

전해가 없는 아말감(Li)-수용액계에서 리튬동위원소 분리를 위한 카스케드리론: 완전환류의 경우 리튬동위원소농도의 정상상태

한경찬, 리철, 최성근

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 인민경제를 주체화, 현대화, 과학화하는데서 나서는 과학기술적 문제를 성과적으로 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제13권 416페이지)

우리는 전해가 없는 아말감(Li)-수용액계에서 완전환류의 경우 화학농도변화를 동반하는 리튬동위원소분리과정의 정상상태에 대한 수학적모형에 기초하여 동위원소분리에 미치는 ${}^6\text{Li}$ 의 초기농도, 분리단계적, 아말감(Li) 및 수용액의 흐름속도의 영향을 이론적으로 해석하였다.

1. 정상상태에서의 동위원소농도

리튬동위원소분리를 위한 아말감(Li)-수용액계의 카스케드모형은 그림 1과 같다.[1, 2]

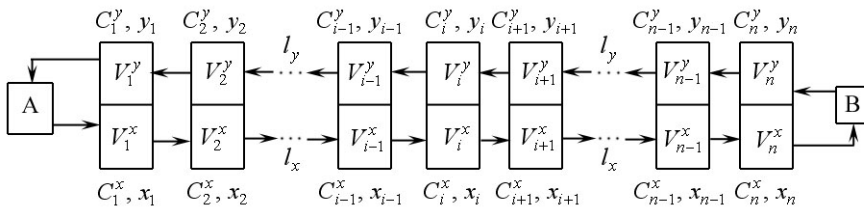


그림 1. 리튬동위원소분리를 위한 아말감(Li)-수용액계의 카스케드모형

여기서 x 는 아말감(Li)상, y 는 수용액상, V_i^x 는 i 번째 분리단의 x 상체적(L), V_i^y 는 i 번째 분리단의 y 상체적(L), C_i^x 는 x 상의 i 번째 분리단에서 Li의 농도(mol/L), C_i^y 는 y 상의 i 번째 분리단에서 LiOH의 농도(mol/L), x_i 는 x 상의 i 번째 분리단에서 동위원소 ${}^6\text{Li}$ 의 몰분률, y_i 는 y 상의 i 번째 분리단에서 동위원소 ${}^6\text{Li}$ 의 몰분률, l_x 는 아말감(Li)상의 흐름속도(L/min), l_y 는 수용액상의 흐름속도(L/min), A와 B는 상전환단이다.

분리단에서 동위원소교환반응은 다음과 같이 진행된다.



정상상태일 때 다음과 같은 식이 성립된다.

$$x_i = y_{i+1} \quad (2)$$

매 단에서 두 상사이에 다음과 같은 조건

$$y_i = \frac{x_i}{\alpha - \varepsilon x_i} \quad (3)$$

이 항상 만족된다고 가정하자. 여기서 α 는 분리계수($\alpha=1.05$)이고 $\varepsilon=\alpha-1$ 이다.

식 (2), (3)으로부터

$$x_i = \frac{\alpha^{i-1} x_1}{1 + (\alpha^{i-1} - 1) x_1} \quad (4)$$

이 계에서 총 ${}^6\text{Li}$ 량을 S 로 표시하면 계는 닫힌 계이므로 S 는 다음과 같다.

$$S = \sum_{i=1}^n (V_i^x C_i^x x_i + V_i^y C_i^y y_i) \quad (5)$$

식 (2)–(4)를 식 (5)에 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$S = \frac{C_1^y V_1^y x_1}{\alpha - \varepsilon x_1} + \frac{\alpha^{n-1} C_n^x V_n^x x_1}{1 + (\alpha^{n-1} - 1) x_1} + \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(V_i^x + \frac{l_x}{l_y} V_{i+1}^y \right) \frac{\alpha^{i-1} C_i^x x_1}{1 + (\alpha^{i-1} - 1) x_1} \right] \quad (6)$$

한편 x 상과 y 상에서 ${}^6\text{Li}$ 의 초기농도를 x_0 으로 표시하면

$$S = \sum_{i=1}^n (V_i^x C_i^x + V_i^y C_i^y) x_0 \quad (7)$$

따라서 식 (6), (7)의 근사풀이로부터 x_1 을 구할수 있다. (C_i^x 와 C_i^y 의 계산방법은 선행연구[3]에서와 같다.) x_1 을 알면 식 (4)로부터 x_i 를 알수 있다.

2. 계 산 결 과

식 (4), (6), (7)의 근사풀이에 기초하여 $n=5$ 인 경우 분리공정에서 기본인자로 되고 있는 x 상의 량쪽 끝단의 농도 즉 x_1 , x_5 와 선행연구[2]에서 제기된 인자들과의 관계를 해석하였다.

계산에 의하면 x_1 , x_5 는 초기 화학농도 (C_0)의 영향을 받지 않는다.

$V_i^x = V_i^y = 100\text{L}$, $l_x = l_y = 1\text{L/min}$, $C_0 = 0.5\text{mol/L}$ 일 때 x_1 , x_5 와 x_0 의 관계는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 x_0 이 증가함에 따라 x_1 과 x_5 는 선형적으로 증가하며 x_0 이 클수록 량쪽 끝단의 농도차는 약간 커진다.

x_5 와 체적과의 관계를 해석한 결과는 그림 3, 4와 같다. 이때 매 상의 체적을 변화시키는 계산조건은 표 1, 2와 같다.

그림 3은 $l_x = l_y = 1\text{L/min}$, $C_0 = 0.5\text{mol/L}$ 일 때

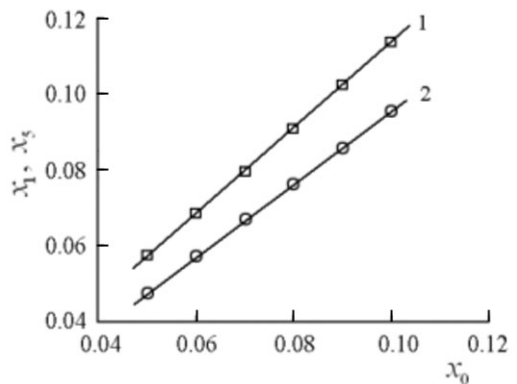


그림 2. x_1 , x_5 와 x_0 과의 관계
1— x_5 , 2— x_1

한 상의 매 분리단의 체적을 100L로 고정시키고 다른 상의 매 분리단의 체적을 같은 크기로 변화시킨 계산결과이다.

약간의 차이는 있으나 두 상의 체적이 같아질 때까지는 두 상의 체적비에 관계없이 두 경우의 값은 비교적 같으며 체적이 100L이상에서는 체적의 증가에 따라 현저한 차이가 있다.

표 1. V_i^y 를 고정시키고 V_i^x 를
변화시킬 때의 계산조건

V_i^x	$\Delta V / L$							
	0	4	8	12	16	20	24	28
V_1^x	100	108	116	124	132	140	148	156
V_2^x	100	104	108	112	116	120	124	128
V_3^x	100	100	100	100	100	100	100	100
V_4^x	100	96	92	88	84	80	76	72
V_5^x	100	92	84	76	68	60	52	44

표 2. V_i^x 를 고정시키고 V_i^y 를
변화시킬 때의 계산조건

V_i^y	$\Delta V / L$							
	0	4	8	12	16	20	24	28
V_1^y	100	92	84	76	68	60	52	44
V_2^y	100	96	92	88	84	80	76	72
V_3^y	100	100	100	100	100	100	100	100
V_4^y	100	104	108	112	116	120	124	128
V_5^y	100	108	116	124	132	140	148	156

그림 4는 $l_x = l_y = 1L/min$, $C_0 = 0.5mol/L$, 한 상은 매 단의 체적을 100L, 다른 상의 체적을 500L로 고정하고 매 단의 체적을 변화시켜 얻은 결과이다.

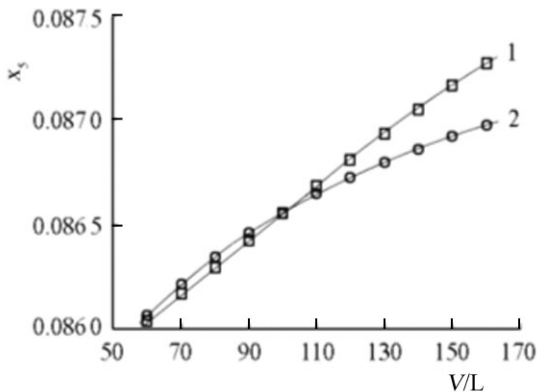


그림 3. 한 상의 체적을 고정시키고 다른 상의
체적을 변화시킬 때 x_5 의 변화
1— y 상의 체적을 고정시키고 x 상의 체적을 변화,
2— x 상의 체적을 고정시키고 y 상의 체적을 변화

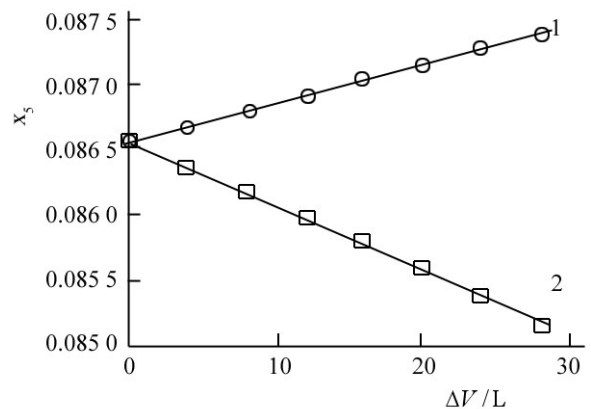


그림 4. x_5 와 ΔV 와의 관계
1—표 1의 조건, 2—표 2의 조건

그림 4의 1은 $V_i^y = 100L$, x 상의 분리단의 체적을 체적차 $\Delta V_i^x = 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28L$ 만큼 감소시켜 얻은 결과이며 2는 $V_i^x = 100L$, y 상의 체적을 체적차 $\Delta V_i^y = 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28L$ 만큼 증가시켜 얻은 결과이다. y 상의 매 단의 체적이 같고 x 상의 분리단들의 체적이 단번호가 커지면서 감소할 때(그림 4의 1) 분리단사이의 체적차가 클수록 농도는 증가한다. 또한 x 상의 매 단의 체적이 같고 y 상의 분리단들의 체적이 단번호가 커지면서 증가할 때(그림 4의 2) 분리단사이의 체적차가 클수록 농도는 감소한다.

$C_0 = 0.5\text{mol/L}$, $V_i^x = V_i^y = 100\text{L}$ 일 때 아말감(Li) 및 수용액의 흐름속도를 동시에 증가시킬 때 x_5 의 변화는 그림 5와 같다. 또한 한 상의 흐름속도를 2L/min 으로 고정시키고 다른 상의 흐름속도를 증가시킬 때 x_5 의 변화는 그림 6과 같다.

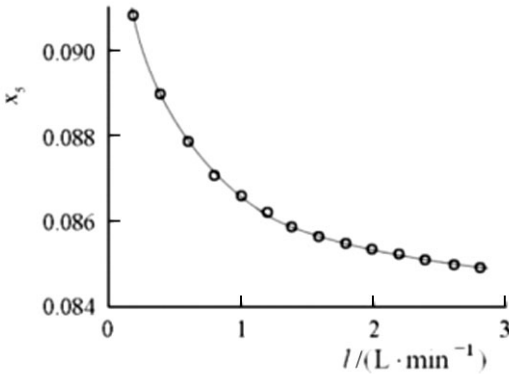


그림 5. 아말감(Li)과 수용액의 흐름속도를 동시에 증가시킬 때 x_5 의 변화

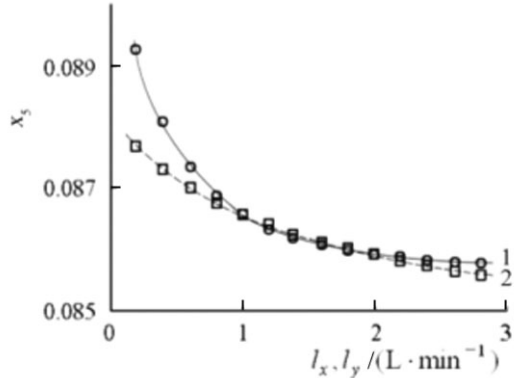


그림 6. 아말감(Li)의 흐름속도와 수용액의 흐름속도를 증가시킬 때 x_5 의 변화
1- I_x 의 영향, 2- I_y 의 영향

그림 5, 6에서 보는바와 같이 아말감(Li)의 흐름속도와 수용액의 흐름속도를 증가시킬 때 x_5 는 지수함수적으로 감소하는데 아말감(Li)의 흐름속도의 영향이 더 크게 나타난다.

맺는 말

x_0 의 증가에 따라 x_1 과 x_5 는 선형적으로 증가하며 x_0 이 클수록 양끝단의 농도차는 약간 커진다. 또한 한 상의 체적을 고정시키고 다른 상의 체적을 변화시킬 때 약간의 차이는 있으나 두 상의 체적이 같아질 때까지는 두 상의 체적비에 관계없이 두 경우의 값은 비교적 같으며 그 이상에서는 체적의 증가에 따라 현저한 차이가 있다.

아말감(Li)의 흐름속도와 수용액의 흐름속도를 증가시킬 때 x_5 는 지수함수적으로 감소하는데 아말감(Li)의 흐름속도의 영향이 더 크게 나타난다.

참고 문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 55, 1, 98, 주체98(2009).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 57, 2, 78, 주체100(2011).
- [3] 김일성종합대학학보(자연과학), 59, 4, 85, 주체102(2013).

주체103(2014)년 7월 5일 원고접수

Cascad Theory for Separation of Lithium Isotope in Amalgam(Li)-Aqueous System without Electrolysis: Steady State of Lithium Isotope Concentration in case of Complete Reflux

Han Kyong Chan, Ri Chol and Choe Song Gun

We theoretically considered the effects of initial ${}^6\text{Li}$ concentration, separation stage volume and flow rate of amalgam(Li) and aqueous that affect isotope separation based on mathematical model for steady state of the separating process of lithium isotope accompanying change in chemical concentration, in case of complete reflux in amalgam(Li)-aqueous system without electrolysis.

Key words: lithium, isotope separation