'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

α-Benzoinoxime에 의해 생성된 Mo 침전물의 특성 및 선택적 용해

Selective Dissolution and Property of Molybdenum Precipitate Formed by α-Benzoinoxime

황두성, 정원명, 김연구, 이규일, 박진호, 박경배, 박소진*

한국원자력연구소, *충남대학교
대전시 유성구 덕진동 150, *대전시 유성구 궁동 220

요 약

본 연구에서는 α-benzoinoxime을 사용하여 Mo을 침전반응 시킬 때 생성되는 침전물의 특성을 조사하였고, 후속 정제공정에 방해작용을 일으키는 화합물인 과산화수소를 사용하지 않고 생성된 Mo 침전물을 선택적으로 용해하는 실험을 수행하였다. 생성된 침전물은 α-benzoinoxime-Mo 침전과 Mo의 침전율을 높여주기 위하여 과잉으로 첨가된 α-benzoinoxime의 재침전물로 구성되어 있었다. Mo과 α-benzoinoxime은 두 분자의 α-benzoinoxime과 한 분자의 MoO_2^{+2} 이온이 반응하여 α-benzoinoxime-Mo 침전물을 생성하였음을 확인할 수 있었으며, α-benzoinoxime-Mo 침전물은 무정형으로 나타났다. 0.4 N NaOH로 5분간 침전물을 용해한 결과 Mo은 97.5 % 용해되어 과산화수소를 첨가한 경우와 거의 비슷하였으며, 첨가된 과산화수소는 α-benzoinoxime 재침전물의 용해속도를 가속시키는 역할만 하는 것으로 나타났다. 또한 모의용액 내 함유된 기타 원소들 중 Zr과 Ru 만이 각각 1.3, 7.7% 함유되어 Mo의 정제율 측면에서도 유리하였다. 용해공정에서 선택적으로 α-benzoinoxime-Mo 침전물만 용해한 결과 기존 방법보다 후속 은함침 활성탄 흡착공정에 들어가는 용해액 내 유기물의 양을 50% 이상 줄일 수 있었다.

Abstract

This study investigated the property of molybdenum precipitate formed with α-benzoinoxime and performed experiments to dissolve selectively precipitate without hydrogen peroxide, which is compound to affect interference in a following purification process. The precipitate was composed of α-benzoinoxime-Mo precipitate and re-precipitate of α-benzoinoxime added excessively for increasing precipitation efficiency of molybdenum. It was confirmed that α-benzoinoxime-Mo precipitate was formed by reaction two α-benzoinoxime molecules and one MoO_2^{+2}. The form of α-benzoinoxime-Mo precipitate was amorphous. Dissolving in 0.4 N NaOH solution without hydrogen peroxide dissolved molybdenum to 97.5 % from precipitate within 5 minutes. This result was similar to the case adding hydrogen peroxide. Hydrogen peroxide serve only as dissolving rapidly re-precipitate of α-benzoinoxime. And also, this dissolution method was favorable in the purification aspect as zirconium and ruthenium were contained to 1.3 and 7.7 % respectively in dissolving solution. Organic quantity of the dissolving solution to be fed in a following silver coated activated carbon adsorption process could be decreased to 50 % more or as dissolving only α-benzoinoxime-Mo precipitate without dissolving a part of precipitate, re-precipitate of α-benzoinoxime.

1. 서 론

방사성동위원소는 세계 각국의 의료산업에서 중요한 역할을 차지하고 있다. ^{99m}Tc, ^{201}Tl, ^{111}In, ^{123}I와 같은 동위원소는 진단용으로, ^{131}I와 ^{89}Sr는 치료용 방사성 동위원소로 이용되고 있다[1]. 이들 중 ^{99m}Tc는 짧은 반감기(6 hour)와 낮은gamma energy (140 KeV)를 갖는 핵적 특성으로 인해 아주 유용한 진단제로 알려져 있으며, 전 세계 방사성 의료약품 생산량의 80%이상을 차지하고 있다. ^{99m}Tc은 66시간의 반감기를 갖고 있는 ^{99}Mo가 β decay 하여 생성되는 핵종으로서 핵이성체 전이를 하여 ^{99}Tc로 되고 최종적으로 안정한 Ru으로 변한다. ^{99}Mo는 ^{98}Mo로부터 생성되는 중성자 포획(neutron capture)이나 ^{235}U의 핵분열(fission)에 의해 생성된다. 중성자포획에 의한 제조는 낮은 비방사능(specific activity)으로 인한 generator 제조가 어려워 그 이용이 활발하지 않으며, ^{235}U의 핵분열에 의한 제조는 방사성폐기물 및 핵분열물질의 취급에 따른 일부 문제점을 가지고 있으나 대량생산이 가능하고 비방사능이 높아 generator 형태로 공급이 가능해서 세계적으로 상업생산에 이용되고 있다[2, 3]. ^{235}U의 핵분열 방법에 의한 ^{99}Mo 제조공정은 일반적으로 우라늄 표적제조, 원자로 조사, 표적 용해, ^{99}Mo 분리/정제, 폐가스 및 폐액 처리공정 등으로 구성되며, 이 중 ^{99}Mo의 분리/정제공정은 원자로에서 생성된 ^{99}Mo을 분리하여 의약품으로서의 규격 순도에 맞도록 정제하는 과정으로 매우 중요한 공정이다. 지금까지 보고된 Mo의 분리/정제공정은 알루미나 등 무기흡착제를 이용한 흡착공정[4, 5], Chelex-100 등 음이온 교환수지를 이용한 이온교환공정[6, 7], DEPHA 등에 의한 용매추출공정[2, 4, 8, 9], α-benzoinoxime에 의한 침전공정[2, 10, 11, 12], 고온 승화(thermal sublimation)공정[7] 등이 활용되고 있으나 단일공정으로는 제품에 요구되는 규격 순도를 만족시키는 것이 어렵기 때문에 2가지 이상의 공정을 조합하여 구성하는 것이 바람직하다. 이들 공정 중 α-benzoinoxime에 의한 Mo의 침전공정은 U 표적을 용해한 후 1차적으로 Mo을 선택적으로 침전/분리하는 공정이다. α-benzoinoxime에 의한 침전법은 Mo을 함유하는 금속 합금에서 Mo을 분석하기 위한 방법으로 처음 제시되어 강철(steel)과 선철(pig iron)에 함유된 Mo양을 결정하는데 주로 사용되고 있다[13]. 후속 공정에서 α-benzoinoxime 침전법에 의해 분리된 Mo 침전물을 알칼리 분위기에서 재용해 한 후, 은이 함침된 활성탄을 사용하여 용액 내에 잔류하고 있는 유기물을 제거하고 알루미나를 사용하여 분리된 Mo을 정제한다. 지금까지 발표된 α-benzoinoxime 에 의한 Mo의 침전/분리는 Mo의 회수율 측면에서 보고되었으나 본 연구에서는 SEM, FTIR, TG/DTA와 XRD를 사용하여 질산 용액에 용해되어있는 Mo을 α-benzoinoxime을 침전반응 시킬 때 생성되는 α-benzoinoxime-Mo 침전물의 특성을 조사하였다. 또한 기존의 Mo 회수를 위한 침전물의 용해공정에서 용해속도를 높이기 위한 방법으로 NaOH용액에 일정량의 과산화수소를 첨가하여 용해하였다. 그러나 과산화수소는 후속 알루미나 흡착공정에서 Mo의 분리율을 떨어뜨리는 인자로 작용하여 백금족 원소 등으로 이를 분해하는 공정이 첨가되어야 하는 단점을 가지고 있다[12]. 생성된 침전물의 특성 결과를 바탕으로 후속 정제공정에 방해작용을 일으키는 화합물인 과산화수소를 사용하지 않고 생성된 침전물을 용해하는 실험을 수행하였다

2. 실험

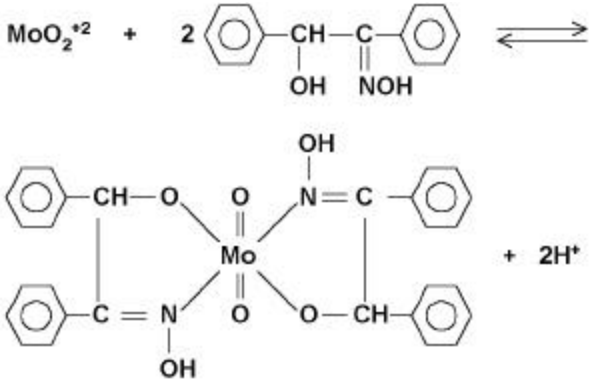
모의용액은 13 성분계(Rb, Cs, Sr, Ba, Mo, Zr, Te, Ru, Y, Ce, Pr, Nd, Sm)로 구성하였으며, 그 조성을 Table 1에 나타내었다. 이는 ^{99}Mo 생산 시 1 batch당 93%의 농축 U 4.39g을 5일간 조사한 후 1일간 냉각한 표적을 300ml의 질산용액에 용해 시켰을 때를 가정하여 ORIGEN 2 code를 사용하여 추정한 값이다. 실제 농축 U을 5일간 조사한 후의 표적에는 약 30여가지 이상의 원소가 함유된 것으로 추정되나 선정된 원소 이외의 성분들은 그 함유량이 미량이고 이들이 Mo의 침전 거동에 영향을 미치지 못할 것으로 추정되어 모의용액에서 제외하였다. 모의용액에 사용된 시약은 $Na_2MoO_4.2H_2O$와 $Te(OH)_6$를 제외하고는 질산염 형태($RbNO_3$, $CsNO_3$, $Sr(NO_3)_2$,

$Ba(NO_3)_2$, $ZrO(NO_3)_2.H_2O$, $Ru(NO)(NO_3)_3$, $Y(NO_3)_3.4H_2O$, $Ce(NO_3)_3.6H_2O$, $Pr(NO_3)_3.6H_2O$, $Nd(NO_3)_3.6H_2O$, $Sm(NO_3)_3.6H_2O$)를, 이중 Ru은 액체 상태로 시판되는 시약을 사용하였으며, 침전제인 α-benzoinoxime은 0.4 N NaOH 용액에 2 wt%의 농도로 제조하여 사용하였다. 침전/분리된 α-benzoinoxime-Mo 침전물의 특성 조사를 위한 실험에서는 Mo 단독으로 존재하는 1성분계로 구성하였으며 α-benzoinoxime-Mo 침전물 생성을 위해 모의용액 50 ml에 α-benzoinoxime 용액을 한번에 필요한 양 모두를 공급해주는 회분식(batch) 방법으로 첨가하였다. 침전물의 특성을 조사하기 위하여 생성된 침전물은 0.45 μm의 cellulose nitrate membrane filter(Whatman)를 사용하여 여과 분리하였으며, 분리된 침전물은 건조기(desiccator)에서 1일간 건조 후 분석 시료로 사용하였다. 침전물 용해 실험은 기존의 ^{99}Mo 제조공정에서 사용되고있는 NaOH용액에 1 wt%의 과산화수소수를 첨가하는 방법 외에 증류수, 0.1 N, 0.4 N NaOH 용액 각각을 사용한 경우로 분류하여 조사하였다. α-benzoinoxime-Mo침전물의 특성은 SEM (scanning electron microscope, Model Akashi DS130S), FTIR (fourier transform infrared spectrometer, Model Nicolet 800), TG/DTA (thermogravimetry-differential thermal analysis, Model Setaram TG-DTA 92), XRD (X-ray diffractor, Model Siemens D5000)을 이용하여 분석하였다. 용액 중의 Sr, Ba, Mo, Zr, Te, Y, Ce, Pr, Nd, Sm Mo 및 기타 원소들의 농도는 ICP (inductively coupled plasma spectrometer, model ISA Jobin-Yvon JY 50P)를 사용하여, Ru은 monochromator형의 ICP (inductively coupled plasma spectrometer, model ISA Jobin-Yvon JY 38 plus)를 사용하여 분석하였고, Rb과 Cs은 AA (atomic absorption spectrophotometer, model GBC 906A)를 사용하여 분석하였다. 용액 내 유기물의 양은 TOC (total organic carbon analyzer, model Shimadzu TOC 5000A)로 분석하였으며 각 침전 조건에 따른 α-benzoinoxime-Mo침전물의 형상은 SEM (scanning electron microscope, Model Akashi DS130S)을 이용하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

가. α-benzoinoxime에 의한 Mo 침전 특성

α-benzoinoxime에 의한 Mo의 침전 반응은 산 분위기에서 다음과 같이 반응하는 것으로 추정하고 있으나[14, 15], 침전물의 특성에 대해서는 보고된 바가 없는 상태이다. Fig.1은 Mo에 대한



α-benzoinoxime의 첨가무게비 (BzO/Mo)를 20배로 한 경우와 위에서 언급한 바와 같이 stoichiometry (BzO/Mo = 4.7)로 첨가했을 때 생성된 α-benzoinoxime-Mo침전물의 SEM 사진이다. α-benzoinoxime을 사용하여 Mo을 침전 분리할 경우 침전율은 용액 내 함유된 Mo의 농도 및 산 농도와 Mo에 대한 α-benzoinoxime의 첨가 비에 따라 변하며 0.5 - 4.0 N의 질산농도,

Mo의 농도가 10ppm이상, Mo에 대한 α-benzoinoxime의 첨가비가 20배 이상인 조건에서는 97% 이상의 Mo가 침전되는 것으로 보고되고 있다[15]. 따라서 Mo의 분리 효율을 높이기 위해서는 과량의 α-benzoinoxime을 첨가해주어야 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 BzO/Mo가 20인 조건에서는 1 μm 이하의 입자들이 aggregation된 형상 외에 길이가 50 μm이상 되는 침상형의 결정들이 함께 존재하고, BzO/Mo가 4.7인 곳에서는 침상형의 입자는 나타나지 않고 좀더 거친 1 μm 이하의 입자들이 엉겨있음을 보여주고 있다. 첨가비가 20인 조건에서 생성된 침상형 결정은 과잉의 α-benzoinoxime이 첨가되어 나타난 것으로 추정되며, 이는 Fig.2에 나타낸 바와 같이 순수한 시약인 α-benzoinoxime을 0.4 N NaOH 용액에 2 wt%로 제조된 용액을 1 N 질산용액에 첨가하여 제조된 침전물의 형상으로도 확인할 수 있다. 따라서 α-benzoinoxime-Mo 침전물은 1 μm 이하의 입자들로 판단되어 이 후의 특성 조사를 위한 시료는 첨가비가 4.7인 조건에서 제조되었다. Fig.3은 α-benzoinoxime (시약)과 α-benzoinoxime-Mo 침전물의 FTIR 스펙트럼이다. 일반적으로 benzene 고리의 C-H 결합은 3100 - 3000 cm^{-1}의 band에서, 일치환 (monosubstitution) benzene 화합물은 1500, 1450, 750, 697 cm^{-1}에서 강한 peak를 나타내며, 3300 - 3150 cm^{-1}에서 OH 결합으로 인한 흡수 peak가 나타난다. oxime(C=N-OH)은 OH 결합에 기인하여 3300 - 3150 cm^{-1}에서, C=N 결합으로 인해 1690 - 1620 cm^{-1}, N-O 결합으로 930 cm^{-1}에서 넓게 흡수 peak가 나타나고, C-H결합은 2900 cm^{-1}, C-O결합은 1075 - 1000 cm^{-1}에서 나타나 α-benzoinoxime의 스펙트럼임을 확인할 수 있다[16]. 반면에 α-benzoinoxime-Mo 침전물의 흡수 스펙트럼은 α-benzoinoxime과 전반적으로 거의 비슷하나 OH 결합이 좀 약하게 나타났고 900 cm^{-1} 정도에서 강한 peak를 보여주고 있다. 일반적으로 M=O, V=O, Nb=O, Ta=O, W=O, Re=O, Os=O와 같은 M=O group (M: metal, O: oxide)은 1050 - 800 cm^{-1}에서 peak가 나타나는 것으로 보고[17] 되고 있으므로, 900 cm^{-1}에서 나타난 peak가 Mo=O 결합으로 기인한 것임을 판단할 수 있다. α-benzoinoxime-Mo 침전물의 FTIR 스펙트럼 결과는 위 반응식과 같이 2분자의 α-benzoinoxime에서 H^{+}이온 두개가 떨어져 나가고 MoO_2^{+2} 이온이 결합되었음을 추정할 수 있다. 한편 Fig.4는 0.4 N NaOH에 용해시킨 α-benzoinoxime 을 1N 질산 용액에서 재침전하여 얻은 침전물의 FTIR 스펙트럼으로 α-benzoinoxime의 특성을 나타내는 peak들은 유사하게 보여주고 있으나 α-benzoinoxime의 스펙트럼과는 일부 차이가 나타나 재침전 과정에서 구조가 일부 변형된 것으로 추측된다. Fig.5는 α-benzoinoxime-Mo 침전물, MoO_3, α-benzoinoxime(시료) 의 TG-DTA 결과로 α-benzoinoxime은 550 ℃ 이하에서 거의 분해되고, MoO_3는 약 785 ℃에서 흡열반응을 하면서 분해되는 것으로 나타났다. 여기서 TG-DTA 분석은 공기 분위기에서 수행한 것으로써 MoO_2^{+2}이온이 MoO_3로 변한 것으로 추정하였다. α-benzoinoxime-Mo 침전물의 경우 550 ℃이하에서 α-benzoinoxime은 거의 분해되고 MoO_2^{+2}이온이 약 785 ℃에서 분해되기 시작하는 것으로 추정할 수 있다. 또한 침전물의 TG 결과에서 α-benzoinoxime이 거의 분해되고 남아 있는 Mo은 전체 질량의 25%로 이를 mole비로 환산하면 약 1 : 1.9로 위의 반응식과 거의 비슷하여 FTIR 결과를 정량적으로 설명하는 결과가 될 수 있을 것으로 생각된다. Fig.6은 α-benzoinoxime-Mo 침전물 및 α-benzoinoxime (시료)와 0.4 N NaOH에 용해시킨 α-benzoinoxime 을 1N 질산 용액에서 재침전하여 얻은 침전물의 XRD pattern으로서, XRD는 CuK선을 이용하여 2.4°/min의 주사속도(scanning speed)로 2θ = 5.5 - 35°까지 측정하였다. XRD pattern을 비교하면, α-benzoinoxime-Mo 침전물은 무정형으로 존재하고 있어 SEM의 결과와 일치하고 있고 재침전 하여 얻은 α-benzoinoxime은 α-benzoinoxime(시료)와 주 peak는 유사하지만 일부에서 α

-benzoinoxime의 특성 peak가 나타나지 않아 FTIR 결과와 같이 재침전 과정에서 구조가 일부 변형된 사실을 뒷받침해주고 있다.

나. Mo 침전물의 선택적 용해

일반적으로 Mo과 α-benzoinoxime이 반응하여 생성된 침전물은 NaOH용액에 과산화수소를 첨가한 후 약 20분 이상 교반하여 완전히 용해한 후 후속 정제공정에서 Mo을 정제한다. 그러나 후속 알루미나 흡착공정에 방해 작용을 일으키는 과산화수소를 첨가하지 않고 반응시간을 5분 정도로 짧게 하여 실험한 결과, 침전물이 모두 용해되지는 않았지만 Mo은 침전물로부터 거의 용해된 것으로 확인되었다. Fig.7은 침전물 내 함유된 Mo을 용해 방법에 따라 5분간 반응시킨 후 Mo의 용해율을 나타낸 것으로 0.1 N NaOH와 증류수를 사용한 경우 외에는 분리 방법에 관계없이 약 97 % 이상 용해되었다. 반면에 증류수와 0.1 N NaOH의 경우 각각 5, 88.8% 분리되어, 알칼리 분위기에서 α-benzoinoxime-Mo 침전물은 빠른 시간 내에 용해 가능함을 알 수 있다. 또한 침전물을 약 60분간 교반시킨 결과 침전물은 과산화수소를 첨가하여 20분간 용해시킨 경우와 같이 모두 용해되었다. 따라서 첨가된 과산화수소는 과잉으로 첨가된 α-benzoinoxime이 Mo과 반응하지 못하고 생성된 재침전물의 용해속도를 가속시키는 역할만 하는 것으로 판단된다. 각 용해 방법에 따라 침전물을 용해한 후 용해액 내 함유된 기타 원소들을 Table 2에 나타내었다. Mo과 함께 공침 되었던 원소들 중 Zr과 Ru만이 용해액 내에 함유되고 Sr, Ba 및 Nd은 나타나지 않았다. 이는 침전되었던 원소들이 용해과정에서 불용해물과 함께 용해되지 않고 남아있는 것으로 추정되며, 각 용해방법에 따른 Zr과 Ru의 함유율 결과로도 확인할 수 있었다. 증류수를 사용하여 용해한 경우 5 %의 Mo은 용해되었지만 기타 원소들은 전혀 용해되지 않았고, 0.1 N NaOH에서 용해한 경우 Zr과 Ru의 함유량이 다른 방법보다 적게 나타나 침전물 전부를 용해하는 것보다 α-benzoinoxime-Mo 침전물만을 NaOH 용액만으로 용해하는 방법이 기타 원소들의 제거 측면에서 더 유리한 것으로 나타났다. 생성된 침전물을 각 조건에 따라 5분간 용해한 후 남아있는 불용해물의 형상을 Fig.8에 나타내었다. α-benzoinoxime-Mo침전물은 용해되고 재침전 된 α-benzoinoxime으로 판단되는 침상형의 결정만 남아 있음을 보여주고 있다. 또한 과산화수소를 첨가하여 용해한 결과 침상형의 결정 내 여러 부분에서 크랙이 생겨 재침전 된 α-benzoinoxime의 용해가 좀더 진행되고 있음을 보여주고 있어, Mo 및 기타 원소들의 분리 결과를 뒷받침해주고 있다. 침전물을 용해한 후 용액 내에 함유된 TOC를 Fig.9에 나타내었다. 기존 용해 방법인 과산화수소를 첨가하여 20분간 반응시켜 침전물을 모두 용해한 경우 초기 α-benzoinoxime 첨가량의 84.2 %가 남아있었다. 그러나 0.4 N NaOH 단독으로 처리한 경우 39.7 %만이 용해되고 나머지 α-benzoinoxime은 고체 상태로 남아있었다. 이 결과는 유기물을 제거해주는 후속 정제공정의 부담을 덜어줄 수 있어 공정 개선에 도움을 주며, 여과기에 남아 있는 유기고형물의 경우는 방사선물질을 다루는 공정의 특성상 장치들을 장기적으로 사용하지 못하고 자주 교환해야만 하기 때문에 유기고형물을 고체폐기물로 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다.

4. 결론

α-Benzoinoxime을 사용하여 Mo을 침전반응 시킬 때 생성되는 α-benzoinoxime-Mo 침전물의 특성을 조사하고, 생성된 침전물을 후속 정제공정에 방해작용을 일으키는 화합물인 과산화수소를 사용하지 않고 용해 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) α-benzoinoxime에 의하여 생성된 침전물은 α-benzoinoxime-Mo 침전과 Mo의 침전율을 높여주기 위하여 과잉으로 첨가된 α-benzoinoxime의 재침전물로 구성되어 있었다.

2) FTIR과 TG-DTA 결과로부터 Mo과 α-benzoinoxime은 두 분자의 α-benzoinoxime과 한 분자의 MoO_2^{+2} 이온이 반응하여 α-benzoinoxime-Mo 침전물을 생성하였음을 확인할 수 있었으며, α-benzoinoxime-Mo침전물은 무정형으로 나타났다.

3) 0.4 N NaOH로 5분간 침전물을 용해한 결과 Mo은 97.5 % 용해되어 과산화수소를 첨가한 경우와 거의 차이가 없었으며, 첨가된 과산화수소는 α-benzoinoxime 재침전물의 용해속도를 가속시키는 역할만 하였다. 또한 모의용액에 함유된 기타 원소들 중 Zr과 Ru만이 각각 1.3 , 7.7 % 함유되어 Mo의 정제율 측면에서도 유리하였다.

3) 용해공정에서 침전물 중의 일부인 α-benzoinoxime의 재침전물을 용해시키지 않고 α-benzoinoxime-Mo 침전물만 용해한 결과 기존 방법보다 후속공정에 들어가는 용해액 내 유기물의 양을 50 % 이상 줄일 수 있었다.

감사

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. M.A. Langton, *Trans. Am. Nucl. Soc.*,**72**, 134 (1995).
2. IAEA, Fission Molybdenum for Medical Use, IAEA-TECDOC-515 (1989).
3. A. Ali. Sameh and Ache. Hans. J., *Radiochimica Acta*, **41**, 65 (1987).
4. W. L. Cheng, C. S. Lee, C. C. Chen, and G. Ting, *Radischim. Acta.*, **47**, 69 (1989).
5. J. L. Iturbe, *Appl. Radiat. Isot.*, **41**, 7, 693 (1990).
6. A. K. Gupta, E. S. Williams, and A. A. Aguwa, *Adsorption and Ion Exchange*, **78**, 103 (1979).
7. A. A. Sameh and J. A. Hans, *Radiochim. Acta.*, **42**, 65 (1987).
8. E. Ejaz, A. M. Mamoon, and M. A. Qureshi, *Appl. Radiat. Isto.*, **39**, 1 (1988).
9. T. Wei, W. L. Cheng, and G. Ting, *Solvent Extract. And Ion Exchange*, **2**, 3, 435 (1984).
10. C. K. Sivaramakrihan, Rep. BARC-84 (1976).
11. H. Arino, F. J. Cosolito, K. D. George, and A. K. Thrnton, USP 3940318.
12. W. L. Cheng, C. S. Lee, C. C. Chen, Y. M. Wang, and G. Ting, *Appl. Radiat. Isto.*, **40**, 4, 315 (1989).
13. H. Knowles, Bur. Stds. J. Research, **9**, 1 (1932).
14. E. Jdid, P. Blazy, *Ind. Miner,. Mines Carrier Tech.*, **2**, 83 (1989).
15. D. Wu, S. Landsberger, G. F. Vandegrift, *J. Radioanal. & Nucl. Chem.*, **216**, 1, 101 (1997).
16. N. B. Colthup, L. H. Daly, S. E. Wiberley, Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy, 3rd ed., Academic Press, San Diego (1990).
17. K. Nakamoto, Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York (1978).

Table 1. Chemical composition of the estimated UO_2 target and the simulated solution

Element	Concentration (ppm)		Element	Concentration (ppm)	
	Estimated	Simulated		Estimated	Simulated
Ag	0.15	-	Pd	0.26	-
As	0.01	-	Pm	2.91	-
Ba	15.6	15.6	Pr	13.8	13.8
Br	0.37	-	Pu	0.63	-
Cd	0.21	-	Rb	6.72	6.72
Ce	39.3	39.3	Rh	0.91	-
Cs	6.68	6.68	Ru	32.4	32.4
Eu	0.54	-	Sb	0.42	-
Gd	0.05	-	Se	0.95	-
Ge	0.01	-	Sm	4.73	4.73
I	10.5	-	Sn	0.59	-
In	0.02	-	Sr	27.3	27.3
Kr	7.12	-	Tc	7.16	-
La	1.58	-	Te	12.0	12.0
Mo	50.0	50.0	U	14123.0	-
Nb	0.53	-	Xe	21.0	-
Nd	36.9	36.9	Y	11.9	11.9
Np	0.42	-	Zr	64.5	64.5

Table 2. Fraction of the other elements remained in the dissolving solution with dissolution method

Element	0.4 N NaOH, %	0.1 N NaOH, %	0.4 N NaOH + H_2O_2, %	H_2O, %
Rb	0	0	0	0
Cs	0	0	0	0
Sr	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0
Zr	1.3	0.9	1.3	0
Te	0	0	0	0
Ru	7.3	5.3	7.7	0
Y	0	0	0	0
Ce	0	0	0	0
Pr	0	0	0	0
Nd	0	0	0	0
Sm	0	0	0	0

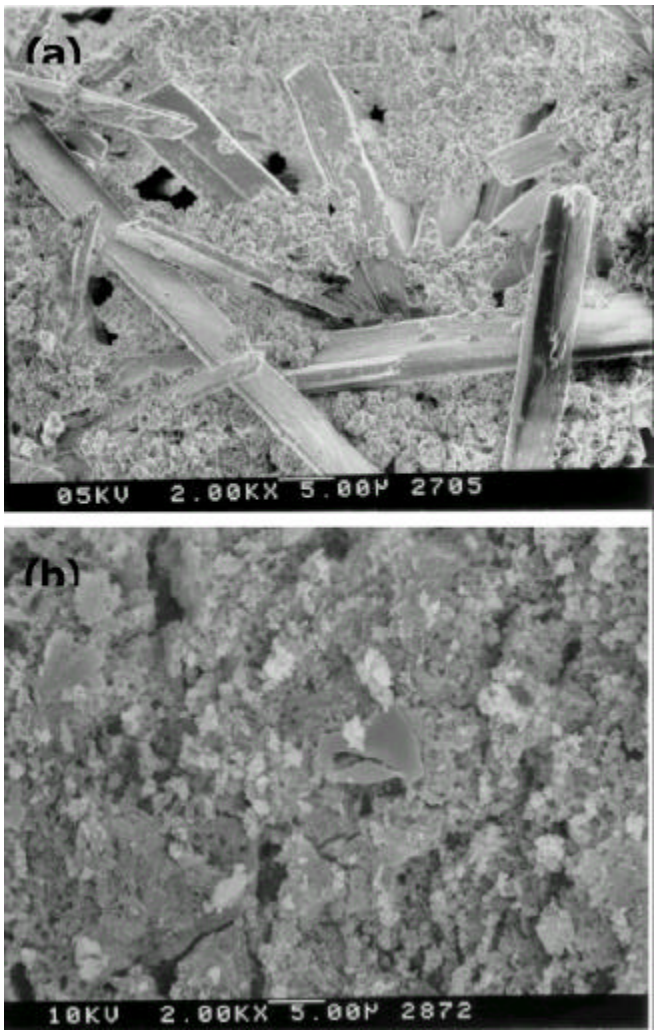


Fig. 1. SEM photographs of molybdenum precipitate
(a) BzO/Mo = 20 (b)BzO/Mo = 4.7

Fig. 2. SEM photograph of re-precipitated α-benzoinoxime

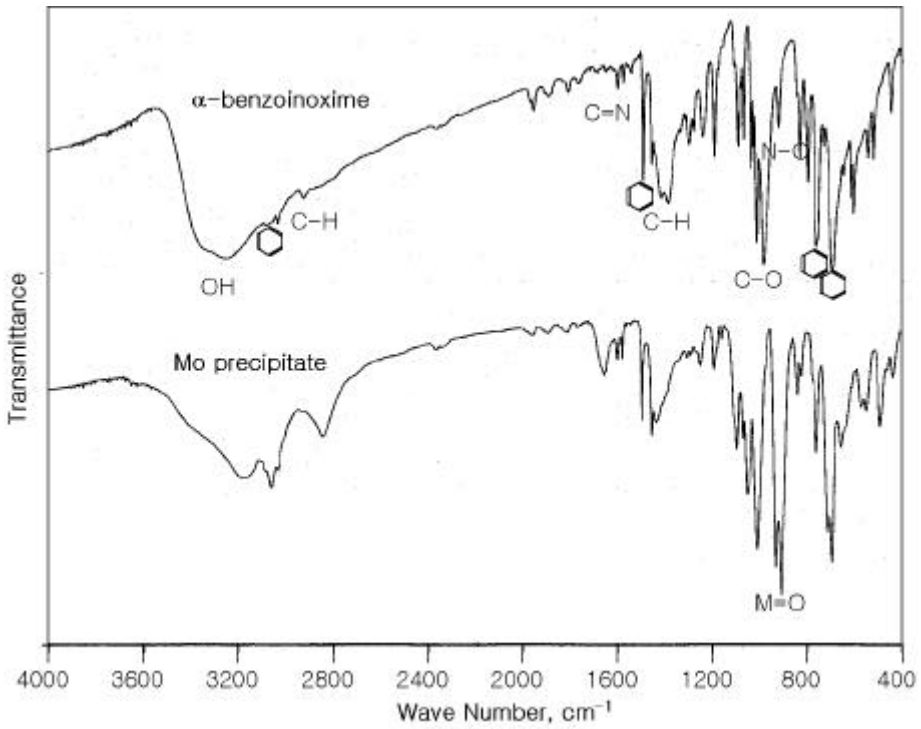


Fig. 3. FTIR spectrums of α-benzoinoxime and α-benzoinoxime-Mo precipitate

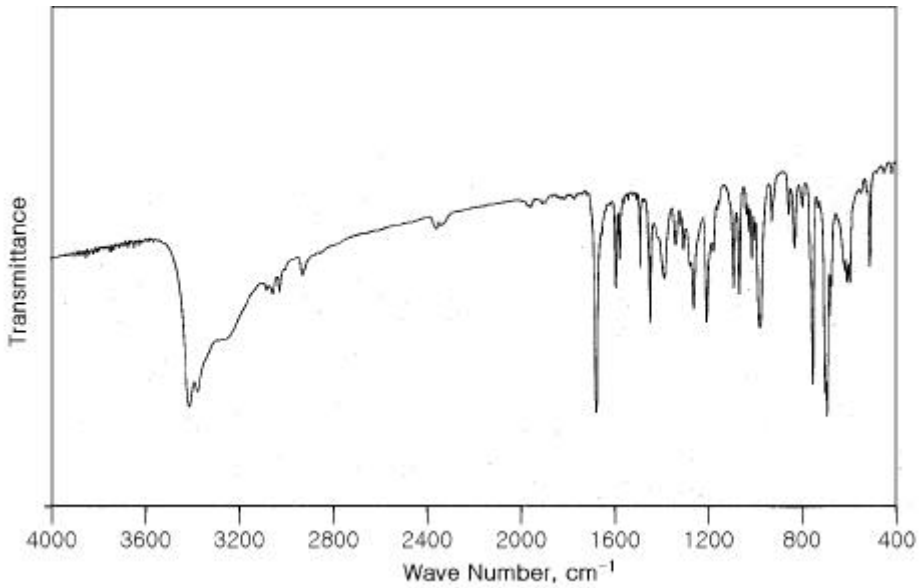


Fig. 4. FTIR spectrum of re-precipitated α-benzoinoxime

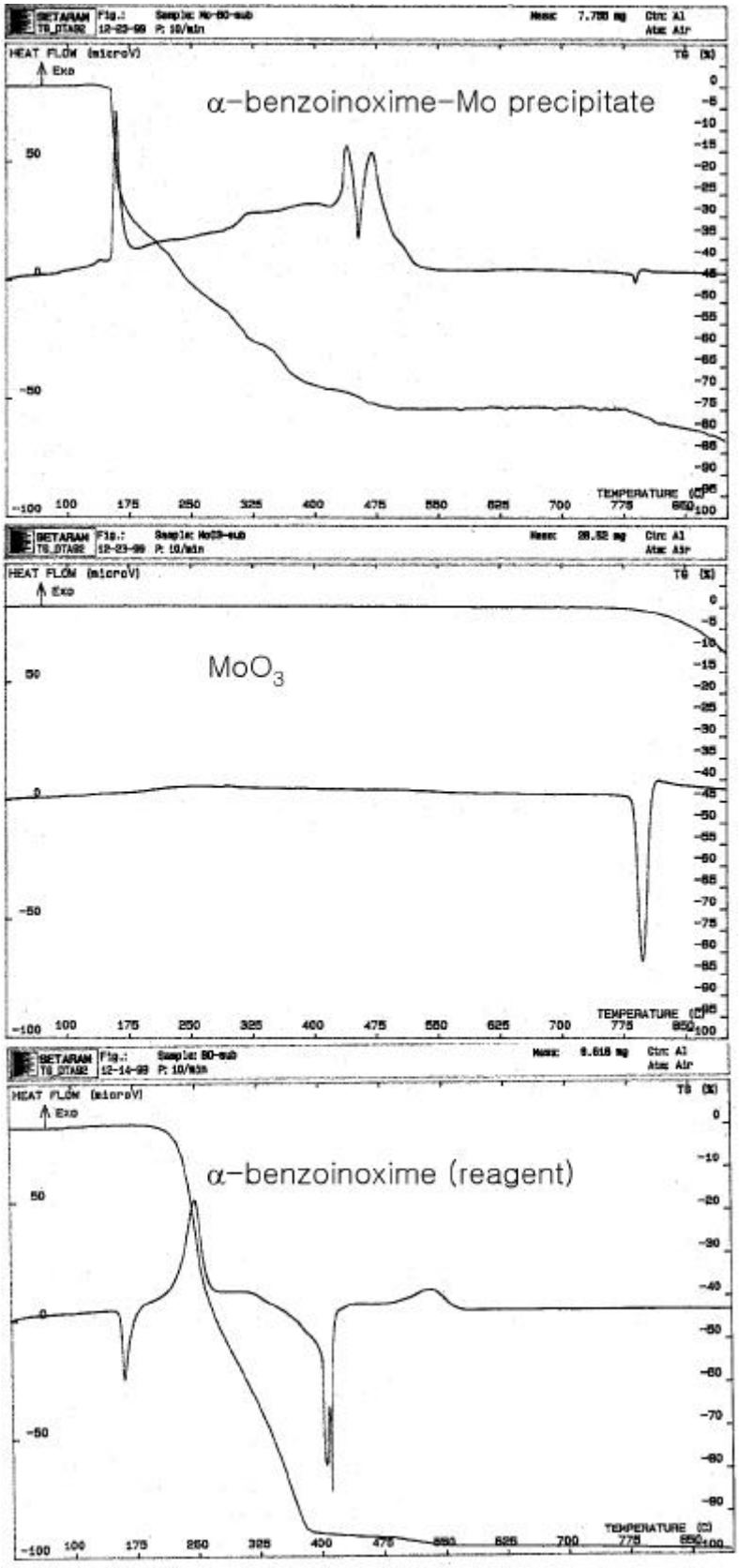


Fig. 5. TG-DTA of α-benzoinoxime precipitate, MoO_3, and α-benzoinoxime

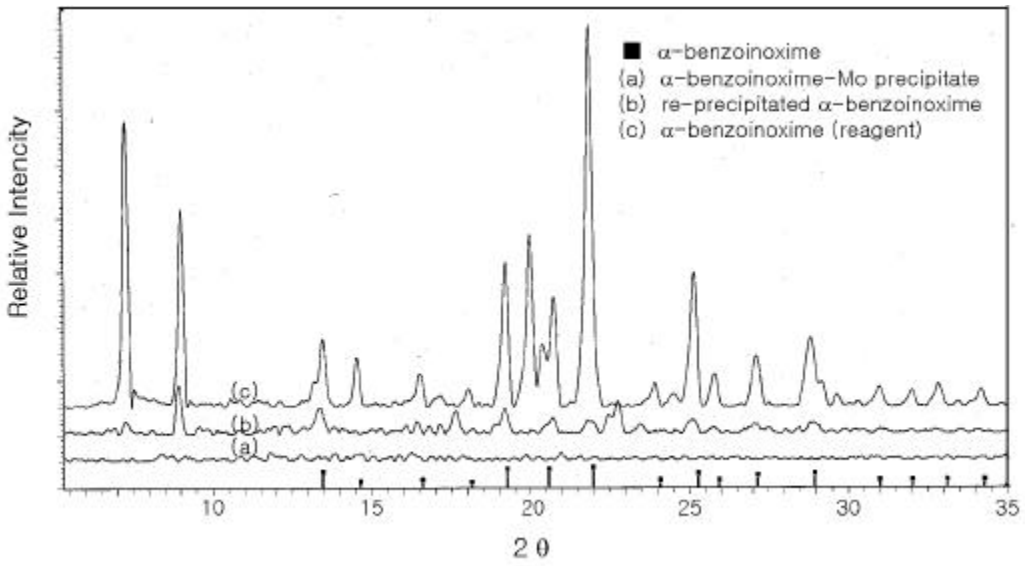


Fig. 6. XRD patterns of α-benzoinoxime-Mo precipitate, re-precipitated α-benzoinoxime, and α-benzoinoxime

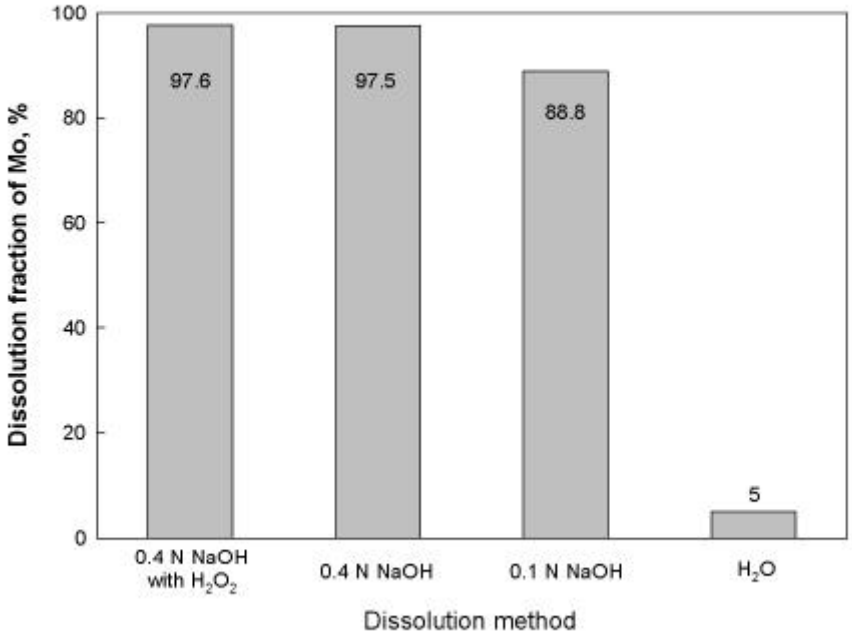


Fig. 7. Dissolution fraction of Mo with dissolution method

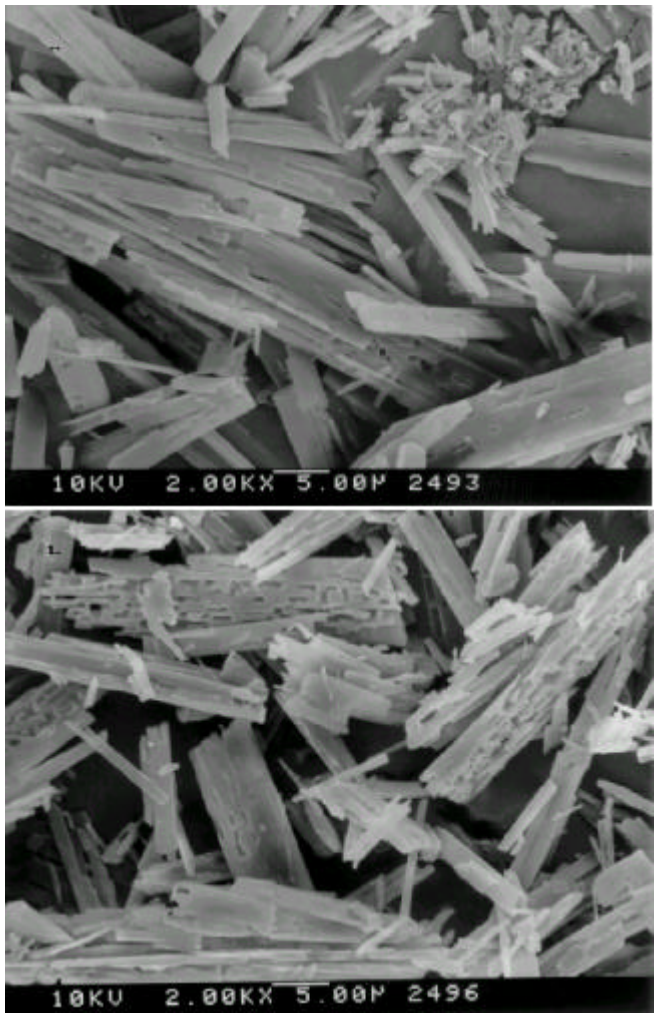


Fig. 8. SEM photographs of undissolved precipitate after dissolving during 5 minutes
(a: dissolution by 0.4N NaOH
b: dissolution by 0.4N NaOH+1wt% H_2O_2)

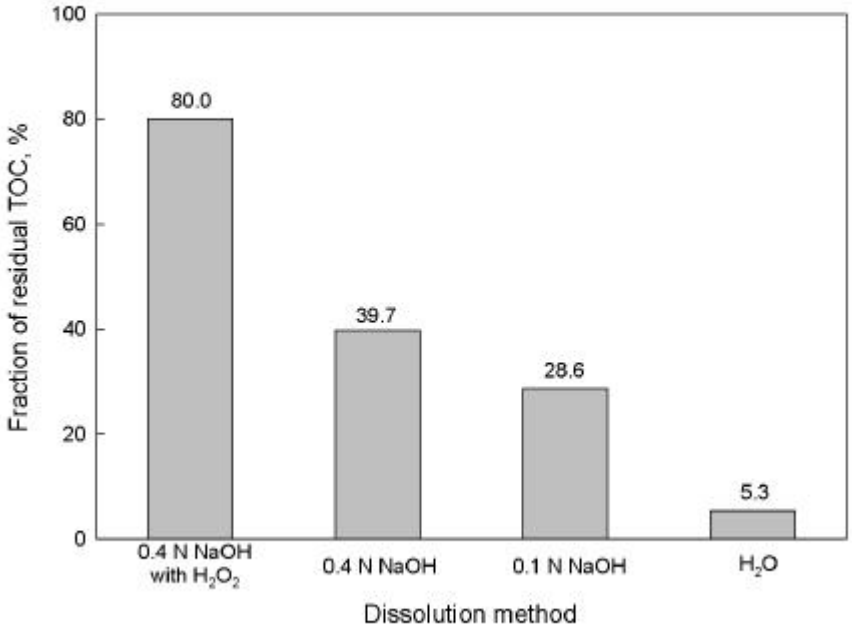


Fig. 9. Residual TOC fraction in the dissolution solution