

군용 화약류 시험시설의 국내·외 안전기준 검토 및 효과적인 적용 방안

전인범*, 황경섭, 박소연, 이찬호
국방기술품질원

A Review of Domestic and Foreign Safety Standards for Military explosive Testing Facilities and effective application measures

In-Beom Jeon*, Gyeong-Seop Hwang, So-Yeon Park, Chan-Ho Lee
Defense Agency for Technology and Quality

요약 국내 화학제조업 등에서는 화재 및 폭발 사고가 지속적으로 일어나고 있다. 이는 군용 화약류 저장시설 및 제조시설이나 시험시설의 경우에도 마찬가지다. 폭발사고의 원인은 안전기준 미준수가 약 75%, 시설 자체의 결함이 약 20%, 방화 또는 기타사유가 약 5%로 집계되었다. 국내 군용 화약류의 성능시험 등 화약류를 이용한 기폭, 점화 업무를 수행하는 시험시설에 대한 국내 관계 법규는 방위사업법, 탄약 및 폭발물 안전관리 기준 지시 등이 있다. 군용 화약류 관련 국내의 법령 및 기준은 탄약 및 폭발물의 저장시설 또는 제조시설의 건축물의 시설기준을 중심으로 운영되고 있으며, 우발적인 폭발 또는 의도적인 폭발에 대한 인원방호에 관해서는 반영이 미흡하다. 국외 군용 화약류 안전기준인 UN(United Nations)의 IATG(International Ammunition Technical Guidelines), NATO(North Atlantic Treaty Organization)의 AASTP(Allied Ammunition Storage and Transport Publication), 미국방부의 DESR(Defense Explosives Safety Regulation) 6055.09 검토결과, 국외 군용 화약류 안전기준에서는 인원 방호 목적으로 참고할 만한 기술자료가 있었으며, 3가지의 기준에서 서로 참조되어 상호 보완적으로 사용되고 있었다. 국외 군용 화약류 안전기준의 인원 방호 프로세스 등 기술자료를 국내에 적용하여 정책적으로 반영하거나, 가능하면 시설별로 공학적인 접근을 통해 인명피해를 방지함이 적절하다.

Abstract Fire and explosion accidents continue to occur in domestic chemical manufacturing industries. This is the same for military gunpowder storage and manufacturing or test facilities. The causes of explosions are approximately 75 percent of non-compliance with safety standards, approximately 20 percent of defects in the facility itself, and approximately 5 percent of arson or other reasons. Domestic-related laws on test facilities that carry out detonation and ignition using gunpowder, such as performance tests of military gunpowder in Korea, include the Defense Business Act and the guidelines for the safety management of ammunition and explosives. Domestic laws and standards related to military gunpowder are operated around the facility standards of ammunition and explosives storage facilities or buildings in manufacturing facilities, and reflections on personnel protection against accidental or intentional explosions are insufficient. As a result of reviewing IATG(International Ammunition Technical Guidelines) of the United Nations, AASTP(Allied Ammunition Storage and Transport Publication) of NATO(North Atlantic Treaty Organization), and DESR(Defense Explosives Safety Regulation) 6055.09 of the U.S. Department of Defense, there were technical data for personnel protection in the foreign military gunpowder safety standards. They were referred to each other in three criteria and used complementarily. It is appropriate to apply technical data, such as the personnel protection process of foreign military gunpowder safety standards in Korea, to reflect them in policy, or to prevent casualties through engineering approaches to each facility if possible.

Keywords : Explosives Testing Facility, IATG, DESR 6055.09, AASTP, Explosives Safety Standards

*Corresponding Author : In-Beom Jeon(Defense Agency for Technology and Quality)

email: ibjeon4965@dtq.re.kr

Received September 30, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised November 9, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

산업재해 예방 책임주체 및 보호대상 확대, 유해·위험 기계 기구에 대한 안전강화 등에 대한 내용을 담은 산업안전보건법 전부개정법령이 2021년 1월 16일 시행되고, 22년 1월 27일에는 중대재해 처벌 등에 관한 법률이 생되는 등 국가적으로 안전관리에 대한 법적 기준 강화 및 안전사고에 대한 처벌 강화 기조가 확대되고 있다. 이에 따라 가스 폭발, 폭발 위험이 있는 압력용기 등은 직접적인 인명 피해 발생 가능성이 높아 산업안전보건법 등을 고려한 사업주의 안전조치 의무의 중요성이 증대되고 있다.

화학물질안전원 통계에 따르면 화학물질관리법에 속하는 화학물질로 인한 폭발사고는 2014년 1월부터 2021년 12월 까지 총 55건으로 연간 약 8건 발생하고 있으며, 원인별로는 41건이 안전기준 미준수, 11건이 시설결함으로 나타났다[1].

최근 21년 2월 11일에는 여수 국가산업단지 소재의 제조업 공장에서 열교환기 폭발로 인해 8명이 사망하는 등 폭발 가능성이 있는 시설물 및 장소에 대한 안전관리 관심 증대가 필요한 상황이며, 화약류에 의한 폭발도 지속적으로 일어나고 있다. 민수용 및 군용 화약류 취급시설에서 발생하는 폭발 사고는 주변 근로자의 부상 또는 사망을 동반하는 경우가 많다. 언론에 알려진 화약류 관련 폭발사고는 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. Explosions caused by explosives that occurred recently

Year/Month	Accident details
2007/6	<ul style="list-style-type: none"> Explosion at explosives manufacturing factory Cause : Short circuit (Assume)
2014/2	<ul style="list-style-type: none"> Explosion of explosives that were temporarily stored Cause : Unkonown
2018/5	<ul style="list-style-type: none"> Rocket-propelled solid fuel explosion Cause : Insufficient compliance with work safety standards
2019/11	<ul style="list-style-type: none"> Gel propellant fuel laboratory explosion Cause : Accident prevention measures are inappropriate
2022/1	<ul style="list-style-type: none"> Semi-finished explosives in emulsion state Cause : Explosives explosion

화약류 제조공장 및 화약류 실험실에서의 사고는 다양한 원인으로 발생하며, 그 경우를 살펴보면 ① 시설 이상(전기설비의 누전 등)으로 인한 화약류 폭발 ② 사고예방조치 및 작업안전수칙의 미준수 ③ 원인미상의 화약류 점화 3가지로 볼 수 있으며, 폭발로 이어진 사고의 경우, 모두 화약류 자체가 내포하고 있는 위험요소인 폭발성이 근본 원인이다.

특히 군용 화약류를 특정한 목적을 가지고 시험하는 시설에 대한 명확한 안전기준 및 법적규제는 찾아보기 어렵다. 화약류 시험시설의 특성상 폭발 및 화재 위험성을 가지고 있는 화약류를 다른 물질로 대체하는 위험의 제거 활동은 불가능하며, 시험시설에서 작업하고 있는 인원은 화약류에 대해 노출될 수밖에 없다.

이수경, 배용범, 오정규의 연구(2006)[2]에서는 LPG 판매소에서 가스 폭발이 주위 아파트에 미치는 영향을 평가하였다. 신진원, 김진규의 연구(2016)[3]에서는 고 폭발으로 인한 근접 폭발시의 영향에 대해서 연구하였다. 윤용균의 연구(2018)[4,5]에서는 인화성 물질을 보유하고 있는 시설물에서 폭발이 발생하였을 때, 증기운 폭발 사고의 분석 기법과 폭발이 구조물에 미치는 영향을 연구하였다. 김병일의 연구(2022)[6]에서는 군 유류 화재 및 폭발 사고 피해 영향평가를 통한 안전관리의 기술적, 관리적 대책을 연구하였다. 유류 및 가스 등의 증기운 폭발에 관해서 연구는 활발히 진행되고 있다. 또한 작업 인원이 폭발성 물질을 직접 취급하며 작업을 해야 하는 장소에서의 안전관리는 시설적인 측면과 더불어 중대 산업재해 등 인명피해를 고려한 세부적인 설계가 반드시 필요하다. 하지만 군용 화약류의 인명 안전기준 및 적용 방법에 대한 연구 및 정책은 찾아보기 어렵다.

본 논문에서는 국내의 군용 탄약 및 폭발물 관련 안전기준 및 국외 탄약 및 폭발물 관련 안전 기준을 접목하여, 군용 화약류 시험시설에서 발생할 수 있는 시설 및 인명피해와 관련하여 인명안전기준의 적용 방안 및 국내 군용 화약류 시험시설 안전기준의 발전방안을 도출하고자 한다.

2. 국내 화약류 안전기준

2.1 총포·도검 화약류 안전관리에 관한 법률

총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률(이하 총포화약법)에서 말하는“화약류”란 민수용으로 사용되는

화약, 폭약 및 화공품을 뜻한다.

총포화약법에서는 화약류를 제조·저장 등을 수행함에 있어서 경찰청과 관련되어 신고 또는 허가를 득해야 하며 시설기준 등이 적합해야 한다. 총포화약법에서는 총포, 도검, 분사기, 전자충격기, 석궁 등 포괄적인 총포도검 등의 제조·저장시설 기준과 안전관리적 측면에 대한 법적 기준 등을 포함하고 있다. 여기서 화약류의 제조·취급 등을 수행 할 때의 저장소 구분과 시설기준이 정해져 있다[7].

이 법류에 의해 제조·취급 등을 수행 해야할 때는 화약류의 종류에 따라 관리적 측면 및 시설적 측면에서 여러 가지 기준을 가지고 있다. 아래의 Table 2에서는 총포화약법에 의한 제조시설 및 화약류 저장소의 기준이 있다.

Table 2. Safety standards of "Act on the safety management of explosives"[7]

Division	Safety standard summary
Manufacturing facility	<ul style="list-style-type: none"> • Division of dangerous-zone and non-dangerous zone • Installation of a fence boundary • Security object and security distance
Explosives Storage	<ul style="list-style-type: none"> • Storage amount • Distance between storage and security goods • Standard of facility by class • Storing and handling methods
Explosives handling place	<ul style="list-style-type: none"> • Facility standards near the place of use • Usage limit and security distance
Administrative measures	<ul style="list-style-type: none"> • Designation of manager • Preparation and operation of risk prevention regulations • Self-safety check and plan • Packaging standards of explosives

총포화약법에서는 화약류 취급·저장 시설에 대해서 저장소 및 제조시설로 분류하여 안전기준을 적용하고 있다. 저장소의 경우 1급 저장소, 2급 저장소, 3급 저장소, 간이저장소 등으로 나뉘며 각 시설기준을 세부적으로 명시하고 있다. 또한 저장할 수 있는 화약류에 제한이 있으며, 저장 금지 화약류도 각각 저장소마다 지정되어 있다. 예를 들어서 지상 1급 저장소의 경우, 단층 철근 콘크리트, 벽돌 콘크리트 블럭 또는 석조라는 조건과 저장소 벽의 두께, 그리고 출입문의 규격과 두께, 마루의 높이나 완충재 설치 여부, 피뢰장치, 저장소 주위에 흙둑의 설치, 도난 방지에 관한 사항 등 각 저장소의 규격마다 시

설의 기준이 세부적으로 정해져 있다. 또한 화약류 제조 시설은 위험구역과 비 위험구역으로 구분하고 있으며, 위험구역 주위에는 경계 울타리를 설치 하도록 되어 있으며, 경계 울타리 내부에 있는 보호가 필요한 시설과의 보안거리를 지정하여 그 거리 이상 이격 시키도록 되어 있다.

2.1.1 화약류 저장소의 최대 저장량

총포화약법에서는 화약류 저장소의 급수별 최대 저장량을 정하고 있다. 화약 및 폭약, 화공품에 따라 저장소별 최대로 저장할 수 있는 양이 정해져 있다. 따른 보안거리를 수식으로 표현하고 있다. 장난감용 꽃불류, 화공품 등을 제외하고 화약과 폭약에 대한 저장소 급수별 저장량은 아래의 Table 3과 같다.

Table 3. Storage by class[7]

Class of storage	Gun powder storage	Explosives storage
First	80 ton	40 ton
Second	20 ton	10 ton
Third	50 kg	25 kg
Under water	400 ton	200 ton
Temporary repositories	30 kg	15 kg

각 등급의 저장소에서는 저장 할 수 있는 화약류의 종류가 정해져 있다. 또한 법에서는 화약류 저장 및 취급상의 유해·위해로부터 보호가 요구되는 장비 및 시설을 “보안물건”으로 설정하고 있고, 중요도에 따라 제 1종 보안물건 부터 제 4종 보안물건 까지 구분되어 있다.

2.1.2 화약류 제조소, 저장소의 안전거리 적용방식

화약류저장소와 보안물건 간의 보안거리는 일정 저장량 미만의 경우 법령상의 보안거리를 바로 적용하게 되었다. 그러나 사유가 있을 때는 허가관청의 허가를 받아 그 양을 늘릴 수 있으며, 그때 적용되는 보안거리는 아래의 식으로 구한다.

$$SD = \frac{SD_{t12} \times \sqrt[3]{W_{act}}}{\sqrt[3]{W_{t12}}} \quad (1)$$

$$SD = \frac{SD_{t4.5} \times \sqrt[3]{W_{act}}}{\sqrt[3]{W_{t4.5}}} \quad (2)$$

Where, SD : Security distance (m)

SD_{t12} : Denominator's security distance

- regarding backlog capacity (m)
- W_{t12} : backlog capacity listed in attached Table 12 (kg)
- $SD_{t4,5}$: Denominator's security distance regarding backlog capacity (m)
- $W_{t4,5}$: backlog capacity listed in attached Table 4, 5 (kg)
- W_{act} : quantity to be stored (kg)

Eq. (1)은 화약류 저장소에 따른 보안거리이며, Eq. (2)는 제조시설의 각 위험공실에 따른 보안거리를 구하는 식을 의미한다. 시행령 별표 4, 5, 12에서는 기본적으로 저장소 급수 및 종류에 따른 화약류 종류별 저장량 기준과 제조시설의 위험공실 종류 및 해당되는 화약류 종류별 정제량 기준을 가지고 있다. 위의 Eq. (1), (2)에서는 기준이 되는 저장량 및 정제량을 초과하는 경우에 적용하므로 저장소나 제조시설 종류별로 저장량 및 정제량에 대해 비교적 자세하게 다루고 있으며 유연하게 적용할 수 있다.

2.1.3 총포화약법상 제조, 저장시설 관리적 대책

화약류를 제조하는 사업체의 경우, 화약류제조보안책임자와 화약류관리보안책임자를 선임해야 한다. 또한 화약류의 제조를 하지 않더라도 판매업자, 화약류저장소설치 및 운영자는 화약류관리보안책임자를 선임해야한다.

화약류제조업자는 행정안전부령으로 정하는 기준에 따라서 위해예방규정을 작성하고 승인받아야 한다. 또한 화약류를 취급하는 인원에게 자체안전교육을 실시해야한다. 화약류저장소설치자는 저장소의 자체안전점검계획을 세워 점검을 실시하고, 저장소 허가관청에 그 자체 안전점검계획서를 제출하여야한다.

허가관청에서는 제조업자, 판매업자, 화약류저장소 설치자에 대해 매년 정기적으로 안전검사를 실시한다.

2.2 방위사업법

방위사업법은 군수품 조달 등 방위사업의 수행에 관한 사항을 규정하고 있다. 군수품 종류인 군용 화약류의 개발 및 양산 관리도 포함된다[8].

따라서, 군용 화약류 등은 방위사업법에 따라 방위사업청장이 그 제조·수입·양도·양수·소지·사용·저장·운반 및 폐기 등에 관한 허가와 감독을 실시한다. 또한 방위사업법 제53조(군용총포·도검·화약류 등의 제조 등에 관한 특례)에서는 군용 화약류의 제조부터 저장,

운반, 폐기까지의 일련의 과정들과 같이 방위사업법에 포함되는 규정들을 제외하고는 총포화약법의 규정을 준수하라고 명시되어 있다. 그러나 군용 화약류의 경우, 총포화약법에서 명시되어있는 화약 종류와 정확히 동일하지 않고 그 성분이 추진, 살상, 작전 등의 군용 목적에 부합하도록 되어 있기 때문에 보안거리, 취급장소의 시설 기준 등을 총포화약법에 맞추어 따르는 것은 객관적이지 않다는 문제점이 있다. 따라서, 군용 화약류 시험시설의 안전관리에 참고하려면, 군용 화약류의 제조 및 저장 관련 규정을 군용 화약류 시험시설에 반영할 수 있는지가 관건이다.

2.2.1 군용 화약류 제조공실의 건축물 구조기준

방위사업법 시행규칙 [별표 1] 「군용 화약류의 제조작업을 위하여 제조소안에 설치된 건축물(제조공실)의 안전거리 및 구조기준」에서는 군용 화약류 제조작업을 위해 설치된 건축물(제조공실)에서 준수해야할 안전거리 및 구조기준이 있다. 군용 화약류는 1.1급 ~ 1.6급 폭발물로 구분하면서 각각의 예상 위험과 안전기준 등이 규정되어 있다. 군용 화약류의 정제량 및 급수에 따라서 방폭구조, 준방폭구조, 내화구조, 철근콘크리트의 두께, 피뢰장치의 접지저항 기준 등이 명시되어 있고, 그 이외에 제조공실의 출입구의 최소폭(76 cm) 및 높이(198 cm)가 정해져 있는 등 세부적인 제조공실 건축물의 구조기준이 규정되어 있다.

2.2.2 방위사업법상 탄약 및 폭발물 관리적 대책

방위사업법에서는 방위사업법 상의 허가를 받은 군용 화약류를 저장/제조하는 업체의 경우 방위사업법총포화약법과 동일하게 화약류제조보안책임자와 화약류관리보안책임자를 선임해야 한다. 방위사업법 시행령 제66조의3(군용 화약류 제조보안책임자 및 관리보안책임자의 선임 등)에서는 군용 화약류 제조시설 사용허가 및 저장허가를 받은 자는 군용 화약류 관리보안책임자를 총포화약법 제28조에 따른 면허를 받은 사람 중에서 각각 선임해야 한다고 명시되어 있다. 총포화약법과 방위사업법에서 선임하는 것은 동일한 경우라고 보면 된다.

또한 방위사업법의 경우, 제조보안책임자 및 관리보안책임자의 선임 이후 그들의 업무를 확인하면 관리적인 대책이 어떻게 구성되어 있는지 확인 할 수 있다. 시행령 제66조의2(군용총포등에 대한 안전관리)에서는 제조시설 사용허가 및 저장허가를 받은자는 국방부령에서 정하는 위해예방규정을 수립해야하며, 직원에 대한 자체 안

전교육계획 수립 및 실시, 연 2회 이상의 정기점검을 포함한 안전점검 계획 수립 및 실시, 방위사업청장의 안전 검사를 받아야한다고 명시되어 있다.

2.3 탄약 및 폭발물 안전관리기준 지시

국방부 「탄약 및 폭발물 안전관리 기준 지시」의 적용 범위는 탄약을 취급하는 전 부대 및 기관이다. 해당 문서는 탄약 및 폭발물에 대한 안전 기준을 다루며, 그 내용은 아래의 Table 4와 같다[9].

Table 4. Contents of Department of Defense Regulations

Division	Contents
Chapter 2	Explosive Effects and Permissible Exposure Range
Chapter 3	Safety Prevention Activities
Chapter 4	Hazrd Classification and Storage Principles
Chapter 5	Facility structure and location selectiom
Chapter 6	Safety distance (QD)

이 기준은 미 국방부의 국방 폭발물 안전 규정인 DESR (Defense Explosives Sagety Regulation) 6055.09에서 대부분의 폭발물 안전기준을 준용하여 적용하고 있으며, 탄약 및 폭발물의 저장과 화약량에 따른 주변 시설의 안전거리 관련 내용을 중점적으로 다루고 있다. 즉, 화약류 저장소를 구축하기 위해서 갖추어야 하는 조건인 시설적인 기준과 주변의 탄약고, 주거시설, 도로와 최소 거리가 주요 내용이다.

3. 국외 군용 화약류 안전기준

국외에 범용적으로 사용되는 탄약 및 폭발물(군용 화약류)의 안전관련 기준은 NATO의 AASTP(Allied Ammunition Storage and Transport Publication) 과 미 국방부의 DESR 6055.09가 있다.

3.1 NATO AASTP

NATO의 AASTP는 북대서양조약기구에서 기준으로 하는 군용 탄약의 저장과 운송과 관련한 안전규정이다 [10]. AASTP-1부터 AASTP-5로 구성되어 있으며 그 내용은 아래의 Table 5과 같다.

Table 5. Contents of AASTP

Division	Contents
AASTP-1	Safety Principles for The Storage of Military Ammunition and Explosives
AASTP-2	Safety Principles for The Transport of Military Ammunition and Explosives
AASTP-3	Prnciples for The Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives
AASTP-4	Explosives Safety Risk Analysis Manual
AASTP-5	Guidelines for The Storage, Maintenance and Transport of Ammunition on Deployed Missions or Operations

AASTP는 다음 쪽의 Fig. 1과 같이 AASTP 1, 3, 4, 5의 내용이 서로 연계되어 적용된다. AASTP-1에서는 탄약의 양에 따른 안전거리(Quantity Distances)에 대해서 다루고 있으며, AASTP-3에서는 군용 화약류를 1.1급부터 1.6급까지 아래의 Table 6과 같이 분류한다.

Table 6. Hazard Division in AASTP-3[11]

Division	Subject
Division 1.1	Mass explosion hazard
Division 1.2	Projection hazard but not a mass explosion hazard
Division 1.3	Fire hazard and either a minor blast hazard or a minor projection hazard or both, but not a mass explosion hazard
Division 1.4	No significant hazard
Division 1.5	Very insensitive substances which have a mass explosion hazard
Division 1.6	Extremely insensitive articles which do not have a mass explosion hazard

AASTP-4에서는 탄약 및 폭발물의 정략적인 위험성 평가 방법을 제공한다. AASTP-5에서는 작전 중에서 안전거리인 FD(Field Distances)와 작전 시의 실용적인 탄약 및 폭발물 안전 위험성 평가 방법을 제공한다.

3.2 UN IATG

UN의 IATG는 군용 탄약 관련 국제 기술 지침이다. 주요 내용 구성은 아래의 Table 7과 같다.

IATG는 탄약 안전관리에 관한 소개와 원칙부터 탄약 작전 지원까지의 내용이 있으며, 큰 틀에서 NATO의 탄약 안전 기준인 AASTP와 내용이 동일하다. IATG에서도 군용 화약류에 대해 1.1급~1.6급까지 NATO와 동일하게 구분한다[13].

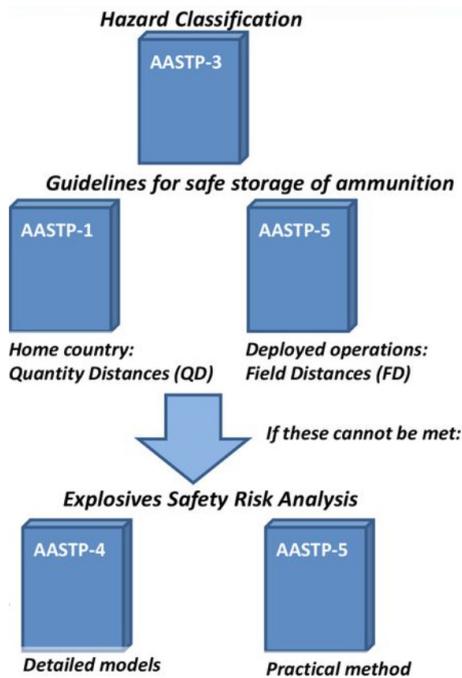


Fig. 1. How AASTP Works[12]

Table 7. Contents of IATG

Division	Subject
IATG 01	Introduction and Principles of Ammunition Management
IATG 02	Risk Management
IATG 03	Ammunition Accounting
IATG 04	Explosive Facilities (Storage) Field and Temporary Conditions
IATG 05	Explosive Facilities (Storage) Infrastructure and Equipment
IATG 06	Explosive Facilities (Storage) Operations
IATG 07	Ammunition Processing
IATG 08	Transport of Ammunition
IATG 09	Security of Ammunition
IATG 10	Ammunition Demilitarization and Destruction
IATG 11	Ammunition Accidents, Reporting and Investigation
IATG 12	Ammunition Operational Support

IATG 01.80 (Formulae Ammunition Management)에서는 탄약 및 폭발물의 폭발과 화재 특성으로 인해 계획되지 않은 사고가 발생할 가능성에 대해 언급하며 위험기반(Risk-based) 접근법에 대해 설명이 되어 있다. 위험기반 리스크 분석은 아래의 Fig. 2와 같이 3단계로 이루어진다. ① 폭발의 효과에 따른 분석, ② 폭발 결과에 대한 결정 ③ 폭발 결과에 대해 발생 가능한 사고에 대한 결정 순이다[14]. 이를 통해서 노출장소의 건축물 피해 또는 인명피해의 가능성을 판단 할 수 있다. 위와 같은 IATG의 위험기반 접근법은 AASTP 및 미국방부 탄약 안전 위원회(DDESB)의 기술문서를 참조하여 작성된 내용이므로 위험성 평가에 방법에 있어서 큰 차이점이 없다.

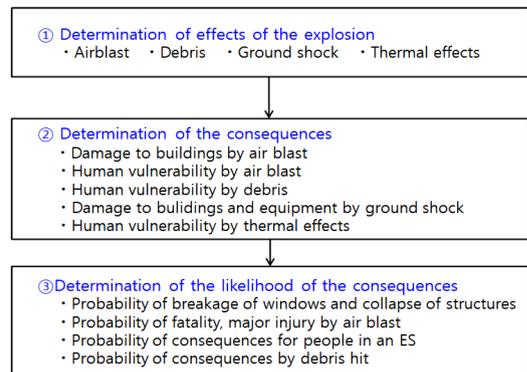


Fig. 2. Three-Step Process of Risk analysis in IATG

3.3 미 국방부 DESR 6055.09

미 국방부의 폭발물 안전규정(DESР 6055.09)은 미 국방부 훈령에 의거 폭발물안전위원회에서 발간되는 간행물이다. NATO 및 UN의 안전기준과 같이 군용 탄약 및 폭발물로 인한 인명손실 및 재산피해를 최소화 하기 위한 방호기준 제공을 목적으로 한다.

NATO 및 UN의 안전기준과 같이 군용 탄약 및 폭발물을 1.1급에서 1.6급으로 나누고 있다. 오른쪽의 Table 8와 같이 7개의 단위 내용으로 구성되어 있다.

일반적인 폭발물의 안전 정보 및 요구사항, 폭발물 안전 건축 기준, 우발적 폭발에 대한 일반적인 안전거리 기준, 비행장 및 헬기장 등 특정 시설에 대한 안전거리 기준, 의도적인 화재 또는 폭발에 대한 안전거리 기준, 위험기반 부지선정, 폐탄약에 대한 기준 등의 내용으로 이루어져 있으며, 탄약 및 폭발물에 대한 시설의 건축기준은 국내에서 규정화 되어 적용 중이다.

제1부 일반적인 폭발물 안전 정보 및 요구사항에서는 인원 보호에 대해서도 다루고 있으며, 미 국방부의 통합 시설 기준인 UFC 3-340-02에서는 인원, 시설 및 장비를 보호하고 폭발의 전파를 방지하기 위한 설계절차가 포함되어 있다[15].

Table 8. Contents of DESR 6055.09

Division	Subject
Volume 1	General Explosives Safety Information and Requirements
Volume 2	Explosives Safety Construction Criteria
Volume 3	General Quantity-Distance Criteria for Accidental Detonation
Volume 4	Quantity-Distance Criteria for Airfields and Heliports, Piers and Wharfs, and Specific Facilities
Volume 5	Quantity-Distance Criteria for Intentional Burns or Detonations, Energetic Liquids, and Underground Storage
Volume 6	Contingency Operations, Toxic Chemical Munitions and Agents, and Risk-Based Sitting
Volume 7	UXO, Munitions Response, Waste Military Munitions and Material Potentially Presenting an Explosive Hazard

3.4 국외 군용 화약류 인명 안전 판단 방법

국외의 군용 화약류 안전기준에서는 모두 인원에 대한 보호를 위한 기술적인 내용이 포함되어 있다. UN 기준인 IATG에서는 미 국방부의 탄약 안전 위원회(DDESB)의 기술문서 UFC 3-340-02[16], 그리고 NATO의 AASTP에서 포함하고있는 인원보호를 위한 기술적인 내용들을 참고하여 적절한 시설 및 인원 보호를 위한 내용을 포함하고 있다. 인원의 부상과 사망을 야기하는 폭발의 영향은 폭발과압, 파편, 열영향이 있으며 인원이 얼마나 피해를 입는지 정의하려면 먼저 폭발 과압의 도달 양, 파편의 형성 및 속도와 충격력, 도달하는 열량에 대해 계산이 되어야 한다. 해당 계산은 IATG 및 UFC 3-340-02, AASTP에서 상호 보완적으로 사용되고 있다.

특히 UN 안전기준인 IATG에서는 탄약 등 폭발물로 인해 폭발이 발생했을 때, 인체에 영향을 미치는 프로빗 방법론이 제시되어 있다.

폐의 손상 확률에 대한 프로빗 함수와 관련 식은 아래와 같다[14].

$$P_r = 5.0 + 5.7 \ln V \quad (3)$$

Where, P_r : probability of lung injury

V : value of formula 4

$$V = P_{sca} / (4.17 - 0.00164 \ln(t) / t + 0.0161 / t) \quad (4)$$

Where, P_{sca} : actual scaled overpressure (Pa)

t : scaled positive phase duration (s)

$$t = t_0 (C_9 / m)^{1/3} \times (P_o / P_{ref})^{1/2} \quad (5)$$

Where, P_{ref} : actual scaled overpressure (Pa)

C_9 : 70 (reference body weight) (kg)

m : body weight (kg)

t_0 : duration of positive pressure wave (s)

위의 Eq. (3), (4), (5)를 통해서 폭발과압으로 인한 인원의 폐 손상으로 인한 사망 및 부상 확률을 알 수 있다.

또한, 파편 및 잔해에 대한 피격 확률 프로빗 함수와 관련 식은 아래와 같다[17].

$$P_f = 1 - e^{(-q_f \times A_T)} \quad (6)$$

Where, P_f : probability of hit

q_f : area density of fragments
(number of fragments / m²)

A_T : target area (e.g. 0.56m² for a person)

$$q_f = Q_o / R^2 \times e^{-(2M_f / M_o)^{1/2}} \quad (7)$$

Where, q_f : area density of fragments heavier than M_f (number of fragments / m²)

Q_o : total number of fragments per unit solid angle emitted in target direction by an ammunition item

R : distance (m)

M_f : foragment mass under consideration(kg)

M_o : average of fragment mass(kg)

위의 Eq. (6), (7)을 이용하여 우발적인 폭발의 경우 인원의 위치에서 특정 파편 증량에 피격당할 확률을 알 수 있다.

4. 군용 화약류 시험시설의 문제와 개선방안

4.1 국내 화약류 시험시설 안전기준의 문제점

4.1.1 시험시설의 구조적 안전기준 적용 문제점

방위사업법상 허가 대상인 군용 화약류 저장시설의 경우에도 국내 법령상 시설 기준을 적용 하는데 한계점이 있다. 안재운의 연구(2019)에서는 탄약 및 폭발물 안전

점검 수행 간 방위산업체의 탄약 및 폭발물 저장소와 제조공실의 시설기준에서 몇 가지 문제점이 도출되었다. 그 소량화약 취급공실과 저장소, 방폭 전기시설, 작업장에 사용되는 창호, 폭발물 작업건물과 폭발물 저장소의 전도성 바닥이나 접지시설, 제조공실의 벽체와 같은 점검 대상에서 국내의 안전기준이 자세하지 않거나 기준이 없는 경우도 있다[18].

더욱이 군용 화약류 시험시설의 경우는 방위사업법에서 허가의 대상으로 구분하지 않고 있다. 따라서 규모가 큰 사업장의 경우는 국외의 기준을 적용하거나, 폭발 시뮬레이션 프로그램을 사용하는 등 자체적인 방법을 추가하여 안전관리를 실시하고 있으나, 소규모 기업체에서는 안전기준 적용을 고려하지 않는 경우도 발생할 수 있다.

방위사업법 또는 국방부의 군용 화약류 제조시설 또는 저장시설의 기준을 그대로 군용 화약류 시험시설로 적용하는 것도 어렵다. 그 이유는 군용 화약류 시험시설은 저장시설 및 제조시설에 비해 화약량(정체량 등)이 적은 경우가 많을 것이며, 시험시설에서 소량의 화약류를 사용한다고 하더라도 국내의 방위사업법 및 탄약 및 폭발물 안전관리 기준 지시에서는 대부분 최소 주거시설 및 공로거리가 22.9m로 명시되어 있어서 소량 화약류 시험시설의 경우 건축물이나 시설물 배치에 어려운 점이 생기는 등의 문제점이 있다. 예를 들어서 1.4급 화약류로 분류되는 항공용 카트리지의 경우 1개의 카트리지 당 화약량은 약 40~60 g 이나, 국내 법규를 따른 최소 주거시설 안전거리는 1.4급 화약류 1,360 kg 기준의 22.9 m로 명시되어 있다. 이러한 문제를 해결하려면 군용 화약류 실증시험이나, DESR 6055.09에 따르면 근거가 되는 시험자료가 있을 경우 안전거리를 더 짧게 적용할 수 있다고 명시되어 있다. 따라서 국내의 연구 자료를 참고하여 적절한 안전거리를 적용해야만 하는 상황이 있을 것이다.[15,18].

산업안전보건법 및 중대재해처벌법에서는 결국 사고로 인한 사업장 내부 또는 외부의 인명피해가 주요 기준점이고, 중대산업재해가 일어나게 되면 사업주가 적절한 안전조치를 실시하지 않아서 발생했다고 판단되는 사고의 경우 법적인 책임이 따른다. 군용 화약류를 접하 또는 기폭하여 실험하거나, 화약류를 직접 취급할 수 밖에 없는 시험시설은 인명의 위험 노출과 직접적으로 연관되어 있으며 이 문제를 해결하기에는 시설기준이 정형화 되어 있지 않고 안전기준에서 고려되지 않는 사각지대라 할 수 있다.

4.1.2 시험시설의 인명 안전 판단 절차의 부재

국내의 군용 화약류 안전기준에서는 폭발로 인해 발생하는 폭발 과압 및 파편 등에 대한 인간의 부상정도를 나타내는 표를 포함하고 있다. 하지만 그 인간이 피해를 입는 한계수치에 대해 인명의 안전을 위해서 시설의 배치나 방호구조물의 활용 등을 직접적으로 고려하고 있지 않다. 방위사업법이나 탄약 및 폭발물 안전관리기준 지시에서는 화약류 제조시설이나 저장시설의 구조기준, 안전거리 기준을 충족한다면 우발적인 폭발이 일어나거나 주변에서 비정상적인 점화나 폭발이 발생하더라도 추가적인 연쇄 폭발이나 기타 피해를 발생하지 않을 정도의 최소한의 기준을 다루고 있기 때문이다.

시험을 수행하기 위한 탄약 등 화약류 저장시설의 경우에는 소량의 화약류라도 시설의 구조적인 기준을 갖추면 폭발 사고로부터 2차적인 피해 예방이 가능하나, 화약류의 시험을 위해 직접 작업하는 인원의 안전을 위해서는 인명안전 기준이 필수적이다. 탄약이나 추진기관 등의 화약류를 설치하고 격발이나 점화를 해야하는 작업 특성상 비정상적인 폭발에서 최대한 인명을 보호하기 위한 구조나, 최소 인명 안전기준을 설정하여 시험시설의 작업 인원의 동선, 위치를 고려할 필요가 있다.

4.2 군용 화약류 시험시설의 안전기준 개선방안

4.2.1 시험시설의 구조적 안전기준 개선방안

국내의 화약류 관계 법령 및 군용 화약류 관계 법령은 건축물(제조시설, 저장시설)을 국내 및 국외의 경험적인 기술문서와 공학적인 계산이 기초가 되어서 작성이 되었다. 이러한 건축물 및 시설의 구조기준 등은 군용 화약류 시험시설을 구성하는 건축물에 적용할 수 있다. 다만 군용 화약류 시험시설은 허가대상이 아니라 상대적으로 사각지대에 있으며, 화약량이나 시험시설 주변 지형지물의 영향에 따라 유효 안전거리가 축소될 수 있지만 국내 기준은 그것을 고려하고 있지 않다[19].

위와 같이, 시험시설은 관계 법령상 사각지대에 있고, 사고가 발생한다면 국내 법규에서 자유로울 수도 없으므로, 국내 법규에서 화약류를 사용하는 시험시설에 대한 최소한의 안전기준을 법적으로 마련 하는 것이 가장 중요하다. 이 경우에는 국내의 법규를 그대로 반영하게 된다면 화약류 시험시설의 안전거리가 필요 이상으로 과도하게 적용될 우려가 있으므로, 소량화약류의 비정상 폭발시의 안전기준을 산출하기 위한 실험이 필요할 것이다.

4.2.2 시험시설의 인명안전 기준 적용 방안

국내의 화약류 안전기준 내용만으로는, 화약류에 직접적으로 노출되는 인원의 피해를 어떠한 방법으로 파악해야 하는지 알 수 없다. 반면에 국외의 화약류 안전기준에서는 인간이 피해를 입는 한계치와 화약류의 폭발로 인해 발생한 폭발과압 및 박격포탄 또는 곡사포탄 같이 인명 살상용 폭탄의 경우 발생하는 파편의 계산을 통해 인명피해의 정도를 계산하는 과정이 포함되어 있으며, 인원이 노출되었을 때 어느 정도의 확률로 어느 정도의 피해를 받게 되는가에 대한 방법론을 제시하고 있다.

따라서, 국외 기준에서 착안한 인명 중점의 보호를 위한 안전기준을 적용하여 국내 산업안전보건법, 및 중대재해처벌법 등 안전관리 강화와 처벌의 강화에 대해 대응을 할 수 있도록 화약류 시험시설관련 국내 적용이 가능한 인명안전기준과 그 방법론이 법규 등에 기술되어 있다면 국내 법적 규제의 명확성과 인명피해를 최소화할 수 있을 것이다.

5. 결론

방위사업법 등의 국내의 화약류 안전기준 관련 법규는 화약류 저장시설, 제조시설과 같은 화약류가 존재하는 위험장소의 시설에 대한 안전기준을 중점적으로 다루고 있다. 군용 화약류 시험시설은 법령상 허가 대상이 아니라서 점과 소량 화약류시험시설의 경우 필요 이상의 공간과 과도한 시설기준을 가지게 될 것이라는 점에서 국내에 적용되는 안전기준을 그대로 적용하기 어렵다.

또한, 국내 화약류 안전기준 관련 법규는 인간의 폐손상, 장기손상, 고막파열 등의 부상 임계점에 대한 적용 기준과 방법을 다루지 않고 있으며 이는 국내의 인원의 사망, 부상 중점의 안전관련 법규 강화 기초에 대응하기 어렵다. 본 논문에서는 UN, 미 국방부, NATO의 군용 화약류 안전기준을 확인하여 인명안전기준이 어떠한 방식으로 적용되는지 확인하였다.

앞으로 군용 화약류를 시험하는 기업체 또는 연구기관에서는 직접 화약류를 다루면서 우발적인 폭발에 직접적으로 노출될 수 있는 경우, 폭발물 자체의 폭발과압에 의한 부상가능성과 외피의 분산으로 발생하는 파편에 의한 피격 가능성과 부상 가능성, 시험시설과 관련된 건축물 안에 상주하는 인원의 부상 가능성을 포함하여 안전관리를 실시해야 할 것이다. 이를 위해서 국내 관계 법규도 군용 화약류 시험시설을 포함하여 안전기준을 설정하여

야 하며, 시험시설과 같은 소량 화약류 또는 화약류별 시험시설의 안전기준을 저장시설 및 제조시설과 다르게 현실적으로 적용 해야하는 문제와 인명안전기준의 적용 방법론을 결정해야하는 문제를 해결하여 국내 법규에 반영될 수 있도록 해야 한다.

군용 화약류 시험시설의 안전기준을 설정하여 국내 관련 법규에 즉시 적용하기에는 소량 군용 화약류의 위험 급수에 따른 안전거리를 설정하기 위한 수많은 폭발 현상 시험과 인명안전기준의 설정 및 적용방법 등에 관한 자료가 국내에 상당히 부족한 실정이다. 군용 화약류 시험시설의 안전기준 명확화, 인명안전기준과 그 방법론을 확립한다면 국내 군용 화약류 시설의 안전관리에 기여할 수 있을 것이다.

References

- [1] Chemical Safety Agency, Status and Cases of Chemical Accidents, NICS, 2022, Available From: <https://icis.me.go.kr/search/searchType2.do> (accessed June 22, 2022)
- [2] S. K. Lee, Y. B. Bae, J. G. Oh, "Consequence Analysis of Gas Explosion in LPG Vessel Retail Store Which is Located around Apartment Complex", *Journal of the Korean Institute of Gas*, Vol.10, No.3, pp.48-51, Sep. 2006.
- [3] J. W. Shin, J. K. Kim, "Effects of Near-Field Explosion of High Explosives on Blast Over pressures and Impulses", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.16, No.6, pp.21-28, Dec. 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.6.21>
- [4] Y. K. YOON, "Evaluation of Blast Pressure Generated by Explosion of Explosive Material", *Journal of the Korean Society of Explosives & Blasting Engineering*, Vol.36, No.4, pp.26-34, Dec. 2018.
- [5] Y. K. YOON, "Effects of Explosion on Structures", *Journal of the Korean Society of Explosives & Blasting Engineering*, Vol.37, No.4, pp.10-16, Dec. 2019. DOI: <https://doi.org/10.22704/ksee.2019.37.4.010>
- [6] B. I. Kim, *A Study on The Damage Effect and Safety Management of Military Oil Fire Explosion Accidents*, Master's thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea, pp.1-81, 2022.
- [7] National Police Agency, Act On The Safety Management Of Guns, Swords, And Explosives, Act No. 15808, Oct, 2018.
- [8] National Defense, Defense Acquisition Program Act, Act No. 17165, Mar. 2020.
- [9] National Defense, Instruction on Safety Management Standard for Ammunition and Explosives, Feb. 2022.

- [10] J. A. Moreno, Manual of NATO Safety Principles for The Hazard Classification of Military Ammunition and Explosives, Technical Report, NATO, Spain pp.3.
- [11] NATO, "Allied Ammunition Storage and Transport Publication", AASTP, 2006.
- [12] M. M. Vandervoort, M. W. sharp, Probabilistic Aspects of The Initiation of Ammunition and Explosives, MSIAC, Available From: <https://www.msiac.nato.int/> (accessed June 30, 2022)
- [13] UN SaferGuard, Guide to the International Ammunition Technical Guidelines(IATG): Guide to IATG, Technical Report, UN, pp.16-22.
- [14] UN SaferGuard, Guide to the International Ammunition Technical Guidelines(IATG): Formulae ammunition management, Technical Report, UN, pp.1-38.
- [15] DoD 6055.09 Edition 1, "Defense Explosives Safety Regulation", Mar. 2012.
- [16] U.S. Department of Defense, Unified Facilities Criteria: Structures to resist the effects of accidental explosions, UFC 3-340-02, 2008.
- [17] T. A. Zaker, "Fragment and Debris Hazards", Technical Report, Department of Defense Explosives Safety Board, U.S.A, pp.6-17. July 1975.
- [18] J. W. An, Defense & Technology, "A Study on the Safety Inspection Results of Explosives Handling Defense Manufacturers", *Journal of Korea Defense Industry Association, Defense & Technology*, Vol. 485, No. 7, pp 62~75.
- [19] D. W. Kang, S. Lee, B. H. Jung, D. S. Sim, "A Study on Effects of the Artificial Structure by the Blast Pressure Simulation", *Journal of Korean Society of Explosives & Blasting Engineering*, Vol.28, No.2, pp.17-27, Dec. 2010.

전 인 범(In-Beom Jeon)

[정회원]



- 2014년 2월 : 서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부 (공학학사)
- 2018년 7월 ~ 2019년 12월 : KCC 대죽공장 안전환경부 사원
- 2019년 2월 : 인하대학교 일반대학원 환경안전융합전공 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

산업안전, 소방, 위험물, 화재·폭발 방호

황 경 섭(Gyeong-Seop Hwang)

[정회원]



- 2019년 2월 : 부경대학교 소방공학과 (공학학사)
- 2020년 8월 : 부경대학교 일반대학원 건축·소방공학부 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

소방공학, 과도 비등 열전달, 시험평가

박 소 연(So-Yeon Park)

[정회원]



- 2016년 2월 : 강원대학교 소방방재학부 (학사)
- 2018년 2월 : 강원대학교 방재전문대학원 재해방재전공 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

재해방재, 산업안전, 산업보건, 소방

이 찬 호(Chan-Ho Lee)

[정회원]



- 2019년 8월 : 한성대학교 산업경영공학과 (공학학사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

산업안전, 탄약, 폭발물, 화재·폭발 방호, 품질관리