

용접부에 대한 디지털 방사선투과영상과 필름 방사선투과영상의 상질 비교에 관한 연구

Study on the Image Quality Comparison between in Digital RT and Film RT

박상기*[†], 안연식*, 길두송*

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

초 록 용접부에 대한 품질 확보를 위하여 방사선투과시험을 실시하고 있으나 기존의 방사선투과시험은 필름을 사용한 아날로그 방법을 적용하고 있는데 비용과 시간이 많이 소요되고 시험 공정이 복잡하여 개선이 요구되고 있다. 본 연구에서는 용접부에 대한 디지털 방사선투과영상과 아날로그 방사선투과영상의 상질을 비교한 결과, 디지털 방사선투과영상은 디지털 영상 개선 과정으로 인하여 필름 영상에 비해 보다 세밀한 관찰을 할 수 있었다. 따라서 디지털 방사선투과시험이 개선이 요구되고 있는 기존 필름에 의한 방사선투과시험을 대체할 수 있을 것으로 평가된다.

주요용어: 디지털 방사선투과시험, 전산화 방사선투과시험, 투과도계 식별도, 비파괴검사

Abstract Conventional film radiographic test has been generally and widely used in the inspection on the weldment for quality assurance. On the other hand, since the analog RT is well known for typical time and cost consuming method with complex process of inspection, the industry has researched various ways how to improve radiographic test technology. In this study, we verified the fact that digital RT provides a lot more benefit in effectively detecting defects, ever film details, through digital processing of image enhancement, compared to film RT. As a result, we reached conclusion that digital RT is positively able to replace the film RT in industry in part or in whole

Keywords: Digital Radiography Test, Computed Radiography Test, Image Quality Indicator, Nondestructive Testing

1. 서 론

발전설비는 수많은 용접부로 이루어져 있으며, 그 중에 단 한 개만 손상되어도 발전소가 정지되기 때문에 안정적인 발전소 운영을 위해서는 용접부 품질확보가 필수적으로 요구된다. 용접은 시공중 결함이 발생할 가능성이 높기 때문에 비파괴검사를 실시하여 용접부내 결함을 검출하고 있다. 현재 발전소 건설시 용접부에 대한 비파괴

검사는 용접부에 방사선을 조사하여 투과된 방사선이 필름을 감광시켜 잠상을 얻게 하고, 그 필름을 암실에서 현상하여 용접부에 결함 존재 여부를 확인하는 방사선투과검사법을 적용하고 있다. 이러한 방법은 비용과 시간이 많이 소요되어 이제 차츰 사라져가는 전환기에 서있으며, 이를 대체할 시험법으로 디지털 방사선투과시험법이 주목되고 있다. 디지털 방사선투과시험(digital radiography)은 반도체형 미소 센서나 광자극성

인광물질의 영상판을 이용하여 방사선투과영상을 획득하는 방법으로써 필름 현상 작업이 필요 없으며, 방사선 조사시간을 기존에 비해 대폭 줄일 수 있어 방사선투과시험의 획기적인 전기가 되고 있다[1].

본 연구는 디지털 방사선투과영상의 품질 수준을 평가하고 디지털 방사선투과영상과 아날로그 방사선투과영상을 비교하여 디지털 방사선투과시험이 기존의 필름에 의한 방사선투과시험법의 대체 가능여부를 평가하고자 하였다.

2. 디지털 방사선영상의 개요

2.1. 디지털 방사선 원리 및 종류

디지털 방사선투과영상을 취득하는 방법에 따라 직접방식(directed digital radiography, DR)과 간접방식(computed radiography, CR)으로 구분된다. DR은 Ar-Si, Ar-Se, CMOS 등과 같은 반도체형 미소 센서에 의해 투과영상을 획득하는 방식으로 Fig. 1은 디지털 방사선 센서의 구조를 나타내고 있다[2].

Fig. 1에서 신티레이터(scintillator)는 방사선이 센서에 조사될 때 방사선을 빛으로 변환하는 역할을 하는 CsI 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.

DR 영상시스템은 센서와 운용컴퓨터가 온라인으로 연결되어 있어 투과시험을 완료하는 즉시 투과영상을 모니터에서 관찰할 수 있다.

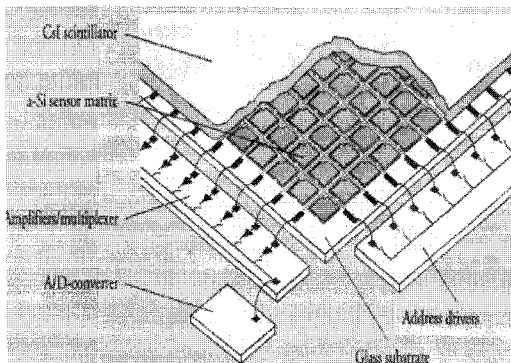


Fig. 1 Structure of DR sensor

CR은 방사선이 광자극성 인광물질(photo-stimulable phosphor)에 축적되고 발산되는 원리를 이용한다. CR은 필름 대신에 Fig. 2와 같이 5~10 μm 크기의 인광화합물인 바륨 프로라이드((Ba,Eu)FX)가 부착된 1mm 정도 두께의 영상판(imaging plate)을 사용한다. 영상판은 필름과 같이 유연하여 시험체에 구부러져 부착할 수 있다. 영상판에서 방사선 에너지를 축적하고 빛으로 발광하여 발산하는 메커니즘은 Fig. 3과 같다. 영상판에 방사선이 조사되면, Eu^{2+} 전자가 여기되어 Eu^{3+} 가 된다. 여기된 전자는 인광물질 결정격자에 포집되어 이후 약 절반의 전자는 본래의 형태로 재결합해 발광하고, 나머지 절반은 방사선 노출의 정도에 비례하여 포획된 전자와 정공의 준안정 상태로 존재하게 된다. 이렇게 축적된 방사선 에너지는 680 nm 파장의 적색 레이저에 노출하게 되면 방사선 축적한 량에 비례하는 세기의 형광 빛을 발하며, 포획된 전자를 방출시켜 Eu^{3+} 를 Eu^{2+} 로 환원시킨다. 이 때, 영상판에서 약 300~500 nm의 녹색 빛을 발생하는데, 이 빛을 광증배관에서 전기신호로 변환시키고 아날로그-디지털 변환기에 의해 디지털 신호로 변환되어 영상 정보로써 기록된다[3].



Fig. 2 External appearance of imaging plate

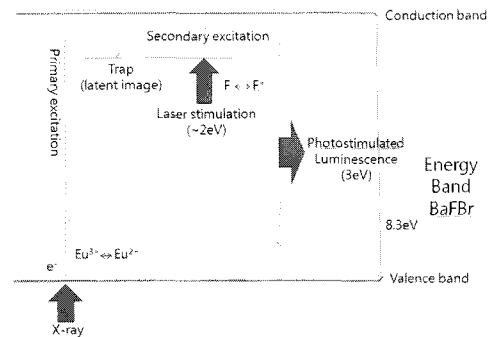
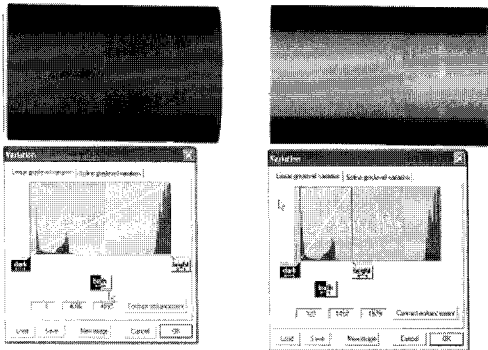


Fig. 3 Europium barium fluoride mechanism

2.2. 디지털 방사선영상의 장점

기존의 아날로그 방사선투과영상은 필름을 촬영하여 현상처리와 건조과정 등 복잡하고 많은 시간이 필요한데 비해 디지털 방사선투과영상은 DR 센서에서 취득한 영상을 바로 모니터에서 관찰할 수 있고 CR은 스캐너에서 짧은 시간에 영상 변환 과정을 거치므로 영상취득 공정이 단순하다. 또 반도체형 DR 센서와 CR 영상판은 필름에 비해 감도가 높아 시험에 필요한 방사선 조사 시간이 필름의 1/10 정도로 아주 짧다. 그리고 디지털 방사선투과영상은 디지털 데이터로써 자료를 PC나 CD에 저장할 수 있으며, 온라인으로 공유 또는 전송할 수 있다.

비파괴검사에서는 방사선투과영상을 정밀하게 관찰하여야 하는데 디지털 방사선투과영상은 디지털 영상처리기법에 의해 영상을 개선시킬 수 있어 영상의 품질을 높일 수 있다. Fig. 4는 보일러 튜브의 최초 취득한 부적절한 영상을 히스토그램을 이용하여 콘트라스트를 개선한 한 예를 보여주고 있다. 또한 방사선투과영상을 Fig. 5와 같이 영상을 확대할 수 있기 때문에 더욱 세밀한 관찰을 할 수 있다.



(a) Acquisition image (b) Enhancement image
Fig. 4 Image enhancement using histogram

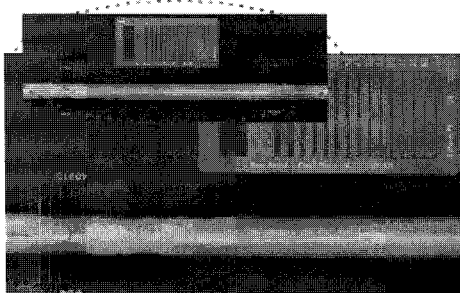


Fig. 5 Magnification of radiography image

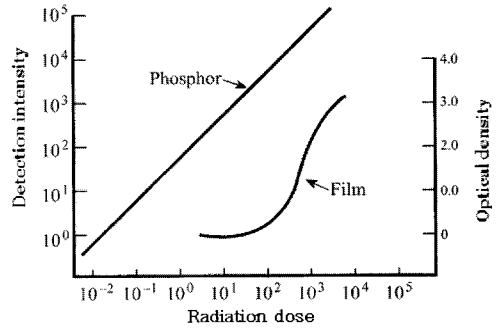


Fig. 6 Compare phosphor and film

Fig. 6은 CR 영상 취득 시 영상판에 방사선을 조사하였을 때 조사선량과 dynamic range와의 관계를 나타내고 있다. 방사선 조사선량과 검출되는 강도는 필름은 로그함수적인 곡선을 가지고 있으나 영상판의 형광체는 선형적인 관계를 가지고 있어 필름에 비하여 촬영시간이 아주 짧게 된다. 또한 필름의 농도의 동적범위는 2.0 정도인데 비하여 영상판은 5.0으로 높아 필름에 비해 두께 차이가 많이 나는 시험체를 하나의 영상으로 나타낼 수 있다. 따라서 투과영상의 관용도가 높아지게 되어 상질이 향상되는 효과도 있다[4].

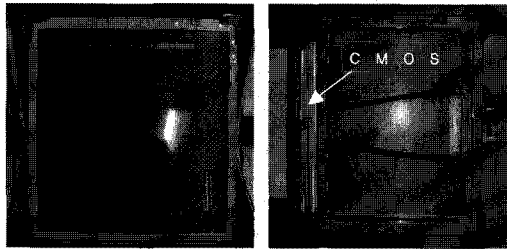
3. 디지털 방사선투과영상 취득 및 평가

디지털 방사선투과시험에 앞서 line pair gauge와 duplex-wire image quality indicator를 사용하여 디지털 방사선 영상 취득시스템의 수준을 확인하였다.

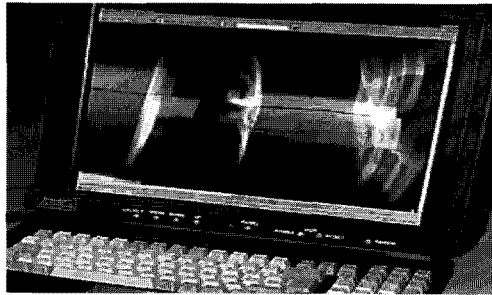
디지털 방사선투과시험은 DR과 CR 시험을 하였다.

3.1. DR에 의한 영상취득 및 평가

디지털 방사선투과영상 취득은 미국 Envision사에서 제작한 Fig. 7의 CMOS flat panel sensor를 사용하였으며, 센서의 사양은 Table 1과 같다. 디지털 방사선 센서는 감마선과 반응할 경우 방사선이 빛으로 변환되는 fill factor가 낮아져 영상의 질이 좋지 않기 때문에 DR 센서를 사용한 시험에는 X선을 사용하였다. 방사선투과영상을 취득할 시험편을 디지털 방사선 센서 위에 올려두고 X선을 조사하면서 flat panel 내부에 있는 line array CMOS 센서를 이동하면 모니터에 방사선투과영상이 나타난다.



(a) External of sensor (b) Internal of sensor



(c) High resolution monitor

Fig. 7 Digital radiography imaging system

Table 1 Specification of DR imaging system

Item	Specification
Sensor type	CMOS
Sensor pixel size	80 micron
Flat panel size	305 × 356 mm
Monitor resolution	2048 × 2560

3.1.1. 취득 영상의 평가

디지털 방사선 센서가 취득할 수 있는 영상의 공간분해능을 측정하기 위해 라인페어게이지와 선형투과도계 F02를 이용하여 방사선투과영상을 취득하였다. Fig. 8의 투과영상에서 선형투과도계 F02에서는 0.1 mm 까지 확인되었으며, line pair gauge는 영상을 Fig. 9와 같이 확대하여 관찰한 결과, 6.5 line pair 까지 구분할 수 있었다.

용접시험편에 대한 디지털 방사선투과영상을 취득하기 위하여 평판 용접시험편과 튜브 용접시험편에 160 KVP, 5 mA의 X선을 조사하여 영상을 취득하였다.

Fig. 10은 15 mm 두께의 평판 용접부 투과영상을 취득한 것으로 투과영상에서 F04 선형 투과도계의 0.25 mm 선까지 식별되었으며, 투과도계 식별도는 1.7 %로서 KS B 0845에서 요구하는 2 %를 만족하고 있다.

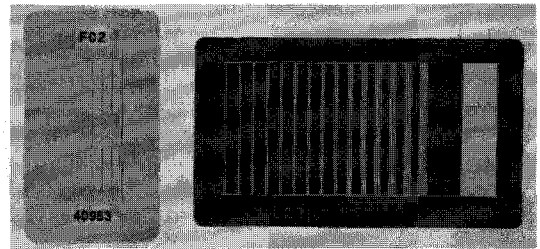


Fig. 8 Radiography image of line pair gauge

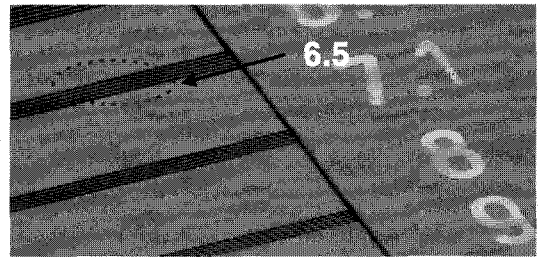
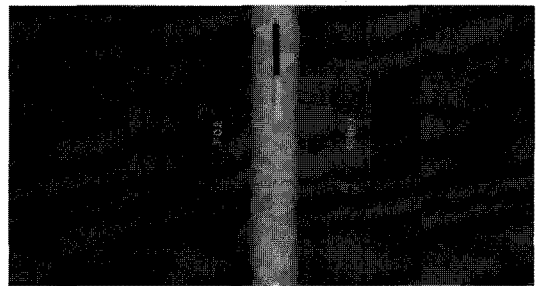


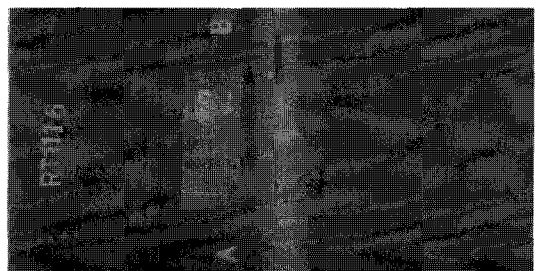
Fig. 9 Magnification of line pair gauge image



Fig. 10 Image of digital Radiography



(a) Image of digital radiography



(b) Image of analog radiography

Fig. 11 Digital image vs analog image

Fig. 11은 용입부족의 결함이 있는 12 mm 두께의 용접시험편을 디지털 방사선투과영상과 기존 아날로그 영상을 비교한 것으로써 (a) 디지털 방사선투과영상은 F02 선형투과도계의 0.2 mm 선이 식별되고, 투과도계 식별도가 1.7 %로 양호한 영상 품질이며, 육안으로도 (b) 아날로그 방사선투과영상에 비해 영상의 선명도가 우수함을 알 수 있다.

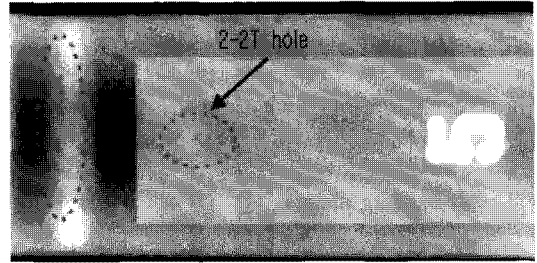


Fig. 12 Digital image of tube weldment

Fig. 12는 튜브 용접부를 디지털 방사선투과영상으로 취득한 것으로써 투과영상에서 ASTM의 유공형투과도계의 2-2T의 hole이 확인되어 양호한 영상품질임을 알 수 있으며, 용접부에서도 미소한 결함들을 확인할 수 있었다.

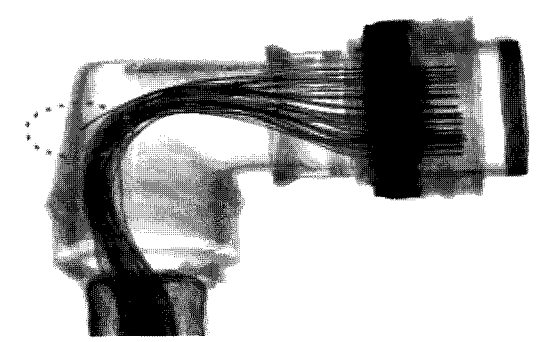
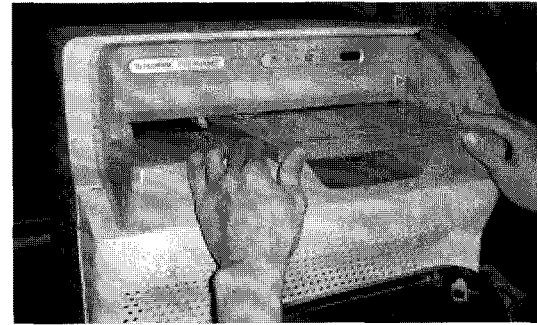


Fig. 13 Cable connector digital radiography

Fig. 13은 케이블 커넥터의 끊어진 곳을 찾기 위하여 디지털 방사선투과시험을 적용한 결과로서 0.3 mm 굵기의 선이 끊어진 것을 찾을 수 있었다.

3.2. CR에 의한 영상 취득 및 평가

CR에 의한 디지털 방사선투과영상 취득에 사용된 스캐너와 영상판은 Fuji사의 제품을 사용하였다. Fig. 14는 영상판에서 취득한 정보를 스캐너에서 디지털 영상으로 변환하는 과정을 나타내고 있다.



(a) Image plate reading

3.2.1. CR 영상시스템의 정밀도 측정

CR 영상시스템으로 방사선투과영상을 취득 시 정밀도가 어느 정도인지를 확인하기 위하여 ASTM E2002 duplex-wire image quality indicator를 사용하여 방사선투과영상을 취득하였다.

Duplex-wire image quality indicator는 Fig. 15와 같이 두개의 가는 선이 1조로 이루어져 있으며, 불선명도와 공간분해능을 측정하는데 사용된다. 측정하는 방법은 ASTM E2446으로 규정하고 있으며, 방사선투과영상의 gray scale에서 두 선을 구분하는 골의 높이가 20% 이상이 되는 번호를 Table 2에서 찾아 그 번호에 해당하는 불선명도와 공간분해능을 읽으면 된다[5].



(b) Image observation

Fig. 16은 duplex-wire image quality indicator에 대해 CR시험을 실시하여 취득한 방사선투과영상으로 gray scale에서 10번 선이 확인되었으며, Table 2에서 불선명도는 0.20 mm, 공간 분해능은 0.10 mm로서 5.0 line pair로 평가되었다.

Fig. 14 CR imaging transformation process

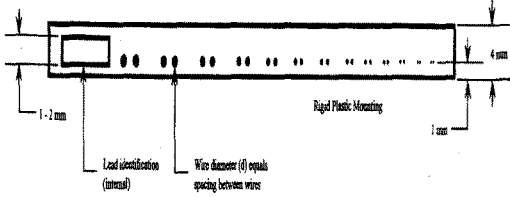


Fig. 15 Duplex-wire image quality indicator

Table 2 Element number, unsharpness

Element Number	Corresponding Unsharpness (mm)	Wire Diameter and Spacing, d (mm)	Tolerance of Wire Diameter and Wire Spacing (mm)
Pt ^a	13	0.10	0.05
Pt	12	0.13	0.063
Pt	11	0.16	0.08
Pt	10	0.20	0.10
Pt	9	0.26	0.13
Pt	8	0.32	0.16
Pt	7	0.40	0.20
Pt	6	0.50	0.25
Pt	5	0.64	0.32
Pt	4	0.80	0.40
W ^c	3	1.00	0.50
W	2	1.26	0.63
W	1	1.60	0.80

^a This table is based on data provided in EN 462-5.
^b Pt = Platinum.
^c W = Tungsten.

다. 기존 필름에 의한 방사선투과영상의 식별도를 확인하기 위하여 방사선투과시험을 실시하여 Fig. 18과 같은 방사선투과영상을 취득하였으며, 방사선투과영상의 품질을 확인한 결과 0.32 mm의 투과도계 식별선이 확인되었다. CR에 의한 방사선투과영상 취득을 위하여 Fig. 19와 같이 보일러 튜브 용접부에 대한 방사선투과시험을 실시하였다.

Fig. 20은 CR 시험으로 취득된 방사선투과영상이다.

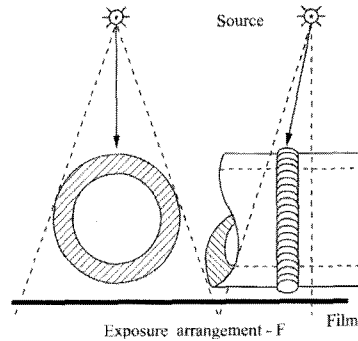
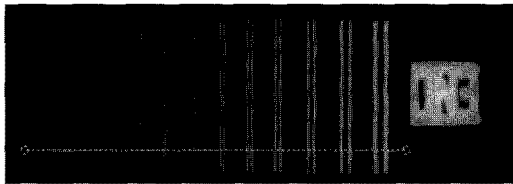
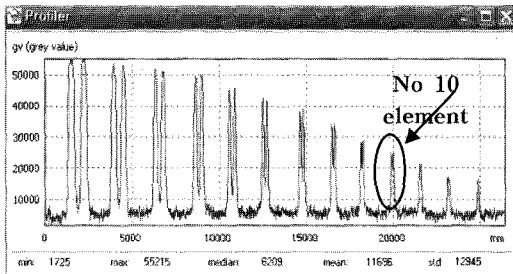


Fig. 17 Radiography test for boiler tube



(a) Radiography image of duplex-wire indicator



(b) Gray scale of duplex-wire indicator

Fig. 16 Evaluation of radiography image

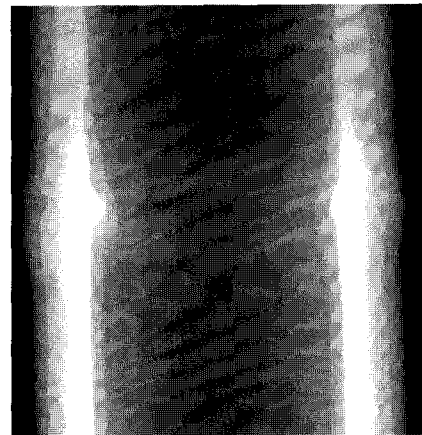


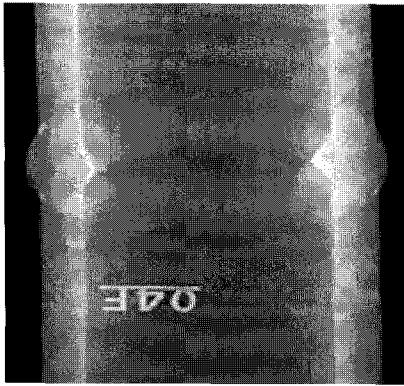
Fig. 18 Film radiography for boiler tube

3.2.2. 보일러 튜브 용접부 CR시험

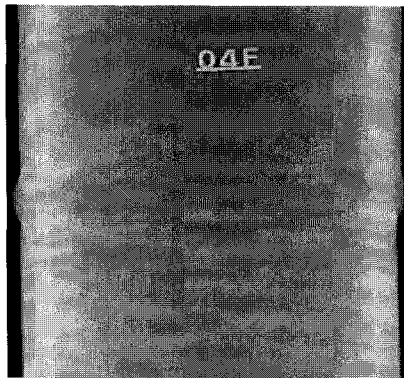
화력발전소 보일러 튜브 용접부에 대한 방사선투과시험은 Fig. 17과 같이 double wall double image 방법으로 방사선투과영상을 취득하였다. 보일러 튜브 CR 영상을 취득하기 위하여 사용된 방사선원은 보일러 튜브의 두께가 비교적 얇은 점을 고려하여 감마선 Se-75, 20 Ci를 사용하였



Fig. 19 Computed radiography test



(a) Final SH tube



(b) RH tube

Fig. 20 CR image of boiler tube

Table 3 The result of radiography test

Image	Boiler tube	Dia×Thick(mm)	Visible line(mm)
Film	Final SH	∅ 50 × 9	0.32
CR	Final SH	∅ 38 × 8	0.16
	RH	∅ 63 × 4.2	0.2.

보일러 튜브 용접부에 대한 CR시험을 실시한 결과, Table 3과 같이 방사선투과영상에서 0.16 mm와 0.20 mm의 투과도계 식별선이 확인되었다. 이는 필름에 의한 방사선투과영상에서 확인된 0.32 mm 보다 더욱 가는 선을 식별할 수 있기 때문에 필름에 의한 방법보다 더욱 정밀한 검사를 할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 디지털 방사선투과영상이 기존 필름에 의한 방사선투과영상을 대체할 수 있는지를 확인하기 위하여 디지털 방사선투과영상 품질

을 평가하였다.

디지털 방사선영상시스템으로 측정된 공간 분해능은 DR은 6.5 line pair, CR은 5.0 line pair로써 양호한 수준이었다. 용접부에 대한 디지털 방사선투과시험 결과, 투과도계 식별도는 각 기준에서 요구하고 있는 2.0 %를 만족하고 있음을 확인하였다.

디지털 방사선투과영상과 기존의 필름에 의한 방사선투과영상의 비교 결과 분해능이나 선명도에서 디지털 방사선투과영상이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 그동안 디지털 방사선 센서의 입자 크기가 필름의 입자 크기보다 커서 필름 영상보다 품질이 낮다고 알려진 것과는 다른 결과이다. 이는 최근 디지털 기술의 발전으로 DR 센서 입자의 크기가 더욱 미세화 되었고 디지털 방사선투과영상을 히스토그램에 의해 최적 상태로 개선된 선명한 영상으로 관찰할 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

이번의 연구 결과에서 디지털 방사선투과영상이 필름에 의한 방사선투과영상보다 더욱 세밀한 시험을 할 수 있는 것으로 확인되어 기존 필름에 의한 방사선투과시험을 대체할 수 있을 것으로 평가된다.

참고문헌

- [1] V. Tateno, T. Linuma and M. Takano, "Computed radiography image conversion," *Computed Radiography*, Springer-Verlag, pp. 18-20 (1987)
- [2] V. Kaftandjian and C. Luc, "Evaluation of new digital detectors for high resolution radiography," INSA-CNDRI Laboratory France, 35-39 (2001)
- [3] S. C. Sood, "Digital radiography system training," *Computerised Information Technology*, England, pp. 10-26 (2007)
- [4] V. Tateno, T. Linuma and M. Takano, "Image reading conversion to digital signal," *Computed Radiography*, Springer Verlag, pp. 1-10 (1987)
- [5] Standard Practice for Classification of Computed Radiology System, *Nondestructive Testing Standards Vol. 03,03*, ASTM, USA, pp 1296-1300 (2007)