연 구 논 문

디지털 방사선투과영상의 정밀성 평가에 관한 연구

박 상 기*,† · 안 연 식* · 길 두 송*

*전력연구원 원자력발전연구소

An Assessment of the Accuracy for Digital Radiography Image

Sang-Ki Park*,†, Yean-Shik Ahn* and Doo-Song Gil*

*Nuclear Power Laboratory Korea Electric Power Research Institute, Daejeon 305-760, Korea

†Corresponding author : skpak@kepri.re.kr
(Received November 3, 2008 ; Revised December 22, 2008 ; Accepted April 7, 2009)

Abstract

Film based radiography imaging technique has been applied to the non-destructive test in medical, aircraft, and power industries contributing to the development of the industries.

However, the complex process for imaging and analysis has increasingly demanded the reformation of the radiography test. A digital radiography imaging technologies has been com out from the demand. This study was mainly focused on the assessment on the accuracy for the each image from digital radiography test and film radiography test was proven to crate a better image in sensitivity than film radiography test. In the IQI (Image quality indicator) transmission test, one or two more line can be seen in digital image than in film image.

When applying to the boiler tube weld, film image is detectable to the 1.0mm depth flaw; and digital image to the 0.5mm depth flaw. As a result of this study, digital radiography technology is determined to enhance the image quality, compared to film radiography technologies

Key Words : Non-destructive test, Digital radiography, Welding inspection

1. 서 론

용접작업은 고온의 열을 가열하여 용착금속을 용융하여 단시간에 접합하는 작업으로 용접시공 중 결함이 발생할 가능성이 높기 때문에 방사선투과검사를 실시하여 용접부내 결함을 검출하고 있다. 화력발전소는 수많은 용접부로 이루어져 있으며 이들중 하나라도 손상되면, 발전소를 정지해야 함으로 안정적인 발전소 운전을 위해서는 용접부 품질확보가 필수적으로 요구된다. 현재 발전소 용접부에 대한 방사선투과검사법은 용접부에 방사선을 투과하여 투과된 방사선이 필름을 감광시켜 잠상을 얻게 하고, 그 필름을 암실에서 현상하여 용접부에 결함존재 여부를 확인하는 방법을 적용하고 있다. 이러한 방법은 비용과 시간이 많이 소요되고 이제 차츰 사라져가는 전환기에서 있으며, 이를 대체할 시험법으로 디지털 방사선투과검사법이 주목되고 있다. 디지털 방사선투과검사(digital radiography inspection)는 반도체형 미소 array pixel sensor나 광자극성 인광물질의 영상판을 이용하여 방사선투과영상을 획득하는 방법으로서 필름 현상작업이 필요 없어 검사비용과 공정을 줄일 수 있고, 방사선 노출시간을 기존의 1/10로 대폭 줄일 수 있어 방사선투과검사의 획기적인 전기가 되고 있다[1]. 본 연구는 용접부에 대하여 디지털 방사선투과시험에 의한 영상과 기존 필름을 이용한 방사선투과시험에 의한 영상을 비교평가 함으로서 디지털 방사선투과시험법의 비파괴검사 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 디지털 방사선 원리 및 종류

디지털 방사선 투과영상을 취득하는 방법에 따라 직접방식과 간접방식으로 구분된다. 직접방식(directed digital radiography)은 Ar-Si, Ar-Se, CMOS등과 같은 반도체형 센서에 의해 투과영상을 획득하는 방식으로 Fig. 1은 디지털 방사선 센서의 구조를 나타내고 있다.

Fig. 1에서 신티레이터(scintillator)는 방사선이 센서에 조사될 때 방사선을 빛으로 변환하는 역할을 하는 물질이고 매트릭스 형태의 미소한 반도체 센서들은 빛을 전기적 신호로 변환하는 역할을 한다. 이 전기적 신호를 증폭한 후 아날로그-디지털 변환기를 거치면서 디지털 투과영상으로 표현하게 된다. 직접방식은 센서와 운용컴퓨터와 온라인으로 연결되어 있어 투과시험을 완료하는 즉시 투과영상을 모니터에서 관찰할 수 있다. 간접방식(computed radiography)은 시험체를 투과한 방사선이 광자극성 인광물질(photostimulable phosphor)이 도포된 영상판(imaging plate)을 감광시키고 영상판에 방사선 에너지가 저장된다. 방사선투과 에너지가 축적된 영상판에 680 nm 파장의 적색 레이저를 노출하게 되면 방사선에 노출된 량에 비례하는 세기의 형광빛을 발하며, 포획된 전자를 방출시켜 Eu^{+3}를 Eu^{+2}로 환원시킨다. 이 때, PSP에서 약 300~500 ㎚의 녹색 빛을 발생 하게 되며, 이 빛을 PMT(photo multiplier tube)에서 전기신호로 변환시킨다. 그 후 아날로그-디지털 변환기에 의해 디지털 신호로 변환되어 영상 정보로서 기록되며, Fig. 2는 computed radiography imaging system 구조를 나타내고 있다[2].

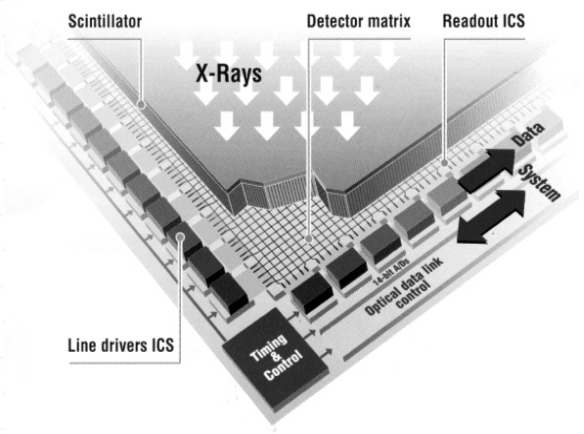


Fig. 1 Structure of digital radiography sensor

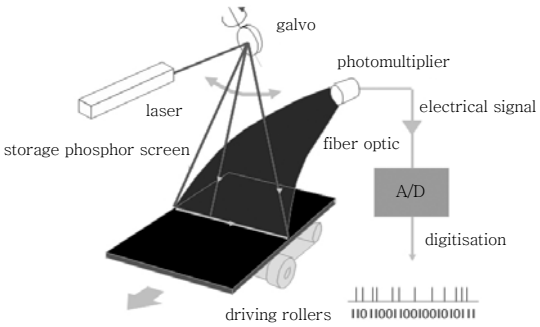


Fig. 2 Structure of computed radiography imaging system

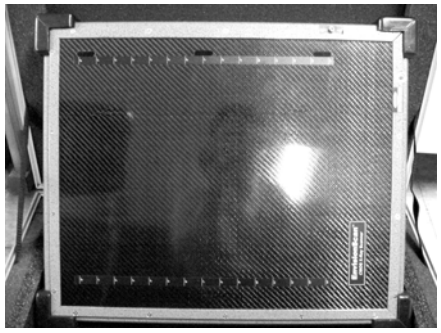
3. 디지털 방사선투과영상평가

용접부에 대해 디지털 방사선 투과시험을 실시하고 취득한 투과영상을 필름의 아날로그 영상과 비교하고자 하였다.

3.1 시험장치

3.1.1 디지털 방사선영상시스템

방사선 투과시험의 영상획득을 위하여 CMOS pixel 크기가 80㎛인 flat panel detect와 고해상도의 모니터, 그리고 컴퓨터로 구성된 디지털 방사선 영상시스템을 사용하였다. Fig. 3은 시험에 사용된 디지털 방사선 영상시스템이며, 이 시스템의 사양은 Table 1과 같다[3].



(a) CMOS flat panel

(b) High resolution monitor

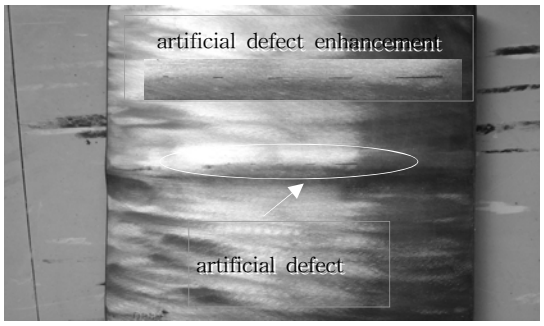
Fig. 3 Digital radiography imaging system

Table 1 Specification of digital radiography imaging system

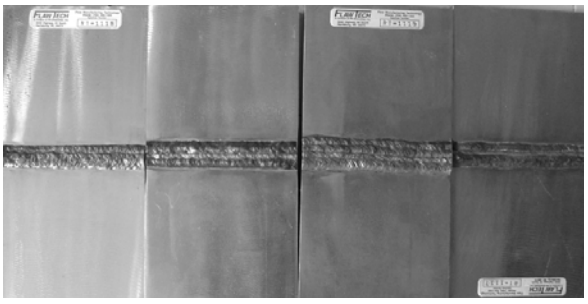
Item	Specification
Sensor type	CMOS
Sensor pixel size	80 micron
Flat panel size	305 × 356 mm
Monitor resolution	2048 × 2560
Control PC	2GHz P4 1GB ram

3.1.2 용접시험편

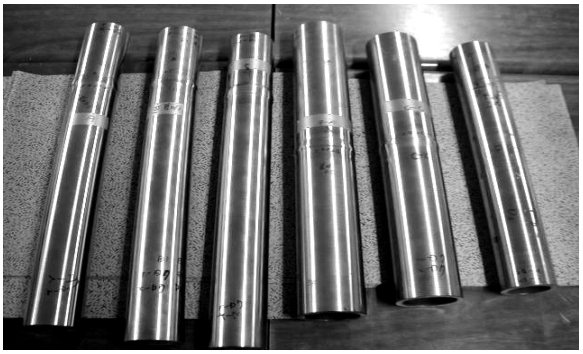
시험에 사용된 시험편은 화력발전소 재열증기 배관과 보일러튜브를 사용하였으며, 용접부 미소결함 검출정도 확인을 위해 재열증기 배관은 Fig. 4의(a)와 같이



(a) Specimen of weldment



(b) Specimens of plate weldment



(c) Boiler tube

Fig. 4 Radiography test specimen

Table 2 Specification of test specimens

specimen	material	size(mm)
reheat steam pipe	A335-P12	¢710 × t 20
superheat tube	TP-347H-T11	¢51 × t 8
reheat tube	2.25Cr1Mo	¢61 × t 6
plate weldment	carbon steel	10t~18t

200×200mm의 크기로 절단한 후 용접 비드에 방전가공으로 미소한 선형 인공결함을 가공하였다. 인공결함은 깊이가 각 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm이고, 길이가 1mm, 2mm, 3mm, 5mm, 10mm의 결함을 가공하였다. 보일러튜브 용접부에는 결함깊이가 0.5mm이고 길이가 1mm, 2.0mm, 3.0mm인 선형결함과 직경 1mm, 2mm이고 깊이 1mm, 2mm, 3mm의 원형결함을 가공하였다.

평판 용접시험편은 Fig. 4 (b)와 같이 미국 Flowtech 사에서 제작한 시험편을 사용하였으며, 시험에 사용된 시험편의 사양은 Table 2와 같다.

3.1.3 투과영상 평가 기준시험편

기존 필름을 이용한 방사선투과시험에서 투과영상의 정도를 평가하기 위해 투과도계식별도가 이용되는데, 이번 디지털 방사선투과시험에는 투과도계와 함께 라인페어게이지(line pair gauge)[4]가 추가적으로 사용되었다.

3.2 용접부 방사선투과시험

3.2.1 디지털 방사선투과 시험

디지털 방사선투과시험은 Fig. 6과 같이 평판형 센서(flat panel sensor) 위에 용접시험편을 올려놓고 X-ray를 노출시켜 Fig. 8과 같은 투과영상을 취득하였다. 시험조건은 SSD(focal spot to sensor distance)를 650mm로 유지하고 방사선은 전압 160㎸, 전류 1㎃A

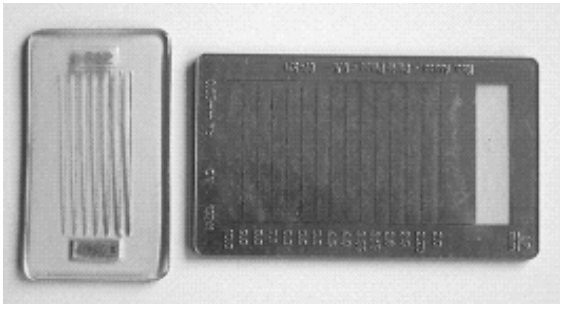


Fig. 5 Image quality indicator and line pair gauge

의 X-ray 에너지를 사용하였다. 시험에 앞서 디지털 영상시스템의 정밀도 확인을 위해 용접부에 라인페어게이지(line pair gauge)를 배치하여 촬영한 결과 투과영상에서 6.3 line pair까지 구분할 수 있어 detector의 정밀도가 80㎛ 임을 확인하였다. 재열증기 배관 용접시험편의 선형결함에 대한 디지털 방사선투과시험결과 깊이 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm의 모든 결함에 대해서도 검출을 할 수 있었다. 보일러튜브 시험편에서도 깊이가 0.5mm이고 길이가 1mm의 선형결함을 검출할 수 있었으며, 원형결함도 깊이 0.5mm, 1mm, 2mm, 직경 1mm, 2mm의 결함 모두 검출되었다.

3.2.2 필름을 이용한 방사선투과시험

필름을 이용한 방사선투과시험은 고해상도 필름인 Type Ⅰ을 사용하였으며, 시험방법은 Fig. 7과 같이 필름과 X-ray시험기 초점과의 거리를 650mm로 설정하여 시험하였다. 재열증기배관 용접시험편을 촬영한 투과영상을 판독한 결과 깊이 0.5mm인 선형결함은 검출되지 않았으며, 깊이 1mm 이상의 결함들은 모두 검출되었다. 보일러튜브 용접부는 결함이 선원측에 존재할 경우 깊이 0.5mm, 1mm의 결함은 검출되지 않았으며, 결함이 필름측에 존재할 경우는 깊이 1mm 이상의 결함만 검출되었다.

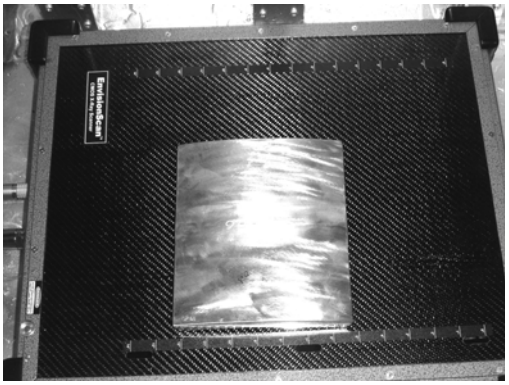


Fig. 6 Specimen and flat panel

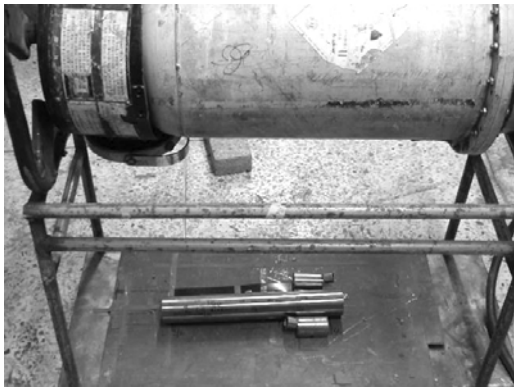
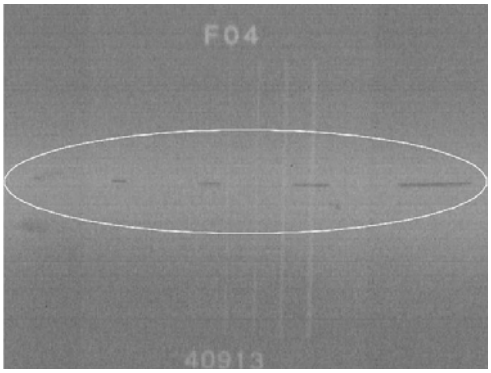


Fig. 7 X-ray test by conventional radiography

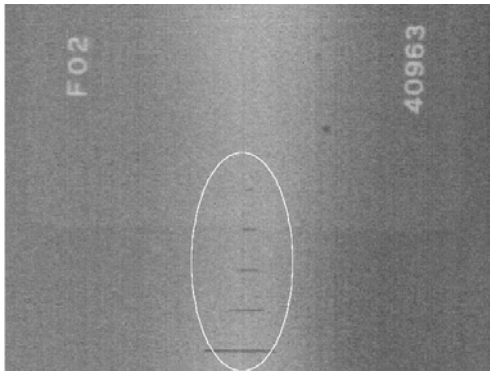
3.3 방사선투과 영상 취득 및 비교분석

방사선투과시험으로 Fig. 8, Fig. 9의 디지털방사선투과영상과 Fig. 10의 아날로그 투과영상을 취득되었다.

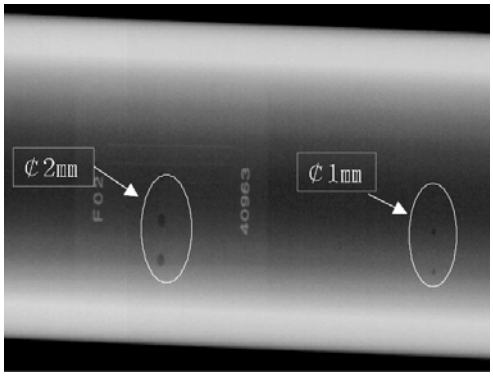
Fig. 9는 digital radiography에 의해 취득한 방사선투과영상이고, Fig. 10은 기존 아날로그 방식의 필름에 의해 촬영된 방사선투과영상이다.



(a) Depth 0.5mm line defect

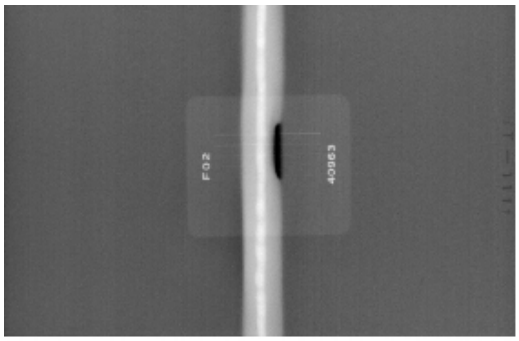


(b) Depth 2㎜ line defect

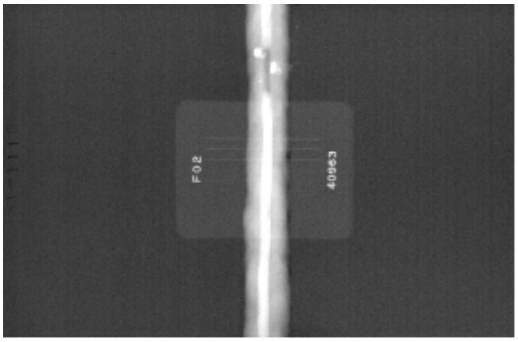


(c) Round defect image of Boiler tube

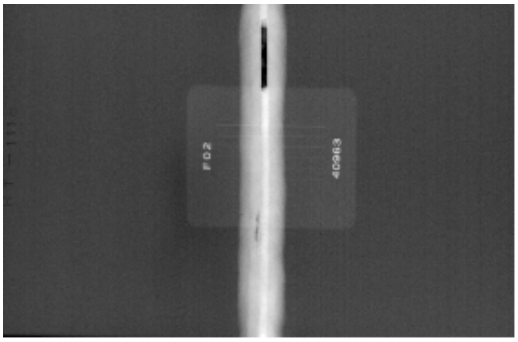
Fig. 8 Digital radiography test image



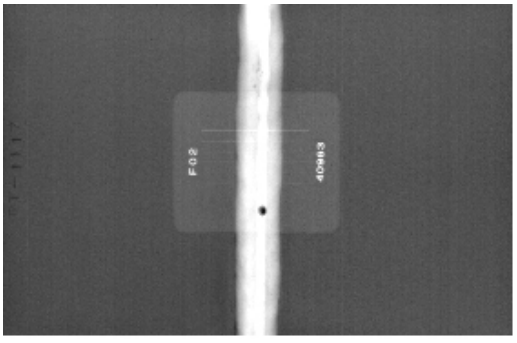
(a) Incomplete groove defect image



(b) Weld spatter defect image

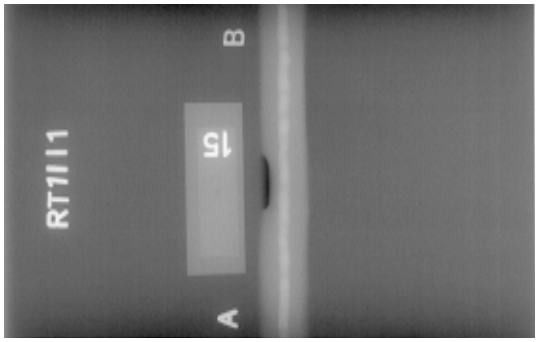


(c) Incomplete penetration defect image

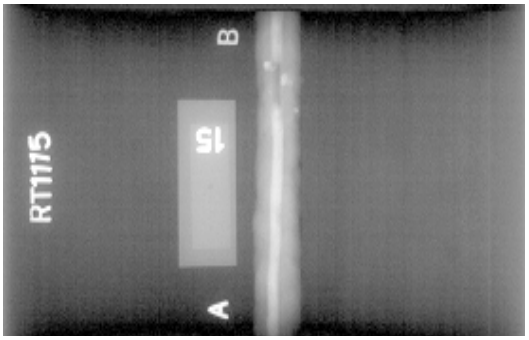


(d) Single gas pore defect image

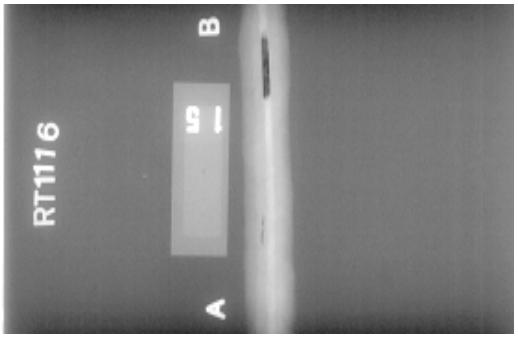
Fig. 9 Digital radiography image



(a) Incomplete groove defect image



(b) Weld spatter defect image



(c) Incomplete penetration defect image

(d) Single gas pore defect image

Fig. 10 Conventional X-ray test image

3.4 방사선투과영상 비교분석

방사선투과영상에 영향을 미치는 인자로는 농도(density), 대조도(contrast) 그리고 투과도계 식별도(resolution)를 들 수 있다. 농도는 영상의 검고 흰 흑화도를 말하고, 대조도는 명암의 차를 나타내며, 투과도계 식별도는 투과영상에서 인식할 수 있는 최소 크기를 나타낸다. 농도는 촬영시나 현상중에 농도를 조절할 수 있기 때문에 디지털 영상과 아날로그 영상의 비교시 평가인자로 적합하지가 않다. 또 대조도는 투과영상에서 측정을 할 수 없어 본 연구에서는 비교 대상인자로 활용하지 않았다. 본 연구에서는 방사선투과시험에서 주로 사

Table 3 Sensitivity of image quality indicator

specimen	thick -ness	digital x-ray image		film image	
		line diameter	rate	line diameter	rate
reheat pipe	20mm	0.20mm	1.0%	0.20mm	1.0%
superheat tube	8mm	0.125mm	0.8%	0.16mm	1.0%
reheat tube	6mm	0.125mm	1.0%	0.16mm	1.3%
plate weldment	10mm	0.125mm	1.3%	0.16mm	1.6%
plate weldment	15mm	0.16mm	1.1%	0.20mm	1.3%

용하고 있는 투과도계 식별도 위주로 비교평가 하였고 용접부에 가공한 인공결함의 검출여부를 확인하여 비교하였다.

3.4.1 투과도계 식별도 비교

투과도계식별도는 Fig. 5와 같이 가는 철선이 있는 투과도계를 시험편과 함께 촬영을 한 후 투과영상에서 영상에서 인식할 수 있는 투과도계 최소선 지름을 시험재료의 투과두께로 나누어 백분율로 한 수치이다. 디지털 방사선과 기존의 방법으로 취득한 영상을 비교하여 Table 3으로 나타내었다. 디지털 방사선투과 영상에서 필름에 나타난 투과도계 식별선보다 더욱 미세한 식별선을 검출할 수 있었으므로 식별도가 우수하였음을 확인 할 수 있었다[5].

3.4.2 결함 검출능 비교

단벽투과영상(single wall single image)으로 취득한 reheat pipe 용접시험편 시험편에서 디지털 방사선 투과시험에서는 깊이 0.5mm의 결함을 검출할 수 있었으나 필름에서는 깊이 1.0mm이상의 결함만 검출할 수 있었다. 이중벽투과영상(double wall double image)로 취득한 보일러튜브 시험의 영상에서는 디지털 방사선투과시험 영상은 필름측에서는 0.5mm, 선원측에서는 1mm 깊이의 선형결함을 검출할 수 있었다. 필름에서는 필름측 방향에 결함이 존재할 경우 깊이 1mm의 선형결함이 검출되었고, 선원측의 방향으로 결함이 존재할 경우는 깊이 0.5mm와 1mm의 결함은 검출되지 않았다. 반면에 공간형태를 가지는 결함 검출시험에서는 직경이 1mm이고 깊이가 0.5mm인 원형결함에 대해서 디지털 방사선과 필름의 영상 모두에서 검출할 수 있었다. 이는 미소균열 형태의 결함은 방사선의 선원과 수직이 아닐 경우 영상이 확산되어 흐려지는 것에 비해 원형결함은 선원과 수직이 아니어도 공간을 형성함으로서 검출이 잘되는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 9의 디지털 영상과 Fig. 10의 아날로그영상에서 영상의 차이를 육안으로도 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 두 방법간의 비교결과 전반적으로 디지털 방사선투과영상이 필름의 영상에 비해 보다 정밀한 검사를 할 수 있었는데, 그 원인으로는 필름을 사용한 방법은 검사시 방사선의 적절한 노출과 필름 현상 조건이 정확하게 이루어지지 못할 경우 투과영상의 품질이 저하되는데 비해 디지털 방사선은 방사선의 노출이 적절하지 않더라도 투과영상의 히스토그램을 조절하여 양호한 영상품질로 개선시킬 수 있었다. 또한 필름을 현상하지 않기 때문에 상질을 저하시키는 공정이 없고, 검사체의 두께가 변화하는 부위에 대해서는 동적 농도범위(dynamic density range)를 조절함으로서 각 부위별로 정밀한 검사를 할 수 있었다.

4. 결 론

디지털 방사선투과검사 기술은 영상 보관의 편리성과 비용절감 그리고 투과영상의 개선이 가능한 점이 장점으로 부각되면서 선진국을 위주로 급속히 전파가 되고 있다. 본 연구에서는 디지털 방사선투과시험의 비파괴검사 적용 가능성을 확인하기 위하여 기존의 방법인 필름에 의한 방사선투과검사와 결함의 검출능을 비교 평가하였다. 시험 결과 디지털 방사선투과 영상은 필름의 아날로그 영상에서 검출되지 않았던 깊이 0.5mm의 미소결함도 검출할 수 있었으며, 방사선 투과검사 영상의 품질을 평가하는 투과도계 식별도 면에서도 투과도계의 선이 1개 더 식별됨으로서 우수한 상질임을 확인되었다. 이러한 결과는 디지털 방사선 센서 pixel의 크기가 더욱 미세화되고 영상을 히스토그램에 의해 최적의 상태로 나타낼 수 있기 때문이다. 이번의 연구결과 디지털 방사선투과영상이 필름에 의해 취득한 아날로그 영상에 비해 검사 정밀성이 높은 것으로 확인됨으로서 디지털 방사선투과검사 기술이 확대 적용 될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. W.P. HOSCH, C. FINK :Radiation Dose Reduction Chest Radiography Flat Panel Amorphous Silicon Detector, clinical Radiology(2002), 902-907
2. INSA-CNDRI Laboratory France : Evaluation of new Digital Detectors for High Resolution Radiography Kaftandjian (2001), 35-39
3. John Pursley : Envision Product ix-pect Software Scanning Images Manual(2005), 11-18
4. H.Thiele, RADIS GmbH Germany : Radiographic Inspection of Weldings by Digital Sensors(2003), 4-5
5. 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)