

고체추진기관 둔감화 기술 개발동향

유지창* · 김창기* · 황갑성*

A Development of Insensitive Munitions Technologies for Tactical Rocket Motors

Jichang Yoo* · Changkee Kim* · Kabsung Hwang*

ABSTRACT

U. S. and NATO allies have recently increased their emphasis on reducing the hazards of tactical munitions that contain energetic materials and actively started many investigations on Insensitive munitions(IM) of missile propulsion. All subcomponents of rocket motor should be properly designed and understood to increase IM properties. Insensitive propellant, motor case, ignitor and mitigation devices are important components of IM technologies of rocket motors.

초 록

예기치 않은 외적인 자극에 의한 사고를 막기 위하여 에너지 물질을 함유한 전술 유도무기의 위험성을 감소시킬 필요성이 증대되어, 유도무기 둔감화에 대한 연구가 미국과 나토에서 1980년대 후반부터 활발히 시작되었다. 로켓모터의 둔감성능을 향상시키기 위해서는 추진제를 비롯하여 로켓모터의 모든 부품들이 적절한 조합으로 각각의 특성을 살려 둔감성능 향상에 도움이 되도록 설계되어야 하며 각각의 부품이 어떤 역할을 하는지 이해하여야 한다. 고체 추진기관 둔감화에 필요한 중요한 역할을 하는 구성 요소는 추진제, 연소관, 점화기 및 완화장치 등이 있다.

Key Words: Insensitive Munitions(둔감화), Propellant(추진제), Composite Case(복합재 연소관), Mitigation Device(완화 장치)

1. 서 론

과거의 로켓 개발은 비행 가능 거리, 속도, 저장 수명, 단가 등의 향상에 집중되어 있었다. 그러나 미 해군과 비행기 발사 로켓 등에서는 안

전에 대한 요구를 강화하여 왔으며 그 결과로 1984년 미 해군제독은 1995년까지 해군이 보유한 모든 유도무기를 둔감화 할 것을 지시했다. 이에 따라 U. S. Navy's Insensitive Munitions Advanced Development (IMAD)가, 1986년에는 Insensitive Munitions Technology Transition Program (IMTTP)이 시작되어 고체 추진기관을 둔감화하기 위한 논의가 활발히 이루어져 왔다

* 국방과학연구소
연락처, E-mail: yoojic@hanmail.net

[1,2]. 한편 미 육군에서는 1990년에 가서야 Insensitive Munitions(IM) 프로그램이 시작되어 둔감 추진제 개발에 상당한 진척이 있었으며, 미 공군은 폭약의 보관과 운송 시의 안전에 대하여 주로 관심사였다. 현재 미 국방부는 1999년 2월 이후에 개발되는 모든 유도무기에 대하여 둔감화를 요구하고 있으며, 둔감화가 어려운 경우에는 웨이버 승인을 받도록 되어 있다. 유도무기를 비롯한 무기체계의 둔감화는 미국 및 동맹국들에게 예기치 않은 사고에 대하여 인명, 전투장비 및 기반시설 등의 생존성을 증대시키고 위험 등급을 낮추어서 저장 시설의 비용을 절감하고 운송 및 취급을 용이하게 할 수 있다.

로켓모터의 둔감성능을 향상시키기 위해서는 추진제를 비롯하여 로켓모터의 모든 부품들이 적절한 조합으로 각각의 특성을 살려 둔감성능 향상에 도움이 되도록 설계되어야 하며 각각의 부품이 어떤 역할을 하는지 이해하여야 한다. 고체 추진기관 둔감화에 필요한 중요한 역할을 하는 구성 요소는 둔감 추진제, 둔감 연소관, 둔감 점화기 및 완화장치 등이 있다[1].

2. 고체 추진기관 둔감화 기술

2.1 둔감 추진제

IM 요구조건에 부합하기 위해 둔감추진제에 대한 연구가 1980년대 말부터 미국을 중심으로 많은 연구가 되어 왔으며, 연구 방향은 크게 두 가지로 분류된다. 첫째, 기존의 HTPB/AP계열의 저연 추진제와 AI이 함유된 유연 추진제의 주된 성분을 변화하지 않고 소량의 첨가물을 이용하여 점화성을 떨어뜨리고, 상압 이상의 압력에서 소화성을 증진시키는 방향과, HTPB바인더를 HTPB 및 HTCE 등으로 대체하고 산화제 함량을 줄여서 추진제의 인성을 증가시키는 방법이다. 둘째, 기존의 1.1급수의 추진제의 성능을 유지시키면서 1.3급수의 무연 추진제를 만드는 방법으로서, 주된 조성은 고 에너지 바인더, 나이트레이트 에스테르 가소제를 사용하고 AN, PSAN, ADN 등을 주산화제, 초미립자의 RDX,

HMX 및 CL20를 부산화제로 한다[1,3].

HTPB/AP계 유연추진제는 일반적으로 탄자충격에 취약한 것으로 알려져 있으며, 특히 철 화합물 등의 연소촉매를 함유한 추진제의 경우, 탄자충격에 더욱 취약한 것으로 알려져 있다.

이러한 추진제의 경우 산화제인 AP를 Bi_2O_3 등과 같은 고밀도 첨가제로 대체시킴으로써 바인더의 부피 분율을 증가시킬 수 있다. 이 경우 추진제의 인성이 증가되어 탄자충격에 대한 취약성을 감소시키는 것으로 알려져 있다. 파편충격과 동조폭발시험은 추진제의 속감도에 의존하며 이러한 반응을 만족시키기 위해서는 1.3급수를 만족시켜야 한다.

선진국의 둔감추진제개발에 대한 연구는 80년대 중반부터 현재까지 여러 분야에서 이루어지고 있으며, 각각의 무기체계에 성능을 만족시키면서 둔감화를 이루기 위해서는 둔감추진제 개발이 독립적으로 이루어져야만 한다.

IM 요구조건에 부합하는 추진제를 개발하기 위해서는 이에 따른 추진제 특성을 평가하는 시험 방법이 필요하며, 둔감추진제 특성분야는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 크게 폭굉성, 폭연성과 가열성의 세 가지로 분류할 수 있다. 1 gal 이하의 소량의 추진제 혼합으로 위의 특성 시험을 통해 추진제의 scaleup과 모터 시험 유무를 결정한다. 로켓 모터가 폭굉을 일으킬지를 알아보기 위해 상대적으로 소량의 추진제를 사용하는 적격 시험으로 NOLLSGT가 있으며, 이보다 규모가 큰 시험으로는 NSWC에서 개발된 ELSGT가 있다. 폭연성은 모터 케이스 탄자나 파편에 의해 추진제가 점화, 연소되어 로켓 모터의 파열이나 폭발 등을 초래하는 특성을 의미한다. 이러한 특성은 과거에는 소규모 유사 로켓 모터를 사용한 탄자나 파편 충격 시험에 의해 대부분 수행되어 왔으나, 그러한 시험을 수행하기에는 비용이 너무 많이 들기 때문에 실험실 규모의 시험 방법에 대한 연구가 여러 나라에서 진행되어 왔다. 이 중 NSWC에서 개발된 BIC 시험이 IMAD에 의해 추진제 폭연성 스크린 시험에 가장 적합한 시험 방법으로 평가되어, 현재 IMAD에서 개발 중인 추진제에 대해서는 모두

적용되고 있다. 또한 NAWC에서 개발된 BVR 시험은 IMAD에 의해 폭굉이 가능한 추진제에 대한 XDT, SDT 특성을 평가하는 데 필요한 표준 평가 방법으로 평가된다. 그 외의 시험 방법으로는 shotgun, split-Hopkinson bar 시험 등이 있다[1].

추진기관에 열을 가하는 현상과 그로 인한 결과를 통칭해 가열성이라 하며, IM 가열 시험은 높은 870°C의 높은 온도와 낮은 가열 온도(3.3C/h)에서 수행된다. 추진제의 가열성을 스크린하는 시험으로 SCV와 Butckers 시험이 있다. 또한 탄두나 폭탄에 대한 가열성 평가 방법으로 SCB 시험 방법이 있으며, 이를 개선하여 로켓 모터의 가열성 평가 방법으로 사용할 수도 있다.

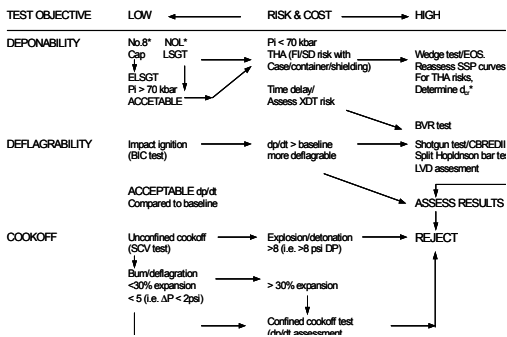


Fig. 1 Schematic Diagram of a Proposed Insensitive Propellant Screening Test Protocol

2.2 복합재 연소관

현재 선진국에서는 연소관의 소재로 카본/케블라 혼용 소재를 사용한 복합재 연소관과 길이가 긴 금속 조각을 나선형으로 접착하여 제작한 Strip Laminate 연소관을 개발하고 무기체계에 일부 적용하고 있다. 카본/케블라 혼용의 소재가 연소관의 소재로 적용되고 있는 이유는 다음과 같다. 급가열시 화염의 온도는 870°C이며, 연소관에 화염이 다일 때 연소관 구조체의 최외각층의 온도는 약 700°C가 되고 연소관 구조체의 내면의 온도는 약 450°C가 된다. 이때 추진제는 추진제 외부부를 둘러싸고 있는 단열재인 EPDM로 인해 열전도가 늦어서 약 280°C의 열을 받는다.

급속가열시 추진제 발화 온도는 추진제의 종류에 따라 다르나 약 230~270°C이다. 케블라 섬유는 열에 약하여 480°C에서 섬유가 완전히 녹아 없어지는 특성이 있다. 그러므로 추진제의 자연 발화로 인해 추진기관의 내부 압력이 상승할 때 구조체의 구조성능이 현저히 떨어진 연소관은 낮은 압력에서 파단이 일어난다.

전술형 미사일의 추진기관은 복합재 연소관으로 제작되고 둔감 추진제가 충전되어 있으면, 탄자, 파편 및 급 가열에 대해서 연소 반응 수준의 둔감화 조건을 만족시킬 수 있는 것으로 판단된다. 미국의 경우 2005년부터 AMRDEC 연구소는 ATK와 같이 공동 연구하여 완속 가열 상태에서의 둔감화 조건을 만족시키는 추진기관을 개발하기 위하여 연구하고 있다. 그러나 AMDEC/ATK에서 연구하고 있는 연소관은 돔과 실린더의 접착성능에 대한 신뢰도, 장기노화 수명에 있어 해결해야 될 과제가 있을 것으로 평가된다.

2.3 M & S 분야

우발 화염 및 충격에 노출 가능성이 있는 추진기관에 대해서 둔감화 시험 평가를 위해 실제 충격 및 화염 실험에 대한 실제 상황에 근접한 수치해석에 의한 모사 및 예측이 요구되며 고체 추진기관에 대한 충격 안정성이나 둔감 성능 평가에 대해 필요성이 증가하고 있다. 추진기관 반응 시험모사를 통해 얻을 수 있는 모사 결과로는 급 가열, 완속 가열, 탄자 및 파편 충격 등과 같은 외부 영향에 의한 고체 추진제가 충전된 추진기관 실제 반응 실험의 예측과 비교로써 둔감 성능을 평가함에 있어 수치해석 모사의 실제 실험과의 근접 예측을 통해 추진기관에 대한 둔감 성능의 평가에 대한 비용의 절감 효과를 얻을 수 있다. 국외에서의 이 분야에 관한 연구는 상당히 진행되어 왔으며 현재도 계속 진행되고 있다. 60년대 후반 미 에너지부 산하 연구소 Lawrence Livermore National Lab(LLNL), Sandia National Labs(Sandia), Los Alamos National Lab(LANL)을 중심으로 고에너지물질의 폭발 및 충격해석을 위한 다중물질 하이드로

코드 개발이 진행되어왔다. 특히 구소련과의 핵 무기 개발 경쟁이 진행되던 시기에 하이드로 코드 개발이 활발히 진행되었다. 모든 무기는 어떠한 형태의 고에너지물질을 필요로 하며, 추진기관과 탄두에는 다량의 고에너지물질이 탑재되어 있다. 정상 점화로부터 발사 그리고 목표물 적중까지 연속적인 연소 및 폭발 현상이 일어나고 또 그 과정 중 다중/다상 경계면의 복잡한 물리적 현상을 동반한다. 특히 용기 및 추진체 기관이 목표물을 관통하는 과정에 물질의 대 변형 및 과도 파괴 현상 또한 폭발현상과 동시에 이해되어야 하는 매우 중요한 현상이다. 한편 군사 무기 성능 해석을 위하여 초기에 개발된 미국의 코드들은 현재 계속적으로 보수 및 업그레이드가 이루어지고 있다.

24 둔감 점화기 및 완화장치

추진기관이 우발적 열원에 노출되었을 때 추진체가 폭발반응을 일으키기 전에 자연발화온도가 상대적으로 복기형 추진체를 사용하여 추진체가 발화, 연소하기 전에 점화기가 먼저 작동하도록 하거나 연소관을 미리 개방시켜 위험도를 완화 시킬 수 있다. 자연발화온도가 혼합형 추진체 비해 상대적으로 낮은 복기 추진체를 점화원으로 사용한 점화기를 둔감 점화기라 하고, 외부 열을 능동적으로 감지하여 연소관에 배기구를 형성하는 장치를 완화장치 또는 완화 시스템이라고 부른다. 완화장치에는 온도에 따라 급속도로 팽창되는 비활성 재료를 사용하여, 일정 온도에 도달하면 연소관의 응력 상승 흡이 파괴되도록 설계된 구조적 완화장치와 우발 열을 감지하여 자동 점화된 추진체 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. 최근까지 완화장치를 다양하게 사용하지 못하는 이유는 신뢰할 만한 열 센서가 없기 때

문이다. 바이메탈이나 형상 기억 합금을 사용한 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 단락가능성, Aeroheating과 전기필스에 따른 오작동 방지의 어려움 및 고온에서 전자부품의 신뢰성 부족으로 인해 사용되지 않는다. 그러나 파이로테크닉 센서의 경우, 화약의 특성상 정확성은 떨어지지만 전기 센서가 갖는 단점을 보완할 수 있기 때문에 선호되고 있다.

3. 결 론

1. 선진국의 유도무기 개발 추세에 부합하기 위해서는 선진국의 기술자료 분석을 통해 국내의 추진기관 둔감화에 필요한 기술 확보 방안 수립이 필요하다.
2. 둔감 추진체, 둔감 연소관, 둔감 점화기 및 완화장치 등의 부품들이 적절한 조합으로 각각의 특성을 살려 둔감성능 향상에 도움이 되도록 설계되어야 한다.

참 고 문 헌

1. Gordon E. J and David W. N "Tactical Missile Propulsion" Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 170, pp.273-361.
2. Department of Defense Acquisition Manager's Handbook for Insensitive Munitions, 2004
3. Andrew V and Kent F, "Threat/Hazard Analysis Requirements for the U.S. Navy's Insensitive Munitions Requirements." CPIA Pub. 446, Vol 1, 1986.