

BTX 분리 공정에서의 에너지 절약형 증류탑의 응용

박창원, 황희태, 정승배, 박재웅, 황규석*

부산대학교

(kshwang@pusan.ac.kr*)

Application of An Energy-Efficient Distillation system in the BTX Separation Process

Chang Won Park, Hee Tae Hwang, Seung Bae Jung, Jae Woong Park, Kyu Suk Hwang*

Department of Chemical Engineering, Pusan national university

(kshwang@pusan.ac.kr*)

서론

우리나라는 에틸렌 생산과 원유 정제능력 세계 5위로서 석유화학산업이 국가 에너지 소비와 산업부문 에너지 소비에서 차지하는 비중이 매우 큰 산업구조이다. 석유 및 화학 공정은 산업의 특성상 에너지 대량소비산업에 속하며 제품의 생산비 절감을 위해서는 에너지 비용 절감이 필요하다. 증류공정은 석유화학산업에서의 대표적 에너지 소비공정으로서 우리나라 산업 부문 에너지 총소비의 19%와 국가 에너지 총 소비의 11%라는 막대한 에너지를 소요하며, 석유화학산업 에너지 총 소비의 50%가 분리공정으로 소비되며 분리공정 에너지 총 소비 중 85%가 증류공정에 이용된다.

본 연구에서는 2기의 증류탑을 이용한 에너지 절약형 증류탑을 BTX 분리 공정에 적용하여 HYSYS SIMULATOR를 이용하여 공정 개발 및 제어구조를 개발한다.

에너지 절약형 증류탑의 효율

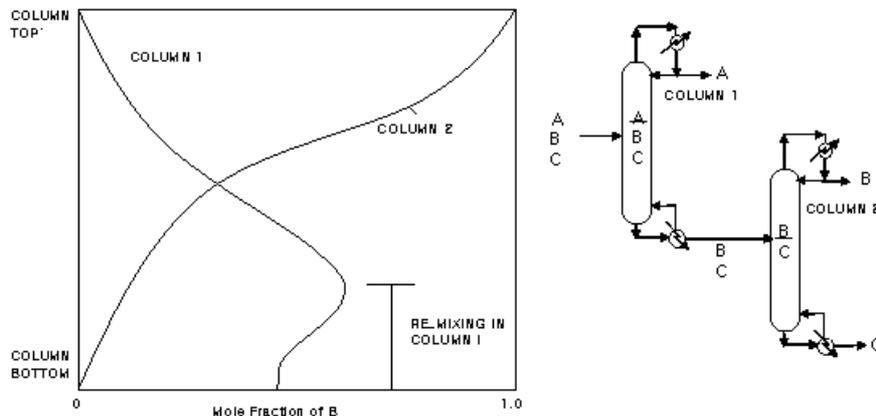


Fig. 1. Composition profile of the middle component in the columns of the direct sequence

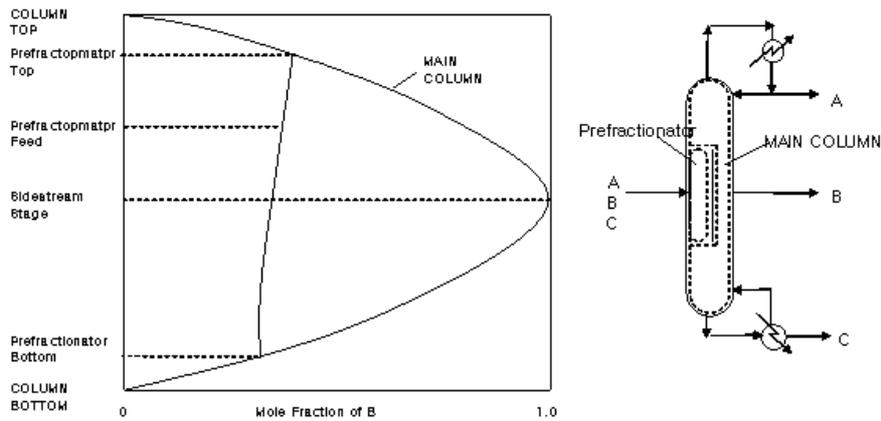


Fig. 2. Composition profile of the middle component in the columns of the FTCDC

구조적 설계

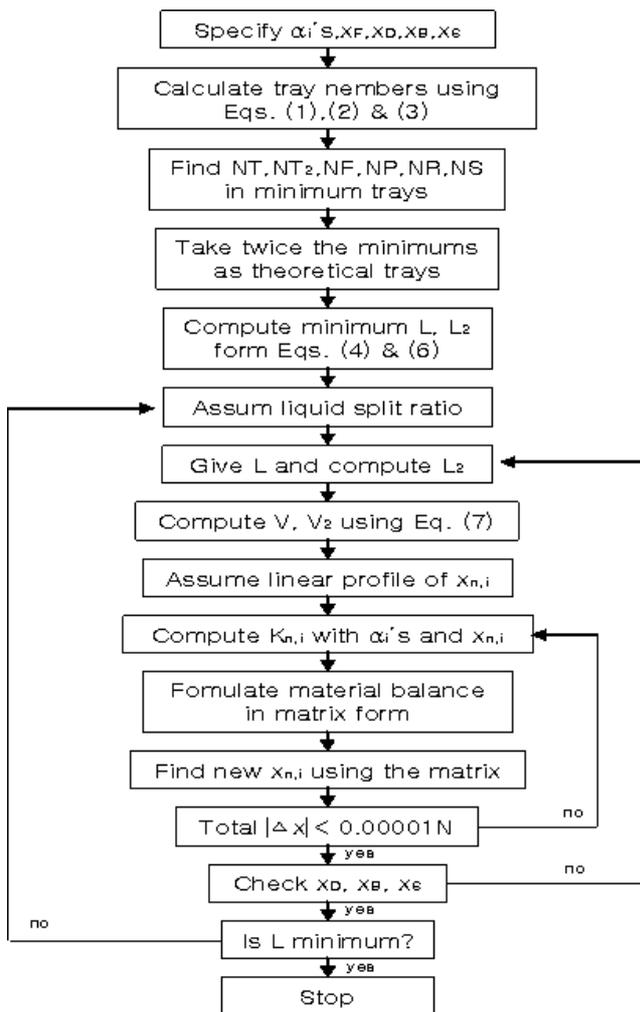


Fig. 3. Computation sequence of the design

기존의 증류탑의 설계에서는 최소 환류의 1.2 ~ 2.0 배의 범위의 환류 셋팅에 의한 여러 설계식들을 사용하여 단수는 계산되었다. 최적 환류를 사용하면 증류탑의 단 수는 쉽게 얻을 수 있지만, 그 절차는 연결단들 위치와 연결스트림들 조성의 불분명한 정보로 인한 FTCDC의 설계에는 적용이 될 수 없다.

하지만 prefractionator와 main column의 최소 단 수는 Fig. 3.에 나타낸 설계 절차를 사용하므로써 우선적으로 계산되어진다. 또한 그 절차로부터 feed와 side product 단 위치, prefractionator와 main column사이의 연결단 위치가 얻어진다.

구조적 설계방법은 반복적인 계산 절차를 제거하는데 도움을 주며, main column의 설계에서는 Fenske 다성분 설계식이 적용하였다.

side product 조성을 포함하는 잔류곡선을 따르기 위해 단수 계산은 side

product 단의 upper section과 lower section의 두 section으로 분리되어진다. column의 upper section에서 가장 가벼운 것과 중간 구성성분들이 Fenske 다성분 설계식에서 사용되어졌고, lower section에서는 중간 구성성분과 가장 무거운 성분들이 사용되어졌다. prefractionator의 설계는 위의 방법을 이용할 수 없는데 마지막 조성을 알 수 없기 때문이다. 그래서 stage-to-stage계산법이 제시되어진다.

feed stage는 포화된 액체 feed 조성과 같은 액체 조성을 가지고 단 효율은 이상적이라고 가정하면, feed 단의 위의stage의 액체조성을 Eq. (1)로부터 계산할 수 있다.

$$x_{n+1} = a_{i,1}x_{n,i} / \sum_j a_{i,1}x_{n,j} \quad (1)$$

하첨자 n은 하부에서부터 세어진 n번째 tray를 표시하고 a는 상대 휘발도이다. 이 계산은 구해진 구성성분의 조성이 side product보다 작을 때 까지 계속된다. 만일 조성이 side product보다 크다면 side product의 규격에 맞출 수 없다. 조성은 위의 연결단으로부터 아래로 증가하고, 따라서 연결단에서 규격보다 작아야 한다. feed 단의 아래 stage의 액체 조성은 다음으로부터 계산되어진다.

$$x_{n-1} = x_{n,i} / \left\{ a_{i,1} \sum_j (x_{n,j} / a_{i,1}) \right\} \quad (2)$$

이 경우 계산은 가장 가벼운 구성성분의 조성이 upper section의 설계로써의 side product의 조성보다 낮을 때까지 계산한다. 이제 upper section과 lower section의 단수는 prefractionator의 총단수가 된다. 게다가 prefractionator의 끝에 가장 가까운 조성을 가지는 단의 선택은 main column에서 연결단의 위치를 말해준다. upper section과 lower section의 단수들이 주어졌기 때문에 feed와 side product의 단 수는 쉽사리 결정되어진다.

운전변수

Name	Prefractionator	Main Column
Structural		
number of trays	21(18)	89(82)
feed/side product interlinking stages	7	28 6 74(58)
Operating		
feed (kg-mol/h)	801.8	
overhead (kg-mol/h)		86.8
bottom (kg-mol/h)		337.7
side (kg-mol/h)		377.3
reflux (kg-mol/h)	290.1	1792
vapor boilup (kg-mol/h)	492.9	1634
heat duty (Gcal/h)		14.18

main column과 prefractionator사이에는 reflux flow rate, vapor boilup rate, liquid and vapor split ratio의 네 개의 조작변수가 있다. 이들 중 두개는 등몰흐름의 가정하에 정상상태 계산에서 제거된다.

Fig. 4. Result of structural design and operating condition

HYSYS를 이용한 공정모델링

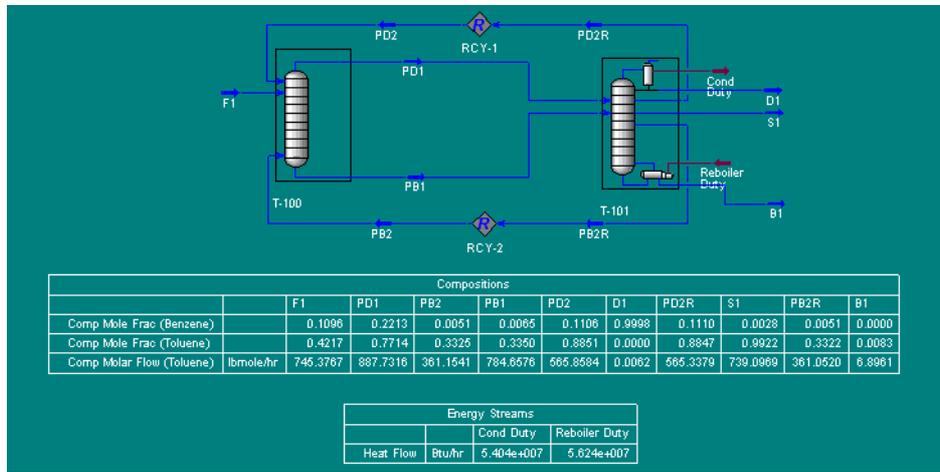
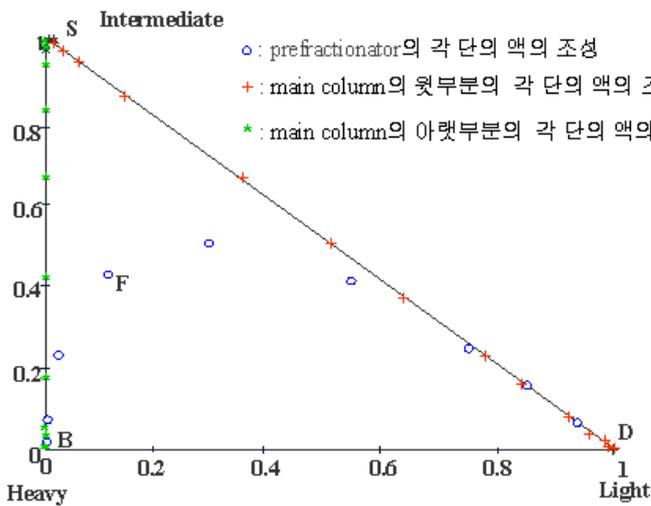


Fig. 5. PFD of the FTCDC in HYSYS (Steady State).

결론

평형증류곡선을 이용한 열복합 증류탑의 구조적 설계로 탑의 구조적 정보(탑의 단수, 원료 및 제품 배출단, 중간 연결단 등)를 얻었으며, 최소 소요단으로



prefractionator의 단 수는 9 단, main column의 단 수는 41 단이 요구되어진다.

이 정보는 바로 HYSYS 설계 프로그램에 적용되었고, 열복합 증류탑의 설계를 수행하였다.

Fig. 6. Liquid composition profile in a FTCDC system at the minimum number of trays.

참고문헌

Schultz, M.A., et al., Chem. Eng. Prog., 97(5), 64-70, 2002.
 Fidkowski, Z. and Krolikowski, L., 1987, AIChE J, 33(4): 643.