

배관 검사용 Radiometric Scanning System 제작 및 시험

Development of Radiometric Scanning System for the Evaluation of the Pipeline

김용균*, 홍석봉*, 정종은*, 이정기**†, 이윤호**, 정용하**
 Yong-Kyun Kim*, Seok-Boong Hong*, Chong-Eun Chung*,
 Jeong-Ki Lee**†, Yoon Ho Lee** and Yong Ha Jung**

초 록 필름을 사용하지 않는 방사선투과검사 시스템인 1차원 Radiometric scanning system을 개발하여 부식 및 침적물이 있는 배관의 두께평가에 적용해 보았다. 개발된 시스템은 단일 방사성 동위원소에서 나오는 방사선을 선형으로 집속하여 시험체를 투과시킨 방사선을 한개의 섬광형 검출기인 BGO를 사용하여 검출하는 single source - single detector alignment system을 제어하는 기계주사 시스템과 제어 프로그램을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능을 GEANT4 프로그램을 사용하여 예측하여 보았다. 그리고, 인공결함을 제작하여 넣은 시편과 두께 변화를 준 시편에 적용하여 실제 성능을 평가하였다. 이 시스템은 방사성 동위원소를 이용하여 배관의 부식과 침적물에 의한 두께 변화에 대하여 실시간으로 필름을 사용하지 않고 평가할 수 있는 가능성을 알 수 있었다.

주요용어 : 배관, 디지털 방사선투과시험 두께평가, 부식평가

Abstract One dimensional Radiometric scanning system was fabricated and tested as a filmless radiographic inspection system, which could be applied to the evaluation of the corrosion and deposits in the pipeline. This system is composed of the single radioactive source of the collimated focusing beam, and single scintillation detector of BGO, and the mechanical scanning system to transport and align the source and detector, and the operating software to automatically control the mechanical scan system. The performance of the system was simulated using GEANT4 software. This system is applied to one specimen having an artificial flaw(flat bottom hole) in the pipe and the other specimen with thickness variation. For the inspection by using the radioactive source in the pipeline, it is possible to evaluate the corrosion and deposits in real time and without film.

Keywords: pipeline, digital radiography, thickness evaluation, corrosion evaluation

1. 서 론

배관은 발전설비, 화학플랜트 뿐만 아니라, 가스 및 유류 설비에서 에너지원 및 유체의 물질을 수송하는데 필수적인 설비로서 전체 설비의 손상 중에서 배관 설비에

서 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 제거공 및 검사비용의 절감을 위하여 부분적인 보온재 제거를 하게 되므로 pit corrosion과 같은 국부적인 부식(local corrosion)의 검출이 어렵다. 또한 표면온도가 압전 소자의 curie 온도 이상인 고온배관의 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 국내의 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 불가능 하다. 특히 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].

따라서 이러한 문제들을 극복하기 위해서는 입사 방사선이 일정 양을 넘게 되면 포화농도에 이르게 되어 분석이 불가능한 필름 대신 입사 방사선의 지속적인 계수(counting)가 가능한 고체형 검출기를 사용해야 한다. 이러한 기술적 측면 외에도 배관검사를 위해 검출기로 필름을 이용할 경우 20~50 Ci의 고 강도 방사성동위원소를 사용하더라도 장시간 노출을 주어야 하므로 방사선 작업 종사자의 과다 피폭이 초래될 수 있으나 고체형 검출기를 사용할 경우에는 mCi 수준의 동위원소를 사용해도 시험이 가능하므로 작업 종사자의 안전성을 크게 향상시킬 수 있다. 이 외에도 고체형 검출기를 사용함에 따라 실시간(real time)으로 검사가 가능할 뿐만 아니라, 필름을 사용할 경우 반드시 수반되는 현상액에 의한 환경오염을 피할 수 있

고 필름현상 및 투과필름의 보관과 관리에 필요한 부대시설의 설치와 유지에 따른 제반 비용이 크게 절감될 것이다. 일본, 미국, 유럽 등 선진국에서는 전통적인 film radiography 대신 섬광체 혹은 반도체 검출기를 이용한 filmless 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.

본 논문은 선진국에서 활발히 연구 개발하고 있는 filmless 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. 이론적 배경 및 설계 Simulation

2.1. 방사성 동위원소를 이용한 두께 측정

방사성 동위원소를 이용한 두께측정 방법에는 일반적으로 투과형과 반사형의 두 가지 방법이 알려져 있다[4]. 본 연구에서는 투과형 방식을 이용하여 두께를 평가하였다. 투과형 방식에는 방사선이 임의의 물질을 투과하면서 방사선의 강도가 지수적으로 감쇠하는 법칙을 이용한다.

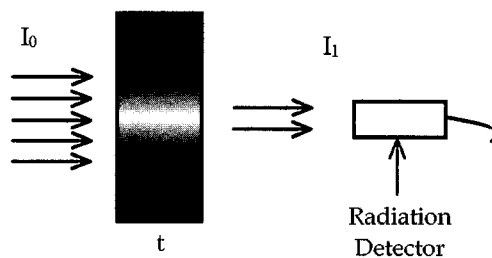


Fig. 1 Principle of thickness measurement

Fig. 1에서 선형감쇠계수가 μ [cm^{-1}] 이고 두께 t [cm]의 측정대상이 있을 때 그 후방에서 예상되는 검출강도 (I_1)는 다음과 같다. 여기서 I_0 , I_1 는 측정물의 전방과 후방에서의 검출강도이다.

$$I_1 = I_0 e^{-\mu t} \quad \dots\dots (1)$$

본 연구에서는 계수값을 이용하여 두께값을 계산해 내

기 위하여 식 (1)을 이용하였다. 이때 μ 는 측정된 방사선의 감쇠에 대한 감쇠계수로 재료내에서의 감쇠 뿐만 아니라 시험체의 기하학적 산란에 의한 감쇠도 포함되어 있다. 그러나 실제 재료의 두께를 계산하기 위해서는 재료내에서 일어나는 상호작용에 해당하는 감쇠계수만을 고려해야 두께를 알 수 있다. 기하학적 산란 등에 의해 줄어든 계수값을 보정하여 순수하게 재료에 의해 감쇠되는 계수값만을 이용하여 두께를 구해야 한다. 따라서 실제 두께를 구하기 위한 식을 다음과 같이 둔다.

$$I_1 = I_0 e^{(-\mu' t)} \quad \dots\dots (2)$$

이때 μ' 은 재료내에서의 감쇠계수로서 실제 측정에서 고려되는 감쇠계수와 다음의 관계를 갖는다.

$$e^{-\mu' t} = e^{(-\mu' t)} \cdot e^{(-\mu_1 t)} \quad \dots\dots (3)$$

여기서 μ_1 은 기하학적 산란 및 기타 다른 요인들에 의해 일어나는 감쇠계수로 보정을 위한 계수이다.

식 (3)을 정리하면 실제 재료의 두께를 구하기 위한 식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$e^{(-\mu' t)} = e^{-(\mu-\mu_1)t} \quad \dots\dots (4)$$

식 (4)와 식 (1)을 이용하면 최종적인 식은 다음과 같이 나타난다.

$$I_1 = I_0 e^{-(\mu-\mu_1)t} \quad \dots\dots (5)$$

본 실험에서 두께를 계산하는 데에는 식 (5)를 이용했으며 실험에 이용한 실제 계수들은

$$\mu = 0.693/13, \mu_1 = 0.0055 \text{로 설정하였다.}$$

여기서 μ_1 와 μ 비는 0.10 이다.

2.2. 배관에서 방사선투과두께 변화

배관에 대한 방사선투과시험에서 무엇보다 고려해야 하는 것은 평판과는 달리 방사선이 투과되는 위치에 따라 방사선 투과 두께가 크게 변화하는 점이다.

배관은 기하학적으로 대칭구조를 이루고 있는데 Fig. 2에 나타난 바와 같이 방사선이 배관의 중심을 투과하는 경우의 방사선 투과두께는 배관두께의 2배가 되나, 중심에서 가장자리로 갈수록 연속적으로 투과 두께가 증가하다가 내경에 접하는 지점에 이르게 되면 투과두께는 최

대가 된다. 그리고 내경에 접하는 지점을 넘어서게 되면 투과두께는 급격히 감소하게 되며 외경에 접하는 지점에 이르러서는 투과두께는 0이 된다. 결과적으로 배관에서 입사위치에 따른 방사선 투과두께의 변화는 배관 외면의 반지름(r_0)과 내면의 반지름(r_i), 그리고 배관의 중심에서의 거리(r)의 함수로 주어진다.

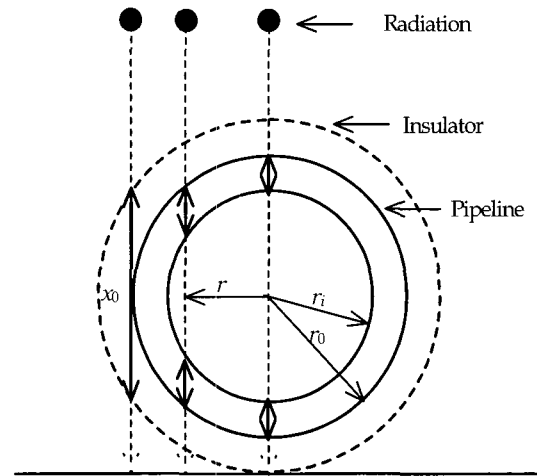


Fig. 2 Variation of transmission thickness in pipe

실제적인 배관에는 균일한 두께의 단열재가 입혀져 있는 경우가 있다. 이러한 경우 투과방사선의 강도효과를 고려한 일반적인 단열재료는 금속배관에 비교하여 대개 선흡수계수가 작기 때문에 금속 배관의 재료를 기준으로 한 단열재료의 등가두께를 고려하여 방사선 투과 두께를 계산해야 한다. 결과적으로 비보온 및 보온배관에서 입사 위치에 따른 방사선 투과 두께의 변화는 배관 외면의 반지름(r_0)과 내면의 반지름(r_i), 보온재의 두께(d)와 등가계수(k), 그리고 배관의 중심에서 거리(r)의 함수로 주어진다. 본 논문에서는 scanner를 사용하여 방사선원과 검출기를 이동시키면서 배관의 부식 정도를 측정하는 것이 주목표이므로, 위와 같은 위치변화에 따른 방사선 투과 두께의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

$$0 \leq r \leq r_i :$$

$$x_0 = 2(\sqrt{r_0^2 - r^2} - \sqrt{r_i^2 - r^2}) + 2k(\sqrt{(r_0 + d)^2 - r^2} - \sqrt{r_0^2 - r^2}) \quad \dots\dots (6)$$

$$r_i \leq r \leq r_0 :$$

$$x_0 = 2\sqrt{r_0^2 - r^2} + 2k(\sqrt{(r_0 + d)^2 - r^2}) - \sqrt{r_0^2 - r^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$r_0 \leq r \leq r_0 + d :$$

$$x_0 = 2k(\sqrt{(r_0 - d)^2 + r^2}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

2.3. GEANT를 이용한 배관 부식 검사 Simulation

배관 검사용 Radiometric scanning system 설계를 위한 준비작업으로 앞과 뒤에 defect가 있는 강재 파이프에서 defect의 위치 변화에 따른 simulation을 GEANT4를 사용하여 수행하였다[5]. Fig. 3은 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 2mCi Co-60을 선정하였으며 검출기는 직경과 높이가 각각 5.08cm인 원통형 BGO검출기를 선정하였다.

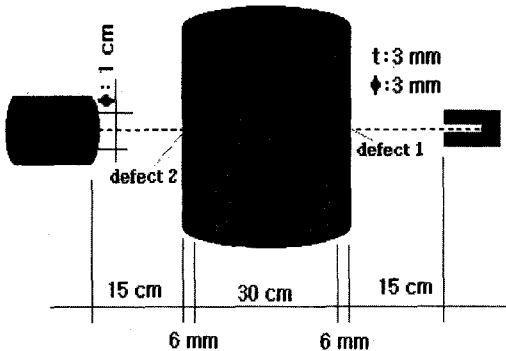


Fig. 3 Geometry arrangement for GEANT simulation

Fig. 4는 GEANT에서 프로그램 된 geometry에 100개의 입자를 입사시킨 후의 모습을 3차원으로 나타내고 있다. 이와 같은 파이프 결함측정 system에 대한 simulation으로 직경 3mm, 깊이 3mm의 같은 크기의 defect1, 2가 있다고 가정하여 계산을 수행하였다. 선원의 감마선이 진행방향으로 퍼지는 효과에 의하여 결함검출 가능성이 달라지므로 다음의 두 가지 경우에 대한

simulation을 수행하여 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, 5.0mm 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.

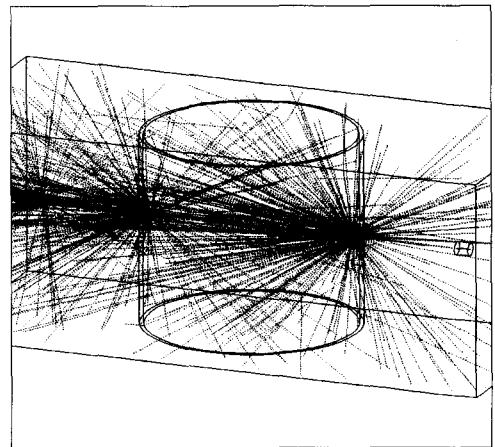


Fig. 4 γ -ray traces of the 100 generated events in the 3-dimensional geometry

Fig. 5는 감마선원과 검출기의 중심축으로부터 defect가 이동함에 따라 검출기에 검출되는 입자수의 변화를 나타내는 그래프이다. 그래프의 X-축은 중심축에서 결함까지의 거리를 나타내며 Y-축은 계산된 측정치를 나타낸다.

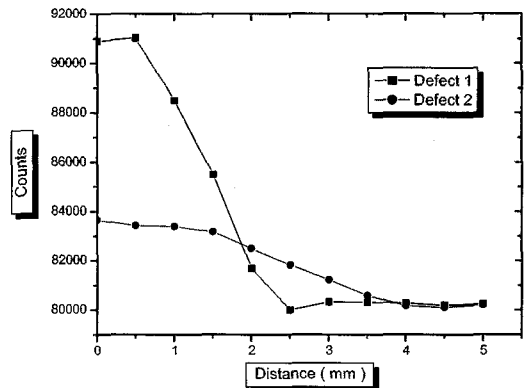


Fig. 5 Variation of the number of detected particles according to defect position

파이프의 결함이 감마선원 쪽에 있을 때(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.

3. 시스템 구성

3.1. 방사선 검출기 특성

방사선 검출기의 검출효율과 신호주기 및 펄스의 시간 폭에 따라 측정정밀도에 미치는 영향이 크므로 종류별, 특성별 분석을 통하여 적절한 검출기를 선정하였다. 또한 방사선 검출기는 다른 부품에 비하여 고가이며, 현재는 국산품 대체가 불가능하므로 경제적인 측면도 고려하여 이루어졌다. Radiometric scanning system용으로 주로 사용하는 방사선 검출기는 NaI(Tl) 단결정을 이용한 섬광 검출기이다. 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].

Table 1 은 NaI(Tl)와 BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) 단결정의 주요 특성을 요약한 것이다.

Table 1 Comparison of the characteristics of scintillators

Scintillator	NaI(Tl)	BGO ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$)
Density	3.67	7.13
Max. Emission Wavelength(nm)	415	480
Decay Constant (nsec)	230	300
Melting point(°C)	651	1050
Photons/MeV	40000	8500
Radiation Length(cm)	2.59	1.13
Refractive Index at peak emission	1.80	2.15
Stability	very Hygro-scopis	Stable

본 연구에 사용하기 위하여 decay constant가 짧고 검출효율이 높은 섬광체를 선정하여야 한다. 또한 전자회로의 신호 처리를 쉽게 하기 위해 Photons/MeV 값이 클수록 유리하다.

섬광의 decay constant는 GSO(Gd_2SiO_5)가 가장 짧으나, 다른 섬광체에 비하여 수십 배 이상 비싸므로 이를 제외하면 NaI(Tl)와 BGO, CdWO_4 등이 우수하다. Photons/MeV 값은 NaI(Tl), CsI(Tl)등이 좋은 특성을 보인다. 한편 radiation length가 작을수록 검출효율이 높아 지는데 BGO, CdWO_4 등 유효 원자번호와 밀도가 큰 물질들이 좋은 특성을 가진다.

따라서 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 하나 system의 성능을 위하여 BGO 검출기를 사용하기로 하였다.

3.2. 신호 처리부

본 연구에서는 소형 이동시스템에 적합하도록 신호처리부에 해당하는 전치증폭기-판별기-고전압전원을 일체형 독립 모듈로 개발하였다. 고압전원은 디지털제어가 가능한 고전압 전원을 사용하여 다양한 섬광체에 사용할 수 있도록 하였다. 전치증폭기는 증폭도를 조정할 수 있도록 하였고, 판별기는 threshold level 조절이 가능하고, 안정적인 판별기 출력을 위한 온도보상회로를 내장하였다.

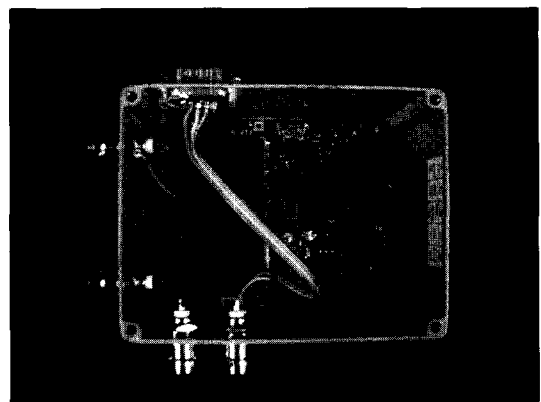


Fig. 6 Signal processing part

3.3. Scanner

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.

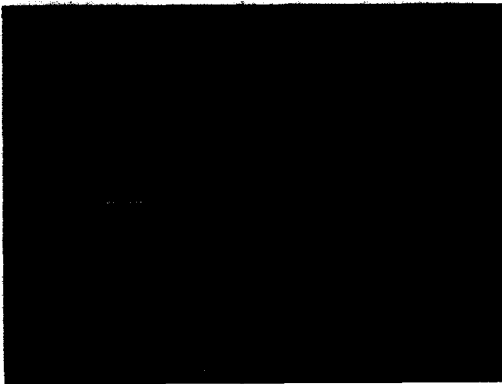


Fig. 7 Scanner

3.5. 프로그램 개요

Microsoft Visual C++을 기반으로 본 시스템을 제어하는 소프트웨어를 개발하였다. 프로그램의 초기화면은 다음의 Fig. 9와 같다. 프로그램은 검사를 위한 기본적인 값을 설정하고 이를 작동시키는 부분과 검사한 값을 표시하는 부분으로 나눌 수 있다.

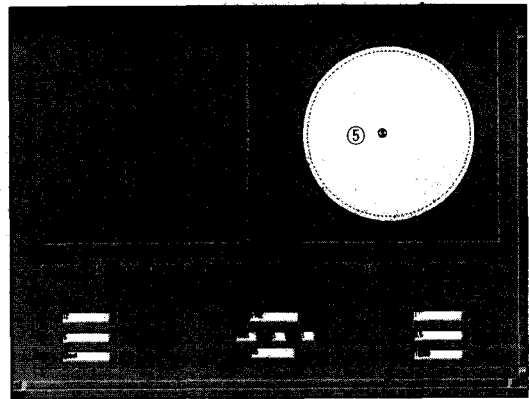


Fig. 9 Operation of software

3.4. 제어 시스템

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

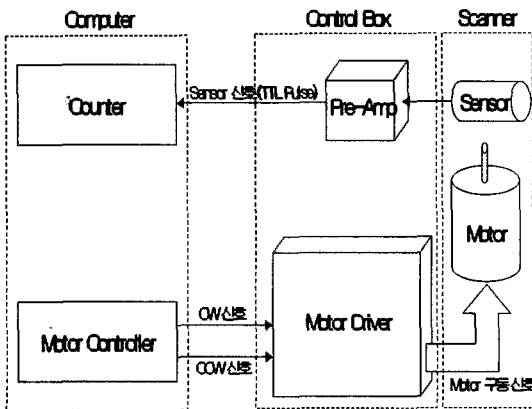


Fig. 8 Schematic diagram of system

▶ 소프트웨어의 화면구성

① Pipe Setup

이 부분은 검사할 pipe의 지름, 두께, 재질을 선택하는 부분이다. pipe의 지름은 12 inch, 10 inch, 8 inch, 6 inch 중에서 선택하도록 하였으며, 두께도 9mm를 기본으로 하여 선택할 수 있도록 하였다. 재질은 현재 steel만 선택하도록 하였으나 이후 추가할 계획이다.

② Source Setup

검사를 수행하기 위한 방사성 동위원소의 종류와 activity를 계산하는 부분이다. 현재 선원은 Ir-192, Cs-137, Co-60 세 종류가 가능하도록 구성하였고, 현재 setting은 Ir-192에 맞추어져 있다. 동위원소를 선택하고 아래에 오늘 날짜를 입력한 후 최초의 activity를 넣어 주면 현재 activity가 계산된다.

③ Drive Setup

검사 동작에 대한 설정을 하는 부분이다. 여기서는 motor와 counter의 동작을 설정한다. 검사 지점간의 간격은 1mm와 2mm 두 가지 중 하나를 선택하여 설정할 수 있고, 검사지점에서 검출기의 계수 시간은 0.5초, 1초, 5초 중 하나를 선택할 수 있다. 그리고 스텝 모터의 이동 속

도를 제어하기 위하여 10kHz, 15kHz, 18kHz의 pulse를 선택하여 stepping motor의 입력으로 줄 수 있다.

④ Inspection

위의 ①~③까지의 설정을 마친 후 setup 버튼을 누르면 설정내용이 갱신되도록 하였다. 그리고 start 버튼을 누르면 자동적으로 검사가 수행되며, 검사가 끝나면 자동으로 동작이 멈춘다. 검사도중에 멈추고 싶을 경우에는 stop 버튼을 누르면 검사가 중지된다. 그리고 initial position 버튼을 누르면 초기위치로 돌아간다.

- Data의 표시: 검사한 data는 2가지 형태로 표시된다.

⑤ 두께 Profile 표시부

counter에서 받아들인 값을 이용하여 두께 profile을 계산하여 표시하는 부분이다. 검사가 시작되면 counter는 sensor에서 들어오는 pulse 신호를 count한다. 설정된 검사시간 동안 입력되는 pulse의 수를 count하고 이것을 저장하고 왼쪽의 그래프에 plotting한다.

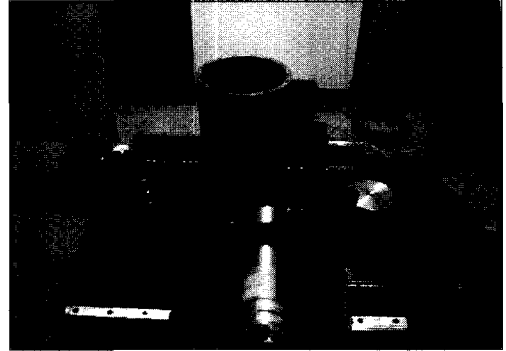
⑥ pipe 두께 표시부

왼쪽의 두께 profile data를 이용하여 pipe의 두께가 표시되도록 구성하였다. 검사가 끝나고 pipe의 두께를 표시하기 위해서는 오른쪽의 draw 버튼을 누르면 pipe의 두께가 표시된다. 이때 pipe의 두께는 좌우가 대칭이라고 가정하여 표시한다.

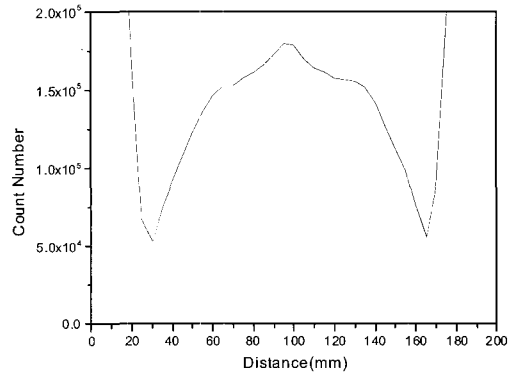
⑦ Data Handling

검사한 data를 처리하는 부분이다. draw 버튼을 누르면 ⑤의 그래프가 그려지고, save 버튼을 누르면 검사한 data가 저장된다. 그리고 load 버튼을 누르면 이전에 검사했던 data를 읽어 들일 수 있다

2초 동안 측정된 계수값으로 전체적으로 계수한 값이 크게 나타남을 알 수 있다.



(a) Equipment of experiment



(b) Variation of count number to measurement point

Fig. 10 Results of thickness variation in 8 inch pipe

4. 실험결과

측정시스템의 적용성 및 검증을 위해 배관 시험편의 표면에 인공결함을 가공하였다. Fig. 10의 (a)는 배관(8인치)에 평저공을($\phi 100$, $t=2mm$) 내어 임의의 결함을 만들어, Ir-192(약 20mCi)를 이용하여 두께변화에 따른 투과된 방사선의 계수를 측정된 실험이다. Fig. 10의 (b)는 2mm 두께변화에 대한 계수값이다. Fig. 10의 (b) 가운데의 불룩한 점이 2mm 두께변화에 대한 계수값의 변화를 나타내고 있다.

Fig. 11은 Co-60(약 2mCi)을 이용하여 12인치 배관에서 3mm의 두께 변화에 대하여 방사선 검출기에 조사되는 계수값을 측정시간을 변화하여 측정된 값이다. Fig. 11의 #1은 두께변화가 없는 부분에서의 측정값이다. #3은

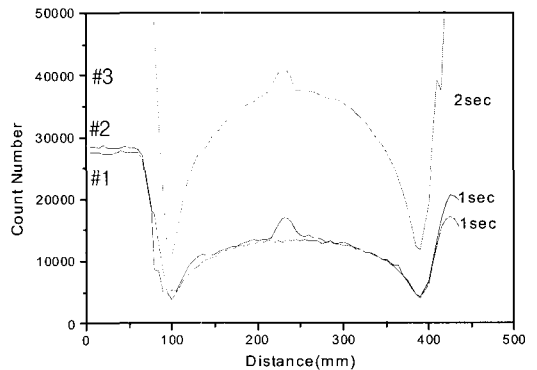


Fig. 11 Results of thickness variation in 12 inch pipe

Fig. 12는 두께가 9mm인 8인치 배관을 임의로 두께변화를 주기 위하여 배관의 두께를 3mm, 6mm, 9mm로 제작하여, 각 두께변화가 있는 부분에서 Ir-192(약 20mCi)를 이용하여 측정하였다.

Fig. 13에서 전체적으로 배관 중앙부분에서의 측정값은 이론값과 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고 배관의 두께가 얇을수록 오차가 줄어들음을 알 수 있었다. 그리고 배관 양단에서는 산란에 의해 데이터의 손실이 상당히 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 13의 두께 프로파일을 이용하여 파이프단면을 그려보았다. 이때 배관은 좌·우 대칭이라고 가정하였다. Fig. 14의 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.

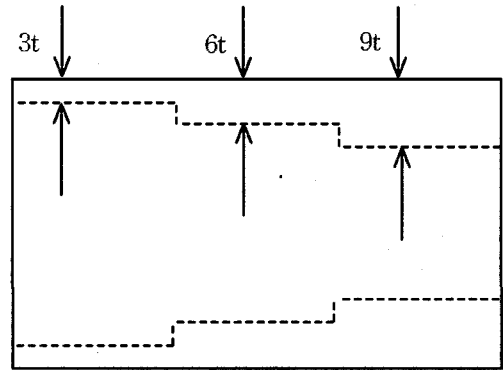


Fig. 12 Specimen (8 inch pipe)

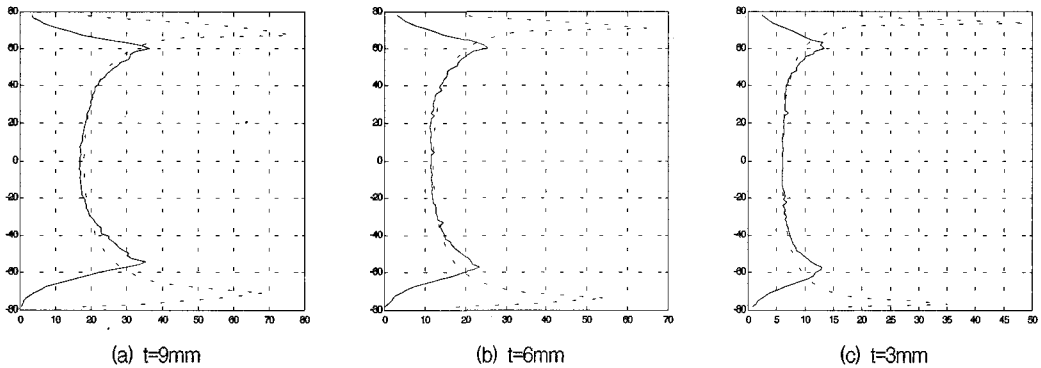


Fig. 13 Variation of thickness to count number (solid line: calculation, dotted line: measurement)

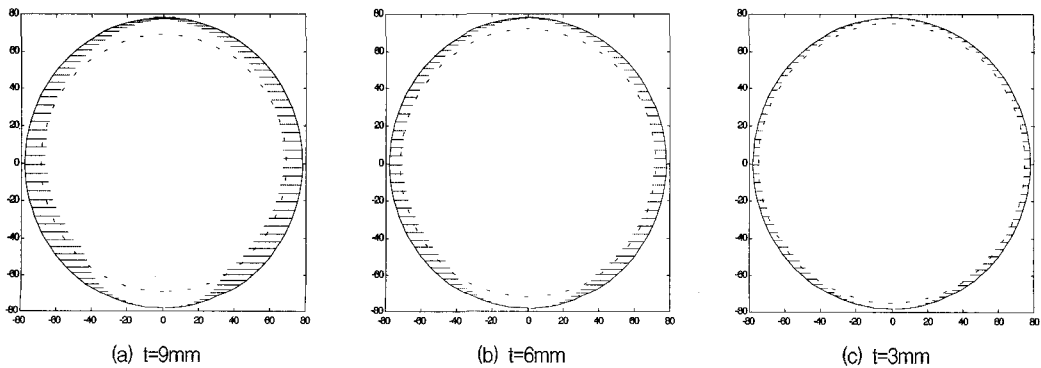


Fig. 14 Evaluated thickness of pipe

5. 결 론

본 연구에서는 line beam 형태의 방사선과 단일 고체형 검출기를 이용한 제 1세대형 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.

- 시스템 설계: 시스템의 구동부 및 제어장치를 현장 적용성을 고려하여 휴대용으로 개발하였다.
- 방사성 동위원소: Ir-192(약 20mCi)를 사용하여, 작업자의 안전성 및 사용 동위원소의 경제성을 높였다.
- 방사선 검출기: 계수효율이 높은 BGO센서를 비교 검토하여 사용하였다.
- 구동방식: Step motor와 기어의 구성으로 최소 0.1mm 및 임의 제어가 가능하다.
- 화상처리 프로그램: 신호 전송 및 화상처리, 제어 프로그램을 자체 개발하였다.
- 시험배관의 크기: 10인치 이내 배관검사 가능, Co-60 이용시 10인치 이상의 배관에서 가능하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 원자력실용화연구사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 장지훈, 조경식, 김기동, “보온재 부착 파이프라인의 부식두께 측정기술 개발”, 2001년도 비파괴학회 추계 학술발표회, pp. 213-218, (2001)
- [2] 이성식, 김영환, “Tangential Radiography를 이용한 배관의 두께 평가법”, 비파괴검사학회지, Vol. 18, No. 3, pp. 205-210, (1998)
- [3] 이성식, 이정기, 김영환, “Film Radiography에서 농도차를 이용한 정량적 두께 평가에 관한 연구”, 비파괴검사학회지, 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)