여 인류의 꿈을 실현하는 과학/산업분야로서 우리나라도 한국형 우주인 배출, 한국형 발사체(나로호) 개발과 같은 괄목할 만한 발전을 이루면서 이 분야에서 국산화를 점진적으로 도모하고 있다. 그러나 발사체 및 탐사장비의 최근 고도화에 비하여 생명현상의 변화 및 적응에 관한 연구 자료는 상대적으로 미흡하다. 우주과학의 궁극적 실현은 '유인 우주'로 완성되므로 환경 변화가 생명체에 미치는 영향과 그 파급에 관한 정보는 이 분야 발전의 경쟁력, 효율성과 안전성 담보에 핵심 요구 사항임을 고려할 때 우주환경에서의 생명현상을 이해하는 노력이 필요하다.

생명체가 지구 표면에서 우주로 이탈할 때 가해지는 가장 큰 변화는 발사체를 타고 올라가는 동안 가해지는 높은 중력과 그 후 겪게 되는 급격한 무중력으로의 변화로 볼 수 있다.(과중력과 중력변화) 특히, 과도한 중력과 중력 가속도의 변화는 생체에 급격한 스트레스를 가하므로 이에 관한 계량적 정보를 확보할 필요성이 있다. 우주과학과 관련된 이러한 정보는 생명체의 적응과 안전에 필수적이며 항공 과학과 산업에서도 공통적으로 요구되는 사항이다. 이 같은 자료는 각 국가의 산업발전과 경쟁 측면에서 국제적으로 자료를 공유하는데 제한이 크다. 따라서 과도한 중력과 중력가속도 변화에 의한 생명 현상의 변화 및 적응 정보를 확보하는 것은 각 국가의 투자 개념으로 보아야 하며, 우리나라에서도 우주과학의 실현 및 산업발전을 위하여 우선 개척해야 할 대상이다.

중력 가중 및 중력가속도의 증감에 따라 생명체가 겪는 스트레스는 연구 모델, 대상과 관찰지표에 따라 다양하므로 자료의 해석과 호환성을 위하여 체계적인 접근과 노력이 필요하다. 중력 변화가 생체에 미치는 영향을 이해하기 위해서는 '외부자극에 따른 생명현상의 변화 및 적응'을 새로운 평가체제를 활용하여 접근할 필요성이 있다. 본 연구에서는 지상에서 연구하여 축적된 과학지식을 활용하여 우주항공 분야에 요구되는 평가체계의 기반과 응용 모델을 제시하고자 하였다. 구체적으로 중력 스트레스 정량 지표를 3개 측면으로 조명하여 그 결과를 지표로 응용하며, 이를 발전시킨 계량적 모델로서 장력 스트레스-항산화 시스템-에너지 대사로 연결되는 "Trigonal stress diagram"을 제안하였다. 본 연구에서는 제안하는 평가 방법의 유용성 및 계량방법으로써의 가치를 적절한 동물모델링, 분자지표 발굴, 지표의 연계 분석, 주요 장기 특성 및 장기간 의존성을 중점적으로 연구하였다.

활용 가능 분야

우주 항공 산업에서 마주치는 과중력 스트레스에 의한 손상을 가역적, 불가역적 손상으로 구별하여 이해함으로써 향후 이를 예방 또는 치료할 수 있는 근거 또는 기초 자료로 활용될 가능성이 있다. 또한 우주항공 분야에 요구되는 평가체계의 기반기술과 응용 모델을 제시하여, 항공우주 의약적 가이드라인 구축에 일조하고, 이 분야 국가 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대한다.

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

A load of mice to hypergravity causes AMPKα repression with liver injury, which is overcome by preconditioning loads via Nrf2

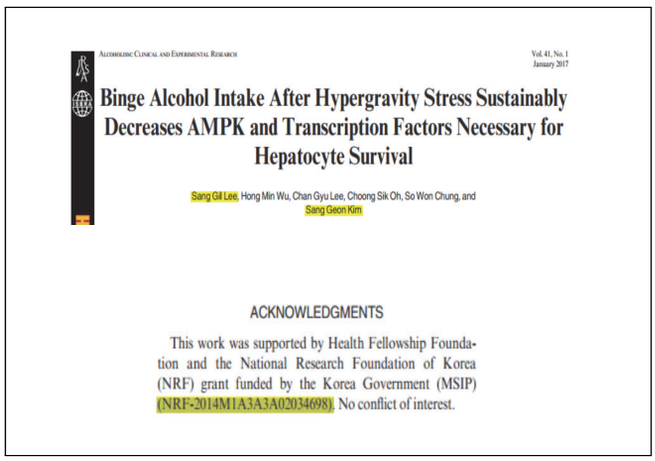
Received: 24 July 2015
Accepted: 23 September 2015
Published: 23 October 2015

Sang Gil Lee[1,*], Chan Gyu Lee[1,*], Hong Min Wu[1], Choong Sik Oh[2], So Won Chung[2] & Sang Geon Kim[1]

Acknowledgments

The authors express sincere thanks to the present and former directors of Korea Air force Aerospace Medicine Research Center, Lt Col. Kang-Chul Huh and Col. Jeongku Lim, for kindly supporting our research. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (NRF-2014M1A3A3A02034698).

▲<그림 1> 2015년도 발표논문



ALCOHOLISM: CLINICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH

Vol. 41, No. 1
January 2017

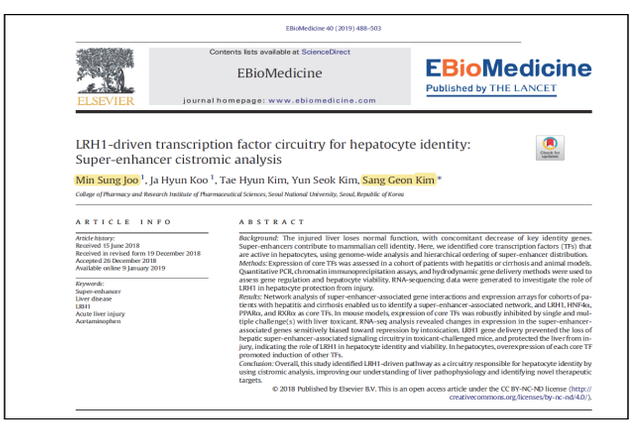
Binge Alcohol Intake After Hypergravity Stress Sustainably Decreases AMPK and Transcription Factors Necessary for Hepatocyte Survival

Sang Gil Lee, Hong Min Wu, Chan Gyu Lee, Choong Sik Oh, So Won Chung, and Sang Geon Kim

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by Health Fellowship Foundation and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea Government (MSIP) (NRF-2014M1A3A3A02034698). No conflict of interest.

▲<그림 2> 2017년도 발표논문



EBioMedicine 40 (2019) 488–503

Contents lists available at ScienceDirect

EBioMedicine

journal homepage: www.ebiomedicine.com

EBioMedicine
Published by THE LANCET

LRH1-driven transcription factor circuitry for hepatocyte identity: Super-enhancer cistromic analysis

Min Sung Joo [1], Ja Hyun Koo [1], Tae Hyun Kim, Yun Seok Kim, Sang Geon Kim *

College of Pharmacy and Research Institute of Pharmaceutical Sciences, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 15 June 2018
Received in revised form 19 December 2018
Accepted 26 December 2018
Available online 9 January 2019

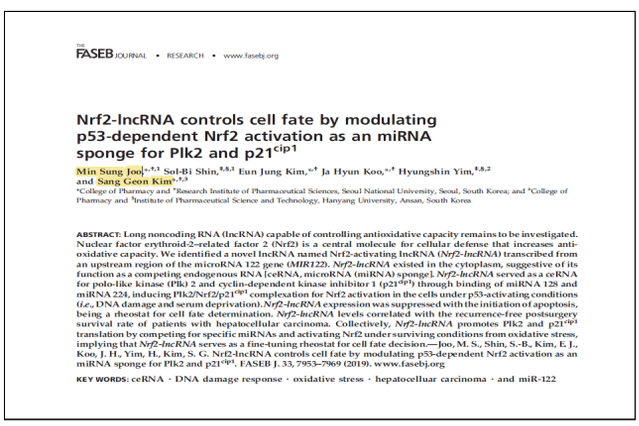
Keywords:
Super-enhancer
Liver disease
LRH1
Acute liver injury
Acetaminophen

ABSTRACT

Background: The injured liver loses normal function, with concomitant decrease of key identity genes. Super-enhancers contribute to mammalian cell identity. Here, we identified core transcription factors (TFs) that are active in hepatocytes, using genome-wide analysis and hierarchical ordering of super-enhancer distribution.
Methods: Expression of core TFs was assessed in a cohort of patients with hepatitis or cirrhosis and animal models. Quantitative PCR, chromatin immunoprecipitation assays, and hydrodynamic gene delivery methods were used to assess gene regulation and hepatocyte viability. RNA-sequencing data were generated to investigate the role of LRH1 in hepatocyte protection from injury.
Results: Network analysis of super-enhancer-associated gene interactions and expression arrays for cohorts of patients with hepatitis and cirrhosis enabled us to identify a super-enhancer-associated network, and LRH1, HNF4α, PPARα, and RXRα as core TFs. In mouse models, expression of core TFs was robustly inhibited by single and multiple challenge(s) with liver toxicant. RNA-seq analysis revealed changes in expression in the super-enhancer-associated genes sensitively biased toward repression by intoxication. LRH1 gene delivery prevented the loss of hepatic super-enhancer-associated signaling circuitry in toxicant-challenged mice, and protected the liver from injury, indicating the role of LRH1 in hepatocyte identity and viability. In hepatocytes, overexpression of each core TF promoted induction of other TFs.
Conclusion: Overall, this study identified LRH1-driven pathway as a circuitry responsible for hepatocyte identity by using cistromic analysis, improving our understanding of liver pathophysiology and identifying novel therapeutic targets.

© 2018 Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

▲<그림 3> 2019년도 발표논문



THE FASEB JOURNAL • RESEARCH • www.fasebj.org

Nrf2-lncRNA controls cell fate by modulating p53-dependent Nrf2 activation as an miRNA sponge for Plk2 and p21^{cip1}

Min Sung Joo[a,*,1] Sol-Bi Shin,[a,b,1] Eun Jung Kim,[a,*] Ja Hyun Koo,[a,*] Hyungshin Yim,[a,b,2] and Sang Geon Kim[a,*,3]

[a]College of Pharmacy and [b]Research Institute of Pharmaceutical Sciences, Seoul National University, Seoul, South Korea; and [a]College of Pharmacy and [b]Institute of Pharmaceutical Science and Technology, Hanyang University, Ansan, South Korea

ABSTRACT: Long noncoding RNA (lncRNA) capable of controlling antioxidative capacity remains to be investigated. Nuclear factor erythroid-2–related factor 2 (Nrf2) is a central molecule for cellular defense that increases antioxidative capacity. We identified a novel lncRNA named Nrf2-activating lncRNA (*Nrf2-lncRNA*) transcribed from an upstream region of the microRNA 122 gene (*MIR122*). *Nrf2-lncRNA* existed in the cytoplasm, suggestive of its function as a competing endogenous RNA [ceRNA, micnoRNA (miRNA) sponge]. *Nrf2-lncRNA* served as a ceRNA for polo-like kinase (Plk) 2 and cyclin-dependent kinase inhibitor 1 (p21^{cip1}) through binding of miRNA 128 and miRNA 224, inducing Plk2/Nrf2/p21^{cip1} complexation for Nrf2 activation in the cells under p53-activating conditions (*i.e.*, DNA damage and serum deprivation). *Nrf2-lncRNA* expression was suppressed with the initiation of apoptosis, being a rheostat for cell fate determination. *Nrf2-lncRNA* levels correlated with the recurrence-free postsurgery survival rate of patients with hepatocellular carcinoma. Collectively, *Nrf2-lncRNA* promotes Plk2 and p21^{cip1} translation by competing for specific miRNAs and activating Nrf2 under surviving conditions from oxidative stress, implying that *Nrf2-lncRNA* serves as a fine-tuning rheostat for cell fate decision.—Joo, M. S., Shin, S.-B., Kim, E. J., Koo, J. H., Yim, H., Kim, S. G. Nrf2-lncRNA controls cell fate by modulating p53-dependent Nrf2 activation as an miRNA sponge for Plk2 and p21^{cip1}. FASEB J. 33, 7953–7969 (2019). www.fasebj.org

KEY WORDS: ceRNA · DNA damage response · oxidative stress · hepatocelluar carcinoma · and miR-122

▲<그림 4> 2019년도 발표논문

성과명	(3) 국제우주정거장에서의 물 재이용을 위한 태양광 기반 하이브리드 수처리 장치 개발		
주관연구기관	한림대학교	연구책임자	김 정 원
연락처	033-248-2156	이메일	jwk@hallym.ac.kr
분야	기타(수처리 장치)		
키워드(5개 이내)	국제우주정거장, 수처리, 물 재이용 시스템, 태양광 활성 나노소재, 태양광 활성 전극소재		
상세 성과내용			

연구의 필요성

현재 국제우주정거장 (International Space Station, ISS)의 건설로 인해 인간의 우주 체류가 가능해졌고, 우주 체류가 가능해짐에 따라 지속적인 우주 탐사 및 실험, 우주 환경 속 인체 변화 연구 등이 이루어지면서 우주에 대한 연구가 구체화, 가속화 되고 있다. 하지만 인간이 국제우주정거장에 오랫동안 체류하기 위해서는 깨끗한 물과 공기가 반드시 필요하다. 현재 공기는 Environmental Control and Life Support System (ECLSS)에 의해 ISS 내에서 생산되고 있는 반면 물은 주로 지구에서의 직접적 공급에 의해 이루어지고 있다.

인간의 우주 장기체류를 위해서는 반드시 많은 양의 물 (식수, 세면 및 샤워용 물)이 필요하고, 현재 물 공급은 주로 지구와 국제우주정거장을 왕복하는 화물 우주선에 의해 이루어지고 있다. 하지만 외부로부터의 물 공급은 화물 우주선의 무게를 증가시키고, 이는 결국 막대한 비용 증가를 야기한다 (11,000달러/리터). 또한, 국제우주정거장으로의 물 공급 (또는 국제우주정거장의 물 보유량)은 국제우주정거장의 상주 인원수를 결정하는 가장 중요한 요소로 작용하고 있다. 또한, 국제우주정거장에서의 물 재이용 기술은 위성체, 발사체, 탐사체 기술 못지않게 우주 연구를 위해 반드시 필요한 기술로서 많은 경제적 가치를 창출할 수 있다.

연구 목표

태양광 활성 나노 소재와 전극 소재를 다양한 방법으로 개발 및 하이브리드하고, 이를 국제우주 정거장에서의 물 재이용을 위한 수처리 시스템에 적용한다. 개발된 태양광 이용 하이브리드 수처리 시스템을 사용하여 생활오수, 폐수 및 소변을 재이용수 수질기준 (요소 불검출, 대장균 불검출, 유기물 3 mg/L 이하, 총 질소 10 mg/L 이하)의 깨끗한 물로 전환시킨다. 나아가 태양광 이용 하이브리드 수처리 시스템을 소형화함으로써 실제 우주 환경에서의 적용성을 향상시킨다.

연구결과

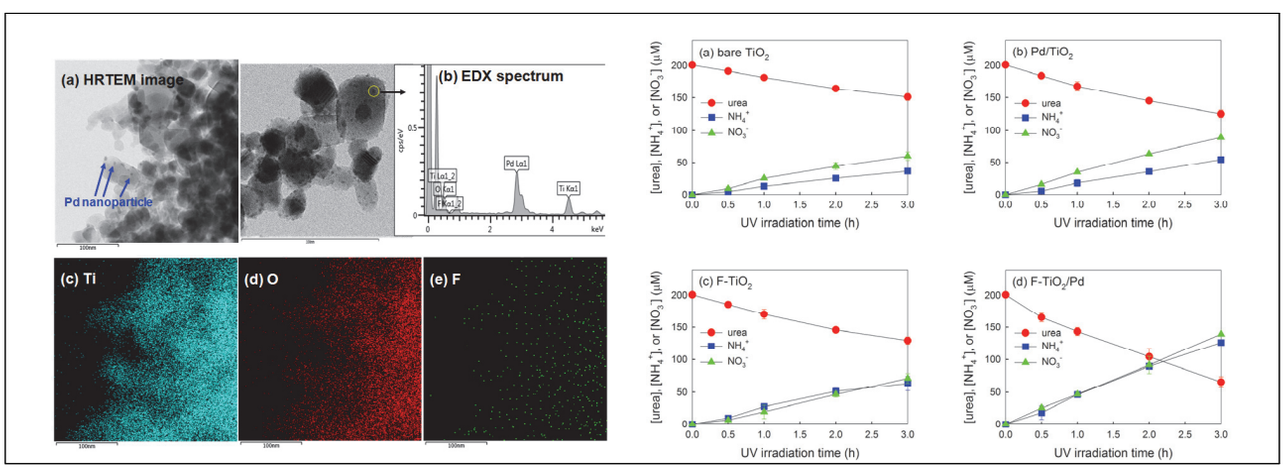
다양한 태양광 활성 나노소재 (ZnO, 백금이 담지된 TiO2, 나노 WO3, TiO2/CdS, ZnO rod/탄소 나노섬유, SnP/silica, 불소로 표면 개질된 TiO2, 팔라듐 나노입자와 불소 음이온으로 동시 표면개질된 TiO2 (그림 1), 옥살산 결합 TiO2 복합체 등)와 태양광 활성 전극소재 (TiO2, TiO2 nanorod, Ni-Sb-SnO2/Ti/TiO2 nanotube, CuFeO2/CuO, CdS/WO3, blue TiO2 nanotube 등)를 개발하고 국제우주정거장에서 발생할 수 있는 다양한 오염물질 (페놀계 오염물질, 유기산, 중금속, 요소, 소변 등)에 대한 분해 성능을 평가하였다. 또한, 태양광 활성 나노소재와 전극소재에서 광조사에 의해 일어나는 전자 전달 프로세스 및 오염물질 분해 메커니즘에 대해 체계적으로 규명하였다. 나아가, 태양광 활성 나노소재와 태양광 활성 전극소재를 하이브리드하여 성능을 극대화하였고, 태양광 이용 하이브리드 수처리 시스템을 소형화 (그림 2)함으로써 실제 우주 환경에서의 적용성을 향상시켰다. 개발한 수처리 장치의 성능을 평가한 결과 요소 제거율 100%, 대장균 제거율 100%, 유기물 1 mg/L 이하, 총 질소 5 mg/L 이하의 최종 목표 수질을 달성하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

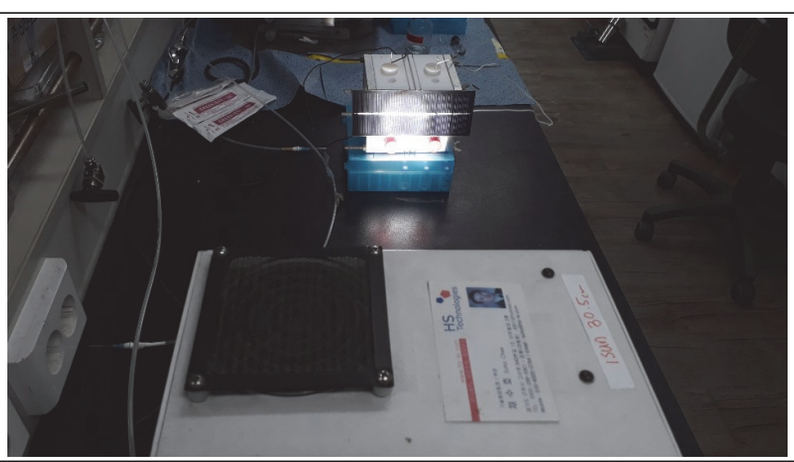
현재 국제우주정거장에서의 물 재이용을 위해 미국에서 개발된 증류, 여과, 산화, 이온화, 살균의 순차적 수처리 시스템은 큰 무게와 많은 전력 소모, 잦은 고장으로 인해 지속적인 사용이 불가능하고, 휴대용 정삼투압법 수처리 장치는 수처리 후의 수질이 생활용수로 사용하기에는 미흡하기 때문에 실제 국제우주정거장에서 사용되지 않고 있다. 따라서, 새로운 방법의 우주 정수 기술이 필요하다.
본 연구에서는 태양광 활성 나노소재 및 전극소재를 이용하여 국제우주정거장과 유사한 환경에서 발생하는 생활하수 (세면 및 샤워에 사용된 물), 폐수 (장비 구동에 사용된 물) 및 소변을 정화하고, 이를 재이용하는 방법을 개발하였다.

활용 가능 분야

국제우주정거장에서의 물 재이용, 환경 조절 및 생명 유지 기술(산소 발생 및 대기오염 물질 제거), 에너지(수소, 전기) 생산기술에 활용이 가능하다.



▲<그림 1> 팔라듐 나노입자와 불소 음이온으로 동시 표면개질된 이산화티타늄 (TiO2)의 표면 분석 결과 및 이를 이용한 요소 (소변의 주성분) 분해 결과



▲<그림 2> 국제우주정거장에서 발생하는 소변 처리용 태양광 이용 하이브리드 수처리 장치

성과명	(4) 위성 영상센서 출력특성 교정용 MEMS 기반 다기능 흑체 시스템 개발		
주관연구기관	조선대학교	연구책임자	김 태 규
연락처	062-230-7123	이메일	taegyu@chosun.ac.kr
분야	기타(흑체 시스템)		
키워드(5개 이내)	흑체, MEMS, 위성영상센서, 탑재교정, 출력특성		

상세 성과내용

연구의 필요성

적외선 센서 등과 같은 위성용 영상센서는 궤도 운용에 따른 시간 경과 및 작동/비작동 반복에 기인한 센서의 비균일 출력특성을 보정 또는 측정 대상체의 추정 정확도를 높이기 위해 탑재교정용 흑체를 이용하여 주기적인 보정을 실시한다. 국내 위성에 적용 중인 영상센서의 출력특성 보정을 위한 탑재교정용 흑체는 대부분 해외도입에 의존하고 있으며, 해당 분야 국내 지적기반이 매우 취약한 실정이다. 현재 유일하게 국내 주도로 개발된 다목적 실용위성 3A호의 적외선 센서 보정용 흑체의 경우, 그 기능이 센서의 비균일 출력특성 교정에만 한정되어 흑체가 제공 가능한 기준온도정보가 매우 제한적이었다.

초소형, 초경량, 저전력에 적합한 MEMS(미소전자기계시스템) 기술을 활용한 마이크로 히터, 냉각기, 온도 센서를 흑체에 집적화시킬 경우, 흑체 시스템의 정밀화 및 경량화가 가능하고, MEMS 공정으로 흑체 표면의 근접위치에 다수의 온도 센서를 배치하는 것이 가능하여 흑체 기능에 있어 중요한 대표 표면온도 추정이 용이하다. 또한, MEMS 공정으로 마이크로 히터 및 냉각기의 고밀도 집접화가 가능하므로 온도 균일화 확보에 유리하고, 영상센서로부터 흑체로의 시야각 확보를 위해 흑체에 전개/수납 기능을 부여할 경우, MEMS 공정에 따른 흑체의 경량화로 구동기의 토크 버짓 최소화가 가능하며, 이는 곧 시스템 전체 무게 감소 및 단순화를 가능하게 하므로 연구의 필요성이 높다고 볼 수 있다.

연구 목표

위성 영상센서 출력특성 교정용 흑체 시스템의 단순화 및 고기능 구현을 위해 MEMS 기술을 적용하고, 단일 흑체로 저온과 고온의 온도정보 제공이 가능하며, 높은 온도 균일도 확보 및 대표 표면온도 추정이 용이한 고 집적화된 초경량, 저전력, 고정밀 우주용 흑체 시스템 개발을 목표로 한다.

연구결과

○ MEMS 공정을 통한 고방사율 흑체 시스템 개발

본 연구에서는 흑체 시스템의 단순화 및 고기능 구현을 위해 MEMS 기술을 적용하여 흑체 단독으로 저온과 고온의 온도정보 제공이 가능하며, 높은 온도 균일도 확보 및 대표 표면온도 추정이 용이한 고집적화된 우주용 흑체를 개발하였다. 이를 위해 목표 온도에서의 안정된 고방사율 구현을 위한 재료선정, 표면공정, 코팅 등의 MEMS 공정을 확보하였고, 흑체 단독으로 저온 및 고온 또는 천이 구간에서의 기준온도 정보 제공을 위해 저전력형 마이크로 히터 및 온도센서를 집적화하여 흑체 시스템의 단순화 및 경량화를 구현하였다. 또한, 다수의 마이크로 온도 센서를 흑체 표면에 최대한 근접하도록 배치 및 가공하여 정밀한 흑체 대표 표면온도 추정을 구현하였다. 개발된 공정을 기반으로 MEMS 기반 EM급 흑체를 설계 및 제작하여 목표 온도별 방사율, 표면 온도 균일도, 대표 표면온도추정 등의 기본 성능 및 기능 측정시험을 통해 설계 유효성을 검증하였다. 이로부터 확립된 MEMS 공정을 바탕으로 제작된 흑체 개발모델의 환경시험 전·후의 기능 및 성능시험 비교를 통해 우주급으로의 적용 가능성을 검증하였다.

○ MEMS 기반 흑체 시스템 구동 메커니즘 개발

본 연구에서는 영상센서의 비균일 출력특성 교정 임무 수행용 흑체 시스템에 포함되는 기존 교정 메커니즘의 문제점을 극복하기 위하여, 자체 제작이 가능한 형상기억합금 스프링 액추에이터 및 스테핑 모터로 구성되는 구속 핀 메커니즘을 이용하여, 단일장치로 발사환경에서의 구조 건전성 확보, 영상센서 보정

을 위한 전개/수납 및 결함 안전 기능이 가능한 교정 메커니즘을 제안하고 개발하였다. 이를 통해 영상센서로부터 흑체로의 시야각 확보를 위해 흑체에 전개/수납/결함 안전 기능을 부여하고, MEMS 공정에 따른 흑체의 경량화로 구동기 토크 버짓을 최소화하였으며, 시스템 전체 무게 감소 및 단순화를 달성하였다.

활용 사례

MEMS 기반 흑체 시스템 개발 성과는 관측위성 영상센서 교정장치 개발에 직접 활용될 수 있으며, 비균일 출력특성을 최소화하여 우수한 영상품질을 제공할 수 있을 것이다. MEMS 기반 시스템을 적용할 경우 탑재 장비의 초소형, 초경량, 저전력 흑체 구현이 가능하여 탑재장비 제작의 개발효율 및 생산성 증대가 가능하다. 또한, 초경량, 고정밀 흑체 시스템 확보 시, 전체 탑재 시스템의 경량화가 가능하므로 관련 해외 및 국내 산업체에 기술이전이 가능할 것이다.

대부분 해외수입에 의존하고 있는 흑체 시스템의 국산화 및 MEMS 기반 고정밀 검보정용 흑체 시스템의 핵심기술 선점에 따른 지식재산권을 확보할 수 있으며, 우주 환경에 적용 가능한 MEMS 기반 기술을 구축 시, 임무 장비의 고집적화가 가능하여 위성의 무게 저감, 임무 다양화를 통한 개발비 절감이 가능할 것이다. MEMS 기술은 임무의 다양화 및 소형화로 진행되는 우주개발추세에 적합한 기술로, 혁신적 우주 임무 창출이 가능하여 다양한 우주기술 수요에 대비한 미래형 우주기술 기반구축 및 우주 MEMS 분야의 전문인력양성이 가능할 것으로 판단된다.

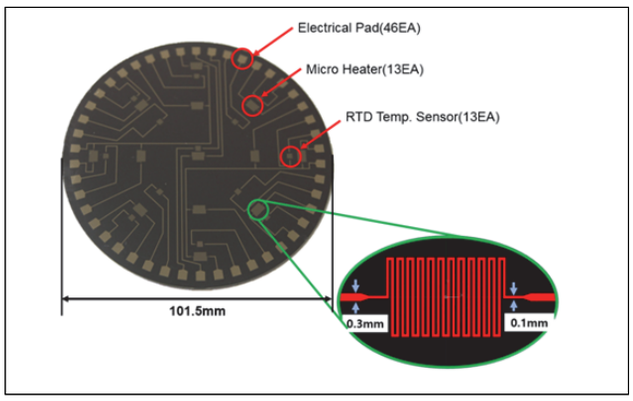
기존지식/ 기술대비 차별성

기존 흑체 시스템은 저온/고온 기준온도 제공을 위해 방열판 및 히터 적용으로 인해 설계의 복잡성 야기, 흑체 표면 온도의 균일도 확보가 어려운 문제가 있었다. 또한, 고온과 저온의 두 개의 흑체를 이용할 경우, 센서로부터 지향성 확보가 필요하므로, 스캔 메커니즘의 적용이 요구되고 시스템 복잡화가 야기되었다. 흑체의 표면 온도를 최대한 정밀하게 추정하기 위해서는 최대한 많은 온도 센서를 흑체 표면에 최대한 근접하게 설치하는 것이 중요하므로, 기존 우주용 흑체 시스템의 경우 공간적인 한계로 인해 설치가 제한적인 한계가 있었다. 하나의 흑체로 저온에서 고온영역까지 임무 수행 시점에서 온도 제공하기 위해서는 히터, 히트파이프, 방열판 사용에 따른 흑체 시스템의 복잡화가 야기되고, 위성시스템 레벨 시험 시 히트파이프 위치에 따른 시험 제한성이 수반되었다.

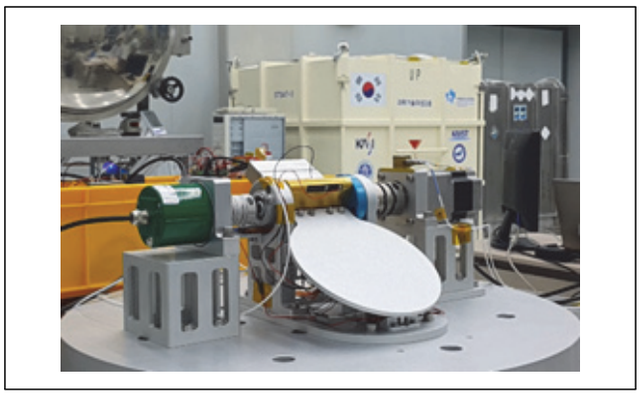
본 연구에서는 초소형, 초경량, 저전력에 적합한 MEMS 기술을 활용하여 마이크로 히터, 냉각기, 온도센서를 흑체에 고 집적화하여, 흑체 시스템의 정밀화 및 경량화를 달성하였다. 또한, 저온/고온에서 흑체의 기준온도를 제공하기 위해 MEMS 기반 히터 및 냉각기를 흑체에 집적화하였으며, 저온 및 고온 기준온도에서 흑체 표면 온도의 높은 균일도를 확보하였다. 고정밀 대표 표면온도를 추정하기 위해 MEMS 공정을 활용하여 흑체 표면을 정밀가공하였고 목표 온도에서 안정된 고방사율을 구현할 수 있음을 검증하였다. 특히, 흑체 표면 근접위치에 다수의 온도 센서를 직접화하여 대표 표면온도 추정 정확도를 개선하였고, 흑체 표면에 마이크로 히터 및 센서를 고밀도 집적화하여 정밀한 온도 균일도를 확보하였다.

활용 가능 분야

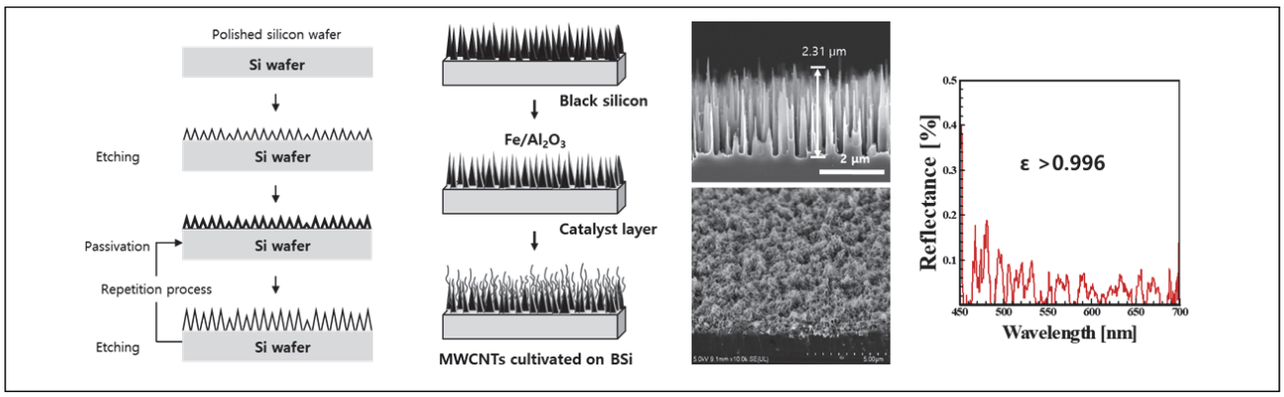
MEMS 기술은 임무의 다양화 및 소형화로 진행되는 우주개발추세에 적합한 기술로, 본 연구개발을 통해 확보된 MEMS 기술은 국내에서 중장기적으로 기획되고 있는 우주 임무를 위한 기술적 기반구축이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구개발을 통해 우주 MEMS 기술의 저변확대 및 전문인력 양성에 기여할 수 있었다.



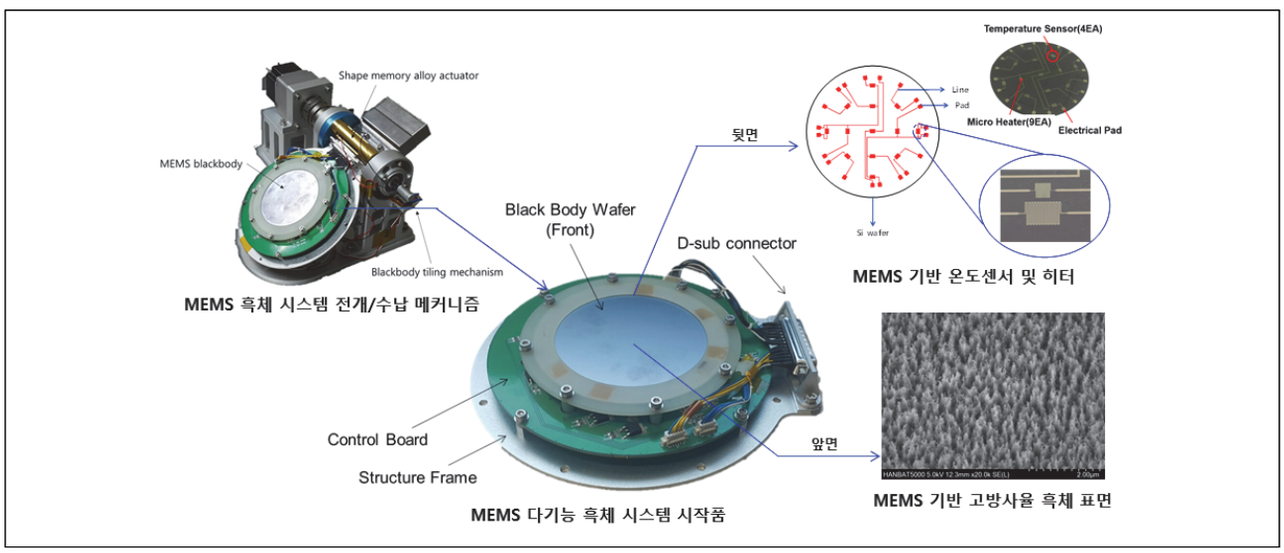
▲<그림 1> MEMS 히터/센서가 직접화된 흑체



▲<그림 2> 흑체 시스템의 전개/수납/결함안전 메커니즘



▲<그림 3> MEMS 공정을 통해 제작된 고방사율 흑체 표면



▲<그림4> MEMS 기반 다기능 우주용 흑체 시스템 모델

성과명	(5) 우주탐사체용 고에너지 밀도 열광전 배터리 개발		
주관연구기관	경희대학교	연구책임자	남 영 석
연락처	031-201-3652	이메일	ysnam1@khu.ac.kr
분야	기타(배터리)		
키워드(5개 이내)	우주탐사체, 열광전, 에너지 밀도, 방사성 동위원소, 방사체		

상세 성과내용

연구의 필요성

장거리 우주 탐사체에 적용되어 탐사체의 전자장비들에 장기간 안정적인 전력을 공급할 수 있는 고에너지 밀도, 고효율 열광전 배터리 개발을 수행하였다. 기존의 우주탐사체용 열전 배터리는 상대적으로 낮은 변환효율 (~6%)로 인해 방사성 동위원소의 높은 에너지 밀도의 장점을 극대화시키지 못하는 한계가 있다. 본 연구는 열광전 에너지 변환기술을 적용한 우주탐사체용 고에너지 밀도, 고효율 열배터리 개발을 목표로 한다.

연구 목표

우수한 열안정성과 파장효율을 확보한 방사체 개발 및 열-전기-방사성 하이브리드 모델에 기반한 설계 최적화를 통해 높은 에너지 밀도 (〉200 kWh/kg) 및 변환효율(~20%)을 지닌 열광전 배터리를 개발하는 것을 목표로 한다.

연구결과

높은 신뢰성을 지닌 열-전기-방사성 하이브리드 모델 개발을 통한 열광전 배터리 설계 및 성능/안정성 예측을 수행하였으며, 우수한 열안정성과 파장효율을 확보한 세라믹 기반 방사체를 개발하고 및 실험을 통한 성능 및 안정성을 검증하였다. 또한, 개발된 방사체를 적용하여 약 19% 이상의 열-전기 변환효율 및 720 kWh/kg 수준의 에너지 밀도를 지닌 방사성 열광전 배터리 구성안을 제시하였다.

활용사례

방사성 동위원소기반의 열원이 아닌 화학적 연소에 기반한 열광전 배터리의 형태로 군수장비 등의 새로운 전력공급원으로 활용을 검토 중이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

고온에서도 (〉1400 K) 높은 파장 효율을 장시간 유지할 수 있는 텅스텐/세라믹 샌드위치 구조 또는 산화세리움 세라믹 기반의 고온용 열방사체를 개발하였으며, 열-전기-방사성 하이브리드 모델 개발을 통한 방사성 열광전 배터리의 성능 및 방사성 안정성 분석을 수행하였다. 또한, 방사체, 광전모듈의 파장특성 및 에너지 전달 메커니즘을 고려한 열광전 배터리 시스템의 최적 설계 수행 및 열-전기 변환과정의 실험적으로 검증하였다.

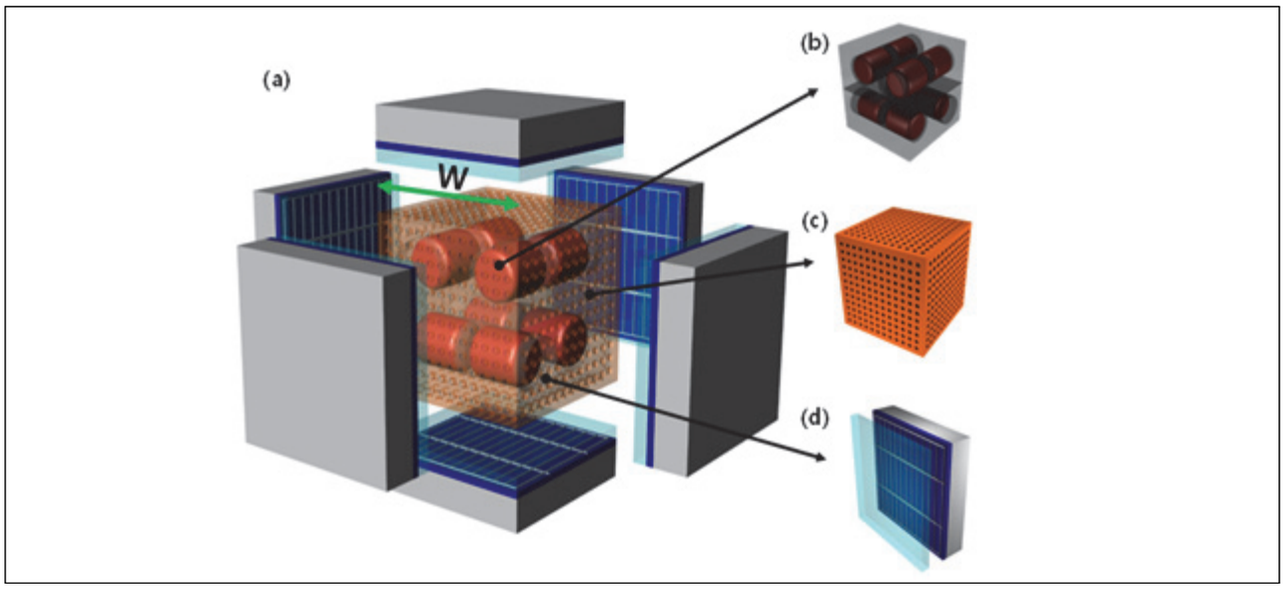
활용 가능 분야

○ 화학연료 연소열을 활용한 고에너지 열광전 배터리 개발
드론, 항공, 무인전기차 및 군수산업용 고에너지 밀도 전력공급원으로 활용이 가능하다.

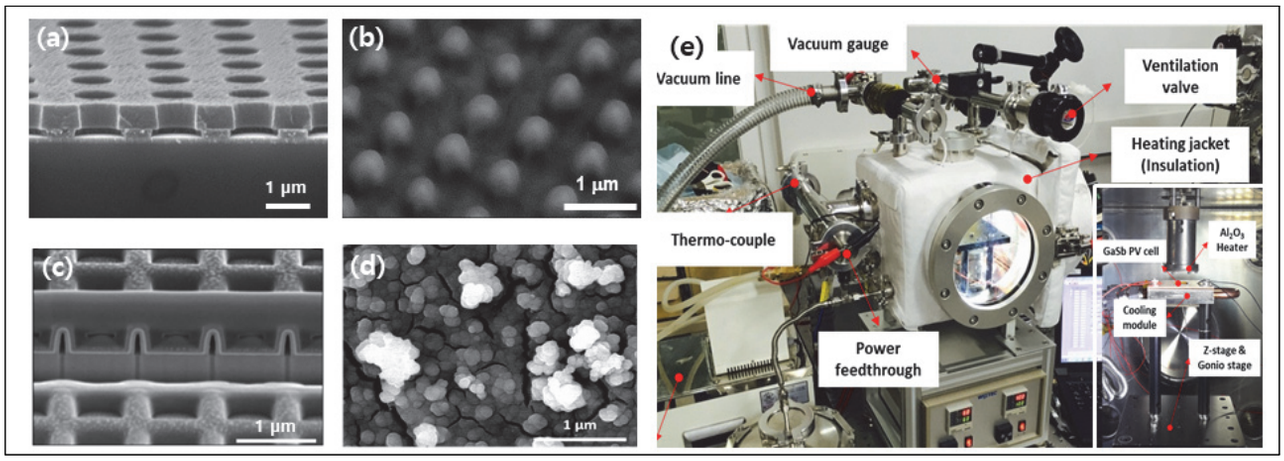
○ 미소원자로 기반 고출력 열광전 전력 공급원으로 개발
가스기반의 냉각재를 사용하는 미소원자로에 적용하여 경량화, 소형화된 미소원자로 개발에 활용이 가능하다.

○ 고효율 신재생 에너지 공급원으로 활용
태양집열등을 통한 방사체 가열을 통한 열광전 변환으로 태양에너지의 전체 스펙트럼을 활용하고 열에너지의 형태로 에너지 저장이 가능한 신재생 발전에 적용이 가능하다.

○ 열손실 수확시스템
제철소, 고온 플랜트, 배기가스 등의 고온의 열에너지의 손실을 열광전 모듈을 통해 전기 에너지로 재수확하여 시스템 효율향상에 적용이 가능하다.



▲<그림 1> 본 연구에서 개발한 우주탐사체용 열광전 배터리 개략도: (a) 전체 구성, (b) 방사성 동위원소 기반 열원부, (c) 고온 방사체, (d) 저 밴드갭 광전모듈



▲<그림 2> (a-d) 개발된 고온용 열광전 방사체 SEM 사진: (a) 텅스텐 나노홀 기반, (b) 텅스텐 나노로드 기반, (c) 텅스텐 박막/사파이어 샌드위치 구조 기반, (d) 세리아 기반, (e) 열광전 에너지 효율 측정 실험 셋업

성과명	(6) 인공위성용 수직 집적형 풀 컬러 카메라 원천 기술 개발		
주관연구기관	포항공과대학교	연구책임자	정 대 성
연락처	054-279-2268	이메일	dchung@postech.ac.kr
분야	기타(카메라)		
키워드(5개 이내)	이미지 센서, 나노 반도체, 수직 집적, 포토다이오드		

상세 성과내용

연구의 필요성

77억 인구가 살아가고 있는 지구 표면의 정보는 군사적·경제적으로 가장 중요한 정보중 하나로 분류되고 있다. 2019년 3월 31일까지 전 세계에서 총 2,062회의 인공위성이 우주로 발사되었는데, 현재 Google 등에 의해 이러한 위성들로부터 촬영된 5 m 해상도의 지표면 이미지가 일반인에게 공개되고 있다. 보다 정밀탐사가 요구되는 비공개 특수 목적용 위성의 경우 0.31 m까지의 지상 해상도가 지원되는 수준이며 현재에도 보다 고해상도를 위한 개발경쟁이 펼쳐지고 있다. 이러한 인공위성의 이미지 촬영을 위한 이미지 센서의 핵심기술은 픽셀의 집적도를 향상시키면서 집적된 단위 픽셀들의 수광 면적을 높여서 화질 역시 동시에 개선하는 것이라 할 수 있다. 그러나 실리콘과 같은 무기 반도체를 기반으로 한 현재의 이미지 센서에서는 실리콘의 낮은 흡광계수에 의한 두꺼운 두께뿐만 아니라, 색 선택성의 부재로 인하여 R/G/B에 대응하는 모든 픽셀에 색 구분을 위해 컬러필터가 동반되어야 하여, 픽셀간의 집적에 한계가 존재한다. 즉, 기존 이미지 센서 기술에서 고해상도와 고화질은 서로 상충하는 기술적 목표로, 현재 이를 극복하기 위한 기술적인 돌파구가 요구된다고 할 수 있다. 또한, 컬러필터의 경우, 두꺼운 두께 및 제작을 위한 비싼 공정 비용 뿐만 아니라, 컬러필터 자체의 흡광에 의한 소자의 양자 효율 감소라는 추가적인 단점을 지니고 있어, 차세대 고성능 이미지 센서의 개발을 위해서는 단위 픽셀 소자의 박막화 뿐만 아니라, 컬러필터의 배제 역시 고려되어야 한다.

연구 목표

본 연구에서는 이러한 기존의 실리콘 반도체 기반 CMOS 이미지 센서의 한계를 극복하기 위해, 기존 이미지 센서의 단위 소자 구조에서 수 μm 수준의 두께를 가지던 실리콘 반도체 대신 높은 흡광계수를 가지는 나노 소재를 도입하고, 컬러필터와 투명전극 대신 광학적 간섭을 이용하여 파장 선택성을 가지는 특수한 전극 구조를 도입하고자 한다. 이를 바탕으로, 단위 소자의 전극을 포함한 전체 두께를 약 800 nm 이내로 매우 얇게 유지하면서도 컬러필터 없이 높은 수준의 색 선택성을 가지는 고성능 수직집적형 포토다이오드를 구현하고자 한다. 또한 이를 단위 픽셀로 활용하여 간이 이미지 센서를 제작, 컬러필터 없이 R/G/B로 이루어진 풀 컬러 이미지를 촬영할 수 있음을 보인다.

연구결과

본 연구는 3년간의 1단계 연구와 2년간의 2단계 연구의 총 두 단계로 진행되었는데, 1단계로 기존 실리콘 기반 CMOS 이미지 센서의 광활성층 소재인 실리콘 반도체를 가시광선에 대해 훨씬 높은 흡광계수를 가지는 나노 소재로 대체하여, 광활성층의 두께를 기존의 수 μm 수준에서 수 백 nm 수준으로 감소시키는 연구를 진행하였다.

1단계 연구를 통해, R/G/B/NIR에 대응하는 다양한 나노 소재 합성에 성공하였고, 이를 기반으로 한 얇은 (<500 nm) 두께의 광활성층을 사용하여 높은 감광 성능을 보이면서도(검출능 1012 Jones 이상) 넓은 영역의 광량에 대해 안정적인 성능을 유지하는 (선형동적범위 90 dB 이상) 포토다이오드를 개발하였다. 또한, 기존의 실리콘 반도체를 온전히 대체하기 위해 합성한 소재를 혼합하여, 300 – 800 nm 파장 영역에 대해 균일한 외부 양자 효율을 보이는 전색성 포토다이오드를 성공적으로 구현하였다.

2단계 연구에서는 상기 개발한 전색성 흡광을 보이는 얇은 두께의 광활성층의 상부 전극으로, 400 - 800 nm 파장 영역 내에서 투과시키고자 하는 중심 파장을 자유롭게 조절할 수 있는 파브리-페로 에탈론 구조 기반의 '에탈론 전극'을 도입하였고, 이러한 에탈론 전극을 기반으로 하여 포토다이오드 소자의 전체 두께를 매우 얇게(<800 nm) 유지하면서도, R/G/B/NIR 영역에 대해 높은 파장 선택성을 가지는 고성능(감광성능 1012 Jones 이상, 선형동적범위 90 dB 이상) 포토다이오드를 구현하였다.
최종적으로, 상기 R/G/B 선택성 에탈론 전극 기반 포토다이오드를 10×10으로 배치하여 컬러필터가 없는 간이 이미지 센서를 제작하였고, 이를 통해 컬러필터 없이 R/G/B로 이루어진 풀 컬러 이미지를 성공적으로 촬영하여, 상기 에탈론 전극 기술이 컬러필터 배제형 이미지 센서의 핵심 기술로 적용될 수 있음을 확인하였다.

활용사례

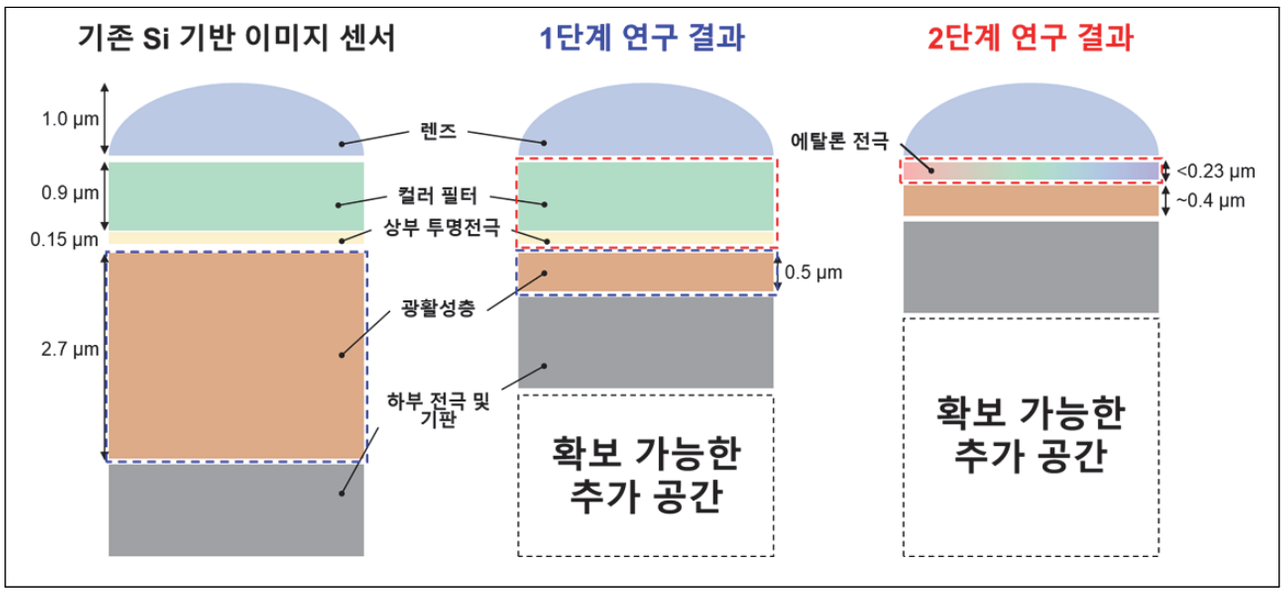
이러한 연구의 결과로, 1단계 연구를 통해 어드밴스드 펑셔널 머티리얼스 지, 나노 에너지 지와 같은 6편의 상위 5%급의 세계적 수준의 논문을 포함하여 총 25편의 SCI 논문을 게재하였고, 2단계 연구를 통해 ACS 나노 지 및 레이저와 포토닉스 리뷰스 지와 같은 나노·광학 분야의 세계 최상위급 논문 6편을 포함하여 18편의 SCI 논문을 게재할 수 있었다. 또한, 본 연구의 성과는 1단계 연구에서 3건, 2단계 연구에서 2건으로, 총 5건의 특허로 출원되었다. 연구를 수행하는 동안, 석사 4명, 박사 1명, 총 5명의 전문 연구 인력을 양성하였다.

기존지식/ 기술대비 차별성

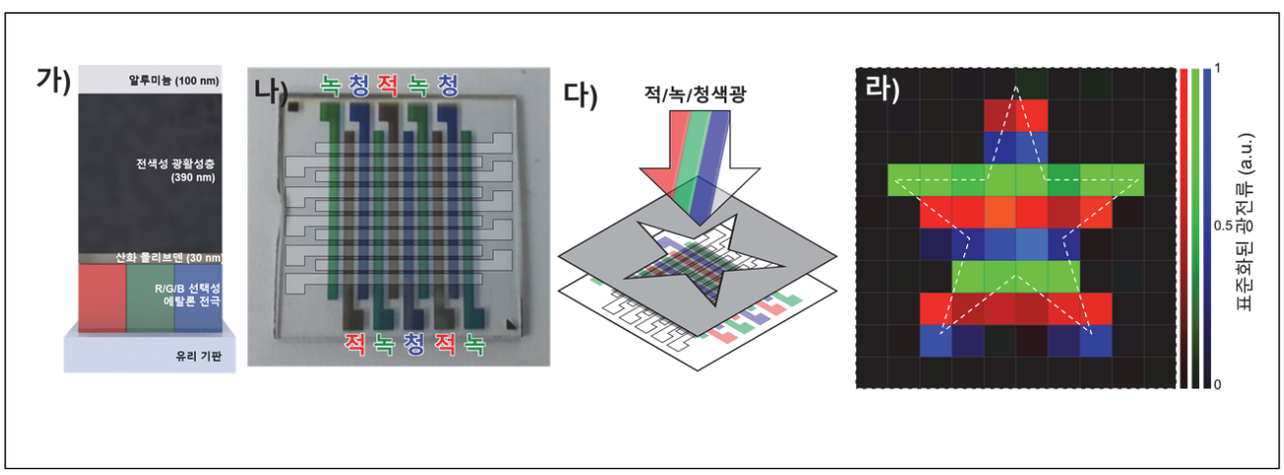
본 연구를 통해 구현한 에탈론 전극 기반 유기 이미지 센서가 현재 사용되는 CMOS 이미지 센서를 대체한다면 다음과 같은 장점을 기대할 수 있다. 1) 기존의 3 μm에 달하는 실리콘 반도체 대신 500 nm 이하의 두께를 가지는 유기 반도체를 광활성층으로 사용하게 되면 2.5 μm 이상의 센서 두께에 해당하는 공간을 추가로 확보할 수 있는데, 이는 글로벌 셔터 기능과 같은 이미지 센서의 고성능화를 위하여 추가되는 기능을 위한 모듈을 삽입하기 용이하게 할 수 있다. 또한 2) 컬러필터를 이미지 센서 구조에서 배제할 수 있게 되므로, 컬러필터 제작 및 설치를 위한 공정 비용의 감소와 더불어 컬러필터 두께(수 백 nm ~ 수 μm) 및 투명 전극의 두께(수 백 nm)에 해당하는 공간을 전극의 역할과 컬러필터의 역할을 동시에 할 수 있는 에탈론 전극(230 nm 이하)으로 대체할 수 있어, 이를 통해 이미지 센서 소자 내 공간을 한 층 더 확보할 수 있다. 또한 3) 소자의 총 두께가 800 nm 이하이기 때문에, 휨 및 인장력에 대해 안정성이 필요한 웨어러블 소자에 적용하기에 실리콘 반도체에 비해 더욱 적합하다고 할 수 있다.

활용 가능 분야

본 연구를 통해 개발된 인공위성용 카메라의 요소 기술들은 모두 기존의 이미지 센서의 한계를 돌파할 수 있는 장점으로, 현재 답보상태에 있는 이미지 센서 기술에 새로운 돌파구가 될 수 있을 것으로 예상한다. 나아가 에탈론 전극 기술을 적용하여 이미지 센서 뿐만 아니라 LIDAR 측정 장비, 케미컬/가스 센서 등 파장 선택성이 필요한 다양한 분야에도 적용할 수 있을 것으로 예상한다.



▲<그림 1> 기존 Si 기반 이미지 센서 구조와 연구 개발 단계별 이미지 센서 구조의 변화



▲<그림 2> 이미지 센서 시제품 제작 및 풀컬러 이미지 촬영

성과명	(7) 전자파 차폐용 초경량·대면적 탄소나노튜브 부직포 제조 기술 개발		
주관연구기관	숭실대학교	연구책임자	정 재 우
연락처	010-3791-9671	이메일	jwchung@ssu.ac.kr
분야	기타(탄소나노튜브)		
키워드(5개 이내)	전자파차폐, 초경량, 대면적, 유연성, 형태 안정성		

상세 성과내용

연구의 필요성

우주선 내부의 고가 장비는 우주탐사 기간동안 수리가 어려우므로 전자파에 대한 치밀한 대비가 필요하며, 실제로 미국 나사(NASA)에서는 목성의 강한 전자기장에 견딜 수 있는 CNT를 적용하여 목성탐사선을 제작하고, 목성 탐사 주노(JUNO)프로젝트를 실행한 바가 있다. 프로젝트를 실행하기 위하여, CNT를 대면적화한 초경량 부직포를 만드는 것이 필요한데 전세계적으로 미국 Nanocomp사만이 이러한 기술을 갖고 있으며 국내에서는 이러한 제조기술이 전무하다.

이에 본 연구에서는 CNT만으로 이루어진 나노복합형 부직포를 초경량 대면적으로 제조할 수 있는 기술을 개발하고자 하였으며, 우수한 전자파 차폐성능은 물론 초분자력을 톨한 CNT간 2차결합을 형성시켜 우수한 기계적 물성 역시 보유한 신개념 CNT 전자파차폐 소재를 친환경적 수계 제조방법을 통하여 개발하였다.

연구 목표

전자파는 첨단기기 우주항공기기의 오작동, 고장을 일으키는 주된 원인 중 하나 이므로 고가장비의 보호를 위해 전자파 차폐가 필수이다.

연구결과

○ 본 기술을 통해 제조된 CNT 부직포는 기존에 제조되던 CNT 부직포 제조 방법 대비 660% 이상의 높은 기계적 강도 보유

우주항공용, 방탄용 커버, 배터리 전극등으로 사용되기 때문에 높은 기계적 강도도 필요하다. 높은 기계적 강도를 위하여 CNT를 잘 분산시킬 수 있는 초분자를 이용하였고, 잘 분산이 된 것을 확인하였고 기계적 강도도 기존 제조 방법 대비 660%에 달하는 성과를 달성하였다.

○ 물을 이용한 친환경 제조법일 뿐만 아니라 기존에 사용되던 공정을 그대로 손쉽게 이용할 수 있으며 개발된 초분자 링커 역시 제조적인 관점에서 매우 저렴한 가격에 제조가 가능하다는 장점을 보유

환경적 문제에 대해서 여러 유해한 물질이 들어가지 않고, 물을 이용하기에 친환경적으로 제조 할 수있다. 그리고 기존의 공정을 그대로 손쉽게 이용할 수 있기에 쉽게 제조할 수 있는 장점이있다. 초분자 링커의 제조 시, 쓰이는 물질이 저렴하기에 저렴한 가격에 제조가 가능하다. 대면적으로 제조한다는 특징 때문에 대량이 필요한만큼 저렴하며 친환경 제조법이란 것이 차별성이 있다.

○ 일반적 계면활성제를 이용하여 제조된 CNT 부직포(20~30 dB) 대비 165~250%(50 dB)의 전자기차폐 성능 향상

전자파 차폐용으로 사용하기에 기존의 CNT 부직포보다 더 향상된 성능을 갖게 하려 했고, 제조한 CNT 부직포의 성능을 테스트한 결과, 기존 대비 165~250%의 전자기차폐 성능 향상을 보였다.

○ 단위 두께 및 면적 대비 알루미늄 호일(27 mg)보다 4.5배 더 가벼운 초분자형 CNT 부직포(6 mg)를 개발 가능

우주선 외부를 감싸기에, 무게면에서도 중요한 관점이었다. 가존 사용하던 알루미늄 호일은 27 mg인 반면, 제조한 CNT 부직포의 경우 단위 두께 및 면적 대비 호일보다 4.5배가 가벼운 6 mg을 달성하였다.

활용 사례

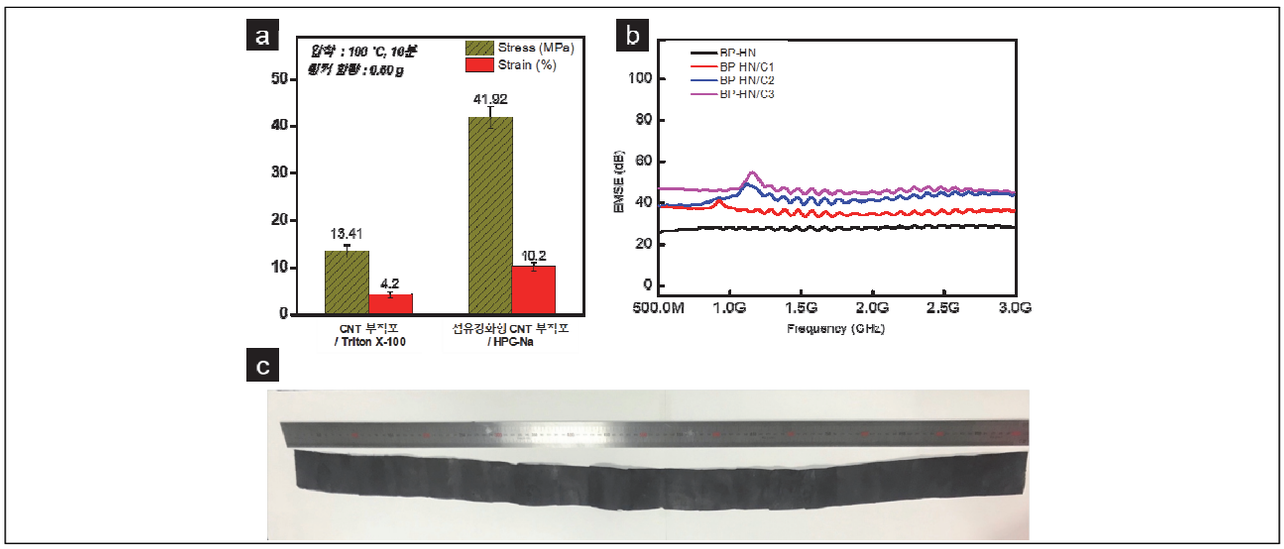
본 연구에서 제조한 전자파 차폐용 초경량·대면적 CNT 부직포는 공정을 쉽게 이용할 수 있기에, 활용할 업체를 탐색중이다.

기존지식/ 기술대비 차별성

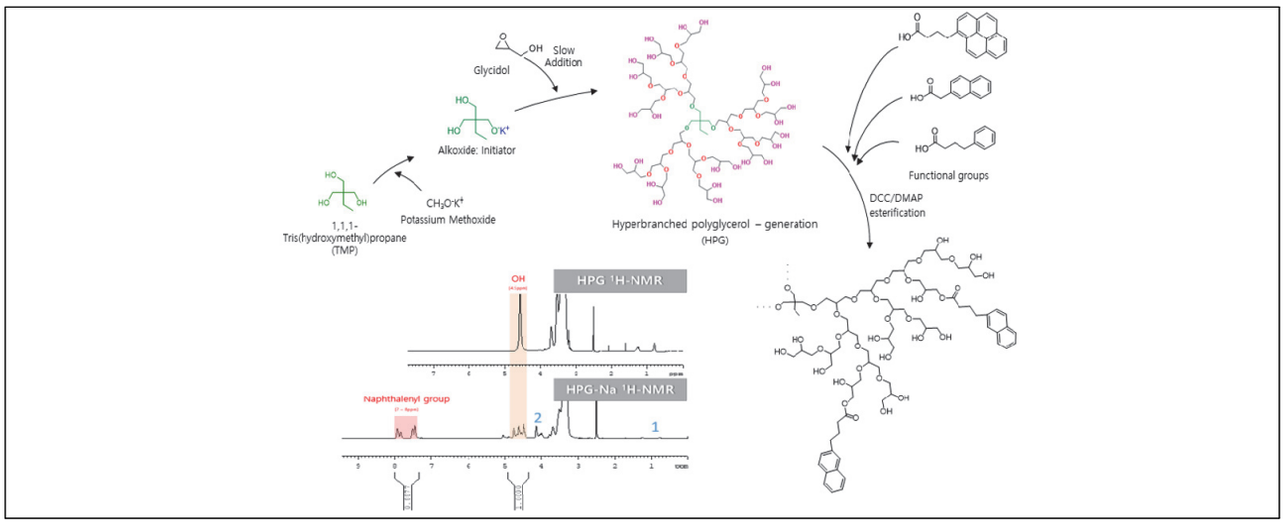
본 연구에서 제조한 CNT 부직포는 기존에 제조되던 CNT 부직포 제조방법과 달리, 자연계 유래 물질을 이용한 저가의 고차가지구조형 초분자 링커를 개발하여 제조하였다. 고차가지구조형 초분자 링커는 물을 이용한 친환경 제조법이라는 것 뿐만 아니라 기존에 사용되던 공정을 그대로 손쉽게 이용할 수 있으며 개발된 초분자 링커 역시 제조적인 관점에서 매우 저렴한 가격에 제조가 가능하다는 장점이 있다. 즉, 친환경적 수계 제조법이며 연속식으로 대면적 제조법을 확립하였다.
기존에 사용중인 알루미늄 호일(27 mg)보다 4.5배가 더 가벼운 초분자형 CNT 부직포(6 mg)를 개발하였다. 그와 동시에 우수한 기계적 물성을 갖고있고, 일반적 계면활성제를 이용하여 제조된 CNT 부직포(20-30 dB)대비하여 165~250%(50 dB)의 전자기차폐 성능 향상을 보였다.

활용 가능 분야

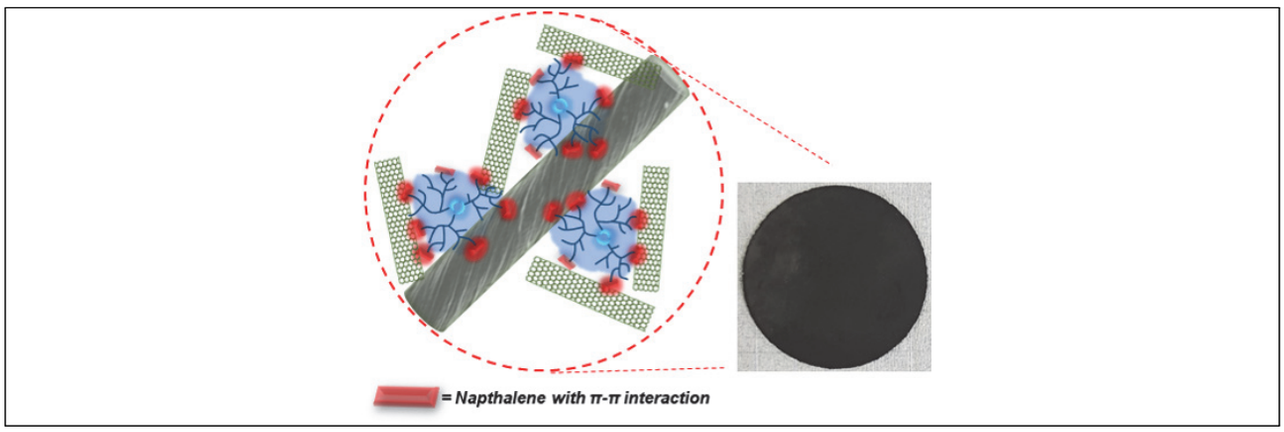
본 연구의 결과는 초경량이며 대면적인 전자파 차폐용 CNT 부직포를 제조 기술을 개발하는 것으로, 전자파 차폐용으로써 우주항공용 전자파차폐막,그리고 CNT의 뛰어난 열적특성으로 인하여 방화용 보호막, 전계방출 소자, 방열, 필터, 방탄용 커버, 생체 조직 배양, 배터리 전극 등으로 활용가능하다.



▲<그림 1> (a)기존 계면활성제로 만들어진 CNT 부직포와 본 연구개발을 통해 제조된 초분자형 나노복합 CNT 부직포의 인장강도 비교, (b) 기존 계면활성제로 만들어진 CNT 부직포와 본 연구개발을 통해 제조된 초분자형 나노복합 CNT 부직포의 전차파차폐 성능 비교, (c) 1 m 이상의 길이로 제조된 대면적 CNT 부직포



▲<그림 2> 초분자 링커의 화학구조 및 제조 모식도



▲<그림 3> 분자형 나노복합형 CNT 부직포의 모폴로지

2018~2020 상반기
우주핵심기술개발사업 우수성과 사례집

발행일 2020년 12월

발행처 **과학기술정보통신부 우주기술과**
세종특별자치시 가름로 194(어진동)
Tel. 044-202-4642, 4648

한국연구재단 우주개발팀 | 우주기술단
대전광역시 유성구 가정로 201
Tel. 042-869-7808, 7807