

증류탑 진단을 위한 방사선 응용계측기 개발

김종범, 정성희, 진준하, 전종규
한국원자력연구소

Development of nuclear measurement system for gamma column scanning

Jong bum Kim, Sunghye Jung, Jong-kuj Jun
Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract - 감마선 또는 x-선 등 방사선을 이용한 구조물 진단은 산업전반에 걸쳐 널리 이용되고 있다. 기존의 x-선이나 Ir-192의 감마선 등을 이용한 비파괴검사는 용접부의 확인이나 구조물의 내부 결점 확인과 같이 국부적인 진단에는 유용하나 석유화학산업에서 반응물의 분리 또는 정제 등에 많이 사용되고 있는 증류탑의 내부 진단 실험에는 적합하지 않다. 증류탑은 목적에 따라 직경이 3~10m, 높이 10~100m에 달하는 대형 장치로서 내부의 이상현상에 대한 정확한 진단은 공정 전체의 가동효율 최적화에 결정적인 영향을 끼친다. 밀봉 감마선 원으로부터 방출된 방사선의 투과율 변화를 증류탑의 반대편에 설치한 방사선 검출기로 측정하여 수직밀도분포 (vertical density profile)를 구하여 증류탑의 내부현상에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있는데 이러한 작업을 자동으로 수행할 수 있도록 한 것이 자동 증류탑 검사장치이다. 증류탑 진단장치는 크게 방사선 계측 및 데이터 전송회로, 방사선원부와 방사선검출부의 구동장치 및 구동회로, 데이터 수집 및 제어장치 등으로 구성되어 있으며, 증류탑 검사를 자동화하여 진단결과의 신뢰도와 재현성을 향상시켰다. 본 논문은 방사선원과 방사선 검출장치의 위치를 자동으로 제어하면서 방사선 계측결과를 전송시키는 장치의 개발에 관한 내용으로서 개발된 장치의 소개와 산업현장 적용의 예를 소개함으로써 기존의 비파괴검사기술로는 진단할 수 없는 대형 증류탑의 진단에 효과적인 방사선 응용 계측장치임을 보이고자 한다.

1. 서 론

방사선을 이용하여 증류탑을 진단하는 방법은 증류탑의 가동 중에 내부 구조물의 진단을 위해서 감마선원 및 방사선 검출기를 이용하여 수직 밀도분포 (vertical density profile)를 구하는 것이 효과적인 방법이다. 증류탑 검사와 같이 방사선 검출기와 데이터 처리장치 부분 사이에 상당한 거리가 발생하는 상황에서는 신호 전송길이의 증가로 인한 신호 왜곡 등이 발생하게 된다. 본 논문에서 소개된 자동 증류탑 검사장치는 방사선 계측부에 데이터 전송회로를 포함시키고 방사선 계측신호를 digital 변조하여 전송한 후 복조하는 방식을 사용하여 길이에 관계없이 방사선 계측신호를 계측할 수 있는 장치이다. 이러한 장치는 방사선 검출기와 데이터 처리장치와의 거리가 먼 경우 매우 효과적이며 고주파 carrier 신호에 동조되는 loop coil을 사용함으로써 noise 제거기능을 갖는 장점을 가지고 있다. 또한 증류탑 검사장치의 회전부와 고정부 사이의 연결에 사용되는 slip ring을 대신하여 주변의 전기적 노이즈로부터 상대적으로 영향을 덜 받는 유도 coil을 통하여 데이터를 전송토록 하였다. 이러한 detector 부와 감마선원의 이동은 step모터를 장착한 기계장치에 의해 동작되며 이들 장치의 제어는 micom 및 PC에 의해 제어되도록 설계 되어졌다. 이러한 구성은 기존의 NDT방법으로는 검사가 불가능한 대규모 증류탑의 구조 진단에 매우 효과적이며 검사의 재현성 또한 매

우 뛰어나다고 할 수 있다.

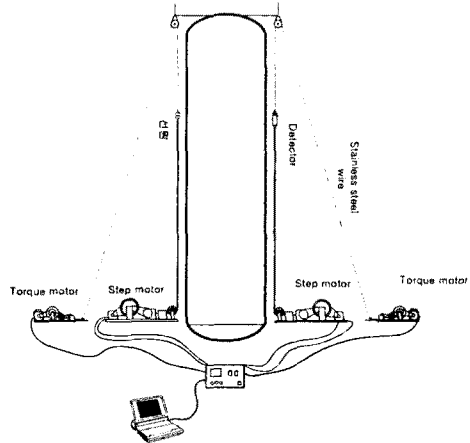


그림 1 증류탑 검사장치

2. 본 론

2.1 증류탑 검사장치의 원리

어떤 특정 에너지를 가진 감마선이 두께가 x 이고 밀도가 d 인 물질을 통과할 때 방사선이 일부는 흡수되므로 이 물질이 없는 경우의 방사선 세기(I_0)에 비해 감소되어 I 가 된다. 통과하는 매질의 밀도가 클수록 매질의 두께가 두꺼울수록 투과된 방사선의 양은 감소된다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I = I_0 \times \exp(-\mu dx) \quad [\mu: \text{mass absorption coefficient}]$$

위의 식에서 x 는 외벽을 포함한 column의 외경으로 증류탑검사의 주요 관심사항은 column내부의 상황이므로 외벽에 의한 차폐효과를 따로 분리하여 위식을 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$I = I_0 \times \exp(-\mu dx) \times \exp(-\mu_f d_f x_f)$$

$$\mu dx = \ln I_0 - \ln I - \mu_f d_f x_f$$

$$d = [(\ln I_0 - \mu_f d_f x_f) - \ln I] / \mu x$$

위 식의 우측항 중 $\ln I$ 를 제외한 모든항이 상수이므로 다음과 같이 단순화되며

$d = A(B - \ln I)$ 가 된다. 자동 증류탑 검사장치는 d 를 자동으로 구하기위한 장비로 선원과 디텍터의 이동과 계수를 자동으로 하기위한 장치이다

2.2 증류탑 검사장치의 구성

석유화학시설의 증류탑은 대략 직경이 3~5m정도, 높이가 10~100m정도의 길이를 갖는 원통형 구조물로서 이러한 대상의 측면 밀도 분포측정을 위해 고효율의 디텍터와 투과력이 강한 Co-60 감마선원을 이용한다. 마이컴을 통한 정확한 이동 및 방사선 계수를 하고 계수결과를 PC에 전송하는 Nucleonic Control System이라고 할

수 있다. 모뎀을 통하여 디텍터회로에서의 방사선 계수치를 수신한 후 step motor driver를 구동하기위한 CPLD를 제어하여 디텍부와 선원을 다음 계측부분으로 이동시킨다.

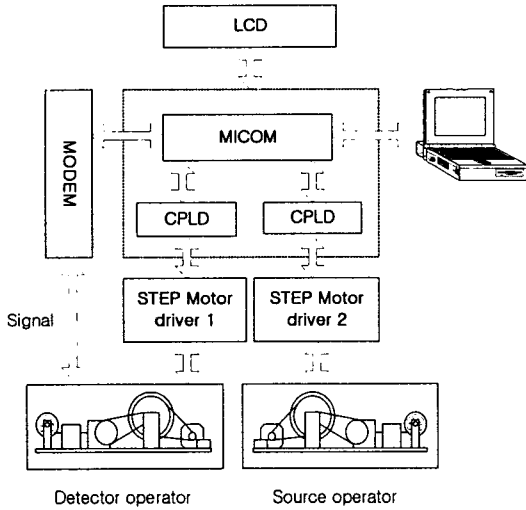


그림 2 증류탑 검사장치의 구성

2.2.1 디텍터 및 선원

디텍터부의 구조는 NaI(Tl)&PM tube, 고전압 공급장치, Micom, 모뎀, 배터리 전원등으로 구성되어있다. 디텍터부의 출력신호는 125kHz의 0~5V의 변조신호로서 전기적 발파의 위험성이 전혀 없는 석유화학시설내의 사용에 적합하다고 할 수 있다.

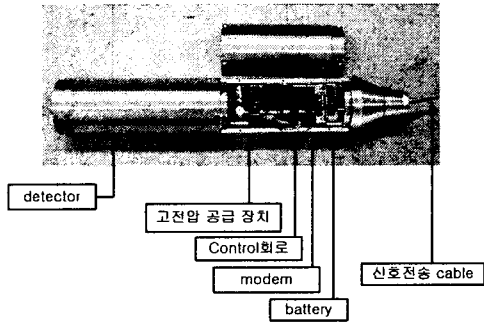


그림 3 디텍터부의 구성

투과방사선계측을 위한 선원은 Co-60을 사용하며 텅스텐 collimator로 둘러싸여있으며 슬릿을 통하여 1.33MeV, 1.17MeV에너지의 감마선을 원반 형태로 방출한다.

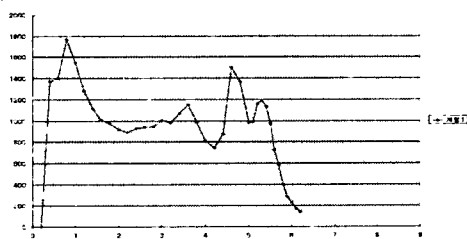


그림 4 장거리 케이블로 인한 펄스왜곡 내장 방사선회로 및 모뎀을 통한 신호전송 방법은 장거

리 계측 시스템에 매우 효과적이며 신호 길이증가에 따른 펄스 왜곡현상을 방지할 수 있다. 그림4는 PM tube 및 일반적인 방사선 계측기를 사용하여 장거리 케이블을 사용한 경우 측정된 Co-60스펙트럼이다.

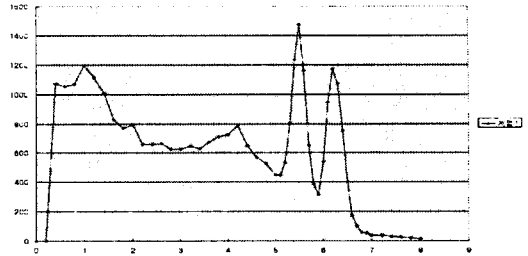


그림 5 디지털 변조로 인한 펄스왜곡 개선

이에 비해 그림5는 개발된 장비로 측정된 스펙트럼으로 1.33MeV의 피크가 왜곡없이 계측됨을 알 수 있다.

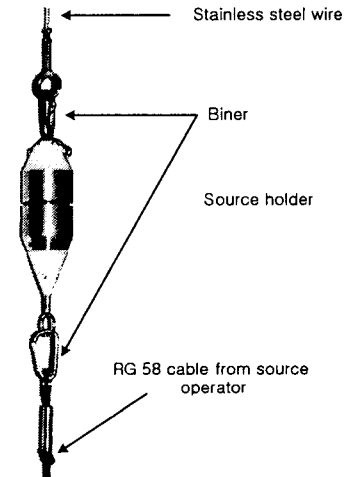


그림 6 Co-60선원 홀더

2.2.2 기계장치

방사선 계측의에 디텍터 및 선원의 위치 제어를 위해서는 기계장치로 선원 및 디텍터 구동장치2조와 장력조절장치2개로 구성되어있다.

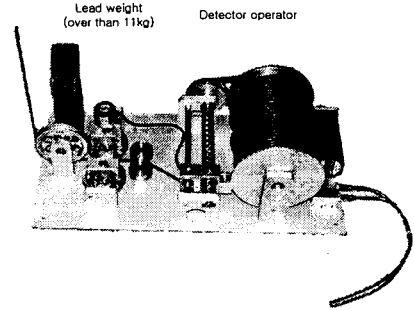


그림 7 디텍터 위치제어기

그림 8은 디텍터 위치 제어장치내의 step 모터의 고정부와 회전부 사이에서의 신호 전송을 위하여 사용된 유도 코일 장치를 보이고 있다. 유도 코일을 이용한 방법에서는 1차 회로와 2차 회로가 절연되어 conduction noise의 감쇄뿐만 아니라 기계적인 접촉이 없으므로 영구적인 사용이 가능하게 된다.

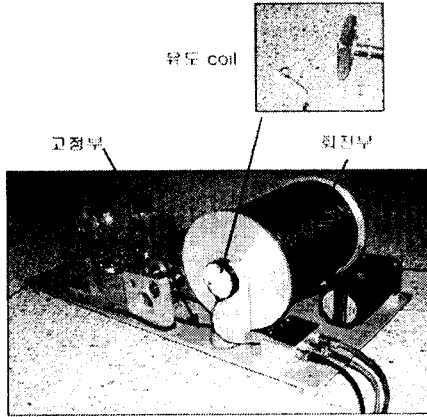


그림 8 유도코일을 통한 slip ring의 대체

그림 9는 선원 및 디텍터를 구동장치 반대편으로 잡아 주기위한 장치로서 흔들림 방지 및 선원 및 디텍터 이동을 위한 토크를 제공한다.

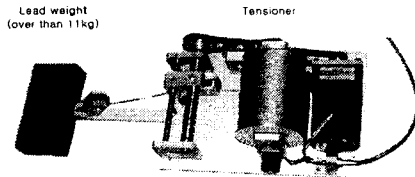


그림 9 장력조정장치

2.3 결과 및 고찰

중류탐 검사는 계측결과와 구조물의 설계값과의 비교를 통한 구조물이나 액면의 건전성을 판단하는 것이다.

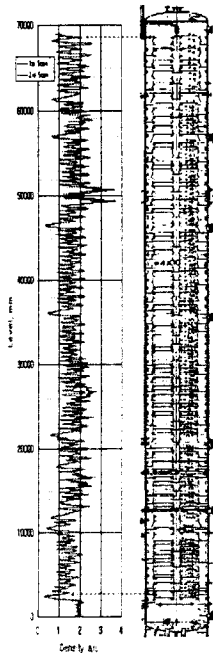


그림 10 현장실험결과

그림10은 높이 80m 중류탐에 대한 현장 실험 결과이다. 중류탐의 내부 구조물에 대한 정보를 정확하게 제공하며

재현성 또한 정확하게 나타났음을 알 수 있다. 이상을 기존의 통상적인 계측방법과 비교 요약하면 다음과 같다.

신호전송방식	analog 신호	FSK 변조된 digital 신호
신호 전송 거리	0~100m 이하	1km 이상
Pulse height 분석가능 유·무	Cable 길이 증가에 따른 pulse의 왜곡 발생	항상 가능
계측회로 구성	계측회로 및 Detector 분리형	계측회로 및 detector 일체형
전원 공급 장치	케이블을 통한 고전압 직접공급	battery 내장

3. 결 론

국내 산업현장에 많은 수의 방사선 계측시스템이 사용되고 있으나 그 내용을 보면 level gauge등 단순한 process를 갖는 것이 대부분이다. 방사선 응용계측기는 목적에 맞는 부가기능을 추가할 경우 산업현장에 유용하게 쓰일 수 있다. 외국의 경우 이러한 분야의 연구가 많이 발달되어있다. 자원산업이 발달한 국가에서는 동위원소를 내장한 휴대용 원소분석기, stock pile analyzer, neutron back scattering을 이용한 bore hole logger등 많은 장치가 개발되고 있다. 국내는 자원산업의 고갈로 이러한 장비의 직접용용이 어려우나 석유화학 산업이 많이 발전이 되어있고 전자 산업 등 기반 기술이 뛰어나므로 석유화학분야에 적용 가능한 NCS개발이 상대적으로 유리하다고 여겨진다. 동위원소를 이용한 산업진단의 효과는 이미 선진국을 중심으로 매우 효과적인 것으로 입증된바 국내 산업에 알맞은 방사선 응용계측기에 관한 연구가 활성화 되는 것이 바람직하다고 생각되며 여기 소개된 장비역시 현장 실험을 통한 개선이 이루어지면 시장에 직접 활용 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정성희, 김종범, 진준하 "감마선을 이용한 가동 중 중류탐 진단실험", 공업화학회지, 제13권 제1호, 2002.
- [2] 김종범, 정성희 "자동 감마 중류탐 검사 장치를 위한 방사선 계측장치 설계", 정보 및 제어 학술회의(2003)
- [3] Jongbum Kim, Sunghee Jung, Joonha Jin "Design of Circuit for Detection and Measurement of Gamma radiation for Portable Nucleonic Gauge", ICEE (July, 2002).
- [4] Nicholas Tsoufanidis, "Measurement and Detection of Radiation", Hemisphere Publishing Corporation (1983).
- [5] GLENN F. KNOLL, "Radiation detection and measurement", WILEY (1989) 1. 저자명, "논문제목", 논문지명, 권호, 페이지, 출판년도

사사 (Acknowledgement)

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.