韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.515~518 KSPE 01F129

분리 웨어의 상하 조절과 전향판을 이용한 유기상 원심추출기 개발

Development of centrifugal extractor for organic phase extraction using a height controlled separation weir and a divert plate

김영환, 윤지섭, 정재후, 홍동희, 박기용
한국원자력연구소

Young-Hwan Kim, Ji-Sup Yoon, Jae-Hoo Jung, Dong-Hee Hong, Gee-Yong Park
(Korea Atomic Energy Research Insitute)

Abstract

Resident time of the centrifugal extractor for organic phase extraction using a height controlled separator weir and a divert plate is the important factor that affects significantly the chemical material extraction and the productivity in the chemical and mechanical processes. In this paper, it describes the design of the device for extraction of an organic phase from radioactive wastes, and considers phase separating weir and divert disk, both being designed to be adjustable in their positions, for effectively separating an organic phase. A height-adjustable separating weir unit used for separating the organic phase from the aqueous phase using a phase separating weir and designed to control the height of the separating weir as desired so as to allow the weir to be positioned at a boundary layer between two separated phases. The centrifugal extractor controls satisfactorily the mixed reaction time of two phases within the separator regardless of the variations of the mixing ratio of the two phases and the rotating speed of the separator. The liquid divert plate, used for increasing the centrifugal force of the extractor, is designed to be adjustable in its position in the vertical direction, thus allowing the user to appropriately select the mixed reaction time of the two phases within the extractor as desired. From development of a centrifugal extractor, it can effectively recover such usable elements, and preferably reducing the output quantity of radioactive wastes.

Key Words : Centrifugal Extractor, Divert plate, Separating weir, Mixing time

1. 서론

본 논문은 원자력 발전소에서 사용하고 난 사용후 핵연료의 누적량을 감소시키기 위하여 사용후핵연료의 처리 후 발생하는 방사성 폐액으로부터 백금족원소 등의 유용원소와 화학적 독성이 강한 고방사성 물질들을 혼합반응을 통하여 유기상액체로 추출하는 원심분리 설계에 대한 연구이다. 본 연구의 목적은 기존의 장치가 가지고 있는 단점 즉, 고정된 혼합 반응시간을 임의로 조절함으로써 분리조건에 맞추기 위해서 여러 대의 장치를 제작하는 문제점을 해결하는 데 있다. 본 장치는 높이 조절이 가능한 분리웨어와 전향판의 개발로 추출 원소의 대상에 관계없이 체류시간을 변화시킬 수 있다. 따라서 추출 효율을 높이기 위해 다단형 원심추출기로 체류시간을 조절하는 장치를 사용하지만, 본 연구는 회전수와 무관하게 체류시간을 임의대로 조절할 수 있게 함으로써 분리조건에 맞는 장치를 일일이 제작하는 문제점을 해결하며 분리효율을 향상시키고, 분리 비용을 대폭 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 즉, 개발된 장치는 유기상 액체와 수용상 액체가 회전속도와 두 액상의 혼합비에 따라 변화하는 경계층 위치에 분리웨어의 높

이를 맞출 수 있도록 하고, 두 액체의 원심력을 가중시키는 전향판의 위치를 수직 방향으로 조절함으로써 혼합 반응시간을 적절히 선택할 수 있도록 설계되었다. 이와 같은 설계요건을 산업에 적용할 경우, 원자력 산업 분야나 극환 환경의 유해물질에서 다양한 유용원소를 높은 효율로 분리/추출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 본론

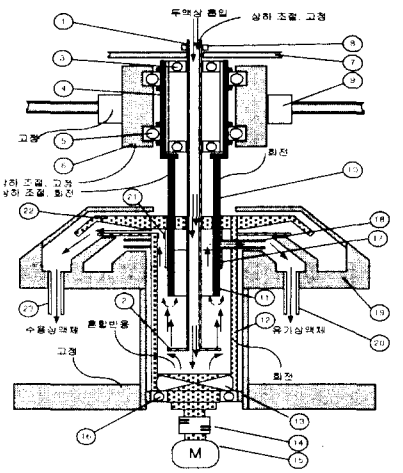
2.1 실험 목적

본 연구의 원심 추출장치는 기존의 장치에서는 고정되어 있는 분리웨어와 전향판의 위치를 조절할 수 있도록 함으로써, 유기상 물질과 수용상 물질이 임의의 비율로 혼합된 방사선폐액으로부터 유기상 물질의 분리효율을 높일 수 있도록 한다. 즉, 유기상 물질과 수용상 물질이 혼합된 유체를 회전시키면 원심력과 두 물질의 비중의 차에 의하여 두 물질이 분리되는 데, 이때 분리웨어를 유기상과 수용상 물질이 분리되는 지점에 위치시킬 수 있도록 함으로써 혼합비에 관계없이 유기상 물질을 분리할 수 있다. 즉, 기존의 장치가 분리웨어의 높이가 고정되어 한 가지의 혼합비를 갖는 물질에만 사용할 수밖에 없는 단점을 해결한다. 뿐만 아니라 개발된 장치는 두 가지 액상이 분리되기 전까지의 시간인 체류시간(혼합 반응시간)을 임의대로 조절할 수 있다. 즉, 유기상 물질과 수용상 물질의 혼합 반응하는 시간이 길면 유기상과 수용상 물질의 에멀젼 현상으로 두 액상의 분리효율이 떨어지고, 반대로 혼합 반응시간이 짧으면 유용원소의 추출효율이 떨어지는 문제점이 있는데, 본 논문에서는 전향판의 위치를 수직 방향으로 조절 가능하게 함으로써 유기상과 수용상 물질이 장치내의 체류하는 공간의 부피를 조절하여 두 가지 물질이 혼합 반응시간을 임의대로 조절할 수 있도록 하였다.

2.2 장치 설계

원심 추출 장치의 전체 구성

높이 조절 분리웨어와 전향판을 이용한 유기상 원심추출장치는 그림 1과 같이 구성된다. 높이 조절 분리웨어와 전향판을 이용한 유기상 원심추출장치의 두 액체의 분리 순서는 다음과 같다. 중공으로 된 흡입관으로 유기상 액체와 수용상 액체를 공급하면, 흡입 임펠러의 흡입력에 의하여 원심추출장치의 회전체 내로 동시에 흡입된다. 흡입된 두 액체는 흡입관에 부착된 전향판에 부딪혀 흡입축의 바깥 방향으로 쏠리게 되며, 비중이 큰 수용상 액체는 회전체 내벽에 집중되며, 상대적으로



1.흡입관	7.흡입관 고정프레임	13.흡입임펠러	19.고정체
2.전향관	8.흡입관 고정 볼트	14.커플링	20.유기상 고정출구
3.내측베어링	9.분리웨어 고정 볼트	15.회전체 구동모터	21.수용상 회전출구
4.내측베어링 캡	10.높이 조절안내봉	16.회전체 지지베어링	22.수용상 상부가이드
5.외측베어링	11.분리웨어	17.분리웨어 조절가이드	23.수용상 고정출구
6.외측베어링 캡	12.회전체	18.유기상 회전출구	

그림 1 원심추출장치의 전체 구성도

비중이 작은 유기상 액체는 수용상 액체의 바깥쪽에 몰리게 된다. 회전체의 속도를 증가시키면 원심력이 증가하여 두 액체의 층이 분리되며 회전체의 내벽을 따라 상승한다. 이후, 유기상 액체는 분리웨어 내벽을 타고 올라가, 분리웨어 가이드 상단부에 마련된 6 개의 유기상액체 회전 출구를 통하여 고정체에 부착되어 있는 유기상액체 고정 출구로 배출된다. 이와 같은 원심추출장치의 두 액상의 분리 방법을 실현시키기 위한 각 부의 장치 구성은 다음과 같다.

높이 조절 흡입 장치부

흡입관에 부착된 전향판은 흡입된 두 액체가 부딪혀 원심력방향으로 유속의 힘을 가중시키는 역할을 하며, 또한, 장치 내의 체류 시간을 변화시키는 역할을 수행한다. 즉, 전향판의 높이를 변화시켜 장치내의 흡입 임펠러와 전향판 사이의 공간의 크기를 변화시킴으로써 두 액체가 장치내에 머무르는 체류 시간을 변화시키는 원리를 이용하는 것으로서, 흡입관을 상승시키면 전향판과 흡입 임펠러사이의 공간이 넓어져서 회전체 내부에 두 액체가 체류하는 시간이 길어지며, 이와 반대로 흡입관을 하강시키면 두 액체의 체류 시간이 줄어든다. 흡입된 두 액상이 밀도차에 의하여 경계층을 이루면서

이송되기 위한 덮개와 회전체 간격의 무차원 상수 값은 식(1)과 같이 결정된다.

$$C=\frac{r_{Hi}-r_{Ro}}{r_{Ro}} \quad (1)$$

여기서, r_{Hi} : 덮개 내경 반지름, r_{Ro} : 회전체 외경 반지름, C의 값은 덮개나 회전체길이의 변수에 대한 기준 값이 된다. 그리고 회전체 길이에 대한 무차원 상수 값 RL은 식(2)와 같이 결정된다.

$$RL=\frac{L}{2r_{Ro}} \quad (2)$$

여기서, L은 분리영역의 길이(회전체 입구에서 웨어 시작점까지의 거리), r_{Ro}는 회전체 외경 반지름, 여기서 회전체 길이 상수 값(RL)은 분리영역 길이와 회전체 외경의 변수에 대한 기준 값이 된다.

<u>높이 조절 분리웨어 장치부</u>

높이 조절 분리웨어는 두 액체을 물리적으로 분리하는 웨어의 역할을 수행하며 회전부와 같이 회전하면서 그 높이가 조절되어야 한다. 내측 베어링 고정 캡은 내측 베어링을 고정하며 그 하부에는 3개의 높이조절 안내봉이 120도 간격으로 부착된다. 높이조절 안내봉은 수용상 액체 상부가이드에 마련된 3개의 구멍에 의하여 안내되며, 하단부에 부착된 원통 형상의 분리웨어를 상.하로 이송시킨다. 분리웨어에 대한 각각에 대한 반경은 그림 2와 같다. 여기서 분리웨어의 두께 결정을 위해서 경액과 중액 간의 접촉반경 값은 식 3과 같다.

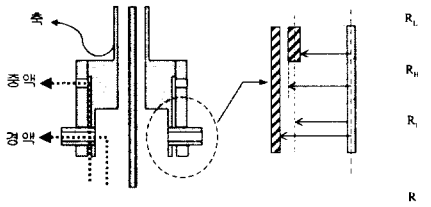


그림 2 접촉반경 결정을 위한 분리웨어

여기서 ρ_L=캐로신 밀도, ρ_H=물의 밀도, R_H=바깥반경, R_L=안쪽반경, R_I=접촉반경, R = 회전체 내경이다.

$$R_i=\sqrt{\frac{\rho_i R_L-\rho_H R_2^H}{\rho_L-\rho_H}}=\sqrt{\frac{R_2^H-\frac{\rho_L}{\rho_H}R_2^L}{1-\frac{\rho_L}{\rho_H}}} \quad (3)$$

<u>원심 장치의 회전부</u>

그림 3과 같이 회전하는 부분은 회전체, 수용상액체 상부가이드, 그리고 외측 베어링 고정캡을 제외한 높이 조절 분리웨어 장치부의 나머지 부분으로서 이들은 회전체 하부에 설치된 회전체 구동모터에 의하여 회전되며, 장치 하단부의 회전체 지지베어링과 장치 상단부의 외측베어링에 의하여 지지된다. 본 장치의 몸통이라 할 수 있는 회전체는 원통 형상의 모양을 갖으며, 상부의 내면에 분리웨어 가이드가 부착되고, 윗면에는 초승달 형상의 수용상액체 회전 출구, 흡입관 가이드및 안내봉 가이드 부쉬가 마련되어 있다. 또한 회전체의 상부 외벽으로는 분리웨어 가이드에 부착되어 유기상액체를 안내하는 6개의 유기상 회전출구가 관통되어 있다.

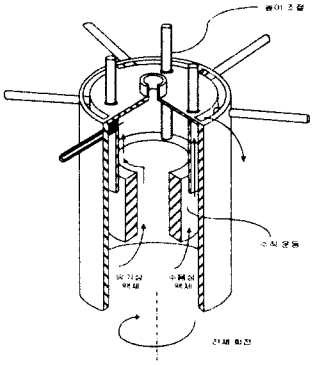


그림 3 원심추출장치의 입체도

<u>원심추출장치의 고정부</u>

원심추출장치의 고정부는 장치를 지지하며, 두 액체가 외부로 배출되는 고정출구가 마련되어 있다. 즉, 고정체의 안 쪽에는 유기상액체 고정출구, 그리고 바깥쪽에는 수용상액체 고정출구가 마련되어 있다.

2.3 실험방법

높이 조절 분리웨어와 전향판을 이용한 유기상 원심추출장치의 분리 성능을 알아보기 위하여 장치를 제작하여 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험에서는 높이 조절용 분리웨어와 전향판의 높이를 인식하기 위하여 장치를 고정하는 프레임 부분에 눈금 줄자를 부착하였다. 실험 조건은 상온에서 실시하였고 유기상 용액으로는 등유를 수용상 용액으로는 황갈색의 철분이 첨가된 증류수를 사용하였다. 철분을 첨가한 이유는 철분이 유기상에는 녹지 않고 수용상에는 녹는 성질을 이용하여, 유기상 액체와 수용상 액체의 석상 차를 분명하게 구별하기 위해서이다. 전향판의 높이 변화에 따른 체류시간의 변화 측정식은 다음과 같다.

$$\overline{t_1}=\frac{\sum(mA_i)\cdot t_i}{\sum(mA)_i}$$

회전체의 회전속도를 3,000 rpm으로 고정하고, 전향판의 높이를 변화시켜 가며 두 액체가 장치내에 체류하는 체류시간을 측정하였다. 실험에서 전향판의 높이는 전향판과 흡입 임펠러 사이의 거리를 육안으로 측정하였다. 그리고, 액체의 체류시간은 두 액체를 주입한 순간부터 두 액체가 장치 밖으로 완전히 빠져 나올 때까지의 시간으로 측정할 수 있으나, 육안으로 두 액체가 완전히 빠져 나온 것을 분명하게 구별할 수 없다. 따라서, 보다 정확한 체류시간을 측정하기 위하여, 화공정에서 일반적으로 많이 사용하는 유체의 전기 전도도 측정방법을 사용하여 평균 체류시간을 구하였다. 두 번째 실험 방법으로 높이조절 분리웨어의 높이와 회전속도 변화에 따른 분리상태 관찰하면서, 높이조절 분리웨어의 높이를 변화시켜 가며, 두 액체가 완전히 분리될 때의 회전체의 회전속도를 측정하였다. 실험에서 분리웨어의 높이는 높이조절 안내봉에 기준점을 표시하고 이 기준점과 수용상액체 상부가이드의 윗면과의 거리를 측정하여 구하였으며, 두 액체가 완전히 분리되었는지에 여부는 첫 번째 실험방법과 같이 정확성을 기하기 위하여 유체의 전기 전도도를 측정하여 판정하였다.

2.4 실험 결과

실험 결과, 전향판의 높이 변화에 따라 다음과 같은 평균체류시간을 구할 수 있었다.

$$10\text{mm} \quad RT_{10} = \frac{\text{시간에 따른 전류합산값}}{\text{전류합산값}} = 3.9\text{초}$$

$$20\text{mm} \quad RT_{20} = \frac{\text{시간에 따른 전류합산값}}{\text{전류합산값}} = 5.7\text{초}$$

$$30\text{mm} \quad RT_{30} = \frac{\text{시간에 따른 전류합산값}}{\text{전류합산값}} = 7.7\text{초}$$

$$40\text{mm} \quad RT_{40} = \frac{\text{시간에 따른 전류합산값}}{\text{전류합산값}} = 9.6\text{초}$$

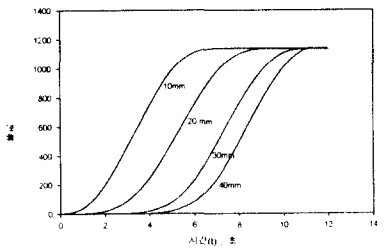


그림 4 전향판 위치에 따른 체류시간 분포도

이와 같이 전향판의 높이를 변화시킴에 따라 두 액체의 장치내 체류시간을 변화시킴을 알 수 있다.

두 번째 실험 결과 회전 속도가 변화함에 따라, 두 액체의 경계층 두께의 변화를 육안으로 관찰할 수 있었으며, 높이조절 분리웨어의 높이 변화에 따라 두 액체가 완전히 분리되는 회전체의 회전속도는 다음과 같다

.

기준거리(mm)	분리 시점에서의 회전수(rpm)
(-) 10	2,400-2,500 rpm
(-) 20	3,700-3,800 rpm
(-) 30	4,500-4,700 rpm
(-) 40	5,600-5,700 rpm

이와 같은 결과로부터 본 장치의 분리웨어 높이를 조절함으로써, 회전체의 회전속도에 관계없이 두 액체를 성공적으로 분리할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

높이 조절 분리웨어와 전향판을 이용한 유기상 원심추출장치는 고속으로 회전하는 내측 베어링과 외측 베어링 사이에 높이를 조절할 수 있는 분리웨어를 설치하여, 회전체의 회전속도와 두 액상의 상비에 따라 변화하는 경계층의 두께에 따라서 분리웨어의 높이를 조절할 수 있도록 함으로써 분리 효율을 높이고, 혼합 반응시간을 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 흡입된 두 액체가 부딪혀 원심력 방향으로 유속의 힘을 가중시키는 역할을 하는 전향판을 흡입축에 부착시켜 수직 방향으로 조절이 가능하도록 함으로써 흡입 임펠라에 의하여 흡입관으로 유입된 두 액상의 혼합 반응시간에 대한 선택의 폭을 넓힐 수 있도록 하였다.

참고 문헌

1. A. Ralph Leonard, B. David, "Centrifugal contractors for laboratory scale solvent extraction tests" Separation Science and Technology, 32(1-4), pp. 193-210, 1997
2. A. Ralph Leonard, "Recent Advances in Centrifugal Contactor Design" Separation Science and Technology, 23. (12&13), pp1473-1487,1982.
3. A. Hamad, F. Imberton, H. H Bruun " An optical for measurements in liquid-liquid two-phase flow" Meas. Sci Technol. 8(1997) 1122-1132.
4. A. Winter,"Hydraulic Tubine Development," Proc. A.S.C.E., Vol. 65, pp. 1553-1589, 1939; abstracted in Mech. Eng., Vol. 62, P. 27, 1940.