

국방 비파괴검사 분야 디지털 방사선투과시험 적용 연구

박경환, 이민희, 김선진, 박순우, 이남례*
국방기술품질원

A Study on The Application of Digital Radiography Testing in the Field of Defense Non-Destructive Testing

Gyeong-Hwan Park, Min-hee Lee, Seon-Jin KIM, Seonwoo Park, Namrye Lee*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 디지털비파괴검사의 상용화로 민간분야에서의 활용도가 증가하고 있으며, 이와 관련하여 최근 국방분야에서 또한 디지털방사선투과검사를 이용한 비파괴검사 필요성이 증대되고 있다. 그러나, 디지털 방사선 투과검사 적용을 위한 국내 및 국방표준이 부재하여, 국방분야에서의 활용이 매우 제한되고 있는 실정이다. 유럽과 미국 등 선진국에서는 디지털 방사선투과검사에 대한 표준제정과 관련된 연구들이 활발하게 이루어져 민간분야에 적용이 확대되는 한편, 국내에서는 이러한 연구를 비롯한 디지털비파괴검사의 적합성에 대한 검증이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 국제표준에서 요구하는 디지털방사선투과검사의 요건을 검토하고 품질을 구현하였으며, 적합성 평가를 통해 규격 충족여부 등을 연구하였다. 본 연구성과는 국내 디지털 방사선투과검사 활용성 증대에 기여하고, 관련 디지털 비파괴시험방법 국내표준 제정 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract The utilization of digital non-destructive testing in the private sector is increasing with its commercialization. Accordingly, the need for non-destructive testing using digital radiography has recently increased in the defense field. On the other hand, its use in the defense field is very limited because of the absence of domestic and defense standards for applying digital radiography. In developed countries, such as Europe and the United States, research related to establishing standards for digital radiography is being actively conducted, and its application to the civil and military fields is expanding. In Korea, however, there is a lack of verification of the suitability of digital non-destructive testing. This study reviewed the requirements for digital radiography required by international standards and performed a suitability assessment. The results of this research are expected to contribute to increasing the usability of domestic digital radiography and can be used to establish standards for digital non-destructive testing methods.

Keywords : Non-destructive Test, Digital Detector, Guided Missile, X-ray, Radiographic Inspection

1. 서론

1.1 개요

유도탄을 비롯한 무기체계 및 일반탄약 등 군수품은 One shot Device로 한번 성능을 시험하기 전까지는 시

험이 제한된다는 특성을 가지고 있다. 해당 군수품들은 사용 전 비파괴검사를 통해 신뢰성을 확인하며, 주로 방사선투과검사를 활용하여 내부의 결함을 검출하고 확인한다. 기존 적용되던 국방표준(KDS) 및 MIL-STD-453C 등은 아날로그 방식(필름촬영)으로 비파괴검사 적용방법

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

email: nrlee@dtaq.re.kr

Received September 27, 2023

Accepted November 3, 2023

Revised October 18, 2023

Published November 30, 2023

이 한정되어 있다. 기존 필름촬영 방식을 이용한 방사선 투과검사는 영상 확인을 위해 감광작용을 통한 잠상과정과, 현상-정지-정착-세정-건조 등으로 이루어지는 현상 과정을 통해야만 영상을 확보할 수 있기 때문에 해당 시험에는 상당한 시간이 소요된다. 또한 영상을 확인한 후 원하는 영역에 대한 상질이 불만족한 경우 모든 과정을 다시 진행하여야 하므로, 비용과 시간이 많이 소요될 뿐 아니라 불필요한 폐기물도 많이 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하고 실시간으로 영상을 확인할 수 있는 방법이 DR방식의 디지털 방사선투과검사이며, 즉각적으로 영상을 확인하여 결함을 판독할 수 있어 시간과 비용측면에서 매우 효율적이라 볼 수 있다.

이에 따라, 해외에서는 디지털 방사선투과검사에 대한 연구와 표준제정 등이 활발히 진행되고 있으나, 국내에 선 DR방식 적용 관련 연구가 부족하고, 이를 준용할 수 있는 국내표준 및 국방표준이 부재하여 활용범위가 한정되고 있다. 방사선 투과검사의 경우 제품내부의 결함과 안전성을 확인하는 중요한 시험항목으로서 적용시험표준과 적용규격이 필수적인 조건인데 이러한 표준과 규격의 부재로 적용이 매우 제한되고 있는 것이다. 특히 기존 사용되던 필름방식에 비해 결함탐지율이 우수하다는 객관적 연구데이터가 부족하기 때문에 기존에 활용하는 필름방식에 더욱 의존 할 수밖에 없는 실정이다. 본 연구에서는 국제표준에서 요구하는 디지털 방사선투과검사의 요건을 검토하고 품질을 구현하였으며, 기존 필름방식의 촬영영상과 비교검증하며 디지털 방사선투과시험 시험기준과 적합성평가 항목 등을 도출하고 평가하였다. 군수품 중 방사선 투과검사가 주로 활용되는 품목을 선정하여 해당 품목을 대상으로 비교검증 시험을 수행하였으며 이를 객관적으로 비교하기 위해 정량적으로 상질을 분석하였다. 군수품을 대상으로 디지털 방사선투과시험의 유효성과 적합성을 평가하여 분석한 본 연구성과는 국내 디지털 방사선투과검사 활용성 증대에 기여하고, 관련 표준 제정에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 본론

2.1 디지털 방사선시험 개요 및 실험장치

디지털 방사선투과시험이란 기존 필름이나 CR(Computed radiography imaging)방식과 달리 반도체형 센서를 이용하여 디지털방식의 영상취득 방식을 말한다. 방사선 조사 시 형광의 원리를 이용하며, 신틸레이터를 주로 활

용한다. 방사선을 빛으로 변환하여, 가시적으로 볼 수 있는 전기적 신호를 이용하는 방식이다[1]. 일반적으로 방사선 계측기에서 주로 활용하는 신틸레이터 계측기와 원리는 유사하다고 볼 수 있다. 전기적신호를 증폭한 후 아날로그 신호를 디지털로 변환하는 최종과정을 통해 방사선 투과영상을 취득하게 되며, 이러한 방사선 영상취득까지는 장비에 따라 차이가 있으나 보통 3초 이내로 가능하다. 필름방식의 촬영법의 경우 자동현상기를 사용한다 하더라도 최소 15분정도의 시간이 소요되게 되며 수동방식 현상 시 1시간 이상이 소요되는 점을 고려할 때, 디지털 방사선투과방법은 시간적측면에서 매우 유리한 시험방법이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 디지털 디텍터를 활용하여 시험을 진행하였다[2,3].

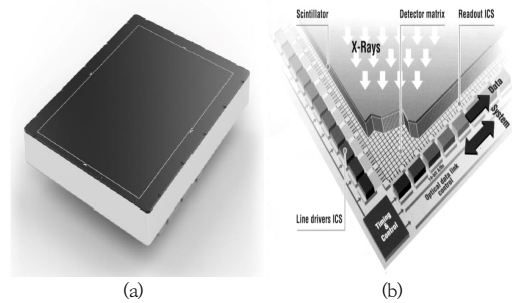


Fig. 1. Digital Detector
(a) Detector picture (b) Detector principle

GOS(Gd₂O₂S:Tb)소재의 디텍터를 사용하였으며 센서의 입자 크기로 보통 칭하는 Pixel Pitch는 95 μ m 크기를 가지고 있다. 디지털 디텍터의 원리는 Fig. 1의 (b)와 같으며, 해당 디텍터는 운용컴퓨터와 직접적으로 연결되어 실시간으로 영상의 획득이 가능하다. 이번 실험에 사용한 장치는 Fig. 2와 같으며 Dukin사의 160kv급 장비를 사용하였다.



Fig. 2. X-ray Equipment

디지털 방사선투과시험은 여러 장점에도 불구하고 아직 필름방식에 비해 해당 시험방법의 유효성과 적합성의 검증이 부족하며, 국내 규격 등이 부재하여 현실적으로 그 활용범위가 매우 제한된다. 실제로 국방분야 다양한 군수품들의 방사선 투과검사 시 디지털 시험장비가 있음에도 불구하고, 규격시험을 위해 필름을 이용하여 촬영하는 경우가 다수이다.

2.2 해외 규격

해외에는 디지털 방사선투과시험을 위한 여러 표준들이 정립되어 있으며, 미국재료시험협회(ASTM)의 경우 디지털 디텍터의 요건과, 투과시험의 적합성평가 기준 등을 제시하고 있다.

Table 1. ASTM Standard

Spec.	No.	Title
ASTM	E1025	Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiography
	E2002	Standard Practice for Determining Total Image Unsharpness and Basic Spatial Resolution in Radiography and Radioscopy
	E2597	Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays
	E2698	Standard Practice for Radiographic Examination Using Digital Detector Arrays
	E2736	Standard Guide for Digital Detector Array Radiography
	E2737	Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-term Stability

본 연구에서는 ASTM2698(Stand Practice for Radiographic Examination Using Digital Detector Arrays)에서 제시하고 있는 디지털 비파괴시험 요건을 충족하도록 시험을 설계 및 수행하였다[4].

2.3 시험 대상

시험대상은 군수품 중 방사선투과검사가 많이 적용되는 유도탄 신뢰성평가 대상항목 중 안전상 방사선 투과검사가 필수로 요구되는 시효성품목과 화공품을 위주로 선정하였다. 대표적 시효성품목 중 하나인 착화기 및 점화기를 대상으로 시험하여 제품 내부 화약 충전상태와

결함여부를 판정하고 방사선 투과 영상을 비교하고자 하였다. 아울러 유도탄에 필요한 전력을 공급하는 열전지에 대한 추가시험을 통해 필름방식과 디지털 방식의 장단점을 확인하였으며, 객관적인 정량분석을 위해 표준결함시편을 사용하여 상질을 비교 분석하였다.

3. 시험결과

3.1 유도탄 비교시험 결과

3.1.1 착화기

착화기는 유도탄 점화기 내부 및 기폭이 필요한 품목에 탑재되는 품목으로 주로 점화기를 착화시키기 위한 목적으로 사용된다. 착화기는 내부에 기폭약 및 장약이 포함되어 있으며, 이러한 물질은 시효성품목으로 저장기간이 길어짐에 따라 성능에 결함이 발생할 가능성이 있는 품목이다. 유도탄 신뢰성평가 시 착화기 방사선투과검사를 통해 내부 결함 등을 확인하며, 실제 기폭시험 전, 비파괴검사는 주요 항목 중 하나이다. 착화기 형상 및 비파괴검사 결과는 Fig. 3과 같다.

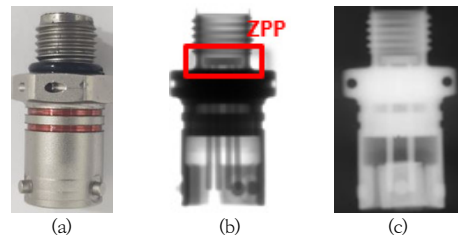


Fig. 3. Initiator(Igniter)
(a) picture (b) Digital X-ray (c) Film X-ray

두 비파괴검사 영상을 비교하여 보면 디지털 비파괴검사와 필름 비파괴검사는 명암이 서로 반대되어있는 것을 확인할 수 있다. 이는 디지털디텍터와 필름의 감광방식의 차이로 인해 발생하는 특성이며, 필름의 경우 명암의 조정 및 반전이 불가능하지만 디지털시험의 경우 명암반전 및 조정이 가능하다는 장점이 있다. 시험조건은 두 시험편 모두 160kv로 촬영하였으며, 필름촬영은 전류 5mA, 노출시간 30초, FFD 1000mm로 설정하였다. 필름노출조건은 시험편의 두께와 재질을 감안하여 여러번 촬영 후 가장 선명도가 높은 조건으로 도출한 결과로 설정하였다. 착화기의 주요 시험항목은 ZPP충전약의 충전상태를 확인하는 것이며 시험결과 상 디지털비파괴 시험방법이 아날로그에 비해 매우 선명한 것을 확인 할 수 있다.

특히, 디지털 방사선투과시험의 경우 충전상태를 360°C로 회전하며 실시간 촬영이 가능하여, 착화기 검사 관점에서 필름 촬영방법에 비해 이점이 많은것으로 확인되었다.

3.1.2 열전지

열전지 10년 이상 저장 후 사용이 가능한 대표적인 비축전지로서 열원에 의해 전해질이 녹아야만 활성화가 되는 1차 비축전지(Heat Activated Reserve Battery)이다. 열전지 내부는 주로 음극과 양극이 적재된 상태로 주요 전극성분은 리튬과 철로 구성되며, 외부 케이스는 SUS 304로 이루어져 있다. 열전지는 외부케이스가 모두 용접된 형태로, 비파괴검사를 통해서만 내부구조를 확인할 수 있다. 최소 10년이상 저장되는 열전지의 내부 결합 확인을 위해 비파괴검사는 중요한 항목 중 하나이며, 주로 내부 전극의 결합여부, 리드선의 쇼트 여부 등을 검사한다. 디지털비파괴검사시험은 160kv, 300 μ A조건으로 촬영하였으며, 필름영상은 전압 220KVP, 전류 5mA, FFD 1000mm, 노출시간 50초 조건으로 인가하였으며, 비파괴검사 결과는 Fig. 4와 같다.

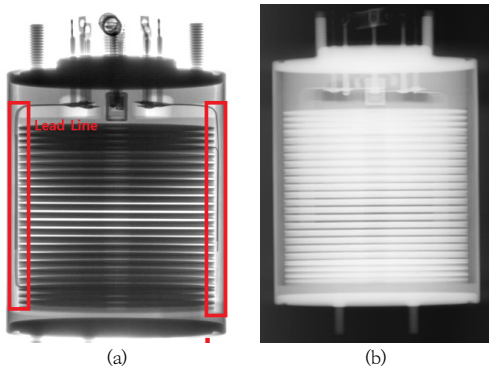


Fig. 4. Thermal Battery
(a) Digital X-ray (b) Film X-ray

검사결과를 살펴보면 열전지 또한 필름방식의 검사방법에 비해 디지털 방사선투과검사영상의 선명도가 매우 높다는 것을 확인 할 수 있다. 특히 열전지 내부 리드선의 연결상태가 필름영상에서는 확인하기 어렵다는 단점이 식별되었다. 열전지는 내부구조가 보이지 않아 리드선의 연결여부를 확인하기 위해서는 전지를 회전하면서 영상을 촬영해야 할 필요성이 있다. 필름방식의 경우 회전촬영이 불가하여, 내부리드선의 식별여부는 필름의 현상이 완료된 이후에 확인 할 수 있고 이에 따라 매우 많은 시간과 방사선 노출이 불가피한 단점이 있었다. 열전

지와 같이 시험체에 회전을 통해 검사하는 것이 필수적인 품목들은 시간과 경제적 측면에서 디지털 방사선투과시험이 우수하다는 특성을 확인 할 수 있었다.

3.1.3 점화기

점화기는 유도탄에 탑재되어 점화가 필요한 품목에 점화신호 인가와 동시에 점화역활을 담당하며 주로 성능시험을 통해 연소시판과 화염 길이 등을 평가한다. 성능시험 내부 결합 및 화약의 충전상태 등을 확인하기 위해 필수적으로 방사선 비파괴검사를 수행하고 있으며, 시험결과는 Fig. 5와 같다.

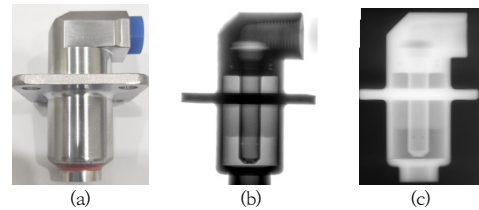


Fig. 5. Igniter
(a) picture (b) Digital X-ray (c) Film X-ray

검사결과 앞서 살펴본 품목과 유사한 결과를 확인 할 수 있었으며, 디지털 방사선투과영상이 필름영상에 비해 매우 높은 선명도를 보여주었다. 두 가지 영상 모두 관전압 160kv로 촬영하였으며, 필름촬영의 경우 노출시간 50초, FFD 1000mm를 적용하였다.

시험결과 착화기, 열전지, 점화기 모두 디지털 방사선투과영상에서 월등히 높은 선명도를 보여주었으며, 이는 소프트웨어를 통해 히스토그램을 조정하여 관심영역을 설정할 수 있다는 점에서 많은 차이를 보여주었다. 특히 세가지 품목 모두 내부 재질이 균일하게 이루어진 제품이 아닌, 복합물질로 이루어져 있어 명암의 가시영역을 설정하는 것은 영상평가 측면에서 매우 중요하게 작용하였다. 또한 이러한 복합체의 경우 필름촬영방식 촬영 시 최적의 촬영조건(전압, 노출시간, FFD)을 도출하는 것이 매우 어렵고, 이에 따라 많은 촬영과 시간을 통해 조건을 찾아야 하는 측면에서 많은 비효율이 발생하였다. 이에 따라, 단일 재질로 이루어진 제품의 경우도 동일한 결과를 얻는지 확인하기 위해 용접부 결합시편을 이용하여 비교시험을 진행하였다[5].

3.1.4 표준결함시편

박상기 등은 2011년 용접부에 대해 방사선투과영상과 필름 방사선투과영상의 상질을 비교하는 연구등을 수

행하였으며, 기존 필름방식에 비해 디지털 투과검사 영상이 분해능과 선명도 측면에서 뛰어난 사례를 제시하였다. 그러나, 국내 및 국제 표준에서는 감광 입자크기 측면에서 필름이 장점을 가지고 있어 일반적으로 필름방식이 선명도 측면에서는 우수할 것으로 추정하고 있다[1]. 본 연구에서는 균일한 재질로 이루어진 용접부에 대해 여러번 촬영하여, 최적화된 촬영 조건에서의 두 시험결과를 비교하고자 하였다. 시험대상 결함시편의 형상과 도면은 Fig. 6과 같다.

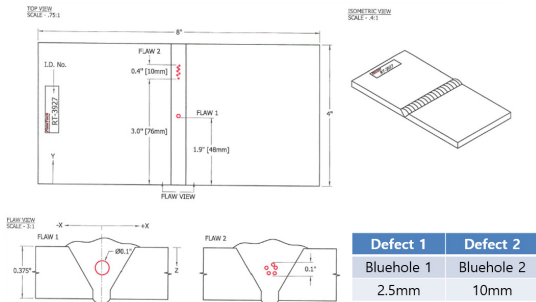


Fig. 6. Welded specimen drawing

단일 기공과 균집 기공 두 개의 결함이 존재하는 시편으로 제작하였으며, 각 결함의 크기는 2.5mm, 10mm이다. 시료의 두께는 9.5T(0.375in)이며, 재질은 강으로 이루어져 있다. 두 품목의 상질 평가를 위해 상질계는 ASTM A상질계를 사용하였으며 1번부터 6번선을 차례로 식별하고자 하였다. 상질계의 배치는 KS-0845에 따라 가는선이 밖으로 위치하도록 용접부 양쪽 끝에 두 개 배치하였으며 촬영결과는 Fig. 7과 같다[6].

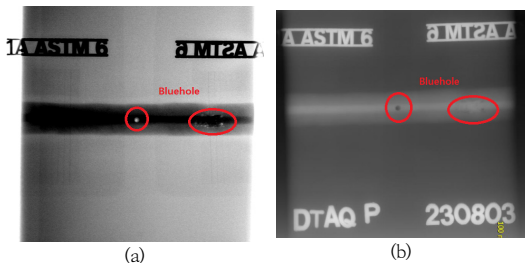


Fig. 7. Welded specimen
(a) Digital X-ray (b) Film X-ray

시험조건은 두 영상 모두 관전압 160kv로 설정하였으며, 디지털 시험장비의 경우 노출전류 500 μ A로 설정하였다. 필름영상은 노출전류 5mA, FFD 500mm, 노출시

간 55초로 설정하였으며 필름은 통상적으로 사용되는 fujifilm #80과 동급의 코닥 MX125필름을 이용하였다. 디지털 투과시험의 경우 실시간으로 시험편의 위치 및 명암, 히스토그램 등을 조정하여 선명도가 최대인 조건에서 촬영하였으며, 필름영상도 여러번 촬영한 결과 중 상질이 가장 높은 영상으로 선정하였다. 시험결과 디지털 투과시험에서 식별된 선은 3번선(0.13mm)으로 확인되었으며, 필름 영상의 경우 KS-0845 관찰기 휘도를 만족하는 판독기로 판독 시 2번선(0.1mm)까지 식별되었다. 두 가지 시험결과 모두 KS 규격(9.5T 기준 최소 0.16mm 선 식별될 것)은 만족하였으나, 필름방식에서 1단계 더 높은 상질을 보여주었다. 그러나 해당 결과는 여러번의 촬영을 통해 필름방식이 가장 상질이 높은 기준으로 비교하였으며, 일반적인 ASTM과 KS규격에 따라 전압과 노출시간을 적용시킬 경우 디지털 투과시험방법과 동일하거나 낮은 상질을 보여준 경우가 일반적이었다. 즉, 균일한 재질로 구성된 용접부의 시험결과 필름영상 촬영 시 낮은 전압과 높은 노출시간 조건으로 다량의 촬영을 통해 최적의 시험결과를 도출할 경우에 한해 디지털 투과방법에 비해 최대 1단계 이상의 상질을 보여줄 수 있으나, 통상 사용하는 노출도표를 이용하여 최저노출시간으로 촬영 시 디지털 투과영상에 비해 상질이 같거나 낮음을 확인하였다. 영상촬영 시 기하학적 불선명도는 양쪽 모두 낮은 조건으로 촬영하였으며, 디지털 시험장비의 경우 기하학적 불선명도를 감소시키기 위해 별도의 지구를 이용하여 Fig. 8과 같이 최대한 디텍터와 근접하여 촬영하였다.



Fig. 8. Test plaement

3.2 적합성 평가

방사선 비파괴검사 시 가장 중요한 요건 중 하나는 시험방법의 적합성 충족여부를 평가하는 것이다. 일반적으로 해당 시험영상이 적합성이 검증되지 않은 경우 결함

을 판정하지 않으며 요구상질, 농도, 기하학적 불선명도가 충족되지 않은 경우 규격 불만족으로 판독대상에서 제외된다. 디지털 방사선투과시험의 경우 필름 농도조건은 제외되어, 상질과 기하학적 불선명도 두 가지를 주요 적합성 요건으로 평가한다. 상질의 규격 적합성은 상질계 요건충족 확인을 통해 필름방법과 동일하게 평가가 가능하지만, 기하학적 불선명도의 경우 필름방식과 차이점이 있다. 일반적으로 사용되는 디지털 방사선투과장비의 경우 장비 특성상 시료와 디텍터 사이의 거리가 상당히 떨어져 있어, 시험편에 필름을 부착하여 촬영하는 방식과 큰 차이가 발생한다.

이로 인해, ASTM 등에서는 디지털 디텍터의 기하학적 불선명도 계산 방법을 별도로 규정하고 있으며 총 상 불선명도 계산수식은 Eq. (1, 2)와 같다.

$$U_{Im} = \frac{1}{v} \sqrt[3]{U_g^3 + (2 \times SR_b^{detector})^3} \quad (1)$$

v = the geometric magnification, and
 U_g = the geometrical unsharpness calculated in accordance with Eq 2.

$$U_g = (v - 1) * \Phi \quad (2)$$

Φ = the focal spot size.

위 식과 같이 총 상 불선명도는 X-ray 발생장치의 focal spot size와 배율(시험편과 디텍터가 매우 근접한 경우 1로 간주), $SR_b^{detector}$ 를 대입하여 계산할 수 있다. 해당 식에서 디지털 디텍터에 시험편이 매우 근접한 경우 기하학적 불선명도와 배율을 소거할 수 있으며, 이에 따라 총 상불선명도는 $SR_b^{detector}$ 값의 두 배로 계산될 수 있다. 즉, $SR_b^{detector}$ 값에 따라 총 상 불선명도를 도출할 수 있으며, KS B ISO 19232-5(쌍선형 상질계를 이용한 상의 불선명도 및 기본 공간 분해능 값의 결정)에 따라 쌍선형 상질계의 계측을 통해 해당 값을 확인 할 수 있다. $SR_b^{detector}$ 는 디지털 영상에서 측정된 검출기 불선명도의 절반에 해당하는 값으로 쌍선형 상질계의 가장 작은 번호 또는 선형화된 프로파일에서 변조 깊이가 20%미만인 쌍선의 가장 작은번호로 결정되며, 시험편 없이 상질계를 디지털 검출기 위에 놓고 측정한다. 측정된 결과는 Fig. 9와 같으며, ISO 19232-5규격에 따라 제작된 쌍선형 상질계를 이용하였다[4].

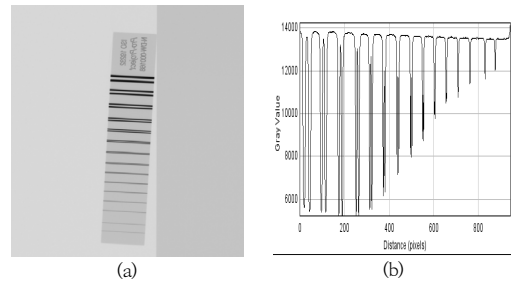


Fig. 9. Duplex wire test
 (a) Duplex Wire X-ray (b) Profile test

쌍선형 상질계는 총 13개의 식별선이 있으며 이 중 변조깊이가 20%미만인 가장 작은번호에 해당하는 $SR_b^{detector}$ 을 확인할 수 있다. 프로파일 변조깊이 분석 결과 쌍선 12번(D12)이 식별되었으며 해당하는 $SR_b^{detector}$ 값은 0.063mm로 확인되었다. 해당 불선명도 값은 매우 낮은 값으로, 디지털 디텍터의 유효픽셀의 크기가 작아 선명도가 높은 것으로 확인된다[7].

동일한 시험을 일정두께를 가지는 시험편 위에 쌍선형 상질계를 부착하여 시험한 결과, ASTM 2698에서 요구하는 기하학적 불선명도 값을 만족하는 것을 확인하였으며, 이는 장비의 디지털 검출기 스펙에 따라 좌우되는 것으로 확인된다. 만약 시험편이

디지털 검출기와 일정간격 떨어져 있는 경우 식(1,2)에 따라 기하학적 불선명도와 X선 발생장치 Focal spot size에 의해 결정되며, 마이크로 Focal spot장비를 사용하는 경우 낮은 불선명도 획득이 가능할 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 국방 분야 디지털 방사선투과시험 적용을 위해 해당 시험방법의 적용가능성과 적합성, 해외 규격충족 여부 등을 검토하였다. 디지털 비파괴시험방법의 경우 기존 필름을 이용한 방사선 투과시험에 비해 경제적 측면(시간, 비용)과 안전(방사선 피폭)측면에 매우 우수하며, 유도탄 주요 구성품 대상으로 적용한 결과 필름 방식에 비해 매우 높은 상질을 획득할 수 있었다. 특히, 복합재질로 이루어진 구성품에 대하여 높은 선명도를 확인할 수 있었으며, 이는 소프트웨어를 활용하여 관심영역 설정 및 히스토그램 조정등의 기법들이 높은 상질을 획득하는데 핵심 요건으로 확인되었다. 반면, 강의 용접

부와 같이 균일한 재질로 이루어진 시험편의 경우 여러 번의 촬영을 통해 최적조건을 도출하고 낮은전압과 높은 노출시간을 적용한 경우 필름방법이 디지털 투과시험에 비해 비교적 높은 상질을 얻는 사례도 확인하였으나, 일반적인 촬영 시 두 영상이 가지는 상질 차이는 매우 적었다.

특히, 본 연구를 통해 디지털 방사선투과시험의 주요 적합성 평가 요건 중 하나인 총 상 불선명도의 규격적합성을 검토하였으며, 필름방식의 기하학적 불선명도를 대신하여 영상의 상질을 평가하는 척도를 평가하였다. 종합적으로 상질, 불선명도, 명암(필름농도) 측면에서 디지털 방사선투과시험은 필름을 이용한 방식과 비교하여 매우 우수한 결과를 보여주었으며 기존 필름방식을 대신하여 사용할 정도의 우수성과 적합성의 검증이 이루어졌다고 평가할 수 있다. 특히 본 연구결과를 기반으로 국방기술품질원에서는 디지털 방사선투과시험에 관한 단계표준 제정을 추진중이며 이를 기반으로 국방분야 적용확대를 추진하고 있다. 그러나, 디지털 방사선투과시험의 한계와, 필름방식 대비 단점도 명확하여, 이를 위한 대책도 필요한 것이 현실이다. 디지털 영상의 경우 내부선원 촬영법(감마선원을 내부에 삽입하여 촬영하는 기술)이 매우 제한되며, 또한 이중벽 촬영 등 파이프 형태 시험편 촬영은 현실적으로 어려운 편이다. 이러한 제한점에도 불구하고 디지털 방사선투과시험 방법은 기존 아날로그(필름)방식에 비해 여러 강점을 가지고 있어 해당 시험방법의 적용을 확대하는 것은 비파괴산업 발전 측면에서 매우 중요하다고 볼 수 있다.

최근 방사선에 대한 안전이슈가 더욱 부각되어 방사선 작업종사자의 피폭량 감소가 매우 중요한 시점에서 디지털 방사선투과시험방법은 이를 보완할 수 있는 방법이라 볼 수 있다. 그러나 현재 국내 관련 표준과 규격이 매우 부족한 실정임에 따라 그 적용범위가 매우 제한되고 있다. 향후에도 유도탄분야 뿐만아니라 다양한 시험편과 산업분야에 디지털 시험방법의 필요성과 적합성에 관한 후속연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

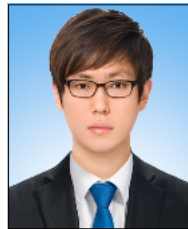
Examination Aerospace Industrial Aluminium Castings," Summer Congress of Korea Electrical Society, pp. 1766-1767 (2010)

DOI: <http://dx.doi.org/10.7779/JKSNT.2021.41.5.289>

- [3] Sang-Ki Park : The study of Application Digital Radiography for Weldments, Proceedings of the Autumn Annual Meeting of Korean Welding and Joining Society (2008), 39 (in Korean)
DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.580-582.105>
- [4] ASTM E2698-18 "Standard Practice for Radiographic Examination using Digital Detector Arrays", 2018
- [5] Gyeong Hwan Park, "A Study on The Application of Neutron Non-Destructive Testing Technology to The Field of Guided Missile Reliability Evaluation," Journal of the Korea Academia -Industrialcooperation Society., Vol. 24, No. 9 pp. 187-193, 2023
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.9.187>
- [6] KS B 0845 "Radiographic examination for welded joints in steel", 2021
- [7] KS B ISO 19232-5 "Non-destructive testing — Image quality of radiographs —Part 5: Determination of the image unsharpness and basic spatialresolution value using duplex wire-type image quality indicators" 2018

박 경 환(Gyeong Hwan Park)

[정회원]



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

<관심분야>

비파괴검사, 신뢰성연구, 열전지, 방사선, 원자력

References

- [1] S. K. Park, Y. S. Ahn and D. S. Gil, "Study on the Image Quality Comparison between in Digital RT and Film RT," *J. Korean Soc. Nondestruct. Test.*, Vol. 31, No. 4, pp. 391-397(2011)
- [2] M. H. Nam, H. Jang, S. W. Park and C. S. Chung, "Real Time Digital Radiography System Development for

이 민 희(Min-hee Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 부산대학교 유기소재시스템공학과 (공학학사)
- 2013년 2월 : 부산대학교 유기소재시스템공학과 (공학석사)
- 2022년 6월 : 국제신뢰성기사
- 2021년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 의류학과(박사과정)

• 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

섬유 및 고분자 공학, 인간공학, 온열생리학, 신뢰성, 표준 개발

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 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국항공대학교 기계공학과 졸업
- 2019년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

박 순 우(Soonwoo Park)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2022년 2월 : 경북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 2022년 3월 ~ 2022년 12월 : 경북대학교 전기공학과 박사후연구원

• 2022년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 국방신뢰성센터 연구원

<관심분야>

초고주파회로, 안테나, 메타표면