

분리벽형 증류탑의 분리특성과 Shortcut 방법을 이용한 구조설계

이승현, 이문용*
 영남대학교 응용화학공학부
 (mynlee@yu.ac.kr*)

Structure Design by Shortcut Method and Separation Characteristics
 For Divided Wall Column

Seunghyun Lee, Moonyong Lee*
 School of Chem. Eng & Tech, Yeungnam Univ.
 (mynlee@yu.ac.kr*)

1. 서론

분리벽형 증류탑의 초기설계에 있어서 단수와 분리벽 구간선정에 있어서 많은 계산과정이 필요하다. 또한 최적설계를 위해서는 많은 설계인자들이 있어 이에 대한 많은 연구가 필요하다. 따라서 보다 효과적인 설계를 위하여 Fenske-Underwood식을 이용한 shortcut방법을 제시하였다. 일반적으로 분리벽형 증류탑은 그림1과 같이 나타낼 수 있다. 이 구조를 shortcut 방법에 적용하기 위해서는 크게 4부분으로 나눌 수 있다. 원료 공급단이 유입되는 예비분리기 부분, 주분리기의 분리벽 상부 부분, 주분리기의 분리벽 하부 부분 그리고 주분리기의 분리벽 부분으로 나눌 수 있다. 예비분리기로 유입되는 3성분은 저비점과 고비점 물질을 기준으로 분리되고 예비분리기의 탑정 부분은 저비점 물질과 중비점 물질이 탑저 부분은 중비점 물질과 고비점 물질이 포함되게 된다. 이렇게 분리된 혼합물들은 분리벽 끝단에 의해 다시 분리되는데 분리벽 상부 부분은 저비점 물질과 중비점 물질이 다시 분리되고 분리벽 하단 부분 또한 같은 원리로 분리된다.

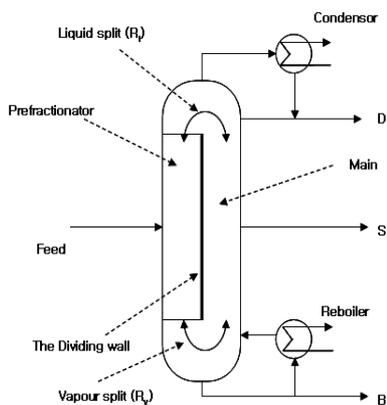


그림 1. A schematic diagram of dividing wall column.

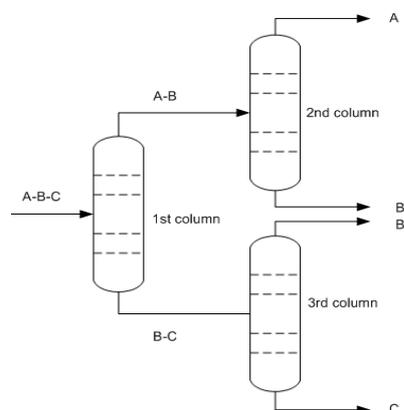


그림 2. A schematic diagram of Petlyuk column.

2. 구조설계

이러한 분리벽형 증류탑의 구조를 shortcut에 의한 3기의 증류탑 배열로 나타내면 그림2와 같이 나타낼 수 있다. 1st 증류탑은 분리벽형 증류탑의 예비분리구간에 해당되며 2nd 증류탑과 3rd 증류탑은 분리벽형 증류탑의 주분리기에서 Rectifying 및 Stripping 부분에 해당된다 즉, 2nd 및 3rd 증류탑의 공급단 위치가 그림1의 각각 분리벽 상단 및 하단에 해당된다. 1st 증류탑에서 light key component(LK)와 heavy key component(HK)에 대한 조성설정은 일반적으로 분리벽형 증류탑의 원리상 분리벽 구간을 기준으로 저비점 물질과 고비점 물질의 1차적인 분리가 이루어진다. 그림2의 A-B 흐름에서 C의 농도와 B-C 흐름에서 A의 농도가 거의 없어야 하므로 LK와 HK의 조성은 0.1%이하의 조성을 설정해 주어야 한다. 1st 증류탑과 2nd 및 3rd 증류탑의 LK와 HK의 설정이 끝나면 생산물질의 조성에 맞는 단수가 구해지는데 이에 대한 분리벽형 증류탑의 설정은 그림3과 같이 적용할 수 있다.

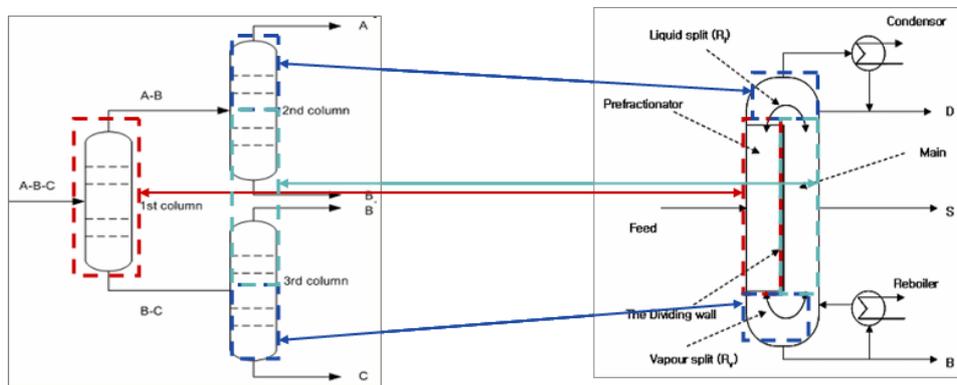


그림 3. A simple column configuration equivalent to DWC.

단수가 정해지면 분리벽형 증류탑의 최적 설계인자 중 하나인 예비분리기로 들어가는 액상 내부순환흐름과 기상내부순환흐름을 결정해야 된다. 분리벽형 증류탑에서 분리벽을 기준으로 예비분리기와 주분리기로 유입되는 내부순환 흐름량 분포가 전체 시스템의 분리성능과 에너지 소비에 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 이 내부순환흐름량은 shortcut 배열에서 1st 증류탑의 Rectifying section의 액상흐름이 액상내부순환흐름에 적용될 수 있으며 Stripping section의 기상흐름을 기상내부순환흐름에 적용될 수 있다.

3. 실험 결과

본 실험에서는 표 1.과 같이 공급혼합물을 중비점 물질의 농도에 따라 3가지로 분류하였다.

	F1	F2	F3
Feed Mixture	A : 0.40	A : 0.33	A : 0.15
	B : 0.20	B : 0.33	B : 0.70
	C : 0.40	C : 0.33	C : 0.15

표 1. Feed condition of ternary mixture.

제안된 shortcut 방법을 적용한 결과 LK와 HK의 조성 및 단수는 표 2와 같다.

		LK	HK	Feed tray No.	Total tray No.
F1 Mixture	1st Column	n-Pentane: 0.0001	n-Heptane: 0.0001	9	18
	2nd Column	n-Pentane: 0.0144	n-Hexane: 0.02	5	14
	3rd Column	n-Hexane: 0.02	n-Heptane: 0.0145	10	14
F2 Mixture	1st Column	n-Pentane: 0.0001	n-Heptane: 0.0001	8	17
	2nd Column	n-Pentane: 0.0145	n-Hexane: 0.02	5	13
	3rd Column	n-Hexane: 0.02	n-Heptane: 0.0146	9	15
F3 Mixture	1st Column	n-Pentane: 0.0001	n-Heptane: 0.00004	11	17
	2nd Column	n-Pentane: 0.0149	n-Hexane: 0.02	6	12
	3rd Column	n-Hexane: 0.02	n-Heptane: 0.0148	7	16

표 2. Tray No. and LK-HK composition from shortcut method.

표 2의 결과를 바탕으로 분리벽형 증류탑을 설계하였을 때 소요되는 에너지를 표 3에 비교하였다. 그리고 shortcut 방법에서 액상 및 기상 내부순환흐름량에 해당되는 1st 증류탑의 rectifying liquid flow 와 stripping vapor flow를 분리벽형 증류탑에서 전영역에 대하여 수행한 casestudy의 액상 및 기상내부순환흐름과의 비교도 수행하였다.

	Shortcut Column		DWC		2TOP
	Rectifying Liq Flow(kmol/h)	Stripping Vap Flow(kmol/h)	Liq Flow to DWC-Prefractionator (kmol/h)	Vap Flow to DWC-Prefractionator (kmol/h)	
	F1	19.81	41.87	16	38
F2	23.18	45.64	15	36	
F3	15.48	30.92	14	35	
Reboiler Duty(kJ/h)	F1 : 1792924		F1 : 1760844		F1 : 5422413
	F2 : 2015531		F2 : 1918800		F2 : 2890324
	F3 : 2188600		F3 : 2049191		F3 : 3443173

표 3. Comparison of energy consumption in shortcut, DWC and 2TOP

제안된 방법으로 에너지를 비교한 결과 분리벽형 증류탑의 액상 및 기상내부순환흐름에 대한 global casestudy의 계산에 따른 최적지점에서의 에너지와 비교해 볼 때 1~7%이내의 에너지 차이를 보이고 있다. 또한 2top 증류탑의 에너지와 비교한 결과 최소 30%에서 최대 67%이상의 에너지 절감효과를 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 분리벽형 증류탑의 초기 설계단계에서 3기의 증류탑을 응용한 shortcut 방법을 확장 적용하여 설계하였다. 제안된 방법으로 설계한 결과 설계단계를 보다 간단화 할 수 있었으며, 최적화 작업에 따른 소요에너지와 비교하면 1~7%이내의 에너지 차이를 보이고 있다. 분리벽형 증류탑에서 액상 및 기상 내부순환흐름량에 따라 약간의 에너지 차이는 있으나 2TOP 증류탑의 소요에너지와 30~67%의 에너지 절감효과를 비교해 볼 때 적은 오차로 판단할 수 있다. 또한 공급혼합물의 중비점 물질의 조성에 따라 비교분석한 결과 중비점 물질의 조성이 적을 때 에너지 절감효과가 가장 크게 나타났으며 shortcut 방법으로 DWC 구조설계에 적용했을 때 가장 적은 에너지오차를 나타내고 있어 F1 구조일 때 가장 적합한 경우인 것을 알 수 있

었다. 또한 기존 2TOP 증류탑의 에너지를 비교한 결과 이론상으로 제시한 30%이상의 에너지 절감효과를 얻는 것을 확인하여 shortcut 방법에 의한 설계 타당성을 확보하였다.

감사

이 과제는 에너지관리공단의 2006에너지자원기술개발과제와 2단계BK사업에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. S. Hernández, A. Jiménez : "Design of energy-efficient Petlyuk systems", Computers and Chemical Eng, 23, 1005-1010(1999)
2. Seung Hyun Lee and Moon Yong Lee : "The study of structure design for dividing wall distillation column", Korea Chem. Eng, 45, 39-45(2007)
3. A. Jiménez, N. Ramírez, A. Castro and S. Hernández : "Design and energy performance of alternative schemes to the petlyuk distillation system", Trans IChemE, 81, 518-524(2003)
4. Young Han Kim, Kyu Suk Hwang : "Application of An Energy-Efficient Distillation System using Three Columns to Hexane Process", Korea Chem. Eng, 43, 39-46(2005)