

MEK를 사용한 ^{99m}Tc 자동추출장치 개발

한현수, 박울재, 조운갑,
신현영, 홍순복, 이재신

한국원자력연구소 하나로이동연구단

1. 서론

의료용 동위원소 사용량의 80%이상을 차지하고 있는 ^{99m}Tc 은 반감기가 6시간으로 0.14 MeV의 γ -선을 방출하며 진단용으로 사용되는 대표적인 핵종이다. ^{99m}Tc 은 ^{235}U (n, f) 핵분열생성물로부터 분리된 ^{99}Mo 를 알루미늄이나 칼륨에 흡착시키는 크로마토그래프형 발생기와 연구로에서 ^{98}Mo (n, γ) 핵반응으로 생성된 ^{99}Mo 를 용액상태로 만든 후 용매추출법에 의하여 생산된다. 일부 선진국에서는 크로마토그래프형 발생기를 대량생산하여 세계시장에 공급하고 있으나 높은 공급가격으로 인해 연구용 원자료가 있는 지역에서는 용매추출형 발생기로부터 ^{99m}Tc 용액을 값싸게 공급할 수 있는 방안을 마련하고 있다.^{1,2)}

본 연구에서 개발한 용매추출장치는 원자로서 (n, γ) 핵반응으로 생산된 ^{99}Mo 를 용액상태로 만든 후 용매추출법에 의하여 ^{99m}Tc 을 고순도로 추출하는 장치로 1985년에 개발한 간편 추출장치를 바탕으로 자동운전이 가능하도록 개량한 것이다.³⁾ 현재 하나로의 동위원소 생산시설에 설치하여 국내 병

원에 ^{99m}Tc 을 대량 공급하는데 사용되고 있으며, 이 장치를 사용현장에서 사용자가 직접 ^{99m}Tc 을 추출할 수 있도록 보다 소형화하고 간편한 자동추출장치로 개발하였다.

2. 장치제작

개발된 자동추출장치는 용매추출을 위한 기계적 구동부분과 공정을 제어하는 산업용 컴퓨터로 구성되어 있다. 구동부분은 방사선 차폐를 위한 납차폐체, ^{99}Mo 원액 및 유기용매를 혼합하고 분리하기 위한 교반용기, 추출된 ^{99m}Tc 를 처리하기 위한 알루미늄 및 양이온 교환수지, 원액 및 폐액 처리를 위한 운반용기로 이루어져 있다. 제어부분은 펜티엄급 산업용컴퓨터에 밸브나 모터를 구동시키기 위한 연결보드와 상 분리를 위한 검출장치가 장착되어 있고, 수동운전 및 전원공급을 위한 사용자 버튼이 부착된 하드웨어와 용매추출프로그램으로 구성되어 있다.

2.1 장비 본체(구동부분) 제작

방사선 차폐를 위하여 6cm 두께의 납 차폐체로

제작하였다. 장치 표면으로부터 1m 거리에서의 선량이 1mrem/hr 이하로 법적 허용치 10mrem/hr를 충족하도록 제작된 것으로 11개의 납 블럭으로 구성되어 조립 및 분해가 용이하다. 가동 상태를 파악하기 위하여 내부를 볼 수 있도록 차폐체 중앙에 납유리를 부착하였다. 모터 위에 설치되어 있는 교반용기는 ^{99}Mo 원액($\text{Na}_2^{99}\text{MoO}_4$) 125ml와 유기용매(MEK) 15ml를 혼합시키고 추출한 후, 두 층을 분리하기 위한 용기로 좌·우측에 두 개의 이송칼럼이 부착되어 있으며 우측 칼럼에 검출 전극인 길이 3cm, 0.8mm의 백금선이 2cm 간격으로 삽입되어 있다. 납 차폐체 우측에는 부유물질 제거를 위한 필터, 불순 핵종 제거를 위한 양이온 교환수지, 추출된 ^{99m}Tc 를 잡아주는 알루미늄 칼럼 및 지지대가 부착되어 있다. ^{99}Mo 원액 이송 및 연속 추출 후 폐액을 처리하기 위해 4.5cm 두께의 납 운반용기를 제작하였다.

2.2 제어시스템 제작

2.2.1 산업용 컴퓨터

CNC(Computerized Numerical Controller) 제어장치로 펜티엄급(>RAM 16M) PC에 입력신

호를 받아들여 외부기기에 출력신호를 내보내는 순차제어보드(Sequence Control Board) 및 실제 외부기기와 제어장치를 연결해주는 연결보드(Terminal Interface Module)로 구성되어 있다. 대부분의 하드웨어는 표준화된 제품을 사용하여 신뢰성을 확보하고, 고장날 경우 쉽게 복구할 수 있도록 하였다.

2.2.2 상 분리 검출장치 제작

^{99m}Tc 용매추출시 전해질인 수층(^{99}Mo)과 비전해질인 유기층(^{99m}Tc)이 혼합된 용액에서 저항 성분의 상이함을 이용하여 용액의 경계점을 자동으로 검출, 분리할 수 있도록 한 상 분리 검출장치를 제작하였다.⁴⁾ 백금 전극의 전기분해를 막기 위하여 방형과 신호를 제 1 전극(PR 1)으로 공급하는 발진부, 제 1 전극의 하부에 삽입된 제 2 전극(PR 2)을 통해서 용액을 통과한 방형과 신호를 검출하고 평활 및 증폭시킨 후 DC 레벨로 출력하는 검출 및 절대치 평활부, DC 레벨의 변화율을 상대적으로 높이기 위한 레벨 조절부, 검출 신호의 레벨과 설정된 기준 값과의 비교를 통해 혼합액의 분리 시점을 출력하는 비교 제어부로 구성되어 있고 검출 전극으로는 백금선을 사용하였다.(그림 1)

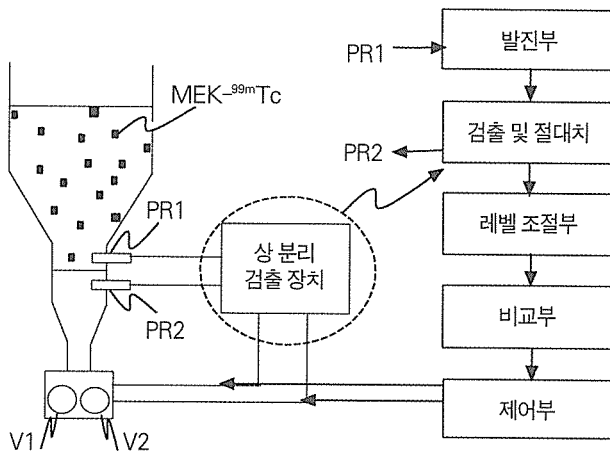


그림 1. 상 분리 검출장치 개념도

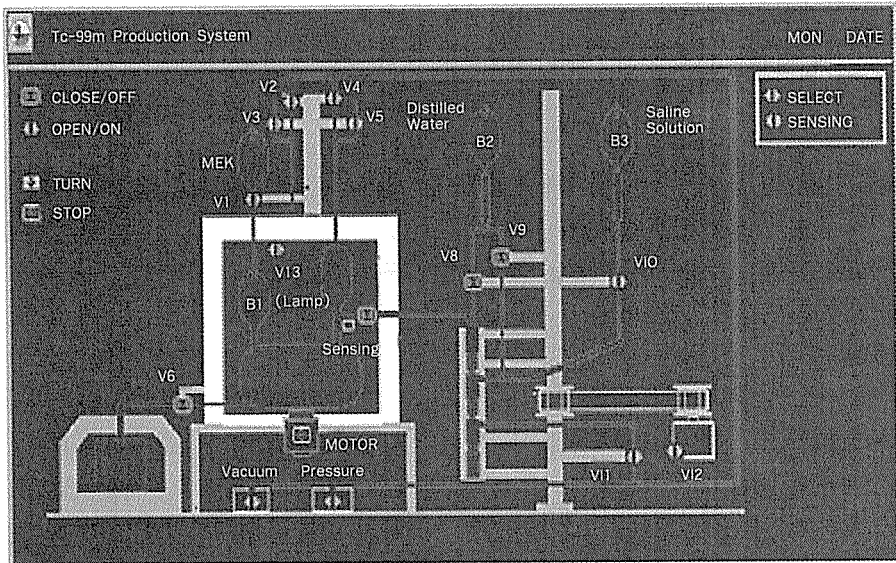


사진 1. ^{99m}Tc 용매추출공정을 나타낸 화면

2.2.3 용매추출 프로그램 개발

사용자의 불편을 최소화하고 운영과정에서 오작 및 오동작이 발생할 경우 쉽게 재가동 할 수 있는 용매추출 프로그램을 개발하였다. 시간설정을 통하여 작업을 제어하며 C++ 언어를 사용하여 DOS용 버전으로 개발되었다. 주요 기능으로는 사용자가 작업시간 및 순서를 쉽게 편집할 수 있는 파일 편집기능, 화면 그래픽 기능, RS 232 통신기능, 출력기능 등이 있다.

화면구성은 전체 공정이 한 화면에 디스플레이 되도록 하고, 작업이 진행되는 도중 특정 기기의 진행 상태를 쉽게 파악할 수 있도록 OPEN/CLOSE 아이콘을 사용하였다.(사진 1)

3. 자동용매추출장치를 이용한 ^{99m}Tc 추출

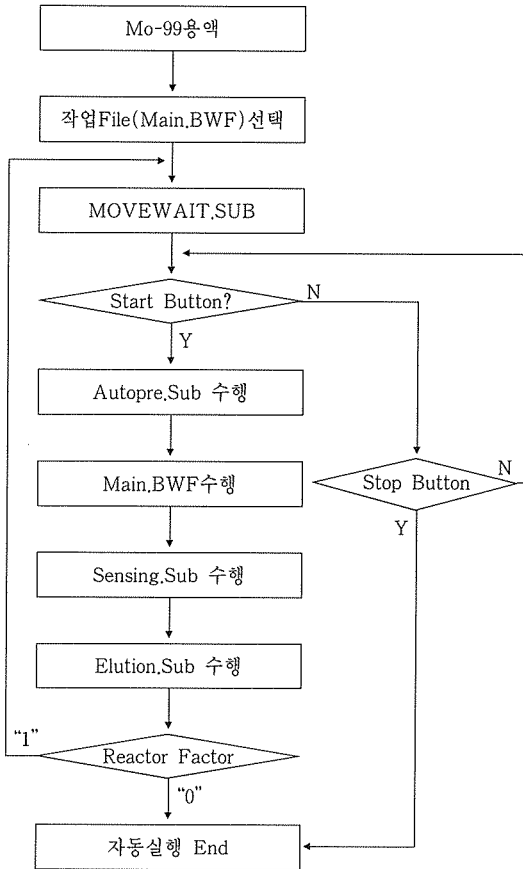
자동운전은 입력된 프로그램순서(그림 2), ^{99}Mo

원액 이송 및 ^{99m}Tc 추출과정, 추출 후 ^{99m}Tc 이 포함된 유기상과 ^{99}Mo 원액을 포함하는 수용액의 분리를 위한 검출과정, 알루미늄 칼럼에 흡착된 ^{99m}Tc 을 용리시키는 과정에 따라 진행되며, 만약 처리 도중에 문제점이 발생하면 바로 수동으로 전환하여 사용할 수 있다. 수동운전은 제어장치의 앞 패널에 부착된 ON/OFF 버튼을 사용하여 제어 순서대로 작동한다. 처리용량은 ^{99}Mo 기준으로 5Ci 까지 가능하며 자동운전시 원액공급 후 최종제품이 생산되는데 50분 정도 소요된다.

3.1 가동 전 준비 및 ^{99}Mo 용액 공급

가동 전원은 220V(50/60Hz) 이고, 용액의 이송 및 밸브 제어를 위해서 압축공기($5\text{kg}_f/\text{cm}^2$)가 사용된다. 가동하기 전에 추출용매인 MEK, 증류수, 0.9% NaCl 용액을 공급용기에 채우고, 알루미늄, 양이온 수지 칼럼 및 필터 등을 각각의 지지대에 장착한다. 운반용기에 담긴 125ml ^{99}Mo 원액은 교반

용기에 연결하여 흡입한다.



실행 파일	내 용
1. Autopre.sub	자동실행 준비, 시스템 초기화
2. Main.bwf	교반에서 센싱 직전까지 진행
3. Sensing.sub	수층 및 유기층 분리
4. Elution.sub	분리 후 최종제품 생산
5. Autoend.sub	자동실행 완료

그림 2. ^{99m}Tc 자동용매추출공정 프로그램 흐름도

3.2 ^{99m}Tc 추출

공급된 ⁹⁹Mo 원액에 MEK를 주입하고 15분 동안 교반하면서 두 용액이 균일하게 섞이도록 공압을 이용하여 좌우로 3차례 이송시킨다. 교반이 완료되면 수층과 유기층이 완전히 분리되도록 10분 동안 방치한 후 ^{99m}Tc이 포함된 유기층과 ⁹⁹Mo 원액을 포함하는 수층의 분리를 위해 상 분리 장치를 통과시킨다. 분리점 검출이 완료되면 ^{99m}Tc이 포함된 상부의 유기층만 필터, 양이온수지, 알루미늄나로 차례로 통과시킨다. 2ml의 증류수로 5회에 걸쳐 양이온 교환수지 및 알루미늄나로 세척하고 최종적으로 0.9% NaCl 용액으로 알루미늄나로 흡착된 ^{99m}Tc을 용리시켜 최종 제품을 받는다. 이 과정은 사용자가 미리 설정한 프로그램의 순서에 따라 자동으로 진행되며 5개의 하부 파일로 구성되어 있다. 만약 진행도중 오동작이 발생하면 자동운전을 취소시키고 바로 수동 모드로 전환하여 작업을 완료시킬 수 있다. 최종제품인 Na^{99m}TcO₄ 용액 10ml는 무균, 무진시설에서 분배한다.

4. 결론

(n,γ) 반응으로 생산된 ⁹⁹Mo로부터 용매추출법에 의하여 ^{99m}Tc만 추출하는 ^{99m}Tc 자동추출장치를 개발하였다.(사진 2) 이 장치는 벨브나 용액의 이송에 필요한 공압과 장치설치가 가능한 최소면적의 후드만 준비되면 입력된 프로그램에 따라 자동운전이 가능하고 만약 처리 도중에 문제점이 발생하면 바로 수동으로 전환하여 사용할 수 있다. 한번에 ⁹⁹Mo 기준으로 5Ci까지 처리할 수 있으며 자동운전의 경우, 원액공급 후에 최종제품을 생산하는데는 50분이 소요된다. 또한 자동화 공정을 채택하여 작업능률을 향상시킬 수 있고 원거리 작업이 가능하기 때문에 작업자의 방사선 피폭도 최소화할

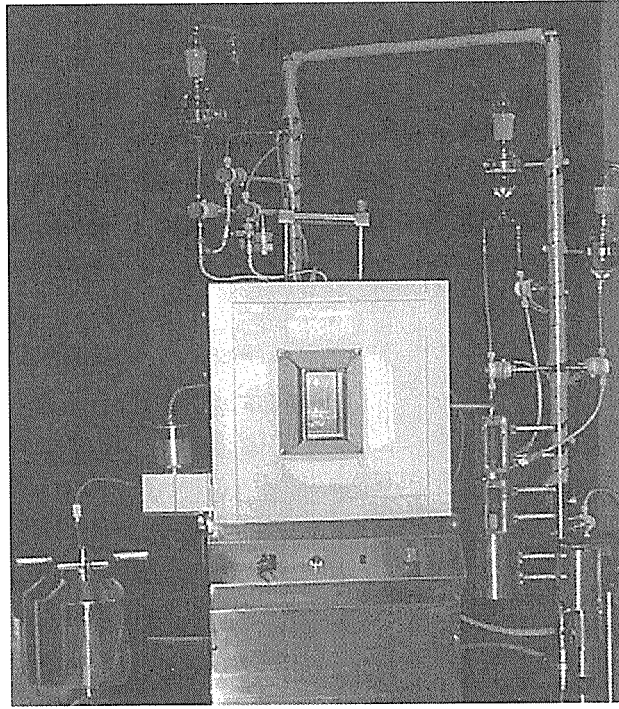


사진 2. ^{99m}Tc 자동추출장치

수 있다.

이 장치는 원자료를 사용하여 제한된 지역에 ^{99m}Tc 을 공급하는 것으로 사용지역에서 진단용 ^{99m}Tc 의 공급안정과 가격조절에 크게 기여할 것으로 추측된다.

이번에 개발된 ^{99m}Tc 용매추출장치는 리비아에 수출되어 선원제조기술이나 기타 취급장비를 해외에 수출할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

수 있다.

이 장치는 원자료를 사용하여 제한된 지역에 ^{99m}Tc 을 공급하는 것으로 사용지역에서 진단용 ^{99m}Tc 의 공급안정과 가격조절에 크게 기여할 것으로 추측된다.

이번에 개발된 ^{99m}Tc 용매추출장치는 리비아에 수출되어 선원제조기술이나 기타 취급장비를 해외에 수출할 수 있는 가능성을 보여 주었다.

(참고문헌)

1. R. E. Boyd, "Recent development in generators of ^{99m}Tc ", IAEA-SM-171/94, 1980
2. 이종두 외 1인, "A convenient method on methyl-ethyl-ketone extraction of $^{99m}\text{TcO}_4^-$ ", 대한방사선방어학회지, 제 9권, 2호, 1984
3. 한현수 외 29인, "RI 생산 및 이용 연구", KAERI/RR-1762/96, 1997
4. P. Van Den Winkel, "A low cost semi-automated system for the industrial production of non-carrier added ^{201}Tl ", Institute of Radio-elements, Belgium

* 감사의 글 : 본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 중장기 과제의 일환으로 수행된 것입니다.

KRIA