

# AA-/BB- MM 박격포탄 C1 지연관 성능개선에 관한 연구

안대희\*, 이재관  
국방기술품질원

## Performance Improvement of C1 Delay for AA-/BB- MM Mortar Shells

Dae-Hee An\*, Jae-Gwan Lee  
Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 최근 6년간 발생한 AA-/BB- MM KDDD, KEEE 박격포탄 탄약오작용의 약 92%가 탄착점 불발이다. 불발의 원인은 KFFF, KGGG 신관(Fuze)의 부품인 C1 지연관의 연소중단으로 분석되었다. 본 연구는 반복되는 탄약오작용 재발 방지를 위한 C1 지연관의 성능개선에 관한 실험적 연구를 수행하였다. C1 지연관의 연소중단 원인을 점화제, 지연제 별로 분석하였고, 성능개선을 위해 점화제, 지연제의 조성 및 성분을 변경하여 개선품(C1A1 지연관)을 만들어 가속노화 시험 후 기폭하여 성능을 비교하였다. 시험결과 불발률은 개선 전 제품은 최대 90%, 개선 후 제품은 최대 7.5%로 조성 및 성분 변경에 따른 개선 효과를 확인하였다. 추가로 방수성능 향상을 위해 방수제 변경을 검토하였다. 시료를 고온다습(71℃, 95% RH) 조건에 보관 후 측정할 수분 함유량과 작업의 효율성을 고려해 방수제를 결정하였다. 방수제의 성능은 물이 담긴 챔버에 압력을 가해 침수 후 기폭해 확인하였다. 불발률은 개선 전 최대 30%, 개선 후 0%로 동등 이상의 성능을 확인하였다.

**Abstract** In the past six years, approximately 92% of the malfunctions of AA-/BB- MM KDDD and KEEE mortar shells have been identified as misfires at the point of impact due to failed combustion of the C1 delay component of KFFF and KGGG fuzes. The aim of this study was to prevent recurring ammunition malfunctions by conducting experimental research to improve the performance of the C1 delay. The causes of the combustion failures in the C1 delay were analyzed in the context of the ignition and delay agents, and the compositions of both agents were modified to improve the performance. The agents were detonated after accelerated aging tests to compare their performance. An improvement by the composition modification was confirmed, and the maximum misfire rates of the original (C1 delay) and improved (C1A1 delay) products were 90% and 7.5%, respectively. Additionally, a change in the waterproofing agent was considered to enhance the water resistance. The appropriate waterproofing agent was determined based on the measured water content after storage at high temperature and high humidity (71°C, 95% RH), as well as the efficiency of the operation. The water resistance was evaluated by immersing samples in a water-filled chamber and detonating them. The improved product demonstrated superior performance with a misfire rate of 0%, in contrast to the rate of 30% of the original products.

**Keywords** : C1 Delay, Mortar Shell, Malfunction, Fuze, Pyrotechnic Delay Device, Igniter

---

\*Corresponding Author : Dae-Hee An(Defense Agency for Technology and Quality.)

email: mirae4@dtaq.re.kr

Received June 9, 2023

Accepted August 10, 2023

Revised July 11, 2023

Published August 31, 2023

## 1. 서론

신관(信管, Fuze)은 각종 포탄류에 장착하여 사용자가 원하는 시간 또는 환경에서 탄의 기능이 발휘되도록 하는 장치이다. 신관은 취급 및 보관 등 발사 전까지는 안전성을 확보하고, 발사 후에는 성능이 발휘될 수 있도록 장전(Arming)되어 사용자가 원하는 시점 및 조건에서 작동할 수 있는 기능 및 성능이 요구된다[1,2].

AA- MM 신형고폭탄 KDDD, BB- MM 신형고폭탄 KEEE에 적용되는 충격신관 KFFF, 충격신관 KGGG는 C1 지연관에 의해 지연 후 장전된다. C1 지연관은 신관의 안전장치로 발사 전 신관의 안전 상태를 유지하며, 발사 후 00~00초간 장전을 지연하여 포구 앞 안전거리를 확보한다(해당 내용 및 이후의 내용 중 모델명 및 국방규격 관련 내용은 보안상 비공개).

최근 6년간 발생한 AA-/BB- MM 박격포탄의 탄약오작용의 약 92 %가 탄착점 불발이며 그 원인은 C1 지연관의 연소중단으로 분석되었다. 탄약오작용이 발생하면 해당 로트의 탄약은 임시불출증지 상태가 된다. 현행 탄약오작용 처리 프로세스는 탄약오작용 발생부대 현장방문, 시료탄 회수 및 분석, 후속조치의 과정으로 진행된다. 시료탄 회수 및 분석은 다시 시료 불출을 위한 행정처리, 불출된 탄약의 회수 및 분석의 순서로 진행된다. 이 과정에서 기술검토, 재현시험 등이 수행되며 탄약오작용 처리기간의 대부분을 차지하는데, 이때 인적/물적 가용 자원의 한계 등의 사유로 처리가 늦어지는 만큼 임시불출증지 상태가 지속된다.

2020년 KDDD와 KFFF의 사격훈련계획 대비 실적 이행률은 각각 38.1 %, 29.6 %로 탄약오작용에 따른 사격중단으로 사격훈련실적이 저조한 상황이다. 반복되는 탄약오작용으로 인해 사격훈련이 계획대로 되지 못하는 경우 군 전력 유지 및 강화에 어려움이 발생하며, 후속조치를 위한 불필요한 행정 및 비용 등 부가적인 문제가 수반된다[3].

앞서 언급한 문제 해결을 위해 본 연구에서는 AA-/BB-MM 박격포탄의 주요 탄약오작용 원인인 C1지연관을 개선하여 탄약오작용을 예방하고자 한다. 탄약오작용 원인 분석 내용 및 화공품 노화에 관한 기존의 연구내용을 참고하여 C1 지연관 내부 형상, 내부화공품 등 변경사항을 도출하여 개선품(C1A1 지연관)을 제작하였으며 기존 C1 지연관과 비교를 통해 성능을 확인하였다. 탄약오작용 발생의 주요원인인 C1 지연관의 성능개선을 통해 반복 발생하는 탄약오작용을 예방하여 탄약의 신뢰성을 확

보하고 탄약 운영·유지비용 절감의 효과를 기대한다.

## 2. C1 지연관 및 원인분석

### 2.1 C1 지연관

C1 지연관은 KFFF/KGGG 신관에 적용되는 안전장치로 사격 전 우발사고(낙하, 충격 등) 발생 시 신관이 장전되지 않도록 하며, 사격 후 일정시간 지연 후 신관이 장전되도록 하여 포구 앞 안전거리를 확보하며 구조는 Fig. 1과 같다.

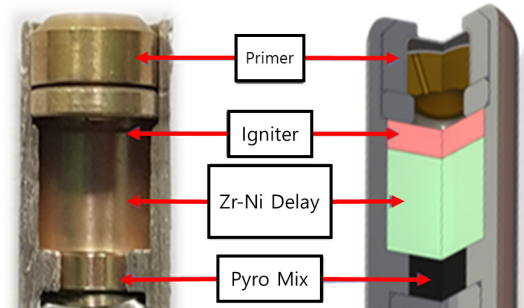


Fig. 1. The structure of C1 delay

### 2.2 점화제

점화제는 뇌관의 에너지를 증폭하여 지연제를 점화한다. C1 지연관에서 사용하는 점화제의 주요 에너지원은 Zr이며 그 밖에 Table 1과 같이 다양한 성분이 에너지원으로 사용되고 있다[4].

Table 1. Fuels List of Igniter

Metals	Zirconium(Zr), aluminum(Al), magnesium(Mg), titanium(Ti), tungsten(W) etc.
Non-metals	boron(B), carbon(C), silicon(Si), sulfur(S), phosphorus(P) etc.

### 2.3 지연제

지연제는 두 개의 연속적인 폭발 사이에 시간간격이 필요한 경우 사용되며, Pyrotechnic Delay Device를 통해 목적에 따라 몇 밀리세컨드(Millisecond)에서 몇 초(Second)까지 다양한 범위로 사용된다[4]. 지연제는 용도에 따라 Tungsten, Manganese, Zirconium-Nickel 등 Table 2와 같이 용도에 따라 다양하게 구성된다[5].

반응속도(Reaction Rate)가 뛰어난 Al, Zr은 주로 폭약 등 단기간에 많은 에너지를 필요로 하는 경우 사용되며, Ti, Ni, W처럼 상대적으로 반응속도가 느린 물질은 오랫동안 반응해야 하는 가스 생성기나 추진제, 수류탄 지연제로 사용된다[4,6].

Table 2. List of military delays with chemical components

Composition	Components
hand-held signal delay	W, BaCrO <sub>4</sub> , KClO <sub>4</sub> , VAAR
tungsten delay	W, BaCrO <sub>4</sub> , KClO <sub>4</sub> , diatomaceous earth
manganese delay	Mn, BaCrO <sub>4</sub> , PbCrO <sub>4</sub>
zirconium-nickel delay	Zr-Ni alloy BaCrO <sub>4</sub> , KClO <sub>4</sub>
T-10 delay	B(amorphous), BaCrO <sub>4</sub>

## 2.4 C1 지연관 연소중단 원인분석

### 2.4.1 자연노화에 의한 점화제 기능저하

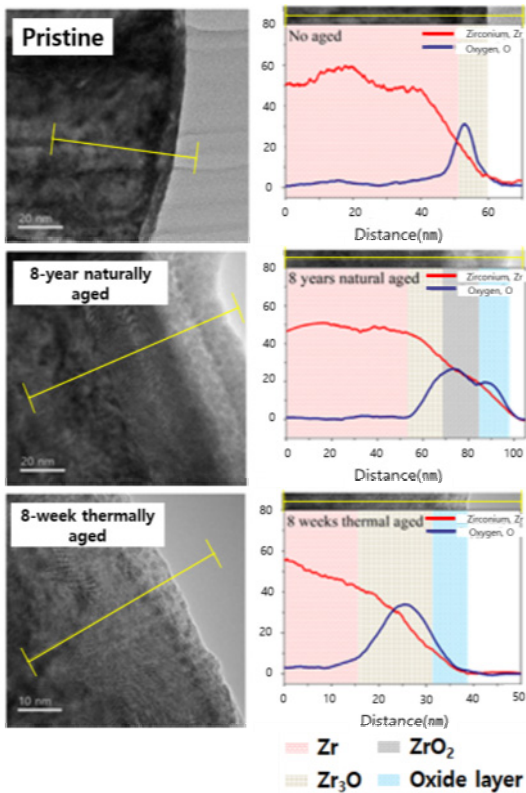


Fig. 2. Microscopic analysis of Igniter

점화제의 주요성분은 Zr과 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이다. 점화제 연소중단의 주요 원인은 Zr이 자연 노화에 의해 주변 산소와 반응하는 산화반응을 일으켜 ZrO<sub>2</sub>막이 형성 되고 이러한 형태의 표면층은 산화제와 Zr의 반응을 어렵게 한다고 분석하였다[6]. 또한 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 산화되면서 FeO와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 생성되며 이는 발열량 감소로 이어져 연소중단을 야기할 수 있다고 분석하였다[7].

Fig. 2는 탄약오작용 원인분석을 위해 점화제를 현미경 분석한 내용으로 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 탄약오작용이 발생한 8년 자연노화 시료는 Zr에서 Zr<sub>3</sub>O로 Zr<sub>3</sub>O에서 ZrO<sub>2</sub> 순서로 노화가 진행되어 표면층이 형성되어 있으며, 비교를 위해 제작한 8주 가속노화 시료의 경우 신품과 동일하게 Zr과 Zr<sub>3</sub>O 층으로 구성되나 신품에 비해 산화층이 두껍게 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

Table 3. The microscopic analysis results of Igniter

Sample Type	Layer	Depth	Oxygen diffusion
Pristine	Alpha-Zirconium, Zr <sub>3</sub> O	8.8 mm	8.8 mm
	Monoclinic Zirconia, m-ZrO <sub>2</sub>	16.4 mm	
8-year naturally aged	Alpha-Zirconium, Zr <sub>3</sub> O	17.2 mm	47.8 mm
	Oxygen	14.2 mm	
8-week thermally aged	Alpha-Zirconium, Zr <sub>3</sub> O	16.1 mm	23.4 mm
	Oxygen	7.3 mm	

### 2.4.2 자연노화에 의한 지연제 기능저하

지연제는 Zr-Ni과 BaCrO<sub>4</sub>, KClO<sub>4</sub>으로 구성되어 있다. 기존 연구에서 지연제의 연소중단은 Zr, Ni의 산화에 의해 전체적인 발열량 감소해 연소중단이 발생할 수 있음을 분석하였다[6,8].

탄약오작용이 발생한 지연관의 지연제 DSC분석 결과를 Table 4에 나타내었다. Pristine 시료에 비해 HHH, III ASP에서 8년간 보관돼 노화된 시료는 신품대비 발열량은 감소하고 초기반응온도는 높아져 지연제의 성능이 저하되었음을 확인하였다.

Table 4. The DSC analysis results of Zr-Ni delay

Sample Type	Heat of reaction (J/g)	Initiation reaction temperature(°C)	Storage (year)
Pristine	729.47	325	0
HHH ASP	670.25	335.63	8
III ASP	584.87	345.45	8

### 2.4.3 수분에 의한 기능저하

자연노화에 더해 수분은 노화를 가속시키는 것으로 알려져 있다. 점화제는 열에 의한 노화보다 수분에 의한 노화로 Zr의 반응성이 현저히 낮아지며, 지연제는 수분에 의해 물리적인 형태의 노화가 발생해 발열량이 저하된다고 분석하였으며[5], 또한 제조 중 내부에 잔존하는 수분과 장기저장 중 침투한 외부 습기가 원인이 되어 금속연료를 산화시키고 노화를 촉진하여 지연관의 절심을 야기할 수 있다고 분석하였다[7].

## 2.5 C1 지연관 개선사항

탄약오작용 원인분석 결과 점화제, 점화제와 지연제의 경계, 지연제에서 연소중단이 관찰되었으며, 그 원인으로는 자연노화, 수분 등에 의해 발생 되는 것을 확인하였다[5,7-10].

탄약오작용 원인분석 결과와 관련 연구내용 등을 참고하여 개선사항을 도출하였고 그 내용을 Table 5에 정리하였다.

### 2.5.1 점화제 개선사항

점화제는 Zr 함량을 증가시켜 발열량 증가를 통한 연소성을 향상을 기대하였고, 수분을 함유하여 점화제의 산화를 유발하는 것으로 알려진 VAAR 바인더를 제거하였다[11].

### 2.5.2 지연제 개선사항

지연제는 Zr을 W으로 변경해 발열량 증가를 통한 연소성 향상을 기대하였다. Zr과 W의 특성은 Table 6과 같다[4]. 반응열은 Zr(2.9 kcal/g)이 W(1.1 kcal/g)에 비해 높지만 밀도는 W(19.30 g/cm<sup>3</sup>)이 Zr(6.51 g/cm<sup>3</sup>)보다 높다. 그래서 같은 부피에 충전을 한다면 W이 Zr대비 높은 연소열을 가지기 때문에 연소중단을 예방할 수 있을 것으로 기대하였다. 노화에 따른 제품의 성능비교를 위해 C1 지연관 (F33B 점화제, Zr-Ni 지연제)과 C1A1 지연관 2종(A-1A와 BKNO<sub>3</sub> 점화제, W 지연제)을 노화조건 MIL-STD-311의 온-습도시험(-62℃~71℃, 95% RH)으로 최대 12주 동안 2주 간격으로 시료를 꺼내어 성능을 비교하였다.

### 2.5.3 방수성능 개선사항

화공품 이외에 변경사항으로는 방수성능 증가를 위해 지연관 결합부위(뇌관, 장진핀)의 방수제를 변경하였다.

방수제의 성능검증은 Fig. 3과 같이 지연관 형상으로 제작된 시료에 지연제를 넣고 각각 방수제로 입구를 마감한 뒤 고온다습(71℃, 95% RH) 환경에 4주간 노출 후 수분함량을 분석하여 방수제의 성능을 확인하였다. 변경된 방수제의 성능 확인을 위해 C1 지연관의 국방규격의 방수시험인 수심 00.0 cm 이상의 수통에 시료를 00시간 침수 후 기폭 하여 성능을 확인하였다. 이후 가혹 조건에서 성능 확인을 위해 물이 담긴 가압 챔버에 압력을 가한 상태에서 침수 후 기폭하여 성능을 확인하였다.

Table 5. Major Improvement points

Component	C1 Delay	C1A1 Delay
Ignition System	F33B (Zr 00%)	A-1A (Zr 00%)
	VAAR Binder	None
Delay System	Zr-Ni(Slow/Fast)	W
	Double Delay	Single Delay
Waterproofer	AT-100 Resin / Lacquer	Resin No. 8 / Hernon 40995
Body	Stair shape	U shape

Table 6. Some common fuels and their properties

Fuel	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Heat of combustion (kcal/g)
Aluminum(Al)	2.70	7.4
Magnesium(Mg)	1.74	5.9
Titanium(Ti)	4.51	4.7
Tungsten(W)	19.30	1.1
Zinc(Zn)	7.14	1.3
Zirconium(Zr)	6.51	2.9
Boron(B)	2.35	14.0
Carbon(C)	2.26	7.8
Silicon(Si)	2.33	7.4



Fig. 3. The moisture absorption test sample

## 3. 시험평가 결과

### 3.1 C1 지연관 노화 시험결과

MIL-STD-311의 온-습도시험에 따른 시험결과 개선

전/후 제품 모두 불발률 3 % 이하로 성능에 유의미한 차이가 없었다. 추가 분석을 위해 동일 시료로 노화 조건을 변경하여 고온다습(71 °C, 95 % RH) 환경에서 18주간 2주 간격으로 제품을 기폭하여 Fig. 4와 같은 결과를 얻었다. 제품별 비작동률은 C1 지연관이 최대 90 %로 가장 높고 BKNO<sub>3</sub>, A-1A를 적용한 C1A1 지연관은 순서대로 최대 82.5 %, 7.5 %의 불발률을 확인하였다. 결과에 따라 A-1A 점화제가 적용된 C1A1 지연관의 불발률이 가장 낮아 A-1A 점화제를 적용하는 것이 타당하다고 판단하였다.

### 3.2 방수제 성능 시험결과

방수제 성능 시험결과는 Table 7과 같다. 대체품 모두 C1 지연관에 적용중인 Lacquer와 AT-100 Resin 대비 개선효과가 있으나, 작업 현장의 재고관리 용이성 등 작업의 효율성을 고려하여 장진핀 결합부는 HERNON 40995를 뇌관 결합부는 Resin No. 8 적용이 적정한 것으로 판단하였다.

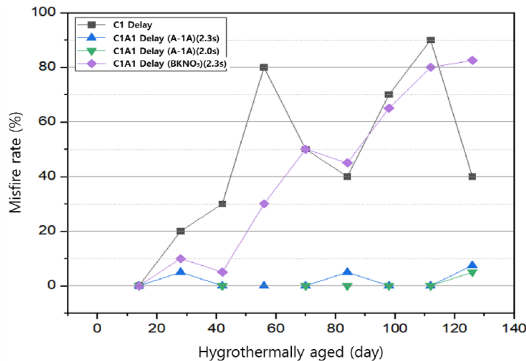


Fig. 4. Agings test results for C1, C1A1 Delay

Table 7. The results of moisture absorption test

Waterproofing Type	Moisture content(%)
Before Test	0.01
None	0.03
Lacquer	0.03
AT-100 Resin	0.04
K414	0.01
HERNON 40995	0.01
HERNON 59621	0.01
Resin No. 8	0.01

Table 8. The results of water pressure chamber test

Pressure (kgf)	Time (hr)	Sample (EA)	Inactive(%)	
			C1 Delay	C1A1 Delay
5.5	4	10	0.0	0
3.5	24	10	30.0	0
5.0	6	10	10.0	0
5.0	6	30	3.3	0
5.0	6	60	6.7	0

국방규격에 따른 방수시험은 C1, C1A1 지연관을 각각 10개씩 시험하였고 두 제품 각 10발 모두 정상적으로 기폭해 시료 간 유의미한 차이는 없었다. 침수 가압 시험의 조건 및 시험결과는 Table 8과 같다. 개선 전 제품의 불발률은 최대 30 %, 개선 후 제품은 0 %로 모든 압력, 시간 조건에서 개선품이 양산품 대비 동등 이상의 성능을 확인하여 방수제 변경에 따른 성능개선의 효과를 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 AA-/BB- MM 박격포탄 탄약오작용 원인으로 분석된 C1 지연관의 성능개선 방안에 관한 연구를 진행하였다. 지연관 화공품, 방수제를 변경하였고 노화시험을 통해 C1A1 지연관의 성능 향상 정도를 확인하였다. 지연제는 Zr-Ni 이중 지연제를 W 단일 지연제로 변경하였다. 점화제는 BKNO<sub>3</sub>, A-1A 두 제품을 검토하였다. 지연제는 W, 점화제는 A-1A 점화제를 적용하였을 때 불발률은 7.5 %로 기존 C1 지연관의 불발률 90 % 대비 개선 효과를 확인하였다. 화공품 변경에 더해 방수성능 향상을 위해 장진핀, 뇌관 결합 부위에 사용되는 방수제를 변경하였다. 국방규격에 따른 방수시험 및 침수 가압 시험을 통해 방수제의 성능을 비교하였고, 모든 시험조건에서 변경된 방수제의 방수성능이 기존 방수제보다 뛰어난 것을 확인하였다.

본 연구에서는 앞서 설명한 개선점과 더불어 다음과 같은 한계점이 있다.

첫째 점화제, 지연제 기능저하에 대한 각 원인별 발생 경향에 대한 분석내용이다. 해당 신관의 탄약오작용이 처음 발생하였을 때 C1 지연관을 분해해 점화제, 지연제별 탄약오작용 발생 원인을 분석하였다. 그러나 이후에는 C1 지연관을 단순히 기폭해 불발 발생 여부를 통해 탄약오작용이 C1 지연관에 의해 발생하였음을 확인하

여 각 원인별 발생 우선순위 및 비율에 대한 분석을 수행하지 않았다. 이후 발생하는 탄약오작동에 대해서는 C1 지연관 불발 여부 확인에서 그치는 것이 아닌 세부내용을 분석하여 기능저하가 발생하는 원인별 발생비율, 경향 등에 대한 연구가 수행될 필요가 있다.

둘째 해당 성능검증은 부품단계에서의 시험이라는 점이다. 앞서 확인한 내용을 신관에 적용하기 위해서는 C1 지연관, C1A1 지연관이 적용된 신관을 실제로 사격하여 불발률 비교를 통한 검증이 필요하다. 실제 사격이 어렵다면 탄체와 동일한 형상 및 무게로 더미탄을 만들고 이 더미탄을 실제 사격 조건과 동일한 공압으로 발사하는 모의시험을 대안으로 고려해 볼 수 있다. 추후 관련 내용을 정리하여 실제사격 또는 모의시험을 통해 성능개선 여부를 확인해 실제 신관에 적용할 수 있도록 관련 연구를 수행할 예정이다.

## References

- [1] D. N. Lee, K. S. Yoon. "A Study on the Estimate of Shelf Life for Fuze MTSQ KM577A1 from ASRP Data", *Journal of Applied Reliability*, Vol.18, No.1, pp.56-65, Mar. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.03.18.1.56>
- [2] Y. S. Jeong, "Development Direction of Artillery Ammunition Fuze", *Defense and Technology*, No.238, pp.80-87, Dec. 1998.
- [3] B. C. Song, et al., Analysis by committee for fiscal year 2020, Report on final accounts, National Assembly Budget Office, Korea, pp.282-285.
- [4] J. P. Agrawal, High Energy Materials: Propellants, Explosives and Pyrotechnics. p.464, John Wiley & Sons, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527628803>
- [5] Poret Jay C, et al., Environmentally Benign Energetic Time Delay Compositions: Alternatives for the U.S. Army Hand-Held Signal, Conference Paper, Pyrotechnics Technology and Prototyping Division, USA, pp.305-314.
- [6] B. H. Han, J. H. Ryu, J. H. Yang, J. Y. Oh, K. Gnanaprakash, J. I. Yoh, "Aging of Solid Fuels Composed of Zr and ZrNi Part 1: Thermal/Chemical/Spectroscopic Analysis", *Journal of Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.24, No.2, pp.1-13, Apr. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.6108/KSPE.2020.24.2.001>
- [7] B. C. Park, I. H. Chang, S. T. Kim, T. S. Hwang, S. H. Lee, "A study on change in thermal properties and chemical structure of Zr-Ni delay system by aging", *Analytical Science & Technology*, Vol.22, No.4, pp.285-292, Sept. 2009.

- [8] B. H. Han, Y. S. Park, J. I. Yoh, "Chemical and Physical Degradation by the Aging of Zr-based Energetic Material", *Proceedings of the Korean Society of Propulsion Engineers Conference*, The Korean Society of Propulsion Engineers, Korea, pp.631-634, Sept. 2019.
- [9] B. H. Han, Y. S. Park, K. Gnanaprakash, J. Y. Yoo, J. I. Yoh, "Aging of Solid Fuels Composed of Zr and ZrNi Part 2: Kinetics Extraction for Full Simulation", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.24, No.2, pp.14-27, Apr. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.6108/KSPE.2020.24.2.014>
- [10] H. S. Kim, H. Y. Lim, Y. H. Kang, D. H. Kim, G. W. Lee, "A Study on the Change of Burning Rate of Zirconium-Nickel Delay Elements Depending on the Ambient Temperature", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.7, pp.82-89, Jul. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.7.82>
- [11] F. Taylor, L. R. Lopez, P. L. Farnell, "Study of the Storage Stability of a Zr/Ni Delay System Ampoule Microcalorimetry", *Proceedings of the Fifteenth International Pyrotechnics Seminar*, IPS, Colorado, USA, pp.899-916, Jul 1990.

안 대 희(Dae-Hee An)

[정회원]



- 2019년 2월 : 창원대학교 산업시스템공학과 (공학사)
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질, 신뢰성

이 재 관(Jae-Gwan Lee)

[정회원]



- 2015년 8월 : 경북대학교 화학공학과 (공학사)
- 2016년 1월 ~ 2019년 12월 : 한화솔루션 첨단소재 개발
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

무기체계, 재료공학, 화학공학