

## 의료용 동위원소 Mo-99 회수·정제 공정의 기술특성 비교분석

김익수, 조수행, 신영준, 오수열, 박경배

한국원자력연구소

niskim@kaeri.re.kr, nshcho1@kaeri.re.kr, nyjshin@kaeri.re.kr, syoh@kaeri.re.kr, kbpark1@kaeri.re.kr

### 1. 서론

Mo-99 는 암의 진단에 가장 널리 쓰이고 있는 의료용 동위원소로서 그 수요량이 점차 증가하고 있으며 국내에서는 현재 전체 수요량의 99% 이상을 수입에 의존하고 있다[1]. 기존에 Mo 을 생산하는 방법으로는 우라늄 화합물 표적을 원자로에서 조사시킨 후 인출하여 표적을 용해하여 여러 단계의 화학적 분리공정을 거쳐 핵분열생성물 중에서 Mo 만을 분리 정제하는 방법이 있으며, Cintichem 공정이 그 대표적인 것으로서 현재 세계시장 수요량의 80% 이상을 공급하고 있다[2].

최근에 한국원자력연구소에서는 우라늄 표적을 이용하는 기존의 방법과는 다른 수용액 핵연료를 이용한 의료용 동위원소의 생산에 대한 연구를 착수하여 러시아 Kurchatov 연구소와 IPPE(Institute of Physics and Power Engineering)에서 소개한 바 있는 Mo-99 생산을 위한 수용액 핵연료 전용로(Medical Isotopes Producer; MIP)의 개념을 검토하고 있다[3]. 이는 수용액 핵연료로부터 Mo 을 분리·정제한 후 원자로로 재순환하여 활용함으로써 우라늄 활용을 극대화하고 방사성 폐기물의 발생량을 줄일 수 있는 신규기술이다.

본 연구에서는 우라늄 표적을 이용하는 Cintichem 공정과 수용액 핵연료를 이용하는 공정(MIP)을 동위원소를 분리·정제하는 화학적 처리과정에 중점을 두어 검토하고 서로의 장단점을 비교하여 동위원소 생산 기반기술의 확보를 위한 자료로 활용하고자 한다.

### 2. Cintichem 공정

우라늄을 조사시켜 우라늄 핵분열 생성물로서의 Mo-99 를 생산하는 Cintichem 공정은 미국의 CINTICHEM 사가 개발한 공정으로서 현재는 미국의 DOE 가 그 실시권을 가지고 있는 Mo 제조 공정이다.

Mo-99 제조 공정은 Fig. 1 에 나타난 바와 같이 우라늄 표적 제조, 표적의 원자로 조사 및 냉각, 조사 후 표적의 용해, 생성된 Mo 의 분리, 정제의 과정을 거쳐 정제된 fission Mo-99 가 용액 형태로 제조된다. 여기에서 fission Mo-99 의 분리·정제 공정은 조사 후의 표적을 원자로 조사 공으로부터 차폐셀 내로 운반하여 표적을 용해하는 공정에서부터 3 단계 이상의 상이한 분리·정제

공정을 거쳐 정제된 fission Mo-99 를 제조하기까지의 과정을 포함한다.

Cintichem 공정에서 이용하는 표적은 스테인레스 스틸 튜브 내벽에 이산화우라늄을 전기증착법으로 코팅한 형태이며, 조사 후 Mo 을 분리 정제하기 위한 화학처리 공정으로는 그림에 나타난 바와 같이 조사된 우라늄 표적의 질산용해에 이어 Mo 의 회수를 위하여 Benzoin Oxime 에 의한 침전법을, Mo 의 정제를 위하여 알루미늄 함침 차콜의 흡착법을 채택하고 있다.

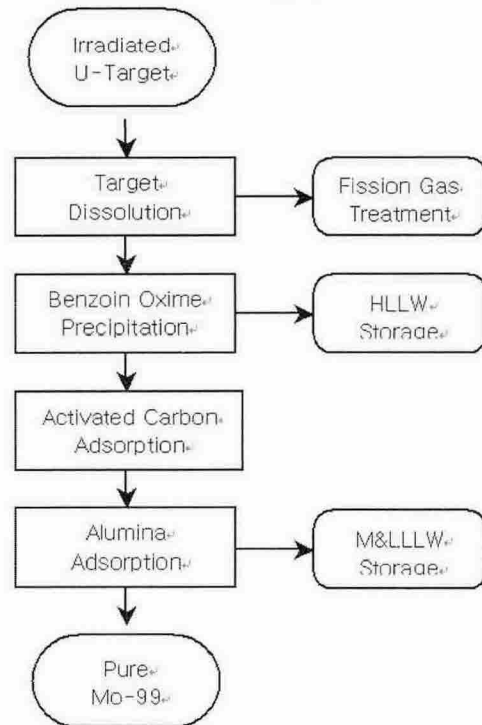


Fig. 1. Cintichem process flow diagram

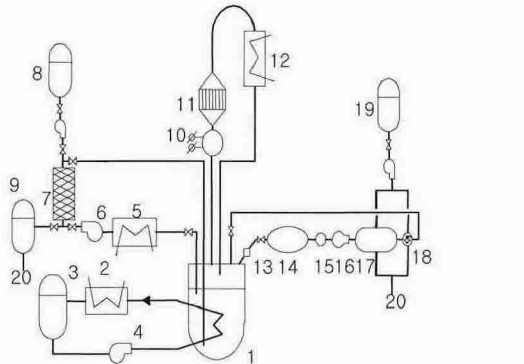
### 3. 수용액 핵연료 원자로를 이용한 공정(MIP)

MIP 는 두 기의 소형 원자로(50 kW)와 하나의 공용 동위원소 분리·정제 시설로 구성되며, Fig. 2 에 나타난 바와 같이 원자로, 원자로 냉각계통, 수소 재결합 계통, 동위원소 분리·정제 시설로 이루어져 있다.

원자로는 20% 이하의 저농축 황산우라늄 수용액 핵연료를 사용하는데, 이 수용액이 핵연료로 사용되는 동시에 핵분열 생성물로서 동위원소들이 생성되는 표적 역할도 수행한다. 수소 재결합 계통에서는 수용액 방사분해로 발생하는 산소

와 수소의 혼합 기체를 재결합시켜 응축된 물을 원자로 상부의 공간으로 되돌린다.

원자로에서 핵분열 생성물로서 생성된 Mo 은 수용액 핵연료를 Mo 흡착컬럼을 통하여 순환시키며 회수한다. 흡착된 Mo 은 NaOH 용액으로 용리하여 추출하고 정제하게 되는데, 흡착컬럼을 별도의 핫셀 시설에서 용리하거나 또는 그림 8, 9 번과 같이 원자로의 Mo 추출계통에서 용리한 후, 용리된 Mo 용액을 핫셀로 옮겨 후속 정제과정을 거쳐 Mo 을 얻게 된다.



- Reactor System
- on System
- 1: Reactor
- Catalytic Regenerator
- 10: Heater
- 11: C
- Mo-99 Extraction System
- 12: Heat Exchanger
- 2: Heat Exchanger
- 3: Coolant Reservoir
- 4: Pump
- Sr-89 Extraction System
- 13: Non-Gaseous FPs Trap
- 14: D
- Mo-99 Extraction System
- 15,18: Rb and Sr Filters
- 5: Heat Exchanger
- 6: Pump
- 7: Mo Adsorption Column
- 8: Eluting Solution Tank
- 9: Mo Receiving Tank
- 16: Gas Pump
- 17: Sr-89 Precipitation Device
- 19: Eluting Acid Tank
- 20: To subsequent radiochemical processing

Fig. 2. Schematic diagram of MIP process.

**4. Cintichem 공정과 MIP 공정의 비교**

Mo 의 생산에 있어서 MIP 는 우라늄 표적의 제작 및 수송, 그리고 표적의 용해공정이 필요치 않으므로 공정이 상대적으로 단순하며 그에 따라 폐기물의 발생량도 훨씬 적다. Table 1 에 각 공정에서 Mo-99 생산량 15,000 Ci/week 를 기준으로 1 년동안 발생하는 폐기물의 양을 비교해 놓았다.

또한 수용액 핵연료를 사용하는 원자로는 우라늄을 효율적으로 사용할 수 있으며, 액체의 사용으로 동위원소의 정제공정이 연속조업이 가능

하여 비용이 적게 드는 장점이 있다. 반면에 수용액핵연료로의 사용은 고체 황산우라늄이 침전될 염려가 있으며, 장치의 부식문제를 야기시키는 단점도 있다.

Table 1. Features of Cintichem and MIP.

	Cintichem	MIP
Target fabrication	1, 000	0
U <sup>235</sup> consumption (kg)	1.1	0.06
HLW disposal (kg)	90	0
LLW disposal (m <sup>3</sup> )		
Routine	25.5	25.5
Solidified	0.86	0.06
Resin	1.70	3.40
Target	0.60	0
Extraction column	0	8.00
Liquid waste disposal		
Routine (m <sup>3</sup> )	8.00	8.00
Target fabrication	500	0

**5. 결론**

의료용 동위원소 생산을 위한 새로운 개념으로 제시된 수용액 핵연료를 이용한 동위원소 생산로(MIP)는 기존의 Cintichem 공정과 비교하여 여러가지 장점을 가지고 있다. 그러나 Cintichem 공정이 기술성과 안전성이 입증된 반면에, MIP 는 여러 장점이 있음에도 불구하고 아직 그 실용성과 안전성이 입증되지 않은 공정이다. 따라서 MIP 를 이용한 의료용 동위원소 회수/정제 기술을 검증하고 개선할 필요가 있으며, 이를 통하여 의료용 동위원소를 경제적, 안정적으로 공급할 수 있도록 지속적인 연구가 요구된다.

**REFERENCES**

[1] Statistics on Radiation Practices in Korea, Annual reports for year 2000, 2001, and 2002, Ministry of Science and Technology and Korea Radioisotope Association, 2001, 2002, 2003.

[2] R.A.Savoie and B.P.Singh, Independent Assessment of the DOE Plan to Establish a United States Production Source for Molybdenum-99, Jupiter Corporation Washington,D.C., 1994.

[3] S.Y. Oh, Y.J. Shin, and K.B Park, A Medical Isotopes Producer: Technical Features, Proc. of 25-th KAIF-JAIF Seminar, Oct. 20-21, 2003, Seoul.