

고체 추진기관 둔감화를 위한 완화장치의 연구 동향

류병태* · 윤기은* · 정진석*

The Trend of Mitigation Devices for Insensitive Munition of Solid Rocket Motor

Byung-Tae Ryu* · Ki-Eun Yoon* · Jin-Seok Jung*

ABSTRACT

Insensitive Munitions(IM) of solid propulsion system are defined as munitions that fulfil the performance and operational requirements, but will minimize the violence of a reaction when subjected to inadvertant stimuli. It should be clear that the reaction violence of rocket motor subjected to thermal stimuli can be mitigated by reducing confinement prior to propellant reaction. Devices designed to do this by venting the rocket motor case are commonly referred to as mitigation devices. The objective of this paper is to introduce the technical information related to the pyrotechnic mitigation devices for insensitive munition of solid rocket motor.

초 록

고체 추진기관 둔감화는 고유 성능의 변화 없이 화재, 충격 등에 의한 우발적 사고시 반응의 정도를 최소화하는 기술로 정의된다. 열에 노출된 추진제가 점화되기 전에 연소관에 배기구가 형성되어, 추진기관 반응의 위험도를 낮추는 방법은 추진기관 둔감화의 핵심 기술 중 하나로, 이를 완화장치라 부른다. 본 논문은 완화장치와 관련된 최근의 연구 동향을 소개하였다.

Key Words : Insensitive Munition(둔감 무기), Mitigation Device(완화장치), Slow Cook-Off(완속 가열), Fast Cook-Off(급속 가열)

1. 서 론

고체 추진기관은 운용 중에 화재, 충격 등의 우발적 사고 위험에 항상 노출되어 있다. Fig. 1

과 같이 항공모함 등에서 화재가 발생하면 미사일, 비행기, 로켓, 함포 등으로 화염이 전파되기 때문에 매우 위험하다. 이런 화재 및 피격 등의 사고로부터 인적, 물적 자원을 보호하기 위하여 둔감무기(Insensitive Munition, IM)의 개발이 요구되었으며, 무기 체계에 적용하여 효과적으로 시험 평가할 수 있는 기준을 정할 필요성이 제

* 국방과학연구소 기술연구본부 4부
연락처, E-mail : btryu@add.re.kr

기되었다. 이에 따라 1982년에 미 해군에서 DOD-STD-2105를 제정하였으며, 수차례의 변경을 통해 최근에는 MIL-STD-2105C를 기준으로 무기의 둔감 반응 정도를 시험하고 있다[1, 2]. Table 1은 MIL-STD-2105C에서 규정하고 있는 주요 시험 내용이다.

Table 1 Insensitive munitions tests from MIL-STD-2105C

Test	Test parameters	Criteria for passing
Fast cookoff	Fuel(IP-4, 5, 8, JET A-1)	No reaction more severe than burning
Bullet impact	0.50 Caliber 850±60m/s	No reaction more severe than burning
Sympathetic detonation		No propagation detonation
Slow cookoff	3.3F/hr heating or higher	No reaction more severe than burning
Fragment impact	12.7mm mild steel (2530±90m/s)	No reaction more severe than burning
Shaped charge jet	50mm Rockeye type SC donor	No detonation
Spall	81mm precision SC impacting 25mm plate	No sustained burning

고체 추진기관의 우발적 위험 요소는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 크게 탄환이나 파편에 의한 충격과 화재로 구분된다. 일반적으로 추진제는 충격에 민감하게 반응하기 때문에 둔감화용으로는 충격에 잘 견디는 조성을 사용해야 한다. 화재로 인한 추진기관의 반응 위험 등급은 연소관에 영향을 크게 받는다.

추진기관 둔감화를 위하여 Strip laminate 공법으로 제작된 연소관(Fig. 3) 또는 복합재 연소관을 사용하거나, 추진제의 자동점화온도보다 낮은 온도에서 점화시키는 방법 및 완화 장치(Fig. 4)를 장착하는 방법 등이 연구되고 있다.

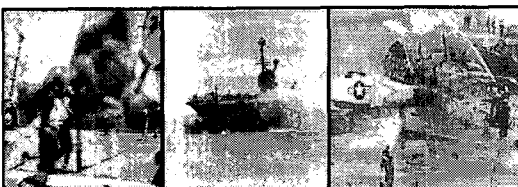


Fig. 1 Catastrophic accidents on the battleship

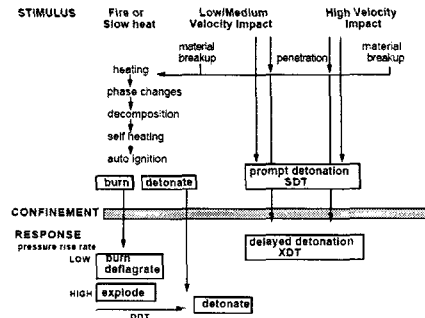


Fig. 2 Simple schematic chart of munition responses to treat stimuli[1]



Fig. 3 Strip laminated case[3]

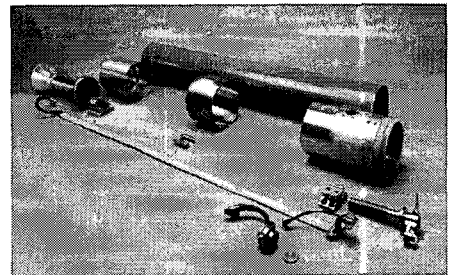


Fig. 4 Examples of IM technology[3]

2. 완화 장치

우발적 열원(Thermal stimuli)에 노출된 추진기관은 추진제가 폭발반응을 일으키기 전에 연소관을 개방시켜 위험도를 완화시킬 수 있다. 이와 같이 외부 열을 능동적으로 감지하여 연소관에 배기구(Vent hole)를 형성하는 장치를 완화장치(Mitigation devices) 또는 완화 시스템(Mitigation system)이라고 부른다[1]. 완화장치에

는 Fig. 5와 같이 온도에 따라 급속도로 팽창되는 비활성 재료를 사용하여, 일정 온도에 도달하면 연소관의 Stress riser groove가 파괴되도록 설계된 구조적 완화장치[1, 4]와 우발 열을 감지하여 자동 점화된 추진제 가스를 배기구로 방출시켜 반응을 최소화하는 파이로테크닉 완화장치가 주로 연구되고 있다. 일반적으로 파이로테크닉 완화 장치는 위험 요소를 감지하는 센서, 착화기 및 연소관 개방장치로 구성된다. 또한 우발 작동을 방지하기 위하여 안전장치를 사용하기도 한다.

Fig 6과 7은 파이로테크닉 완화장치를 나타낸 그림이다. 이 장치는 열에 노출된 추진기관이 폭발되기 전에, 자동 점화되는 화약을 사용한다. 점화된 추진제 연소 가스는 폭발 및 추력 방지를 위해 만든 배기구로 배출된다. 배기구의 소재로는 화약이 자동 점화 온도에 도달하기 전에 이미 내구력을 잃게 되는 복합재가 사용된다. 이러한 완화 장치에 사용되는 화약은 B/BaCrO₄, Thermite, 미량의 안정제를 넣은 DB 추진제, MTV 분말 등으로 알려져 있다[5-7].

Fig 8은 화학 반응으로 점화제를 착화시키는 완화장치를 나타낸 그림이다. Bismuth 합금 재킷에 담긴 Na 또는 Na-Li 펠렛은 주위 온도가 약 98°C에 도달하면 용융된다. 또한, Bismuth 합금 재킷도 98°C 이하에서 용융을 시작하기 때문에 두 물질이 반응하게 된다. 이때 방출되는 열은 재킷 표면의 온도가, Na 펠렛의 경우 약 250°C, Na-Li의 경우 500°C까지 도달하기 때문에 점화제를 착화시키기에 충분한 것으로 알려져 있다[8]. 따라서 추진기관이 불의의 화재에 노출

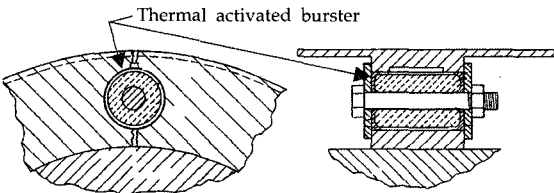


Fig. 5 Inert thermally activated burster (U.S. Navy)

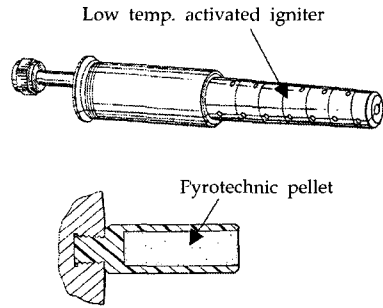


Fig. 6 Protection devices (Rafael)

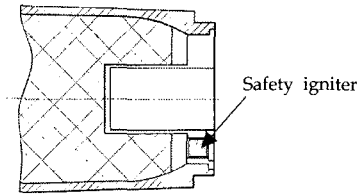


Fig. 7 Safety Igniter for a pyrotechnic munition component(SNPE)

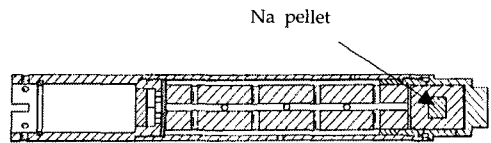


Fig. 8 Fire mitigation device (Royal Ordnance)

되어도 연소관이 폭발하기 전에 추진제가 연소한다.

최근까지 완화장치를 다양하게 사용하지 못하는 이유는 신뢰할 만한 열 센서가 없기 때문이다. 바이메탈이나 형상 기억 합금을 사용한

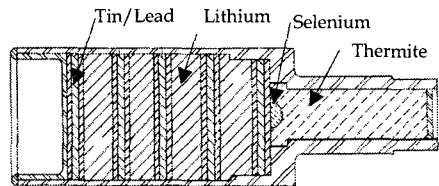


Fig 9 Intermetallic thermal sensor (US Navy)

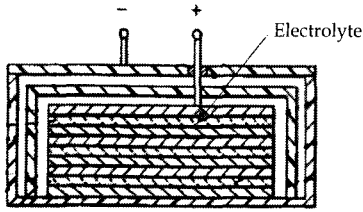


Fig. 10 Thermal battery (U.S. Navy)

기계적 센서는 시험적으로 개발 되었지만 부피가 크고 가격 경쟁력이 없다. 전기로 작동되는 열 센서는 전원 공급의 한시성, 유지보수의 어려움, 우발 작동에 의한 시스템 실패와 전기적 단락(Shortage) 가능성, Aeroheating과 전기펄스에 따른 오작동 방지의 어려움 및 고온에서 전자부품의 신뢰성 부족으로 인해 사용되지 않는다. 그러나 파이로테크닉 센서의 경우, 화학의 특성상 정확성은 떨어지지만 전기 센서가 갖는 단점을 보완할 수 있기 때문에 선호되고 있다.

Fig 9는 우발 열을 감지하는데 사용하는 열센서로 상온에서는 비활성 상태를 유지하며, 충격, 정전기 및 마찰 등에 큰 영향을 받지 않는 장점이 있다. 그림의 열센서는 Lithium과 Tin/Lead 합금이 용융 온도에 도달하면, 반응을 시작하여 열이 생성되고 Selenium 펠렛이 격렬한 반응을 일으킨다. 이러한 일련의 반응으로 발생된 열은 Thermite를 점화시켜, 완화시스템에 필요한 에너지를 공급하게 된다[9].

일반적으로 열전지는 스쿼브 또는 프라이머로 화약을 점화시켜 발생된 열로 고체 전해질이 용융되어 활성화 된다. 열전지에 가장 많이 사용되는 전해질은 약 352°C에서 공융(Eutectic) 되는 LiCl-NaCl 혼합물이다. 그러나 NaCl이 함유된 LiNO₃-NaNO₃ 혼합물은 약 130°C에서 공융 되기 때문에, 별도의 점화 및 단열 기능 없이 외부의 열로 전지를 활성화시킬 수 있다. 따라서 Fig. 10에 나타난 바와 같이 LiNO₃-NaNO₃계 전

해질을 사용한 열전지는 열 센서 또는 우발 열에 노출된 추진기관의 긴급 점화 전원으로 사용할 수 있다[10].

3. 결 론

고체 추진기관 완화장치와 관련된 최근의 연구 동향을 소개하였다. 완화장치는 여러 가지 형태로 연구되고 있지만, 신뢰성 있는 배기 시스템을 도입하여, 고온 노출로 연화(Soften)된 추진제의 과도한 연소 면적으로 인한 폭발 가능성을 배제해야 한다. 고체 추진기관의 둔감성능을 향상시키기 위해서 완화장치 뿐만 아니라 추진제, 연소관 등 모든 구성품을 적절하게 조합하여 최대한의 안전을 확보하는 방향으로 종합적이고, 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

1. G. E. Jensen, Tactical Missile Propulsion, Vol. 170, Progress in Astronautics and Aeronautics.
2. Insensitive Munitions, AGARD-CP-511, 1992.
3. Jim Fleming, "Key Technologies for future missile propulsion systems", 5th World Missile Summit, 2002.
4. M. L. Braithwaitw, US Patent 5,361,703(1994)
5. Moshe Gill, et al, US Patent 5,813,219(1998)
6. Moshe Gill, et al, US Patent 5,786,544(1998)
7. A. Bonnel, et al, US Patent 6,615,737(2003).
8. D. C. Wagstaff, US Patent 5,959,235(1999)
9. Amos J. Diede, et al, US Patent 5,466,537 (1995)
10. Louis Pracchia, et al, US Patent 5,206,454 (1993)