



# 제53회 한국추진공학회 2019년 추계학술대회

## 「램/스크램제트 부문위원회 워크샵」

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔(그랜드볼룸)

날짜 | 2019년 11월 27일(수)

시 간	발 표 주 제		발표자
14:00 ~ 14:05	개 회 사		노태성 조직위원장
14:05 ~ 14:10	환 영 사		김정수 회장
14:10 ~ 14:20	스크램제트 복합추진 시스템 특화연구실 소개		강상훈 교수
14:20 ~ 14:40	Session I (좌장: 강상훈)	스크램제트 복합 추진체의 설계를 위한 궤적 최적화 모델	김남영*, 차성익(서울대)
14:40 ~ 15:00		스크램제트 추진 시스템 모델링을 통한 유동 특성 산출 알고리즘에 대한 연구	고효상*, 최한림(KAIST)
15:00 ~ 15:20		접촉원뿔이론(Osculating cone theory)을 이용한 웨이브라이더 형상 설계 기법	손지원*, 이관중(서울대)
15:20 ~ 15:40		스크램제트 선두부 형상에 따른 흡입구 성능 분석	한송이*, 박수형(건국대)
15:40 ~ 16:00	휴 식		
16:00 ~ 16:20	Session II (좌장: 박수형)	국소 표면 경사법을 이용한 빠른 공력해석용 극초음속 비구조격자 패널코드 개발	이민술*, 김형진(경희대)
16:20 ~ 16:40		근사 1차원 솔버를 이용한 스크램제트 연소기 내부 전산해석	남재현*, 여재익(서울대)
16:40 ~ 17:00		충격파 터널에서의 응력과 힘 평형기를 이용한 항력 측정	김근영*, 박기수(KAIST)
17:00 ~ 17:20		충격파 터널에서의 가속도계 기반 항력 측정 시스템을 이용한 항력 측정	장병국*, 박기수(KAIST)
17:20 ~ 18:00	고속 공기흡입추진기관 발전전략 종합토론		황기영 부문위원장
18:00 ~ 20:00	(환 영) 리 셉 션		



# 제53회 한국추진공학회 2019년 추계학술대회

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔

날짜 | 2019년 11월 28일(목)

발표장	제 1 발표장 [ 2층 그랜드볼룸 A ]	제 2 발표장 [ 그랜드볼룸 B ]	제 3 발표장 [ 그랜드볼룸 C ]	제 4 발표장 [ STUDIO 1 ]	제 5 발표장 [ STUDIO 2 ]	제 6 발표장 [ STUDIO 3 ]	제 7 발표장 [ STUDIO G ]
세션 [좌장]	우주 및 로켓추진 1 [ 좌장 : 김경무 ]	추진전원/파이로 [ 좌장 : 김경진 ]	램/스크램제트추진 1 [ 좌장 : 최호진 ]	열/유체역학 및 연소 1 [ 좌장 : 이형진 ]	OS: 합정 전기추진 및 MRO [ 좌장 : 오경원 ]	OS: 한국형발사체 발사대 및 시험설비 1 [ 좌장 : 강선일 ]	OS: 뉴 스페이스 시대의 우주수송 개발 동향 1 [ 좌장 : 임석희 ]
9:00 ~ 9:20	상층추진시스템용 전기펌프 사이클의 기초시험장치 구성 기원근*, 허환일(충남대)	나노박막다층포일 내기온충에 따른 파이로 특성 영향성 모델링 해석 김경진*(금오공대)	특정 부스팅 구간에서 스크램제트 엔진 내부유동 열환경해석 김재은*, 최정열*(부산대)	횡방향 음향가진이 단일 동축 전단 화염에 미치는 영향 박수진*, 안규복(충북대)	딥스택 인공신경망을 이용한 터보팬 엔진 유효수명의 예측 홍창우*, 허 건(연세대)	한국형발사체 지상기계설비 제어시스템 공장시험 결과 검토 정일형*(항우연)	위성의 고성능화 및 소형화 그리고 지상국 동향 이훈희*(항우연)
9:20 ~ 9:40	상단용 팽창식사이클 메탄 로켓엔진의 사이클 해석 김철웅*(항우연)	경량 전기추진 항공기용 고출력 전동기 설계 김래은*, 서정우(전자부품연)	초음속 연소기에서 케로신을 사용한 벽면 냉각의 효과 측정 양인영*(항우연)	모델 연소실 내 산소/수소 이원추진제의 연소특성 연구 김영후*, 권오채(성균관대)	특허정보를 활용한 무인수상정 관련 기술예측 김구미*(국방대)	발사관제시스템 알고리즘 자동화 검증 시스템의 소개 안재철*(항우연)	소형위성 발사 서비스 동향 및 전략 황신희*(트리마란), 이기주(항우연)
9:40 ~ 10:00	열전달 해석을 통한 수소 팽창식 사이클 엔진의 해석 하동휘*, 이형진(인하대)	압력 계측장비 변수에 따른 착화기 압력 분석 김다솜*(한화)	형상 천이 노즐의 형상 천이율이 경계층에 미치는 영향에 관한 전산해석 연구 성부경*, 최정열(부산대)	동축형 분사기에서 시간 지연에 따른 연소불안정 특성 배진현*, 윤영빈(서울대)	한국 해군 합정의 전기 추진 시스템에 대한 육상 기반 시험 설비의 MRO 주요 이점 이승훈*(GE Power Conversion)	한국형발사체 발사대시스템 지상장비전원공급계 공장시험 문경록*(항우연)	뉴스페이스 시대 소형발사체를 활용한 지속가능한 우주산업생태계 조성 임석희*(항우연)
10:00 ~ 10:20	Vikas 엔진 연소기의 열설계 분석을 통한 우주발사체용 액체추진기관의 단가 절감 전략 제안 김 슌*(서울대)		스크램제트 엔진 성능 분석을 위한 Flow Path 해석 프로그램 검증 차승원*, 이형진(인하대)	노즐 간격에 따른 다중 제트의 화염구조에 관한 수치해석 연구 이기범*, 박태선(경북대)	무인수상정 전기추진시스템 적용 방안 연구 오경원*(호원대)	한국형발사체 이륙 및 임밀리칼 장치 분리를 위한 발사준비제어시스템 파이로 제어기 설계 서진호*(항우연)	혼합현실과 물리엔진을 활용한 뉴스페이스 설계 기술 한창현*(항우연)
10:20 ~ 10:40	<b>휴 식</b>						
세션 [좌장]	우주 및 로켓추진 2 [ 좌장 : 유명종 ]	연료 및 추진제 1 [ 좌장 : 심흥민 ]	구조 및 소재 1 [ 좌장 : 김연철 ]	열/유체역학 및 연소 2 [ 좌장 : 박성우 ]	가스터빈/내연기관 1 [ 좌장 : 김형모 ]	OS: 한국형발사체 발사대 및 시험설비 2 [ 좌장 : 강선일 ]	OS: 뉴 스페이스 시대의 우주수송 개발 동향 2 [ 좌장 : 최영인 ]
10:40 ~ 11:00	특성길이변화가 200 N급 GCH4/LOx 소형로켓엔진의 성능에 미치는 영향 김영진*, 김정수(부경대)	접촉점화 추진제의 액적 낙하 실험 평가 방법 박성현*, 이종광(한밭대)	열경화성 에폭시섬유의 제조 및 3D 프린팅용 New 계면평가 실험수*, 박종만(경상대)	고속 비행체의 선두부 가열현상 예측 김재강*(세종대)	환형 가스터빈 연소기에서의 연소불안정 예측을 위한 네트워크 모델 개발 손주찬*, 김대식(강릉원주대)	나선형 튜브 열교환 방식의 포화 상태 액체질소의 비등열전달 특성에 대한 실험적 연구 서만수*(항우연)	MBSE 기법을 적용한 소형발사체 공중-민간-국제협력 개발전략 및 저비용 제작기술 확보방안 최영인*(항우연)
11:00 ~ 11:20	기체 에틸렌-산소 기반 로켓형 선화 데토네이션 연소기의 성능 평가 연구 한형석*, 최정열(부산대)	테일러 유체 흐름을 이용한 AP 입자 형상 연구 한상근*, 정원복(한화)	대변형 점탄성 입자강화복합재의 균질화법 개발 및 유한요소해석 적용 김영수*, 유승화(KAIST)	마하 3.8 Free-jet 타인 초음속 풍동 설계 및 구축 이우석*, 허환일(충남대)	여러 개의 연소실을 가진 연소기의 음향특성과 연소불안정성 분석 윤명곤*(강릉원주대)	한국형발사체 발사대 고압가스 공급시스템 설계 개선내역 소개 오화영*(항우연)	상용 초소형 발사체의 역설계를 통한 성능 분석 김계환*(비즈니스스텍)
11:20 ~ 11:40	액체로켓엔진에 대한 동특성 선형 해석 및 검증 이주연*, 이형진(인하대)	케로신 코킹현상에 대한 조사 및 분석 이준서*, 안규복(충북대)	General Aviation 항공기 가스터빈용 저압터빈 모듈의 소재 특성 평가 박승환*(한화에어로스페이스)	건국대학교 KULT를 이용한 Type 3, 4, 5 번 충격과 간섭 가시화에 대한 연구 한민현*, 박수형(건국대)	COMSOL을 이용한 항공용 연소기의 음향해석 홍수민*, 김대식(강릉원주대)	3단형 발사체 연료충전 유동해석 결과 여인석*(항우연)	한국형발사체 기술을 활용한 소형발사체의 계도투입성능 해석 조민선*, 최정열(부산대)
11:40 ~ 12:00	축소형 비원통형 연소기 고압 연소 시험 박상수*, 고정성(충남대)	고압환경에서 탄소나노유체연료의 연소 김혜민*(교통대)	SiCf/SiC 복합체의 제조와 특성 박지연*(원자력연)	최대 항력 감소를 위한 역류 유동의 추력 역전 현상에 대한 설계 변수 간의 복합 효과 김용찬*, 이형진(인하대)	마이크로 제트 엔진 Vaporizer 분사기의 분무특성 연구 조성필*, 최성만(전북대)	추진기관시스템 시험설비 고압가스 배관 청결화 및 압력시험 절차 소개 송재강*(현대로템)	TSTO형 우주비행기에 대한 발사비용 분석 양수석*(항우연)
12:00 ~ 13:00	<b>중 식 [ 별관 컨벤션홀 2층 ]</b>						



# 제53회 한국추진공학회 2019년 추계학술대회

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔

날짜 | 2019년 11월 28일(목)

발표장	제 1 발표장 [ 2층 그랜드볼룸 A ]	제 2 발표장 [ 그랜드볼룸 B ]	제 3 발표장 [ 그랜드볼룸 C ]	제 4 발표장 [ STUDIO 1 ]	제 5 발표장 [ STUDIO 2 ]	제 6 발표장 [ STUDIO 3 ]	제 7 발표장 [ STUDIO G ]	제 8 발표장 [ 3층 더뷰 ]
세션 [좌장]	구조 및 소재 2 [ 좌장 : 길현용 ]	연료 및 추진제 2 [ 좌장 : 민병선 ]	램/스크램제트추진 2 [ 좌장 : 박기수 ]	열/유체역학 및 연소 3 [ 좌장 : 김재강 ]	가스터빈/내연기관 2 [ 좌장 : 김유일 ]	OS: 액체로켓엔진 시험평가 1 [ 좌장 : 이광진 ]	OS: 재사용 발사체 개발을 위한 핵심 기술 연구 [ 좌장 : 한영민 ]	OS: 공기흡입식 추진기관용 액체연료 개발기술 [ 좌장 : 정병훈 ]
13:00 ~ 13:20	7톤급 액체로켓엔진 진동 해석 모델 보정 김진혁*(항우연)	전기적으로 연소 제어가 가능한 고체 추진제 연소 실험 김명진*, 김태규(조선대)	스크램 제트 질식 유동상에서 캐비티 화염안정기 유무에 따른 화염특성 임성균*(고려대)	마하 7 충격파 터널에서 포스센서를 활용한 항력측정 기초실험 이재청*, 허환일(충남대)	항공기용 가스터빈의 성능 모델 보정에 관한 연구 김상조*(ADD)	Matlab의 Report Generation 기능을 이용한 반복시험 결과 분석 방안 박순영*(항우연)	케로신 과냉각 및 코킹 한계 연구 안규복*(충북대)	초음속 추진체의 흡열냉각을 위한 활성탄계 촉매상에서의 도관 모사연료의 촉매분해 특성 김학주*(에기연)
13:20 ~ 13:40	터보사프트 엔진 저압 터빈 배기 케이스 구조 안정성 평가 김현재*(한화에어로스페이스)	밀폐공간에서의 추진제 정전기 민감도에 대한 연구 최지용*(한화)	구질 혼합 모델 방정식을 이용한 초음속 횡단류에 분사되는 액체 제트에 대한 수치해석 연구 유영린*, 선홍계(항공대)	무인기용 레큐퍼레이터의 열교환성능 시험평가 이상래*(이노월), 김재훈(충남대)	초소형 가스터빈 엔진용 연료 기화기 형상변화에 따른 연소기 성능연구 김재호*(항우연)	단일 분사기 산화제 과잉 예연소기 연소 시험 실패 사례 소윤석*(항우연)	가변추력용 추진시스템 연구 윤영민*(서울대)	메탈폼 담체를 이용한 액체연료 분해반응 촉매의 성능 극대화 연구 정지훈*(경기대)
13:40 ~ 14:00	제논연료공급장치의 주요 구성품 설계/제작 및 시험 손미소*, 윤호성(스페이스슬루션)	수분에 의한 Zr계 에너지 물질의 화학적/물리적 노화 및 연소 성능 저하 한병현*(서울대)	Direct connect 초음속 연소기 내 연료분사로 인한 isolator 내부 유동형성 과정 정승민*(부산대)	노즐 유동의 해석기법에 따른 내열재 열반응 특성 연구 배지열*(ADD)	한화에어로스페이스 3D 프린팅 현황 및 DED 기술을 이용한 터빈 부품 수리 기술 개발 이동엽*(한화에어로스페이스)	국내 개발 개방형 가스발생기 방식 액체로켓엔진의 시동 특성에 대한 연구 이광진*(항우연)	발사체 재사용을 위한 재진입 및 착륙 연구 이창훈*(KAIST)	식물성 오일 유래 바이오항공유 제조기술 현황 및 스케일-업 제조기술 개발 한기보*(고등기술연)
14:00 ~ 14:20	압축력과 내부 압력을 고려한 추진제 탱크의 직교 격자 원통 구조에 대한 좌굴 Knockdown factor 도출 심창훈*, 박재상(충남대)	등전환법을 활용한 THPP 고체추진제의 노화메커니즘 분석 및 성능변화 예측 오주영*, 여재익(서울대)	에틸렌-메탄 혼합연료 적용 스크램제트 연소기 실험 변종열*(ADD)	1차원 열 해석 모델링을 위한 스크램제트 냉각채널의 종횡비에 따른 3차원 열전달 수치해석 이재인*, 김규홍(서울대)	가스터빈 주축 베어링 체결조건 및 클리어런스에 관한 연구 김선제*(ADD)	국내 개발 다단연소사이클 방식 액체로켓엔진의 시동 특성에 대한 연구 이광진*(항우연)	기체주입을 이용한 가변추력 연구 성홍계*(항공대)	고속비행체 냉각을 위한 연료의 흡열분해 반응에서 제올라이트 촉매 영향연구 박정훈*(동국대)
14:20 ~ 14:40	가스터빈 엔진용 VEN 구동기의 구조 최적화에 관한 연구 김용하*(ADD)	구조체 내에서의 고폭약 폭풍파 특성 파악 노태준*, 여재익(서울대)	이중모드 스크램제트 연소기의 점화 및 연소모드 특성 변종열*(ADD)	모델 연소기의 기체 중심 스월 동축형 분사기를 통해 당량비 변화에 따른 연소불안정 연구 김명성*, 손재훈(세종대)	CFD를 통한 1단 쉬라우드형 축류 터빈의 유동 특성 연구 유지상*, 송성진(서울대)	충남대학교 로켓 추진 및 연소 실험실 실험설비 소개 신민규*, 고영성(충남대)	재사용 발사체 탱크 구조의 좌굴 설계 기준 정립 연구 박재상*(충남대)	바이오항공유와 고성능 연료의 혼합 비율에 따른 점화특성 변화 분석 강새별*(ADD)
14:40 ~ 15:00	휴 식							
15:00 ~ 16:00	포스터 세션 [ 별관 컨벤션홀 2층 ]							
16:00 ~ 16:20	휴 식							
16:20 ~ 16:30	개 회 식 [ 그랜드볼룸 ]				개회사 : 김 정 수 회장			
16:30 ~ 17:10	초청강연 ( I ) 제 5차 산업혁명은 우주항공기술에서 ?!				김 승 조 (서울대학교 명예교수 / 한국항공우주연구원 제9대 원장)			
17:10 ~ 17:50	초청강연 ( II ) 우리 방위산업 현황과 나아갈 방향 (연구개발 및 수출 중심)				신 현 우 (한화에어로스페이스(주) 대표이사)			
17:50 ~ 18:00	휴 식							
18:00 ~ 20:00	만찬 (그랜드볼룸)				시상식 (학회상 및 특별공로상)			



# 제53회 한국추진공학회 2019년 추계학술대회

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔

날짜 | 2019년 11월 29일(금)

발표장	제 1 발표장 [ 2층 그랜드볼룸 A ]	제 2 발표장 [ 그랜드볼룸 B ]	제 3 발표장 [ 그랜드볼룸 C ]	제 4 발표장 [ STUDIO 1 ]	제 5 발표장 [ STUDIO 2 ]	제 6 발표장 [ STUDIO 3 ]	제 7 발표장 [ STUDIO G ]	제 8 발표장 [ 3층 더뷰 ]
세션 [좌장]	우주 및 로켓추진 3 [ 좌장 : 김혜민 ]	우주 및 로켓추진 4 [ 좌장 : 이복직 ]	램/스크램제트추진 3 [ 좌장 : 양인영 ]	열/유체역학 및 연소 4 [ 좌장 : 김경우 ]	추진체계 / 시험평가 [ 좌장 : 조남경 ]	OS: 국방용 복합재료 [ 좌장 : 박재범 ]	OS: 뉴 스페이스 시대의 우주수송 개발 동향 3 [ 좌장 : 임하영 ]	
9:00 ~ 9:20	액체로켓엔진의 냉각방식에 따른 추력성능 변화 전태준*, 박태선(경북대)	추진제 그레이н burn-back 해석 기법의 오차 분석 및 Hybrid 해석 기법 개발 오석환*, 이형진(인하대)	데토네이션 구동 충격파 터널에서의 탱탱탱크 적용에 따른 성능 변화 연구 진상욱*(ADD)	압력 전달 시스템에서 다양한 주파수 응답 모델들의 비교 연구 김현준*(항우연)	고체 추진기관의 추력 측정 불확도 추정 방법 연구 이규준*(ADD)	탄소섬유 복합재의 추진기관 적용성 연구 황태경*(ADD)	전기펌프를 사용하는 소형엔진 곽현덕*(항우연)	
9:20 ~ 9:40	C2H4/GO2 Tri-arc RDE 성능 특성 연구 이은성*(부산대)	한국형발사체 7톤급 엔진의 조립 현황, 성과 및 향후 과제 서건수*(항우연)	분리형 인젝터를 사용한 공기가열기의 성능시험 고찰 이정민*(ADD)	Hough 알고리즘을 통한 HB 모델의 힘 모멘트 측정 김은주*, 박수형(건국대)	충격파 터널용 마하 6 컨투어 노즐의 출구 압력 측정 및 해석 박상하*, 박기수(KAIST)	국산 탄소 토우 프리프레그의 와인딩 특성 및 파열압력 연구 이진희*(코오롱테크컴퍼지트)	소형 액체상단을 이용한 달 탐사선 임무 예비설계 최수진*(항우연)	
9:40 ~ 10:00	정압 유도관 측정 압력의 주파수 분석 김대진*(항우연)	소형 액체로켓엔진을 위한 전기펌프 연구 윤준태*, 윤영빈(서울대)	고온 공기 공급장치를 이용한 스크램제트 엔진 지상 시험 장치 구성 및 설계 장진영*, 최정열(부산대)	Sounding Rocket을 이용한 PMD(Propellant Management Device)의 성능 검증 임상혁*(스페이스슬루션)	소형로켓엔진의 추력성능에 대한 측정불확도 평가 김민철*, 김정수(부경대)	Tow Prepreg 경화조건에 따른 스트랜드 특성 평가 장정근*(금오공대)	소형위성 발사 서비스 종류 및 가격 동향 서윤경*, 박정호(항우연)	
10:00 ~ 10:20	액체로켓엔진 가스발생기에서 압전 저항 및 소자형 압력 센서를 이용한 압력 거동 비교 주성민*(항우연)	2019년 전국대학생로켓연합회(NURA) 로켓경연대회 발사후 전사후 분석 결과 전하상*(전국대학교로켓연합회)	초음속 연소 실험을 위한 Vitiated Heater 특성 연구 임건욱*, 이형진(인하대)				SLM을 이용한 액체산소/메탄 혼합기 제작 임하영*(항우연)	
10:20 ~ 10:40	<b>휴 식</b>							
세션 [좌장]	우주 및 로켓추진 5 [ 좌장 : 진정근 ]	우주 및 로켓추진 6 [ 좌장 : 길태욱 ]	램/스크램제트추진 4 [ 좌장 : 최정열 ]	열/유체역학 및 연소 5 [ 좌장 : 이형주 ]	OS: 액체로켓엔진 시험평가 2 [ 좌장 : 김승환 ]	OS: 유도탄수명평가 [ 좌장 : 유지창 ]	OS: 뉴 스페이스 시대의 우주수송 개발 동향 4 [ 좌장 : 박광근 ]	OS: 젤 추진기술 [ 좌장 : 황용석 ]
10:40 ~ 11:00	과산화수소 기반 접촉점화성 하이브리드 로켓의 상압 연소 가시화 정준영*, 권세진(KAIST)	차세대 위성추진시스템의 연구개발 현황 김호락*(항우연)	내삽형 몽뚝물체 분리운동의 3차원 유동장 해석 박근홍*(ADD)	초임계 환경으로 분무되는 천임계 단일 제트의 거동 분석 송주연*, 구자예(항공대)	다단연소사이클엔진 분사기 분사 균일성 평가기법 고찰 조남경*(항우연)	LEEFI(Low Energy Exploding Foil Initiator) 감도 관점의 설계수명예측연구 백승준*, 손영갑(안동대)	발사체 소형엔진용 적층제조 기술 동향 이금오*(항우연)	유기성 젤의 핀을 인젝터 형상에 따른 분무 특성 황주현*, 구자예(항공대)
11:00 ~ 11:20	Free-standing 그레이인의 압력평형을 고려한 FSI해석 박찬우*, 이형진(인하대)	이차원 축대칭 하이브리드 Particle-in-Cell 시뮬레이션을 이용한 자기장 형태가 홀 추력기 플라즈마 구조에 미치는 영향 분석 정관용*, 성홍계(항공대)	Study on multiple shock wave structures in supersonic internal flow Jintu K James*, 김희동(안동대)	Numerical Simulation of Emission Characteristics in GCH4-GO2 Shear Coaxial Injector Manohar Jegannath*, 김정수(부경대)	다단연소사이클 엔진 기술검증시제(TDM2) 개발 현황 이정호*(항우연)	Hydroxyl-Terminated Polybutadiene 기반 복합재의 온습도 노화에 따른 물성 변화 정재희*, 최병호(고려대)	신뢰성 향상 및 시스템 단순화를 위한 자가증기 가압 시스템 개발 동향 박광근*(항우연)	삼중 충돌형 인젝터의 액적 크기 측정 이동근*, 문희창(항공대)
11:20 ~ 11:40	하이브리드 로켓 연소에서 경계층 진동의 발생과 저주파수 연소불안정 김진아*, 이창진(건국대)	개방형 액체로켓엔진의 추력제어를 위한 최적출력 추종제어 시뮬레이션 차지형*(항공대)	Control of Shock Train in the Isolator of Hypersonic Engine Vignesh Ram P S*, 김희동(안동대)	초임계 유체-기반 MWCNT 나노유체의 물성치 최은혁*, 장성필(항공대)	우주발사체용 액체로켓엔진(가스 발생기 사이클) 개발 시험에 대한 고찰 I 한영민*(항우연)	FKM 오링의 잔여노화수명 평가 연구 이진혁*(신발피혁연), 조남주(부산대)	발사체와 지상 인터페이스 동향 고주용*(항우연)	축비대칭 인젝터 분무의 정성적 3D 이미지 구현 기법 이동희*, 문희창(항공대)
11:40 ~ 12:00	아산화질소를 이용한 하이브리드 로켓 추진시스템의 추력제어 성능예측 김서영*, 문희창(항공대)	배터리 전류 되먹임에 의한 직렬식 하이브리드 시스템의 발전 및 충전 제어 기법 강재구*(대한항공)	유체진동기형 분사장치를 이용한 초음속 유동장 내 연료 분사 및 혼합 특성 연구 이은철*, 이형진(인하대)		우주발사체용 액체로켓엔진(다단연소 사이클) 개발 시험에 대한 고찰 II 한영민*(항우연)		발사체 예비오닉스 개발 동향 김주년*, 임유철(항우연)	
12:00 ~ 13:00	<b>중 식 [ 별관 컨벤션홀 2층 ]</b>							



# 제53회 한국추진공학회 2019년 추계학술대회

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔

날짜 | 2019년 11월 29일(금)

발표장	제 1 발표장 [ 2층 그랜드볼룸 A ]	제 2 발표장 [ 그랜드볼룸 B ]	제 3 발표장 [ 그랜드볼룸 C ]	제 4 발표장 [ STUDIO 1 ]	제 5 발표장 [ STUDIO 2 ]	제 6 발표장 [ STUDIO 3 ]	제 7 발표장 [ STUDIO G ]	제 8 발표장 [ 3층 더뷰 ]
세션 [좌장]	우주 및 로켓추진 7 [ 좌장 : 박근홍 ]	OS: 열유체부분 신진연구 동향 [ 좌장 : 권오재 ]	구조 및 소재 3 [ 좌장 : 함희철 ]	OS: 국방용 복합재료 [ 좌장 : 강기원 ]	추진체계 / 시험평가 [ 좌장 : 김채형 ]	OS: 항공기용 내연기관 [ 좌장 : 김근배 ]	OS: 뉴 스페이스 시대의 우주수송 개발 동향 5 [ 좌장 : 박순영 ]	
13:00 ~ 13:20	스웰인젝터 불안정이 분무 특성에 미치는 영향 분석 정석규*, 윤영빈(서울대)	고온 탄화수소 액체제트의 분사특성 실험 및 전산해석 연구 이형주*(청주대)	원통형 복합재 격자 구조의 압축 및 굽힘 응력비를 이용한 압축 강도 예측 전민혁*, 김인걸(충남대)	탄소직물용 리오셀 직물의 전처리 조건에 대한 연구 박길영*(디셀), 정용식(전북대)	고온 및 고압 산화제 과잉 연소가스에 의한 배관 재질에 따른 제작성 및 경향 장지훈*(비츠로넥스텍)	무인 항공기용 소형 분리형 로터리엔진 개발 기덕중*(테너지)	뉴스페이스 시대의 소형발사체 개발 전략 이기주*(항우연)	
13:20 ~ 13:40	블래스팅 캡 시험에서의 추진제 안전성 정량화 김주원*, 권세진(KAIST)	상세 화학반응 모델을 이용한 다양한 연료의 연소 특성 연구 박성우*(항공대)	내열재의 열반응 현상을 고려한 열구조해석의 수치적 접근 노영희*(ADD)	열처리 조건에 따른 리오셀계 탄소직물의 특성 변화 김우성*(디셀), 정용식(전북대)	가속열화시험을 통한 추진제 저장수명 평가 백승준*, 손영갑(안동대)	드론용 2-행정 왕복엔진 설계 김근배*(항우연)		
13:40 ~ 14:00	노즐목 외부형 핀을 노즐을 적용한 한국형발사체의 노즐 길이 절감 가능성 이기환*, 허환일(충남대)	이론적, 계산적 난류연소 모델링의 최근 발전 현황 신동혁*(KAIST)	액체 추진 로켓의 구조/공급계의 수치모델 및 포고 역제의 치수 최적화 박국진*, 신상준(서울대)	경화 사이클에 따른 토우프리프레그 라미네이트 내 수지 유동에 관한 연구 오재형*, 김성수(KAIST)	배기가스 IR 신호 저감을 위한 물 분사량 분석 정성민*(ADD)	과급기를 이용한 수소 전소 왕복동식 내연기관의 최고 출력 향상에 관한 연구 이정우*, 최영(기계연)	『소형위성의 고성능화와 발사기회』 토론회	
14:00 ~ 14:20	Performance Assessment of the Dual-Throat Nozzle Thrust Vector Control in a 3D Rectangular Nozzle Kexin Wu*, 김희동(안동대)	고속 유동장 내 비행체 주위 열/압력 하중 감소 방안 연구 이형진*(인하대)			하이브리드 추진기관을 이용한 수직이착륙체계의 모의실험 채동훈*(건국대)	AMESim을 활용한 고고도 장기체공 무인기 엔진의 성능해석 이상훈*(항우연)		
14:20 ~ 14:40	휴 식							
14:40 ~ 15:20	정기총회 및 시상식(우수논문 발표상) [ 그랜드볼룸A ]							
15:20 ~ 15:30	경품추첨 및 폐회식 [ 그랜드볼룸A ]							



# 제53회 한국추진공학회 추계학술대회 포스터 발표

장소 | 부산 해운대 그랜드호텔

날짜 | 2019년 11월 28일(목)

번호	논문제목	발표자	소속	분야	
1	베인 엔드월에서 마냉각 홀 설치 영역에 따른 마냉각 특성 분석	김태우*	연세대	가스터빈/내연기관	
2	단락 슬롯마냉각과 격벽이 설치된 블레이드 팁 마냉각 효율 특성 연구	방민호*	연세대		
3	항공용 가스터빈 연소기의 emission 배출 CFD 예측	정승채*	한화에어로스페이스		
4	터보프롭 엔진 배기덕트의 다목적 최적설계에 관한 연구	정희운*	한화에어로스페이스		
5	가스터빈 단일 림셀 간극에 따른 유동 특성	최승영*	연세대		
6	소형 제트 엔진을 장착한 하이브리드 드론 설계	김민규*	과학영재학교		
7	열-기계적 메타물질을 이용한 수축 및 확장 액추에이터의 열해석	박우현*	금오공대		
8	75톤급 액체로켓엔진 주요 구성품 구조 동특성에 관한 연구	박종연*	항우연		
9	Zn함량이 높은 알루미늄 합금의 최적의 시효 조건 예측	손영일*	ADD		
10	희토류 기반 비산화물 세라믹복합체용 환경차폐 코팅기술	오윤석*	세라믹기술원		구조 및 소재
11	75톤급 엔진의 조립 부품 개선 방안	유재한*	항우연		
12	상단 액체로켓엔진 연소기 진동특성	유철성*	항우연		
13	압축기의 블레이드 형상을 고려한 티타늄 소재의 HCF 강도 측정	이우석*	한화에어로스페이스		
14	항공기 IR 저피탐 특성을 높이기 위한 선택적 방사체 개발	임준수*	연세대		
15	Al-Ni 기반 삼원계 반응성 금속 구조재료의 개발	전호선*	KAIST		
16	대형 원통형 복합재 격자구조체의 구조안전성 평가	최원준*	한발대		
17	Black silicon을 활용한 태양전지 효율 증가 방안 제시	황설희*	한발대		
18	스크램제트 Semi-freejet 시험장치 연구	나재정*	ADD		
19	극초음속 추진기관 시스템 동적 모델에 관한 연구	남궁혁준*	현대로템	램/스크램제트추진	
20	스크램제트 In-Flight 흡입구 성능측정을 위한 Sensing Location 최적화	오정석*	서울대		
21	초음속 유동에서 액체 제트의 분열 특성	이상훈*	항우연		
22	우주비행기 적용 극초음속 공기흡입구의 성능분석	이양지*	항우연		
23	친환경 액상 산화제 제조연구	김소희*	경희대		
24	입자강화 복합재료의 정적 및 동적 특성 평가	김재훈*	충남대		
25	고에너지 열가소성 추진제 제조 및 특성연구(II)	김한철*	한화		
26	ETPE 추진제 펠렛 제조 공정 개발	문다습*	한화		
27	제트 모사 연료 개발 및 열분해 특성 연구	박성우*	항공대		
28	황색산화철을 포함하는 혼합형 고체추진제의 특성에 관한 연구 (2)	박성준*	한화		연료 및 추진제
29	HTPB/AP 혼합형 고체추진제의 경화제별 연소특성 비교	박주현*	풍산		
30	액체추진제용 NPL(1-Nitro-2-Propanol) 합성 연구	설민정*	한화		
31	RDX와 1-RDX의 구조분석 비교	성인혜*	풍산		
32	선형적 유량 제어를 위한 서보밸브 특성 연구	신상운*	한화에어로스페이스		
33	분자화약의 nitro group이 화약의 계면에 미치는 영향	심정섭*	한화		
34	회전의 항공기 탐침기 고장 시 연료량 산출을 위한 고장 모드 알고리즘에 대한 연구	오상응*	한화에어로스페이스		
35	최소자승법을 적용한 회전의 연료탱크 계측데이터 보정 방안	이종욱*	한화에어로스페이스		
36	접착 보조제 종류에 따른 고체 추진제 접착 특성 분석	장명욱*	한화		
37	알루미늄 함량에 따른 추진제 노화 특성	정재운*	한화	열/유체역학 및 연소	
38	DSC를 이용한 HTPB/AP계 추진제의 경화 반응열에 대한 고찰	정현호*	풍산		
39	회전의항공기 외부보조연료탱크 내충격성능 충격을 위한 연료시스템 개발 및 검증	최 원*	한화에어로스페이스		
40	한국형발사체 3단 연소시험 중 잔류화염 방지용 매니폴드 설계 및 시험	고주용*	항우연		
41	덕트형 2차목 디퓨저의 성능 특성 연구	기완도*	현대로템		
42	냉각유로 유량 변화에 따른 배기구 적외선 신호 특성	김지혁*	연세대		
43	스크램제트 흡입구의 카울각 유무에 따른 성능분석에 대한 연구	김형욱*	건국대		
44	무인기 배기구 형상에 따른 적외선 위협에 대한 생존성 분석	남주영*	연세대		
45	마하 5 유동에서 반구-실린더 모델의 표면 온도 측정	양인영*	항우연		
46	사출장막 추진제 내부형상에 따른 연소 특성 분석	유재록*	풍산		우주 및 로켓추진
47	극초음속 추진 실험을 위한 초음속 풍동의 설계	이건호*	고려대		
48	원통 주위의 비점성 전산유동의 수치해석	이은석*	항우연		
49	추력 조건에 따른 항공기 후방동체 적외선 신호 분석	이홍식*	연세대		
50	연소물성치에 따른 추진기관의 성능범위 예측에 대한 수치해석적 연구	조현환*	세종대		
51	시험발사체 극저온 열차단계 비행시험 데이터 분석	최상호*	항우연		
52	RK-PR 방정식과 총류화염편도모델을 이용한 GH2-LOx 단일인젝터연소기 해석과 검증	황원섭*	부산대		
53	추진기관용 물질의 상변화 특성 및 물성 획득 실험	황주준*	ADD		
54	와이어 메쉬 덤퍼: 정하중 및 동하중 특성 측정을 위한 실험장치 개발	Daixu Song*	한양대	우주 및 로켓추진	
55	액체-액체 핀를 분사기의 운동량 변화에 따른 분무특성 및 혼합특성에 관한 연구	강동혁*	항우연		
56	한국형발사체 3단 자세제어추력이 펄스 모드 비추력 분석	강신재*	항우연		
57	다단계 압력설정이 가능한 산화제 탱크용 벤트/릴리프밸브의 성능시험	고현석*	항우연		
58	STFT와 DMD를 이용한 충격파 유도연소의 연소불안정성 분석	곽민석*	세종대		
59	발사체용 연료차단밸브 설계 및 제작	길경섭*	항우연		
60	극저온 로켓엔진 터보펌프용 하이브리드 유체 베어링의 성능 예측과 실험에 관한 문헌 및 사례 고찰	김규만*	한양대		
61	이중 영역 가스발생기 연소시험 결과	김문기*	항우연		

번호	논문제목	발표자	소속	분야
62	스크류형 압력 선회 분사기 내부유동해석	김석원*	충남대	
63	시험용 달 궤도선 추진시스템 검증을 위한 지상시험모델 구축 현황	김선훈*	항우연	
64	4 클러스터드 모델 엔진의 플룸 역류 현상 전산 해석	김성룡*	항우연	
65	30N급 하이dra진 추력기 비행모델 개발	김수겸*	항우연	
66	액체로켓엔진 고공 모사 시험 연구	김승한*	항우연	
67	한국형발사체 75톤급 엔진 개발 시험 현황	김승한*	항우연	
68	액체로켓엔진의 극저온과 고온 단열재의 자켓디자인 설계	김영준*	항우연	
69	단일 추진제 기반 추력기의 추력 제어를 위한 이중판 인젝터 설계 및 수류 시험	김예현*	KAIST	
70	로켓 엔진에서의 측정 센서 배치 및 마운트 설계	김옥구*	항우연	
71	추진제 형상과 연소관 단열재 불균일 삭마의 관계	김정진*	ADD	
72	핀을 분사기를 적용한 1.5톤급 액체로켓엔진용 연소기 연소시험	김종규*	항우연	
73	고체로켓모타에 적용가능한 극저온 연소관 내열재 조성 연구	김진용*	한화	
74	재사용 우주발사체용 로켓엔진 터보펌프에 적용되는 하이브리드 저널 베어링의 정하중 강성 및 감쇠 계수의 실험적 규명	김진이*	한양대	
75	한국형발사체 75톤급 엔진 터빈 노즐목 면적 변화 추정 방법 평가	남창호*	항우연	
76	다단 연소사이클 엔진 시동방법 연구	문인상*	항우연	우주 및 로켓추진
77	한국형발사체 3단 엔진 제어계측계 소개	문일윤*	항우연	
78	시험용 달 궤도선 추진시스템 통합 열해석	원수희*	항우연	
79	액체로켓 시험설비의 고압 질소생성펌프 성능 관찰	이병용*	항우연	
80	MEMS 추력 측정 시스템의 성능 평가	이종광*	한밭대	
81	하이브리드 유체 스러스트 베어링 실험장치 : 동역학 해석 및 작동한계 예측	이찬우*	한양대	
82	블베어링과 와이어 메쉬 댐퍼로 지지되는 액체로켓엔진 터보펌프의 회전체동역학: 지지 강성과 회전체 불균형 질량의 영향	이호원*	한양대	
83	외부가압 가스 스러스트 베어링의 정적 및 동적 특성 예측: 가스 점성 및 유막 두께의 영향	임호민*	한양대	
84	한국형발사체 1단 기체공급계통 체크밸브 개발	정용갑*	항우연	
85	양방향 회전이 가능한 하이브리드 유체 저널 베어링: 설계 및 실험장치 개발	정현성*	한양대	
86	고압 축소형 연소기의 연소시험을 위한 설비 개량	재원주*	항우연	
87	고추력 고펡창비 액체로켓엔진 연소기에 대한 연소/냉각 성능 통합 해석	조미옥*	항우연	
88	액체로켓엔진 연소기 성능 고도화 기술 검증을 위한 축소형 연소기의 냉각 기구 설계	조미옥*	항우연	
89	LOx/Kerosene 다단연소사이클 엔진 개발 동향	조영석*	충남대	
90	다단연소 사이클 액체로켓엔진에서 예연소기 혼합비 평가	조원국*	항우연	
91	82톤급 연소기 산화제 매니폴드 유동 특성 분석	한상훈*	항우연	
92	액체연료엔진 제어계측계 구성요소 및 배치	김인성*	항우연	
93	Enhanced Hules type 아크가열 플라즈마 풍동의 열유속 측정	오필용*	전북대	제어/진단
94	엔진시험시설에서 자료획득 장치에 대한 고찰	조재한*	ADD	
95	500MD 무인화 개조를 위한 엔진 제어 시스템 구성 및 검증	홍용기*	대한항공	
96	점화기 체결볼트 구조조건전성 분석	강원규*	한화	
97	CAD를 이용한 착화장치 성능 정밀화 확인 시험	권미라*	한화	
98	KIO4와 TiH2를 이용한 금속복합화약 개발	안길환*	한화	
99	단분리 장치의 PMD 종류에 따른 충격량 분석	양희원*	한화	추진전원/파이로
100	해외 파이로락과의 비교를 통한 저충격 PMD 파이로락 분석	이승호*	한화	
101	구조 최적화를 통한 점화안전장치 소형화 설계	이총일*	한화	
102	액체로켓엔진용 극저온 파이로 스위치 성능시험	장재선*	항우연	
103	시험용 달 궤도선의 설계검증을 위한 추진제 공급부 모사 수류시험	감호동*	한화	
104	항공용 제트 펌프 신뢰성 평가	김남희*	스페이스솔루션	
105	한국형발사체 공압밸브 구동용 솔레노이드 밸브 성능시험	김병훈*	항우연	
106	3단 엔진 연소시험설비 초음속디퓨저 확대부 냉각채널 구조에 따른 냉각 성능 분석	김성혁*	항우연	
107	액체로켓엔진 시험설비의 가스공급계통	김채형*	항우연	
108	우주센터 종합조립동 고압가스 운용을 위한 고압 유연호스 종류 및 특성 연구 II	남중원*	항우연	
109	한국형발사체용 소형 경량화된 탑재 지상계측장치	오창열*	항우연	
110	엔진연소시험에 따른 테스트스탠드 열영향 분석	우성필*	항우연	
111	저중력 시험 설비에 대한 연구 동향 분석	유이상*	항우연	
112	한국형 발사체 2단 엔진 고공 시험설비의 화염 역류 방지판 구성 및 설계	이성민*	한양이엔지	추진체계/시험평가
113	액체로켓 엔진 연소시험에서의 고주파 비상정지 시스템 활용 방안	이승재*	항우연	
114	고온연소 측정장치 개발	이재호*	현대로템	
115	산화제 고밀도화를 위한 열교환 시험장치 구축	이지성*	항우연	
116	75톤급 가스발생기 개발시험 및 수락시험 결과	임병직*	항우연	
117	한국형발사체 추진운용 전자분야 시퀀스시험 방안	임유철*	항우연	
118	액체산소 순환시스템 최적 설계 검토	정영석*	항우연	
119	Creo 2D와 Primavera를 활용한 한국형발사체 75톤급 엔진시스템 조립절차서 개념 소개	최영민*	항우연	
120	Blow-Down 유압시스템에서의 체적보상기 성능 검증	탁효성*	한화	
121	바인더 제조를 위한 니트라민 그룹을 함유하는 고에너지 고분자 합성 및 물성 평가	황기원*	부산대	

# 수분에 의한 Zr계 에너지 물질의 화학적/물리적 노화 및 연소 성능 저하

한병헌\* · 박윤식\* · 여재익\*†

## Chemical and Physical Degradation by the Aging of Zr-based Energetic Material

Byung Heon, Han\* · Yoonsik Park\* · Jack J Yoh\*†

### ABSTRACT

This template provides instructions and guidelines for preparing KSPE Conference Papers.

### 초 록

Zr을 원료로하는 점화제와 ZrNi를 원료로 하는 지연제로 구성된 지연관의 노화현상과, 노화로 인한 절심현상(Ignition failure)을 열적/화학적으로 분석하였다. 열적 분석에는 Differential Scanning Calorimetry(DSC) 와 Thermogravimetry Analysis(TGA)가 사용되었고, 화학적 분석에는 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS)를 사용하였다. DSC에서 나온 Kinetics를 통해 Modeling and Simulation을 수행하였으며, 절심현상의 원인을 극명하게 보여주었다. 수분에 대한 산화제의 안정성이 노화 현상에 크게 영향을 미쳤으며, 에너지 물질의 열 생성률이 주변 케이스로 열 발산률보다 낮아질 때 절심현상이 발생하는 것으로 나타나, 열 성능 저하가 절심현상의 가장 큰 원인임을 규명하였다.

Key Words: Pyrotechnics(파이로테크닉스), Solid fuel(고체연료), Aging effects(노화), Initial burn time delay(점화 지연), Ignition failure(절심),

### 1. 서론

고 에너지를 가진 고체의 금속 물질은 오랜 기간 보관 가능하다는 장점과 단 시간에 많은 에너지를 낼 수 있기 때문에, 폭약, 로켓 추진제, 파이로테크닉(Pyrotechnic), 폭죽, 에어백 시스템 등의 광범위한 분야에서 사용되어 왔다 [1]. 대표적인 고체 금속 물질은 지르코늄(Zr), 알루미늄(Al), 텅스텐(W), 티타늄(Ti) 등이 있으며, 이

금속들은 높은 화학 에너지를 내재하고 있다. 이런 물질은 충분한 열을 공급하면 산화제와 급격히 반응을 시작하며 짧은 시간에 방대한 열을 방출한다. 특히 Zr과 Al은 반응률이 뛰어나 상대적으로 짧은 시간에 많은 에너지를 방출하는 반면, 니켈(Ni)이나 텅스텐(W)은 높은 에너지를 보유하고 있기는 하나 에너지 방출률이 높지 않아 상대적으로 긴 시간에 걸쳐 반응을 하게 된다. 이러한 성질은 폭약이나 다른 에너지 물질들이

반응하기까지 시간을 조절 할 수 있도록 도와주는 역할을 하게 된다. 대표적으로는 지연관 장치가 그 예이다. 지연관 장치는 Zr을 에너지원으로 하는 점화제와, ZrNi을 에너지원으로 하는 지연제로 구성되어 있다. 초기에 작은 에너지를 점화제가 증폭시켜 지연제로 전달하고 ZrNi alloy로 구성된 지연제는 상대적으로 천천히 반응하며 다음 반응까지 시간을 조절해주는 기능을 하는 방식이다. 또한, 에어백 시스템의 경우, 짧은 시간 안에 반응해야하기 때문에 짧은 시간에 급하게 반응하는 파이로테크닉과 가스 생성물질을 함께 사용한다.

이러한 적용 분야는 안전, 생명과 직접적으로 연관된 매우 중요한 분야이다. 따라서 사용된 파이로테크닉, 에너지 물질의 시간에 따른 성능 저하가 적어야 하며, 이후에도 작동 성능에 대한 신뢰도는 매우 중요한 논점 거리이다 [2,3].

따라서, 본 연구에서는 위에서 언급된 Zr, ZrNi로 구성된 지연관에서, 주 고체 연료인 Zr, ZrNi가 시간에 따라 노화되는 현상의 원인을 X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS)를 통해 화학적으로 분석하였고, Differential Scanning Calorimetry(DSC)를 통해 추출된 Kinetics를 활용하여 Modeling&Simulation을 수행하여 절심(Ignition failure) 현상의 원인을 파악했다. 또한 연소 실험을 수행한 결과를 통해 실질적인 성능 저감을 확인 하였다. 이 연구를 통해 Zr기반의 에너지 물질의 성능저하가 수분과 큰 관련이 있음과, 산화제와 금속 에너지 물질을 함께 보관할 경우 노화가 더 급격히 진행 될 수 있음을 밝혔다.

## 2. 실험

### 2.1 샘플 및 지연관 구성

사용된 샘플은 아래 Table 1과 같고, 점화제와 지연제 모두 각각 8년간 자연 노화된 샘플을 준비하였다. 사용된 모든 샘플은 75um 이하의 고체 particle을 사용하였다.

Table 1. Igniter and pyrotechnic delayer components

	성분	함량 [%]
점화제 (Igniter)	Zr	41
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	49
	SiO <sub>2</sub>	10
지연제 (Pyrotechnic delayer)	ZrNi	32
	KClO <sub>4</sub>	16
	BaCrO <sub>4</sub>	52

### 2.2 열 분석 및 반응 인자(reaction parameter)

노화 되지 않은 점화제와 지연제의 열 분석 결과는 아래 그림1과 같다. 그림 1의 위 그래프는 점화제의 반응 방식을 보여주는 결과이고 Fig. 1의 아래 그래프는 지연제의 반응 방식을 보여주는 그래프이다.

Fig. 1 Igniter's reaction kinetic(above) and the pyrotechnic delayer's reaction kinetics(below).

### 2.3 XPS를 통한 화학 조성 분석

XPS를 통해 분석한 점화제와 지연제의 결과를

아래 Fig. 2와 같이 나타내었다. XPS는 연료와 산화제에 모두 수행 되었으며 아래는 산화제 결과만을 표기하였다. 그림에서 보듯이 노화가 진행 될수록 점화제와 산화제 모두 Intensity가 감소한 것을 확인 할 수 있다. 이는 자연노화에서 특히 수분의 영향이 지대한 것으로 확인이 되는데, 수분은  $Fe_2O_3$ 를  $FeO$ 까지 분해하며, 물에 용해되기 쉬운  $KClO_x$  ( $0 \leq x \leq 4$ )는 수분에 쉽게 용해되기 때문이다. 한편, 일반 ambient 조건의 수분에서도 동일하게 수분에 의한 분해 반응이 일어난다고 알려져 있다 [4].

Fig. 2 Chemical analysis results using XPS for igniter(above) and the pyrotechnic delayer(below).

### 3. 수치해석

#### 3.1 2-Dimensional 해석

DSC로부터 추출된 Kinetics를 활용하여 Modeling and Simulation을 수행하였다. 사용된 식은 reaction rate식과 에너지 보존식이며, 점화

제와 지연제에 대한 2-D의 시간에 따른 reaction rate 결과는 아래 그림 3과 같다.  $Y=0 \sim 5.5mm$ 까지는 지연제가 있고,  $Y=5.5 \sim 6.5mm$ 까진 점화제가 있으며, 점화제가 먼저 반응하고 지연제가 반응하는 방식이다.

Fig.3의 위 그림은 노화되지 않은 샘플, 아래는 8년간 노화된 샘플의 결과를 보여준다. 위의 노화되지 않은 샘플의 경우 점화제와 지연제가 모두 반응하기 까지 약 2.5초가 걸리는 반면, 아래 8년간 노화가 진행된 샘플의 경우, 약 6초가 지나도 반응이 완료되지 않는 것을 알 수 있다. 주목할 만한 것은, 8년간 노화된 샘플의 경우 반응 surface 양 끝 부분이 노화되지 않은 샘플과 다르게 기울기가 평평하지 않다는 점이다. 이는 케이스에서의 열 흡수율이 지연제에서 열 생성률보다 높기 때문이다. 또한, 이러한 현상은 반응이 더딘 지연제가 반응 할 때 더 크게 나타났다.

노화의 효과는 수분에 더 민감한 산화제를 조성으로 하는 지연제에서 더 크게 나타났으며, 반응이 느린 지연제에서 또한 더 큰 것으로 나타났다. 결론적으로, 주변 케이스를 통한 열 발산률보다 지연제의 열 생성률이 저하될 때 절심현상이 나타나는 것으로 확인이 되었다. 이를 통해, Zr과 ZrNi로 이루어진 지연관에서 절심현상(ignition failure)은 지연제의 노화에 의한 발열량 저하 때문이다.

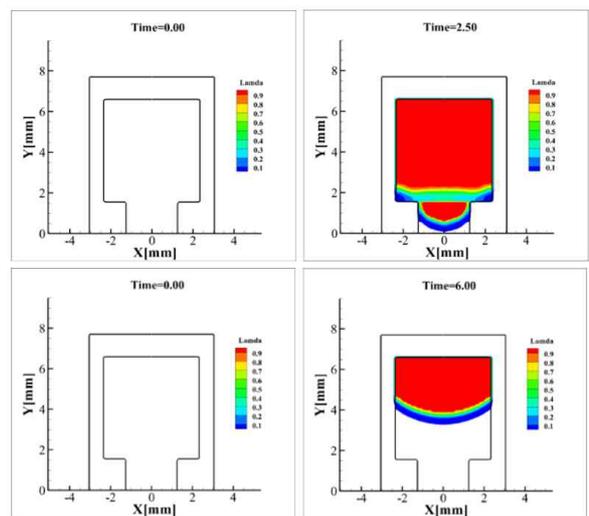


Fig. 3 2D simulation. The reaction rate results for

pristine sample(above) and the 8 years aged samples(below)

#### 4. 결 론

Zr을 원료로하는 점화제와 ZrNi를 원료로 하는 지연제로 구성된 지연관의 노화현상과 그로 인한 절심현상을 열적/화학적으로 분석하고 Modeling and Simulation을 통해 절심현상의 원인을 극명하게 보여주었다.

수분은 점화제와 지연제의 노화에 관여를 하지만, 수분에 더 민감한 산화제로 구성된 지연제의 성능저하에 더 치명적으로 작용하였다. 발열량이 저하된 지연제의 열 생성률이 주변 케이스로 열 발산률보다 낮아질 때 절심현상(ignition failure)이 발생하는 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 미래창조과학부의 National Space Lab(2014 M1A2A2A02034903), 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2016R1D1A1A02937421) 및 Hanwha Yeosu Grant(2018)의 지원으로 수행되었습니다.

#### References

1. Lucy, M., Hardy, R., Kist, E., Watson, J., and Wise, S., "Report on Alternative Devices to Pyrotechnics on Spacecraft," *51th Small Satellite Conference*, ALL1996, 1996.
2. Manelis, G.B. *Thermal Decomposition and Combustion of Explosives and Propellants*, Taylor & Francis Group, Berlin, Germany, 2003.
3. Brian, A.M., Jeremy R.R., and Mark, W.K.,

"Humidity Induced Burning Rate Degradation of an Iron Oxide Catalyzed Ammonium Perchlorate/HTPB Composite Propellant," *Combustion and Flame*, 161, 363-369, 2014.

4. Bian, L., Weng, Y., and LI, X., "Observation of Micro-droplets on Metal Surface in Early Atmospheric Corrosion," *Electrochemistry Communications*, 7, 1033-1038, 2005.