

로켓추진포탄용 지연관충전조립체 성능개선에 관한 연구

김영철*

*국방기술품질원

e-mail:baraem91@dtq.re.kr

Study on Performance Improvement of Delay Components for Rocket Assist Projectile Ammunition

Young Chul Kim*

*Defense Agency for Technology and Quality

요 약

○○○체계 로켓추진고폭탄 최초양산품에 대한 정부수락시험 수행 간에 규격불일치(지연관충전조립체 미점화) 사항이 발생하였다. 관련 문헌검토 통하여 미점화 원인을 점화영역(점화계열)의 불량, 지연제 연소에너지 부족으로 가정하고, 블록화 시험을 통해 결함의 주요 원인을 지연제 연소 중 연소제 에너지 부족에 따른 점화단락으로 추정하였다. 연소제 에너지 성능을 개선하기 위해서는 금속연료(텅스텐, W) 및 점화제의 약량 변경이 요구되었고, 이에 따른 이론적 적정(최적) 필요량을 계산하고, 관련 시험을 수행하였다. 금속연료(W) 함량은 지연관 몸체 형상에 따른 필요한 연소속도를 산출하고 이에 따른 연소속도-텅스텐함량 관계식을 이용하여 결정하였다. 점화제 약량은 규격에서 요구되는 지연시간에 근접하는 몇가지 시험시료를 선정하고 지상모의시험(회전정지시험)을 통해 최적화된 함량을 산출하였다. 그 결과를 입증시험(탄약 발사시험)을 통해 미점화 현상이 개선됨을 확인하였다.

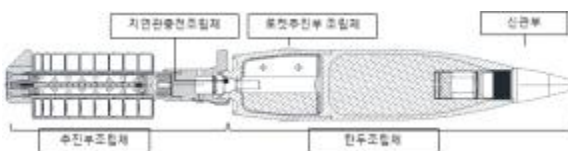
1. 서론

로켓추진포탄(RAP : Rocket Assist Projectile, 이하 RAP탄)이란 일반 화포에 사용되는 포탄 내부에 부스터 역할의 소형 로켓기관을 내장시켜 사거리를 늘린 탄약이다. 즉 탄체, 신관, 장약 등은 일반포탄과 동일하나 격발 후 일정 시간이 지나면 후미의 로켓 구성부가 점화하여 2차 추진을 내기 때문에 일반 탄약보다 사거리가 증대된다. 최근 우리군은 RAP 성능을 박격포 체계에 적용하여 사거리가 현저히 향상된 자주박격포용 RAP탄을 개발하였다. [그림 1]은 박격포체계에 적용된 RAP탄의 형상으로 탄약은 박격포 공이의 격침에 따라 탄약 후미의 추진부조립체가 점화되고 이때 발생한 포신내 화염이 지연관충전조립체를 점화하여 일정시간이 지나 후 로켓추진부조립체를 다시 연소시켜 탄두 조립체를 비행시킨다. 비행한 신관이 장전되어 목표물에 도착 후 탄두부가 작동하는

원리이다.

○○○체계 로켓추진고폭탄(RAP탄) 최초양산품에 대한 정부수락시험 수행 간에 규격 불일치(지연관충전조립체 미점화)가 발생하였다. 지연관을 포함하는 연소계열의 미점화 현상은 탄약이 장기저장에 따라 구성품이 자연노화 되고, 외부 습기가 원인이 되어 금속 연료를 산화시켜 노화를 촉진하여 미점화 현상을 발생 된다고는 알려져 있지만[1,2] 구성품의 상태, 습기상태가 양호한 제품 초기상태의 미점화 현상에 대한 원인분석은 다른 분석방법이 요구되었다.

일반적으로 연소현상에 대한 이론적 분석은 물리적, 화학적 프로세스가 관계되므로 복잡하다고 알려져 있으며, 특히 지연제와 같은 화공품(pyrotechnics) 연소현상은 화학반응이 물성에(반응표면, 결정, 표면산화도) 광범위하게 적용되므로 분석이 더욱 어렵다고 알려져 있다.[3] 따라서 연구자들은 사례분석(case study) 또는 시행착오(trial and error)를 통하여 문제를 분석하고 있다.[3] 따라서 본 연구에서는 결함분석을 통한 연소원리(이론) 검증보다는 사례분석을(결함해소) 통한 제품 성능개선에 중점을 두고 연구를 추진하였다.

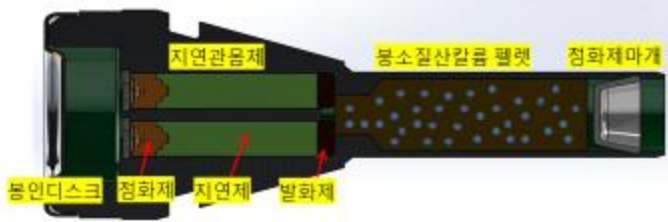


[그림 1] 박격포용 로켓추진포탄 형상

2. 결함원인분석

2.1 지연관충전조립체

본 연구에 사용된 지연관충전조립체의 구조는 [그림 2]와 같으며 주요 구성품으로는 점화제, 지연제, 발화제 등이 있다.



[그림 2] 지연관충전조립체 형상 및 구조

지연점화장치는 추진부의 추진장약의 압력에 의해 불연디스크를 통과한 화염이 지연점화장치내 점화제를 점화시키고, 그로 인해 지연제가 일정 시간 연소 후 발화제, 붕소질산칼륨 펠렛이 점화됨으로써 로켓추진체가 연소되는 작동메커니즘을 가진다.

2.2 점화제

점화제는 뇌관의 에너지를 증폭하여 지연제를 점화하는 기능을 하며 본 연구에 사용된 점화제의 주요 에너지원은 Zirconium(Zr)이며 이외에도 aluminum(Al), magnesium(Mg), boron(B), carbon(C), silicon(Si), sulfur(S), phosphorus(P), titanium(Ti), tungsten(W) 등의 다양한 성분이 에너지원으로 사용되고 있다[4].

2.3 지연제

지연제는 두 개의 연속적인 폭발 사이에 시간간격이 필요한 경우 사용되며, Pyrotechnic Delay Device를 통해 목적에 따라 몇 밀리초(Second)에서 몇 초(Second)까지 다양한 범위로 사용된다[4]. 지연제는 Tungsten, Manganese, Zirconium-Nickel 등이 용도에 따라 다양하게 구성된다[5]. Al, Zr은 주로 폭약 등은 반응속도(Reaction Rate)가 뛰어나 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]. 본 연구에 사용된 지연제의 주요 에너지원은 텅스텐(W)이며 연소속도가 상대적으로 느린 TYPE II 계열의 연료이다.

2.4 결함원인 추정

2.4.1. 결함원인 가정

본 연구에 사용된 지연관은 비교적 느린 연소속도를 갖는 텅스텐(W) 혼합물(slow-propagation tungsten delay mixtures)이다. 이 혼합물을 사용한 제품은 점화영역 결함(a failures on the ignition zone, Erratic burning) 또는 연소 중 단락(a

propagation failure, quenching)의 고장모드를 가진다고 알려져 있다.[7,8] 이에 따르면 본 제품의 결함의 원인은 ① 탄약이 격발된 후 초기에 화염이 지연관 계열로 충분히 전달되지 못하는 점화계열의 불량이거나 ② 점화계열로 열전달은 충분하지만 지연관몸체내에 연소시 연소에너지 부족으로 인한 점화단락으로 발생할 수 있다.

2.4.2. 블록화 시험(결함원인 분석시험)

상기 두 결함원인에 대한 검증을 위해 블록화 시험을 수행하였다. 즉 점화계열(①)의 결함유무를 검증하기 위해 신뢰성이 검증된 연소계열(블록화) 사용하였다. [표 1]은 점화계열 결함 원인분석 시험결과이다.

[표 1] 결함 원인분석 시험

시험목적	시험조건	수량	시험결과 (발사시험)
점화계열 결함확인	텅스텐 함량을 증대(142%)시킨 지연제(W 00%)를 적용, 점화제 약량은 기존 약량 그대로 적용	5발	정상 작동

시험결과에 따라 미점화원인은 점화계열(①점화영역)이 아닌 지연관내 연소에너지 부족에 따른 점화단락으로 추정되었다.

3. 성능개선

지연관내 단락(Quenching) 현상은 지연제나 점화제 연소시 발생하는 열이 외부로 손실되는 열보다 적을 경우 발생한다고 알려져 있으며 [8], 이에 대한 개선방안으로 구성품 함량(약량)변경을 통한 연소에너지 증대를 검토하였다.

3.1 지연제(텅스텐) 함량 결정

[표 2]는 지연관충전조립체에 사용되는 지연제의 조성을 나타내었다. 지연제의 연소에너지를 증대한다는 것은 지연제내 텅스텐(W)함량 증가와 직결되므로 본 연구에선는 지연제내 텅스텐의 최적함량을 결정하고자 하였다.

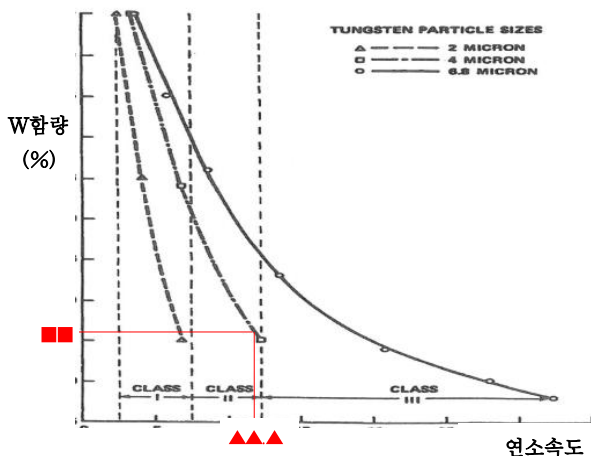
[표 2] 지연제 조성

성분	역할	규격
텅스텐(W)	연료	MIL-T-48140, TYPE II
크롬산바륨 (BaCrO ₄)	산화제	MIL-B-550A, GRADE A
과염소산칼륨 (KClO ₄)	산화제	MIL-P-217, GRADE A
규조토	결합제	A-A-59239
아세테이트 수지	결합제	MIL-V-50433

지연관내 텅스텐 함량은 연소속도와 관계가 있다고 알려져 있

다.[3, 9] 따라서 지연관충전조립체의 형상에 근거한 필요연소 속도를 이론적으로 계산한 다음, 이에 따른 적정 텅스텐 함량을 산출하였다 [그림 3]은 필요 연소속도 계산과 그에 따른 적정 함량을 구하는 방법이다. 그 결과 기존보다 약 9% 함량이 증가된 텅스텐 함량을 산출할 수 있었다.

- ㉔ 지연관몸체 충전부 깊이 : 00.00mm
- ㉕ 발화제 충전깊이 : 약 00mm
- ㉖ 지연제 충전깊이 : 0.0±0.00mm
- ㉗ 충전편치 높이 : 0.00-0.00mm
- ㉘ 크립핑 함몰높이 : 0.0mm
- 지연제 충전깊이 : ㉔ - (㉕+㉖+㉗+㉘) = 00.00mm = 0.000inch
- 연소속도 규격 : 12.0±1.0 sec
- 요구되는 연소속도 : 12sec / 0.000inch = ▲▲.▲ sec/inch



[그림 3] 지연관몸체 연소속도 계산 및 텅스텐 함량결정

3.2 점화제 약량

점화제 약량은 국방규격에서 요구되는 제품의 지연시간 (12±1.0초, 상온)에 근접하는 지연제조성을 몇가지 선정하여 지상모사시험을 통해 발사시험용 조성을 최종 선정(최적화시험)하였다. [표 3]는 점화제 약량결정 시험결과다. 시험결과 기존보다 67% 증가된 점화제 약량이 선택되었다

[표 3] 점화제 약량결정 시험(지상모의시험, 회전정지시험)

W 함량 (고정)	점화제 약량	수량	지연시간 결과	
			(규격 12±1.0)	표준편차
■■%	기존	3발	12.85초	0.46초
■■%	50% 증가	5발	12.41초	0.39초
■■%	67% 증가	5발	12.33초	0.39초

3.3. 입증시험

개선된 지연관충전조립체의 성능을 확인하고자 [표 4]와 같은 조건으로 입증시험을 수행하였다. 그 결과 개선된

지연관충전조립체(텅스텐 증대 및 점화제 약량 증대 적용)은 상온/고온/저온(규격요구조건)에서 각각 정상작동(미점화개선)됨을 확인하였다.

[표 4] 입증시험 조건

구 분	시료구분	수량
탄두부	- 신관 : 모의신관 - 탄체 : 석고충전 - 로켓추진제 : 활성	15발 (상/고/저온 각 5발씩)
추진부조립체	- 사출장약추진제 : 적용 - 추진장약 : 8호장약	
지연관충전 조립체	- 지연제(개선품), 점화제(개선품) - 지연관몸체 : 신규 개선형 적용 - 봉인디스크 : Al-Tape형 적용	

4. 결론

본 연구에서는 로켓추진고폭탄 지연관충전조립체에 대한 정부수락시험 수행 간에 발생한 규격불일치 사항에 대한 원인분석과 그 개선방안을 검토하였다. 관련 문헌검토 통하여 규격불일치(미점화) 원인을 점화영역(점화계열)의 불량, 지연제 연소에너지 부족으로 가정하고, 블록화 시험을 통해 결함의 주요 원인을 지연제 연소중 연소제 에너지 부족에 따른 지연제 단락으로 추정하였다. 연소제 에너지 성능을 개선하기 위해 금속연료(텅스텐, W) 및 점화제의 적정함량(약량)을 이론적 검토와 관련 시험을 통해 산출하고, 그 결과를 입증시험(탄약 발사시험)을 통해 미점화 현상이 개선됨을 확인하였다. 본 연구의 결과 및 기법이 유사 탄약오작용 사례의 원인분석 및 지연관시스템 개발업무에 참고가 되기를 기대한다.

5. 참고문헌

- [1] 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.
- [2] Dae-Hee An, Jae-Gwan Lee, "A Performance Improvement of C1 Delay for AA-/BB- MM Mortar Shells"stem by aging", Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol.24, No.8, pp.329-334, Sept. 2023.
- [3] Hidesugu NAKMURA et al., "The Combustion Mechanism of Tungsten-potassium Perchlorate-barium Chromate Delay Power", Korea Society for Explosives and Blasting Engineering Vol184, No.1, pp.53-58, Mar. 2000.
- [4] J. P. Agrawal, High Energy Materials : Propellants,

- Explosives and Pyrotechnics. p.464, John Wiley & Sons, 2010
- [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.
- [7] Elie Gant, "Investigation of slow propagation tungsten delay Mixtures", Propellant, Explosives, Pyrotechnics22, 207-211 (1997)
- [8] Hobin S.Lee, Chris Bulian and Sara Claxton "Numerical Investigation of Reaction Front Propagation in Pressed-column Time-Delay Device", 9th CAD.PAD Technical Exchange Workshop, May 22-24 (2012)
- [9] MIL-D-82710, "DELAY COMPOSITION, TUNGSTEN-FLOIOCARBON COPOLYMER" Dec. 5, 1984