

에너지 절감을 위한 분리벽형 증류탑 최적설계 연구

이승현, 이문용*

영남대학교 디스플레이화학공학부
(mynlee@yumail.ac.kr*)

The Study of Optimal Design for Energy Saving in Dividing Wall Distillation columns

Seunghyun Lee, Moonyong Lee*

School of Chemical Engineering and Technology, Youngnam University
(mynlee@yumail.ac.kr*)

서론

열결합 관점에서 가장 발달한 분리벽형 증류탑은 에너지 절감측면에서 많은 이득이 있으나 설계 및 운전측면에서 많은 어려움이 있다. 이를 개선하고자 분리벽형 증류탑의 최적 설계조건 중 하나인 내부순환흐름의 특성을 분석함으로써 가장 최적의 운전조건을 조사하였으며, 공급원료의 조성 및 휘발도에 따라 분류하여 분리벽형 증류탑의 특성을 연구하였다.

본 연구에서의 증류공정에 대한 모델은 Petlyuk 증류탑을 참고하였으며 HYSYS를 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 원료의 조성 및 내부순환흐름량에 따라 최소에너지 변화를 연구하였다.

본론

분리벽형 증류탑의 모델링

분리벽형 증류탑은 열전달 관점을 제외하면 Petlyuk 증류탑과 거의 유사하다. 본 연구에서는 Petlyuk 증류탑을 기본으로 모델링 하였으며 예비분리기와 주분리기 사이에 가상의 열교환장치를 설치하여 시뮬레이션 하였다. 일반적인 증류탑에서와는 달리 분리벽형 증류탑의 설계 변수는 무수히 많다. 그러나 일반적으로 예비분리기와 주분리기의 단수와 압력, 원료유입단, 원료의 온도, 압력, 조성 등이 고정되므로, 분리벽형 증류탑의 경우 5개의 자유도가 남게 된다. 이 중 탑정, 탑중간, 탑저 생산물의 순도가 각각 고정된 상태로 운전되므로 실제 최적화 설계 변수로 활용할 수 있는 자유도는 2개이다. 이렇게 남은 2개의 자유도는 내부순환흐름 중 액상 및 기상을 설정하여 운전하였다.

Table 1. DWC 공급원료의 종류, 조성 및 생산물 규격

구분(공급)	원료	조성 (%)		구분(생산순도)%
		F1	F2	
M1 ESI = 1.04	n-Pentane	A: 0.4 B: 0.2 C: 0.4	A: 0.15 B: 0.70 C: 0.15	A: 98.7% B: 98.0% C: 98.6%
	n-Hexane			
	n-Heptane			
M2 ESI = 1.86	n-Butane	A: 0.4 B: 0.2 C: 0.4	A: 0.15 B: 0.70 C: 0.15	A: 98.7% B: 98.0% C: 98.6%
	i-Pentane			
	n-Pentane			
M3 ESI = 0.18	i-Butane	A: 0.4 B: 0.2 C: 0.4	A: 0.15 B: 0.70 C: 0.15	A: 98.7% B: 98.0% C: 98.6%
	n-Butane			
	n-Hexane			

공급 원료의 조성에 따른 최적 내부순환흐름 분포

본 연구의 분리벽형 증류탑 설계는 Table 1에 나타난 원료의 조성으로 설계되었다. 이는 핵산공정에 대한 연구를 바탕으로 실험하였으며, 결과는 다음과 같다.

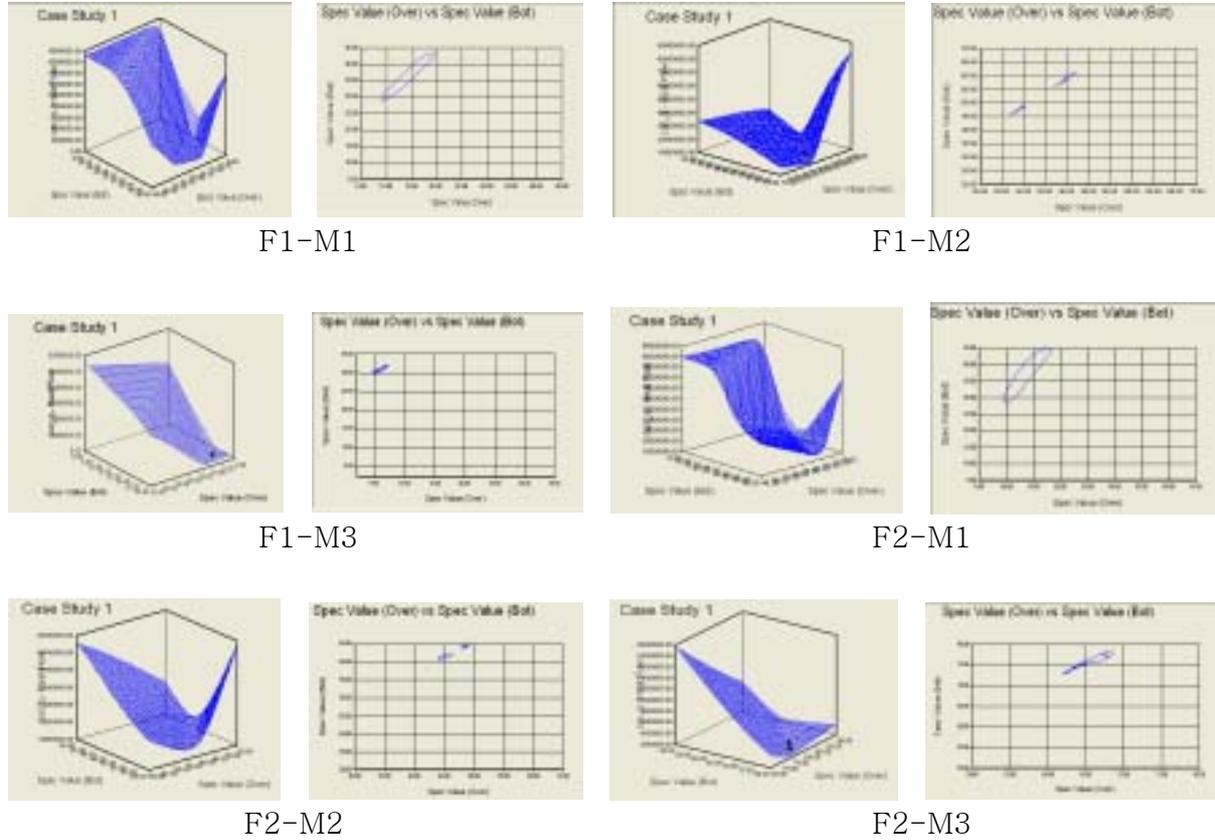


그림 (1) 최적 내부순환흐름 분포

그림 (1)에서 공급원료의 조성에 따라 최적분포 곡선이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

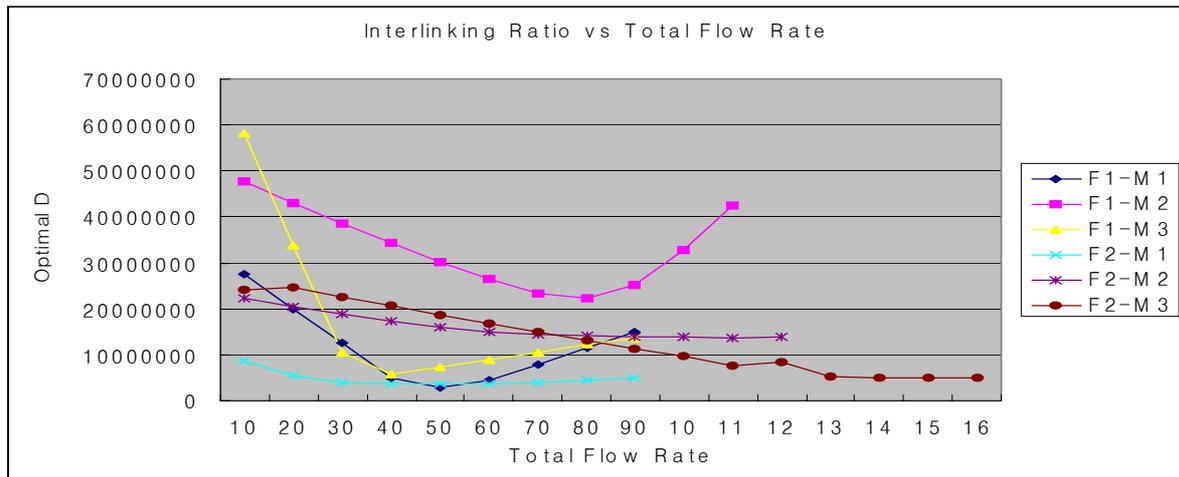
각각의 최적분포 지점을 바탕으로 2 탑구조의 증류탑과 에너지 소비측면에서 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

	DWC			2 TOP
	Bot(kgmol/h)	Over(kgmol/h)	Duty(kJ/h)	Duty(kJ/h)
F1-M1	37	14	2744099.0	28880035.0
F2-M1	42	16	3552411.6	40046362.1
F1-M2	49	30	22332410.5	37749059.4
F2-M2	62	45	14002363.3	26651162.2
F1-M3	30	5	5138036.9	99409434.2
F2-M3	77	67	4807564.3	59250688.4

분리벽형 증류탑은 2 탑구조의 증류탑에 비해 약 10~40% 정도의 에너지 절감효과를 얻을 수 있었다.

Interlinking Flow Ratio vs Interlinking Total Flow Rate

최적 분포지점을 바탕으로 기상내부순환흐름과 액상내부순환흐름의 비와 이에 따른 기상 및 액상의 Total Flow Rate의 상관관계를 알아보기 위해 다음과 같은 비교 분석을 하였다.



최적분포 지점의 비를 바탕으로 실험한 결과 Total Flow Rate의 양이 증가함에 따라 최소 Duty 값은 감소하는 추세를 보이다가 일정량 이상이면 최소Duty가 다시 증가하는 현상이 나타나고 있다.

이는 분리벽형 증류탑의 Spec에 따른 용량제한으로 Reflux양이 계속 증가함에 따라 분리성능에 영향을 끼치기 때문이다. 따라서 DWC 설계에 대한 공급원료에 대한 설계를 어느 정도 제시할 수 있다.

DWC 설계 Guide Line

- $X_A = (a_{AB} - 1)(a_{AC} - 1)$ 이고, ($X_B \rightarrow 0$)이면, 최대 Vapor savings 은 50%까지 된다.
- Vapor rate savings은 다른 어떠한 종류의 복합 column보다도 더 높다.
- X_B 가 크거나 중간정도일 때, DWC를 사용하는 경향이 있다.
휘발도 즉, $a_{AB} \approx a_{AC} \leq 2$ 이면, 두개의 분리가 어려워진다.
- 낮은 X_B 에 대해서, $X_A = (a_{AB} - 1)(a_{AC} - 1)$ 에 근접하면 DWC를 사용한다.
- X_B 가 중간 혹은 높고, AB의 분리가 BC보다 어려울 때나, $X_A > 0.5$ 경우DWC를 사용한다.
- Column의 performance는 휘발도에 의존하므로, X_B 가 클경우 항상 맞는 것은 아니다.

결론

본 연구에서는 분리벽형 증류탑의 핵산공정에 들어가는 원료 중 일부를 바탕으로 실험하였고, Mixture는 크게 3가지 종류이며, ESI (the ratio of relative volatilities)를 기준으로 나누어 실험하였다. 실험결과 분리벽형 증류탑의 최적 분포지역은 기상과 액상 내부순환흐름의 양에 따라 최소 에너지 소비에서 상당히 큰 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 주분리기에서 예비분리기로 들어가는 Reflux 양을 의미한다. 또한 공급원료와 생산물의 조성 및 단수에 따라 결과 값이 많이 달라지지만, 기상 및 액상 내부순

환흐름의 비에 따른 Total Flow Rate의 상관관계는 일정한 패턴을 보이고 있어 앞으로 분리벽형 증류탑 설계 시에 순차적 최적분포지점 설계방법에서 내부순환 흐름의 비를 고려하여 설계해야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 지역혁신인력양성사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Abdul Mutalib, M. I., & Smith, R. (1998). Operation and control of dividing wall distillation columns. Part I. Degrees of freedom and dynamic simulation. *Transactions IChemE*, 76, 308
2. Agrawal, R., & Fidkowski, Z. T. (1999). New thermally coupled schemes for ternary distillation. *AIChE Journal*, 45, 485
3. Dunnebier, G., & Pantelides, C. (1999). Optimal design of thermally coupled distillation columns. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38, 162
4. Hernández, S, & Jiménez, A. (1999a). Design of energy-efficient Petlyuk systems. *Computers and Chemical Engineering*, 23, 1005