

방사선을 이용한 배관 검사 시스템 제작

김용균, 홍석봉, 정종은, 박세환, 이우교

한국원자력연구소

Radiometric Scanning System for the Inspection of the Pipeline

Yong-Kyun Kim, Seok-Boong Hong, Chong-Eun Chung, Se-Hwan Park, and Woo-Gyo Lee

Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract

Digital 방사선투과검사 시스템인 1차원 Radiometric scanning system을 개발하여 부식 및 침적물이 있는 배관의 두께평가에 적용하였다. 단일 방사성 동위원소에서 나오는 방사선을 선형으로 집속하여 시험체를 투과시킨 방사선을 BGO 검출기를 사용하여 측정하는 single source - single detector alignment system과 제어 프로그램을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 GEANT4 프로그램을 사용하여 예측하였다. 그리고, 인공결함을 제작하여 넣은 시편과 두께 변화를 준 시편에 적용하여 실제 성능을 평가하였다. 방사성 동위원소를 이용하여 배관의 부식과 침적물에 의한 두께 변화에 대하여 실시간으로 필름을 사용하지 않고 평가할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : 배관, 디지털 방사선투과시험 두께평가, 부식평가

1. 서 론

배관은 발전설비, 화학플랜트 뿐만 아니라, 가스 및 유류 설비에서 에너지원 및 유체의 물질을 수송하는데 필수적인 설비로서 전체 설비의 손상 중에서 배관 설비에서 일어나는 손상이 16.5%나 되는 상당히 높은 손상 비율을 보이고 있다. 이러한 손상의 원인은 용접시공의 오류 및 부식 및 침식 부위의 방치와 운전 오류 등이 있으나 결과적으로 배관의 건전성을 제대로 평가하지 못하는 데 그 원인이 있다.

배관의 건전성 평가를 제대로 하지 못하는 원인 중의 하나가 배관의 열효율 향상을 위한 보온재에 기인되는 것이 상당 부분 차지한다. 일반적인 비파괴 시험법인 초음파 시험으로 보온재가 싸인 배관의 검사를 하기 위해서는 검사부위에 초음파 탐촉자를 접촉시키기 위하여 보온재를 제거해야만 한다.[1] 이러한 경우 보온재의 재시공 및 검사비용의 절감을 위하여 부분적인 보온재 제거를 하게 되므로 pit corrosion과 같은 국부적인 부식(local

corrosion)의 검출이 어렵다. 또한 압전 소자를 사용한 초음파 탐촉자를 사용한 초음파 검사를 할 경우에는 압전 소자의 curie 온도 이상이 되면 고온배관의 표면온도가 초음파 탐촉자를 배관 표면에 직접 접촉하면 압전소자의 유전성질을 상실하거나 접촉 매질이 쉽게 건조하기 때문에 검사가 어렵다.

위와 같은 원인 때문에 보온재가 싸인 배관의 검사는 보온재를 제거하지 않으면서 비접촉 방법에 대해 관심이 높아져 왔다. 이러한 방법의 하나가 필름을 사용한 방사선 투과 시험법으로 보온재를 제거하지 않고 넓은 영역을 한번의 검사로 가능하다는 장점이 있는 tangential radiography 등이 국내외 산업현장에서 활용되고 있다.[2] 그러나 tangential radiography 법은 필름을 사용하는 관계로 필름의 고유한 특성 때문에 정확성이 떨어지는 단점을 지닌다. 즉 필름은 일정 농도에 이르면 포화 농도가 되므로 이러한 영역에서는 입사되는 방사선량에 비례하여 필름 농도의 변화가 일어나지 않아 포화 농도 이상에서는 평가가 불가능하다. 특

히 배관의 기하학적 형상에 의해 배관 중심부로 방사선이 투과하는 두께에 비하여 배관 내경이 접하는 경로로 방사선이 투과하는 두께는 최소 4배 이상의 차이를 갖는다. 이러한 투과 두께의 차이에 의하여 이들 모두를 포함하는 적절한 노출 조건을 설정하는 것이 불가능하다.[3]

일본, 미국, 유럽 등 선진국에서는 전통적인 film radiography 대신 섬광체 혹은 반도체 검출기를 이용한 film less radiography에 대한 연구가 활발하게 진행되어 이제 상용화 기술로 전환되는 시점에 있으나 국내의 경우는 여전히 초음파 측정기에 의한 부분 검사와 전통적인 film radiography에만 의존하고 있는 실정이다.[4] 본 논문은 선진국에서 활발히 연구 개발하고 있는 film less radiography 기술의 하나인 방사성 동위원소와 섬광형 검출기를 이용하여 배관의 부식 및 침적물을 평가하기 위한 1차원 radiometric scanning 시스템의 국산화 개발 제품의 구성 및 성능시험 결과를 기술하였다.

2. 설계 및 제작

2.1 설계 Simulation

배관 검사용 Radiometric scanning system 설계를 위한 준비작업으로 앞과 뒤에 defect가 있는 강재 파이프에서 defect의 위치 변화에 따른 simulation을 GEANT4를 사용하여 수행하였다.[5] 그림 1은 GEANT simulation에 사용한 기하학적 구조를 나타내고 있다. 방사선원으로부터 검출기를 향하는 방향을 z축으로 하고, x축은 종이의 상단에서 하단으로 향하는 방향을 취하였다. 방사선원의 차폐체는 직경이 3cm이고 홈의 반경이 0.5cm이며, 높이가 3cm이다. 파이프는 두께가 6mm인 강재 파이프로서 내경이 30cm이다. 방사선원은 ^{252}Cf Co-60을 선정하였으며 검출기는 직경과 높이가 각각 5.08 cm인 원통형 BGO검출기를 선정하였다.

그림 2는 GEANT에서 프로그램 된 geometry에 100개의 입자를 입사시킨 후의 모습을 3차원으로 나타내고 있다. 이와 같은 파이프 결함 측정 system에 대한 simulation으로 직경 3mm, 깊이 3mm의 같은 크기의 defect1, 2가 있다고 가정하여 계산을 수행하였다. 선원의 감마선이 진행방향을 퍼지는 효과에 의하여 결함검출 가능성이 달라지므로 다음의 두 가지 경우에 대한 simulation을 수

행하여 결과를 비교하였다. 첫째로는, defect1이 존재하고 defect2가 없을 때 defect1을 위 방향으로 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mm 이동하면서 각각에 대한 감마선 입자를 100개를 투과시켰을 때 검출기에 도달한 입자의 수를 측정하였다. 또한, defect1은 존재하지 않고 defect2만 존재할 때 동일한 조건에서 검출기에 도달한 입자의 수를 측정하였다.

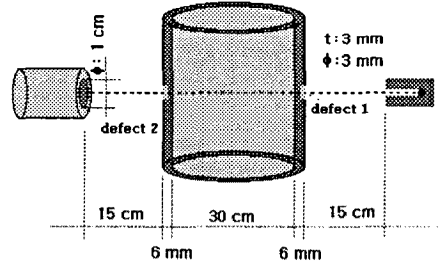


그림 1 Geometry arrangement for GEANT simulation

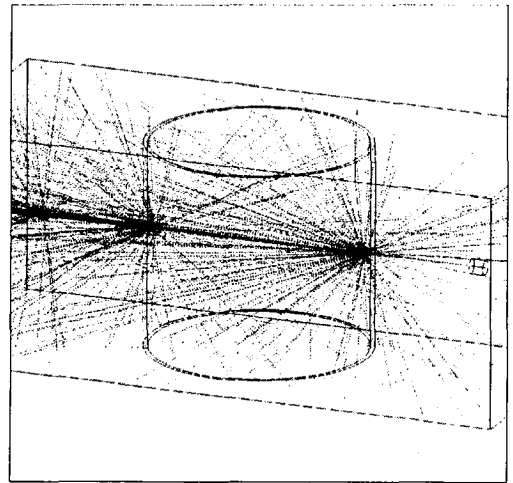


그림 2 γ -ray traces of the 100 generated events in the 3-dimensional geometry

그림 3은 감마선원과 검출기의 중심축으로부터 defect가 이동함에 따라 검출기에 검출되는 입자수의 변화를 나타내는 그래프이다. 그래프의 X-축은 중심축에서 결함까지의 거리를 나타내며 Y-축은 계산된 측정치를 나타낸다. 파이프의 결함이 감마

선원 쪽에 있을 때에(defect 1의 경우) scanning에 의하여 더욱 정확히 구분됨을 확인할 수 있으며, 파이프의 결함이 검출기 쪽에 있을 경우에는 감마선의 퍼짐 현상에 영향을 받으므로 입자수의 변화가 크지 않으나 구분은 가능함을 확인하였다. 실제 시스템에서는 집속된 선원을 사용하므로 본 simulation보다 더 나은 성능을 보이게 된다.

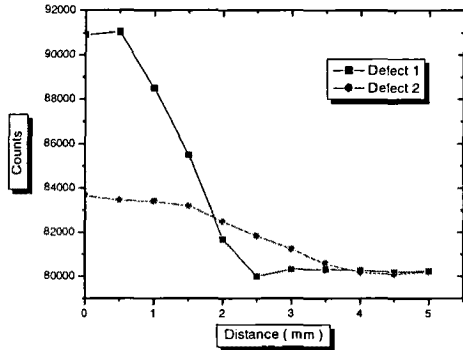


그림 3 Variation of the number of detected particles according to defect position

2.2 시스템 제작

Radiometric scanning system용으로 주로 사용하는 방사선 검출기는 NaI(Tl) 단결정을 이용한 섬광검출기이다. 섬광검출기는 방사선이 입사되었을 때 섬광을 발생시키는 물질인 섬광체를 이용한다. 감마선이 섬광체에 들어오면 아주 짧은 시간(약 $1\mu s$ 이하) 동안 빛을 발생하며, 그 섬광을 광증배관(Photo Multiplier Tube, PMT)을 이용하여 전기적인 신호로 바꾸는 것이 섬광검출기의 방사선 계측 원리이다. 따라서 선정된 섬광체의 특성에 따라 시스템의 정밀도 및 방사선원의 세기의 결정에 영향을 미치게 된다.[6]

섬광검출기의 후보재료로 BGO와 NaI(Tl)을 선정하였으며, 비교검토 후 BGO 검출기를 사용하는 것이 방사선원의 강도를 줄일 수 있으므로 유리하다는 결론을 얻었다. BGO 섬광체의 구입가격 변동이 심하고 NaI(Tl)검출기에 비하여 5~10배 가격이 비싼 것이 단점이지만, system의 성능을 위하여 BGO 검출기를 사용하기로 하였다.

본 연구에서는 소형 이동시스템에 적합하도록

신호처리부에 해당하는 진치증폭기-판별기-고전압 선원을 그림 4와 같이 일체형 독립 모듈로 개발하였다. 고압전원은 디지털제어가 가능한 고전압 전원을 사용하여 다양한 섬광체에 사용할 수 있도록 하였다. 진치증폭기는 증폭도를 조정할 수 있도록 하였고, 판별기는 threshold level 조절이 가능하고, 안정적인 판별기 출력을 위한 온도보상회로를 내장하였다.

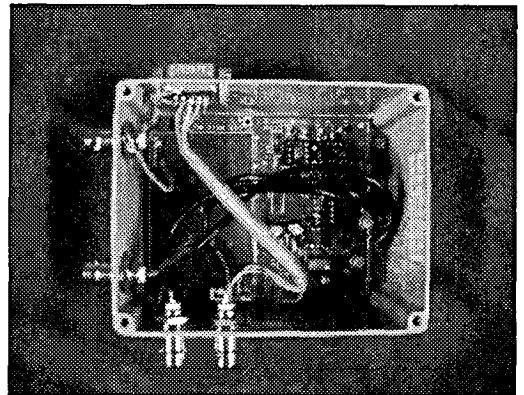


그림 4 Signal processing part

그림 5의 Scanner는 line-beam type의 방사선 조사를 위한 방사선 집속기를 자체 설계 제작하였으며, stepping motor 및 기어박스를 장착하여 0.1mm의 위치 정밀도로 프로그램에서 제어가 가능하도록 하였다.

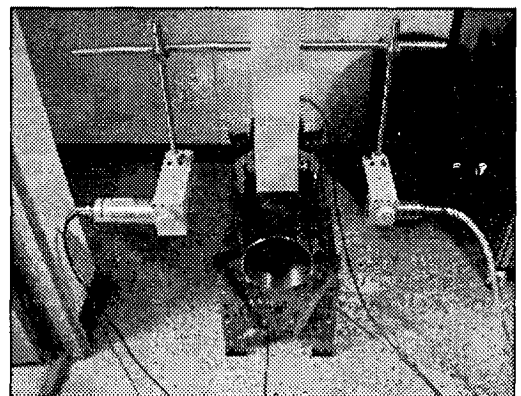


그림 5 Scanner

제어 시스템에서 구동되는 하드웨어는 motor와 counter 두 부분으로 구성하였으며, 신호의 흐름은 센서와 pre-amp를 거친 후 컴퓨터에 내장된 counter에 의해서 계수되고, 전체적인 제어는 자체 개발한 프로그램에서 수행된다.(그림 6)

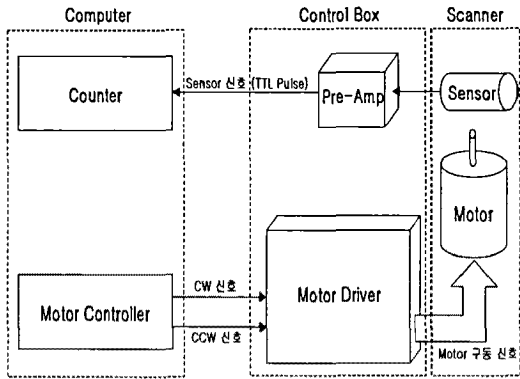
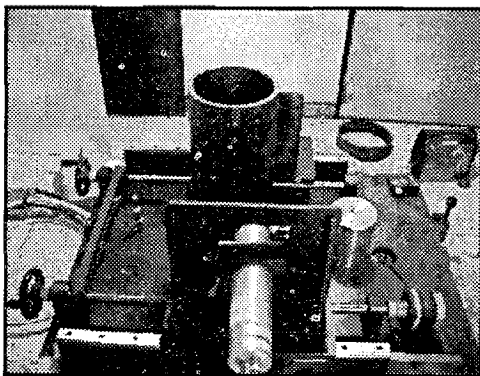


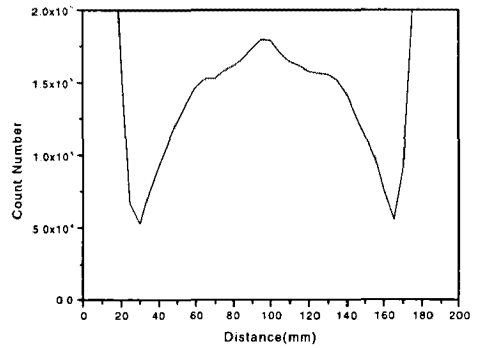
그림 6 Schematic diagram of system

3. 성능 시험 결과

측정시스템의 적용성 및 검증을 위해 배관 시험편의 표면에 인공결함을 가공하였다. 그림 7의 (a)는 배관(8인치)에 평저공을($\phi 100$, $t=2\text{mm}$) 내어 임의의 결함을 만들어, Ir-192(약 20mCi)를 이용하여 두께변화에 따른 투과된 방사선의 개수를 측정하는 실험이다. 그림 7의 (b)는 2mm 두께변화에 대한 계수값이다. 그림 7의 (b) 가운데의 볼록한 점이 2mm 두께변화에 대한 계수값의 변화를 나타내고 있다.



(a) Equipment of experiment



(b) Variation of count number to measurement point

그림 7 Results of thickness variation in 8 inch pipe

측정된 두께 프로파일을 이용하여 파이프단면을 그려보았다. 이때 배관은 좌·우 대칭이라고 가정하였다. 그림 8의 결과에서 알 수 있듯이 배관 중앙에서는 거의 정확한 두께를 나타내고 있지만 양단의 두께는 거의 나타나고 있지 않다. 그리고 좌·우 대칭이라고 가정하였기 때문에 침적물의 전체적인 두께만 판단할 수 있을 뿐 정확한 형태나 위치에 대한 평가는 향후 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

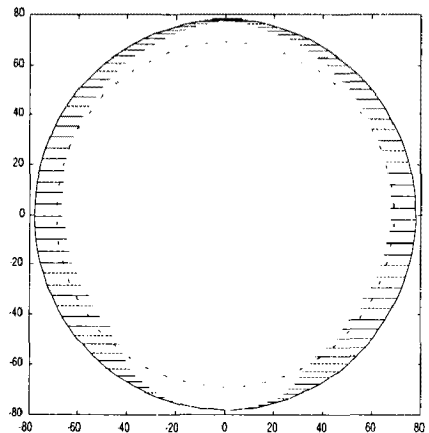


그림 8 Evaluated thickness of pipe. $t=9\text{mm}$

4. 결 론

본 연구에서는 line beam 형태의 방사선과 단일 고체형 검출기를 이용한 제1세대형 Radiometric scan 시스템을 개발하였다. 이를 위해 방사성동위원소에서 나오는 방사선을 선형으로 집속하고 시험체를 투과한 방사선을 검출하는 single source - single detector alignment system을 제어하는 기계주사 시스템의 H/W 및 S/W를 개발하고 검출기로 받아들인 데이터를 처리하여 배관의 두께변화 혹은 density profile을 전개하는 시스템 및 프로그램을 개발하였다. 시스템의 구동부 및 제어장치를 현장 적용성을 고려하여 휴대용으로 개발하였으며, 방사성 동위원소는 Ir-192(약 20mCi)를 사용하여 작업자의 안전성 및 사용 동위원소의 경제성을 높였다. 시험배관의 크기는 10인치 이내에서 검사 가능하지만 Co-60 이용시는 10인치 이상의 배관에서도 검사가 가능하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 장지훈, 조경식, 김기동, “보온재 부착 파이프 라인의 부식두께 측정기술 개발”, 2001년도 비파괴학회 추계학술발표회, pp. 213-218
- [2] 이성식, 김영환, “Tangential Radiography를 이용한 배관의 두께 평가법”, 한국비파괴검사학회지, Vol. 18, No. 3, pp. 205-210,(1998)
- [3] 이성식, 이정기, 김영환, “Film Radiography에서 농도차를 이용한 정량적 두께 평가에 관한 연구”, 한국비파괴검사학회지, Vol. 19, No. 5, pp. 356-362(1999)
- [4] S. Rozsa, Nuclear Measurements in Industry, Elsevier, Amsterdam 1989
- [5] GEANT4, www.info.cern.ch/asd/geant4/geant4.html
- [6] G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, Wiley, New York, 1979