

# 고체추진기관 둔감화 개발동향

유지창\*† · 김창기\* · 민병선\*

## An Overview of IM Technology Development for Solid Rocket Motor

Jichang Yoo\*† · \*Changkee Kim\* · Byoungsun Min\*

### ABSTRACT

In this study, insensitive munitions(IM) policies and technologies of advanced countries for solid rocket motor were investigated. Development trends and caseworks of each part such as propellant and motor case of rocket motor for IM were also studied. Based on these investigation and analysis for IM rocket motor, directions of the development for IM rocket motor in our country were suggested.

### 초 록

본 연구에서는 1980년대 이후로 선진국에서 수행되고 있는 고체 로켓 모터의 둔감화를 위한 정책 및 기술개발에 관한 노력을 조사하였다. 그리고, 추진제와 연소관 등 둔감화에 필요한 추진기관 각 부품별 개발 방향을 정리하였고 실제 시스템 적용 사례를 살펴보았다. 이러한 조사분석 결과를 토대로 국내의 추진기관 둔감화 개발방향을 제시하였다.

Key Words: Insensitive Munitions(둔감), Solid Rocket Motor(고체 추진기관), Propellant(추진제), Motor Case(연소관)

### 1. 서 론

무기체계가 실전 배치되어 운용 중에 여러 형태의 사고의 위험이 항상 존재한다. 이런 사고가 특히 함상에서 발생하는 경우에는 그 위험 및 손상이 크게 나타나며 항공모함같이 거대한 함선에서 화재가 발생하면 그 화재는 함정에 탑재

되어 있는 미사일, 비행기 연료, 로켓, 그리고 함포 등에 연쇄적으로 전파되어 커다란 위험을 야기시킬 수 있다.

Table 1에 1960년대 이후에 발생한 대표적인 사고사례를 나타냈으며, USS Forrestal, USS Enterprise호와 USS Nimitz호에서 발생한 사고가 대표적인 예이다. 2002년도에도 아프카니스탄에서 40℃이상의 고온에 저장중이던 화약이 폭발하였고, 또한 BM-21 로켓이 어떤 충격에 의해서 화재가 발생하여 연쇄 반응을 일으키는 사고

\* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

† 교신저자, E-mail: yoojicj@hanmail.net

가 발생하였다. USS Forrestal호의 경우 정전기에 의한 오작동으로 인하여 이륙 대기 중이던 F-4에 장착된 Zuni 로켓이 발사되었고, 이 로켓이 급유 중이던 A-4 항공기에 명중, 화재가 발생하여 장착된 폭탄이 폭발하여 동조폭발이 일어났다. 그리고 소방작업 중 화재가 확대되어 항공모함의 기능을 상실할 뿐 아니라 많은 인적, 물적 손실이 발생되었다. 항공모함 뿐 아니라 1970년에는 Danang Air Base에서 F-4B 전투기의 연료 주입 과정에서 화재가 발생하여 불길이 주위로 확산되어 Sparrow 미사일이 발사되어 3명의 소방관이 목숨을 잃었고 13명이 부상당하였다[1].

이러한 일련의 사고로 인해 1984년 미 해국제독이 해군의 모든 무기들에 대하여 1995년까지 예기치 않은 사고에 대한 둔감화 기준을 만족하도록 지시하였다. 둔감성을 증명하기 위하여 급속가열, 완속가열, 탄자충격, 파편충격 및 동조폭발 시험 등 5개 시험항목에 대한 합격 기준을 만족하도록 하였다. 1984년에는 U. S. Navy's Insensitive Munitions Advanced Development (IMAD)가 만들어 졌으며, 1986년에는 Insensitive Munitions Technology Transition Program(IMTTP)이 시작되어 둔감 추진제 및 IM 관련 기술에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다[1].

이와 같은 예기치 못한 사고로부터 인적 물적 자원을 보호하기 위하여 Insensitive

Table 1 Significant weapon and explosive accidents since 1960

Location	Date	Dead/Injured	Loss(\$)
USS Oriskany	26 Oct. 66	44/156	10 million
USS Forrestal	29 Jul. 67	134/161	182 million
USS Enterprise	15 Jan. 69	28/343	122 million
USS Nimitz	26 May 81	14/48	79 million
Camp Doha, Kuwait	11 Jul. 91	3/49	15 million
Jalalabad, Afghanistan	10 Aug. 02	26/90	Undetermined
Spin Boldak, Afghanistan	28 June 02	32/70	Undetermined

Munitions(IM)에 대한 요구가 높아지게 되었으며 아울러 이런 무기 체계를 효과적으로 시험 평가하는 규격들이 검토되기 시작하였다. 1964년부터 1982년 사이에는 "Warhead Safety Tests, Minimum for Air, Surface and Underwater Launched Weapon (Bureau of Weapons, WR-50, Dep. of the Navy, Feb. 13, 1964)"이란 규격이 널리 사용되었으나 로켓 모터 등에 대하여는 언급하고 있지 않았다. 1982년에는 미 군사규격으로 DOD-STD-2105(Navy)가 사용되었고 1987년에는 미 육군, 공군, 그리고 해군이 합동으로 회의를 열어 DOD-STD-2105를 수정 보완하여 군사규격으로 인정할 것을 결정하였으며, 이런 노력으로 1991년에는 MIL-STD -2105B가 채택되었고 1994년에 MIL-STD-2105C로 개정되었다.

Table 2 MIL-STD-2105C IM tests and passing criteria

Tests	Passing Criterion
Fast Cookoff(FCO)	Burning
Slow Cookoff(SCO)	Burning
Bullet Impact(BI)	Burning
Fragment Impact(FI)	Burning
Sympathetic Detonation(SD)	No Acceptor Detonation

Table 3 Responses of rocket motor to IM tests

Motor	FCO	SCO	BI	FI	SD
AMRAAM	F	F	F	-	P
HARM	F	F	F	F	P
MAVERICK	F	F	F	F	P
SIDEWINDER	P	F	F	P	P
HARPOON	P	F	P	F	P
SEA SPARROW	P	F	F	-	P
STD MISSILE	F	F	F	-	-
TOMAHAWK	P	P	F	-	P

Table 2에 로켓 모터에 적용되는 둔감시험 항목과 합격 기준을 나타내었다. 급속가열, 완속가열, 탄자충격 및 파편충격시험은 반응단계 V인 연소반응이 합격 기준이며 동조폭발의 경우는 Acceptor가 폭굉이 일어나지 않는 것이 합격 기준이다[2,3].

Table 3은 해군에서 사용하는 대표적인 로켓 모터의 둔감시험 반응결과를 나타낸 것으로 Sea Sparrow를 제외한 나머지 로켓모터는 HTPB 추진제가 충전되었다. 동조폭발은 모두 기준을 만족하였으나 급속가열시험은 일부 기준을 만족하였고, 완속가열시험을 포함한 나머지 시험은 대부분 합격기준을 만족하지 못하였다. 이러한 이유로 해군의 모든 로켓모터에 대한 연구가 현재까지 활발히 수행되고 있다[4].

## 2. 선진국 둔감화 정책

IM의 획득방안이 획득기획국 규약으로 1999년 1월 26일에 제정되었으며, 이 규약에서 IM 인증을 얻기 위한 장기적인 목표가 언급되었다. 이 규약에는 과거와 현재보다는 미래의 둔감기술을 확보하는 방안이 초점을 맞추었다. IM의 획득방안에 관하여 3개의 카테고리로 정의가 되었다. 첫 번째 카테고리는 1999년 1월 26일 이후에 생산중인 무기는 IM 인증을 받거나 IM 웨이버 승인을 받아야 한다는 것이다. 두 번째 카테고리는 1999년 1월 26일 이전에 계약되어 현재 생산중인 무기에 대하여, 사업자는 IM 기술을 적용하도록 가능한 모든 방법을 찾아야 한다는 것이다. 세 번째 카테고리는 1999년 1월 26일 이전에 생산이 완료된 모든 무기에 대하여서는 둔감화 요구조건을 만족하는데 예외로 규정하고 있다.

미 국방부의 IM 정책, 요구조건, 과제 및 국내의 쟁점 등을 다루기 위하여 IM Integrated Product Team(IPT)가 1997년 6월 5일에 설립이 되었다. 또한 IM의 기술적인 문제해결과 웨이버 처리 과정에 대하여 미 국방부 사무국을 지원하기 위하여 Joint Services IM Technical Panel(JSIMTP)가 1999년 5월 4일에 설립되었다. JSIMTP에서는 국방부 군수품 목록에 대하여 매년 둔감화 상태를 평가하고 있다. 미 국방부 획득규정 5000.2-R은 둔감화와 위험등급분류에 관하여 언급하고 있으며, 획득정책, 감독, 사업관리, 체계공학, 병참, 시험평가, 국제협력 및 계약담당자는 IM 정책 및 요구조건을 필히 숙지해야 한다.

North Atlantic Treaty Organization(NATO)에서는 IM을 정의하기를 요구되는 성능, 신속성, 운영성을 만족하면서 열과 기계적 충격 등의 예기치 않는 외적 자극에 대하여 우연한 개시나 연차적인 손상으로 인한 플랫폼, 병참시스템 및 인명 손실을 최소화하는 무기하고 하였다. 현재 NATO에서는 IM과 관련된 STANAG를 비준하였으며, STANAG 4439는 IM의 개발, 평가 및 시험을 위한 표준 정책을 만드는 것을 목표로 하고 있다. Table 4는 회원국들의 승인을 위한 로켓모터의 IM과 관련된 STANAG를 나타낸 것으로, 미국의 경우 이러한 STANAG를 승인하였고 MIL-STD-2105C에 적용하였다[2,3].

Table 4 STANAG's relating to IM

STANAG's	Relating IM
STANAG 4240	Liquid Fuel/External Fire, Munition Test Procedures
STANAG 4241	Bullet Impact, Munition Test Procedures
STANAG 4496	Fragment Impact, Munition Test Procedures
STANAG 4382	Slow Heating, Munition Test Procedures
STANAG 4396	Sympathetic Reaction, Munition Test Procedures

IM 요구조건을 만족하는 것이 미 국방부의 요구조건이기 때문에 IM 시험의 실패는 무기의 잠재적인 안전성과 생존성에 대한 잠재적인 결점을 나타내는 것이고 전투와 병참체계를 심각하게 위협을 나타낸다. 따라서 이러한 결점은 시스템의 획득 전에 요구 프로세스를 통하여 인증되어야만 한다. IM 웨이버 인증은 최종적으로 Joint Requirements Oversight Council(JROC)에서 결정이 되며, Figure 1에 IM 웨이버 프로세스를 나타내었다. IM 웨이버 요구는 Program Manager(PM)에 의해 준비가 되며, IM 위원회의 사전 검토를 거쳐서 공식적으로는 Program Executive Officer(PEO)에 의해 IM Executive Agent(EA)에 제출된다. EA는 IM 위원회에 기술적 검토와 추천장에 대한 요구서를 제출하고 IM 위원회는 30일 내에 추천장을 제공한다. EA는 내부 합의를 통하여 Joint Staff의 기

술검토와 JROC인 최종승인을 위한 요구서를 제출한다. 특별한 문제점이 없으면 JROC는 웨이버 승인을 허가한다.

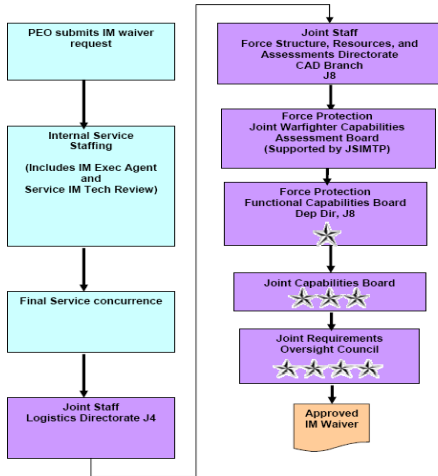


Fig. 1 Insensitive munitions waiver process.

### 3. 추진기관 둔감화 기술

#### 3.1 추진제

IM 요구조건에 부합하기 위해 둔감추진제에 대한 연구가 1980년대 말부터 미국을 중심으로 많은 연구가 되어왔으며, 현재 파악된 연구 방향은 크게 두 가지로 분류된다. 첫째, 기존의 Hydroxyl Terminated Polybutadiene(HTPB)바인더를 Hydroxyl Terminated Polyether(HTPE)로 대체하고 산화제인 Ammonium Perchlorate(AP) 일부를 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 Ammonium Nitrate(AN)로 대체하는 방법이다. 둘째, 기존의 1.1급수의 추진제의 성능을 유지시키면서 1.3급수의 희연 추진제를 만드는 방법으로서, 주된 조성은 고 에너지 바인더, Nitrate Ester 가소제를 사용하고 AN, Phase Stabilized Ammonium Nitrate(PSAN), Ammonium Dinitramide(ADN)등을 주산화제, 초미립자의 Cyclo-trimethylene Trinitramine(RDX), Cyclotetramethylene Tetranitramine(HMX) 및 Hexanitro Hexaza Isowurtzitane(HNIW)을 부산화제로 한다[1,2].

#### 3.2 연소관

1990년초에 미국의 해군은 내경 6 inch의 연소관을 금속재와 복합재로 제작하여 HTPB추진제를 충전시키고 급속가열, 완속가열, 탄자충격 시험 및 파편충격시험을 수행하여 반응의 정도를 측정하였다. 시험결과에 의하면 금속재 연소관의 경우는 모든 항목에서 IM 요구조건을 만족시키지 못하는 격렬한 반응을 보였다. 반면에 복합재 연소관의 경우는 완속가열 조건에서만 IM 요구조건을 만족시키지 못하고 있고 나머지 항목에 대해서는 요구조건을 만족하였다[2]. 선진국에서는 IM 요구조건을 만족시키기 위해 전술형 유도무기에 대하여 기 개발된 추진기관과 개발예정인 추진기관의 연소관을 Graphite/Epoxy 복합재 연소관으로 대체하거나 개발하는 연구를 수행하고 있다. 반면 영국을 중심으로 한 유럽에서는 Strip Laminate 연소관에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

### 4. 결 론

선진국에서는 유도무기의 둔감화가 기본 요구조건이며 개발 초기부터 둔감화에 대한 설계가 고려되어야만 한다. 국내에서도 개발되는 모든 전술형 유도무기의 둔감화를 위해서 둔감추진제 조성, 연소관, 배기기구 및 M&S 등에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. DoD Acquisition Manager's Handbook for Insensitive Munitions, 2004.
2. Jenson, G.E., Netzer, D. W., Tactical Missile Propulsion, Vol. 170, Progress in Astronautics and Aeronautics.
3. MIL-STD-2105C, "Hazard Assessment Tests for Non-Nuclear Munitions", 2004.
4. Graham, K. J., Threat Hazard Assessment, 93 Jannaf Propulsion Meeting, ADA 279568.