

# 유도탄 신뢰성평가 분야 중성자 비파괴검사 기법 적용 연구

박경환<sup>1</sup>, 김종열<sup>2</sup>, 문명국<sup>2</sup>, 이남례<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>한국원자력연구원

## A Study on The Application of Neutron Non-Destructive Testing Technology to The Field of Guided Missile Reliability Evaluation

Gyeong Hwan Park<sup>1</sup>, Jongyul Kim<sup>2</sup>, Myung Kook Moon<sup>2</sup>, Namrye Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>PGM Life Analysis Team, Defense Agency for Technology and Quality

<sup>2</sup>Neutron Science Division, Korea Atomic Energy Research Institute

**요약** 유도탄은 장기간 저장되는 고가의 무기체계로서 1번의 사용으로 임무를 다하는 특성을 가지며, 주로 20년이상 군에서 운용되기 때문에 유도탄에 대한 사용가능성, 신뢰성, 안전성 등을 평가하고 관리하는 것은 매우 중요한 업무이다. 유도탄의 수명을 좌우하는 주요 부품들은 1회 사용 시 재사용이 불가능한 One-Shot Device이며, 이러한 부품들의 신뢰성평가 방법에는 비파괴 검사가 주로 활용된다. 비파괴검사란 무기체계에 영향을 주지 않고 검사하는 방법으로서, 재료에 파괴나 손상을 주지 않기 때문에 고가의 무기체계 검사에 주로 활용된다. 비파괴검사에는 방사선, 누설, 초음파 등 다양한 검사방법이 존재하며, 유도탄 비파괴검사에는 주로 X-선 이용한 방사선 투과검사가 활용된다. 그러나 X-선의 경우 원자번호가 높은 물질로 구성된 부품에 대한 투과력이 낮아, 내부결함 검사에 제한이 있는 경우가 자주 발생한다. 이러한 X-선검사의 단점을 보완할 수 있는 비파괴검사 방법이 바로 중성자 투과검사이다. 중성자 투과검사는 X-선과 달리 원자번호가 높은 물질에 대한 투과력이 강한 반면, 물과 같이 가벼운 물질에 대한 투과성은 낮은 특성을 가진다. 본 연구에서는 유도탄 신뢰성평가 분야에 중성자 비파괴검사 기술을 적용하기 위한 연구들을 수행하였으며, 기존 X-선 검사 결과를 비교분석하여 향후 중성자와 X-선을 융합한 디지털 트윈기술의 활용 필요성을 검토하였다.

**Abstract** A guided missile is an expensive weapon system stored for an extended period that can fulfill its mission with a single use. Evaluating and managing the usability, reliability, and safety of guided missiles is vital because the military has operated them for more than 20 years. The main parts that determine the lifespan of a guided missile are One-shot Devices that cannot be reused. Non-destructive testing is a method of inspecting a weapon system without destruction or damage. Accordingly, non-destructive testing is used mainly to evaluate the reliability of expensive weapon system inspections. Various types of non-destructive inspection methods are available, such as radiographic inspection, leak inspection, and ultrasonic inspection, and radiographic inspection using X-rays is used mainly for the non-destructive inspection of guided missiles. On the other hand, in the case of radiographic inspection using X-rays, internal defect inspection is often limited to parts composed of materials with high atomic numbers. The neutron transmission inspection method is a non-destructive inspection method that can compensate for the disadvantages of X-ray inspection. Unlike x-rays, neutrons have high penetrating power for materials with high atomic numbers and low penetrating power for materials with low atomic numbers, such as water. In this study, studies were conducted to apply neutron non-destructive testing technology to a missile reliability evaluation, and a comparative analysis was performed with the existing X-ray test results.

**Keywords** : Non-destructive Test, Neutron, Guided Missile, X-ray, Radiographic Inspection, Reliability Evaluation

\*Corresponding Author : Namrye Lee(Defense Agency for Technology and Quality)

email: nrlee@dtaq.re.kr

Received July 27, 2023

Accepted September 1, 2023

Revised August 18, 2023

Published September 30, 2023

## 1. 서론

### 1.1 개요

유도탄은 단거리부터 장거리까지 정밀임무를 수행하는 중요 무기체계로서 사용하기 전까지는 장기저장되는 특성을 가지기 때문에 이러한 유도탄을 평가하고 관리하는 일은 매우 중요하다. 특히, 유도탄은 고가의 무기체계일뿐 아니라 문제 발생 시 아군에게도 피해를 줄 수 있기 때문에 이러한 유도탄의 신뢰성과 안전성을 평가하기 위해서는 고도의 평가기법들이 요구된다[1]. 이렇게 장기간 저장되는 유도탄의 수명을 좌우하는 주요 시효성부품으로는 열전지, 추진제, 점화기, 착화기 등이 있다. 그러나 유도탄을 포함한 시효성부품들은 한번의 사용으로 수명을 다하는 One-Shot Device 특성을 가지며 또한 비용이 매우 고가이기 때문에 성능검사만으로 안전성과 신뢰성을 평가하기엔 제한점이 있다. 따라서 유도탄의 이러한 제한사항을 해소할 수 있는 시험방법으로 주로 비파괴검사가 활용된다. 비파괴검사란 유도탄과 내부 부품에 영향과 손상을 주지 않고 검사하는 방법으로서, 파괴 없이 안전성과 신뢰성을 평가할 수 있다는 장점이 있어 유도탄 평가에 널리 활용된다.

비파괴검사종류에는 방사선 투과검사, 기밀검사, 와전류탐상검사, 화학침투검사 등 다양한 검사방법이 존재하는데 이 중 가장 많이 사용되는 방법은 X-ray를 이용한 방사선 투과검사방법이다. 방사선투과검사의 경우 내부결합을 높은감도로 확인가능 하며, 대부분의 부품에 적용 가능하다는 장점이 있어 산업계에서 널리 활용되는 비파괴검사 기법이다. 단, 방사선 피폭이 발생 가능하므로 원자력안전법에 따라 방사선안전관리에 유념하여야 한다. 화학침투검사는 표면결합 위주의 검사가 가능하나 내부결합탐지가 어렵다는 단점이 있으며, 기밀검사는 관통된 결함에 대해서만 적용이 가능하다는 제한점이 있다. 와전류탐상검사는 표면과 표면근처의 결함검출 감도가 높다는 장점이 있으나, 도체에 대해서만 탐측이 가능하며 심부에 대한 내부검사가 불가능하다. 이러한 비파괴검사의 특성과 장단점 때문에 제품의 내부 결함검사에 가장 널리 활용되는 방법이 방사선투과검사이다.

X선 방사선 투과검사는 방사선발생장치를 이용하여 인위적으로 X선을 발생시켜 시험편에 조사하여 투과영상을 획득하는 방법이다. 주로 관전압이 160KV ~ 350KV대의 방사선 발생장치가 주로 활용되며, 대형 부품 검사에는 1MeV이상의 가속기 등이 활용된다. 그러나

X-ray는 원자번호가 높은 물질에 대한 투과력이 낮아 금속표면이 두꺼운 부품의 내부결함검사에 적합하지 않다. 이러한 X-ray의 단점을 보완하여 원자번호가 높은 물질에 활용할 수 있는 비파괴검사 방법이 바로 중성자 투과검사이다. 중성자는 원자번호가 높은 물질에 투과력이 매우 강하며, 반대로 가볍고 원자번호가 낮은 물질에 대한 투과성은 낮은 특성을 가진다. 이러한 특성 때문에 중성자 투과검사는 X-ray와 병행하여 활용할 경우 상호 보완하여 좋은 검사결과를 얻을 수 있다.

해외국가에서는 중성자 비파괴검사를 항공기 및 로켓 분야에 적극적으로 활용하고 있다. 미국의 경우 공군내부에 연구용원자료를 건설하여 가동하고 있으며 전투기 및 항공기, 로켓등의 결함검사에 중성자 검사를 활용하고 있다. 캐나다의 경우도 사관학교내 원자료를 운용중이며 전투기 및 항공부품들의 내부검사에 중성자 비파괴검사를 적용하고 있다. 그러나, 국내의 경우 중성자 투과검사를 이용할 수 있는 연구용원자료가 하나로원자로 한 곳에 불과하여, 이를 활용하기 위한 연구수행이 부족한 실정이다[2].

선형연구로는 신재곤 등이 국방분야로의 원자력 기술활용 활성화 방안 연구수행을 통해 중성자 비파괴검사를 이용한 무기체계 영상화 방안에 대해 기술하였으나, 시험대상이 항공기 및 일반탄약류 위주로 검토되었다[1].

이에 따라, 본 연구에서는 유도탄 검사에 기존에 활용되던 X-ray 투과검사방법과 중성자 비파괴검사기술을 비교분석하여 특성을 파악하고 이를 통해 유도탄 신뢰성 평가 분야에 중성자 비파괴검사 기술을 적용하기 위한 검토 등을 수행하였다. 특히 X-ray검사와 중성자검사는 상호보완되는 특성을 가지고 있어 두 가지 영상을 융합하여 평가한다면 향후 고도화된 비파괴검사기법으로 활용될 수 있을 것으로 기대하였다[3].

## 2. 본론

### 2.1 시험대상 및 실험장치

시험대상은 국방부 유도탄 관리지시에 따라 ①시한성품목(시효성포함), ②일회성품목, ③파이로장치, ④화공품류 위주로 신뢰성평가 대상을 선정한다는 규정에 의거하여 유도탄의 수명을 좌우하는 시효성품목(열전지, 추진제, 점화기, 착화기)을 위주로 선정하였다. 열전지는

유도탄에 필요한 전원을 공급하는 핵심부품으로서 주로 비파괴검사를 통해 단선, 내부 이물질, 전극배열 등을 검사한다. 추진제의 경우 내부 균열 및 내열제와의 분리 상태 등에 관한 검사를 수행하며, 점화기 및 착화기는 내부 기폭약과 주장약의 충전상태 등을 주로 검사한다.

본 연구에 사용한 중성자 조사 실험장치는 한국원자력연구원 하나로 원자로의 노외 중성자 조사시설(ENF : Ex-core Neutron irradiation Facility)을 이용하였으며 장비형상은 Fig. 1과 같다. 비교분석을 위한 X-ray 검사장비의 경우 160kV의 관전압과 4마이크로미터의 Focal Spot를 가지는 방사선 발생장치(RG)를 사용하였으며 장비형상은 Fig. 2와 같다.

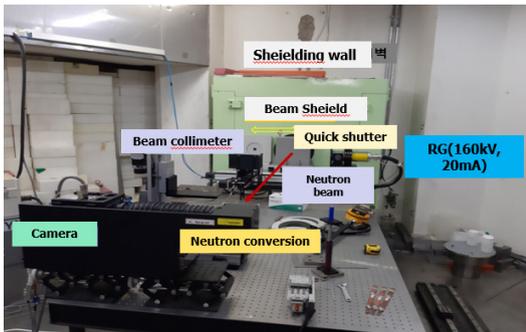


Fig. 1. Hanoro Ex-core Neutron irradiation Facility

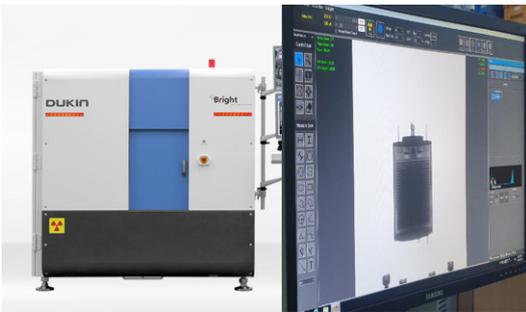


Fig. 2. X-ray radiation generator(Dukin Bright 160kv)

## 2.2 시험방법

X-ray 비파괴검사 방법은 강한 에너지를 가지는 전자가 고속으로 운동하여 높은 원자번호 물질과 상호작용하여 발생하는 제동방사선을 이용한 검사방법이다. 주로 높은 원자번호를 가지는 텅스텐에 고전압으로 가속된 전자를 충돌시켜 전자의 운동에너지를 X레이로 변환하는 원리를 이용하며, 이렇게 생성된 제동방사선은 물질과 상호작용을 하며 감쇄되는데 이때 감쇄된 정도의 차이를

영상으로 변환하여 내부구조를 확인하는 방법이 X레이 비파괴검사 방법이다. X선은 물질과의 여러 가지 상호작용을 통해 감쇄되는데 주로 발생하는 작용은 광전효과와 콤프턴산란이다. 광전효과는 광자가 완전히 사라지고 전자가 방출되지만 콤프턴산란은 일부 광자에너지가 감소되고 이동방향이 바뀌는 특성을 가지는데 이러한 두 효과를 통해 X선은 시험물질의 구조와 재료에 따라 감쇄된 정도의 차이가 발생하게 된다. 광전효과의 발생확률은 표적물질의 원자번호의 5제곱에 비례하고 콤프턴효과는 원자번호에 비례하기 때문에, 물질의 원자번호가 높을수록 감쇄로 인해 투과력이 낮아지는 특성을 가진다. 따라서 원자번호가 높고 두꺼운 물질의 경우 투과력이 낮아져서 내부구조를 파악하는 것이 제한된다. 보통 금속(납, 우라늄, 철, 텅스텐)등에 대한 투과력은 낮고 가벼운물질(수소, 산소, 탄소, 질소)로 구성된 물질에 대한 투과력이 높다[4].

한편, 중성자 비파괴검사의 경우 X-ray 대신 중성자를 사용하는 검사방법으로, 물질과의 상호작용을 통해 감쇄된 정도의 차이를 이용한 검사방법에는 차이가 없으나, 투과력과 물질과 상호작용 메커니즘이 X-ray와는 전혀 상이하여 영상결과에는 많은 차이가 존재하게 된다.

중성자는 X-ray와 달리 질량을 가지고 있는 입자선으로서 투과력은 대상물질에 따라 불규칙하며, 보통 금속(우라늄, 납, 텅스텐)등에 대한 투과력이 높은 반면, 가벼운물질(수소, 붕소, 질소, 산소)등에 대한 투과력은 매우 낮다. 중성자의 투과력은 표적 물질에 대한 중성자 흡수 단면적과 산란단면적에 따라 결정된다고 볼 수 있다.

$$I = I^0 e^{-\Sigma_t d}$$

$$\Sigma_t = \Sigma_s + \Sigma_a$$

$I$  = Neutron intensity

$I^0$  = Initial Neutron intensity

$\Sigma_s$  = Scattered neutron cross-section

$\Sigma_a$  = Absorption neutron cross-section

$\Sigma_t$  = Total neutron cross-section

중성자는 물질내부에서 흡수, 산란, 포획 등의 반응을 통해 감쇄되며, 이러한 중성자 흡수계수는 물질에 따라 상이하게 되는데 물질별 Mass attenuation coefficient (질량감쇄계수)는 Fig. 3과 같다.

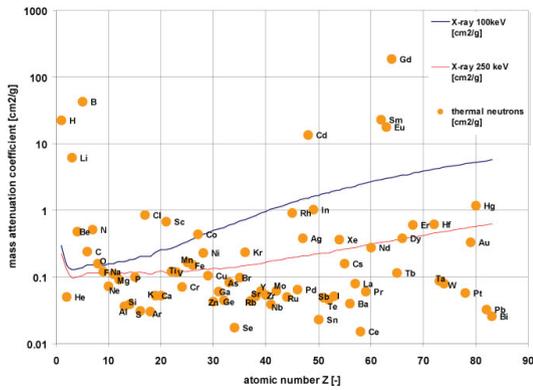


Fig. 3. Mass attenuation coefficient

Fig. 3에 따라 X레이는 물질의 원자번호가 높아질수록 질량흡수계수가 증가되는 특성을 가지나, 중성자의 경우 물질별로 질량흡수계수가 다른 것을 확인할 수 있다. 중성자는 수소(H), 붕소(B), 리튬(Li)과 같이 원자번호가 낮 물질은 투과력이 낮은 반면, 납(Pb), 텅스텐(W)과 같이 원자번호가 높은 물질은 투과력이 높은 특성을 가진다. 이러한 X-ray와 중성자의 상호작용의 특성 때문에 두 시험방법은 상호보완하는 특성을 가진다.

본 연구에서는 유도탄 시효성품목을 대상으로 X-선과 중성자 비파괴검사 결과 비교분석을 통해 활용대상을 식별하고 적용방안을 도출하고자 하였다.

### 3. 시험결과

#### 3.1 착화기

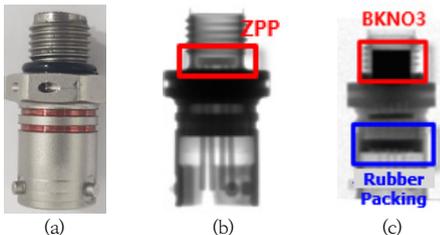


Fig. 4. Initiator(Igniter)  
(a) picture (b) X-ray NDT (c) Neutron NDT

착화기는 함대함유도무기에 탑재되는 품목으로 점화기를 착화시키기 위한 목적으로 사용된다. 방선투과검사를 통해 내부 기폭약의 충전상태 및 내부 결합 등을 확인하며, 장기간 저장으로 인해 발생가능한 문제를 사전에 확인하기 위해 비파괴검사는 주요 항목 중 하나이다. 착

하기 형상 및 비파괴검사 결과는 Fig. 4과 같다.

두 비파괴검사 영상을 비교하여 보면 X-선 방사선 투과검사를 통해 ZPP 점화제만 검출되는 한편, 중성자비파괴검사 영상에서는 BKNO3 고체점화제와 고무패킹류가 식별되는 것을 확인할 수 있다. ZPP(Zirconium potassium perchlorate)는 산화제 potassium perchlorate와 금속원료인 zirconium, 결합제인 viton조성의 점화제로서 비교적 원자번호가 높은 물질들로 이루어져 있어 X-선영상에서 식별이 가능한 것으로 확인되었다. 반면, 고체점화제인 BKNO3는 유도탄의 점화제로 널리 적용되는 점화제로서 유기고분자물질과 금속분말, 산화제로 구성된다. 비교적 원자번호가 낮아 X-선 검사에선 검출되지 않는 한편, 중성자투과검사에선 충전상태가 명확하게 식별됨을 확인할 수 있었다. 착화기의 방습과 기밀 역할을 하는 고무패킹류 또한 중성자 투과검사에서는 식별되었다. 착화기 내부 조성물질에 따라 검출가능한 부분이 검사방법에 따라 달라짐을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 열전지

본 연구의 대상 중 하나인 열전지는 Fig. 5와 같은 구조를 가지며 10년 이상 저장 후 사용이 가능한 대표적인 비축전지로서 열원에 의해 전해질이 녹아야만 활성화가 되는 1차 비축전지(Heat Activated Reserve Battery)이다.

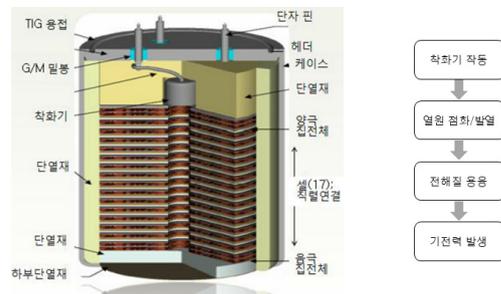


Fig. 5. Principle of the Thermal Battery

열전지 내부는 주로 음극과 양극이 적재된 상태로 주요 전극성분은 리튬과 철로 구성되며, 외부 케이스는 SUS 304로 이루어져 있다. 열전지는 기밀성 유지를 위해 외부케이스가 모두 용접된 형태를 가지므로, 비파괴검사를 통해서만 내부구조를 확인할 수 있다. 오랜시간 저장되는 열전지의 내부 결합확인을 위해 비파괴검사는 매우 중요한 항목 중 하나이며 이에 따라 시험대상으로 선정하였으며, 열전지 비파괴검사 결과는 Fig. 6과 같다.

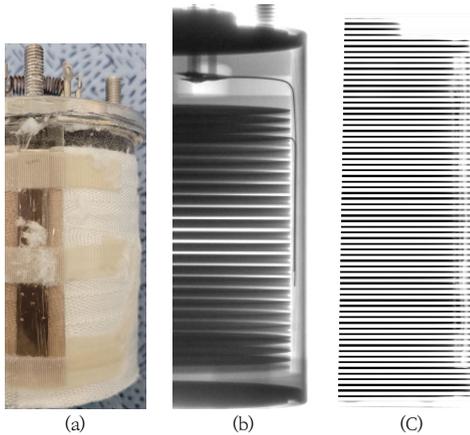


Fig. 6. Thermal Battery  
(a) picture (b) X-ray NDT (c) Neutron NDT

열전지는 내부 전극과 외부 단열재, 리드선 등으로 이루어지는데 검사결과를 살펴보면 열전지 내부 전극의 경우 X-선이 중성자검사에 비해 투과력이 높아 내부 전극 배열 상태가 명확히 확인되는 특성을 가진다. 이는 열전지 내부 전극 주요성분이 리튬으로 구성되어 있고, 중성자는 리튬에 투과력이 낮아 대부분이 투과하지 못해 위와 같은 결과를 확인 할 수 있었다. 열전지는 적재된 전극별로 리튬의 함량에 차이가 있어, 해당사항을 중성자 투과검사로 확인하고자 하였으나, 중성자검사 결과 소량의 리튬에도 투과되지 못해 전극 구분은 불가하였다. 한편 열전지의 바깥부분은 리드선과 단열재로 구성되는데, X선 검사결과와 달리 리드선만 영상으로 확인되며, 원자번호가 낮은 단열재, 테이프 등은 검출이 안되는 반면, 중성자검사의 경우 단열재와 테이프 등을 영상에서 검출할 수 있었다. 중성자 투과가 어려운 내부 전극의 검사는 X선검사가 적합하며, 바깥 이물질이나 단열재 등의 검사를 위해선 중성자검사로 검출가능하다는 것을 확인하였다.

### 3.3 점화기

점화기는 착화기와 결합되는 유도탄 주요부품 중 하나로서 점화역할을 담당하며 주요성능은 연소시관과 화염길이 등을 주로 평가한다. 착화기와 마찬가지로 내부 화약의 충전상태 등을 비파괴검사를 통해 확인하여, 장기간 저장 시 발생 가능한 결함들을 사전에 식별하고 있다. 점화기의 비파괴검사 결과는 Fig. 7과 같으며, 전반적인 검사영상은 X-선과 중성자가 유사한 결과를 보여주나, 중성자 투과검사에서만 식별가능한 부분이 일부 확인되었다. 상단의 고무류와 중단 BKNO<sub>3</sub> 화약충전부는

원자번호가 비교적 낮아 중성자검사를 통해서만 검출이 가능한 것으로 확인된다. 또한 하단의 노즐 검출기부분은 스테인리스 재질로 구성되어 있는데 중성자투과검사에서는 투과력이 높아 영상에서 비교적 밝은 부분으로 구분되어 식별되었다. 점화기는 외부케이스가 금속으로 이루어져 있어, 전반적인 검사영상의 상질과 해상도가 중성자검사에서 더 높게 확인되었다.

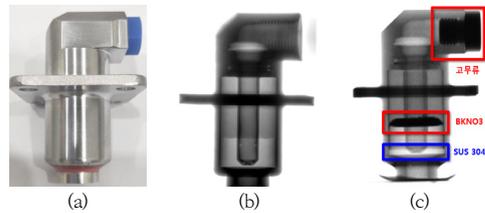


Fig. 7. Igniter  
(a) picture (b) X-ray NDT (c) Neutron NDT

### 3.4 추진제

추진제는 대부분이 화약물질로 이루어져 있고, 질소(N)성분을 많이 함유하고 있어, 중성자와의 상호작용이 매우 높게 발생하는 부품이다. 본 연구에서는 추진제에 대한 중성자의 투과력이 낮을것으로 예측하였으며, 이에 따라 소형 지대공미사일의 추진제를 시료로 선정하였으며, 유도탄 추진제 비파괴검사 결과는 Fig. 8과 같다.

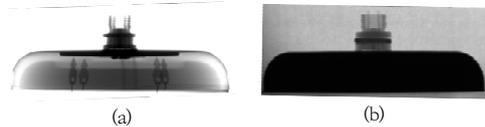


Fig. 8. propellant  
(a) X-ray NDT (b) Neutron NDT

검사 영상을 살펴보면 X-선 검사에서는 추진제 내부의 고정핀과 은선 등 주요 구성품이 식별되며, 내부의 균열 등을 확인 할 수 있는 반면, 중성자의 경우 추진제를 거의 투과하지 못하는 것으로 확인되었다. 추진제의 주요 구성성분인 고분자화합물에 대한 반응도가 커 중성자가 투과하지 못해, 내부구조를 확인하는데 제한되었다. 즉, 착화기 및 점화기와 같이 금속물질 안에 존재하는 화약의 식별에는 중성자검사방법이 적합하지만, 주요성분이 화약으로 이루어진 추진제의 경우 중성자검사가 제한되며, X-선검사가 적합하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국방 핵심 전력 무기체계 중 하나인 미사일의 부품의 정밀 검사를 위해 중성자 비파괴검사방법의 유효성과 적합성을 검토하였다. 중성자비파괴검사를 통해 유도탄 주요 구성품에 대한 내부결함 검사가 적합한지 확인하였으며, 또한 현재 한국원자력연구원 하나로 원자로에서 구축·운영중인 중성자조사장치를 통해 적용 가능한 유도탄 품목들을 도출하였다. 중성자 비파괴검사 방법은 현재 유도탄 저장신뢰성평가에 주로 활용되는 X-선 비파괴검사로 식별이 어려운 부품에 대해서 우수한 상질과 뛰어난 해상도를 보여주었다. 특히 외부가 금속 재질로 구성되며 내부에 화약이 충전된 점화기, 착화기 등은 X-선 영상과는 명확한 차이점이 존재하였으며, 이러한 중성자 비파괴검사 방법은 X-선 영상기술을 기술적으로 보완하는 특성을 가지는 것을 확인하였다. 즉, 기존의 X-선 영상기법으로 불가능한 영역과 식별이 제한되었던 고성능 화약충진 상태도 중성자 검사를 통해서 가능하였다.

한편, 향후 국방분야 중성자비파괴검사의 확대적용과, 새로운 초정밀 시험평가 역량 확보를 위해선 안정적인 중성자 공급원이 필요하다. 본 연구에 적용한 한국원자력연구원 하나로원자로의 경우 1년 중 가동일이 평균 연 100일 이하이며, 중성자 검사를 위한 조사장치가 고정되어 있어, 중·대형 무기체계에 대한 검사가 제한된다. 이러한 제한점을 극복하기 위해 미국의 공군에서는  $^{252}\text{Cf}$  동위원소를 이용하여 대형 무기체계에 대한 이동검사 등을 병행하여 수행하고 있다[5,6]. 중수소와 삼중수소를 활용하여 중성자 발생장치를 이용하거나, 가속기형 중성자원 개발을 통해 원자로 없이 중성자원을 확보할 수 있는 방안에 대한 추가적인 검토가 필요하다[7].

또한, 중성자검사의 확대적용과 해당 평가의 신뢰도를 높이기 위해서는 중성자투과검사 영상의 상질을 평가하여, 해당 상질이 요구되는 수준에 적합한지 확인하는 절차와 체계가 필요하다. 기존 X-선을 이용한 방사선 투과검사의 경우 이러한 상질평가를 위해 시험편과 동일한 재질의 상질계(QI)를 이용하여 영상의 상질을 평가하는 시험표준 등이 정립되어 있으나 중성자의 경우 부족한 편이다. 해외에서는 중성자 검사를 위한 표준 등이 활발하게 검토·개발되고 있으나 국내에서는 이러한 중성자비파괴검사의 적합성평가를 위한 절차와 관련 표준이 부족한 실정임에 따라 해당분야에 대한 후속연구 및 표준개발 등이 필요하다[8].

최근 디지털 기술발전이 급격하게 이루어짐에 따라, 3차원 X-선 자동검사 기법이 산업계에 적용되고 있으며, 이러한 기술발전과 함께 중성자 검사영상과 X-선검사 영상을 융합한 형태의 디지털 트윈 기법의 발전도 향후 적용 될 것으로 예측된다[9]. 특히 분해 및 조립이 불가능한 해외도입 유도탄의 경우 결함을 탐지하기 위한 방법이 사실상 비파괴검사에 한정되기 때문에, 정확한 내부결함 검사를 위해 X-선과 중성자검사를 융합하여 활용하는 것이 더욱 좋은 방법이 될 수 있다.

#### References

- [1] Shin, Jae Gon, "A Nuclear Technology Spin-off for National Defense", Korea Atomic Energy Research institute, Korea, p.2-20, 2008.
- [2] TaeJoo Kim, Suji Park, jongyul Kim, Sengwoo Doh, "Visualization of 2-phase Flow at heat Pipe using Neutron Imaging Technique. J. Journal of the Korean Society of Visualization, Vol 14, No.3(15~21), 2016.
- [3] Yoo, J.C., Kim, B.Y., "A Study of Predicting Design-Life of Shelf Life Items of the Missile", Project Ending Report, Agency of Defense Development, Korea, p.125-143, 2020., 1974.
- [4] Cho K S, "A Study on the use of neutron imaging technology in the defense field", Project Ending Report, Korea Advanced institute science and technology t, Korea, p.4-41, 2018.
- [5] W. J. Lewis & L. G. I. Bennett, "The Use of Neutron Radiography in the Inspection of Aircraft Composite Flight Control Surface," Proc. of the 1st Pan American Conference for Nondestructive Testing, 1998.
- [6] W.J. Lewis, L.G.I. Bennett, "Improving The Beam Quality Of The Neutron Radiography Facility Using The SLOWPOKE-2 At The Royal Military College Of Canada", Nuclear Instruments and Methods A 377, 41-44, 1996.
- [7] W.J. Lewis, L.G.I. Bennett, "Moisture And Corrosion Inspection of Aircraft Composite Flight Controls With Neutron Radiography", 1998 ASNT Spring Conference, Anaheim, California, 23-27 Mar 98.
- [8] J. Anthony Seibert, "Digital radiography : The bottom line comparison of CR and DR technology," Applied Radiology, Vol. 38, No. 5, Ma, 2009.
- [9] E. A. .Krupinski et al., "Digital radiography image quality: Image processing and display," JACR. 4: 389-400 (2007)

박 경 환(Park Gyeong Hwan)

[정회원]



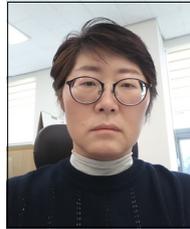
- 2016년 8월 : 한양대학교 원자력 공학 전공 (원자력학사)
- 2015년 10월 ~ 2020년 8월 : 한국원자력환경공단 대리
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방신뢰성연구센터 연구원

<관심분야>

비파괴검사, 신뢰성연구, 열전지, 방사선, 원자력

이 남 례(Namrye Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 경희대학교 대학원 화학과 (이화학석사)
- 2016년 2월 : 충남대학교 식품영양학과 (식품학박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 책임연구원

<관심분야>

유도탄 신뢰성평가, 전투물자 품질보증

김 중 열(Jongyul Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 한국과학기술원 원자력및양자공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 한국과학기술원 원자력및양자공학과 (공학박사)
- 2014년 9월 ~ 2016년 6월 : 한국 원자력연구원 박사후연수생
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국원자력연구원 선임연구원

<관심분야>

비파괴검사, 중성자영상

문 명 국(Myung-Kook Moon)

[정회원]



- 1994년 2월 : 경북대학교 물리학과 (물리학학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 물리학과 (물리학석사)
- 2001년 2월 : 경북대학교 물리학과 (물리학박사)
- 2002년 11월 ~ 현재 : 한국원자력연구원 책임연구원

<관심분야>

비파괴검사, 중성자영상