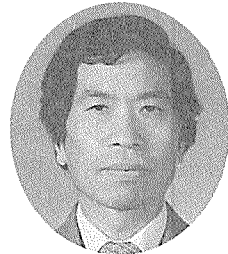


# Tc-99m 발생기



김 재 룝  
 한국원자력연구소  
 원자로동위원소실장

Tc-99m은 분명 핵의학계에서 가장 사랑 받는 RI중의 하나이다. 우리나라에서도 거의 10kCi가까운 양이 1991년도에 사용되었다.

이 글에서는 Tc-99m 발생기의 제조방법과 특징 등에 대해 간단하게 적어 다 함께 생각해 보도록 한다.

## 1. Tc-99m의 특징

Tc-99m은 반감기 6시간의 중에너지  $\gamma$ 선 방출체이며  $\alpha$ 입자,  $\beta$ 선 등의 방출이 없다. +3, +4, +7등 여러가지 산화상태를 가지므로 많은 종류의 화합물에 도입될 수 있다. 또 비

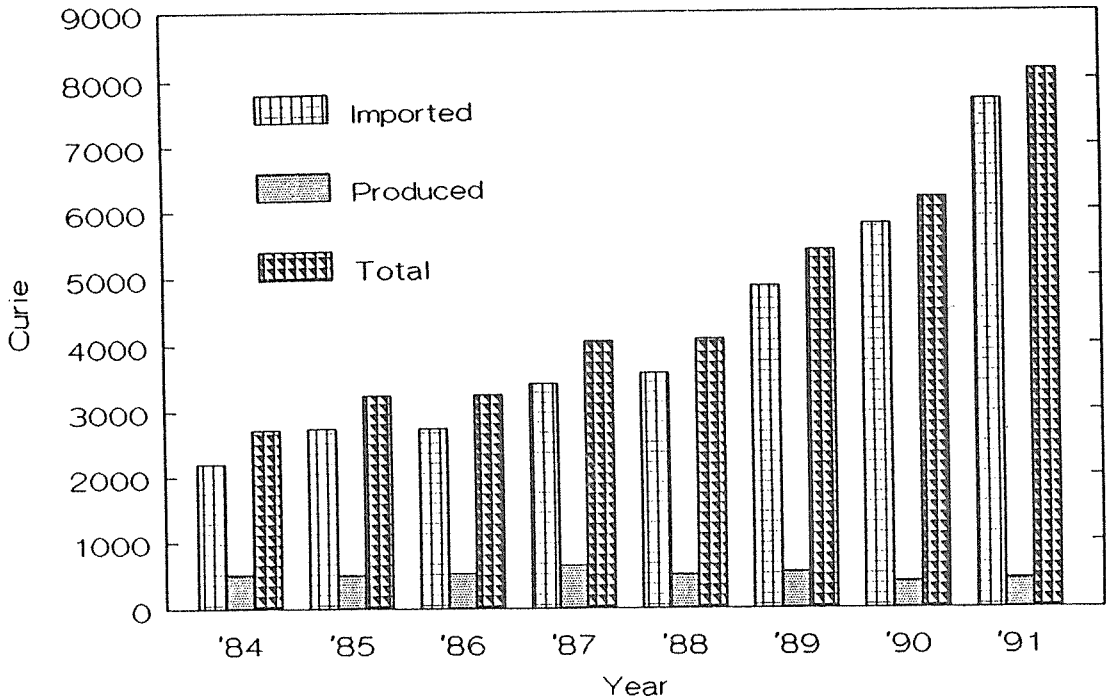


그림 1. 우리나라에서의 Tc-99m 수입 및 생산 (1991)

교적 작은 연구용원자로서도 생산될 수 있다.

사람들은 흔히  $\gamma$ 선방출 RI라면 멀리 도망가려 하지만  $\beta$ 선방출 RI라면 대스럽지 않게 생각하는 수가 있는데 이는 방사선에 의한 외부피폭의 경우에만 그럴 뿐 내부에 흡수되거나 진단목적으로 투입되는 경우는 반대가 된다. 즉,  $\beta$ 선방출 RI가 체내에 투입된 경우, 전혀 체외에서 방사선검출이 되지 않는다는 사실은  $\beta$ 선이 신체에 그 에너지를 전부 전달하여 흡수시킨다는 사실 때문이며, 이로 인해 신체의 세포는 파괴될 수도 있다.  $^{99m}\text{Tc}$ 의 경우  $\beta$ 선이 없으므로 그와같은 체세포손상의 우려가 적을 뿐만 아니라  $\gamma$ 선에너지도 140keV의 단일에너지여서  $\gamma$ 영상을 얻기에 알맞다.

반감기가 6시간이어서 인체에 투여되었을 경우 체내잔존시간이 길다하더라도 피폭량을 줄일 수 있고 또 방사성폐기물 발생에서 오는 문제점도 적다. 반감기의 10배~20배 경과되었을 경우 방사능준위는 거의 자연방사능준위로 감쇠되기 때문이다.

한편 반감기가 짧아 불편한 점이 없는 것은 아니다. 생산지로부터 이용지까지의 거리가 멀 경우 방사능감쇠를 감수하지 않을 수 없다는 점이다.

먼 곳에서 구매할 경우에는 구매자가 인수하는 시점에서 요구한 방사능이 되도록 수송 중 감쇠를 고려한 방사능을 생산자가 포장하는 것이 통례로 되어 있기는 하다. 그러나 어쨌던간에 사용하려던 시간보다 늦게 사용할 경우 그 방사능감쇠는 불가피하다. 다행히 그 어미핵종(parent nuclide)인  $^{99}\text{Mo}$ 의 반감기는 66시간이어서 이 두 핵종 사이에 일시방사평형이 성립하므로 이 현상을 이용하여 발생기(generator)로 만들면 먼 곳에서도  $^{99m}\text{Tc}$ 를 비교적 편리하게 이용할 수가 있다.

$^{99m}\text{Tc}$ 발생기로 만들지 않고  $^{99}\text{Mo}$ 로부터 추출하여 그대로 사용하는  $^{99m}\text{Tc}(\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$  형태)를 instant technetium이라고 부른다.

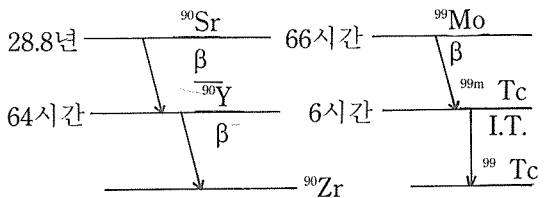
## 2. $^{99m}\text{Tc}$ 발생기(Technetium-99m Generator)

RI발생기는 어미핵종과 딸핵종 사이에 방사평형이 이루어질때에 한하여 제조, 이용할 수 있다. RI발생기를 제조하는 이유는 반감기가 짧은 RI핵종을 자주 이용해야 하는 경우 구득의 번잡성, 방사능감쇠로 인한 불편을 어느정도 극복케 하기 위함이다. 즉, 어미핵종을 어느 고정상(stationary phase) 또는 흡착체 등에 고정 또는 흡착시켜 놓고 딸핵종이 충분한 량 생성된 다음 적당한 용출제(eluent)로 딸핵종만을 용출해 사용할 수 있게 하기 때문이다. 단, 이 경우 딸핵종과 어미핵종의 분리는 간편해야 하며 분리효율, 용출효율 등이 높아야 좋은 발생기라고 할 수 있다.

### 가. 방사평형(Radioactive Equilibrium)

딸핵종과 어미핵종의 방사능의 성장·감쇠가 평형에 도달된 상태를 말한다. 방사평형은 어미핵종과 딸핵종의 반감기의 차이에 따라 영속방사평형(Secular Radioactive Equilibrium)과 일시방사평형(Transient Radioactive Equilibrium)으로 구분된다. 표 1에 이 둘의 평형과 관련된 특징을 나타내었다.

영속방사평형의 대표적 예는  $^{90}\text{Sr}$ 과  $^{90}\text{Y}$ 의 관계이다. 또 일시방사평형의 예는 여러가지 있겠으나 대표적 예는  $^{99}\text{Mo}$ 와  $^{99m}\text{Tc}$ 의 관계이다. 이들에 대한 간단한 붕괴그림을 아래에 나타내었다.



영속방사평형에서는 어미핵종방사능(A1)과 딸핵종방사능(A2)이 같아  $A1=A2$ 가 되나 일시 방사평형에서는 어미핵종방사능이 딸핵종방사능보다 약간 작다.

어느 평형이건간에 어미핵종원자수는 딸핵

표 1. 방사평형의 조건 및 특징

종 류	조건	평형식	대표적 예 1개
일 시	$T_1 > T_2$	$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$	$^{99}\text{Mo} \xrightarrow{66\text{시간}} ^{99m}\text{Tc} \xrightarrow{6\text{시간}} ^{99}\text{Tc}$
영 속	$T_1 \gg T_2$	$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$	$^{90}\text{Sr} \xrightarrow{28.8\text{년}} ^{90}\text{Y} \xrightarrow{64\text{시간}} ^{90}\text{Zr}$

$T_1, T_2$  : 어미핵종 및 딸핵종 반감기  
 $\lambda_1, \lambda_2$  : 어미핵종 및 딸핵종 붕괴정수

중원자수보다 매우 많으나 그 방사능이 딸핵종과 같거나 조금만 작은 이유는 딸핵종의 붕괴정수( $\lambda_2$ )가 어미핵종붕괴정수( $\lambda_1$ )보다 크기 때문이다.

영속방사평형에서는 딸핵종의 방사성붕괴가 어미핵종반감기에 따라 일어나게 되나 일시방사평형에서는 그렇게 표시되지 않는다.

나. 발생기의 요건

방사평형이 이루어지고 있는 계에서 딸핵종을 신속·간편하게 분리해 낼 수 있게 만든 것을 RI발생기라고 하는데 RI발생기의 요건은 아래와 같다.

- 1) 모핵종에서 딸핵종을 신속·간편하게 분리할 수 있을 것.
- 2) 분리·용출효과가 좋을 것.
- 3) 휴대성이 좋을 것.
- 4) 의료용일 경우 무균상태를 유지할 수 있고 파이로젠이 없을 것.

이렇게 만든 RI발생기는 반감기가 짧아 자주 이용하기에 불편한 RI핵종을 생산지에서 멀리 떨어져 있는 곳이나 야외에서 손쉽게 이용할 수 있게 한다.  $^{99}\text{Mo}$ 의 경우는 작은 유리대롱(glass column)에 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )를 충전시키고 여기에  $^{99}\text{Mo}$ 를 흡착시킨 상태이다. 이것을 납으로 만든 방사선차폐체에 넣고 운반이 용이하도록 손잡이를 달았다. 또 딸핵종인  $^{99m}\text{Tc}$ 가 생성되면 쉽게 용출·분리할 수 있도록 콕크를 조작하므로써 압력차에 의해 일정량의 식염수( $^{99m}\text{Tc}$ 의 용리액)가 흘러들어가 유리바이알에 받아내게 하는 등 가

능한 한 편리하도록 만들어졌다. 이렇게 만든 소위 크로마토그래피 형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기는 요즘 우리나라에 많이 수입되고 있다.

크로마토그래피 형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기는 가장 일반화된 것이며 이보다 사용이 약간 불편한 추출형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기도 극히 적은 양이 이용되고 있다. 추출형은  $^{99}\text{Mo}$ 와  $^{99m}\text{Tc}$ 의 혼합물에 유기용매인 MEK를 가해 혼합한 다음 MEK층을 분리하여  $^{99m}\text{Tc}$ 만 남도록 MEK를 증발시키고 나서 다시 0.9% 식염수에  $^{99m}\text{Tc}$ 를 녹여 사용하도록 한 것이므로 분리조작이 간편하지 않은 편이다. 이런 연유로 추출형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기의 이용보편화에 난관이 있는 것이 사실이다.

다.  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기 기술 최근동향

위에 언급한  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기의 요건을 충분히 만족시키려면  $^{99m}\text{Tc}$ 의 모핵종(parent nuclide)인  $^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능(specific radioactivity)이 높아야 한다. 즉, 비방사능(g당 방사능)이 높으면 높은 준위의 방사능을 띄면서도 그 화학적 양이 극히 작아 0.5~1g등 극히 적은 양의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에  $^{99}\text{Mo}$ 가 모두 흡착될 수 있다. 그래야만 유리대롱도 작아져서 밀집·소형(compact)의 발생기를 제조할 수 있고 또 딸핵종을 용출했을 때에도 유리대롱이 밀집·소형이어야만  $^{99m}\text{Tc}$ 의 방사능농도(ml당 방사능)를 높일 수 있어서 즉석표지키트를 써서 높은 수율로 표지(標識)할 수가 있다.

$^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능이 가장 높은 것은 핵분열 생성물에서 분리한  $^{99}\text{Mo}$ 이다. 이것은  $^{99}\text{Mo}$ 표

적을 중성자照射하여 얻은  $^{99}\text{Mo}$ 와는 다르다. 즉  $^{98}\text{Mo}$ 를 중성자조사하면 많은 양의  $^{98}\text{Mo}$ 가  $^{99}\text{Mo}$ 와 섞여 있게 되고  $^{99}\text{Mo}$ 와  $^{98}\text{Mo}$ 는 분리가 되지 않아  $^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능은 낮을 수밖에 없고 이렇게 낮은 비방사능의  $^{99}\text{Mo}$ 를 작은 유리대롱에 있는 적은 양의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에 모두 흡착시키기는 근본적으로 불가능하다.

따라서 밀집·소형 크로마토그래피 형  $^{99}\text{mTc}$ 발생기는 지금까지 핵분열생성물(F.P.)로부터 분리한  $^{99}\text{Mo}$ 를 사용하여 만든 것이 대부분이다.

그런데, 이 크로마토그래피 형 발생기는 이용하기에 편리하나 몇가지 다른 요인으로 인해 이용상의 문제점이 지적되고 있다. 그것은 다름아니라 가격이 비싸다는 것과 제조 공급원이 여러 곳이 아니어서 지속적으로 공급받기 위한 보증이 약하다는 점이다.

더구나, 고농축  $^{235}\text{U}$ 를 사용해서 핵분열반응시키고 거기서  $^{99}\text{Mo}$ 를 회수해야 하기 때문에 장반감기의 방사성폐기물의 발생, 국제 핵안전협약 등에 민감한 농축  $^{235}\text{U}$ 의 구득상의 어려움, 핵분열생성물의 관리상의 어려움과 환경보호상의 기술적 투자의 방대성 등도 생각해야 한다는 것이다. 따라서, 크로마토그래피형  $^{99}\text{mTc}$ 발생기의 저렴화는 근원적으로 기대하기 어려운 것이다.

이에 따라 국제원자력기구(IAEA)는 1980년대 중반에 수년간에 걸쳐 저출력 연구용원자료를 이용한  $^{99}\text{mTc}$ 발생기 개발에 관한 공동연구과제를 추진하였으며 이 과제에 여러나라들이 참여하여 나름대로의 결과를 얻고 과

제를 마무리하였었다.

동 과제수행의 직접·간접적 결과로 얻은 성과는  $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤형  $^{99}\text{mTc}$ 발생기 및 승화식  $^{99}\text{mTc}$ 발생기의 개발터전을 구축하였다는 사실이다. 1980년대말 이들 두 가지 형태의 발생기가 일부 국가에서 개발, 실용화되었는데, 아세아국가들 중에는 중국과 인도가 이 기술에 관한한 앞서있다. 호주에서는 저농축  $^{235}\text{U}$ 를 이용한 발생기를, 인도네시아는 고농축  $^{235}\text{U}$ 를 이용한 발생기를 각각 개발·실용화시켰다.

한편, 저농축  $^{235}\text{U}$ 를 이용한 (n, f) $^{99}\text{Mo}$ 분리 기술은 JAERI가 개발·확보한 바 있으나 그것을 상용생산과 연결시키지 않았다.

새로운 기술 중 젤형 발생기제조기술의 기본개념은 유리대롱에  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 젤을 채워  $^{99}\text{Mo}$ 의 흡착제로 사용하는 대신  $^{99}\text{Mo}$ 자체를 젤형태로 만들어  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 젤대신 유리대롱안에 충전하는 것이다. 이때  $^{99}\text{Mo}$ 젤은 자기자신  $^{99}\text{Mo}$ 이면서 스스로 흡착제구실을 함께하는 셈이다. 이렇게 함으로써  $^{99}\text{Mo}$ 의 저 비방사능에 기인되는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에의 흡착량 한계성의 단점을 극복하게 한 것이다.

그러나 이 경우에도 기왕이면  $^{99}\text{Mo}$ 젤의 비방사능이 높은 편이 유리하다. 그럴 경우 유리대롱크기가 작아질 수 있고 결과적으로 발생기 자체의 크기도 작아질 수 있기 때문이다.

참고로 중성자다발밀도가  $5 \times 10^{13}$ 개/cm<sup>2</sup>/sec인 원자로에서 100시간 중성자조사하여 얻은  $^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능과 같은 중성자다발밀도의 중성자속을 갖는 위치에서 240시간 핵

표 2.  $^{99}\text{Mo}$  생산 데이터\*

반응	표적	중성자다발밀도 및 조사시간	생성한 Mo-99	
			방사능	비방사능
(n, $\gamma$ )	자연산 $\text{MoO}_3$	$5 \times 10^{13}$ 개/cm <sup>2</sup> /초 100시간	80Ci/500gMo	160mCi/gMo
	>95% 농축 $\text{MoO}_3$	∞	3200Ci/500gMo	6.4Ci/gMo
(n, f)	고농축 $^{235}\text{U}$ (HEU)	$5 \times 10^{13}$ 개/cm <sup>2</sup> /초 240시간	350Ci/20gHEU	5000Ci/gMo

\* Manuel C et al. ; Appl, Radiat. Isot. 42(7), 643~657(1991)

분열반응시켜 얻은  $^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능을 소개하면 표 2와 같다.

이 데이터에 의하면 자연산  $^{98}\text{MoO}_3$ 를 이용해서는 비방사능이 너무 낮아서 비록 젤형 제네레이터로 시도한다하더라도 실용할만한 것을 만들 수 없다는 사실을 알게된다. 즉,  $\text{MoO}_3$  1g당 160mCi인데 실제로는 160mCi의  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기는 유통되지 않으며 너무 방사능이 적다. 그렇다고  $\text{MoO}_3$ 양을 늘려 5g, 10g씩 사용할 수 없는데 그 이유는 유리대롱과 차폐체 모두가 커져야 하므로 휴대성이 없어지기 때문이다.

따라서, 밀집·소형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기는 적어도 (n, f)  $^{99}\text{Mo}$ 가 아닌 한 제조·실용이 불가능하다는 판단을 하게 되어 그런대로 얼마간의 시간이 흘러갔다.

그러나, 최근의 정보는 예상했던것과는 조금 다르다는 사실을 말해준다. 왜냐하면 젤형 발생기를 열심히 개발하던 호주는 저농축(2.2% 이하)  $^{235}\text{U}$ 를 사용한 (n, f) $^{99}\text{Mo}$ 를 가지고  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기를 개발·실용화한 반면, 중국은  $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기를 개발, 실용화하였기 때문이다.

호주는  $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤이 불안정하여 젤로부터 Mo 및 Zr이  $^{99m}\text{Tc}$ 용출액에 상당한 농도로 용출되기 때문에 개발을 중단하고 LEU로 방향을 바꾸었다고 하며, 젤형 발생기를 개발한 중국은 젤이 실용화가 가능하리만큼 안

정하다고 한다. 그리고 중성자다발밀도가  $10^{14}$ 개/cm<sup>2</sup>/초인 연구용원자로의 중성자조사공에서 충분한 시간(100시간 이상) 조사했을 경우(단 지속적으로 조사한다는 조건필요)  $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤 g당 3Ci의 비방사능이 얻어진다고 주장하고 있으며 현재 중국에서 실용중이라고 자랑한다. 즉, 현재 중국에서 제조·이용중인 젤형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기는  $^{99m}\text{Tc}$ 순도면세어나 발생기의 이용간편성, 휴대성 등에서 (n, f) $^{99}\text{Mo}$ 를 이용한 크로마토그래피형  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기와 큰 차이가 없다고 하므로 앞으로 그 보급확산이 기대된다.

#### 라. (n, f) Mo-99생산의 실제

저농축  $^{235}\text{U}$  또는 고농축  $^{235}\text{U}$ 를 원자로 안에서 핵분열반응시킬때  $^{99}\text{Mo}$ 의 핵분열수율은 약 6%여서 비교적 높은 편이다. 그러나 전체적으로 강한 방사성 핵분열생성물(FP)로부터(보통  $^{99}\text{Mo}$ 방사능보다 다른 방사성 핵분열물질 방사능이 20배 이상 강함)  $^{99}\text{Mo}$ 를 분리해내야 하기 때문에 어려움이 있다. 장반감기 방사성폐기물이 발생되어 그 보관·처리문제도 수반된다. 이러한 어려움 이외에도  $^{235}\text{U}$ 의 핵분열반응캡슐에서 발생하는 열을 철저히 냉각시켜 안전하게 캡슐의 밀봉상태를 유지해야 하는 것이다. 이를 위해  $^{235}\text{U}$ 의 중성자조사용 캡슐이 여러가지 개발되었다. 일반적으로 고농축  $^{235}\text{U}$ 인 경우에는 발열이 더 심

표 3.  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기 별 특징 비교\*

형별	$^{99}\text{Mo}$ 제법	$^{99m}\text{Tc}$ 분리 효율%	$^{99m}\text{Tc}$ 품질	$^{99m}\text{Tc}$ 농도	조작의 간편성	소요경비 US\$/mCi $^{99m}\text{Tc}$	전망
크로마토그래피	(n, f)	70~95	우수	높음	단순, 휴대성	0.2	실용, 계속성
승 화	(n, $\gamma$ )	70~95	우수	낮음	단순, 휴대성	0.05	비실용적
	(n, $\gamma$ )	20	우수	높음	복잡, 고정형	0.1	비실용적
	(n, $\gamma$ )*	50	우수	높음	자동, 휴대성	0.08	소형연구로 이용생산가능
용매추출 (MEK)	(n, $\gamma$ )	50~75	우수	높음	복잡, 고정형	0.1	비실용적
젤	(n, $\gamma$ )	85~95	우수	높음	단순, 휴대성	0.06	차세대형

# R. E. Boyd, Radiochemica Acta 41, 59~63(1987)

\* Zsinka, the advanced sublimation generator bascd upon titanium molybdate( $^{99}\text{Mo}$ )(1984)

하여 고도의 열전달 냉각이 가능하도록 설계해야 한다.

저농축  $^{235}\text{U}$ 를 쓸 경우에는 펠렛 형태로 하여 4~5개를 스테인리스강으로 만든 캡슐에 밀봉한 표적이 쓰인다. 열발산용 흰(fin)을 달고 완충작용을 하도록  $\text{ZrO}_2$  insulator 및 plenum도 장착한다.

인출한 캡슐은 약 2일간 냉각시킨 후 개봉하며 이때  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ 등 휘발성가스를 포집한다. 물론, 이러한 조작은 밀봉된 핫셀에서 수행되어야 한다.

$^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ 등은 각각 별도로 포집하여 의료용으로 사용된다. 조사된 펠렛은 10M 질산에 녹이고  $^{99}\text{Mo}$ 는 유기용제인 D2EHPA로 추출된 후  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 칼럼 크로마토그래피에 의해 정제된다.

일본 JAERI에서는 캡슐개봉때의 핵분열 가스 포집은 물론이고 펠렛을 질산에 녹이는 과정에서도 추가로 휘발성  $^{131}\text{I}$ 와  $^{133}\text{Xe}$ 가스가 발생되므로 이 가스를 알칼리용액에 통과시켜  $^{131}\text{I}$ 를 포집케 하고 통과되어 나온  $^{133}\text{Xe}$ 는 액체질소 냉각트랩에 포집하였다가 별도로 밀봉용기에 모았다고 한다. 그리고  $^{99}\text{Mo}$ 를 용매로 추출하기에 앞서  $^{127}\text{I}$ 캐리어를 가해 증류해냄으로써 질산용액에 잔존하는 미량의  $^{131}\text{I}$ 까지도 철저히 제거해 낼 수 있다고 한다. 대부분의 핵분열생성물(F.P)은 물층에 남게 되고  $^{99}\text{Mo}$ 가 선택적으로 유기용매에 추출되므로 나머지 물층은 방사성폐기물로 남게 된다.

유기용매에 녹아있는  $^{99}\text{Mo}$ 는 0.5M 질산으로 재차 역추출(back extraction)된다. 이때 질산용액에는 미량의  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 가해준다. 그리고 여기서 남은 유기용매층은 역시 방사성폐액으로 남게 된다. 이상의 조작을 콘크리트 핫셀에서 수행하고 위에서 얻은  $^{99}\text{Mo}$ 질산용액층은 납핫셀로 옮겨서 정제한다. 먼저  $\text{NaNO}_2$ 를 가해  $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 분해시키고나서 증발시켜 용액부피를 줄인 다음  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 칼럼에 통과시켜  $^{99}\text{Mo}$ 를 흡착시킨다. 그리고 칼럼을 0.1M 질산과 물로 씻어주고 최종적으로  $^{99}\text{Mo}$ 는 1M  $\text{NH}_4\text{OH}$ 로 용출시킨다.

한편, 고농축 U-235를 표적물질로 했을

경우, 조사용기 및 표적의 화학형태 등은 달라져야하며 또 Mo-99의 정제법도 달라질 수 있다. 인도네시아의 BATAN에서는 조사후 캡슐을 열고 2N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 와 진한  $\text{HNO}_3$ 를 가해 U-235표적을 녹이고 가열하여 핵분열가스를 포집하며 용액을 다른 그릇에 옮긴다음 I, Rh, Mo, Ag, Ru등을 캐리어로 가하고 여기에 2%의  $\alpha$ -benzoinoxime을 가해  $^{99}\text{Mo}$ 를 침전시켜 미반응  $^{235}\text{U}$ 와 핵분열생성물로부터 분리한다. 여과한 다음  $^{99}\text{Mo}$ -benzoinoxime은 0.4N  $\text{NaOH} + 1\%$   $\text{H}_2\text{O}_2$ 용액을 가해 녹이고  $\text{ZrO}$ 칼럼과  $\text{Ag}$ 피복탄소 분말칼럼을 통과시켜  $^{99}\text{Mo}$ 를 정제한다. 이렇게 한 경우 1.5g의  $^{235}\text{U}$ 로부터 75~85Ci의  $^{99}\text{Mo}$ 를 얻을 수 있다고 한다.

#### 마. (n, $\gamma$ ) $^{99}\text{Mo}$ 생산 및 $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤 제조의 실제

##### i) 표적조사

고순도의 비농축  $\text{MoO}_3$ 분말을 석영관에 밀봉하고 다시 Al캡슐에 봉하여  $2 \times 10^{14}$ 개/cm<sup>2</sup>/sec의 중성자다발밀도를 보이는 중성자조사공에서 3~4일간 조사한다. 이때  $^{99}\text{Mo}$ 의 비방사능은 2~3Ci/g인 것이 얻어진다고 한다.

##### ii) 젤 제조

$^{99}\text{MoO}_3$ 분말을 2N  $\text{NaOH}$ 에 녹이면  $\text{Na}_2^{99}\text{MoO}_4$ 가 생성되는데 그 PH를 4~5로 맞춘다음  $\text{ZrOCl}_2$ 나  $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2$ 용액(10mgZr/ml)이 들어있는 용기에 부어서  $\text{ZrO}(\text{MoO}_4)$ 젤이 되게 한다. 이때 PH를 4.5로 유지하며 맹렬히 저어준다.

##### iii) 젤 여과, 건조

젤을 여과하여 100~110°C온 약 10시간에 걸쳐 건조시킨다.

##### iv) 젤 입자크기 조절과 칼럼내 충전

건조된 젤은 지름이 60~180mesh인 알맹이(granule)로 만든다. 젤부피의 약 30배의 물을 부어  $^{99m}\text{Tc}$ 발생기용 칼럼에 채운다.

##### v) 용출 및 방사능측정

약 6시간 경과 후에 10ml의 0.9%식염수로  $^{99}\text{Mo}$ 와 평형을 이루고 있는  $^{99m}\text{Tc}$ 를 용출하고 그 순도와 방사능을 측정한다.