

회분증류의 조업시간 비교

김태경, 주동표
아주대학교 화학공학과

Comparison of Batch Distillation Times

Tae Kyong Kim, Dong Pyo Ju
Department of Chemical Engineering, Ajou University

서론

화학공업분야의 대표적 분리조작인 증류는 에너지 소모량이 많은 단위조작이다. 따라서 증류조작을 수행할 경우 가급적 에너지 소모를 줄이도록 하는 것이 매우 중요하다. 증류는 연속식 또는 회분식으로 조업되며 최근에는 정밀화학산업의 발전에 따라 회분증류의 중요성이 재인식되고 있다. 회분 증류는 일반적으로 일정환류법이나 변동환류법으로 운전되고 있으나 일정환류법은 탑상부 증류물의 조성이 계속 감소되며 변동환류법은 환류비를 연속적으로 증가시켜야 하는 단점이 있다. 이에 따라 Treybal[1]은 전환류로 조업하는 회분 증류법을 제안하고 이성분계 시료를 분리하였다. 전환류 회분증류에서는 Fig. 1에 표시된 바와 같이 전통적 회분 증류탑의 상부에 증류물 용기를 설치하여 전환류 조건하에 조업을 진행하며 조업이 끝나면 증류물 용기의 내용물이 탑상부 생성물이 된다. 이 방법은 전통적 방법에 비하여 조업의 간편성과 안정성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 최근 Kim과 Ju [2,3]는 전환류 회분증류법을 다성분계에 적용하는 방법을 개발한 바 있다. 본 연구는 일정환류법 및 변동환류법과 전환류 회분증류법 사이에 동일한 양과 순도의 생성물을 얻는데 소요되는 증류시간을 비교한 것으로 이를 바탕으로 전환류 회분증류법이 전통적인 방법에 비해서 증류시간이 단축(에너지 절감)되는 조업조건을 고찰하였다.

회분 증류 시간

증류시간은 시료특성(시료의 종류, 시료의 양, 시료의 조성), 장치특성(평형단수, 체류량) 및 조업조건(증류물의 양, 순도, 증기생성속도)등이 복합적으로 작용하여 결정된다.

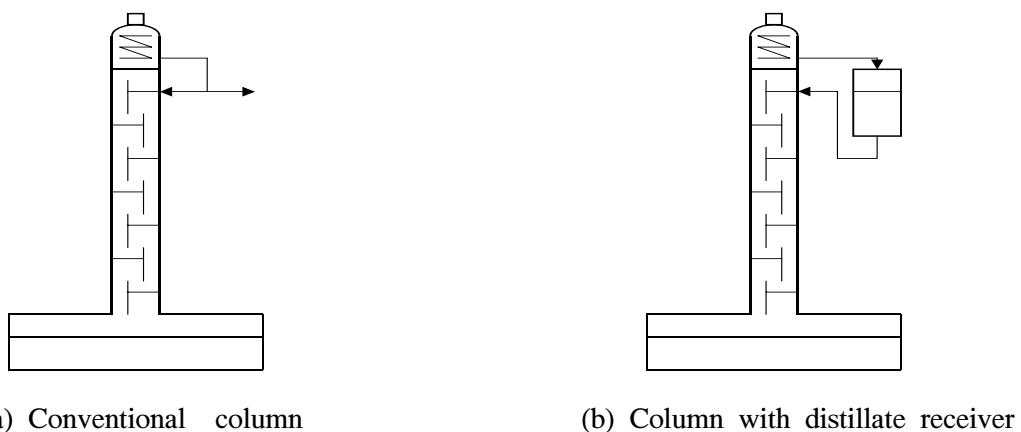


Fig. 1 Schematic diagram of batch distillation column

본 연구에서는 이러한 조업변수들 중에서 평형단수, 증류물의 양, 순도를 변화시켜 전산 모사를 수행한 결과의 일부를 수록하였다. 증류시간을 계산함에 있어 전통적인 증류의 전산모사는 ChemCad Batch version 5.1을 사용하였고 전환류 증류는 본 연구실에서 개발한 프로그램을 사용하였다[4,5].

전산 모사 조건

System : Acetone(1)-Methanol(2)-2-Propanol(3)
 Initial charge : F = 220 mol
 Initial feed composition : $x_{W1}^0 = 0.1449$, $x_{W2}^0 = 0.3165$, $x_{W3}^0 = 0.5386$
 Heating rate into still : Q = 20914 cal/min
 Holdup : 39.27ml/plate, 39.27ml/condenser
 Equilibrium stages : N = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10
 Distillate purity : $x_{D1}^f = 95, 90, 85, 80\%$ of x_{D1}^{max}
 Amount of the distillate : D = 100, 95, 90, 85, 80% of Dmax

전산 모사 결과

Fig. 2는 증류물의 순도 (x_{D1}^f)와 이 순도로 회수 가능한 증류물의 최대량(Dmax) 사이의 관계를 나타낸 것이다. 희망하는 증류물의 순도를 최고순도로 할 경우 얻을 수 있는 생성물의 양은 0이 되므로 증류물의 규정순도 (x_{D1}^f)는 최고순도보다는 낮은 값이어야 한다.

Fig. 3은 x_{D1}^f 를 최고순도의 95%로 하여 전환류 증류를 할 때 생성물의 양(D)에 따라 증류시간이 달라짐을 보이고 있다. 증류물 용기 속의 응축물의 농도 증가 속도는 시간이 경과하면서 점점 작아지므로 증류물의 양을 최대량(Dmax)으로 하면 오랜 증류시간이 소요되지만 D를 Dmax보다 약간 작게 하면(예: D/Dmax=0.95) 증류시간이 크게 단축됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 전통적 방법인 일정 환류법과 변동 환류법 사이의 상대적 증류시간을 비교한 것이다. 일정 환류법을 사용할 경우의 증류시간은 증류물의 양과 평형단수에 상관없이 변동 환류법에 비해 짧은 증류시간을 나타내며 증류물의 양을 크게 할수록 단축정도가 증가됨을 알 수 있다. 검토된 모든 조업조건인 경우 일정 환류법은 변동 환류법에 비하여 증류시간이 작음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 생성물의 순도를 최고순도의 95%로 하고 생성물의 양을 최대량의 95, 90, 85, 80%로 할 때 전환류 회분 증류법과 일정 환류법 사이의 증류시간을 비교한 것이다. 상대적 증류시간 T_t/T_c 는 생성물의 양이 작아지면 감소하고 평형단의 수에 큰 영향을 받으며 전환류 회분 증류법이 일정 환류법에 비하여 증류시간이 크게 단축됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 생성물의 양을 최대량의 95%를 취할 때 전환류 회분 증류법과 일정 환류법 사이의 상대적 증류시간을 평형단수에 대하여 나타낸 것이다. 검토된 모든 평형단수의 경우 전환류 회분 증류를 수행하면 일정 환류법을 사용할 때에 비하여 조업시간이 10~37% 단축 가능함을 알 수 있다. 단축의 정도는 탑 내에 존재하는 평형단의 수에 따라 다르며 단의 수가 2~3단인 경우가 가장 많이 단축되는 것으로 나타났다.

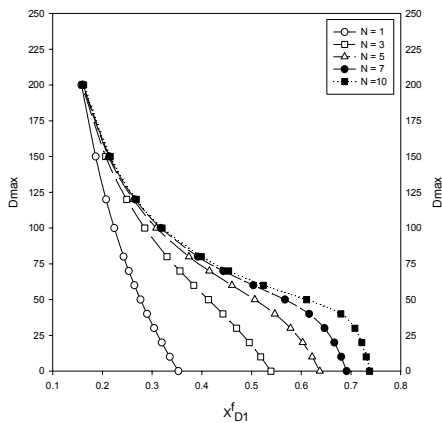


Fig. 2 Relation between D_{max} and x_{D1}^F

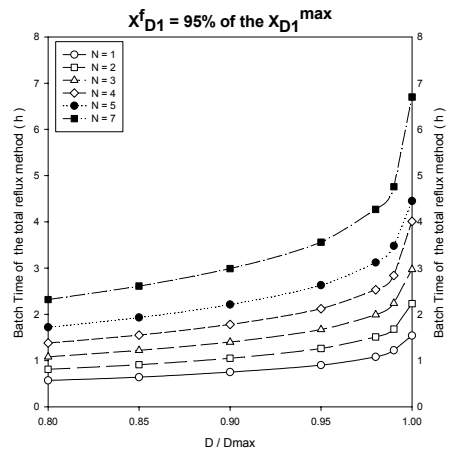


Fig. 3 Effect of the amount of distillate on batch distillation time

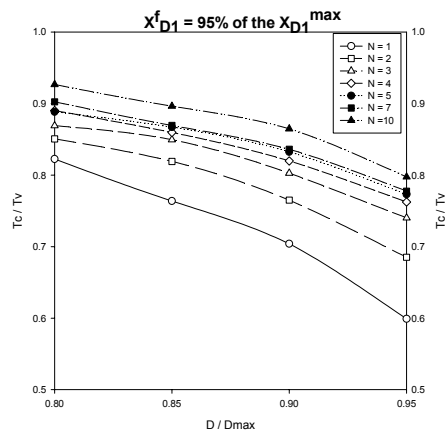


Fig. 4 Relative batch time between constant reflux method and variable reflux method

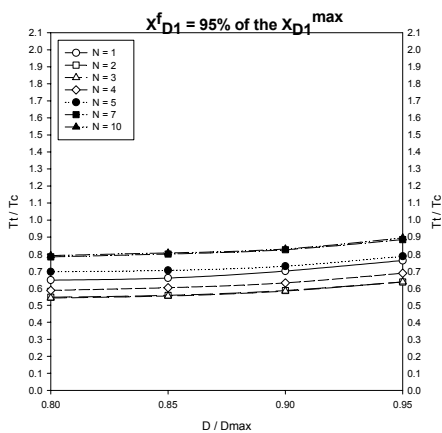


Fig. 5 Effect of the amount of distillate on relative batch time, T_t/T_c

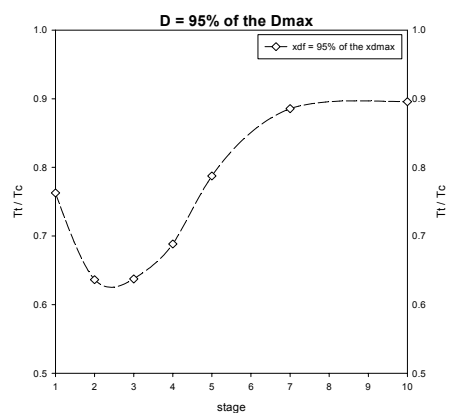


Fig. 6 Effect of the stage number on relative batch time, T_t/T_c

결론

증류물용기를 사용하는 전환류 회분증류법과 일정환류법 및 변동환류법으로 대별되는 전통적 회분증류법 사이에 동일한 양과 조성의 증류물을 얻기 위하여 필요한 증류시간을 비교하였다. 증류시간은 시료의 종류, 시료의 양, 시료의 초기조성과 같은 시료특성과 평형단수, 체류량과 같은 장치특성 및 증기생성속도, 생성물의 양, 생성물의 순도 등의 조업 조건이 복합적으로 작용하여 결정되는 조업 특성치이다. 본 연구에서는 acetone-methanol-2-propanol 3성분계에 대하여 생성물의 양과 순도 및 증류탑 내에 존재하는 평형단수의 영향을 검토하였다.

검토된 조건 내에서 판단할 때 변동환류법은 일정환류법에 비하여 항상 증류시간이 더 소요되는 것으로 나타났다. 또한 일정환류법과 증류물용기를 이용하는 전환류 회분증류법의 경우 증류물의 순도를 높이고 회수하는 증류물의 양을 적게 할수록 전환류 증류법이 일정환류법에 비해 증류시간이 단축됨을 알 수 있었다. 증류물의 순도를 최고순도의 95%로 규정하고 생성물을 회수 가능한 최대 양의 95%를 취할 때 전환류 증류법은 일정환류법에 비하여 증류시간이 항상 단축되었다. 단축 정도는 탑 내의 평형단수에 따라 차이가 있어 10%(10단)~37%(2, 3단)로 나타났는데 평형단수가 4~5단을 넘지 않는 통상의 회분 증류탑의 경우 30% 내외의 증류시간 단축이 가능함을 알 수 있었다.

증류시간의 단축은 증류에너지의 감축을 뜻한다. 따라서 일정환류법 또는 변동환류법을 사용하여 수행되고 있는 회분 증류를 증류물용기를 이용하는 전환류 회분증류법으로 대체할 경우 증류에너지가 크게 절약될 것으로 기대되고 있다.

사용 기호

x_{D1}^{\max} : Maximum concentration of the lightest component in the distillate (-)

x_{D1}^f : Specified product purity of the lightest component in the distillate (-)

D_{\max} : Maximum amount of the distillate for x_{D1}^f (mol)

D : Amount of the distillate receiver (mol)

F : Amount of the original batch charge (mol)

Q : Heating rate into still (cal/min)

N : Number of equilibrium stages in the column (-)

T_t : Batch distillation time for total reflux method (h)

T_v : Batch distillation time for variable reflux method (h)

T_c : Batch distillation time for constant reflux method (h)

참고 문헌

1. Treybal, R. E.: Chem. Eng., October, 95(1970)
2. Kim, J. K. and Ju, D. P.: Ind. Eng. Chem. Res., 38, 1024(1999)
3. Kim, J. K. and Ju, D. P.: Sep. Sci. and Technol., 35(10), 1517(2000)
4. 김정근: 증류물 용기가 부착된 회분 증류탑에 대한 해석, 박사학위 논문, 아주대학교(2001)
5. 김정근, 권남호, 김태경, 주동표: 증류물용기를 이용하는 다성분계 회분증류에 관한 연구, 산업자원부(2002)