

TBP-수용액계에서 Zr와 Hf의 추출분리에 미치는 몇가지 인자들의 영향

한경찬, 조광혁

위대한 수령 김일성 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자들은 우리 나라의 현실이 요구하는 문제를 연구하여야 하며 우리 인민에게 필요한것을 만들어 내기 위하여 노력하여야 합니다.》(《김일성전집》 제35권 374페이지)

지르코니움(Zr)을 핵연료봉표피재료로 리용하자면 그속에 포함되어있는 하프니움(Hf)의 함량이 $10^{-4}\%$ 이하로 되어야 한다.

본문에서는 린산트리부틸에스테르(TBP)-수용액계에서 Zr로부터 Hf를 분리하기 위한 다단추출분리공정을 모형화하고 분리단들에서의 분배결수가 일정한 경우에 Zr와 Hf의 추출분리에 미치는 몇가지 인자들의 영향을 리론적으로 모의하였다.

모의조건설정

Zr로부터 Hf의 분리를 위한 다단추출분리공정의 모형[1, 2]은 그림 1과 같다.

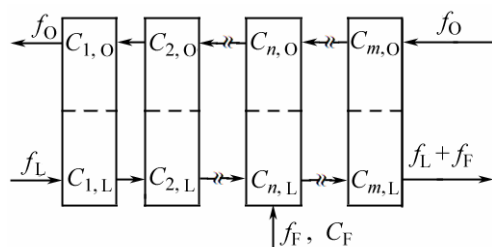


그림 1. Zr로부터 Hf의 분리를 위한
다단추출분리공정의 모형

그림 1에서 $C_{i,L}$ 과 $C_{i,O}$ 는 각각 i 번째 분리단의 물상과 유기상에서 Zr 또는 Hf의 농도(mol/L), f_L 과 f_O 는 각각 물상과 유기상의 흐름량(L/h), m 은 분리단(또는 단)의 수, f_F 는 원료용액공급량(L/h), C_F 는 원료용액에서 Zr 또는 Hf의 농도(mol/L), n 은 원료공급단의 번호이며 이 단을 기준으로 하여 왼쪽의 분리단들은 세척부에 속하고 오른쪽의 분리단들은 추출부에 속한다. 1단으로는 세척용매(질산 또는 질산+염산용액)가 공급되는 한편 제품용액이 배출되며 m 단으로는 추출용매가 공급되는 한편 추출잔액이 배출된다.

정상상태에서 1단과 m 단사이의 물질바란스는 다음과 같다.

정상상태에서 1단과 m 단사이의 물질바란스는 다음과 같다.

$$f_F C_F = f_O C_{1,O} + (f_L + f_F) C_{m,L} \quad (1)$$

그리고 세척부와 추출부의 i 번째 단에서 물질바란스는 다음과 같다.

$$f_O C_{i,O} = f_L C_{i-1,L} + f_O C_{1,O} \quad (i=2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

$$C_{i,O} = p(C_{i-1,O} - C_{m,O}) \quad (i=n+1, n+2, \dots, m) \quad (3)$$

여기서 $p = (f_L + f_F)/(Df_O)$, D 는 Zr 또는 Hf의 분배결수이다.

식 (1)-(3)으로부터 다음식들이 얻어진다.

$$C_{1,O} = \frac{f_F / f_O}{1 + p^{m-n+1} \sum_{k=0}^{n-1} p^k / \sum_{k=0}^{m-n} p^k} C_F$$

$$C_{m,0} = p^{m-n} C_{1,0} \frac{\sum_{k=0}^{n-1} r^k}{\sum_{k=0}^{m-n} p^k}$$

$$C_{i,0} = C_{1,0} \sum_{k=0}^{i-1} r^k \quad (i=2, 3, \dots, n)$$

$$C_{i,0} = p^{i-n} C_{n,0} - C_{m,0} \sum_{k=1}^{i-n} p^k \quad (i=n+1, n+2, \dots, m)$$

여기서 $r = f_L / (Df_0)$ 이다.

모의에서는 $m=10$, $C_{F,Zr}=1\text{mol/L}$, $C_{F,Hf}=0.02\text{mol/L}$, $f_F=0.5\text{L/h}$, $D_{Zr}=2.1$, $D_{Hf}=0.1$ 로 설정하였다.

모의결과 및 고찰

원료공급단위치의 영향 분리단에 따르는 유기상에서 Zr와 Hf의 농도분포는 그림 2, 3과 같다.

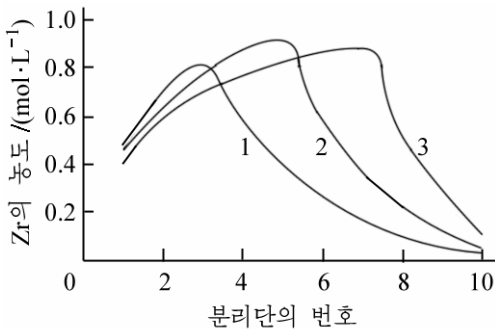


그림 2. 분리단에 따르는 유기상에서 Zr의 농도분포

$f_L = f_0 = 1\text{L/h}$, 1-3은 n 이 각각 3, 5, 7인 경우

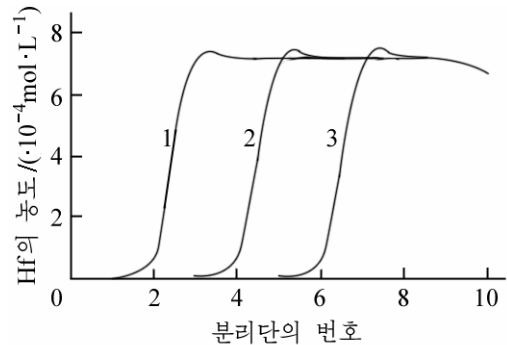


그림 3. 분리단에 따르는 유기상에서 Hf의 농도분포

조건은 그림 2와 같음

그림 2와 3에서 알수 있는바와 같이 유기상에서 Zr 및 Hf농도의 최대값은 원료공급단에서 나타난다. 또한 Zr의 농도는 추출부에서 급격히 감소하며 Hf의 농도는 세척부에서 급격히 증가한다. 그것은 Zr의 분배계수가 1보다 2배이상으로 크지만 Hf의 분배계수는 1보다 훨씬 작기때문이다. 그리고 세척부의 단수가 많아질수록 Zr의 농도는 세척부에서 낮아지고 추출부에서 높아진다.

물상흐름량의 영향 물상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr와 Hf의 농도변화는 그림 4, 5와 같다.

그림 4로부터 물상흐름량이 증가함에 따라 유기상에서의 Zr농도가 세척부에서는 감소하고 추출부에서 증가하는 결과로 추출부와 세척부사이의 농도차가 감소한다는것을 알수 있다. 또한 그림 5로부터 물상흐름량이 증가함에 따라 모든 분리단의 유기상에서 Hf의 농도가 감소하며 특히 물상흐름량이 0.22L/h 이상일 때에는 1단의 유기상에서 Hf의 농도가 매우 낮아진다는것을 알수 있다.

유기상흐름량의 영향 유기상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr와 Hf의 농도변화는 그림 6, 7과 같다.

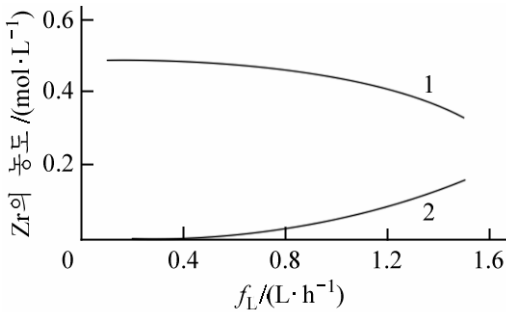


그림 4. 물상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr의 농도변화
 $n=5$, $f_0=1\text{L/h}$, 1과 2는 분리단의 번호가 각각 1, 10인 경우

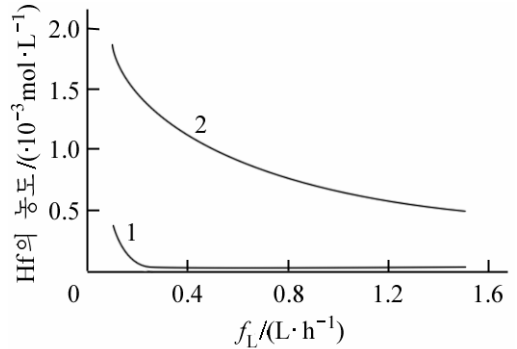


그림 5. 물상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Hf의 농도변화
 조건은 그림 4와 같음

그림 6에서 보는바와 같이 1단의 유기상에서 Zr농도의 최대값은 유기상흐름량이 0.75L/h(따라서 $p \approx 1$)일 때 나타나며 유기상흐름량이 0.6L/h이하인 경우에는 10단에서의 Zr농도가 1단에서보다 높다. 그리고 그림 7로부터 모든 분리단의 유기상에서 Hf의 농도는 유기상흐름량에 무관계하다는것을 알수 있다.

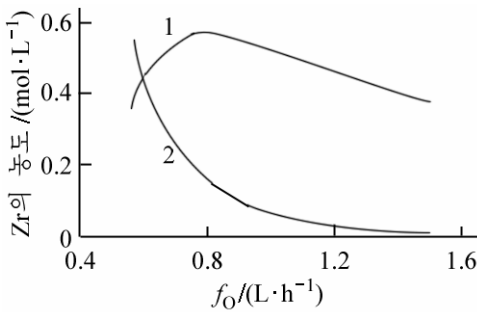


그림 6. 유기상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr의 농도변화
 $f_L=1\text{L/h}$, 기타 조건은 그림 4와 같음

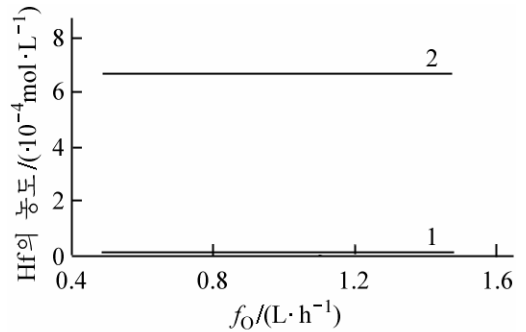


그림 7. 유기상흐름량에 따르는 분리단의 유기상에서 Hf의 농도변화
 조건은 그림 6과 같음

원료용액공급량의 영향 원료용액공급량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr와 Hf의 농도 변화는 그림 8, 9와 같다.

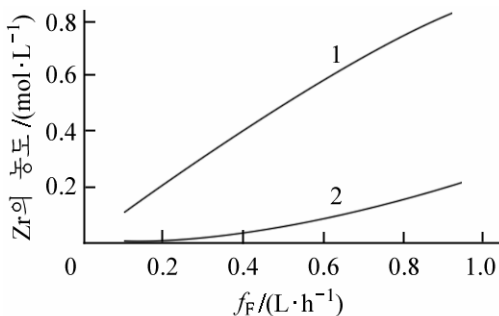


그림 8. 원료용액공급량에 따르는 분리단의 유기상에서 Zr의 농도변화
 $f_L=f_0=1\text{L/h}$, 기타 조건은 그림 4와 같음

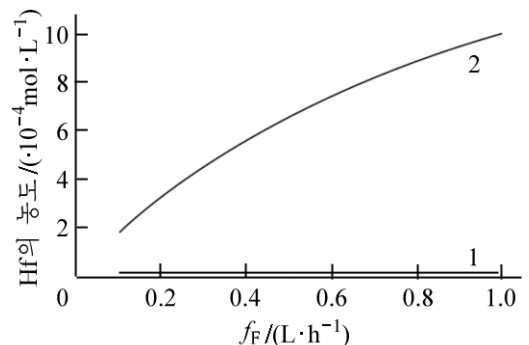


그림 9. 원료용액공급량에 따르는 분리단의 유기상에서 Hf의 농도변화
 조건은 그림 8과 같음

그림 8로부터 원료용액공급량이 증가함에 따라 세척부와 추출부의 유기상에서 Zr의 농도가 증가하며 농도차도 커진다는것을 알수 있다. 그리고 그림 9로부터 원료용액공급량이 증가함에 따라 추출부의 유기상에서는 Hf의 농도가 증가하지만 세척부에서는 일정하다는것을 알수 있다.

맺 는 말

1) Zr와 Hf의 농도는 원료공급단의 유기상에서 가장 높다. 그리고 Zr의 농도는 추출부에서 급격히 감소하며 Hf의 농도는 세척부에서 급격히 증가한다.

2) 물상흐름량이 증가함에 따라 Zr의 농도는 세척부의 유기상에서 감소하고 추출부의 유기상에서 증가하며 Hf의 농도는 모든 분리단의 유기상에서 감소한다. 특히 물상흐름량이 0.22L/h이상일 때에는 1단의 유기상에서 Hf의 농도가 매우 낮아진다.

3) 1단의 유기상에서 Zr의 농도는 유기상흐름량이 0.75L/h일 때 최대로 된다. 그리고 모든 분리단의 유기상에서 Hf의 농도는 유기상흐름량에 무관계하다.

4) 원료용액공급량이 증가함에 따라 모든 분리단의 유기상에서 Zr의 농도가 증가하며 Hf의 농도는 추출부에서 증가하지만 세척부에서는 일정하다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보 화학, 65, 1, 110, 주체108(2019).
- [2] 조광혁 등; 원자력, 4, 5, 주체107(2018).

주체109(2020)년 1월 5일 원고접수

Influences of Some Factors on the Extraction Separation of Zr and Hf in TBP-Aqueous Solution System

Han Kyong Chan, Jo Kwang Hyok

We modeled the process for the multi-stage extraction separation of Zr and Hf in TBP-aqueous solution system. And we theoretically simulated the influences of some factors on the extraction separation of Zr and Hf in case that the distribution coefficients were constant in the separation plates.

Keywords: extraction, simulation