

Computed Radiography 시스템에 ¹⁹²Ir과 ⁷⁵Se 동위원소를 적용하여 촬영한 비파괴검사 영상 비교

강상목*, 최창일*, 이승규*, 박상기†, 김용균*

*한양대학교 원자력공학과, †한전 전력연구원

2010년 2월 19일 접수 / 2010년 3월 5일 1차수정 / 2010년 3월 12일 채택

비파괴검사 분야의 방사선 검사(RT) 방식은 image plate (IP)를 사용한 Computed Radiography(CR) 영상시스템의 도입에 따라 필름 방식의 아날로그 영상이 점차 디지털 영상으로 교체되고 있다. 비파괴검사에서 결함을 효과적으로 검출할 수 있는 영상의 품질은 촬영 조건, 영상획득매체, 사용 선원의 종류 및 촬영 거리, 검사체 두께 등이 영향을 미친다. 본 논문에서는 비파괴 검사 분야에 적용할 수 있는 감마선원의 기본 특성을 조사하였고, FUJI사에서 개발한 CR 영상 시스템에 ⁷⁵Se, ¹⁹²Ir 동위원소를 적용하여 영상을 획득하였다. 획득된 영상의 gray scale을 이미지 소프트웨어를 통해 추출한 후에 대조도 및 신호대잡음비를 계산하고 비교 분석하였다. 또한 투과도계를 이용한 비교 영상을 통하여 식별도를 분석하였다.

중심어: 이리듐-192, 셀레늄-75, 비파괴검사, Computed Radiography

1. 서론

비파괴 검사(Non-Destructive Testing)란 시험 재료나 제품 즉, 원자력 발전소, 항공기 부품, 조선, 철도, 교량, 자동차, 중장비, 정유시설, 가스시설 등의 설비나 재료에 대하여 원형과 기능에 변화가 없이 설비나 재료에 대한 결함이 존재하는 가를 검사하는 것을 말한다. 검사방법은 방사선 투과검사(Radiography Testing RT), 초음파 탐상 검사(Ultrasonic Testing UT), 액체 침투 탐상 검사(Liquid Penetrant Testing PT), 자분 탐상 검사(Magnetic Particle Testing MT), 와전류 탐상 검사(Electromagnetic Induction Testing ET), 누설 검사(Leak Testing LT) 등으로 분류되고 있다. 이중 방사선 투과 검사는 비파괴 검사 분야의 65~75% 정도로 가장 높은 비율을 차지하고 있고, 현재까지도 필름을 사용하는 아날로그 방식을 사용하고 있다. 방사선 투과 검사는 방사선을 이용하여 파괴할 수 없는 재료나 제품의 영상을 촬영하여 외관상으로 확인할 수 없는 결함, 균열 등을 찾아내어 사고를 미연에 방지하는 것을 주된 목적으로 한다. 원리는 시험체와 방사선원과 필름의 사이에 위치시켜 시험체의 밀도와 두께에 따라 방사선원의 조사 시간을 조절하여 필름을 방사선으로 감광시키는 원리를 이용한다. 이때 방사선은 밀도와 두께에 따라 그 투과되는 선량이 변화하므로 시험체 내부에 이물

질이나 균열이 있으면 더 많은 방사선이 투과되어 필름의 다른 부분과 차별이 생기게 되므로 시험체의 결함 또는 균열을 확인할 수 있다.

최근 급속히 진행되고 있는 디지털 기술의 진화로 필름 영상으로 대표되었던 의료분야에서는 여러 형태의 디지털 장비가 개발되어 사용되고 있고, 이러한 디지털 장비는 비파괴 검사 분야에도 일부 도입되어 필름 검사 방식이 가지고 있던 단점을 보완하고 있다. 이 중 보일러 튜브 검사 분야는 검사를 필요로 하는 용접부의 개수가 많고, 촬영의 공간적 제약이 있으며, 원활한 이동성이 필요하므로, 여러 디지털 장비 중 1981년 Fuji Corporation (Tokyo, Japan)에 의해 개발된 Computed Radiography (CR) 영상 시스템을 활용하는 시도가 일부 비파괴업체에서 행해지고 있다[1,2]. CR 영상 시스템은 방사선 필름 대용으로 광자극성 인광물질(Photo-stimulable Phosphor, PSP)로 구성된 image plate (IP)를 사용하여 디지털 영상을 간접적으로 획득하는 장비이다[3]. 비파괴검사 분야에서 디지털 영상 획득을 위한 장비의 교체와 함께 고려해야 되는 것이 촬영에 사용되는 동위원소이다. 현재 국내에서 보일러 튜브 검사에 사용되는 감마선원은 ¹⁹²Ir을 100% 사용하고 있다. 하지만, 디지털 장비의 도입과 함께 고감도 방사선 감응 매체가 사용되고 있기 때문에 검사에 사용되는 방사선원에도 변화가 필요하다. 본 논문에서는 CR 영상 시스템에 ¹⁹²Ir과 ⁷⁵Se 감마선원을 적용하여 인공 구형 결함이 있는 검사체에 대한 두께별 영상을 획득

책임저자: 김용균, ykkim4@hanyang.ac.kr, 한양대학교 원자력공학과 서울시 성동구 행당동 한양대학교 토건관 602-1

Table 1. Comparison between CR System and Film/Screen System.

	촬영 작업	현상 작업	검사 작업	보관 작업
Film/screen system	카세트에 필름을 삽입 (암실)	암실에서 현상화학처리 (WET법)	고선명 Viewer 사용, 필름을 직접 관독	필름 직접 보관 PC로의 활용은 별도의 작업이 필요
CR system	카세트에 IP를 삽입 (명실)	명실에서 전용 카세트로 광학적 (Digital)처리 (Dry법)	고정밀, 미세 CRT에 의한 digital 화상을 보기 쉽게 관독	CD/DVD 사용 화상으로 기억, 화상은 data화, 타용도로 활용 가능

득한 후, 영상의 gray scale을 추출하여 대조도, 노이즈 및 신호대잡음비를 계산하고 비교 평가하였다. 그리고 투과도계를 이용한 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 촬영 영상에 대한 식별도도 비교 분석하였다.

2. Computed Radiography (CR) 영상 시스템

Computed Radiography (CR) 영상시스템은 1981년 Fuji Corporation (Tokyo, Japan)에 의해 처음 소개되었으며, 지속적인 발전을 통해, 현재는 기술적으로 성숙된 단계로 병원에서는 필름을 사용하는 아날로그 장비를 대부분 CR 장비로 교체하여 사용하고 있다. 현재 개발되어 사용 중인 여러 디지털 장비 중 CR 영상 시스템의 가장 큰 장점은 기존에 사용 중인 X-ray 촬영 장비를 교체 없이 활용할 수 있다는 점이다. 단지 필름 대신 휘진성 형광물질이 도포된 image plate를 사용하여 영상을 획득하는 과정과 획득된 영상이 디지털 영상이라는 점이 다를 뿐이다. CR 영상 시스템과 기존 비파괴 검사 분야에서 사용하고 있는 필름 영상 촬영 방식의 비교는 표 1과 같다.

CR 영상 시스템의 전체적인 구성을 살펴보면 영상 정보를 가지고 있는 image plate, 기록된 영상 정보를 취득하는 데 필요한 영상 관독기(Imaging Reader), 취득한 아날로그 영상 신호를 디지털 신호로 변환하여 주는 영상

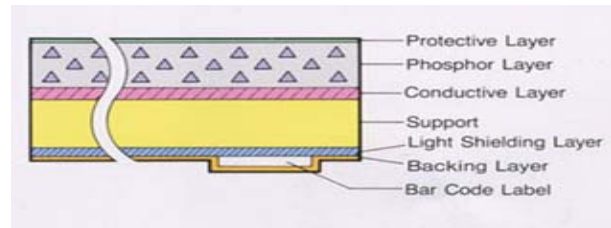


Fig. 1. Structure diagram of image plate.

처리기(Imaging Processor), 그리고 디지털화 되어 얻어진 이미지를 저장하는 영상 저장기(Imaging Recorder)의 4가지로 크게 분류할 수 있다.

Image plate는 그림 1과 같은 구조로 1 mm 이하의 두께를 가진 유연한 판으로 photo-stimulable phosphor (PSP)의 미세 결정이 코팅되어져 있다[4]. 이것은 X-Ray, 전자, 자외선 등에 의해 여기되어 질 때 준에너지 상태에서 흡수된 에너지를 저장할 수 있으며, 특정 영역의 가시광선 또는 자외선에 의하여 자극을 받으면 흡수된 에너지에 대응되는 에너지를 발광하는 성질이 있다. 가장 흔히 사용되는 인광화합물은 Europium-doped barium fluorohalide ([Ba,Eu]FX, 여기서 X는 Br, Cl 또는 I) 이다. BaFX : Eu⁺²는 베이스에 부착되고, 보호막으로 코팅되어 storage-phosphor plate를 구성한다. 입사된 방사선에 의해 Eu⁺² 전자가 여기되어 Eu⁺³로 변환되고, 여기된 전자

Table 2. Structure and Function of Image Plate.

구성	역할
Protective Layer	관독시 Phosphor Layer를 보호하기 위한 것으로서 투명하고 얇은 막이다. 재질은 polyester가 사용되며 층의 두께는 선예도에 관계되므로 얇을수록 좋다.
Phosphor Layer	X-Ray energy memory type의 휘진성 형광체인 Barium(BaFX:Eu ²⁺)의 미립자가 binder로 분산되어 고 밀도로 충전 분산되어있는 층이다. Binder는 형광체 입자가 서로 결합한 것으로 ACR systemil, Selos등의 고분자 화합물이 사용된다.
Support	Phosphor Layer를 보호하는 층으로써 평면성이 좋고 견고한 Polyester가 사용된다. 또 흑색으로 광 흡수층을 겸하여 Halation과 irradiation에 의하여 생긴 여분의 광을 흡수하여 fog를 적게 함으로써 선예도를 향상시킨다.
Backing Layer	Image plate가 이동하는 동안 image plate의 표면이 손상되는 것을 방지하기 위한 층으로 재질은 연질의 polymer가 사용된다.
Bar Code Level	Image plate의 고유 번호가 image plate 뒷면에 Bar-code로 기록되어 있으며 Bar Code Reader에 의해 IDT의 정보와 IP의 X-Ray 정보가 CR system 본체에 의해서 matching 된다.

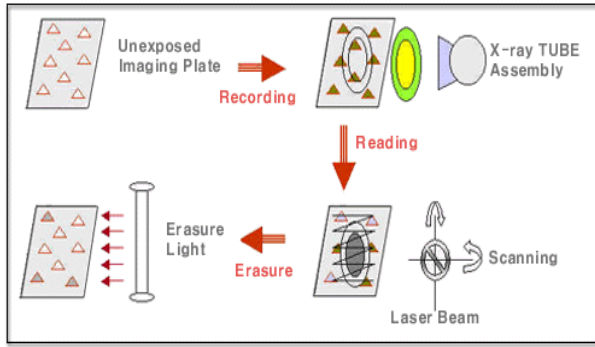


Fig. 2. Diagram of image acquisition method using a CR system.

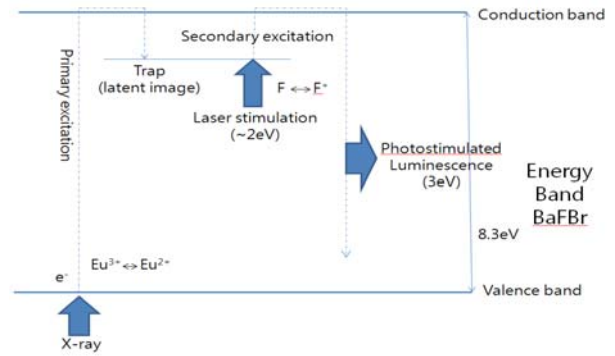


Fig. 3. Mechanism of europium-doped barium fluorohalide.

는 storage phosphor 결정격자의 Halogen vacancy (F-center)에 위치하게 된다. 이후 약 절반의 전자는 본래의 형태로 재결합하여 발광하고, 나머지 절반은 방사선 노출의 정도에 비례하여 포획된 전자와 정공의 준안정 상태로 존재하게 되며, 이것을 잠상 단계라 한다. 표 2는 image plate 각 부분에 대한 역할을 나타내고 그림 3은 잠상이 형성되는 과정이다[5]. 잠상은 무작위적인 열반응에 의해 기하급수적인 속도로 붕괴되며, 잠상의 약 25~50%는 방사선 조사 후 1시간 내에 손실되고, 나머지는 수일에 걸쳐 존재하게 된다. 이러한 이유 때문에 방사선에 노출된 이후 수일간 PSP를 관독할 수 있으나, 촬영 후 바로 관독하는 것이 가장 좋은 영상을 얻을 수 있다. 잠상 상태로 있는 PSP를 영상관독기에 넣으면 He-Ne laser(파장 633 nm)나 반도체(다이오드) laser(파장 680 nm)가 주사되어 전자는 본래의 에너지 준위로 돌아오게 된다. 이 과정에서 에너지가 빛의 형태로 방출되며, 영상 처리기의 광수용체-증폭 기구를 통해 감지할 수 있고, 아날로그-디지털 변환기(Analog-Digital Converter, ADC)에 의해 디지털 신호로 변환되어 영상 정보로서 컴퓨터 및

이동식 저장장치에 보관된다. 촬영에 이용된 image plate를 다시 이용하기 위해서는 강한 광선을 이용하여 영상을 지우는 과정이 필요한데, 최근의 장비들에서는 영상 관독 과정 이후 자동으로 삭제를 수행한다.

3. 감마선 동위원소별 기본 특성

동위원소를 이용한 비파괴 검사 시 고려해야 할 사항은 소스의 에너지 레벨, 소스의 형태와 크기, 반감기, 가격 등을 꼽을 수 있으며, 영상을 얻고자 하는 물체의 두께에 따라 알맞은 소스를 선택할 필요가 있다. 표 3은 비파괴 검사 분야에서 감마선원으로 사용할 수 있는 각 동위원소에 대한 기본특성을 정리한 것이다[6].

동위원소별 특성에서 방출감마선의 평균에너지를 기준으로 비교해보면 ¹⁹²Ir > ⁷⁵Se > ¹⁶⁹Yb 로 ¹⁹²Ir의 에너지가 가장 크다. 보일러 튜브의 일반적인 두께가 20 mm 이하인 것을 고려했을 때 에너지를 기준으로 ¹⁹²Ir 보다 ⁷⁵Se이 유리하고, 더 낮은 에너지의 감마선을 방출하는 ¹⁶⁹Yb이 가

Table 3. Properties of ⁷⁵Se, ¹⁶⁹Yb, ¹⁹²Ir Radioactive Isotope.

Isotope	γ-ray energy [keV]	Intensity [%]	Half-life [day]	Gamma constant [Rm ² /Ci ⁻¹ hour ⁻¹]	Specific activity [Bqg ⁻¹]
¹⁶⁹ Yb	63.1	44.2	32.026	0.125	8.93E+14
	109.8	17.5			
	177.2	22.2			
	198.0	35.8			
	307.7	10.1			
⁷⁵ Se	121.1	17.2	119.779	0.203	5.37E+14
	136.0	58.3			
	264.7	58.9			
	279.5	25.0			
	400.7	11.5			
¹⁹² Ir	296.0	28.7	73.831	0.48	3.41E+14
	308.5	30.0			
	316.5	82.8			
	468.1	47.8			

장 유리하지만, 낮은 투과력으로 인해 영상을 획득하기까지 많은 양을 조사해야 되기 때문에 배관과 같이 길이가 긴 물체에 대한 영상을 획득할 때는 검사 시간이 길어지는 단점이 있다. 더불어 낮은 에너지를 방출하는 동위원소를 사용할 경우 작업 시간이 길어지기 때문에 작업자의 피폭관리 차원에서도 좋지 않은 영향을 주게 되고, 검사 대상의 두께가 두꺼우면 낮은 에너지대의 방사선은 다 흡수되어 버리기 때문에 얇은 판에 대해서만 적용할 수 있다는 점을 고려해야 한다. 차폐를 위해서는 ¹⁹²Ir의 반감기 3 mm, 철 : 23 mm이고 ⁷⁵Se은 납 : 1 mm 이하, 철 : 15 mm, ¹⁶⁹Yb는 납 : 1 mm 이하, 철 : 3 mm로서 차폐의 관점에서 ¹⁹²Ir 보다는 ⁷⁵Se나, ¹⁶⁹Yb을 사용하는 것이 장점으로 작용한다. 파이프의 미세한 결함을 찾아야 하는 경우에는 작은 두께 차이를 감지하여야 하므로 미세한 결함은 농축 확률이 큰 고에너지의 ¹⁹²Ir 보다 저에너지 영역대의 ⁷⁵Se나 ¹⁶⁹Yb가 더 효과적이다. 반면 반감기가 짧으면, 그만큼 사용주기도 짧아져서 동위원소 구입비용이 많이 들게 되기 때문에 반감기가 한 달 정도인 ¹⁶⁹Yb는 다른 감마선원에 비해 비용이 높다는 단점이 있다.

4. 영상 분석 방법

일반적인 영상 평가 방법으로는 공간 분해능, 대조도, 노이즈 세 가지를 기본 요소로 사용한다. 하지만 이러한 세 가지 기본 요소만을 가지고 영상을 비교 평가할 경우 적절한 평가를 할 수 없는 경우가 존재한다. 예를 들어 일반인도 쉽게 접할 수 있는 필름 영상과 CT 영상을 비교했을 때 공간 분해능은 필름이 높지만 대조도는 CT 영상이 우수하기 때문에 어느 영상의 품질이 더 좋은지 판단하기 어려운 경우가 발생한다. 이러한 경우를 위하여 두 가지 요소를 동시에 고려한 통합 평가 인자를 통해 영상을 비교 분석하는 방법이 있다. 통합 평가 인자에는 분해능과 대조도를 동시에 고려한 modulation transfer function (MTF), 대조도와 노이즈를 동시에 고려한 signal to noise ratio (SNR), 마지막으로 분해능과 노이즈 성분에 대한 위너스펙트럼이 있다. 본 연구에서는 배관 용접 부위의 원형 또는 타원형 결함을 비파괴 검사 대상으로 하고 있기 때문에 영상 평가 요소 중 대조도와 노이즈 그리고 이것을 동시에 고려한 SNR을 통해 여러 조건에 따른 영상을 비교 분석하였다.

대조도는 촬영 대상의 다른 두 영역간 명암 차이를 평가하는 척도이다. 영상 대조도는 촬영 대상의 화학적 조성 차이, 영상 기록 매체의 차이 (필름 또는 image plate), 조사 선원의 차이(X-ray 또는 동위원소), 조사 선원의 산란 방사선 존재 유무, 영상 장비에 존재하는 흐림 (fog) 또는 다른 기저 신호와 같은 몇몇 인자들에 의해 영향을 받는다. 영상 대조도는 아래 그림 4와 같은 방법으로 측정한다.

노이즈는 기록된 신호의 부정확성으로 정의한다. 많은 수의 X-ray 광자에 의해 생성된 영상은 일반적으로 노이즈가 적고, 적은 수의 X-ray 광자에 의해 생성된 영상은

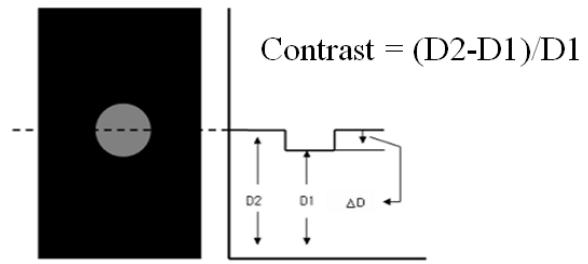


Fig. 4. Definition of image contrast.

부정확도가 높으며 많은 노이즈가 발생한다. 영상 시스템의 노이즈 발생 원인은 X-ray 생성 및 감쇄 작용의 근본적인 부정확도, 영상 필름의 조직결, 영상 시스템의 전자 회로 및 검출기에서 발생하는 전기적 노이즈 등과 같은 것이 있다. 노이즈를 평가하는 방법으로는 많은 방법이 있으나, 그중 가장 간단한 방법은 그림 5와 같이 영상의 균일한 영역 신호의 표준 편차를 구하는 것이다.

통합 영상 평가 인자 중 하나인 SNR은 위에서 언급한 대조도와 노이즈 성분을 동시에 고려하여 촬영 대상을 얼마나 잘 관측 할 수 있는지 평가하는 척도로써, 영상 시스템의 신호 진폭을 노이즈로 나눈 값이며, 그림 5과 같이 구한다. SNR 값이 클수록 영상의 품질이 우수하다고 판단한다.

5. ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 선원별 영상에 대한 대조도 및 SNR 분석

Computed Radiography 영상 시스템에 적용할 최적방사선 선원 평가를 위하여 별도로 제작한 평판형, 튜브형 결함시편을 이용하여 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 방사선원별 영상을 획득하고 비교 분석하였다. 그림 6은 동위원소별 영상 촬영을 위한 실험 설정이다. 동위원소와 결함시편 사이의 거리는 50 cm이고, 결함시편의 두께별 조사 시간은 표 4에 나타내었다. 주어진 조건으로 획득된 평판형 결함시편의 영상은 그림 7에, 튜브형 결함시편의 영상은 그림 8에 나타내

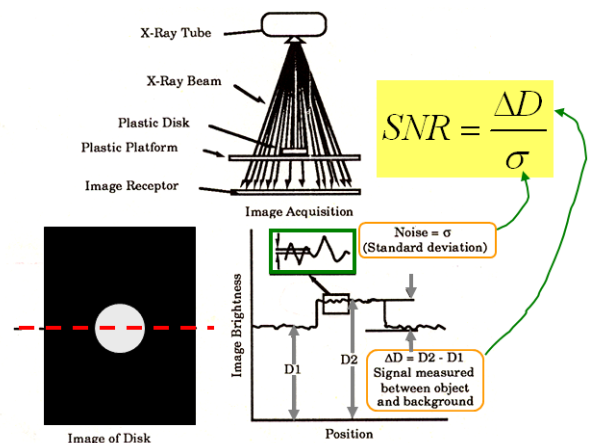


Fig. 5. Definition of noise and signal to noise ratio (SNR).

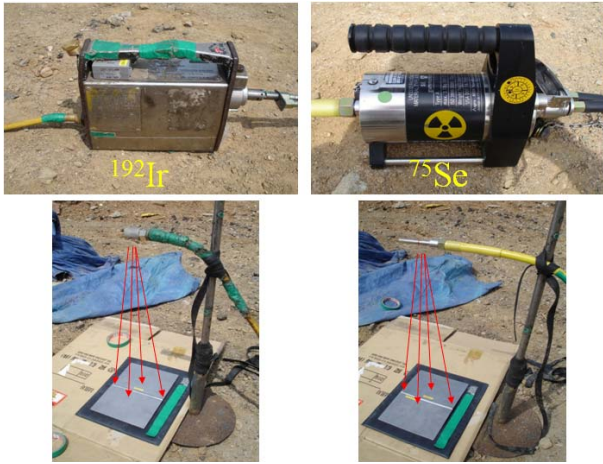


Fig. 6. Photograph of experimental setup for image acquisition (¹⁹²Ir : left, ⁷⁵Se : right).

었다. 획득된 영상 분석을 위하여 EPIX Inc. XCAP 이미지 소프트웨어를 사용하여 결합시편 영상을 기준으로 gray scale 값을 인출하고 대조도 및 SNR 영상 평가 인자 계산에 사용하였다. 그림 9, 10은 분석된 대조도와 SNR 결과이다. ⁷⁵Se와 ¹⁹²Ir에 대한 평판형 결합시편의 영상 대조도 분석 결과, 두께 2~10 mm에 대한 모든 경우에서 ⁷⁵Se를 사용하여 촬영된 영상의 대조도가 더 높게 분석되었다. 특히 두께 2~4 mm 시편에서는 2배 정도 차이를 보였으며 나머지 두께에 대해서는 1.5배 정도 대조도 차이를 나타냈다. 이러한 결과를 통해 10 mm 이하의 촬영 대상체에 대해서는 ¹⁹²Ir 보다 ⁷⁵Se를 사용하는 것이 결함을 발견하는 것이 더 유리하며, 특히 4 mm 이하의 얇은 두께의 피사체에 대해서 ⁷⁵Se가 ¹⁹²Ir보다 대조도가 높은 영상을 얻을 수 있다는 것을 수치적으로 확인하였다. 튜브형 시편 두께 1~2 mm에 대해서도 ⁷⁵Se를 사용했을 때의 영상의 대조도가 약 1.5배 높게 나타났다.

⁷⁵Se와 ¹⁹²Ir에 대한 평판형 결합시편의 SNR 분석 결과도 대조도 결과와 동일한 유형을 나타내었다. 두께 2~10 mm에 대한 모든 경우에서 ⁷⁵Se를 사용하여 촬영된 영상의 SNR이 약 1.5배 정도 높게 분석되었다. 튜브형 시편 두께 1~2 mm에 대해서도 ⁷⁵Se를 사용했을 때의 SNR이 두께 1 mm에 대해서는 1.5배, 두께 2mm에 대해서는 3배 높게 분



Fig. 7. Images of plate object with hole defects of diameter 0.5, 1, 2, 3 mm and 2 mm thickness (¹⁹²Ir : left, ⁷⁵Se : right).

Table 4. Irradiation times for images acquisition.

	Plate Object			Tube Object	
	2, 3mm	4, 5mm	8, 10mm	1 mm	2 mm
⁷⁵ Se	30sec	35sec	40sec	30sec	35sec
¹⁹² Ir	30sec	40sec	45sec	30sec	40sec

석되었다.

6. ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 선원별 영상에 대한 식별도 분석

튜브형태의 검사체에 대한 방사선투과검사 영상을 평가하는 방법으로 투과도계를 이용한 식별도 평가 방법이 있다. 투과도계는 특정한 선지름이 배열된 검사체로서 방사선투과검사를 통해 얻어진 영상에서 식별 가능한 최소 선지름을 가지고 영상을 평가하는 방법이다. 그림 11은 식별도 분석에 사용되는 투과도계이다.

$$\text{식별도}(\%) = \frac{\text{투과도계 식별최소선지름}(mm)}{\text{시험편 투과두께}(mm)} \times 100$$

식별도 검사를 위해 화력발전소에서 설치 운영되고 과열기 튜브와 수냉벽튜브를 절단하여 사용하였다. 과열기 튜브는 재질이 TP-347H-T11이고 외경은 지름 51 mm, 두께 8 mm이고, 수냉벽튜브는 재질은 SA213-T12이고 외경은 45 mm, 두께 5 mm 이다. 준비된 검사체 위에 선지름이 0.1~0.4 mm로 구성된 F02 투과도계를 놓고 ¹⁹²Ir, ⁷⁵Se 선원을 이용하여 영상을 촬영하였다. 감마선원과 image plate 사이의 거리는 200 mm, 300 mm에서 각각 촬영하였다. 그림 12는 수냉벽 튜브에 대한 촬영 영상을 나타내며, 각각의 경우에 대한 촬영 영상을 분석한 식별도는 표 5에 나타내었다. 상대적으로 얇은 수냉벽 튜브 검사체에 대한 식별도는 ⁷⁵Se으로 촬영한 영상이 2.0, 2.5%이고, ¹⁹²Ir로 촬영한 영상이 2.5, 3.2% 이다. 식별도는 동일한 두께에 대해서는 식별 가능 최소 선지름이 낮은 영상일수록 품질이 좋은 것으로 평가하기 때문에 ⁷⁵Se을 사용했을 경우가 보다 우수한 영상이 획득되었다. 과열기 튜브에 대

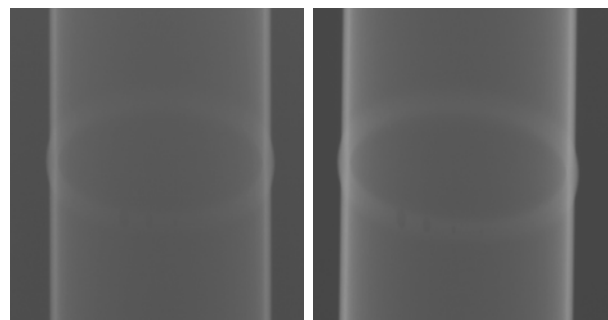


Fig. 8. Images of tube object with hole defects of diameter 0.5, 1, 2, 3 mm and 2 mm thickness (¹⁹²Ir : left, ⁷⁵Se : right).

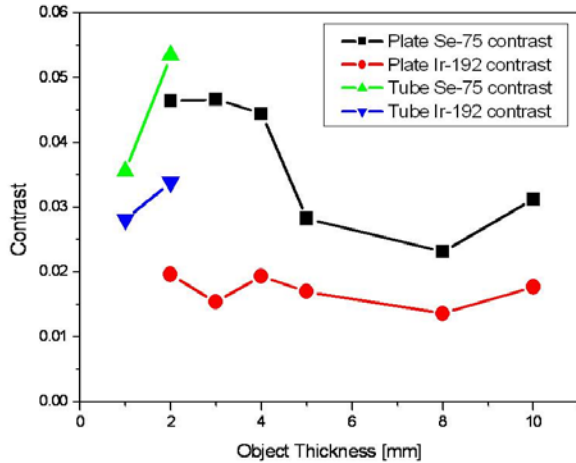


Fig. 9. Contrast of acquired plate and tube images. (square and triangle marker : ^{75}Se images, circle and inverted triangle marker : ^{192}Ir images).

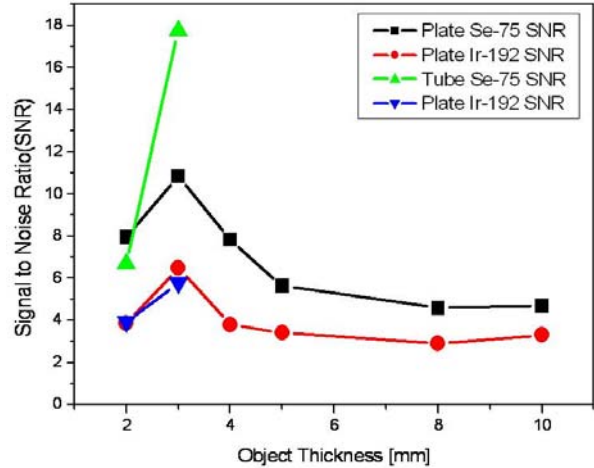


Fig. 10. SNR of acquired plate and tube images. (square and triangle marker : ^{75}Se images, circle and inverted triangle marker : ^{192}Ir images).

한 식별도의 경우에도 ^{75}Se 을 사용한 경우의 영상이 더 우수하였다. ^{75}Se 을 사용한 경우 1.3%의 식별도를 나타내었지만, ^{192}Ir 을 사용한 경우에는 1.6%로 한단계 낮은 식별도를 나타내었다. 이것은 동일 두께의 검사체에 대해서 ^{75}Se 을 사용했을 때 보다 미세한 결함을 검출할 수 있다는 것을 나타낸다. 촬영거리에 따른 식별도는 동위원소에 상관없이 300 mm 조건에서 촬영한 영상이 1.3~2.5%, 200 mm 조건에서 촬영한 영상이 1.6~3.2%로 촬영거리가 먼 경우에 보다 품질이 좋은 것으로 나타났다. 이것은 사용하는 선원이 이상적인 점선원이 아니고 일정한 크기를 가지고 있기 때문에 생기는 기하학적 불선명도가 선원의 거리가 멀어질수록 좋아지기 때문이다. 동위원소에 따른 거리별 영상 식별도를 비교해보면 200, 300 mm 촬영 조건 모두에서 ^{75}Se 의 식별도가 높게 분석되었다. 200 mm 촬영의 경우 ^{75}Se 이 1.6~2.5%, ^{192}Ir 이 2.0~3.2%였고, 300 mm 촬영의 경우 ^{75}Se 이 1.3~2.0%, ^{192}Ir 이 1.6~2.5%으로 모두 ^{192}Ir 이 한단계 낮은 식별도를 나타내었다. 특히 상대적으로 짧은 200 mm의 경우에서 ^{75}Se 의 식별도가 높은 결과는

보일러튜브 등을 촬영하는 경우 방사사선원의 거리를 충분히 확보할 수 없는 작업 환경을 고려했을 때 짧은 거리에서도 충분한 식별도를 얻을 수 있는 ^{75}Se 을 사용하는 것이 유리함을 나타낸다.

Table 5. IQI Sensitivity of Images Using ^{192}Ir and ^{75}Se .

동위원소	검사체	촬영거리 (mm)	식별 가능 최소 선지름(mm)	식별도(%)
^{75}Se	수냉벽튜브	200	0.25	2.5
		300	0.2	2.0
	과열기튜브	200	0.25	1.6
		300	0.2	1.3
^{192}Ir	수냉벽튜브	200	0.32	3.2
		300	0.25	2.5
	과열기튜브	200	0.32	2.0
		300	0.25	1.6



Fig. 11. Photograph of wire-type image quality indicator (IQIs).

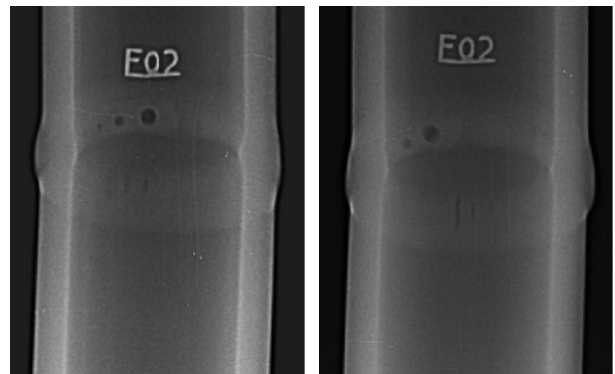


Fig. 12. Images of cooling tube using ^{75}Se : SID 200 mm(left), 300 mm (right).

7. 맺는 말

비파괴검사 분야에서 방사선투과검사는 필름을 사용하여 영상을 획득하는 이유로 현상과정 및 폐기 과정에서 오염물질이 발생하고 장기간 보관에 따른 필름의 변색을 방지하기 위해 항온 항습 시설이 갖춰진 보관 장소 등의 시설 투자가 필요하다. 또한 아날로그 영상이므로 데이터 베이스 구축이 어렵고, 검사 결과가 원본 필름뿐이므로 원격 판독이 어려운 문제가 있다. 최근 디지털 기술의 발전으로 비파괴검사 분야에서도 디지털 영상 기기의 도입이 시도되고 있고 배관 검사 분야에서는 촬영의 공간적 제약 및 이동성을 고려하여 가장 효율적인 검사 장비로 computed radiography 시스템이 주목을 받고 있다. Computed radiography 영상 시스템은 필름 대신 휘진성 형광물질인 image plate를 사용하여 디지털 영상을 획득하게 되는데 방사선에 대해 고감도 반응성을 가지고 있다. 비파괴검사 분야에서 디지털 영상 획득을 위한 장비의 교체와 함께 고려해야 되는 것이 촬영에 사용되는 동위원소이다. 현재 국내에서 보일러 튜브 검사에 사용되는 감마선원은 ^{192}Ir 을 100% 사용하고 있다. 하지만, 디지털 장비의 도입과 함께 고감도 방사선 감응 매체가 사용되고 있기 때문에 검사에 사용되는 방사선원에도 변화가 필요하다. 동위원소를 이용한 비파괴 검사 시 고려해야 할 사항은 선원의 에너지 레벨, 선원의 형태와 크기, 반감기, 가격 등을 꼽을 수 있고, 이를 고려할 때 비파괴 검사 분야에서 감마선원으로 사용할 수 있는 동위원소에는 ^{192}Ir , ^{75}Se , ^{169}Yb 이 있다. 검사체의 두께와 에너지, 가격, 차폐 문제를 고려했을 때 배관 분야에 적합한 것은 ^{75}Se 이다. 감마선원 특성을 기준으로 제시된 ^{75}Se 과 기존 배관 검사에서 사용되고 있는 ^{192}Ir 을 CR 영상 시스템에 적용했을 때의 영상 품질을 비교하기 위하여 동일한 검사체에 대한 영상을 획득하고, 획득된 영상의 대조도 및 신호대잡음비를 분석하였다. 평판형 결합시편의 영상 대조도 분석 결과 두께 2~10 mm에 대한 모든 경우에서 ^{75}Se 를 사용하여 촬영된 영상의 대조도가 높게 분석되었다. 특히 두께 2~4 mm 시편에서는 2배 정도 차이를 보였으며 나머지 두께에 대해서는 1.5배 정도 대조도 차이를 나타냈다. 이러한 결과를 통해 얇은 두께의 피사체에 대해서 ^{75}Se 가 ^{192}Ir 보다 대조도가 높은 영상을 얻을 수 있다는 것을 실험적으로 확인하였다. 튜브형 시편 두께 1~2 mm에 대해서도 ^{75}Se 를 사용했을 때의 영상의 대조도가 약 1.5배 높게 분석되었다. 또한 ^{75}Se 와 ^{192}Ir 에 대한 평판형, 튜브형 결합시편의 SNR 분석 결과도 대조도 결과와 동일한 유형을 나타내었다. 두께 2~10 mm에 대한 모든 경우에서 ^{75}Se 를 사용하여 촬영된 영상의 SNR이 약 1.5배 정도 높았고, 튜브형 시편의 경우 ^{75}Se 를 사용했을 때의 SNR이 두께 1 mm에 대해서는 1.5배, 두께 2 mm에 대해서는 3배 높게 분석되었다. 투과도계를 이용한 식별도 분석 결과에서도 ^{75}Se

를 사용했을 경우 식별 가능 최소 선지름이 더 가늘었다. ^{75}Se 를 사용한 경우 두께 5 mm 수냉벽 튜브와 두께 8 mm 과열기 튜브에 영상에서 모두 0.2 mm의 선까지 식별이 가능하여 2.0%, 1.3%의 식별도를 나타내었지만, ^{192}Ir 을 사용한 경우에는 2.5%, 1.6%로 한단계 낮은 식별도를 나타내었다. 이것은 동일 두께의 검사체에 대해서 ^{75}Se 를 사용했을 때 ^{192}Ir 의 경우보다 미세한 결함을 검출할 수 있다는 것을 나타낸다. 200, 300 mm 촬영 거리에서 촬영한 각각의 영상의 식별도 또한 ^{75}Se 를 사용한 경우가 모두 높았다. 특히 짧은 촬영거리에 대해서도 ^{75}Se 로 촬영한 영상의 식별도가 수냉벽 튜브에 대해서는 2.5%로 ^{192}Ir 을 사용했을 때의 3.2%보다 좋고, 과열기 튜브에 대해서는 ^{75}Se 이 1.6%, ^{192}Ir 이 2.0% 이었다. 짧은 촬영 거리에 대한 식별도가 높다는 것은 보일러튜브와 같은 검사체를 촬영하는 경우 장소가 협소하여 투과검사에 필요한 공간 확보가 어려운 경우에도 ^{75}Se 이 ^{192}Ir 에 비해서 고품질의 영상 획득에 유리함을 나타낸다. 결국 비파괴검사 분야에서 필요로 하는 디지털 영상을 얻을 수 있는 방식 중에서 현장 적용성과 휴대성 등을 고려했을 때 computed radiography 방식이 다른 디지털 촬영 방식에 비해 가장 유리하고 이러한 시스템 변화에 맞추어서 기존에 사용하고 있는 ^{192}Ir 선원을 ^{75}Se 으로 변경하는 것이 고화질의 방사선 투과 영상을 획득하여 검사의 품질을 향상시킬 수 있는 방안이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 전력기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Peter H. Radiography of welds using selenium 75, Ir 192 and X-rays. 12th Asia-Pacific Conference on NDT 2006.
2. Mark GS. Advanced, Second-Generation Selenium 75 Gamma Radiography Sources. 15th World Conference on Non-destructive Testing 2000.
3. Gregory AM, Peter W. Factors affecting probability of Detection with computed radiography. 17th World conference on Non-destructive Testing 2008.
4. Uwe E, Uwe Z, Klaus B. Strategies for film replacement in radiography. IV Pan American Conference for Non Destructive Testing 2007.
5. Steven AM. How to evaluate the radiographic performance and long-term stability of a computed radiography system, IV Pan American Conference for Non Destructive Testing 2007.
6. <http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm>.
7. Bruce HH. The physics of medical X-ray imaging. 2th ed. Wisconsin; medical physics publishing, 1991:1-10.

Comparison of Non-Destructive Testing Images using ^{192}Ir and ^{75}Se with Computed Radiography System

Sang Mook Kang^{*}, Chang Il Chol^{*}, Seung-Kyu Lee^{*}, Sang Ki Park[†] and Yong Kyun Kim^{*}

^{*}Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, [†] Korea Electric Power Research Institute

Abstract - A computed Radiography (CR) system by use of reusable Image Plate (IP) offers a convenient and reliable way to replace a conventional film-screen system for NDT (non-destructive testing) field. The quality of a radiography to detect a defect of welded objects depends on the procedure embracing several factors such as measurement conditions, image plate type/class, radiation energy, radiation type, and source to image plate distance. Also, the ability of images to detect a flaw reduces with increasing object thickness. In the study, the properties of gamma ray source were summarized for NDT field and inspection images of CR image system manufactured by FUJI were acquired using ^{75}Se and ^{192}Ir with welded objects. We analyzed the gray scale of hole defect image by using XCAP image processing program and calculated the image contrast and SNR in definition. Also the sensitivities of image quality indicator(IQI) were calculated for hot and cooling tube image of ^{75}Se and ^{192}Ir .

Keywords : Selenium-75, Iridium-192, Non-destructive testing, Computed Radiography