

분리벽형 증류탑의 구조 설계 및 분리 특성 연구

이승현 · 이문용[†]

영남대학교 디스플레이화학공학부
712-749 경북 경산시 대동 214-1
(2006년 11월 18일 접수, 2006년 12월 14일 채택)

The Study of Structure Design for Dividing Wall Distillation Column

Seung Hyun Lee and Moon Yong Lee[†]

School of Chem. Eng. & Tech, Yeungnam University, 214-1, Dae-dong, Kyungsan, Kyungpook 712-749, Korea
(Received 18 November 2006; accepted 14 December 2006)

요 약

분리벽형 증류탑의 구조 설계를 위한 shortcut 방법으로서 기존의 Fenske-Underwood 식을 3기 일반 증류탑 배열에 확장 적용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법으로 초기 설계 단계에서 분리벽형 증류탑의 공급단 위치, 분리벽 구간, 중간 제품 생산단의 위치를 간편하면서도 효과적으로 결정할 수 있는 것을 확인하였다. 제안된 방법에 의하여 구조 설계가 이루어진 분리벽형 증류탑과 기존의 연속 2기 증류공정 간의 분리 효율을 비교하기 위해 HYSYS를 사용하여 다양한 원료 조건에 대하여 전산모사 실험을 수행하였다. 그 결과 제안된 분리벽형 증류탑이 기존 연속 2기 증류공정 대비 16%에서 65%까지 에너지를 절약할 수 있음을 확인하였다. 또한 분리벽형 증류탑에 의한 분리 성능 향상 정도는 중간 비점 물질의 조성에 크게 의존하며 중간비점 조성이 우세할수록 유리함을 확인하였고, 최적 에너지 분포 영역 경향은 원료 혼합물의 ESI 값에 의하여 결정됨을 알 수 있었다.

Abstract – This paper proposed a shortcut method for the structure design of dividing wall column based on the Fenske-Underwood equation by applying it on three conventional simple column configuration. It is shown that the proposed shortcut method can design the column structure including the feed tray, dividing wall section, and side-stream tray in a simple and efficient way in the initial design stage. Simulation study using HYSYS to compare the energy saving performance between the conventional sequential two column system and the dividing wall column designed by the proposed method shows that the proposed dividing wall column system saves from 16 % to 65 % more over the conventional one. It is also illustrated that the degree of energy saving improvement by the divided wall column mainly depends on the composition of intermediate component while the optimal energy consumption pattern to internal flow distribution on the dividing wall section is characterized by the ESI factor of the feed mixture.

Key words: Dividing Wall Column, Internal Flow, Structure Design, Energy Saving, Thermally Coupled Distillation

1. 서 론

증류산업 현장에서 3성분 분리를 위한 공정은 대부분 연속 2기 증류탑 구조를 사용하고 있다. 그러나 이 공정은 제품 생산물의 조성은 쉽게 제어할 수 있는 반면, 첫 번째 증류탑 내에서 중간 비점 물질의 재혼합 과정이 일어나게 된다. 이는 증류탑에서의 열역학적 효율을 떨어뜨리는 주요 요인이 되어 에너지를 불필요하게 추가로 소비하는 결과를 가져온다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 새로운 증류 구조에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며[1-4] 열통합 구조에 의하여 분리 효율을 향상시키고자 하는 대표적인 예로서 Fig. 1 과 같이 Petlyuk 증류탑 구조를 들 수 있다[5-9]. Petlyuk 증류탑은

예비분리기와 주분리기를 열적으로 통합된 구조로 배열함으로써 저비점 물질과 고비점 물질을 1차적으로 예비분리기에서 분리한 다음, 예비분리기의 탑정 부분과 탑저 부분이 주분리기의 공급단으로 각각 유입되어 주분리기에서 저비점, 중간비점, 고비점 물질을 각각 분리하게 된다. 이러한 구조는 Petlyuk 증류탑 내의 증류곡선이 평형증류곡선과 유사하게 되어 에너지 효율을 높게 만든다. 하지만 공정의 설계 및 운전이 용이하지 않고 특히 탑 내의 압력 균형을 맞추기 어렵다는 문제점이 존재한다. 이러한 Petlyuk 증류탑이 가지는 제한점을 개선하기 위하여 분리벽형 증류탑(DWC: dividing wall column)이 제안되었다[10-12]. 분리벽형 증류탑은 Petlyuk 증류탑과 열역학적 관점에서는 유사하나 구조적인 관점에서 탑 내에 분리벽을 설치함으로써 Petlyuk 증류탑의 예비분리기를 주분리기 내부에 통합시킨 형태이다. 이러한 구조는 Petlyuk 증류탑의 예비분리기와

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mynlee@yu.ac.kr

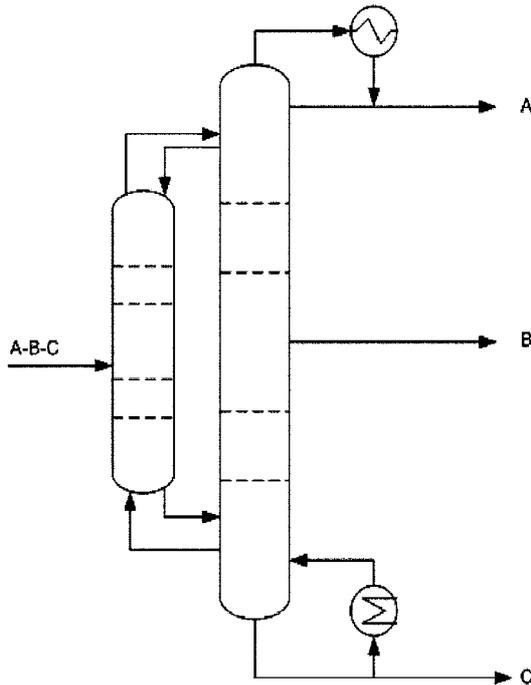


Fig. 1. A schematic diagram of Petlyuk column.

주분리기 간의 압력 균형의 어려움과 이로 인한 운전 상의 어려움을 자연스럽게 해소해 줌으로써 운전이 용이하게 되고, 또한 2기의 증류탑이 하나로 통합되어 투자 비용도 대폭 절감될 수 있다는 큰 장점을 가지게 된다.

이러한 장점에도 불구하고 실제 산업현장에서는 분리벽형 증류탑이 아직 많이 보급되어 있지 못한 실정이다. 이에 대한 중요한 이유 중의 하나로서 Petlyuk 증류탑과는 달리 분리벽형 증류탑은 설계가 정해지면 내부순환 흐름량을 조절할 수 없는 구조적 특성으로 인하여 운전 조건 변동에 대한 유연성이 떨어지므로 이를 위해 설계 단계에서 정확한 모사와 구조 결정이 필요하다는 문제가 있다. 현재 분리벽형 증류탑의 구조 및 제어에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있지만 아직도 분리벽형 증류탑에서 공급단의 위치와 분리벽 구간 설정 그리고 중간비점 물질의 생산단 위치 등의 구조에 대한 초기 선정을 위한 간편하면서도 적절한 방법은 매우 제한되어 있는 상황이다. 또한 최적의 기본 설계 수행을 위해서는 분리벽형 증류탑의 적용에 의한 에너지 효율 향상 정도와 분리벽형 증류탑의 실제적 구현에서의 한계 요소인 예비분리기와 주분리기 간의 내부 유량 분포 패턴과 주요 설계인자 간의 관계에 대한 연구가 중요하다.

본 연구에서는 분리벽형 증류탑의 구조 설계를 위하여 간단한 shortcut 방법으로 분리벽 구간과 공급단 및 생산단의 위치를 쉽게 결정할 수 있는 방법을 제안하고 공급 혼합물의 조성과 상대휘발도에 대한 분리벽형 증류탑의 설계 특성 간의 관계를 연구하였다.

2. 분리벽형 증류탑 구조 설계

분리벽형 증류탑의 구조는 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 분리벽형 증류공정이 일반적인 연속 2기 증류공정보다 에너지가 적게 소요되는 이유는 구조적 차이로 해석할 수 있다. 분리벽형 증류탑에

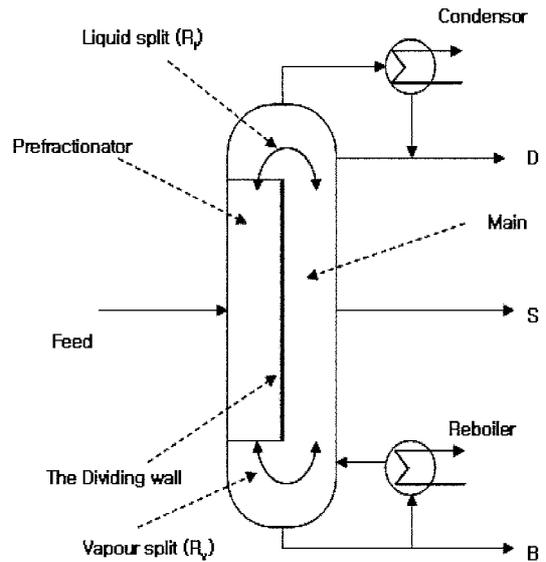


Fig. 2. A schematic diagram of a dividing wall column.

서는 예비분리기에서 고비점 물질과 저비점 물질의 분리로 인해 액체 조성이 평형증류곡선과 거의 일치하게 되고 재혼합(remixing) 효과가 억제되게 되어 분리를 위한 열역학적 효율이 좋아지게 된다.

이러한 분리벽형 증류탑에서 예비분리기의 효율성을 감안하여 최적의 분리벽 구간을 설계할 때 예비분리기와 주분리기와의 액체 조성에 대한 평형증류 곡선방법 등으로 분리벽 구간을 정하여 이론단수 및 환류량 등을 구하는 방법이 연구되고 있지만 본 연구에서는 Fenske-Underwood 식을 이용하여 이론단수 및 환류량을 구하는 방법을 제시하였다.

Fig. 2에 보인 분리벽형 증류탑의 구조는 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 중간비점 물질, 그리고 탑저 부분은 중간비점 물질과 고비점 물질이 포함되게 된다. 이렇게 분리된 혼합물들은 분리벽 끝단에 의해 다시 분리되는데 분리벽 상부 부분에서는 저비점 물질과 중간비점 물질이 다시 분리되고 분리벽 하부 부분에서는 중간비점 물질과 고비점 물질이 분리되는 구조로 되어 있다. 이러한 분리벽형 증류탑의 구조에 해당되는 일반 증류탑 배열을 개념적으로 표현하면 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다.

이 배열에서 1st column은 분리벽형 증류탑의 예비분리 구간에 해당되며 2nd column과 3rd column에서의 탑정 및 탑저 생산단 사이의 부분은 분리벽형 증류탑에서의 주분리기의 Rectifying 및 Stripping 부분에 각각 해당된다. 이는 분리벽형 증류탑에서 원료의 공급단 위치와 분리벽 구간의 위치, 그리고 중간비점 물질 생산단의 위치를 Fig. 3과 같은 구조로 연관 지을 수 있는 것을 알 수 있다.

한편 분리벽형 증류탑에서는 Fig. 2와 같이 분리벽에 의한 액상 분기흐름과 기상 분기흐름이 존재하게 되는데 이는 Fig. 3에서 1st column의 관점에서 보면 공급흐름이 3개 이어야 한다. 그러나 shortcut 방법에 의한 구조 설계에서는 예비분리기로 유입되는 액상

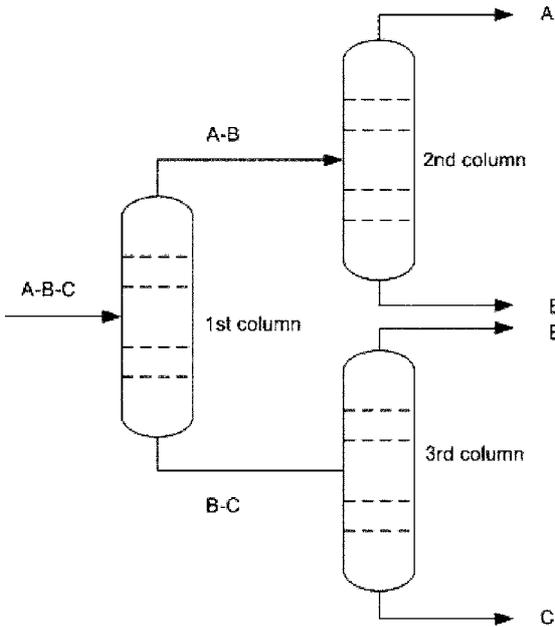


Fig. 3. A simple column configuration equivalent to DWC.

분기흐름은 1st column의 환류량으로 해석할 수 있고 예비분리기로 유입되는 기상 분기흐름은 1st column의 재비량과 같게 된다. 따라서 Fig. 3의 1st column의 단수를 구할 때 분리벽형 구조에서 예비분리기로 유입되는 액상 흐름에 대한 고려 사항은 1st column의 환류량과 개념적으로 동일하게 되므로 제안된 방법으로 설계를 적용할 수 있다. Fig. 3의 단순 증류탑 배열구조는 Fig. 2의 분리벽형 증류탑과 비교하여 열통합이 적용되지 않은 상태이므로 전체적인 에너지 소모량에서의 차이를 보이게 되나 원료 투입단, 분리벽 구간, 생산단 위치 등의 구조적 관점에서는 유사한 특성을 보이게 된다.

이러한 원리를 바탕으로 분리벽형 증류탑의 구조 관련 주요 변수들을 Fenske-Underwood 식을 이용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 구조 설계를 위하여 앞서 설명한 Fenske-Underwood 식을 이용하는 HYSYS 모사 도구의 shortcut 방법을 사용하였다. 모사 실험의 원료 혼합물은 alkane 계열 중 n-Pentane, n-Hexane, n-Heptane을 사용하였으며 공급 원료의 조건은 기상으로 1atm, 45 kmol/h로 유입되도록 하였다. 또한 3기 증류탑 모두 상압에서 운전되도록 하였으며 생산제품의 순도는 각각 99 mol%, 94 mol%, 99 mol%로 정하여 모사하였다.

구조 설계를 위한 HYSYS의 shortcut 모사 실험은 Fig. 4의 흐름도로 수행하였다. n-Pentane(40 mol%), n-Hexane(20 mol%), n-Heptane(40 mol%) 경우에 대한 모사 실험 결과 예를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4에 보인 증류탑 배열을 기반으로 단수를 결정할 때 A-C 증류탑(1st column)에서 탑저에 존재하는 light key component(n-Pentane)와 탑정에 존재하는 heavy key component(n-Heptane)의 몰분율은 각각 0.01로 설정하였다. 이는 저비점 A와 고비점 C가 분리벽 구간에서 거의 완전하게 분리될 때 가장 좋은 에너지 효율을 얻을 수 있다는 사실에 근거한다. 그리고 A-B 증류탑(2nd column)과 B-C 증류탑(3rd column)의 light 및 heavy key component는 최종 생산물의 순도에 맞게 각각 선정하였다.

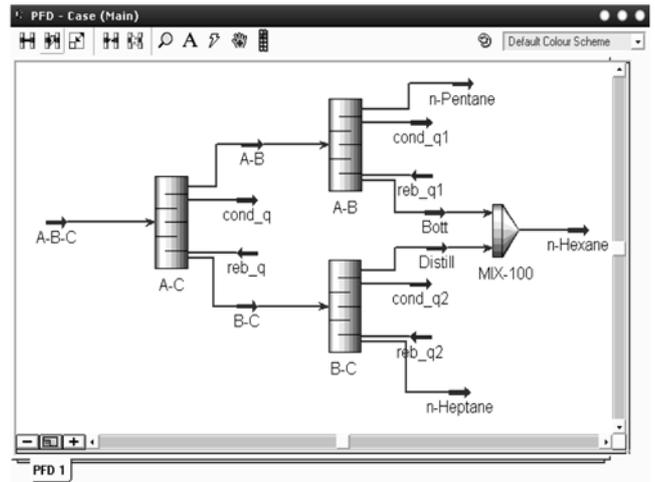


Fig. 4. Process flow diagram for shortcut application in HYSYS.

Table 1. Main structure of equivalent simple column configuration

	1st column	2nd column	3rd column
No. of tray	7	15	16
Feed stage	4	6	10

*The actual reflux ratio is set as double as the minimum reflux ratio.

Table 1의 결과를 바탕으로 분리벽형 증류탑의 예비분리기의 단수와 주분리기의 단수는 각각 1st column의 단수 7단, 2nd column과 3rd column의 단수 합인 31단으로 설정된다. 이때 원료의 공급단은 분리벽 구간 중 4단으로 유입되고 주분리기에서 분리벽 상단 부분의 위치는 2nd column의 공급단인 6단이 되며 분리벽 하단 부분의 위치는 2nd column의 총 단수와 3rd column의 공급단 위치의 합인 25단이 된다. 또한 중간비점 물질의 생산단의 위치는 2nd column의 단수인 15단에 해당된다.

구해진 단수를 이용하여 HYSYS로 분리벽형 증류탑을 모사한 흐름도를 Fig. 5에 나타내었다. HYSYS 모사 도구는 예비분리기가 주분리기 탑 내에 통합된 구조를 제공하지 않기 때문에 열역학 관점에서 동일한 Petlyuk 증류탑 구조를 이용하여 모사 실험을 하였다.

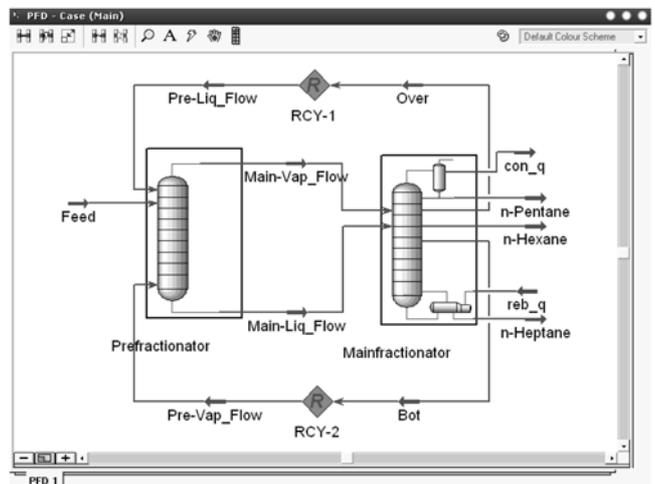


Fig. 5. Process flow diagram of DWC in HYSYS.

이때 분리벽형 증류탑에서 분리벽을 통한 열전달은 단열로 가정하였고 Fig. 2의 액상 분기흐름과 기상 분기흐름 중 예비분리기로 유입되는 액상 및 기상 내부순환 흐름량은 Fig. 5의 Pre-Liq_Flow, Pre-Vap_Flow로 각각 표현하였다.

3. 결과 및 고찰

분리벽형 증류탑에서 분리벽 양측, 즉 예비분리기와 주분리기로 유입되는 내부 순환 흐름량 분포는 전체 시스템의 분리 성능과 에너지 소비에 가장 큰 영향을 미칠 뿐 아니라 분리벽탑의 구현 용이성을 결정짓는 중요한 설계변수이다. 본 연구에서는 예비분리기에 유입되는 액상 및 기상 내부 순환 흐름량을 최적화 변수로 설정한 뒤 광범위한 변수 구간에 대해 case-study를 실행하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 총 소요 에너지를 최소로 해주는 최적의 액상 및 기상 내부 순환 흐름량이 명확히 존재하며 내부 순환 흐름량에 따라 전체 에너지 소요량이 상당한 영향을 받는다는 사실을 알 수 있다. 예를 들면 예비분리기로 유입되는 기상 내부 순환 흐름량이 24 kmol/h, 액상 내부 순환 흐름량이 51 kmol/h 일 때 에너지 소비량이 1.613×10^6 kJ/h로 가장 낮았는데 탐색 구간 범위에서 가장 높았던 에너지 소비량은 2.184×10^6 kJ/h나 되어 전체 에너지 소요량에 미치는 변동 폭이 매우 컸다.

이러한 내부 순환 흐름에 따라 최적의 에너지 분포 영역이 나타나는 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 예비분리기에서의 기상 및 액상 내부 순환 흐름의 증가는 예비분리에서의 분리 성능 향상을 가져오게 되어 주어진 순도의 생산물 분리를 위한 주분리기의 내부 환류량을 감소시키는 효과를 불러오게 된다. 그러나 한편으로 예비분리기에서의 내부 순환 흐름의 증가는 물질 수지에 의하여 직접적으로는 주분리기의 내부 흐름량 증가를 유발하므로 이의 응축과 재비를 위한 유틸리티 부하 증가 효과도 가져오게 된다. 이 두 가지 효과는 서로 경쟁적으로 일어나기 때문에 내부 순환 흐름량이 증가한다고 할 때, 어느 조건까지는 순환량 증가에 따른 분리 성능 향상 효과가 우세하다가 그 조건 이후에는 주분리기 내부 흐름량을 증가시키는 효과가 우세해 지게 되며 결국 내부 순환 흐름의 총량에 따른 최적점이 나타나게 된다.

Table 2에 연속 2기 증류탑을 사용하였을 때 소요되는 에너지량과 최적 순환 흐름 조건에서의 분리벽형 증류탑의 에너지 효율성을 비교하였다. 실험 모사를 위하여 연속 2기 증류탑의 단수 및 환류량은 앞에서 제시한 분리벽형 증류탑의 shortcut 방법과 동일하게 Fenske-Underwood 식을 이용하여 구현 하였으며 공정한 비교 대상을 위해 공급 혼합물의 조건과 생산 제품의 조성 그리고 탑의 운전 압력 등은 동일하게 설정하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 분리벽형 증류탑이 연속 2기 증류공정과 비교하여 34% 정도의 에너지 절감 효과를 거두고 있는 것을 알 수 있다. 이는 연속 2기 증류탑에서 일반적으로 나타나는 재혼합 효과의 제거와 예비분리기의 증류곡선이 탑 내의 평형 증류 곡선과 유사하여 전환류 상태에서 운전되는 것과 동일한 효과를 얻기 때문이다. 제안된 shortcut 방법으로 구현 분리벽형 증류탑에서의 조성분포를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7(a)를 보면 저비점 물질과 고비점 물질의 분리가 중간비점 물질의 재혼합 현상 없이 잘 이루어져 있는 것을 확인할 수 있다.

DWC Optimal Distribution

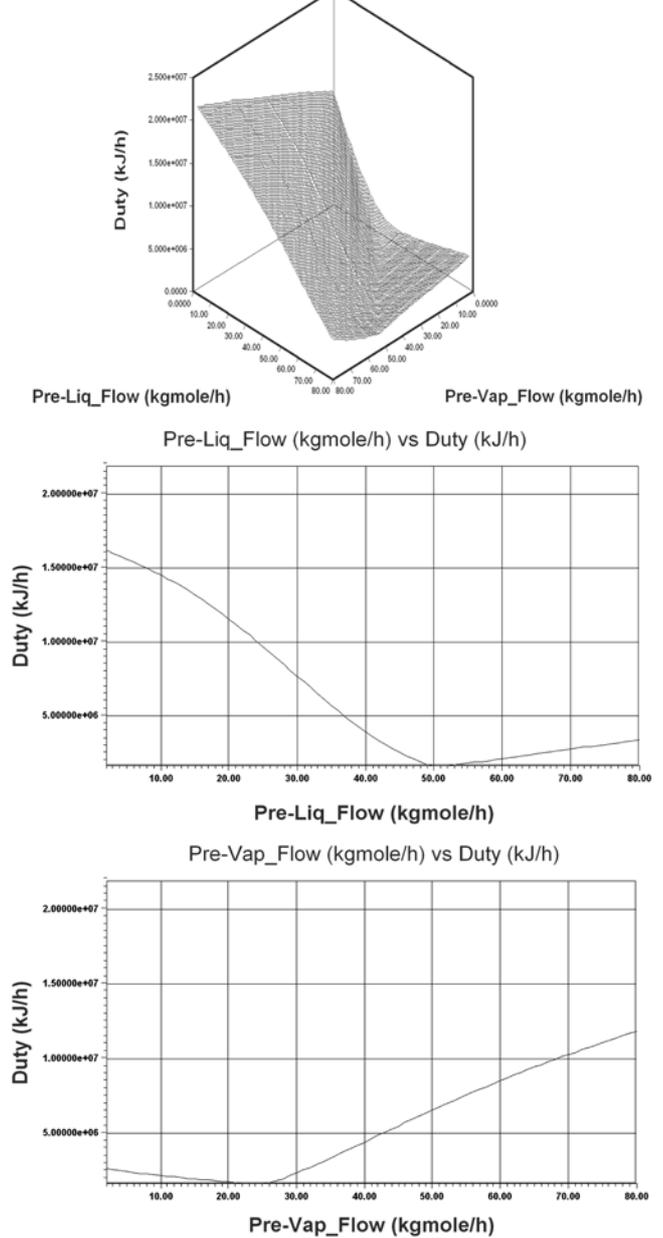


Fig. 6. The energy consumption by internal flow distribution.

Table 2. Structure and energy consumption of conventional sequential column process and DWC

	Pri-column	Sec-column	DWC
No. of tray	14	13	
Feed stage	7	7	
Reflux ratio	2.732	1.120	
Reboiler Duty(kJ/h)	1.463e006	0.9964e006	1.613e006

또한 Fig. 7(b)에서 중간비점 물질의 조성 분포가 side-stream 단에서 최대인 것을 확인할 수 있다. 이는 제안한 shortcut 방법이 분리벽형 증류탑의 구조 설계 방법에 대해 적합하다는 것을 보여준다.

분리벽형 증류탑의 분리 특성은 원료 공급물의 성상과 밀접한 관

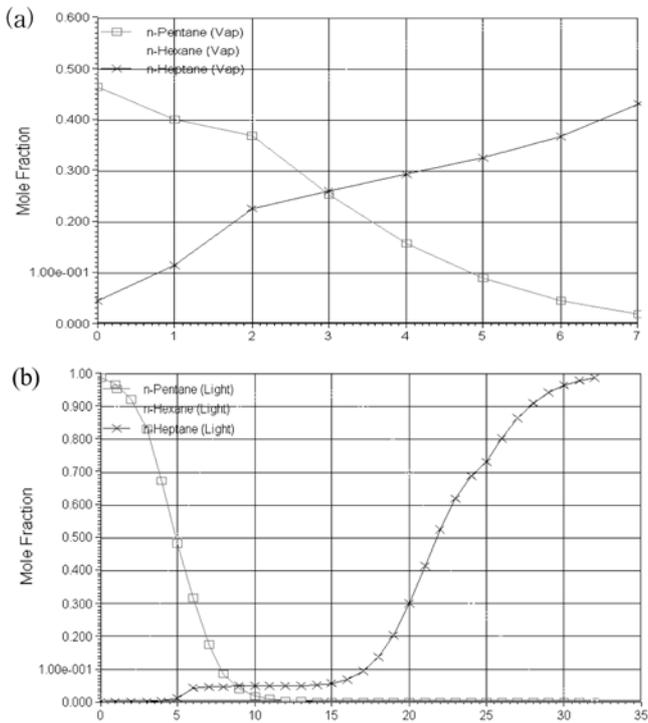


Fig. 7. (a) Composition profile in prefractionator (b) Composition profile in Mainfractionator.

계가 있으며 이러한 정보는 분리벽형 증류탑의 기본 설계에 매우 유용하다. 분리벽형 증류탑의 분리 특성과 원료 공급물 성상 간의 관계를 파악하기 위하여 다양한 alkane 계열의 혼합물을 대상으로 원료 조성분과 분리 용이성을 기준으로 Table 3과 같이 9가지 경우에 대하여 연속 2기 증류탑과 분리벽형 증류탑의 분리 특성을 비교 분석하였다.

모사 연구를 위하여 각 공급 혼합물의 조건은 1 atm, 45 kmol/h로 동일하게 설정하였고 생산물의 순도는 각각 99 mol%, 94 mol%, 99 mol%로 고정하였다. 연속 2기 증류탑과 분리벽형 증류탑의 구조설계는 제안된 shortcut 방법으로 동일한 조건하에 구하였다. Table 3에서 ESI 지표는 α_{AB}/α_{BC} 로 정의되며 A-B 혼합물과 B-C 혼합물의 상대 분리 용이성을 의미한다. 예를 들어, ESI < 1 이면 A-B를 분리하는 것이 B-C를 분리하는 것보다 어려움을 뜻하게 된다.

Table 4에서 확인할 수 있듯이 분리벽형 증류탑을 사용하면 모든

Table 3. Feed condition of ternary mixture for case study

		F1	F2	F3
M 1 ESI = 1.04	A: n-pentane			
	B: n-hexane			
	C: n-heptane			
M 2 ESI = 1.86	A: n-butane	A : 0.4	A : 0.33	A : 0.2
	B: i-pentane	B : 0.2	B : 0.33	B : 0.6
	C: n-pentane	C : 0.4	C : 0.33	C : 0.2
M 3 ESI = 0.47	A: i-pentane			
	B: n-pentane			
	C: n-hexane			

*ESI (ease of separability index)

경우에 대하여 일정량의 에너지 효율 향상을 거둘 수 있으나 그 효율 향상 정도는 원료 혼합물의 성상에 따라 최소 16%, 최대 65% 정도의 상당한 폭으로 변함을 알 수 있다. 공급 혼합물 중의 고비점, 중간비점, 저비점 물질의 조성 조건에 따른 분리벽형 증류탑의 효율을 살펴보면 중간비점 물질 B의 조성이 커질수록 분리벽형 증류탑 적용에 따른 기존 대비 에너지 절감 효과가 증가된다는 것을 알 수 있다. 이것은 분리벽형 증류탑에서의 에너지 효율 향상이 주로 중간비점 물질의 재혼합 현상을 억제함으로써 얻어진다는 사실과 부합된다.

원료 혼합물의 ESI에 따른 영향을 살펴보면, ESI 지표 값이 1에 가까울수록 에너지 절감 효과가 커짐을 확인할 수 있다. 이는 공급 혼합물이 예비분리기에 유입되면 저비점 물질과 고비점 물질을 기준으로 분리되고 분리벽 양 끝단에서 중간비점 물질을 기준으로 저비점 물질과 고비점 물질이 분리되므로 α_{AB} 와 α_{BC} 에 대한 비가 1에 가까워야 분리벽형 증류탑의 구조에 적합한 조건이기 때문이다. 요약하면, 공급 혼합물의 중간비점 물질의 함유량이 크면서 ESI 값이 1에 가까울수록 분리벽형 증류탑 적용 시 많은 에너지 절감 이익을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

한편, 분리벽형 증류탑 구형의 용이성 관점에서 볼 때, 예비분리기와 주분리기로 들어가는 액상 흐름비와 기상 흐름비가 각각 1에 가까울 때가 가장 이상적인데 이는 F2-M1 case가 이에 해당된다고 볼 수 있다. 또한 비대칭 구도의 분리벽 설치가 허용된다면 최적의 액상 흐름비와 기상 흐름비가 서로 같을수록 바람직하게 되는데 이 경우에도 F2-M1 case가 가장 적절한 것으로 보여진다. 분리벽이 대칭적으로 설치되어야 하는 경우에는 기상 흐름비가 1에 가까워야 한다는 제약 조건이 있게 된다. 그러나 액상 흐름비는 분배기에 의

Table 4. Comparison of energy consumption in conventional sequential column process and DWC

		2-TOP(10%kJ/h)	DWC(10%kJ/h)	Energy Saving(%)	Liquid Split(Pre/Main)	Vapor Split(Pre/Main)
F1	M1	2.46	1.61	35	1.6	0.9
	M2	5.36	4.49	16	0.3	0.1
	M3	5.29	3.60	32	0.4	0.2
F2	M1	2.64	1.27	52	1.3	0.9
	M2	6.02	4.38	27	0.3	0.1
	M3	5.77	3.71	36	0.3	0.2
F3	M1	3.28	1.14	65	0.7	0.4
	M2	5.87	3.65	38	0.3	0.1
	M3	5.47	3.11	43	0.5	0.3

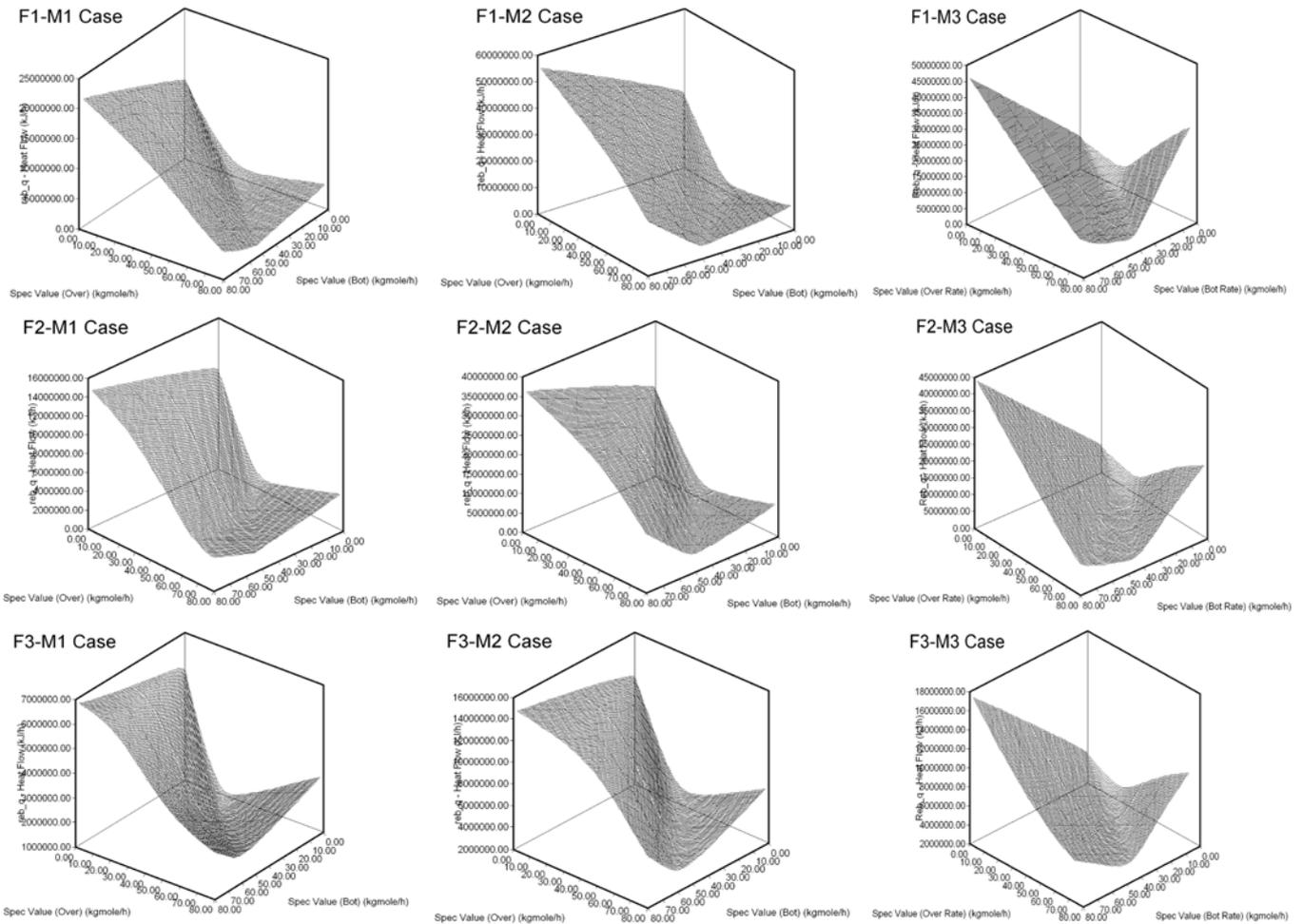


Fig. 8. Energy consumption pattern to internal flow distribution (X-axis: Pre-Liq_Flow, Y-axis: Pre-Vap_Flow, Z-axis: Reboiler Duty).

하여 어느 정도 유연하게 조절될 수 있다. 따라서 이 경우 F1-M1과 F2-M1 case가 적절하다고 볼 수 있다.

공급 혼합물 경우에 대한 예비분리기로의 액상 및 기상 흐름에 따른 소요 에너지 분포를 Fig. 8에 보였다. 그림에서 동일한 ESI값을 가지는 원료 혼합물에 대해서는 유사한 소요 에너지 분포 경향을 보임을 알 수 있다. ESI 값이 1에 가까운 원료 혼합물의 경우(즉 M1) 최적 액상 및 기상 흐름 부근에서의 에너지 소모 정도의 변화가 작은 반면, ESI < 1(즉 M3)의 경우 매우 급격한 에너지 소모량 변화를 보이고 있다. 이는 M2의 경우 분리벽형 증류탑의 설계에서의 오차에 대하여 성능 유지를 위한 마진 확보가 용이하다는 장점을 가지는 반면, M3의 경우 설계 오차에 따른 성능 저하가 심각할 수 있다는 적용상의 문제점을 가질 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

분리벽형 증류탑의 초기 설계 단계에서의 구조 결정을 위하여 분리벽형 증류탑의 구조에 근접한 3기의 일반 증류탑 배열 구조에 대하여 Fenske-Underwood 방법을 적용하는 shortcut 방법을 제안하였다. 제안된 방법으로 설계된 분리벽형 증류탑의 탑내 혼합물 조성 분포를 확인한 결과 구조 설계의 적합성을 확인할 수 있었다. 원료 혼

합물 조성과 분리 용이성을 기준으로 설계된 원료 혼합물 그룹에 대하여 분리벽형 증류탑의 구조 설계를 수행한 결과 연속 2기 증류 공정에 비해 최대 65% 정도의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 분리벽형 증류탑의 적용에 따른 분리 성능 향상 효과는 중간비점 물질의 조성이 클수록 또는 ESI 값이 1에 가까울수록 커짐을 알 수 있었다. 한편 최적 에너지 분포 경향은 공급 혼합물의 조성보다는 ESI 값에 따라 최적 분포 경향이 결정된다는 것을 알 수 있었다.

감 사

이 과정은 에너지관리공단의 2006 에너지자원기술개발과제에 의하여 지원되었습니다.

참고문헌

1. Salvador, H. and Arturo J., "Controllability Analysis of Thermally Coupled Distillation Systems," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**(10), 3957-3963(1999).
2. Agrawal, R., "A Method to Draw Fully Thermally Coupled Distillation Column Configurations for Multicomponent Distillation," *Ins. Chem. Eng. Trans IChemE.*, **78**(3), (2000).

3. Juan, L. B., Maria, N. B., Salvador, H., Vicente, R. and Jimenez, "Energy-Efficient Designs of Thermally Coupled Distillation Sequences for Four-Component Mixtures," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **42**(21), 5157-5164(2003).
4. Ben-Guang, R., Andrzej, K. and Ilkka, T., "Synthesis of Heat-Integrated Thermally Coupled Distillation Systems for Multi-component Separations," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **42**(19), 4329-4339 (2003).
5. Ivar, J. H. and Sigurd, S., "Minimum Energy Consumption in Multicomponent Distillation.2. Three-Product Petlyuk Arrangements," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **42**(3), 605-615(2003).
6. Ivar, J. H. and Sigurd, S., "Optimal operation of Petlyuk Distillation: Steady-state Behavior," *J. Process Control.*, **9**(5), 407-424 (1999).
7. Jimenez, A., Ramirez, N., Castro, A. and Hernandez, S., "Design and Energy Performance of Alternative Schemes to the Petlyuk Distillation System," *Ins. Chem. Eng. Trans IChemE.*, **81**(5), 518-524(2003).
8. Erik, A. W. and Sigurd, S., "Operation of Integrated Three-Product (Petlyuk) Distillation," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**(6), 2094-2103(1995).
9. Ivar, J. H. and Sigurd, S., "Shortcut Analysis of Optimal Operation of Petlyuk Distillation," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **43**(14), 3994-3999(2004).
10. Frigyes, L., David, E., Hiroshi, Y. and Colin, H., "Kellogg Divided Wall Column Technology for Ternary Separation," *The 5th International Symp. Tech.- Korea and Japan Seoul, Korea*, 19-21 (1999).
11. Abdul Mutalib, M. I. and Smith, R., "Operation and Control of Dividing Wall Distillation Column, Part1: Degrees of Freedom and Dynamic Simulation," *Trans IChemE.*, **76**(3), 308-318(1998).
12. Michael, A. S., Douglas, G. S., James, M. H., Steven, P. R., Mohammed, S. S. and Dennis, E. O., "Reduce Costs with Dividing-Wall Columns," *CEP.*, **98**(5), 64-71(2002).