

# 2019 KSPE Spring Conference

## 제52회 한국추진공학회 2019년도 춘계학술대회

2019. 5. 29.(수) - 31.(금)  
라마다프라자 제주호텔



# 발표자 및 좌장 일정표

날 짜	시간	발표장		제1발표장	제2발표장	제3발표장	제4발표장	제5발표장	제6발표장	제7발표장	제8발표장
		블록 I	블록 II	블록 III	블록 IV	마라	우도	비양	추자		
5월 30일 (목)	08:30-17:00	등록 (2층 로비)									
	세션 A	우주 및 로켓추진 1	월/유체역학 및 연소 1	가스터빈/내연기관 1	연료 및 추진제 1	OS: 액체로켓엔진 시험평가	OS: 한국형발사체 발사대 및 시험설비 1	OS: 저비용/재사용발사체 기술 1			
	좌 장	홍순완	권오재	김대식	심홍민	한영민	강선일	윤영빈			
	09:00-09:20	문운안	이상훈	김재호	노태준	수은식	서만수	윤영빈			
	09:20-09:40	배준환	김해민	김신현	류지훈	이광진	승재강	양수석			
	09:40-10:00	허성재	황유준	정승재	이영현	조남경	임찬경	노동래			
	10:00-10:20	심명보	진 술	김신재	박윤식	이정호	문경록	손재훈			
	10:20-10:30	휴 식									
	세션 B	우주 및 로켓추진 2	월/유체역학 및 연소 2	가스터빈/내연기관 2	연료 및 추진제 2	웹/스마트추진 1	OS: 한국형발사체 발사대 및 시험설비 2	OS: 저비용/재사용발사체 기술 2			
	좌 장	안규복	최호진	김형모	민병선	박기수	강선일	노동래			
	10:30-10:50	박수진	승아현	김선영	정준영	진상욱	오화영	류 근			
	10:50-11:10	김영진	임하영	남재현	김호성	임성균	여인석	김철웅			
	11:10-11:30	김민철	김수빈	표영민	오주영	임성균	서만수	김철웅			
	11:30-11:50	황원섭	Subedi Bimal	이중권	김지훈	Jintu K James	승재강				
	11:50-12:10	이승호	배형모		유기정						
	12:10-13:00	중 식 (1층 탐모라 식당)									
	세션 C	우주 및 로켓추진 3	월/유체역학 및 연소 3	가스터빈/내연기관 3	OS: 추진 기술이전 관련 국내외 제도	웹/스마트추진 2	OS: 원격 MRO	OS: 장기 및 3D프린트 추진	OS: 전환경 추진제 우주추진기관		
	좌 장	문화강	김수겸	김춘택	채수홍	강상훈	오경원	박부민	이종광 / 박영철		
	13:00-13:20	이기환	박선영	주미리	신기훈	배주훈	오경원	임병준	최석민		
	13:20-13:40	이수지	남주영	최윤혁	황호성	최호진	김귀미	박부민	이주연		
	13:40-14:00	기원근	이흥식	추교승	김상범	김근영	신재봉	김상찬	김희진		
	14:00-14:20	김서영	Kexin Wu	최영환	이 준	Foluso Ladeinde	조영록	서정무	Vikas K. Bhosale		
	14:20-14:40	고수한	박상수	안종기	임종빈		박종화			14:30-14:50 박성현	14:50-15:10 김규섭
										15:10-15:30 이세훈	15:30-15:50 김주원
14:40-14:50	휴 식										
포스터 세션 14:50-15:50 (블록 로비)	포스터 세션	좌장		발표자							
	가스터빈/내연기관	김선재, 서성현, 윤원재		김정주, 방민호, 임주현, 조성필, 조하나 김승엽, 김호석, 박길영, 박성한, 손영일, 오필용, 유재한, 이기웅, 이수우, 이환희, 이우관, 정성기, 정성훈, 허성찬							
	구조 및 소재			나재성, 남궁혁준, 유영준, 권민찬, 이정민, 허 업							
	웹/스마트추진			강재별, 권순길, 김기혁, 김동환, 김명진, 박성우, 양준호, 오민석, 이원민, 이찬호, 장경민, 정영욱, 전택영, 정재운, 주원태							
	연료 및 추진제			고주홍, 김원현, 김주완, 김지혁, 박상수, 배지열, 송아현, 신동순, 신민규, 유재현, 이은석, 정민영, 진 술, 하 동성, 황도근, 황동현							
	월/유체역학 및 연소			강동혁, 강병은, 김문기, 김선훈, 김수겸, 김옥구, 김중규, 김진선, 김현준, 남창호, 서대반, 송우석, 왕승원, 우성필, 원수희, 이병용, 이승현, 이종영, 이창기, 전성민, 정용갑, 정태규, 채원주, 조원국, 주성민, 홍순섭							
	우주 및 로켓추진			박익수, 조우성, 차지형							
	제어/진단			김경진, 최상훈							
	추진전원/파이로			김동기, 김성용, 김성혁, 김용욱, 김정환, 김재형, 남중원, 송윤호, 이영호, 이형원, 임병직, 임지혁, 전준수, 정동호, 정영석, 최영민, 황유준							
	추진체계/시험평가			개회식 (블록)							
15:50-16:10	"Small is beautiful"										
초청강연 I	박성동 의장 [세트랙아이] (블록) 좌장: 노태성										
16:10-17:00	"해군 함정 추진시스템 현재와 미래"										
초청강연 II	해군정비청장 신승민 제독 [해군정비청] (블록) 좌장: 오경원										
17:00-17:30	MOU 서명식(한국추진공학회 - 해군정비청)										
17:30-17:40	휴 식										
17:40-18:00	만찬 (블록)										
18:00-20:00											
시간 / 발표장	블록 I	블록 II	블록 III	블록 IV	마라	우도	비양	추자			
08:30-13:00	등록 (2층 로비)										
세션 D	우주 및 로켓추진 4	월/유체역학 및 연소 4	월/유체역학 및 연소 5	구조 및 소재 1	추진체계/시험평가 1	OS: 초음속 재성 냉각 연소기 기술 개발 1	OS: 웹 추진기술				
좌 장	박재현	이복직	이형진	박재범	안규복	양인영	황용석				
09:00-09:20	하동휘	임상혁	정승민	박성찬	이수호	이경재	차정민				
09:20-09:40	이방업	김은주	송우석	이영선	김재은	이양지	이건웅				
09:40-10:00	한형석	Jacobs Somnic	이은철	류호빈	이금오	이상현	윤지수				
10:00-10:20		윤원재	이근식	이승재			이동근				
10:20-10:30	휴 식										
세션 E	우주 및 로켓추진 5	월/유체역학 및 연소 6	OS: 고해상도 내열 및 압조	구조 및 소재 2	추진체계/시험평가 2	OS: 초음속 재성 냉각 연소기 기술 개발 2	OS: 유도탄 수명평가				
좌 장	박태선	서성현	강윤구	박성한	조남경	김동규	유지창				
10:30-10:50	김진아	최원규	김용구	이세훈	류태하	김세영	위정욱				
10:50-11:10	전태준	이유석	김국겸	임재문	한창현	김수현	장무성				
11:10-11:30	강원빈	김재강	김동건	이인철	정성민	이석환	이문호				
11:30-11:50	이기범		노영희		유광현	이석환					
11:50-12:10			황기영								
12:10-13:00	중 식 (1층 탐모라 식당)										
13:00-13:30	경품추첨 및 폐회식 (블록 I)										

# 수분이 지연제에 미치는 영향을 이해하기 위한 분광학적 해석

류지훈 · 양준호 · 여재익<sup>†</sup>

## Toward understanding the effects of moisture-induced aging on pyrotechnic delays via spectroscopic analysis.

Ji Hoon Ryu\* · Jun Ho Yang\* · Jack J Yoh<sup>†</sup>

### ABSTRACT

In this study, the influence of moisture on the delay time and ignition of the pyrotechnic delays are studied. For each constituent of the pyrotechnic delays consisting of BaCrO<sub>4</sub> (53%), Zr-Ni alloy (32%), KClO<sub>4</sub> (14%), and Rareox #14 (1%), the change due to moisture aging and its cause were analyzed through the four spectroscopic methods, namely XRD, XPS, and SEM. KClO<sub>4</sub> and BaCrO<sub>4</sub> were gradually decomposed and the oxidizing agent decreased according to the moisture exposure level. In the case of Zr-Ni alloy, a crack due to the hydrogen embrittlement (HE) under an excessive moisture condition was confirmed. The rising trend of ZrO<sub>2</sub> and NiO molecular emission signals due to the increased metal surface area was quantitatively estimated.

### 초 록

본 연구에서는 의도된 지연초시 및 발열량을 가지는 지연관의 수분에 의한 영향에 대해 연구되었다. 크롬산바륨 (Barium Chromate, BaCrO<sub>4</sub>) 53%, 지르코늄-니켈 합금 (Zirconium-Nickel alloy, Zr-Ni alloy) 32%, 과염소산칼륨 (Potassium Perchlorate, KClO<sub>4</sub>) 14%, Rareox #14 1%로 구성된 Zr-Ni계 지연제 각 구성성분의 수분노화에 따른 변화 및 그 원인이 XRD, XPS, SEM 등을 통해 분석되었다. 분광 분석 결과, 수분 노출 수준에 따라 KClO<sub>4</sub>, BaCrO<sub>4</sub>가 점차 분해되어 산화제는 감소하였다. Zr-Ni의 경우, 과도한 수분조건 하에 수소취화 (Hydrogen embrittlement, HE)현상으로 인한 크랙이 확인되었다. 이러한 표면적의 증가 및 산화제와의 산화/환원 반응으로 인한 ZrO<sub>2</sub> 및 NiO 분자 방출 신호의 증가와 함께 ZrO<sub>2</sub>의 산화량이 정량적으로 추산되었다.

Key Words: Pyrotechnic delays; Moisture-induced aging, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), X-ray diffraction (XRD), Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), Scanning electron microscopy (SEM).

\* 서울대학교 기계항공공학부 우주항공공학과

† 교신저자, E-mail: jjyoh@snu.ac.kr

지연제는 일정 시간 동안 연소를 지연시켜 탄

약의 의도된 형태로의 발화를 구현하기 위한 에너지 전달 요소이다. 그러나, 지연관의 장기 보관에 따라 노화라 불리는 엔탈피 및 활성화 에너지의 변화로 인한 불발 (악작용)이 발생할 수 있다 [1]. 본 연구는 악작용의 원인으로 주목되는 수분에 의한 노화 메커니즘에 대한 이해에 초점을 맞추었다.

그림 1은 크롬산바륨 (Barium Chromate, BaCrO<sub>4</sub>) 53%, 지르코늄-니켈 합금 (Zirconium-Nickel alloy, Zr-Ni alloy) 32%, 과염소산칼륨 (Potassium Perchlorate, KClO<sub>4</sub>) 14%, Rareox#14 1%로 구성된 Zr-Ni계 지연제에 대한 XPS를 통한 화학적 분석 결과이다. 수분 노출 수준에 따라 BaCrO<sub>4</sub>는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 생성하며 감소하였으며, KClO<sub>4</sub>의 경우 물에 용해되어 ClO<sub>4</sub>가 Cl<sup>-</sup>로 점차

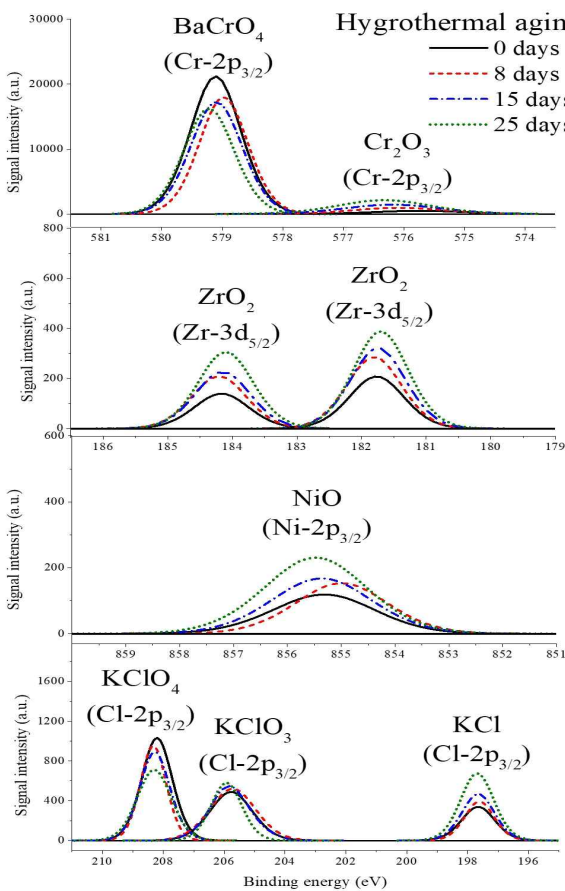


Fig. 1 XPS results for each component of pyrotechnic delays with moisture aging levels

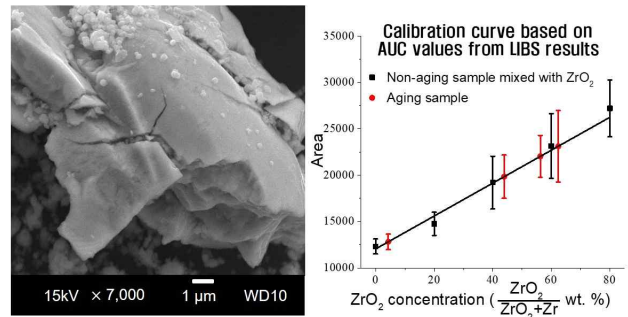


Fig. 2 SEM (Left) and LIBS (Right) analysis results for pyrotechnic delays of Zr-Ni alloy

환원되었다. 이 때, Zr-Ni alloy가 KClO<sub>4</sub>의 환원에 관여되었으며 그 결과 금속의 산화로 인한 ZrO<sub>2</sub>, NiO의 상승 추세를 확인할 수 있었다.

한편, 금속 연료에 대한 심층적인 분석을 위해 Zr-Ni alloy에 대한 SEM 및 LIBS 분석을 그림 2에 나타내었다. SEM 결과 수분 노화에 따라 alloy의 수소취화 현상이 관측되었으며, 그 결과 크랙이 발생하여 표면에너지의 감소에 따른 표면적의 증가를 확인하였다. 또한, ZrO<sub>2</sub>의 산화량을 정량적으로 파악하기 위해 LIBS 분석을 시행하여 ZrO molecular signal을 데이터 처리하여 0, 8, 15, 25일 수분노화 샘플에서 각각 4.3%, 43.9%, 56.2%, 62.4%의 Zr이 ZrO<sub>2</sub>로 산화되었음을 파악하였다.

초 록

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014M1A3A3A02034903)과 (주) 한화 지연제 성능해석 연구의 일부임을 밝힙니다.

References

1. Oyumi, Y., Kimura, E. and Nagayama, K., "Accelerated aging of plateau burn composite propellant". *Propellants Explosives Pyrotechnics* Vol. 22, pp. 263-268, 1997.