DAEHAN HWAHAK HWOEJEE
(*Journal of the Korean Chemical Society*)
Vol. 27, No. 5, 1983
Printed in the Republic of Korea

이온교환수지에 의한 모나자이트중 우라늄의 분리, 회수에 관한 연구

河 英 龜
서울대학교 자연과학대학 화학과
(1983. 5. 4 접수)

Separation and Recovery of Uranium from Korean Monazite Sand by Ion-Exchange resin

Young Gu Ha
Department of Chemistry, College of Natural Sciences, Seoul National University, Seoul 151, Korea
(Received May 4. 1983)

요 약. 이온 교환수지에 의한 국산모나자이트 중에 함유된 우라늄을 분리, 회수하기 위하여 강염기성 이온교환수지(Amberlite IRA-900)에 SO_4^{2-} 및 PO_4^{3-} 이온을 흡착시켜 황산우라닐착이온, 인산우라닐착이온 형태로 우라늄을 흡착시켜 적당한 용리액(HNO_3 : NH_4NO_3)으로 우라늄을 분리 회수하는 실험을 하였다. 표준우라늄을 사용하였을 때 황산형수지에서 99.3 %, 인산형수지에서 99.2 %까지 회수하였으며 모나자이트를 황산분해한 모나자이트 황산분해용액 중의 희토류원소들을 제거한 용액을 사용하였을 때는 약 92 %까지 회수하였다. 모나자이트 중에 함유된 인산이온의 방해가 없는 것으로 나타났다. 인산형수지에서 우라늄의 회수율이 51 % 정도인 것으로 보아 모나자이트를 황산으로 분해하였을 때는 대부분의 우라늄은 황산우라닐착이온으로 된다는 사실도 확인하였다.

ABSTRACT. The selective separation and the quantitative recovery of uranium from Korean monazite sand have been studied by anion-exchange chromatography. It has been shown that method of anion-exchange chromatography under controlled condititons of elution can be applied to the production of relatively high purity of Uranium Oxide from monazite sand. Under the optimun separation conditions, the recoveries from standard sample were up to 99.3 % as U_3O_8 on sulfate form anion resin bed and 99.2 % as $U_2O_3 \cdot P_2O_7$ on phosphate form anion resin bed. The possibility of recovering uranium from the monazite sulfate solution using a strong base anion exchange resin-Amberlite IRA-900. Uranium was successfully recovered about 92 percent. Phosphate ion did not seem to interfere with the process.

서 론

화성암, 인산암 등 각종 광물중에 미량으로 함유되어 있는 우라늄을 적당한 방법에 의하여 U_3O_8 또는 UO_3 등으로 분리 회수하고 농축시키면 매우 유용한 에너지원이 될 수 있음은 주지의 사실이다.

1982년 8월 우리나라에서도 천연우라늄을 원료로 사용할 수 있는 중수로형 원자력발전 제3호기의 가동이 시작됨으로써 핵연료의 자립화가 절실하게 되었지만 자원은 물론 핵 보유국들의 기술 개발 억제 정책으로 인한 기술부족으로 핵연료의 생산에 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다.

현재 국내에서 발견된 우라늄광층에서 전라북도 정읍산 모나자이트 중에는 비교적 경제성이 높은 약 0.34 % 정도의 우라늄이 함유되어 있다는 것이 알려짐으로써[1] 이를 정량적으로 분리, 회수할 수 있는 방법의 확립을 위한 기초 연구가 절실히 요구되고 있다.

지금까지 보고된 광석중의 우라늄을 분리, 회수하는 방법으로는 용매추출법, 침전법, 관크로마토그래프법 및 이온 교환크로마토그래프법 등이 있는데[2~4] 이온 크로마토그래프법을 제외한 나머지 방법들은 간단하고 신속하며, 대규모의 생산이 가능한 장점을 가지고 있으나 방법에 따라 회수된 우라늄의 순도가 낮거나, 사용하는 용매 및 시약 등의 손실이 비교적 큰 단점을 지니고 있다[5~11].

이온크로마토그래프법은 우라늄을 적당한 산에 녹여 형성된 $UO_2(SO_4)_3^{4-}$, $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ 등의 음이온성 착이온을 음이온 교환수지에 흡착시켜, 공존하는 금속이온들과 분리한 다음 이것을 질산암모늄, 염화나트륨 등의 용리액으로 용출시켜 우라늄을 분리하는데 그 원리를 두고 있다[12~17]. 이 방법은 다른 방법에 비하여 비교적 시간을 많이 요하는 단점이 있지만 선택성이 있으며 용액뿐만 아니라 slurry 상태의 시료도 정량적인 분리가 가능하다. 또한 화학약품의 소비가 비교적 적고, 수지를 계속 재생하여 쓸 수 있기 때문에 경제성이 있는 유용한 방법으로 알려져 있다.

본 연구는 음이온 교환 크로마토그래프법으로 정읍산 모나자이트 중의 우라늄을 정량적이며, 선택적으로 분리, 회수하는 방법을 확립하기 위하여 우라늄 표준시료로 이에 관한 실험조건 및 분리상태를 조사 검토하고 아울러 시료의 분리 및 회수를 시도하였다.

실 험

1. 시약 및 기기

우라늄표준시료로 사용한 $UO_2(NO_3)_26H_2O$는 영국 BDH 사제 특급시약이며, 양이온 제거용 킬레이트제인 N-(2 hydroxy ethyl) ethylene diamine triacetic acid (HEDTA) 및 NH_4NO_3 등 그 밖의 시약은 특급 내지 일급시약으로 정제하지 않고 그대로 사용하였다. 양이온 및 음이온 교환수지는 Rohm & Haas 사제 Amberlite IR-120 및 Amberlite IRA-900이다.

우라늄 표준용액은 $UO_2(NO_3)_26H_2O$를 약 5.5 g 정확히 취한 후 음이온 교환수지관에 따라 진한 황산 또는 진한 인산 200 m*l*를 가하고 가열하여 녹인 다음 증류수로 1 *l* 되게 묽혀 만들었다.

또한 양이온 교환수지관의 용리액은 HEDTA 약 50 g을 취한 다음 하 등이[16] 보고한 방법대로 조제하였고, 음이온 교환수지관의 용리액은 0.7 *M* HNO_3+0.5*M* NH_4NO_3 혼합용액을 만들어 사용하였다.

기기는 일본 RIGAKU 사제 Geigerflex III A X-ray diffractometer, Jarrel-Ash grating emission spectrograph(1.5m), Fisher model 525 digital PH-ion meter, Franz L-I isodynamic magnetic separator 및 Haskins FD 104 electric furnace를 각각 사용하였다.

2. 시료의 처리

정읍산 모나자이트 시료를 −50+100 메쉬 체로 치고 magnetic separator로 분리한 다음, 약 50 g을 정확히 달아 증발접시에 옮기고 진한 황산 200 m*l*를 가한 후 약 2시간 동안 150~250 °C로 가열하여 녹였다[20]. 용액을 증류수로 침출하고 거름종이(5종 c)로 SiO_2를 거른 다음 증류수로 3배 정도 되게 묽혀 시료용액으로 사용하였다.

3. 양이온 및 음이온 수지관

양이온수지관은 내경 2.6 cm, 길이 123 cm의 파이렉스관에 증류수로 약 24시간 정도 충분히 불린 양이온 교환수지를 부피가 530 cm^3이 되도록 채우고 20 % H_2SO_4 용액으로 수지를 활성화시켰다.

음이온 수지관은 내경 1.2 cm, 길이 20 cm의 파이렉스관에 증류수로 약 24시간 정도 충분히 불린 음이온 교환수지를 부피가 13 cm^3 되도록 채우고 1.5 *N* NaOH로 활성화시켰다. 황산형 수지관은 0.1 *N* H_2SO_4로, 인산형수지관은 0.1 *N* H_3PO_4 용액으로 각각 반복하면서 용리시켜

수지의 형을 바꾸었다.

4. 우라늄 표준 시료의 분리 및 회수

황산형 음이온 교환수지관. 황산으로 처리한 우라늄 표준 용액 150 m*l*를 취하여 NaOH 용액(40 %)으로 pH 1.5 되게 맞춘 다음 황산형 수지관에 1.25 m*l*/min의 유속으로 용리시켜 우라늄을 흡착시켰다. 이 때 우라늄의 흡착상태는 용출액을 100~200 m*l* 정도 농축시키고 $K_4Fe(CN)_6$로 점적 시험하여 확인하였다[19]. 흡착된 우라늄을 음이온 교환수지관용 용리액 200 m*l*를 사용하여 용출시키고 용출액에 NH_4OH 용액(1 : 1)을 가하여 $(NH_4)_2U_2O_7$의 침전을 완결시키고 거름종이(5종 c)로 걸렀다. 침전물을 건조시켜 사기도자기에 넣고 로에서 약 900°C로 1시간 정도 회화시킨 뒤 회화된 생성물을 데시케이타에서 실온으로 식히고 무게를 단 다음 U_3O_8으로 환산하여 우라늄의 회수율을 구하였다.

인산형 음이온 교환수지관. 인산으로 처리한 우라늄 표준용액 150 m*l*을 취한 다음 황산형 음이온 교환수지관의 분리방법과 같이 처리하여 얻은 회화생성물의 무게를 달고 $U_2O_3P_2O_7$으로 환산하여 우라늄의 회수율을 구하였다.

5. 황산형 음이온 수지관에서 모나자이트 시료의 분리 및 회수

시료용액을 먼저 하가 보고한 방법[18]에 따라 양이온 교환수지관에 용리시켜 희토류 금속 및 토륨 등 양이온을 흡착시켜 제거하였다. 이 때 양이온의 제거상태는 소량의 용출액에 옥살산 용액을 가하여 확인하였다.

양이온 수지관의 용출액을 우라늄 표준용액의 경우와 같은 방법으로 황산형 수지관 또는 인산형 수지관을 각각 통과시켜 우라늄을 분리 회수한 다음 그 무게를 달고 U_3O_8으로 회수율을 구하였다. 시료의 분리는 황산형 음이온 교환수지관의 경우 2회, 인산형수지관의 경우는 1회 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 표준 우라늄 시료중에서 우라늄의 분리 및 회수

본 연구에서 시도한 음이온 교환수지법에 의한 우라늄의 분리 및 회수메카니즘은 먼저 우라늄을 안정성이 높고 수지에 대한 친화성이 큰 $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$ 등과 같은 음이온성 우라늄 착이온으로 만들어[21] 음이온 교환수지층에 흡착시킨 다음 흡착된 우라늄을 질산 등 적당한 용리액으로 용리시켜 수지층으로부터 분리하여 회수하는 것이다[17].

$$UO_2^{2+} + 2\,SO_4^{2-} \longrightarrow [UO_2(SO_4)_2]^{2-}$$

$$[UO_2(SO_4)_2]^{2-} + SO_4^{2-} \longrightarrow [UO_2(SO_4)_3]^{4-}$$

$$4(R_4N)^+HSO_4^- + [UO_2(SO_4)_3]^{4-} \longrightarrow (R_4N)_4^+[UO_2(SO_4)_3]^{4-} + 4HSO_4^-$$

$$(R_4N)_4^+[UO_2(SO_4)_3]^{4-} + 4NO_3^- \longrightarrow 4R_4N^+NO_3^- + [UO_2(SO_4)_3]^{4-}$$

이와 같은 원리를 이용하여 시료로 부터 우라늄의 선택적인 분리 및 회수가 가능한가를 검토하기 위하여 먼저 표준우라늄 시료를 사용하여 우라늄의 분리 및 회수 실험을 하였다. 이때 사용한 수지는 황산형 및 인산형 음이온 교환수지인데 특히 인산형을 사용한 것은 모나자이트 시료 중에는 상당량의 인이 희토류 금속의 인산염(RPO_4)으로 존재하고 있으므로 시료를 분해시킬 때 우라늄이 황산 착이온을 형성할 뿐 아니라 그 일부는 공존하고 있는 PO_4^{3-}와 음이온성 인산우라늄 착이온인 $UO_2(PO_4)_2^{4-}$ 또는 $UO_2(PO_4)^-$ 등을 형성할 가능성이 있기 때문에[22] 이들의 정량적인 회수를 확인하기 위해서였다.

우라늄 표준용액의 액성은 모나자이트 시료 중에 공존하며 우라늄과 같이 황산 용액에서 음이온성 황산 착이온을 형성하는 Fe, Th 등으로부터 우라늄의 음이온성 착이온만을 선택적으로 수지에 흡착시키기 위하여 수지에 대한 우라늄 분포 계수가 비교적 큰 조건인 pH 1.5가 되도록 조절하여 수지층에 흡착시켰다[23,24]. 흡착된 우라늄을 0.7*M* HNO_3+0.5*M* NH_4NO_3 혼합용액으로 용리시켜[25,26] 수지층으로 부터 분리시키고 용출액에 NH_4OH를 가하여 황산형 수지관에서는 $(NH_4)_2U_2O_7$로, 인산형수지관의 경우는 $UO_2NH_4PO_4xH_2O$로 각각 회수하고 약 900°C에서 회화시켰다[27]. 회화시켜 얻은 우라늄화합물의 구조를 X선 회절법으로 확인하여 본 결과

Table 1. Characteristic X-ray diffraction patterns of standard U_3O_8, $U_2O_3P_2O_7$ and uranium products from uranium standard samples.

No.	D-Value(Å)			
	Std. U_3O_8[a]	Std. $U_2O_3P_2O_7$[b]	Uranium product from Sulfate-bed	Uranium product from phosphate-bed
1	—	5.42	—	5.365
2	—	4.42	—	4.411
3	4.147	—	4.138	—
4	—	3.49	—	3.483
5	3.41 x	—	3.414	—
6	—	3.00	—	2.984
7	2.637	—	2.634	—

[a] ASTM card 31-1425. [b] ASTM card 13-64

Table 2. Percentage recovery of U_3O_8 obtained from uranium standard samples on sulfate-bed column. pH=1.5, Flow rate=1.25±0.05 ml/min., Resin=Amberlite IRA-900.

No.	Amount of taken uranium (g)	Amount calculated as U_3O_8(g)	Amount of obtained U_3O_8(g)	Recovery (%)
1	0.3829	0.4515	0.4516	100.0
2	0.3829	0.4515	0.4428	98.0
3	0.3829	0.4515	0.4455	98.7
4	0.3829	0.4515	0.4652	103.0
5	0.3829	0.4515	0.4369	96.8
				Av=99.3

Table 3. Percentage recovery of $U_2O_3P_2O_7$ obtained from uranium standard samples on phosphate-bed column. pH=1.5, Flow rate=1.25±0.05 ml/min., Amberlite IRA-900.

No.	Amount of taken uranium (g)	Amount of obtained $U_2O_3P_2O_7$ (g)	Amount calculated as $U_2O_3P_2O_7$ (g)	Recovery (%)
1	0.3828	0.5586	0.5613	99.5
2	0.3828	0.5684	0.5613	101.3
3	0.3829	0.5479	0.5615	97.6
4	0.3829	0.5701	0.5615	102.4
5	0.3829	0.5341	0.5615	95.1
				Av=99.2

Table 1과 같이 황산형 수지관의 경우는 U_3O_8이었고, 인산형수지관의 경우는 $U_2O_3P_2O_7$임을 확인하였다.

이와 같은 방법으로 두 수지관에서 각각 5회씩 반복 실험하여 우라늄을 회수한 결과를 *Table* 2 및 3에 수록하였다. 결과에서 보는 바와 같이 우라늄의 회수 수율은 황산형 및 인산형 수지관에서 각각 99.3% 및 99.2%이었다. 이와 같은 높은 회수율을 나타내는 것은 우라늄 용액을 황산 또는 인산으로 pH 1.5 정도 되게 조절하면 우라늄은 안정성 및 수지에 대한 친화성이 큰 우라늄 황산 착이온 및 우라늄인산 착이온을 형성하며, 본 연구의 흡착 및 용리조건이 우라늄 착이온의 분리 및 회수에 대한 최적 조건이

기 때문이라고 생각된다[22,24]. 따라서 시료중에 있는 여러가지 방해 이온을 적당한 방법으로 제거한 시료용액을 표준 우라늄 흡착 및 회수조건과 같도록 조절한 다음 황산형 및 인산형 음이온 교환시켜 분리하면 정량적인 우라늄의 회수가 가능함을 확인할 수 있었다.

2. 모나자이트 시료 중 우라늄의 분리 및 회수

정읍산 모나자이트의 화학적인 조성은 *Table* 4와 같이 R_2O_3가 주성분으로 함유되어 있으며 Ce_2O_3, P_2O_5, ThO_2 및 SiO_2 등이 4~25 % 정도, 그리고 약 0.34 %의 U_3O_8이 함유되어 있다.

시료를 하가[20] 보고한 방법에 따라 95 % 황산으로 150~250°C에서 약 2시간 정도 분해시키면 SiO_2를 제외한 성분들은 거의 완전히 용해된다. 용액을 증류수로 침출하고 거르면 SiO_2는 제거되고 침출액중에는 희토류 금속 및 Th 등이 양이온으로, 우라늄, 철 및 소량의 Th 등은 황산 또는 인산의 음이온성 착이온으로 각각 존재하게 된다. 희토류 금속과 Th 이온은 음이온 교환수지법으로 우라늄을 분리하는데 있어서 여러가지 방해작용을 할 뿐만 아니라 특히 이들 원소들은 실용적 가치가 매우 높기 때문에 우라늄을 분리하기 앞서 이들을 양이온 교환수지에 흡착시켜 회수하였다[18]. 이때 이들 이온의 흡착상태는 용리하는 동안 용출액을 50 *ml* 씩 분획별로 취하고 옥살산 용액을 가하여 조사하였는데 $Th(C_2O_4)_2$ 및 $R_2(C_2O_4)_3$의 흰색침전이 육안으로 관찰되지 않는 것으로 보아 거의 정량적으로 흡착된다는 사실을 확인할 수 있었다.

양이온 교환수지를 통한 용출액을 표준 우라늄시료의 용리 조건에 맞도록 액성을 조절하고 황산형 및 인산형 음이온교환 수지에 각각 흡착시킨 다음 회수하였다. 회수된 물질은 방출분광법 및 X-선 회절 분석법으로 각각 분석하였는데 *Table* 5와 같이 황산형 및 인산형 수지관으로 부터 얻어진 물질의 조성은 수지의 형에 무관하게 주성분인 우라늄과 약 0.1~1 % 정도의 P 및 흔적양 정도의 Fe, Ca, Si, Al, Mg 등이 함유되어 있음을 알 수 있다.

또한 *Table* 6의 X-선 회절 무늬를 보면 대부분의 우라늄은 U_3O_8으로 존재하며 소량의 $U_2O_3P_2O_7$이 함유되어 있음이 확인되므로 두 가지 분석결과가 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그러나 황산형의 수지관에서 얻어진 회수물에 소량의 $U_2O_3P_2O_7$이 함유되어 있을 뿐만 아니라 특히 인산형 수지관의 경우 회수물의 주성분이 $U_2O_3P_2O_7$ 아니고 U_3O_8인 것은 시료를 진한 황산으로 처리하면 대부분의 우라늄은 황산우라늄 착이온을 형성하고 그 일부만이 공존하고 있는 PO_4^{3-}와 인산우라늄 착이온을 형성하기 때문이라고 생각된다. 따라서 회수물에 소량의 $U_2O_3P_2O_7$이 함유되었지만 회수물의 조성을 U_3O_8으로 하여 얻은 회수 결과는 *Table* 7에 수록하였다. *Table* 7의 결과와 같이 황산형 수지관에서는 91.0 %의 비교적 높은 회수율을 보여주고 있으나 인산형수지관의 경우는 51.8% 정도의 낮은 값을 얻었다. 이것은 시료용액에 존재하는 우라늄의 화학종이 주로 황산우라늄 음이온인 관계로 인산형 수지에 대한 친화도 차이에 기인한 흡착능이 황산형수지의 경우보다 낮기 때문이라고 생각된다. 따라서 표준시료의 경우와는 달리 모나자이트 중에서 우라늄의 분리는 인산형보다는 황산형수지가 적당함을 확인할 수 있었다. 이상의 결과와 같이 음이온 교환수지에 의한 모나자이트 시료 중 우라늄의 분리는 먼저 시료를 진한 황산으로 분해시킨 다음 양이온 교환수지를 통과시켜 희토류 금속 및 Th 등을 분리 회수하고 적당한 용리 및 회수조건에 맞도록 다시 황산형음이온 교환수지를 통과시켜

Table 4. Composition of monazite sand.

Constituent	Braxilian (%)	Indian (%)	S. African (%)	Jung-up (%)
ThO_2	6.5	9.8	5.9	5.47
U_3O_8	0.17	0.29	0.12	0.34
R_2O_3	59.2	58.6	45.2	65.0
Ce_2O_3	26.8	27.2	23.7	24.7
P_2O_5	26.0	30.1	27.0	20.68[a]
Fe_2O_3	0.51	0.80	4.5	0.35
TiO_2	1.75	0.40	0.45	0.19
SiO_2	2.2	1.7	3.3	4.08

(a) : HAN SUK, Choi, The reports of national central research laboratory, Vol 6, 14 (1955).

Table 5. Analytical results of uranium in monazite sand by emission spectrography.

Resin-bed	Wt. % Order						
	U	P	Fe	Si	Al	Ca	Mg
On Sulfate-bed	Maj.	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}
On Phosphate-bed	Maj.	10^{-2}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}

Table 6. Characteristic X-ray diffraction patterns of U_3O_8, $U_2O_3P_2O_7$, and uranium products from monazite sand by phosphate-bed column.

No.	D-Value (Å)			
	U_3O_8[a]	$U_2O_3P_2O_7$[b]	Uranium Product on Sulfate-bed	Uranium Product on Phosphate-bed
1	—	5.42	5.510	5.444
2	—	4.42	4.485	4.468
3	4.147	—	4.185	4.154
4	3.41	3.49	3.446	3.423
5	—	3.00	3.018	3.031
6	2.637	—	2.651	2.639

a. U_3O_8(ASTM card 31-1425), *b.* $U_2O_3P_2O_7$(ASTM card 13-64)

Table 7. Percentage Recovery of U_3O_8 Obtained from Monazite Sand Samples. pH=1.5. Flow rate=1.25 ±0.05 ml/min., Resin=Amberlite IRA-900

Resin-bed	Amount of taken U_3O_8 (g)	Amount of obtained U_3O_8 (g)	Recovery (%)
Sulfate	0.1699	0.1579	92.9
	0.1699	0.1515	89.1
			(Av=91.0)
Phosphate	0.1698	0.0879	51.8

흡착 회수하면 약 91 % 이상 우라늄을 선택적으로 얻어낼 수 있으며 회수율에 따라 다시 인산형 수지관을 통과시키면 거의 완전한 회수가 가능함을 알 수 있었다.

본 연구는 1982년도 문교부 기초과학 연구조성비의 도움으로 이루어졌는 바 문교부당국과 서울대학교 자연과학종합연구소에 감사드린다. 또한 본 실험에 처음부터 끝까지 협조하여 주신 경희대학교 문리과대학 이 원교수와 강찬희군에게 깊은 사의를 표한다.

인 용 문 헌

1. B. C. park and J. K, Lee, "Monazite Placer of Republic of Korea."
2. M. Haissinsky, "Nuclear Chemistry and Its Applications." P. 14, Translated by D. G. Tuck, Addison-Weslery Publishing Co., U. S. A., 1964.
3. N. P. Galkin and B. N. Sudarikov, "Technology of Uranium," Israel program for Scientific Translation, Jerusalem, 1966.
4. C. J. Rodden, "Analysis of Essential Nuclear Reactor Materials," P. 1~157, U. S. Atomic Energy Commission, McGrow-Hill Publishing Co., U. S. A., 1963.
5. National Chemical Laboratory, DSIR, "The Determination of Uranium and Thorium," P. 1~25, JM Stationery office, London, 1963.
6. G. H. Morrison and H. Freiser, "Solvent Extraction on Analytical Chemistry," John Wiley & Sons, Inc., New York, U. S. A., 1957.
7. G. J. Boman and J. E. Rein, "Uranium," I. M. Kolthoff and P. J. Elving, Eds., Treatise on Analytical Chemistry, Part II, Vol. 9, P. 1~188, Interscience Publishers, a division of John Wiley

& Sons, Inc., New York, U.S.A., 1962.
8. F. H. Burstall and R. A. Wells, *Analyst*, **76**, 396(1951).
9. N. F. Kember, *Analyst*, **77**, 78 (1952).
10. W. Ryan and A. F. Williams, *Analyst*, **77**, 293 (1952).
11. A. F. Williams. *Analyst*, **77**, 297 (1952).
12. J. Korkisch, "Modern Methods for the Separation of Rare Metal Ions," P. 28~196, Pergamon Press, New York, U.S.A., 1969.
13. M. M. Khater and J. Korkisch, *Talanta*, **18**, 1001 (1971).
14. O. Samuelson, "Ion Exchangers in Analytical Chemistry," John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A., 1953.
15. C. F. Trivisonno, "USAEC Report GAU-L-421", Goodyear Atomic Corporation, November 1957.
16. C. J. Rodden, "Analysis of Essential Nuclear Reactor Materials," P. 30, U. S. Atomic Energy Commission, McGrow-Hill Publishing Co., New York, U.S.A., 1962.
17. R. Kunin, R. L, Gustafson, E. G. Isacoff and H. F. Filling E/MJ, P. 73~79, July 1969.
18. Y. G. Ha, Proc. Coll, *Nature*. SNU, **6**(1), 89 (1981).
19. F. D. Snell and S. Ettre, "Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis," Vol. 19, P. 242, Interscience Publishers, New York, U.S.A., 1979.
20. Y. G. Ha, *J. Korean. Chem. Soc.* **23**, 136 (1979).
21. N. P. Galkin and B. N. Sudarikov, "Technology of Uranium", P. 147-149, Israel program for Scientific Translation, Jerusalem, 1966.
22. J. M. Schaekers, *Anal, Chem.*, **44**, 1873 (1972).
23. F. W. E. Strelow and C. J. C. Bothma, *Anal. Chem.*, **39**, 595 May (1967).
24. D. Kaufman and G. W. Lower, "WSAEC Report ACCo-68," American Cyanamid Company, 1954.
25. D. J. Carswell, *J. Inorg. & Nuclear Chem.*, 3, 384(1957).
26. M. V. Susic, *Bull. Inst. Nuclear Sci., Boris Kidrich* (Belgrade), **7**, 35 (1957).
27. C. J. Rodden, "Analysis of Essential Nuclear Reactor Materials," P. 73, U. S. Atomic Energy Commission, McGrow-Hill Publishing Co., New York, U.S.A., 1962.