

## 고밀집 섬유 집합체에 의해 유도된 모세관 현상을 이용한 정적 액-액 접촉장치의 개발과 그 특성 연구

김 광 욱 · 변 기 호 · 이 일 희 · 유 재 형 · 박 현 수

한국원자력연구소

(1996년 3월 29일 접수, 1996년 6월 11일 채택)

### A Study of the Development of Liquid-liquid Static Contactor Using Capillary Phenomena Induced by Highly Packed Fiber Bundle and its Characteristics

Kwang-Wook Kim, Kee-Hoh Byeon, Eil-Hee Lee, Jae-Hyung Yoo, and Hyun-Soo Park

Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-350, Korea

(Received March 29, 1996, Accepted June 11, 1996)

**요 약 :** 본 연구에서는 고밀집 섬유 다발체 내에 수용상과 유기상을 동시에 주입시켜 나타나는 모세관 현상을 이용하여 최소 공간에서 최대한의 물질 전달 면적을 갖게 한 정적 액-액 접촉 장치가 개발되었다. 이 장치의 특성과 안정성을 평가하기 위해 TBP와 우라닐 이온을 함유한 질산계의 연속 추출 실험이 수행되었으며, 추출 성능은 동일 상비 조건에서 수행된 회분식 성능과 동일하였다. 초기 수용액에 대한 추출 수율을 증가 시키기 위해서는 일정한 수용액 유속에서 유기상의 유속 증가가 필요하였고, 같은 상비 조건의 회분식의 추출수율을 갖기 위해서는 수용액이 장치 내에서 일정한 체류 시간을 유지해야함을 알 수 있었고 본 추출계에서는 약 1.9분이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발된 고 밀집 섬유체 접촉기는 안정성과 재현성이 뛰어 났으며, 일반 물질 분리용 뿐만 아니라, 액-액계면 넓고 안정되어 있어 용매 추출 속도론 해석에도 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

**Abstract:** A new static contactor using capillary phenomena induced by a highly packed fiber bundle was developed for the solvent extraction. When two immiscible phases being cocurrently and forcedly fed into the packed fiber bundle, the contactor brings about a very large liquid-liquid contact area for mass transfer within a small definite space without any turbulence and drop phenomena. In order to test the characteristics and stability of the static contactor system, continuous extraction experiments of TBP-uranyl ion-nitric acid system were done and compared with the batch extraction experiment of the same chemical system. The performance of the static contactor were the same as that of the ideal batch extractor with the same extraction condition. For the increase of the extraction yield by the contactor, the increase of organic flow rate was required at a fixed aqueous flow rate, and a certain residence time of the aqueous phase flow within the contactor system had to be maintained to meet the performance of the batch system of the same phase ratio. The residence time in the case of TBP-uranyl ion-nitric acid system was about 1.9 minutes. This system was confirmed to be effective and stable enough for purposes of the kinetic study of solvent extraction as well as the mutual separation and purification of ordinary materials because of good reproducibility and the stable and large static liquid-liquid contact area.

## 1. 서 론

어떤 물질의 분리나 정제를 위해서는 그 물질이 존재하는 액상으로부터 그 대상 물질에 대한 화학적 또는 물리적 성질이 다른 상으로 옮겨 두 액상에 대한 대상 물질의 분배차 (Distribution difference)를 이용하는 액-액 추출, 즉 용매추출법(Solvent extraction)이 사용된다. 이러한 분리 기법은 정련 공정에서 원광으로부터 각종 무기 금속 물질 회수와 석유화학 공업, 의약품 생산 공정 등에서 유기 물질 등을 분리하기 위해 다양한 방법으로 사용되고 있으며, 원자력 산업의 선, 후행 핵연료 주기(Front-end and back-end nuclear fuel cycle) 공정에서도 없어서는 안될 분리기법으로 사용되고 있다[1-4]. 이러한 용매 추출을 수행하기 위해서는 통상 물리적 교반방법에 의해 한 액상을 다른 액상에 액적 형태로 분산시키므로서 액-액간의 물질전달 면적을 최대화하는 과정이 필요하다. 이러한 교반 방법으로는 단순한 임펠러(Impeller)를 갖는 교반기로부터 Mixer-Settler [1, 4, 5], 회전판 접촉기(Rotating disc contactor)[1, 6, 7], Oldshue-Rushton 교반기[1, 8], Küni 추출기 [1, 7], 원심분리법을 사용하는 AKUFVE 추출기[1, 9, 10] 및 맥동 추출기(Sieve-plate pulsed column) [1, 4, 11, 12] 등과 같이 기계적 구동에 의해 발생된 힘에 의해서 액적을 분산하는 방법이 있다. 자기 이러한 방법은 그 구조에 따른 장단점이 있으나, 이들은 대체로 구조가 복잡하고 크기가 커 작은 규모의 용량 처리에는 부적당하고, 대체로 장치 제작비가 크다. 또한 장시간 사용시 기계적 고장에 따른 유지 보수의 장애가 있어 방사성 물질을 다루는 분위기의 원자력 산업에 응용하기에는 다소 어려운 점이 있다. 기계적 구동 부분을 사용하지 않아 비교적 구조가 단순한 교반 장치로는 액적 분산탑(Spray column)[1, 13]과 충전탑(Packed column)[1, 14] 등이 있다. 한 상에 단순히 다른 상을 분산시키는 액적 분산탑은 단위 부피 당 높은 액-액 접촉면적을 갖기가 곤란하고, 액적 분산탑을 보완한 고형 충전물을 내장 시킨 충전탑은 물질전달 속도는 증진 시키나 충전물에 의한 흐름 공간이 줄어 처리속도가 크게 떨어지며 쉽게 익류(Flooding)현상이 발생할 수 있다. 기계적 구동 부분을 갖지 않는 또 다른 교반 장치로는 공간이 비어있는 파이프 형태나, 또는 90° 각도로 변갈아가며 접속된 나선형의 구조물을 갖는 파이프 추출기인

Kenics 교반기가[1, 15] 있다. 이들은 모두 두 액상이 병류로 흘러 향류 접촉기에서 발생하는 익류 현상이 없으며, 구조가 간단하고, 제작비가 저렴하다. 이러한 추출기에서는 물질전달 과정 중에 가장 중요한 변수 중에 하나인 액적의 크기 분포가 탱크 형태의 교반기에서 나타나는 액적 분포에 비하여 균일하고, 용액의 체류 시간이 거의 일정하여 용액의 흐름 형태는 플러그(Plug) 흐름에 가깝게 묘사될 수 있는 특징이 있다.

위에서 기술된 거의 모든 액-액 교반 장치 내에서의 교반 과정은 액상간의 밀도차와 계면장력에 따른 액상이 다른 액상에 구형으로 분산되는 것으로 액적의 합체와 깨짐 현상이 반복적으로 일어난다. 따라서 이러한 장치 내의 물질전달 특성 연구를 하기 위해서는 복잡한 유체의 수력학적 연구가 동반된다. 또한 대부분의 교반 자체가 중력장 하의 밀도차에 관련되어 이들 장치들은 수직형으로 세워지게 된다.

본 연구에서는 일정한 길이의 탑(Column) 내에 섬유체를 밀집시켜 여기에 비 혼합형 두 액상을 동시에 병류 방향으로 주입시키므로써, 이 섬유체에 의해 유도되는 모세관 현상에 의해 두 액체가 각각 하나의 연속체를 유지하며 접촉하게 하여 용매추출이 가능케 하는 장치가 개발되었다. 이 장치는 정적(Static) 액-액 접촉 장치로 지금까지 발표된 교반기와는 전혀 다른 원리와 구조로, 장치 제작과 그 구조가 비교적 간단하며, 기존의 어떠한 장치보다 단위 공간에서 액-액간의 접촉을 극대화시키는 장치로서 본 연구에서는 개발된 장치의 구조 특성과 동작 특성에 관한 연구가 수행되었다. 또한 본 연구는 수은 모세관 다발체 전극 전해제[16, 17]를 이용한 전해/용매추출 시스템 개발에 필요한 물질전달 특성에 관한 선행 연구로서도 필요하다.

## 2. 고밀집 섬유체에 의한 정적 액-액 접촉기의 개념

본 연구에서 개발된 고밀집 섬유체에 의한 액-액 접촉 장치의 기본 개념은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 일정한 길이의 탑 내에 대단히 높은 밀도로 밀집된 극세 섬유 모세관 다발체에 한 유기 액상을 그 유기상의 표면장력과 그 유기상이 섬유 다발체를 통과 할 시 발생하는 견인력(Drag force)을 증가하는 충분한 압력으로 주입하는 경우, 유기상은 섬유체 내에 형성된 무수히 많은 길이 방향의 세공 내에서 모세관 현

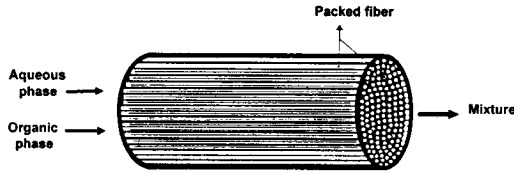
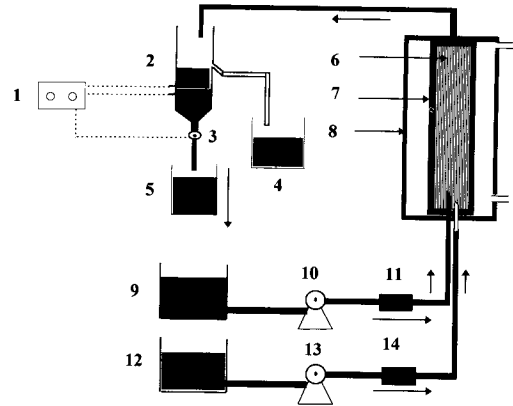


Fig. 1. Schematic diagram of liquid-liquid static contactor using capillary phenomena induced by a highly packed fiber bundle.

상이 일어나 섬유 다발체 내에 연속성을 유지하면서 매우 얇은 박막으로 넓게 퍼진다. 그리고 섬유 다발체에 유기상의 주입과 동시에 추출될 물질을 함유한 수용액을 주입하면 수용액도 밀집된 섬유체 내에서 유기상과 같이 모세관 현상에 의해 섬유 다발체 내에 넓게 박막으로 퍼지게 되므로 섬유 다발체 내에서 유기상과 수액상은 물질전달에 필요한 접촉 면적을 넓게 형성하게 된다. 섬유체 모세관 내의 두 액상은 극히 작은 두께로 접촉되고 있어 물질전달 과정시 생성되는 액-액 계면에서의 농도 구배층은 거의 무시할 만큼 작으며, 형성된 계면은 접촉기의 전체에서 길이 방향의 섬유 고정체 내에서 일정하게 유지되어 흐름 자체는 역 혼합 현상(Back mixing)이 거의 없는 완벽한 프러그 흐름을 형성할 것으로 생각된다. 이러한 장치는 액-액 계면이 일정하고 안정하므로, 용매 추출용으로 뿐만 아니라 물질전달 속도론 해석에도 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 생각된다. 또 이 장치의 특징의 하나는 장치내의 액-액 교반이 두 액상간의 중력장 하의 밀도차에 무관한 섬유체 모세관 현상에 의해 유도되므로 이 장치는 꼭 수직 방향 뿐만 아니라 어떠한 방향으로도 위치할 수 있다는 것이다.

섬유체 모세관 다발체를 제조하기 위해서 사용되는 섬유는 유기상과 수용액의 화학계에 대해서 안정되고, 일정한 관 내에서 극세 모세관을 형성하도록 충분히 가늘어야 하며 관 내에서 두 수용상이 모세관 형으로 잘 발달하게 하기 위해 관 내의 단위 면적 당 일정한 수 이상의 섬유 가닥 수를 유지하는 것이 필요하다.

섬유체 모세관 다발체 접촉기 내에서 이루어지는 물질전달 과정은 두 액상의 상비(Phase ratio)와 용액의 장치 내 체류 시간에 영향을 받게 된다. 이 체류 시간은 일정한 길이의 접촉기에서는 용액의 유속에 의해 또는 일정한 유속에서는 접촉기의 길이에 의



- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Interface level controller | 2. Organic/aqueous separator |
| 3. Solenoid valve             | 4. Organic raffinate tank    |
| 5. Aqueous raffinate tank     | 6. Fiber bundle              |
|                               | 7. Pyrex tube                |
|                               | 8. Water jacket              |
| 9. Aqueous storage tank       | 10. Aqueous pump             |
| 11. Aqueous flow controller   | 12. Organic storage tank     |
| 13. Organic pump              | 14. Organic flow tank        |

Fig. 2. Liquid-liquid static contactor system using capillary phenomena induced by a highly packed fiber bundle.

해 조절될 수 있다.

### 3. 장치 및 실험방법

Fig. 2에는 본 연구에서 사용된 고밀집 섬유 집합체에 의해 유도된 모세관현상을 이용하는 정적 액-액 접촉기를 이용한 연속식 용매추출 공정도가 나타나 있다. 고밀집 섬유체는 내경 8.8mm Pyrex 유리관에 폴리에스터 섬유(40s/2) 약 1,500가닥을 밀집시켜 5.8, 7.8, 12.8, 18.8cm의 길이별로 제작하였으며, 실험 중  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  항온을 유지하기 위해 Pyrex 외벽에 Water jacket을 부착시켰다. 고밀집 섬유체에 주입되는 두 액상의 유속은 연속 추출 특성에 영향을 미치므로 정량 미량 급액 펌프와 유량계에 의해 정밀하게 제어 되었으며, 고밀집 섬유체를 나오는 두 혼합 액상은 솔레노이드 밸브와 수위 조절기에 의해 조절되는 액/액 분리기에 의해 유기 추산상과 수용 추산상으로 분리되었다. 고밀집 섬유체 접촉기를 나오는 혼합 유화물(Emulsion)의 정확한 액-액 상비는

Table 1. Experimental Parameters and their Ranges

Parameters	Phase ratio (Org./Aq.)	Aqueous flow rate (ml/min)	Organic flow rate (ml/min)	Column length (cm)
Ranges	0.1~2.0	0.5~9.3	0.2~2.8	5.7~18.8

정밀한 메스실린더를 사용하여 측정되었다.

본 연구계의 동작 특성을 평가하기 위해 선택된 액-액 추출계는 수용상으로는 5.0g/l의 우라닐 이온 ( $UO_2^{2+}$ )을 함유한 2.0M 질산계이며, 유기상으로는 dodecane에 추출제인 30 vol.% TBP(tri-butyle phosphate)을 갖는 계였다. TBP와 우라닐 이온의 추출 반응은 대체적으로 매우 빠른 반응으로 다음과 같이 표현되며 이에 관련한 많은 자료가 이미 발표된 상태이다[4, 18].

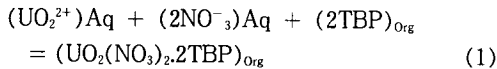


Table 1에는 본 실험에서 사용된 실험 변수와 범위가 나타나 있다.

본 연구의 연속식 추출 장치에 의한 성능 평가를 위해 같은 조건의 액-액계의 회분식 추출 실험이 수행되었다. 회분식 실험의 상비는 1.0이었고 자석식 교반기를 사용하여 10분 동안 격렬히 교반된 후 수용상의 우라닐 이온 농도가 분석되어 섬유체 접촉기에 통과한 수용액 중의 우라닐 이온 농도와 비교되었다. 우라닐 이온 농도 분석은 Spectro-photometer (Shimadzu Model UV-160A)을 사용하여 우라닐 이온의 최대 흡광도를 보이는 414.6nm에서 얻어진 우라늄 농도 표준 검정곡선을 통해 수행되었다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 3에는 길이 12.8cm의 고밀집 섬유 집합체에 의한 수용상 유속 0.67, 1.0, 1.5, 1.67ml/min 각각에 대해서 상비의 변화 즉 유기상 유속 변화에 따른 추출 수율(Extraction yield:  $(C_{Aq,ini} - C_{Aq, raffinate})/C_{Aq,ini} \times 100$ )의 변화가 나타나 있다. 전체적으로 상비의 증가, 즉 유기상의 유속의 증가할 수록 추출 수율이 증가함을 볼 수 있다. 수용상 유속이 일정한 상태에서 상비가 증가하면 수용상과 접하는 유기상의 자유 TBP와의 접촉 기회가 증가하므로, 추출능이 증가하여 전체적 추출 수율은 증가하게 된다. 용매 추출계

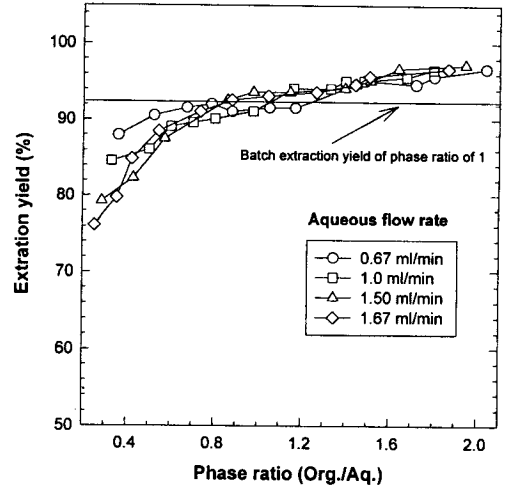


Fig. 3. Column extraction yield with a change of phase ratio at several aqueous flow rates.

$C_{Aq,ini} U(VI) : 5g/l$  in 2.0 N  $HNO_3$ , Column length : 12.8cm

에서 추출 수율을 상비와 분배계수로 표현하면 다음과 같다.

$$E_{yield} = \frac{D \times \text{Phase ratio}}{D \times \text{Phase ratio} + 1} \quad (2)$$

여기서 D는 분배계수로 상비(유기상 부피/수용상 부피)가 1일 때 추출 후 수용상의 농도에 대한 유기상의 농도이다. 연속식 추출계에서는 상비는(유기상의 유속/수용상의 유속)로 표현될 수 있다. 따라서, 식(2) 관점에서 보면 상비가 증가하면, 추출 수율은 1을 향하여 완만히 접근하고, 이는 Fig. 3의 실험 경향을 설명할 수 있다. 상비를 1로 했을 경우의 회분식 용매 추출 실험으로부터 우라늄의 추출 분배 계수는 약 13.51을 얻었으며 이 값은 문헌[4, 18]에 나오는 값과 거의 일치하고, 이때 추출 수율은 93.1%이다. 두 액상의 유속 비가 1근처일 때 본 연구 장치에 의한 추출 수율은 회분식 추출 수율 값과 일치하는 것을 볼 수 있다. 이는 본 연구에서 개발된 고밀집 섬유 집합체 의한 추출 장치는 이상적 교반(ideal mixing)의 성능을 보이는 것으로, 본 연구 장치가 이상적 회분식 교반에 버금가는 충분히 넓은 액-액 접촉 면적을 발생시키는 것을 알 수 있다.

Fig. 4에는 여러 수용상 유속에서 상비에 따른 본 연구 장치에 의한 추출 수율과 같은 상비 조건에서

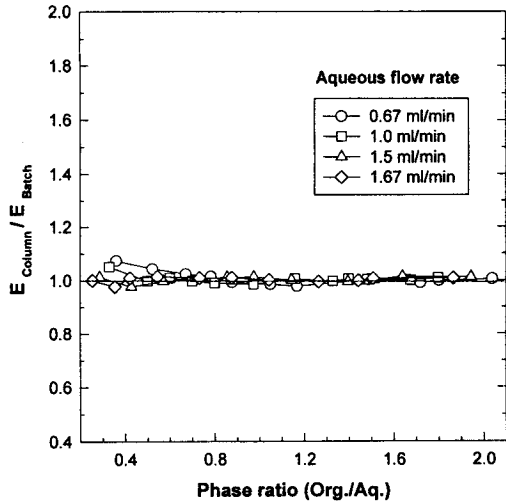


Fig. 4. Ratio of the column extraction yield to the batch extraction yield with a change of phase ratio at several aqueous flow rates.

$C_{Aq. ini. U(V)} : 5g/l$  in  $2.0 N HNO_3$ , Column length :  $12.8cm$

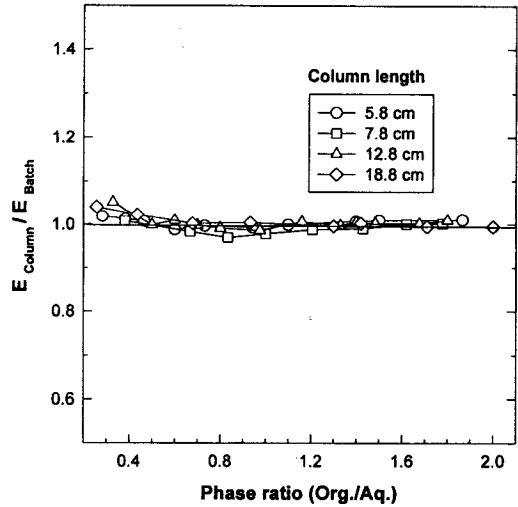


Fig. 5. Ratio of the column extraction yield to the batch extraction yield with a change of phase ratio at several column lengths.

Aqueous flow rate :  $1.0ml/min$ ,  $C_{Aq. ini. U(V)} : 5g/l$  in  $2.0 N HNO_3$

회분식 추출 수율의 비가 나타나 있다. 본 연속식 추출계에서는 두 액상이 병류 접촉을 하므로 추출 수율은 최대 회분식 실험 결과를 넘지 못한다. 두 추출 수율의 비가 전체 상비 조건에서 거의 정확히 1 값을 보인다. 낮은 상비에서 일부 실험 결과가 1을 다소 크게 넘는 것은 연속식 실험시 상비 측정에서 발생된 오차에 기인한 것으로 생각된다. Fig. 4의 결과는 길이  $12.8cm$ 의 접촉기를 사용할 때 Fig. 4의 수용액의 유속 범위에서는 충분히 이상적 추출을 연속적으로 수행할 수 있다는 것을 보이는 것이며, 이는 본 연구에서 사용된 추출계가 평형 상태에 이를 만큼의 충분한 체류 시간을 제공한다는 것을 보이는 것이다. 다시 말해서  $12.8cm$  길이의 접촉기에서 유기상의 변화에 따른 추출 수율이 회분식 실험 결과보다 떨어지지 않고 같다는 것은 현재 사용된 수용상 유속이 아직 충분히 낮아 수용상이 접촉기를 통과하기 까지 추출 평형에 이를 만큼의 장치 내 체류 시간을 제공하는 것을 의미한다.

Fig. 5에는 수용상 유속을  $1.0ml/min$ 으로 고정하였을 때 여러 접촉기 길이에서( $5.8, 7.8, 12.8, 18.8cm$ ) 상비 변화에 따른 본 연구 장치에 의한 추출 수율과 같은 상비 조건에서 회분식 추출 수율의 비가

나타나 있다. Fig. 4의 실험 결과와 같이 전 상비 변화에 대해서 추출 수율의 비는 거의 1 값을 보인다. 이는 본 조건의 수용상 유속이 아직 낮아 사용된 모든 접촉기 길이 내에서 우라늄 추출 반응이 평형에 이를 만큼의 충분한 접촉 시간이 유지된다는 것을 의미하는 것이다. 따라서 각 접촉기 길이에서 어느 이상의 수용상 유속에서부터 회분식 실험 결과와 차이는 지극, 평형에 도달하기 위해 최소한 얼마 만큼의 접촉 시간(즉 체류 시간)이 필요한가를 측정해야 한다.

Fig. 6에는 일정한  $1.2ml/min$  유기상 유속에서 각 접촉기에서 수용상 유속 변화에 따른 본 연구 장치에 의한 추출 수율과 같은 상비 조건에서 회분식 추출 수율의 비가 나타나 있다. 접촉기 길이가 짧은 경우, 즉 접촉기의 길이가  $5.8cm$ 의 경우 수용상 유속이 약  $3ml/min$  이상으로 증가함에 따라 추출 수율의 비 1로부터 크게 벗어나기 시작하고, 접촉기의 길이가 긴 경우 즉, 접촉기의 길이가  $18.8cm$ 의 경우는 높은 수용상 유속이  $6ml/min$  이상에도 그 추출 수율의 비가 1을 유지함을 볼 수 있다. 수용상 유속이 점차 줄어들어 따라 각 접촉기에서 추출 수율의 비는 모두 1에 접근하는 것을 볼 수 있다. 추출 수율이 1을 보이

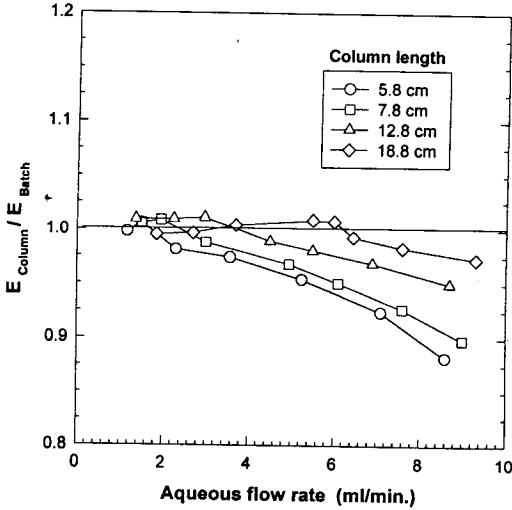


Fig. 6. Ratio of the column extraction yield to the batch extraction yield with a change of phase ratio at several column lengths.  
Organic flow rate : 1.2ml/min,  $C_{Aq. ini. U(VI)}$  : 5g/l in 2.0 N  $HNO_3$

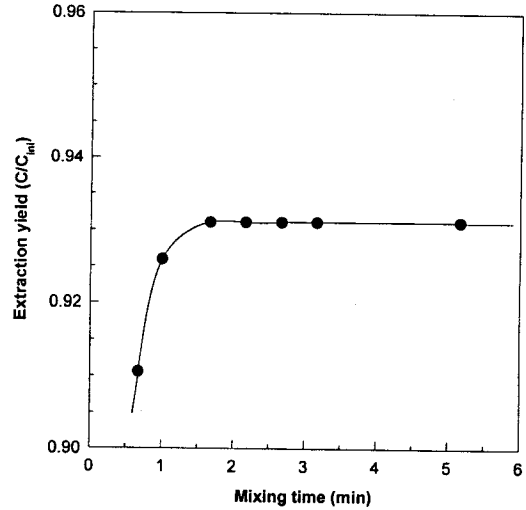


Fig. 8. Batch extraction yield of U(VI) with a change of mixing time.  
 $C_{Aq. ini. U(VI)}$  : 5.0g/l in 2.0 N  $HNO_3$ ,  $C_{Org. ini.}$  : 30 Vol.% TBP, Phase ratio : 1.0

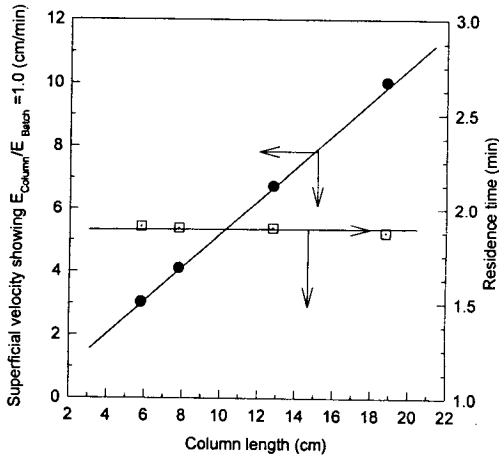


Fig. 7. Superficial velocities showing  $E_{Column}/E_{Batch} = 1.0$  and their residence times with a change of column length.

기 시작하는 수용상 유속은 접촉기 길이가 길어짐에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 추출기 길이가 긴 경우는 높은 수용상 유속에서도 추출 평형에 도달하기 위한 충분한 체류 시간을 제공한다는 것을 의미하는 것이다.

Fig. 7의 좌측에는 접촉기 길이에 따른 Fig. 6에서 두 추출상비가 1에 도달하는 수용상 유속을 추출기 단면적으로 나눈 공탐속도(Superficial velocity)의 변화가 나타나 있고 우측에는 이때의 수용액의 접촉기 내 체류 시간(접촉기 길이/공탐 속도) 변화가 나타나 있다. 회분식 추출 성능을 보이는 연속식 추출 장치의 수용액 유속은 접촉기 길이에 따라 일정하게 증가함을 볼 수 있고, 그때 각 접촉기 내의 체류 시간은 거의 정확히 약 1.9분임을 보인다. 이 값은 우라늄-TBP추출 반응은 약 1.9분내에 평형에 도달한다는 것을 보이는 것이다. Fig. 3에서부터 Fig. 7 결과를 종합해 보면 초기 수용액 농도에 대한 추출 수율만을 높이기 위해서는 일정 수용상 유속에 대해서 상비 즉 유기상의 유속 증가가 필요하고, 같은 상비 조건에서 본 연구 추출 장치가 회분식 조건의 추출 성능을 보이기 위해서는 그 장치 내에서 수용액이 일정한 체류 시간 이상을 유지해야 한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8에는 Fig. 7에서 얻어진 추출 평형에 도달하는 시간을 확인하기 위해서 상비 1의 회분식 추출 실험에서 시간에 따른 수용상의 농도 변화, 즉 추출 수율의 변화가 나타나 있다. 추출 수율은 약 1.7분 전후에서 거의 정상상태(Steady state) 값 즉, 초기 수용

액 농도의 약 93%에 도달한 후 더 이상 변화 하지 않는 것을 볼 수 있다. 이 값은 Fig. 3의 추출 결과와 거의 같은 값이다. 정상상태에 이르는 약 1.7분은 추출 평형에 도달한 시간으로 생각할 수 있고, 이 값은 Fig. 7에서 얻은 추출 평형 시간 값과 거의 유사하다.

따라서 이러한 일련의 실험 결과로부터 본 연구에서 개발된 고밀집 섬유 집합체에 의해 유도된 모세관을 이용한 정적 액-액 접촉 장치는 그 특성 때문에 수직 방향이 아닌 어떠한 방향으로도 놓이면서 작은 공간 내에서 연속적으로 회분식 교반 과정에서 보이는 액-액 접촉 면적 이상을 발생시킬 수 있으며, 장치 내의 액-액 계면은 난류 유동이 없이 안정한 상태로 유지되고 있어 본 액-액 접촉장치는 추출 속도론 해석에도 쓰일 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구팀에서는 현재 이 장치와 관련해 더 연구되어야 할 장치의 특성, 즉 정확한 접촉 면적의 측정 및 장치 내의 동 특성 등의 연구를 계속 진행하고 있으며, 이 장치가 응용될 수 있는 분야를 찾기 위한 연구를 수행하고 있고 이에 관해 계속 발표할 예정이다.

## 5. 결 론

1. 수용상과 유기상을 고밀집 섬유 다발체 내에 동시에 주입시켜 최소한의 공간에서 충분히 넓은 물질 전달 면적을 유지하도록 고안된 정적 액-액 접촉기의 안정성과 재현성은 좋았다.

2. 같은 상비조건에서 본 연구 장치의 추출 성능은 회분식 추출 장치의 성능과 동일하였다.

3. 초기 수용액 농도에 대한 추출율을 증가 시키기 위해서는 수용상에 대한 유기상의 유속 증가가 필요하고, 상비 조건이 같을 때 회분식 추출에서 보이는 추출 수율을 유지하기 위해서는 수용액이 일정한 체류 시간을 유지해야함을 알 수 있었고, 우라늄-TBP 계에서 이 시간은 약 1.9분임을 알 수 있었다.

4. 본 연구 장치는 여러 물질의 분리용 뿐만 아니라 용매추출 속도론 해석에도 유용하게 쓰일 수 있음을 보였다.

## 참고문헌

1. Teh C. Lo, Malcolm H. Baird, and Carl Hanson,

“Handbook of Solvent Extraction”, Hohn Wiley & Sons, N. Y.(1983).  
 2. L. Rydberg, C. Musikas, and G. R.Choppin, “Principles and Practices of Solvent Extraction”, Marcel Dekker. Inc., N. Y.(1992).  
 3. A. S. Kertes and Y. Marcus, “Solvent Extraction Research”, Wiley-Interscience, N. Y.(1969).  
 4. M.Benedit, T.H.Pigford, and H.W.Levi, “Nuclear Chemical Engineering”, Second Ed., McGraw-Hill Book Co.(1981).  
 5. J. B. Scuffham, *Chem. Eng.*, July, 328(1981).  
 6. T. Borrekk et al. *Chem. Eng. Sci.*, **29**, 1315 (1974).  
 7. J. Ingham, J. R. Bouren, and A. Mögli, “Proceedings of the International Solvent Extraction Conference 1974”, Vol. 2, 1299, Society of Chemical Industry, London(1974).  
 8. S Weiss, R. Würfel, *Chem. Technik*, **27**, 442 (1975).  
 9. J. Rydberg, *Acta Chem. Scand.*, **23**, 647(1969).  
 10. J. O. Lilljenzin, *J. Stary, J. Inorg. Nucl. Chem.*, **32**, 1357(1970).  
 11. G.Sege, F.W.Woodfield, *Chem. Eng. Progr.*, **50**, 396(1954).  
 12. R. L. Bell and A. L. Badd, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Devel.*, **8**, 392(1969).  
 13. I. Kmosawa, Ingham, *Chem. Eng. Sci.*, **33**, 541 (1978).  
 14. J.S. Eckert, *Hydrocarbon Process*, **55**, 117(1976).  
 15. S. J. Chen and A. R. MacDonald, *Chem. Eng.*, **80**, 105(1973).  
 16. K. W. Kim, E. H. Lee, Y. J. Shin, J. H. Yoo, and H. S. Park, *J. of Korean Ind. & Eng. Chem.*, **7**, 228(1996).  
 17. K. W. Kim, E. H. Lee, Y. J. Shin, J. H. Yoo, and H. S. Park, *J. Electrochem. Soc.*, to be printed (1996).  
 18. W. W. Schulz, J. D. Navratil, A. E. Talbot, “Science and Technology of Tributyl Phosphate”, Vol.I, Vol. III, CRC Press Inc., Florida(1984).