

Np(V) 용매추출에 미치는 방사선에 의한 TBP 추출제의 분해생성물 영향

**Effect of radiolysis of tri-butyl phosphate extractant on
the extraction of neptunium(V)**

양한범, 한선호, 박순철, 이일희

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

본 연구는 금속원소의 용매추출제로 사용되는 tributyl phosphate (TBP)를 ^{60}Co γ -선을 조사시켜 TBP의 방사선 분해특성을 조사하고, TBP의 방사선 분해생성물중 dibutyl phosphate (DBP)와 monobutyl phosphate (MBP)를 IC와 LC-Mass로 정량분석하였다. 질산매질에서 Np(V) 용매추출에 미치는 방사선에 의한 TBP의 방사선 분해생성물인 DBP 및 MBP가 Np(V) 추출에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하였다. Np(V)의 추출율에 미치는 TBP의 방사선 흡수선량의 영향은 1×10^7 rad 이상에서 나타나기 시작하여 2×10^8 rad 에서는 추출율이 0.8%에서 52.7%까지 급격히 증가하였다. 그리고 Np(V)의 환원제로 1M H_2O_2 를 사용한 경우에 Np(V)은 TBP에 추출이 잘되는 Np(IV)로 환원되어 추출율이 급격히 증가하는 결과를 나타내었다. 그리고 TBP, DBP 및 MBP의 Np(V) 추출 특성에 대한 실험 결과, 1M HNO_3 에서 1M TBP와 1M DBP에 대한 Np(V) 추출율은 각각 0.5%와 86% 였으며, 0.5M DBP에 TBP 또는 MBP를 첨가시키는 경우에 Np(V)의 추출율이 감소되는 추출 방해현상 (antagonism)이 나타났다.

Abstract

This study was carried out to evaluate the effect of radiolysis of tri butyl phosphate (TBP) extractant on the extraction of neptunium(V) in HNO_3 solution. The contents of DBP and MBP, the degradation products of TBP, were analysed with ion chromatography and liquid chromatography - Mass Spectrometry. We are discussed the effects of radiolysis products (DBP and MBP) and H_2O_2 reductant in this extraction system. There is an antagonism that diminish the extraction yield of Np(V) when TBP or MBP is added in the Np(V)-1M HNO_3 -0.5M DBP extraction system.

1. 서론

원자력 선진국에서는 고준위 방사성폐기물이 자연환경과 인간에 미치는 영향을 최소화하고 재활용하기 위한 장반감기 핵종 (long lived radionuclide)의 분리 및 회수 연구가 진행되고 있다. 분리방법으로는 이온교환법, 침전법, 용매 추출법 등이 있으며, 그 중에서도 용매추출법에 대한 연구가 가장 활발하다.

본 연구실에서는 유기인산 계열의 추출제인 TBP (tributyl phosphate), DEHPA (di-(2-ethylhexyl)phosphoric acid)를 사용하여 Am과 Eu의 상호 분리 연구를 수행한 바 있다 [1~3]. 그러나 장반감기 핵종 분리공정에서 취급하는 방사성폐액은 일반적으로 방사능준위가 매우 높기 때문에 공정에 사용되는 유기추출제의 방사선 분해(radiolysis)가 일어나게 되고 이로부터 생성된 여러 가지 분해생성물은 분리공정의 효율을 저하시키는 작용을 한다. 본 연구실에서는 TBP와 DEHPA에 대한 방사선분해 현상에 대한 분해생성물의 정성 및 정량분석과 방사선 분해 생성물이 Zr 추출에 미치는 영향에 대해서 발표한 바 있다. Zr의 경우는 1M TBP에 의해 거의 추출이 되지 않으나, TBP의 방사분해로 생성되는 DBP에 의해 Zr과 착화합물을 형성하여 TBP 중에 안정한 화합물 형태로 존재하여 용매추출에서 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 제 3상까지 생성하는 것으로 밝혀졌다. 방사성 액체폐기물중에서 Zr 다음으로 방사선 분해 생성물과 착물을 잘 형성하는 금속원소를 시험한 결과 Np으로 밝혀졌다.

Np은 여러가지 산화상태로 존재 가능한 원소로 알려져 있다. 일반적으로 Np은 수용액에서 Np(III), Np(IV), Np(V), Np(VI) 및 Np(VII)의 원자가 할 수 있으며, 이중 처음 4가지는 Np^{3+} , Np^{4+} , NpO_2^+ , NpO_2^{2+} 이온으로 존재한다. 그러나 Np(VII)는 알칼리 용액중에서만 존재하므로 산성용액에서는 존재하지 않으며, Np(III)는 아주 강한 환원제로 작용하여 수용액중의 용존 산소에 의해 Np(IV)로 빠르게 산화된다. 따라서 질산용액에서 고려해야할 Np의 산화 상태는 Np(IV), Np(V), Np(VI)의 3가지가 중요하다.

본 연구는 여러 가지로 존재 가능한 Np의 산화상태중에서 ^{237}Np 방사성 동위원소 용액으로부터 Np(V) 용액을 만든 다음, ^{60}Co γ -선으로 조사시켜 얻은 TBP의 방사선 분해생성물을 정량분석하고 이들 방사선 분해생성물이 Np(V) 추출에 미치는 영향에 대해 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 시약

Tributyl phosphate, (40%, dibutyl phosphate(60%) 함유), dodecane, H_2O_2 는 Merck 제품, Dibutyl phosphate(97%)는 Acros organics Co 시약, Ammonium nitrate는 Showa Co., Thenoyltrifluoroacetone(TTA)는 Aldrich Co., Methyl isobutyl ketone(MIBK)는 Ishizu Co., n-Octyl(phenyl)-N, N-Diisobutyl carbamoyl methyl phosphin oxide(CMPO)는 Elchrom Co., ^{237}Np 은 영

국의 AEA Technology Co. 제품을 사용하였다.

2.2 기기

TBP의 방사성 분해생성물 분석은 Dionex사의 Ion Chromatography (DX-300), HP사의 LC-Mass (model: LC-MSD, 1100 series)를 사용하였다. 추출장치는 온도 및 시간 조절이 가능한 진탕기(Jeio Tech, 모델: SI-900R)를 사용하였으며, Np-237 분석은 Ge(Li) 검출기의 방사선 분석기 (multichannel analyzer, Oxford Co.)로 분석하였다.

2.3 TBP 추출제의 ^{60}Co (γ -선) 방사선 조사시험

TBP 추출제의 ^{60}Co (γ -선) 방사선 조사시험은 한국 원자력 연구소의 방사선 조사시설에서 수행하였다. 방사선 조사선원은 ^{60}Co (95,000 Ci)을 사용하였으며, 흡수선량은 일반적인 조사 대상인 추출제들의 피로화 되는 값 (threshold level)이 약 10^6 rad 이상인 점을 고려하여 이를 기준으로 최대 1×10^8 rad까지 상온의 공기분위기 상태에서 조사하였다. 조사 재료는 1M TBP/dodecane 또는 1M TBP/dodecane / HNO_3 은 시약급을 실험조건에 맞춰서 유리용기에 120ml 씩 취한 다음 동일한 조건에서 흡수선량이 1×10^6 rad, 1×10^7 rad, 3×10^7 rad, 7×10^7 rad 및 1×10^8 rad 되도록 조사하였다.

2.4 추출제의 전처리

TBP 및 DBP 추출제는 추출실험에서 사용하기 전에 실험조건과 동일한 농도의 질산용액과 1:1의 부피 비로 전처리(pre-equilibrium) 한 후 사용하여 TBP 및 DBP의 질산추출로 인한 영향을 배제시켰다.

2.5 Np(V) 산화상태 분석

Np의 산화상태 분석은 BARC-736[4]에 의하여 0.2M TTA/dodecane와 0.5M TBP/dodecane 혼합용매를 추출제로 사용하여 1M HNO_3 에서 추출하면 Np(IV)만 추출이 되고 Np(V)와 Np(VI)는 추출이 되지 않고 수용상에 남아있게 된다. 질산 암모늄으로 포화시킨 1M HNO_3 에서 MIBK로 추출하면 Np(IV)와 Np(VI)는 추출되고 Np(V)은 이 조건에서 추출되지 않는다는 성질을 이용하여 Np(IV), Np(V) 및 Np(VI)를 분석하였다.

2.6 ^{237}Np (V) 용액제조

Np (영국의 AEA Technology Co.)을 0.2M CMPO와 0.5M TBP 혼합용매를 추출제로 사용하여 추출이 잘되는 Np(IV)와 Np(VI)를 제거하고 수용상에 남아있는 Np(V)을 취하여 다시 0.5M CMPO와 0.5M TBP 혼합용매를 추출제로 추출하였다. 그리고 Np(V)의 수용액에 남아 있을지도 모를 미량의 0.5M CMPO와 0.5M TBP를 제거하기 위하여 순수한 dodecane 용매를 사용하여 Np(V)의 수용액을 세척하였다. 이와 같은 방법[5]로 만든 Np(V) 용액의

산화상태를 분석한 결과 Np(V) 순도는 99% 이었다.

2.7 추출실험

실험조건에 따라 8ml 용량의 유리용기에 수용상과 유기상용 각각 3ml 씩 취하여 Org./Aq. 상비가 1:1 인 조건에서 진탕기로 평형이 될 때까지 25°C 에서 2시간 진탕시킨 후 방치하여 수용상과 유기상을 상 분리시킨다. 상 분리된 유기상과 수용상에서 일정량의 시료를 채취하여 Ge(Li) 검출기를 사용하여 방사선 분석기(MCA)로 86.48 KeV에서 나오는 Np의 방사선을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

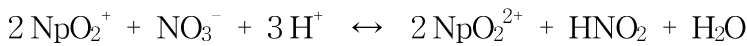
3.1 1M TBP-dodecane/HNO₃ 계의 분해생성물 분석

⁶⁰Co γ -선으로 조사시켜 얻은 순수한 TBP의 분해생성물에 대한 분석결과에 대해서는 이미 발표한 바가 있다[6-7]. 본 실험에는 1M TBP/ dodecane 계의 분해생성물과 TBP/dodecane/HNO₃ 계의 분해생성물을 LC- Mass를 사용하여 분석하였다. TBP가 방사선에 조사되면 방사선 분해에 의해 TBP 화합물의 결합이 끊어지면서 DBP, MBP, H₃PO₄ 및 C₄H₉OH 그리고 기체 생성물인 H₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆ 등이 생성된다고 알려져 있으나 본 실험에서는 금속이온과 착물을 형성하는 분해생성물을 중심으로 분석하였다[8]. 분석결과 순수한 TBP에 dodecane이 공존하면 방사선에 의한 TBP 분해율과 DBP 생성을 감소하였는데, 1.0x10⁸ rad 일때 DBP 생성율을 보면 순수한 TBP는 3.54%, 1M TBP/dodecane은 1.50% 이었다. 그리고 1M TBP/dodecane/HNO₃ 계에서 HNO₃가 공존하면 TBP 분해율이 감소하였다. 그러나 HNO₃ 농도의 영향을 보면 HNO₃ 농도가 증가할수록 TBP 분해율과 DBP 생성율은 약간 증가하는 경향을 보였다. 즉, 1.0x10⁸ rad 일때 DBP 생성율은 순수한 TBP는 3.54%, 1M TBP/dodecane은 1.50%, 1M TBP/dodecane/1M HNO₃은 1.20%를 얻었다. 그리고 1.0x10⁸ rad 일 때, 1M TBP/dodecane의 DBP 생성율을 살펴보면 0.1M HNO₃ 계에서는 0.29%, 1M HNO₃ 계에서는 1.38%, 3M HNO₃ 계에서는 1.53%를 나타내었다. 1M TBP/dodecane/1M HNO₃ 계에서 방사선 흡수선량이 증가할수록 TBP 분해율과 DBP 생성율이 증가하였다. 분석결과를 보면 1.0x10⁶ rad 때 0.005%, 1.0x10⁷ rad때 0.155%, 1.0x10⁸ rad 때 1.20% 이었다.

3.2 HNO₃ 농도 영향

Fig. 1은 방사선 조사를 시키지 않은 1M TBP/dodecane 추출제로 1M ~ 10M HNO₃ 용액에서 Np 추출결과를 도시한 그림이다. 실험에 사용한 1M TBP/dodecane는 실험조건과 동일한 농도의 질산용액과 Org/Aq = 1 부피비로 선평형(pre-equilibrium) 시킨 다음 실험하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 TBP 추출제의 경우 수용상의 질산농도가 증가할수록 Np의 추출율도 증가하

여, 1M HNO₃ 일 때 0.5%, 2M HNO₃ 일 때 0.9%, 4M HNO₃ 일 때 4.6%, 8M HNO₃ 이상에서는 89.9%의 Np이 추출되었다. 이와같이 Np이 질산농도에 따라서 추출율이 증가하는 현상은 질산용액에서의 Np은 산화상태가 변화되는 특이한 거동을 나타내며, 또한 산화상태에 따라서 TBP 추출제에 의한 Np의 추출율이 크게 달라지는 현상으로 해석할 수 있다. 질산용액중의 Np의 가장 중요한 반응으로서는 질산과 아질산의 농도가 Np의 산화상태에 큰 영향을 미치는 아질산에 의한 산화환원 반응과 불균등화 반응을 들 수 있다. 아질산에 의한 NpO₂⁺의 산화반응은 다음과 같이 진행된다. 아질산에 의한 Np(V) ↔ Np(VI)의 산화환원 반응에서 아질산의 농도는 10⁻⁴ ~ 10⁻³ 정도만 되어도 산화환원 반응을 무시할 수 없을 정도로 반응이 잘 일어난다[9-11].



두 번째로 Np(IV), Np(V), Np(VI) 사이에는 다음과 같은 불균등화 반응이 일어난다.



Np⁴⁺는 환원제로 존재하거나 다른 원자의 Np과 평형을 이룰때만 안정하며, NpO₂⁺는 질산농도에 따라서 산화상태가 변하게 되는데, 즉 0.1~2M의 HNO₃ 용액에서 가장 안전한 5가 상태를 유지하며, HNO₃ > 2M 에서는 불균등화 반응이 진행되어 Np⁴⁺와 NpO₂²⁺를 생성하고 6 ~ 8M의 HNO₃ 용액에서는 NpO₂⁺가 완전히 소멸된다. Np은 앞에서 설명한 바와 같이 Np(IV), Np(V), Np(VI)의 산화상태가 서로 다른 화학종으로 존재한다. Np(V)는 TBP에 의해 거의 추출이 되지 않는다. 그러나 Np(IV) 및 Np(VI) TBP에 의해 추출이 잘된다. 이와같은 여러가지 Np 화학종의 TBP에 대한 추출 평형식은 다음과 같이 표현된다.



따라서 이상과 같은 질산용액에서의 Np의 산화상태 거동과 그에 따른 TBP 추출력과의 상관관계를 고려하면 질산농도가 증가할수록 Np(V)은 산화상태가 변화되어 추출율이 증가됨을 알 수 있다.

3. 3 TBP의 방사선 조사 영향

Fig. 2는 1M TBP/dodecane과 1M HNO₃ 용액의 부피비를 1:1로 하여 같이 ⁶⁰Co에 방사선 조사시킨 다음 1M TBP/dodecane 중 일정량을 취하여 1M HNO₃에서 Np(V)을 추출한 실험결과를 도시하였다. Fig. 2를 보면 1M

TBP/dodecane의 방사선 흡수선량이 1×10^6 rad에서 Np(V)의 추출율이 0.4%, 1×10^7 rad에서 0.8%로 Np(V)의 추출에 미치는 TBP 방사선 분해 생성물의 영향이 거의 나타나지 않고 있으나, 1×10^7 rad 이상에서는 Np(V)의 추출율이 급격히 상승하여 3×10^7 rad 에서는 17.6%가 추출되며 1×10^8 rad 에서는 33.5%, 그리고 2×10^8 rad 에서는 추출율이 52.7% 까지 증가되었다. 이와 같은 실험결과로부터 TBP 방사선 분해생성물이 Np(V) 추출에 미치는 영향이 상당히 크다는 사실을 알 수 있었다.

3.4 DBP 농도 영향

Fig. 3은 Np(V)를 1M HNO₃에서 DBP의 농도를 0.001M~1M 까지 변화시킨 DBP-dodecane으로 추출한 경우에 얻어진 Np(V)의 추출율 변화를 도시하였다. DBP 농도가 증가할수록 Np(V)의 추출율도 증가하였으며, DBP의 농도가 0.2M~0.3M 사이에서 Np(V)의 추출율이 급격하게 증가되는 현상을 나타내었다. Np(V)는 TBP에 의해 추출이 거의 안되는 반면에 DBP는 Np(V)에 대한 높은 추출율을 나타내므로 TBP 방사선 분해에 의해 생성되는 DBP가 Np(V)의 추출율에 결정적인 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

3.5 TBP의 영향

Fig. 4는 Np(V)를 1M HNO₃에서 0.5M DBP-dodecane으로 추출할 때, 0.5M DBP 추출제에 첨가시킨 TBP 농도를 증가시켰을 때 나타나는 Np(V)의 추출율 변화 현상을 도시한 그림이다. 0.5M DBP 추출제의 농도를 일정하게 유지한 조건에서 DBP에 첨가되는 TBP 농도가 증가할수록 Np(V)의 추출율이 저하되는 현상은 용매추출에서 말하는 전형적인 추출방해 현상 (antagonism)을 보여주고 있다. 일반적으로 용매추출에서는 제 1 추출제에 제 2의 추출제를 첨가하는 경우에 추출 상승효과 (synergism)가 나타나는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 Fig. 4와 같이 DBP에 TBP를 첨가시키는 경우에 나타나는 Np(V) 추출율 감소현상의 원인으로 고려해 볼 수 있는 것은 수용상에 존재하는 Np와 TBP의 착물의 양의 증가되기 현상 때문이라고 생각해 볼 수 있고, Np와 DBP 착물외에도 Np와 DBP 및 TBP의 혼합착물과 같은 새로운 화학종이 생성될 때 TBP의 증가함에 따라서 새로 형성된 혼합착물의 유기상에서의 활동도를 저하시키는 역할을 하기 때문이라고 생각해 볼 수 있다. 그러나 이와같은 현상에 대한 연구결과가 아직 발표된바 없으므로 보다 정확히 해석하기 위해서는 보완적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

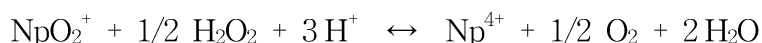
3.5 MBP의 영향

Fig. 5는 1M HNO₃에서 0.5M DBP-dodecane으로 Np(V)를 추출할 때, 일정한 농도의 0.5M DBP 추출제에 첨가시킨 MBP 농도를 증가시켰을 때 나타나는 Np(V)의 추출율 변화를 도시한 그림이다. Fig. 5에서 보는바와 같이

0.5M DBP 추출제의 농도는 일정한데 여기에 첨가되는 MBP 농도가 증가할수록 Np(V)의 추출율이 저하되는 현상은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 일정한 농도의 DBP 추출제에 TBP 첨가량이 증가할수록 Np(V)의 추출율이 감소되는 것과 비슷한 추출방해 현상 (antagonism)을 나타내었다. 이러한 현상이 일어나는 원인에 대해서는 아직 규명된 바 없으며 앞으로 심도있는 연구가 요구된다고 생각한다.

3.6 H₂O₂ 영향

Fig. 6에서는 1M H₂O₂ 일 때, 1M TBP/dodecane으로 질산농도 변화에 대하여 Np(V)을 추출하여 구한 Np(V)의 추출율 변화를 도시하였다. H₂O₂는 Np(V)를 Np(IV)로 효과적으로 환원시켜 주는 환원제로 알려져 있으며, Np의 산화상태와 TBP의 추출력의 관계를 보면 Np(V)는 TBP에 의해 추출이 잘 안되며, Np(IV) 및 Np(VI)는 TBP에 추출이 잘 되는 산화상태로 알려져 있다. 따라서 Np(V)에 H₂O₂를 첨가시킨 경우에 Np의 추출율이 급격히 증가한 실험 결과는 H₂O₂가 Np(V)를 Np(IV)로 효과적으로 환원시키고 있음을 알 수 있다. 그러나 이 경우에 질산농도도 증가하였으므로 Np의 추출이 질산농도 영향과 혼동을 일으킬 수도 있으나 2M HNO₃에서 Np 추출율을 Fig. 1에서 2M HNO₃에서의 Np 추출율과 상호 비교해 보면 H₂O₂ 환원제가 Np(V)의 환원에 작용하고 있음을 분명히 알 수 있다. 그리고 질산용액에서 H₂O₂에 의한 Np의 환원 반응을 표시하면 다음과 같다.



위 반응식으로부터 알 수 있는 사실중의 하나는 Np(V)의 환원반응이 수소이온을 필요로 하고 있어 본 실험에서 질산농도가 높을수록 환원반응은 보다 빠르게 진행될 것이라는 예측을 할 수 있다.

4. 결론

⁶⁰Co γ-선 (95,000 Ci)으로 방사선 조사한 1M TBP/dodecane/HNO₃ 계 (흡수선량: 1x10⁶ rad ~ 1x10⁸ rad)의 방사선 분해생성물인 DBP 생성율을 LC-Mass 법으로 정량 분석하였다. Np(V)의 추출율에 미치는 TBP의 방사선 흡수선량의 영향은 1x10⁷ rad 이상에서 나타나기 시작하여 2x10⁸ rad 에서는 추출율이 0.8%에서 52.7%까지 급격히 증가하였다. 그리고 Np(V)의 환원제로 1M H₂O₂를 사용한 경우에 Np(V)은 TBP에 추출이 잘되는 Np(IV)로 환원되어 추출율이 급격히 증가하는 결과를 나타내었다. 그리고 TBP, DBP 및 MBP의 Np(V) 추출 특성에 대한 실험 결과, 1M HNO₃에서 1M TBP와 1M DBP에 대한 Np(V) 추출율은 각각 0.5%와 86% 이었다. 그리고 0.5M DBP에 TBP 또는 MBP를 첨가시키는 경우에 Np(V)의 추출율이 감소되는 추출 방해현상

(antagonism)이 나타났다.

감 사

본 연구에 대한 과학기술부의 원자력연구 개발사업 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. H.B. Yang, E.H. Lee, J.K. Lim, J.H. Yoo and H.S. Park, J of Korean Ind & Eng. Chem., 7(1), 153 (1996).
2. H.B. Yang, J.K. Lim and J.H. Yoo, "Partitioning of minor actinides from rare earths by solvent extraction with di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid", 4th OECD/NEA international exchange meeting on partitioning and transmutation technology, 1996. Sep. 11 - 14, Mito, Japan, (1996).
3. H. B. Yang, E. H. Lee, J. K. Lim, J. G. Kim, J. S. Kim and J. H. Yoo, J of Korean Ind & Eng. Chem., 8(6), 1006 (1997).
4. M. V. Ramaniah et al., "Process chemistry of neptunium- Part II", BARC-736 (1974)
5. D. S. Wisnubroto, S. Nagasaki, Y. Enokida and A. Suzuki "Effect of TBP on solvent extraction of Np(V) with n-octyl(phenyl)-N, N-di isobutylcarbomoylmethylphosphin oxide", J. Nucl. Sci. & Tech., 29(3), 263 (1992)
6. H.B. Yang, S. H. Han, S. C. Park, J. W. Yeun, and E.H. Lee, "⁶⁰Co γ -선 조사에 의한 DEHPA와 TBP 추출제의 방사선 안전성 조사" 한국 원자력학회 2001 추계 학술발표회 논문집 (2001)
7. H.B. Yang, E.H. Lee, S. H. Han, S. C. Park and D. Y. Kim, "Zr 추출에 미치는 TBP 추출제에 의한 방사선 분해효과" 한국원자력학회 2002 춘계 학술발표회 논문집 (2002)
8. W. Davis, Jr., "Radiolytic behavior", in Science and Technology of Tributyl Phosphate, Vol. I, Chap. 7, W.W. Schulz, A.E. Talbot and J.D. Navratil (eds), CRC press, Boca Raton, (1984)
9. V. A. Drake, "Extraction chemistry of neptunium" Science and Technology of Tributyl Phosphate, Vol. III, Chap. 3, W. W. Schulz, A. E. Talbot and J. D. Navratil (eds), CRC press, Boca Raton, (1990)
10. K. H. Byeon et al., "The extraction behaviors of transuranic elements", KAERI/AR-550/99 (1999)
11. J. J. Katz, G. T. Seaborg and L.R. Morss (eds), The chemistry of the Actinide Elements, Vol. I, Chap. 6, Chapman and Hall, (1986)

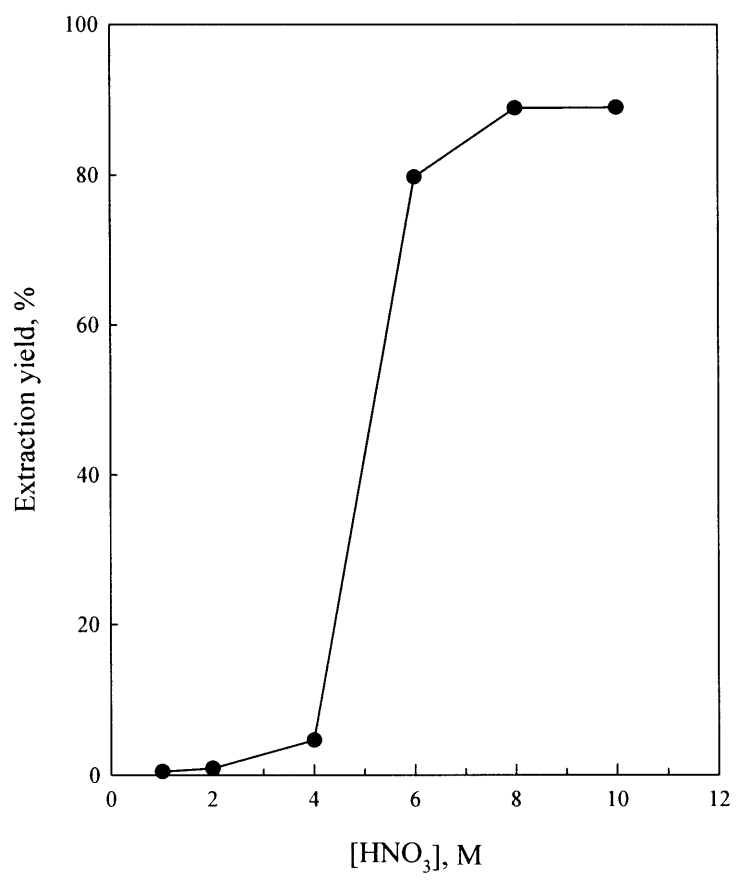


Fig. 1 Extraction of Np(V) by 1M TBP-dodecane

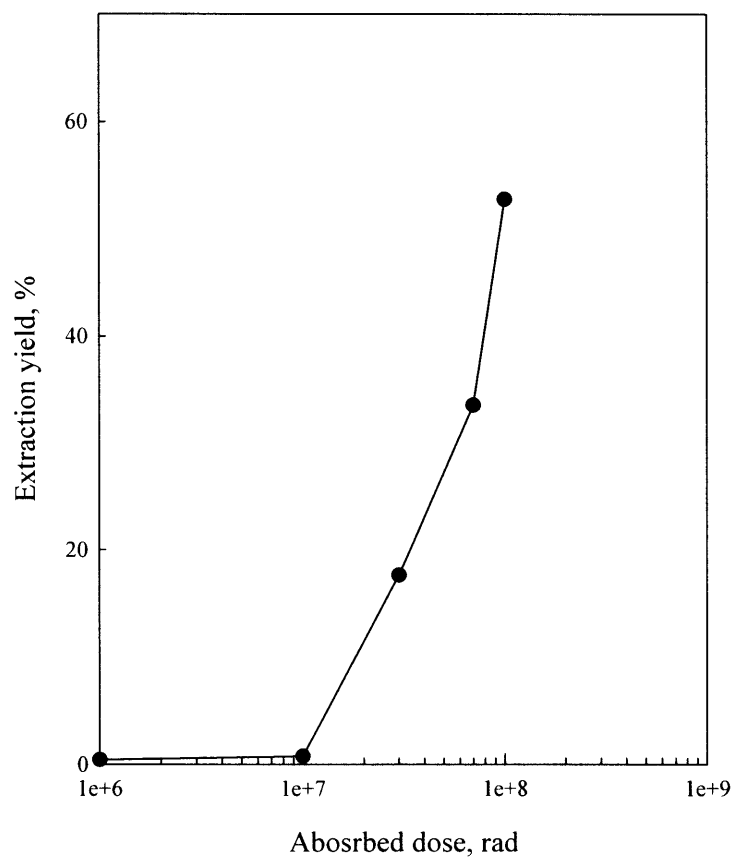


Fig. 2 Radiation effect on Np(V) extraction by irradiated 1M TBP-dodecane at 1M HNO₃

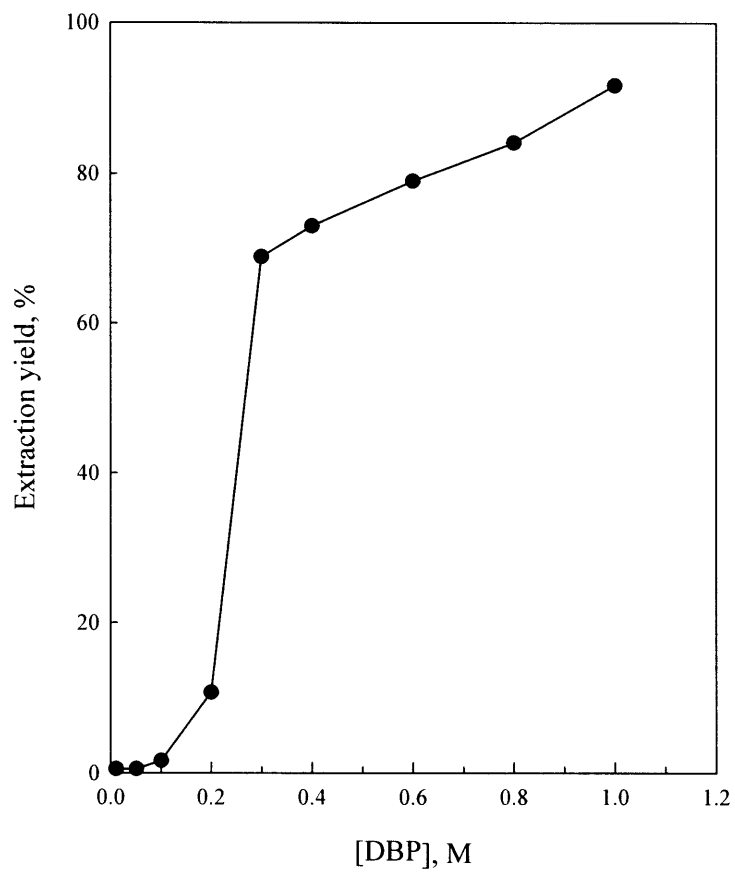


Fig. 3 Effect of DBP concentration on the extraction of Np(V) at 1M HNO₃

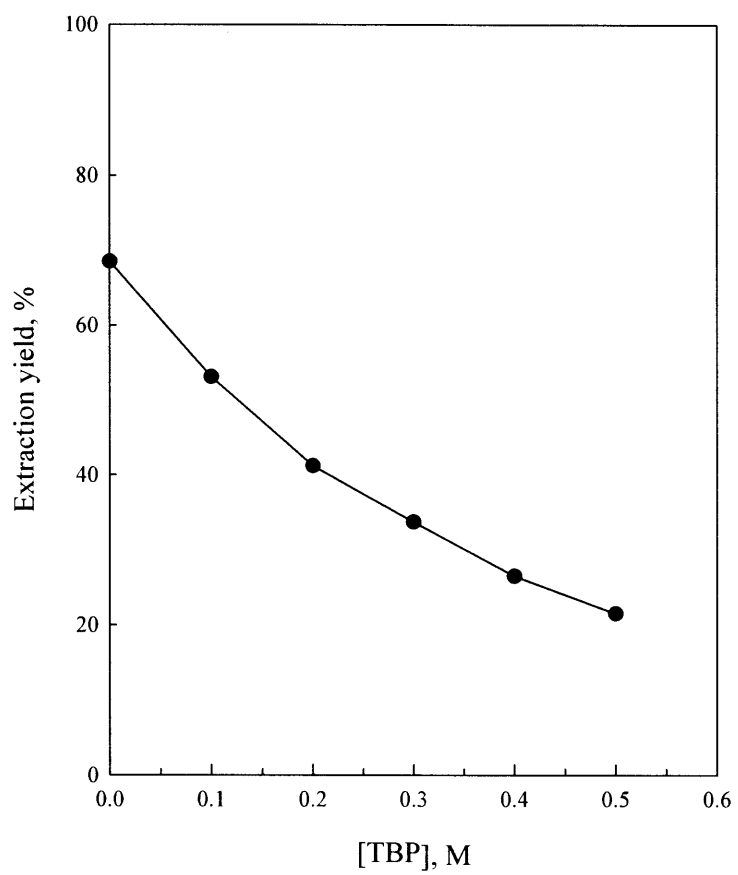


Fig. 4 Effect of TBP concentration on the extraction of Np(V) by 0.5M DBP-dodecane at 1M HNO₃

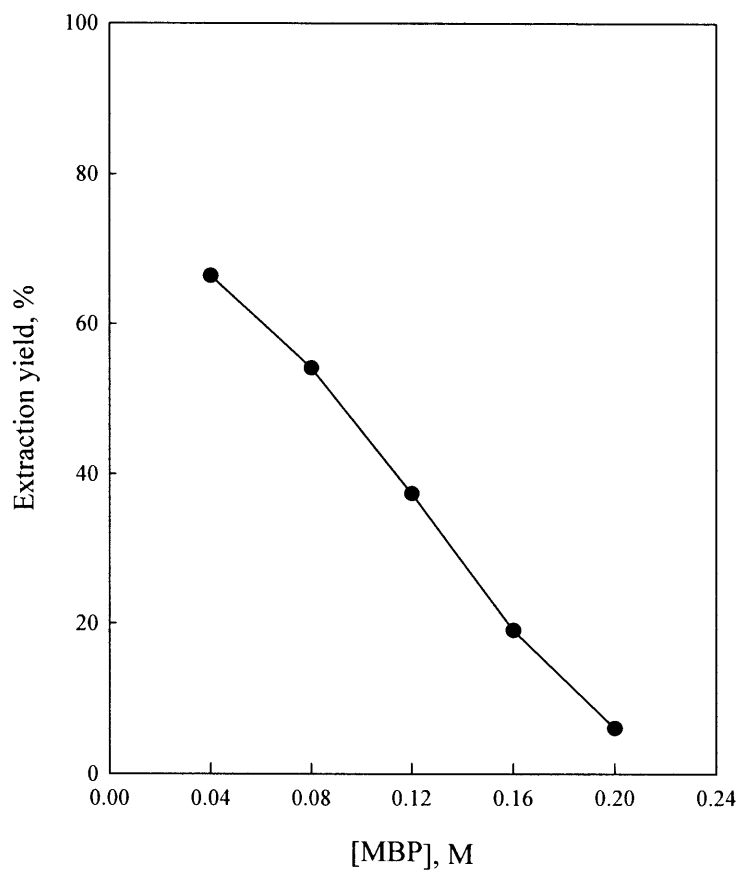


Fig. 5 Effect of MBP concentration in 0.5M DBP-dodecane on the extraction of Np(V) at 1M HNO₃

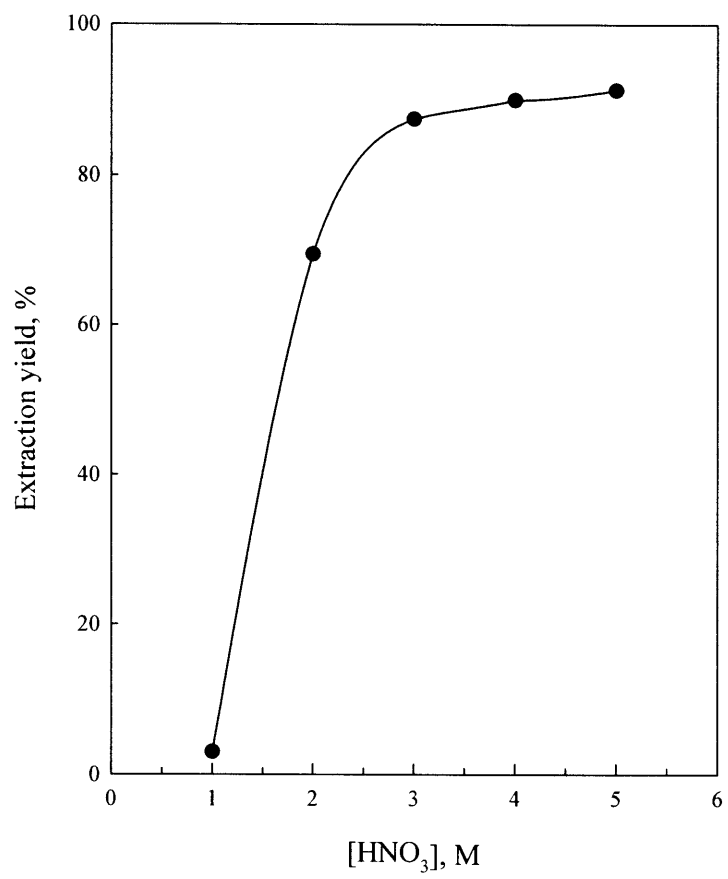


Fig. 6 Extraction of Np(V) by 1M TBP-dodecane at 1M H₂O₂

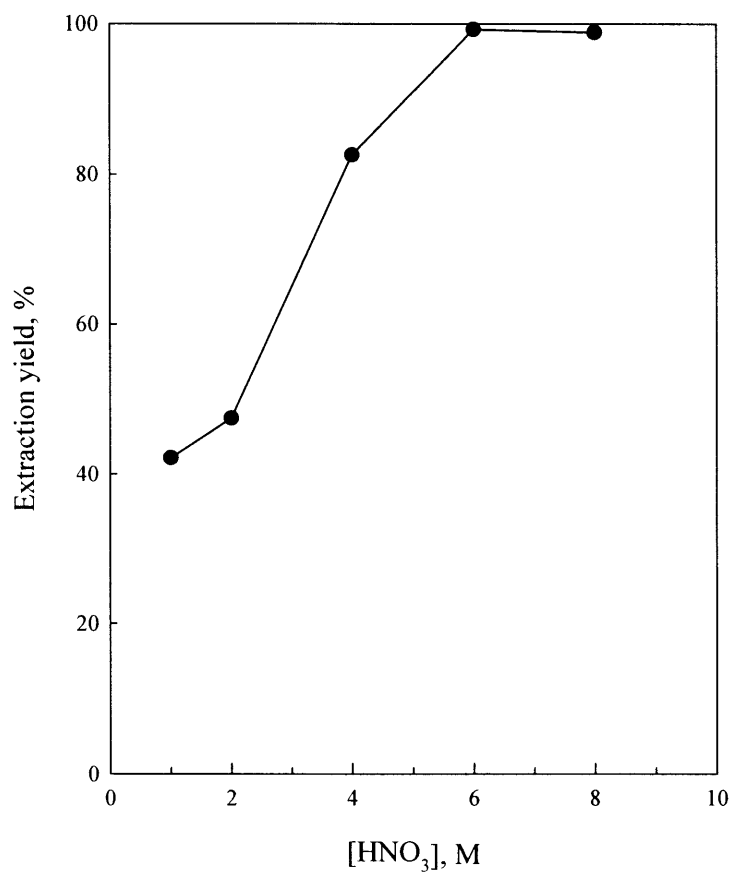


Fig. 7 Effect of HNO₃ concentration on the extraction of Np(V) by 1M DBP/0.67M MBP-dodecane