

보일러튜브 용접부 비파괴검사를 위한 컴퓨터화 방사선투과시험 적용 연구

Application of Computed Radiography for Nondestructive Testing of Boiler Tube Weldments

박상기 · 안연식 · 길두송
S. K. Park, Y. S. Ahn and D. S. Gil

(접수일 : 2009년 4월 28일, 수정일 : 2009년 6월 29일, 채택확정 : 2009년 10월 19일)

Key Words : Computed Radiography(컴퓨터화 방사선투과검사), Weldments Inspection(용접검사), Boiler Tube(보일러튜브), Radiography Image Sensitivity(방사선투과식별도)

Abstract : A steam generator (boiler) in thermal power plants, consisting of more than 30,000 parts and components, can lead to the plant shutdown with damage to even the small part of the components; esp., like weld failures on boiler tubes. Consequently it is greatly demanded to improve the quality of the weld on the boiler tube for the stable operation of the power plants. Because of the feature of the welding, which is done past by melting the work pieces and adding a filler material that cools to become a strong coalescence, there is a great possibility that weld failures take place. As a result, it is regulated to make a non-destructive testing, like radiography test, to detect defects and flaws in the weld. The current film radiography test provides a lower image quality exceeding 2.0% of a basic quality level for a penetrameter, it is very likely to fail to detect micro defect. As a result, the prevention for the boiler tube failure has not been made effectively. In this study, computed radiography technology has been applied as a digital radiography test to the boiler tube weld, and Se-75 radiation source was used to improve the image quality, instead of Ir-192 source. As a result of this study, it is proven to save the time and cost for test and to enhance the quality level of penetrameter penetrating image, which enables to upgrade the quality of radiography test to the boiler tube weld.

1. 서 론

화력발전소의 중요설비인 보일러는 약 3만개소의 튜브 용접부로 이루어져 있으며 이들 중 하나라도 손상이 되면, 발전소를 정지해야 함으로 안정적인 발전소 운영을 위해서는 용접부 품질확보가 필수적으로 요구된다. 용접작업은 고온의 열을 가열하여 용착금속을 용융하여 단시간에 접합하는 작업으로서 용접 시공중 결함이 발생할 가능성이 높기 때문에 방사선투과검사에 의한 비파괴검사를 실시하여 용접부내 결함을 검출하고 있다. 현재 발전소 용접부에 대한 방사선투과검사법은 방사선을 용접부에

투과시켜 투과된 방사선이 필름을 감광시켜 투과사진을 잠상을 얻게 하고, 그 필름을 암실에서 현상하여 용접부 결함존재 여부를 확인하고 있다. 또한 보일러튜브 용접부에 대한 방사선 선원은 검사공간의 협소로 인하여 X-ray를 적용하지 못하고 방사선에너지를 조절할 수 없는 방사성동위원소 Ir-192를 사용하고 있다. 이러한 방법으로 취득한 방사선투과영상의 투과도계 식별도는 기준치인 2.0%를 훨씬 초과하고 있다. 또한 필름에 의한 기존의 검사방법은 비용과 시간이 많이 소요되며 투과영상의 보관이 어려워 대체 시험법이 시급히 요구되고 있으며, 디지털 방사선투과검사법(digital radiography inspection method)가 주목되고 있다. 본 연구에서는 발전설비 보일러와 같이 협소한 공간에서도 양호한 방사선투과영상을 취득하고 검사시간과 비용을 절감하도록

박상기(책임저자) : 한전 전력연구원 원자력발전연구소
E-mail : skpak@kepri.re.kr, Tel : 042-865-5557
안연식, 길두송 : 한전 전력연구원 원자력발전연구소

컴퓨터화 방사선투과검사(computed radiography, CR)에 의한 보일러튜브 방사선투과 영상취득 기법을 개발하고자 하였다.

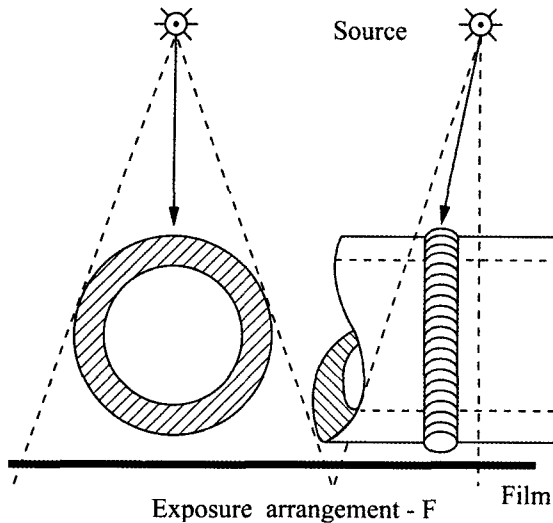


Fig. 1 Inspection method of boiler tube

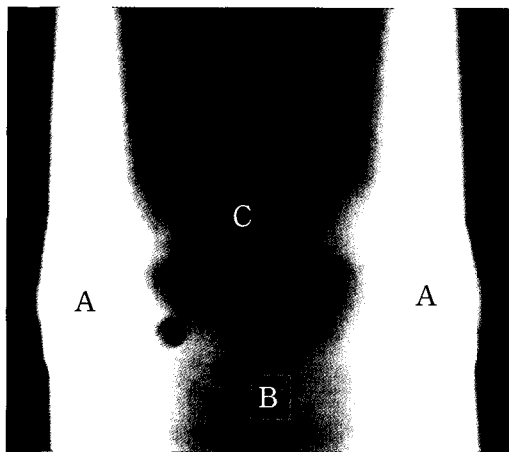


Fig. 2 Boiler tube radiography image

2. 보일러튜브의 방사선투과검사 방법

화력발전소 보일러튜브에 대한 방사선투과시험은 Fig. 1과 같이 방사선 선원을 보일러튜브의 원주용접선과 5~15°로 경사지게 촬영함으로써 필름 한 장에 용접부를 타원형으로 모두 나타나게 하는 이중벽 이중영상(double wall double image)법으로 검사를 하고 있다. 취득되는 방사선투과영상은 Fig. 2와 같이 튜브 앞쪽 용접부는 투과사진에서 윗부분인 "C"에 나타나고, 튜브의 뒤 쪽은 아래쪽에 "B"와 같이 나타난다. 그리고 투과사진의 좌측과 우측과 같은 "A"부위는 시험대상체의 기하학적 특성으로

인하여 투과두께가 두겹게 되는 결과로 인하여 그 부위에서는 결합식별이 불가능 해진다. 따라서 이와 같은 경우 용접부 한 개소를 모든 조건을 만족해서 검사한다고 하더라도 용접부의 50% 정도 밖에 검사를 할 수 없으며, 특히 최근에 화력발전소 효율향상을 위해 초임계압, 초초임계압의 보일러튜브 두께는 더욱 두꺼워지는 추세여서 결합을 검출할 수 있는 범위는 더욱 작아지고 있다. 보일러튜브에 대한 방사선투과검사는 Fig. 3과 같이 협소한 환경에서 이루어지기 때문에 방사선 선원은 방사성동위원소 Ir-192를 방사선 선원으로 적용하고 있는데 Ir-192는 0.75"(19 mm) 이상 두께에 적합한 방사선에너지이다. 보일러튜브 투과두께는 7~18 mm 범위이기 때문에 Ir-192를 보일러튜브에 적용시 방사선에너지가 적당하지 않아 방사선투과 영상의 투과식별도가 저하하는 현상이 나타난다. 이와 같이 보일러튜브 용접부 방사선투과검사의 방법은 결합검출능이 낮고, 낮은 투과영상의 식별도로 인하여 용접부내 결합검출은 낮아지고 있다.



Fig. 3 Radiography test for boiler tube

3. 컴퓨터화 방사선투과검사 기술 원리

디지털 방사선 투과영상을 취득하는 방법에 따라 직접방식(directed digital radiography)과 간접방식(computed radiography)으로 구분되며, 직접방식은 Ar-Si, Ar-Se, CMOS(complementary metal-oxide semiconductor)등과 같은 반도체형 센서에 의해 투과영상을 획득하는 방식으로 센서와 모니터가 온라인으로 연결되어 있어 촬영 즉시 모니터에서 투과영상을 확인할 수 있다. 그러나 센서가 평판 형태여서 검사체에 밀착이 곤란하고 방사선 선원을 X-ray를 사용해야하는 제한으로 인하여 보일러와 같은

협소한 환경에서 검사를 수행해야하는 곳에서는 적용이 어려운 단점이 있다. 간접방식의 디지털 방사선투과검사법(이하CR로 표기)은 시험체를 투과한 방사선이 광자극성 인광물질(photo-stimulable phosphor, PSP)을 도포한 영상판에 방사선 에너지가 축적된다. 방사선 에너지가 축적된 영상판에 680 nm 파장의 적색 레이저를 노출하게 되면 방사선 축적한 량에 비례하는 세기의 형광 빛을 발하며, 포획된 전자를 방출시켜 Eu^{+3} 를 Eu^{+2} 로 환원시킨다. 이 때, PSP에서 약 300 ~ 500 nm의 녹색 빛을 발생하는데, 이 빛을 광증배관(photo multiplier tube)에서 전기신호로 변환시킨다. 그 후 아날로그-디지털 변환기에 의해 디지털 신호로 변환되어 영상 정보로서 기록된다. Fig. 2는 CR에 의해 투과영상이 취득되는 과정을 나타내고 있다¹⁾.

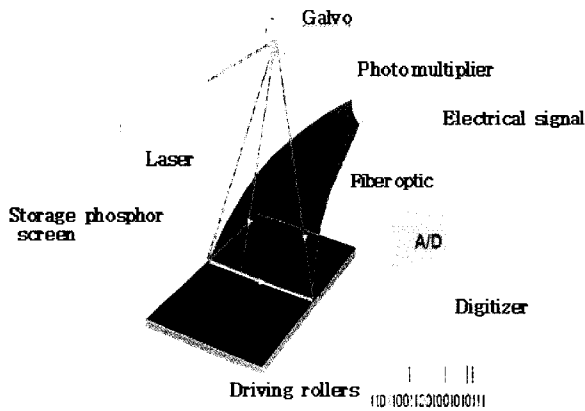


Fig. 4 Structure of CR imaging system

3.1 영상판(image plate)의 구조 및 특징

기존 필름에 의한 방사선투과영상의 취득은 염화은(AgCl) 입자를 방사선으로 감광시켜 암실에서 필름을 현상하여 영상을 취득하여 왔다. CR에 의해 방사선투과영상을 취득하는 메커니즘은 영상판의 상층적 발광 (photo stimulated luminescence, PSL) 작용에 의해 영상을 취득한다. 방사선투과영상에 가장 중요한 역할을 하는 영상판은 Fig. 5와 같은 구조로서 1mm 이하의 두께를 가진 유연한 판으로 되어 있다. 보호층은 영상판을 취급할 때 형광체층의 손상을 방지한다. 형광체층(phosphor layer)은 X-Ray, 전자 및 자외선 등에 의해 여기될 때 준 에너지상태에서 흡수된 에너지를 저장하고 가시광선에 의하여 자극을 받으면 흡수된 에너지에 비례하여 파란 빛을 발하는 역할을 한다.

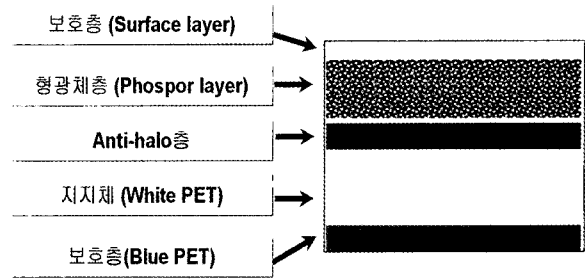


Fig. 5 structure of image plate

형광입자는 주로 5~10 μ m 크기의 BaFX:Eu²⁺ (X=Cl, Br, I)를 지지체에 부착시킨다. 영상판에 방사선을 조사하였을 때 조사선량과 dynamic range와의 관계는 Fig. 6과 같이 나타내고 있다. 방사선 조사선량과 검출되는 강도는 필름은 로그함수적인 곡선을 가지고 있으나 영상판의 형광체는 선형적인 관계를 가지고 있어 필름에 비하여 촬영시간이 아주 짧다. 또한 필름의 농도의 동적범위는 2.0 정도인데 비하여 영상판은 5.0으로 높아 필름에 비해 두께 차이가 많이 나는 투과상을 한 개의 영상에서 촬영할 수 있는 것을 나타내고 있다²⁾.

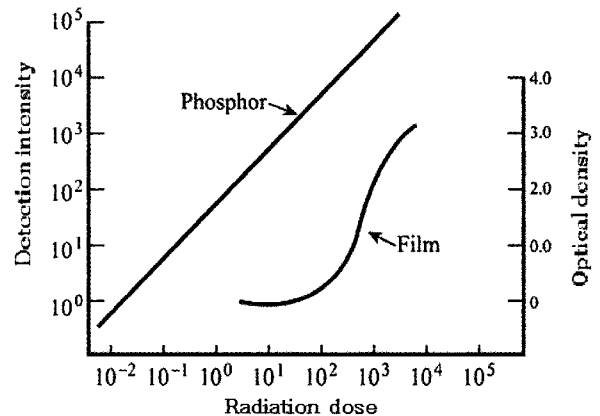


Fig. 6 Compare phosphor and film

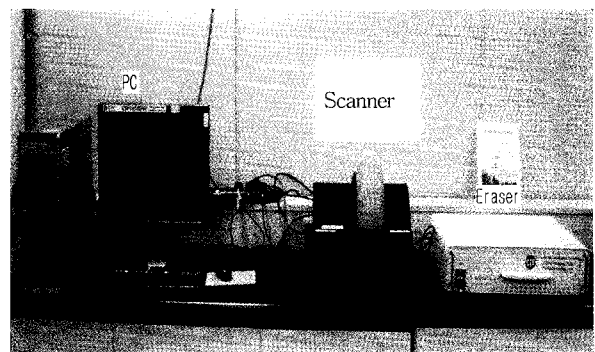


Fig. 7 Computed radiography imaging system

Fig. 7과 같이 CR영상장치는 운용컴퓨터, 고해상도의 모니터, 영상판에 축적된 방사선 에너지를 영상화하는 스캐너, 영상판에 축적된 영상데이터 삭제기 등으로 이루어져 있다.

3.2 적용 방사선 선원

비파괴검사에 방사선 선원은 X-ray와 r-ray가 사용되고 있다. X-ray는 투과검사 두께에 적합한 방사선 에너지를 발생시킬 수 있지만 보일러튜브 검사환경과 같은 협소한 공간에서 사용할 수 없기 때문에 방사성동위원소 Ir-192를 사용하고 있다. 그러나 Ir-192는 19~75 mm 두께에 적합한 에너지 세기를 가지는 동위원소로서 보일러튜브와 같이 얇은 시험체에 대해 적용할 경우 방사선 에너지 세기의 부적합으로 인하여 방사선투과 영상의 식별도가 저하 하게 된다. 따라서 비파괴검사용으로 사용되고 있는 방사성동위원소의 특성을 분석하여 보일러튜브 용접부 방사선투과검사에 적합한 선원을 선정하고자 방사선 선원을 비교, 분석하였다.

3.2.1 X-ray

X-ray 발생원리는 X-선관의 음극 필라멘트에 전류를 가열하면 열전자가 발생되는데, 전류를 더욱 증가시키면 필라멘트의 가변저항기가 온도를 상승시켜 전자의 방출이 증가하여 양극 쪽으로 이동하기 시작한다. 이때 양극에 전압을 걸어주면 고속도로 증가한 열전자가 양극에 위치한 표적(target)에 충돌하여 파장이 짧고, 에너지가 높은, 큰 투과력을 갖는 X-선을 발생시킨다. 이때 열전자의 흐름을 관전류(mA)로 나타내며, 방사선의 강도를 나타내는 방사선의량을 결정하고 양극의 전압(KV)을 증가시키면 파장이 짧고 투과력이 강한 방사선을 발생시킬 수 있다.

3.2.2 Ir-192(Iridium-192)

방사선투과검사 방사선원으로 사용되는 Ir-192는 핵 원자로에서 중성자를 흡수하여 만들어진다. Ir-192는 붕괴시 110.40 keV에서 1.378 MeV까지의 에너지를 가지는 감마선을 방출한다. 동위원소의 특성은 반감기는 73일, 시험에 적합한 투과두께는 19~75 mm이고 Gamma 상수는 0.48R/h,1Ci,1m이다. Fig. 8은 Ir-192의 방사선 붕괴 구조를 나타내고 있으며, Table 1은 Ir-192의 에너지를 나타내고 있다.

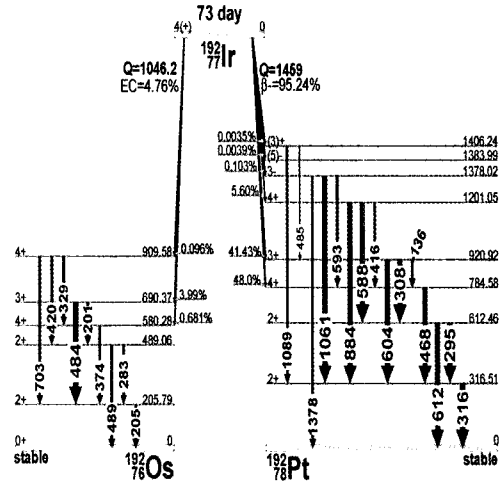


Fig. 8 Ir-192 photodisintegration

Table 1 Ir-192 radiation energy

Energy [keV]	Intensity [#/decay]	Energy [keV]	Intensity [#/decay]
110.40	5.817E-04	484.58	1.519E-01
136.34	1.990E-03	485.30	2.300E-05
176.98	4.300E-05	489.06	2.088E-02
201.31	2.255E-02	588.58	4.517E-02
205.79	1.592E-01	593.49	4.210E-04
280.27	9.000E-05	599.41	3.900E-05
283.27	1.268E-02	604.41	8.200E-02
295.96	2.872E-01	612.46	5.340E-02
308.46	2.968E-01	703.87	2.527E-04
316.51	8.271E-01	765.80	1.300E-05
329.17	8.296E-04	884.54	2.910E-03
374.49	3.461E-02	1061.48	5.300E-04
416.47	6.690E-03	1089.90	1.200E-05
420.52	3.290E-03	1378.20	1.200E-05
468.07	4.781E-01		

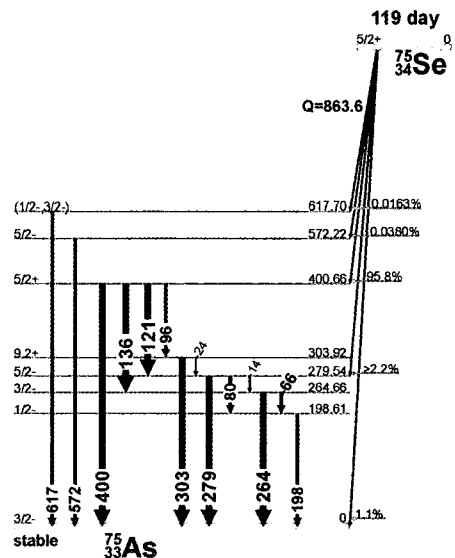


Fig. 9 Se-75 photodisintegration

3.2.3 Se-75(selenium-75)

Se-75는 전자포획을 일으키며 arsenic-75로 붕괴를 하며 이때 14.88 keV에서 821.60 keV까지의 에너지를 가지는 감마선을 방출하며, 평균 에너지는 214.91 keV 이다. 동위원소의 특성은 반감기는 119일, 적합투과두께는 4~28 mm이며, 0.203R/h,1Ci,1m의 gamma 상수이다. Fig. 9는 Se-75의 방사선 붕괴 구조를 나타낸 것이고, Table 2는 Se-75 붕괴시 감마선의 에너지별 강도를 나타낸 것이다³⁾.

Table 2 Se-75 radiation energy

Energy [keV]	Intensity [#/decay]	Energy [keV]	Intensity [#/decay]
14.88	1.122E-05	303.92	1.254E-02
24.38	2.575E-04	373.50	2.357E-05
66.05	1.059E-02	400.66	1.092E-01
80.94	7.294E-05	418.80	1.128E-04
96.73	3.258E-02	468.60	3.254E-06
121.12	1.638E-01	542.40	1.234E-07
136.00	5.549E-01	557.80	8.977E-09
198.61	1.408E-02	572.20	3.389E-04
249.40	8.416E-08	617.80	4.225E-05
264.66	5.611E-01	821.60	1.307E-06
279.54	2.381E-01		

3.2.4 Yb-169(Ytterbium-169)

Yb-169는 전자포획을 일으켜 Thulium-169으로 안정화 되는데, 이때 8.41 keV에서 781.64 keV까지의 감마선을 방출한다. 1 Bq의 Yb-169 붕괴시 방출되는 감마선 수는 1.42이고, 방출되는 감마선의 평균에너지는 142.454 keV이다. Fig. 10은 Yb-169의 방사선 붕괴 구조를 나타낸 것이다. 반감기가 32일로 다른 동위원소에 비해 수명이 짧으며, 감마선 방출 강도가 낮고, 저에너지의 감마선을 방출하기 때문에 작업자의 방사선 피폭 위험을 줄일 수 있는 장점이 있다.

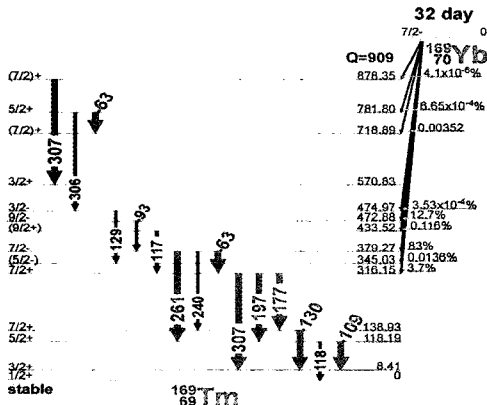


Fig. 10 Yb-169 photodisintegration

3.2.5 보일러튜브용 방사선 선원 선정

앞에서 방사선의 투과에너지에 근거로 보일러튜브의 방사선투과검사용 방사선 선원을 검토한 결과 이제까지 적용하여온 Ir-192는 보일러튜브검사에 부적합한 선원임을 알 수 있으며, Yb-169와 Se-75가 보일러튜브 검사용으로 고려될 수 있다. Yb-169와 Se-75의 gamma 상수(R/h,1Ci,1m)는 0.125와 0.203으로 Ir-192에 비하여 노출시간이 Yb-169는 4배, Se-75는 2배 정도로 방사선 노출시간이 많이 소요되나, 영상판이 기존 필름에 비해 약 1/10 정도의 노출시간을 줄일 수 있기 때문에 CR에 의한 방사선 투과시험시 방사선 노출시간이 길어져서 검사시간이 많이 소요되는 문제는 발생되지 않았다. 현재 보일러튜브용 방사선 선원으로 사용하고 있는 Ir-192 대신에 Se-75를 사용할 경우 영상 개선효과에 대한 이론적 계산결과는 다음과 같다. 방사선투과 필름에서 미세 두께 변화에 대한 농도 변화, 즉 콘트라스트의 개선 효과는 다음 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dD}{dx} = -0.434 \delta \mu f_s \left(\frac{E_o}{d^2}\right)^{0.4346} e^{-0.4346 \mu x} \quad (1)$$

여기서 E_o 는 방사선 노출량, d 는 노출량 선원과 필름 간 거리, x 는 시험체의 두께, μ 는 시험체 선흡수계수, D 는 투과 필름 농도, f_s 는 필름의 감광속도, δ 는 필름 특성곡선 기울기를 나타낸다. 위 식에 선원과 필름 간 거리와 동일한 필름을 사용한 상태에서 선원을 Se-75를 사용할 경우 Ir-192에 비교하면 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{(dD/dx)_{Se-75}}{(dD/dx)_{Ir-192}} = \frac{\mu_{Se-75}}{\mu_{Ir-192}} e^{-0.4346(\mu_{Se-75} - \mu_{Ir-192})x} \quad (2)$$

식 (2)에서 Ir-192의 탄소강 선흡수계수 0.035/mm와 Se-75의 선흡수계수 0.047/mm를 적용하여 계산하여 콘트라스트 비와 시험두께의 관계를 Fig. 11에 나타내었다. 방사선투과영상에서 콘트라스트는 영상의 품질과 밀접한 관계가 있으며, 콘트라스트가 높다는 것은 영상의 선명도가 높음을 뜻하며, Fig. 11에서 Se-75와 Ir-192의 콘트라스트 비가 시험체 두께가 30 mm 이하에서는 높다는 것은 시험편의 두께가 얇은 것은 Se-75를 사용하는 것이 방사선 투과영상의 품질이 향상되는 것을 보여준다⁴⁾.

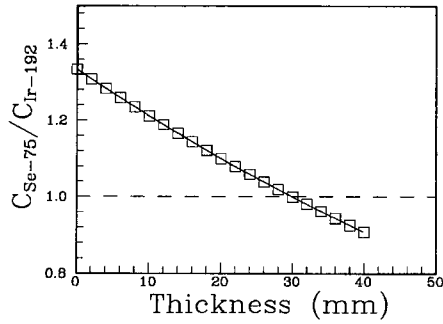
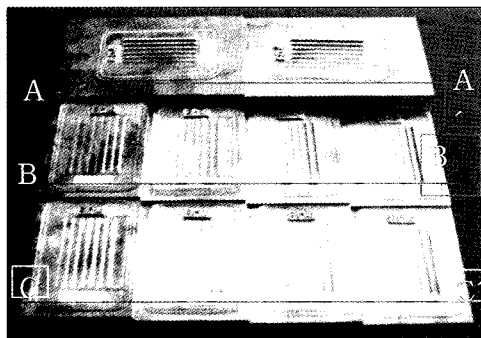


Fig. 11 Variation of contrast on thickness

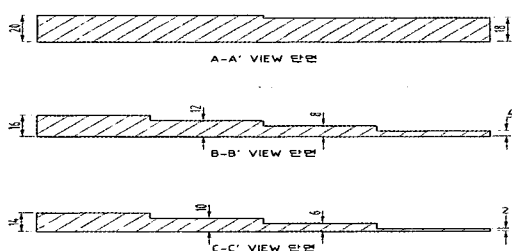
4. 실험결과 및 고찰

4.1 투과두께별 CR 영상의 식별도 확인 및 투과 영상 취득

CR에 의한 방사선투과시험에서 투과영상을 취득 하기에 앞서 투과두께별 투과영상의 품질이 어느 정도인지 확인하는 것은 중요한 사항이다. 따라서 방사성동위원소의 투과두께별 식별도를 확인하기 위하여 Ir-192, Se-75, Yb-169 등 각 동위원소별로 투과두께별 CR에 의한 투과시험을 실시하여 방사성 동위원소별로 투과도계의 식별도를 확인하였다. 시험에 사용된 시험편은 보일러튜브의 투과두께에 대해 적절하게 시험할 수 있도록 2~20mm 두께 범위의 10개 스텝웨지(step wedge)가 가공된 시험편을 사용하였으며, 형상과 치수는 Fig. 12와 같다.



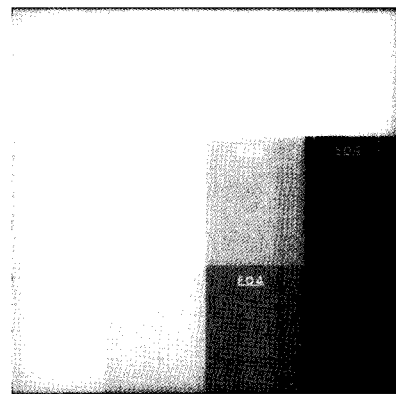
(a) Step wedge test block



(b) Cross sectional view

Fig. 12 Step wedge test block

시험편의 각 스텝웨지 위에 투과도계를 올려놓고 영상관으로 Fig. 13(a)와 같은 CR 투과영상을 취득 하였다. 투과영상에서 각 두께별 스텝웨지에서 투과도계의 식별선을 확인하고자 하였다. 각 두께별 스텝웨지의 투과영상은 Fig. 13(b)와 같이 동적 농도 범위(dynamic density range)를 조절하여 개선한 영상에서 식별선을 확인하여 식별도를 구하였다. 각 동위원소별 투과두께에 따른 식별도를 Fig. 14의 그래프로 나타냈으며, Ir-192는 기준 2.0%를 초과하고, Se-75와 Yb-169는 기준을 만족하고 있다. Yb-169가 Se-75보다 양호한 식별도이지만 큰 차이가 없고 Yb-169의 방사선 노출시간이 Se-75의 2배 정도임을 감안할 때 Se-75가 보일러튜브용 방사선 선원으로는 가장 적합한 것으로 평가되었다.



(a) Image of step wedge radiography



(b) Enhancement image

Fig. 13 Radiography image of step wedge

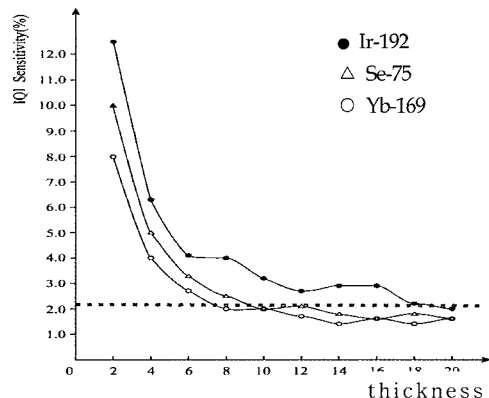


Fig. 14 Radiography Image sensitivity radioisotope

4.2 보일러튜브의 CR과 필름 영상 비교시험

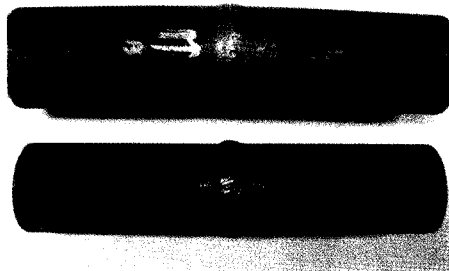
필름에 의해 취득되는 방사선투과영상과 CR 투과영상의 품질정도를 비교하기 위하여 투과도계 식별도의 비교와 결함의 검출능에 대한 시험을 실시하였다.

4.2.1 시험편 제작

시험에 사용되는 시험편은 화력발전소 보일러튜브 용접제작시와 동일한 불활성가스 텅스텐 아크용접(Gas tungsten arc welding, GTAW) 으로 제작하였고, 보일러튜브 용접부에 존재하는 결함의 검출여부를 확인하기 위하여 시험편 용접부 내측과 외측에 A, B, C 세 개소의 인공결함을 가공하였다. 인공결함의 형태는 용접부에 발생하는 기공과 유사한 공간형 결함과 균열과 유사한 면상형 결함으로 가공하였다. 시험편 형상과 사양은 Table 3과 Fig. 15와 같다.

Table 3 Specification of specimen

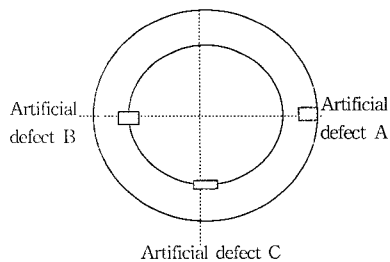
Boiler tube	Material	Dia × thickness
Superheater	TP. 347H-T11	φ 51 × t 8
Water wall	SA213-T12	φ 45 × t 5



(a) Shape of specimen



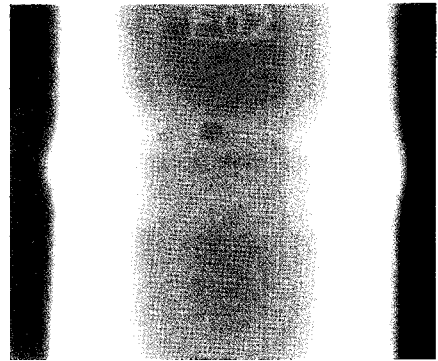
(b) Artificial defect



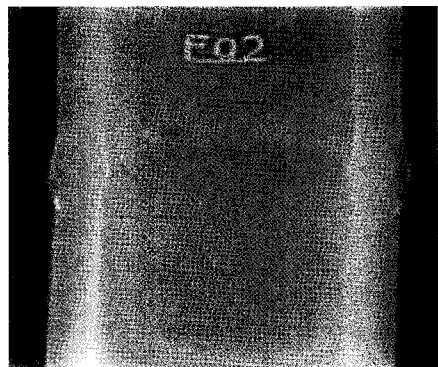
(C) Location of artificial defect

Fig. 15 Specimen of boiler tube

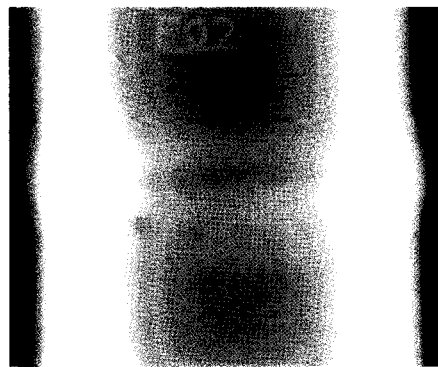
4.2.2 취득 방사선투과영상의 비교



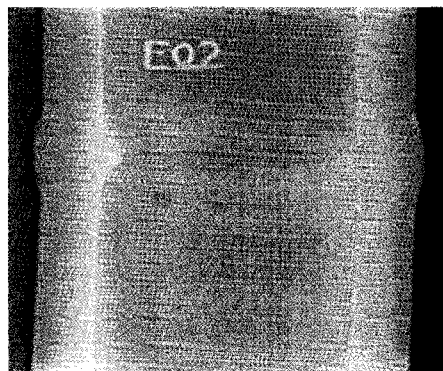
(a) Waterwall tube image by film



(b) Waterwall tube image by CR



(c) Superheater tube image by film



(d) Superheater tube image by CR

Fig. 16 Compared radiography image

필름에 의해 취득한 방사선투과영상과 CR에 의해 취득한 투과영상은 Table 4에서 나타냈으며, CR에 의한 방사선투과영상이 필름에 의해 촬영된 방사선투과영상의 식별도가 필름의 투과영상 식별도 보다는 우수함을 알 수 있다⁵⁾.

Table 4 Compared image quality sensitivity

Image acquisition	Specimen	Visible line(mm)	Image quality indicator sensitivity(%)
CR	Waterwall	0.20	2.0
	Superheater	0.20	1.3
Film	Waterwall	0.25	2.5
	Superheater	0.25	1.6

5. 결 론

보일러튜브의 디지털 방사선투과시험에 적합한 방사선 선원의 적합성을 확인하기 위해 시험한 결과 기존에 사용해 왔던 Ir-192는 방사선 선원에 부적합 하였으며, Se-75와 Yb-169가 투과도계 식별도 기준 2.0%를 만족하는 선원임을 확인하였다. Yb-169는 Se-75에 비하여 촬영시간이 2배정도 많이 소요되는 것을 감안할 때 Se-75가 보일러튜브 방사선투과검사에 가장 적합한 선원임을 알 수 있었다. CR투과영상을 기존 필름에 의해 취득한 방사선투과영상과 영상의 품질을 비교한 결과 필름에서는 식별가능한 최소선 지름이 0.25mm 였으나 CR로 취득한 영상에서는 0.20mm의 식별선을 검출함으로써 필름 보다 우수한 품질의 영상을 취득할 수 있었다. 실제 결함의 검출시험에서도 CR 영상은 기존 필름으로 촬영된 영상에서 검출되지 않았던 미소한 결함도 검출할 수 있어서 결함 검출능에서도 우수함을 알 수 있었다. 본 연구결과는 디지털방사선투과검사의 우수한 영상품질 확보와 디지털 방사선투과검사 기술의 국내 전산업 분야에의 확대 적용을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. Tateno, Linuma and Takano, 1987, Springer-Verlag, "Computed Radiography", Chapter 3, Image reading: Conversion to digital signal, pp. 18~20.

2. Computerised Information Technology Limited, England, 2007, "DR1400 Digital Radiography System Training Book", Chapter 6, p. 6.
3. American Society for Nondestructive Testing, 2006, "Nondestructive Testing Handbook", Volume 4, Radiographic Testing Third Edition, Selection of Radiographic Source pp. 74~78.
4. Lee Sung Shik, Im Sung Jin and Han Hyen Soo, 2001, "Development Radiography Testing Method for Using Se-75", The Korea Society For Nondestructive Testing, Spring Science Meeting Book, pp. 40~46.
5. Park Sang Ki and Lee Yeang Ho, "The Study on Image Sensitivity Evaluation for Digital Radiography Image", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 12, No. 6, pp. 70~77.