

감마분광법에 의한 핵물질 계량기술 개발

양한범, 임재관, 김성현, 유재형, 박현수

한국원자력연구소

요 약

핵물질의 화학적분리 및 정제를 위한 용매추출실험의 농도분석에 사용될 수 있는 감마방사능 계측장치를 제작하고 기계적성능 및 원격작동 시험을 하였다. 계측장치의 모든 구동부분은 공압으로 작동되며 우라늄시료를 분석한 결과 0~250g/L의 농도범위에서 방사능세기와 일정한 상관관계를 나타내었다.

1. 서 론

핵연료주기와 관련된 화학공정중에서 용매추출공정은 매우 중요한 공정중의 하나이다. 핵물질의 화학적분리 및 정제시설을 최적조업조건하에서 안전하고 효율적인 조업을 위해서는 공정에 대한 적절한 분석이 필수적으로 요구된다. 따라서 분석기술은 공정조건에 대해서 신속 정확한 분석데이터를 제공함으로써 공정운전상의 문제점을 사전에 탐지하여 예방할 수 있어야 한다. 이와같은 문제점을 해결할 수 있는 바람직한 분석방법은 분석시료를 채취하여 분석하는 방법보다는 분석장치를 분석이 필요한 공정의 각 라인에 직접 설치(on-line)하여 분석하거나, 직접설치가 불가능할 경우에는 분석용 라인 (by passing line)을 만들어 여기에 설치함으로써 시료를 채취하여 분석할 때 발생하는 공정상의 흐름과 분석결과 사이에서 생기는 시간지연 (time lag) 문제를 해결할 수 있으며, 연속분석을 통해서 얻은 분석정보를 바탕으로 공정제어 및 작업종사자의 방사선피폭에 대한 안전관리등 소기의 목적을 용이하게 달성할 수 있다. On-line 분석의 최종 목표는 공정에 분석장치를 직접 설치하여 실시간 측정시스템을 구축하여 분석결과를 중앙제어 컴퓨터시스템으로 보내어 측정결과를 분석한 후 분석된 데이터를 feed back 시켜 공정제어시스템을 확립하는 것이라 할 수 있다. 그리고 원자력시설에서 사용하기 위한 측정장치가 갖추어야 할 특성을 간단히 살펴보면, 방사선과 부식에 대한 내구성, 기기의 분해, 수리 및 제염에 대한 용이성, 표준화(standardization)의 용이성, 안전성, 감도, 정확성, 고장시 차단장치, 경제성 등을 고려해야 한다.

본 연구실에서는 용매추출공정에 사용될 수 있는 감마분광법에 의한 On-line 핵물질 계량장치를 제작하고 이에 대해 간단한 성능시험을 하였다.

2. 실험

2.1 분석시스템의 구성

1) 하드웨어

Fig. 1은 본 측정시스템의 개략적인 구성을 나타내며, 사용된 하드웨어는 컴퓨터와 프린터, data acquisition device(LAB master), MCA 방사선 계측기(Canberra, model 35+)와 NaI 검출기(Canberra, model 802), 공압공급장치, 그리고 자체 제작한 γ -방사선 계측용 셀로 구성하였다.

2) 소프트웨어

본 측정시스템에 사용되는 모든 소프트웨어는 MS-DOS하에서 실행되며 사용한 프로그램은 다음과 같다. S 370 PC-MCA toolkit (Canberra Co.)는 MCA를 원격제어할 수 있는 기능을 가진 프로그램이며, LOTUS 123은 분석결과를 받아들이고 정리하는 프로그램이고 DTOD.BAS 프로그램은 공압으로 작동되는 자체 제작한 γ -방사선 계측용 셀의 구동부분을 제어할 수 있는 기능을 가진 Basic 언어로 만든 프로그램이다.

2. 2 분석장치의 제작 및 성능시험

1) γ -방사선 계측셀의 구조

γ -방사선 계측셀의 구조를 보면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 셀의 측면 모양은 감마계측기의 계측시 영향을 주지 않도록 측면을 경사지게 만들고, 밑부분 모양은 측정한 시료용액이 쉽게 배수될 수 있도록 하고 또한 침전물에 의한 문제가 발생되지 않도록 45도의 기울기를 가지도록 경사지게 만들었다. 그리고 시료용액의 수위를 일정하게 유지하게 하기 위해서 파이프를 공급된 측정 시료용액의 유출구(overflow pipe)를 시료용기의 상부에 만들었다. 계측셀의 상부에는 본 실험에서 사용한 감마방사선 측정을 위한 2"x2"인 NaI 섬광계수기에 적합하도록 납으로 제작한 평행화기(collimator)를 설치하였다.

2) γ -방사선 계측셀의 제어부분

γ -방사선 계측셀의 모든 기능은 공압으로 작동시킬 수 있도록 측정용액의 주입구와 배출구, 공기주입구에 솔레노이드 밸브 (직동형 스프링리턴용 CDK)를 부착하고 용액주입구에는 컴퓨터로 control이 가능한 교류용 micro pump (115VAC, 2.5 AMP)와 remote acuated ball valve (90° 회전 실린더, PRN-20-180-90, Kuroda Co.) 솔레노이드 밸브 (5/2-way SAN-241-S, Kuroda Co.) 용액 배출구에는 remote acuated ball valve (90° 회전 실린더, PRN-20-180-90, Kuroda Co.) 솔레노이드 밸브 (5/2-way SAN-241-S, Kuroda Co.)를 부착시키고 이들을 각각 solid state relay와 연결시킨 후 다시 LAB master와 다음과 같이 연결시켰다.

1번 port : 제염용 압축공기 주입구, 2번 port : 시료용액 주입구, 3번 port : 시료용액 배출구, 4번 port : pump 제어. 그리고 측정장치의 모든 구동은 압축공기를 이용한 공압으로 작동시킨다.

3) 기계적 성능시험

기계적 작동시험을 위해 우선 컴퓨터, LAB master, MCA 및 작동기기의 전원을 공급하고, 압축공기의 공급라인을 작동시킨다. 그리고 컴퓨터에 γ -방사선 계측셀의 제어부분을 구동시킬 DTOD.BAS 프로그램을 실행시킨다. 본 장치에서는 다음과 같이 작동되도록 OUTDATA의 입력 자료를 구성하였다. (1) 제염용 압축공기를 작동시켜 장치내 제염, (2) 시료용액 주입구와 pump를 동시에 작동시켜 γ -방사선 계측셀에 분석용액의 주입, (3) 시료용액의 방사능을 계측한 후 시료용액의 배출, (4) 모든 작동의 중지.

본 장치에서 이상과 같은 사항에 대한 기계적 작동시험을 위해 실험용액으로 증류수를 사용하여 컴퓨터로 pump를 작동시켜 γ -방사선 계측셀에 분석용액을 공급하고 배수시키는 작동시험을 한 결과 작동시험은 아무런 이상없이 잘 작동하였다.

4) 계측기의 작동과 응용

우선 분석대상 시료용액을 펌프를 이용하여 γ -방사선 계측셀에 공급한다. 이때 시료용액의 급액은 밑부분에서 하며 일정한 수위까지 차서 넘칠(overflow) 때까지 공급한다. 감마방사선의 계측은 2"x2" 인 NaI 섬광계수기를 사용하였다. 측정이 끝난 시료용액의 배수는 공압으로 밸브를 작동시켜 배수시킨다. 시료용기 및 파이프의 청소는 건조한 공기를 이용하여 분석용액이 농축되어 발생하는 오염을 제거한다. 감마방사선의 계측을 분해능이 좋은 HPGe 검출기를 사용하면 시료조건에 따라서는 액체시료의 핵종분석 및 농도분석분야에도 응용이 가능하리라고 생각된다.

2.3 감마방사능 측정과 장치특성

1) 감마방사능 측정

감마방사능의 변화를 측정하는 방법중에는 평균값 측정방법과 방사능이 약한 시료의 측정에 적합한 일정한 시간동안 누적 방사능을 측정하는 방법이 있다. 평균값 측정법은 계측기가 예민해야 하는 것이 필수적인 요건이다. 그리고 누적 방사능 측정법은 방사능이 약한 시료분석에 적합하다. 본 실험에서는 우라늄-238에서 방출되는 고유의 감마선에너지 1.001MeV를 이용하여 누적 방사능 측정법으로 분석하였다.

2) 우라늄시료의 측정실험

감손우라늄 (depleted uranium) 일정량을 진한질산용액에 용해시킨 후 용액을 여과시켜 미용해 잔사를 제거하여 만든 용액을 분석한 결과, U 농도는 255g/L, HNO₃ 농도는 3.5M 이었다. 이와같이 준비된 우라늄용액과 이를 3.5M 질산용액으로 희석하여 우라늄농도가 각각 200, 150, 100, 50, 25g/L이고 질산농도가 3.5M인 시료용액을 만들어 10,000초간 계측한 결과, 우라늄농도와 감마방사능의 상관관계는 Fig. 3과 같다. 분석시료에 대한 우라늄농도와 질산농도 변화에 대한 방사선원의 자기흡수에 의한 질량감쇄효과, 방사능세기와 collimator와의 상관관계등에 대해서도 고려한 최적 측정조건을 확립해야 하지만 본 실험에서는 1차적으로 장치제작 및 기계적인 원격 작동시험에 대해 중점적으로 실험하였다.

참고문헌

1. D. Scargill, "Evaluation of high resolution gamma spectroscopy to the in-line determination of uranium and plutonium concentration in distribution coefficient measurements" AERE-R 9159 (1979).
2. D. Scargill, "The application of high resolution gamma spectroscopy to the in-line determination of uranium and plutonium concentration in distribution coefficient measurements" AERE-R 10024 (1981).
3. C. E. Crouthamel et al., "Application gamma-ray spectrometry", Pergamon Press, (1970).

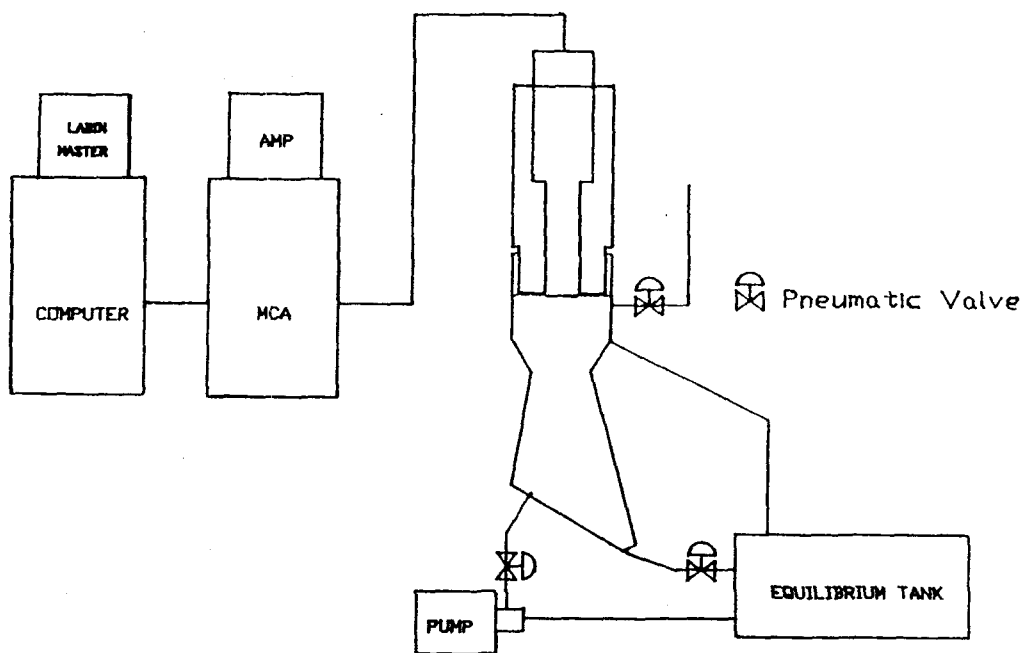


Fig. 1. Process diagram for gamma counting system

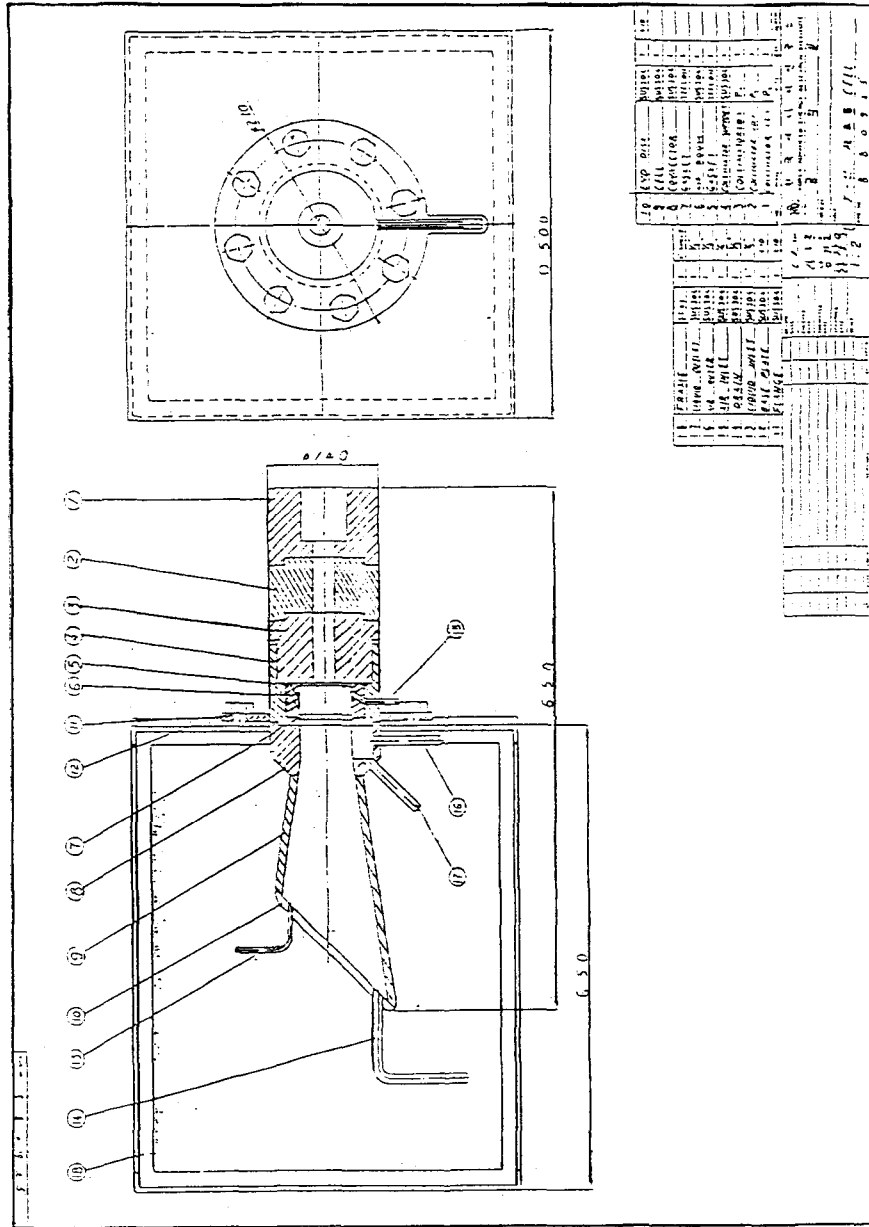


Fig. 2. Design of the detection cell

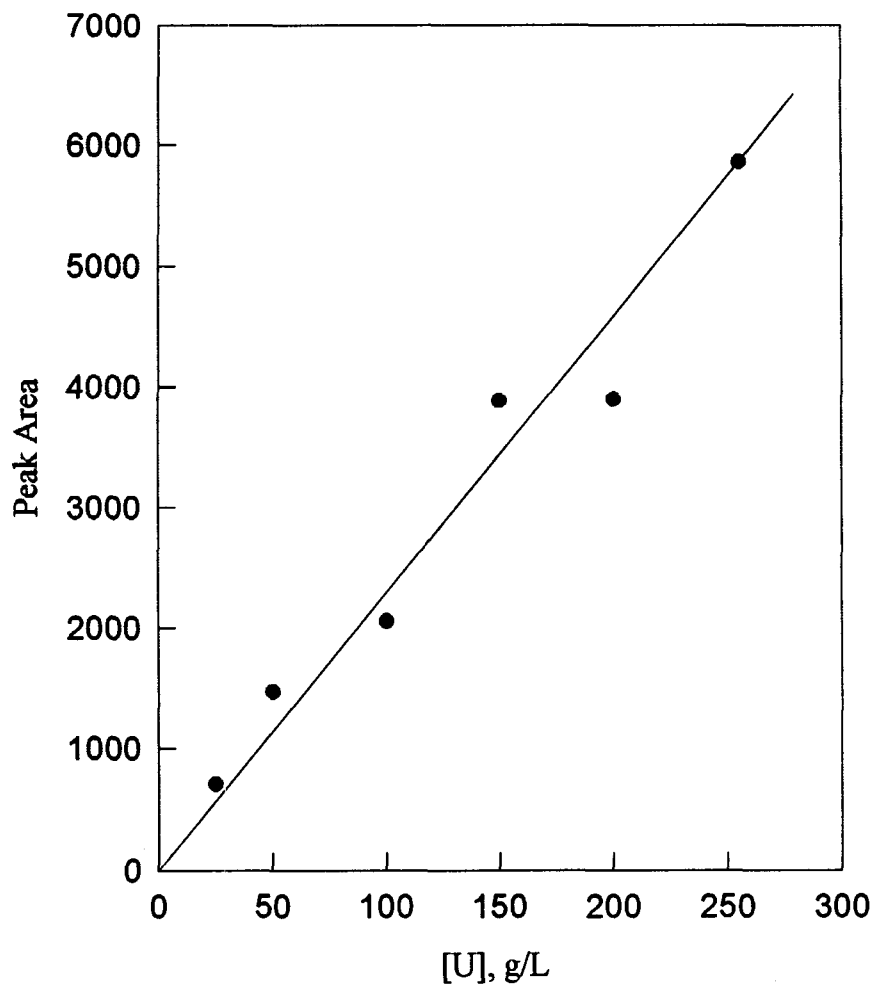


Fig. 3 Calibration curve for γ -counts vs. [uranium]