

수평증류를 이용한 에탄올-프로판올 혼합물의 증류실험

김병철 · 김영한[†]

동아대학교 화학공학과
604-714 부산시 사하구 하단동 840
(2012년 8월 22일 접수, 2012년 10월 22일 채택)

Experimental Distillation of Ethanol-Propanol Mixture Using a Horizontal Column

Byoung Chul Kim and Young Han Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Dong-A University, 840 Hadan-dong, Saha-gu, Busan 604-714, Korea
(Received 22 August 2012; accepted 22 October 2012)

요 약

소형 충전물을 이용한 수평형 증류 장치를 제작하여 실험실 규모의 증류실험을 실시하였다. 직경 6.7 mm Raschig 링 형태의 스테인레스 스틸 충전물을 넣은 40 mm 직경의 유리관을 증류탑으로 사용하였다. 증류관의 길이 방향으로 5개의 독립된 전기가열기를 배열하여 증류관 내부 온도를 분리 조절할 수 있도록 하였다. 증류관 내의 온도가 길이에 따라 연속적으로 변화하도록 조절함으로써 각각의 온도에 상응하는 기-액 평형을 형성하여 분리가 가능하도록 하였다. 증류실험의 결과 증류관의 증류단 상당길이(HETP)가 수직형 증류관에 비해 큰 것을 알았으며, 실용화가 가능한 처리 용량과 분리효율을 얻었다.

Abstract – A lab-sized distillation experiment was conducted using small-size packings and a horizontal distillation column. The 6.7 mm Raschig ring type packings of stainless steel and a 40 mm glass column were used, and five independent electric heaters were installed in the axial direction to adjust the column inside temperature separately. The temperature was continuously distributed along the column length to provide equivalent equilibrium to the temperature for the separation. From the experimental results, a larger HETP of the column than the vertical distillation column was obtained, but it was found that the practical separation with proper processing capacity and separation efficiency was available.

Key words: Distillation, Horizontal Distillation, Packed Column, Efficiency

1. 서 론

증류 공정에서의 에너지 절감을 위해 기존 증류탑을 활용한 여러 가지 변형된 형태나 구조의 증류탑이 제안되었고 이들 증류탑의 효율성과 에너지 절감효과를 알아보기 위한 많은 연구가 발표되었다 [1-3]. 고효율 증류탑은 3 가지로 분류될 수 있는데 분리벽형 증류탑, 내부 열교환형 증류탑 및 비단열 증류탑이 있다. 그러나 이들은 모두 수직형 증류탑으로 증류탑의 방향을 수평으로 하면 기존의 증류탑이 가지는 여러 가지 문제를 해결할 수 있는 장점이 있어 이를 시험하고자 하였다.

증류 공정에서 사용되는 기존의 증류탑은 수직형 분별 증류장치를 사용한 것으로 증류공정에서 이성분 분별 증류장치는 원료가 공급되는 증류탑의 공급단을 기준으로 상부제품을 분리하는 정제부와 하부제품을 분리하는 회수부로 구성되어 있다. 회수부의 하단에 제

비가 설치되어 탑의 하단으로 증기를 공급하고 공급된 증기는 탑 상부 즉, 정제부를 거쳐 탑 상단으로 배출된 후 냉각기에서 액으로 냉각되어 다시 탑으로 환류되며, 탑 내에서 기액 접촉을 연속으로 할 수 있도록 한 구조를 가지고 있다. 이러한 장치를 소형화하고 증류실험을 실시하여 분리효율을 측정한 연구가 발표된 바 있다[4]. 수직형 분별 증류장치에서 충전물 표면의 액 분산은 기-액 접촉면적에 가장 큰 영향을 미치며 기-액 간 물질전달 속도에 비례하므로 충전탑의 효율에 직접적으로 영향을 끼친다. 여러 가지 물리적 성질 중에서 액의 표면장력은 충전물 표면에서 액의 분산에 가장 큰 영향을 미치므로 이들의 관계를 실험적으로 연구하였다[5]. 최근 들어 일정 배열 구조의 충전탑이 상업용으로 많이 사용됨에 따라 충전탑의 설계용 이론단의 추정을 위한 많은 연구가 많이 진행되고 있다[6].

이와 같은 분별증류 장치는 충전물을 사용하여 효율성을 많이 증대되었으나, 수직형 분별증류 장치가 가지는 한계는 액이 충전물의 표면에 체류하는 시간이 제한적이라는 점이다. 즉 중력 때문에 액이 충전물 표면에서 체류하는 시간은 극히 짧으며, 이를 극복하기 위하여 환류에 의한 액의 지속적인 공급이 필요하다. 이러한 문제는 충

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: yhkim@mail.donga.ac.kr

*이 논문은 KAIST 박선원 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

전탑 뿐만 아니라 트레이 탑에서도 동일하게 적용된다. 환류는 증기를 냉각하여 만들어지므로 증기를 공급해야 한다. 증류장치 하단의 회수부에 증기를 공급하기 위한 재비기가 설치되고, 정제부 상단에 액을 공급하기 위하여 증기를 액으로 만드는 냉각기가 설치되어 있다. 이 과정에서 고비점 성분과 저비점 성분의 분리는 증기와 액이 서로 교차하여 흐르면서 서로 접촉하여 저비점 성분은 증류탑의 상부로, 고비점 성분은 증류탑의 하부로 이동하면서 분리가 이루어진다. 이렇게 증기와 액이 충분히 접촉할 수 있도록 냉각기에서 얻어진 액을 증류탑의 상부로 환류하여 지속적으로 공급한다. 앞에서 말한 바와 같이 증류탑이 수직으로 설치되어 있어 액이 증류탑 내에서 체류하는 시간이 매우 짧으므로 대량의 액을 환류하여야 한다. 환류된 액은 증류탑의 하부에서 다시 가열하여 증기로 만들어지고 증기는 증류탑 하부로 공급되어 상부로 이동하면서 액과 지속적으로 접촉하는 구조를 가지고 있다. 이 과정에서 많은 에너지가 필요하게 된다. 충분한 기-액 접촉을 위하여 많은 양을 연속으로 가열하고 냉각하는 과정을 가지기 때문이다. 이렇게 증류공정에서 많은 양의 에너지를 사용하고 있기 때문에 에너지 사용량의 절감을 위하여 증류탑의 구조를 변경하는 등 여러 방법이 응용되고 있으나, 기존 공정의 설비변경에 따른 공정의 문제점 발생을 우려하여 현장에서는 새로운 증류공정의 도입을 피하고 있다. 이러한 이유로 증류공정의 혁신적인 개선에는 지금까지 큰 진전이 없었다.

본 연구에서는 기존의 수직형 증류 장치 대신 수평형 증류 장치를 이용한 이성분 증류탑을 사용하여 액의 체류시간을 충분히 가질 수 있는 증류 장치를 제안하고, 이를 이용한 이성분 분별 증류 실험을 실시하여 그 효과를 조사하였다. 수평형 분별 증류장치는 수직형 분별 증류장치에 비해 액의 체류 시간이 길어 지속적인 환류가 없어도 증류탑 내에서 액을 장시간 체류시킬 수 있다. 그러나 수평형 분별 증류장치를 사용한 기존의 실험연구에서 원료의 처리량이 매우 적어 실제 활용의 가능성에 대한 완전한 해답이 없었기 때문에 본 연구에서는 에탄올과 n-프로판올의 2성분을 분리하는 증류실험을 실시하여 보다 큰 용량의 분리가 가능한지를 조사하였고, 또한 수평형 증류탑의 실용 가능성과 증류효율에 대해 살펴보았다.

2. 실험

2-1. 실험장치

수평형 증류실험의 장치 그림이 Fig. 1에 나타나 있다. 장치는 길이 150 cm, 내경 4 cm의 유리관에 충전물을 채우고 저비점 제품 회수부분에 유리 냉각관을 설치하여 증기로 배출된 저비점 제품을 액으로 냉각하여 수집하도록 되어있다. 증류관의 양단은 실리콘 고무마개를 막고 1/4인치 동관을 설치하여 제품을 생산하였다. 유리 증류관은 온도를 조절하여 기-액 평형을 유지함으로써 저비점 제품과 고비점 제품의 분리 생산이 가능하도록 하였다. 즉 그림에서 H1으로 표시된 부분은 가장 낮은 온도, H5로 표시된 부분은 가장 높은 온도를 유지함으로써 증류관의 온도분포가 왼쪽에서 오른쪽으로 균일하게 상승하도록 유지하였다. 그렇게 함으로써 왼쪽에서는 저비점 성분이 모이고 오른쪽에는 고비점 성분이 모이도록 유도하였다. 이러한 온도 조절을 위하여 Fig. 2와 같은 온도조절 장치 5조를 각기 별도로 설치하여 원하는 온도를 유지하였다. 유리관의 바깥에는 가열을 하기 위하여 열선을 배치하였으며, 실험 장치에 사용되어진 가열장치의 열공급 양을 조절하기 위하여 슬라이더스로 공급전압을

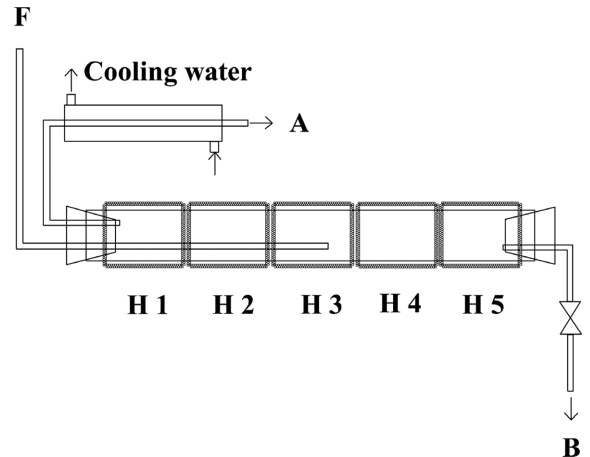


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup. A is low boiling-point product, and B is high-boiling point product. The column inclines by 3 degrees, of which the left side is higher than the right.

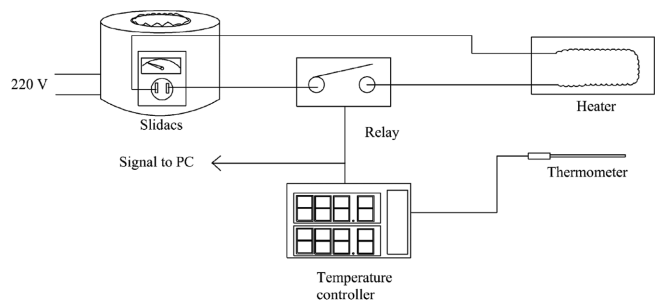


Fig. 2. Schematic diagram of temperature controlled heating system.

조절하였다. 원료는 증류관의 중간에 공급하였는데, 유리 증류관의 중간에 관을 설치하기 어려운 관계로 저비점 제품 생산구를 통하여 1/4인치 동관을 설치하고 일정량의 원료를 공급하였다. 원료의 유량은 로타미터를 이용하여 측정하였으며 로타미터에 부착된 밸브를 조절하여 원료유량을 적절하게 유지하였다. 증류관은 고무마개를 사용하여 상부와 하부를 밀폐하였고 상부와 하부의 제품 회수부분은 동관을 사용하였으며 고비점 제품의 생산량 조절은 밸브를 이용하여 조절할 수 있도록 하였다. 충전물은 Fig. 3(a)와 같이 가로 35 mm, 세로 5.6 mm의 스테인레스 철망을 Fig. 3(b)와 같이 말아서 Fig. 3(c)와 같은 원통형으로 하여 Raschig ring 형태로 만들었다. 충전물의 표면적을 크게 하고 공극률을 최대로 하기 위하여, 철망의 철선은 80 μ m, 철망의 구멍은 140 μ m인 것을 사용하였다.

수평형 분별 증류 실험의 유리관은 저비점 제품 생산구가 고비점 제품 생산구보다 약간 높게 3도의 각도로 기울어져 있으며, 유리관 외벽에 설치된 열선은 각각 30 cm의 유리관 길이로 다섯 부분으로 나누어져 감겨져 있다. 유리 증류관을 경사지게 설치함으로써 고비점 제품은 액으로 생산되고 저비점 성분은 증기로 얻을 수 있도록 설계하였다. 원료의 액이 증류관의 중앙에 공급되면 액은 Fig. 1의 오른쪽(낮은 쪽)으로 흘러가면서 고비점 성분이 농축되고 증기는 왼쪽(높은 쪽)으로 이동하면서 저비점 성분이 농축되도록 하였다. 이렇게 성분별 분리가 가능한 것은 오른쪽은 온도가 높게 유지되고 왼쪽은 온도가 낮게 유지되도록 조절하여 온도에 따라 증류관 내 평형이 형성되도록 하였다. 각 부분의 온도는 온도조절계에 의해 온도가

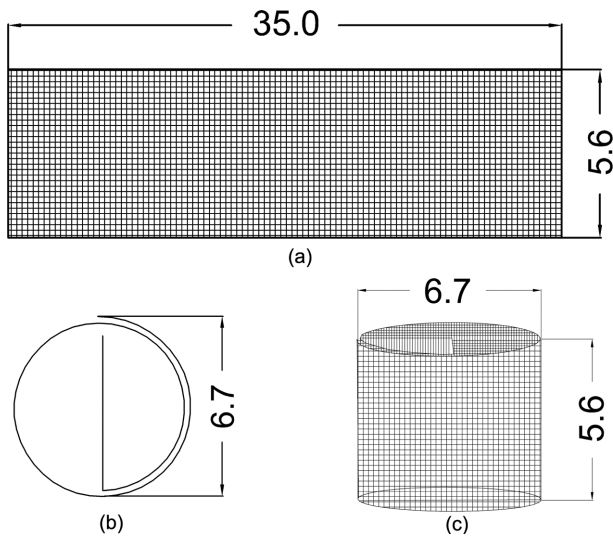


Fig. 3. Detailed description of a packing: (a) spread picture, (b) top view, (c) conceptual view. Units are in millimeters.

독립적으로 조절되도록 하였다. 유리관 외벽에 설치한 열선은 직경 4 mm의 스프링형식으로 감아 유리관에 밀착하고 고열 테이프로 고정시켰으며, 슬라이다스를 사용하여 전열 전압이 조절된 전기를 공급하였다. 온도조절용 릴레이를 전기공급선 중간에 연결하여 자동으로 일정온도를 유지할 수 있도록 하였으며, 유리관의 온도를 측정하기 위하여 유리관에 있는 열선 사이에 열전대 온도계를 고정시켜 각각의 온도를 측정하였다. 충전물이 들어있는 유리관의 보온을 위하여 유리섬유로 되어진 5 cm 두께의 단열재를 사용하여 유리관 외벽의 열선 외부를 완전하게 보온하였다. 냉각관은 유리로 만들어진 것으로 길이가 32 cm인 것을 사용하였으며 충전물이 들어있는 유리 증류관 위쪽에 고정시켰다. 유리 냉각기에 흐르는 냉각수는 수도물을 사용하였다.

2-2. 실험방법

실험장치가 준비되면 에탄올(94%, SK Chemicals Co., Korea)과 *n*-프로판올(99.5%, Duksan Pure Chemical Co., Korea)을 50 vol.%로 혼합하여 3 L의 혼합용액을 준비하였다. 준비된 혼합용액을 원료 저장조에 넣고 유리 증류관의 낮은 쪽(고비점 제품 생산구)에 액이 충분히 잠길 정도로 액을 채워 넣고 원료공급을 중지한 상태에서 슬라이다스를 사용하여 가열을 시작하였다. 고비점 제품 생산구의 보온 덮개를 열고 내부의 액 높이를 관찰하면서 액의 양이 부족하면 수시로 원료를 보충하였다. 정상상태 운전 중에도 액의 높이는 관 내부 직경의 2/3를 유지하도록 고비점 제품의 생산량을 조절하였다. 충전물이 들어있는 증류관에 고정된 열선의 온도는 슬라이다스를 이용하여 각각 온도를 조절하였고, 낮은 쪽에 속하는 H5의 열선에는 온도조절기의 조정 온도가 125 °C가 되도록 가열하였으며, H4는 90 °C가 되도록 하였고 H3는 80 °C가 되도록 하였다. H2는 70 °C가 되도록 하였으며 H1은 65 °C가 되도록 각각 설정하였다. 이때의 열선 온도를 제어하기 위하여 열전대를 열선에 부착하여 온도를 조절할 수 있도록 Fig. 2에 나타난 것과 같이 전선을 연결하였다. 또, 제품 생산구의 내부 온도를 알기 위하여 저비점 제품과 고비점 제품 생산구 내부에 2 mm 두께의 길이 15 cm 열전대 온도계를 각각 설치하여 내부 온도를 측정 하였으며, 모든 온도는 컴퓨터에 저장되어

실험이 끝나면 시간에 따른 온도변화를 하여 알 수 있도록 하였다. 그리고 원료 투입 부분은 유리관의 중간에서 원료가 투입되도록 1/4인치 동관을 사용하여 유리관 중간 위치에 원료가 투입되도록 하였다. 원료의 공급온도는 40 °C가 유지되도록 예비가열기를 사용하여 온도를 조절하였다.

유리 증류관을 가열하기 시작한 후 저비점 제품의 증기가 증류관의 한쪽에서 나오기 시작하면 원료 공급을 개시하고 5분 후 고비점 제품 생산 밸브를 열어 고비점 제품을 얻기 시작하였다. 고비점 제품 생산구에서 증류관의 액 높이를 일정하게 유지하면서 제품 생산량을 조절함으로써 증류관 전체에 액이 일정량 유지되도록 하였다. 증류관 내에 액과 증기가 공존하여야 기-액 평형이 유지되며 증류관의 위치에 따라 저비점 성분과 고비점 성분이 분리되도록 증류관을 운전하였다. 원료에 포함된 고비점 성분은 증류관의 낮은 쪽으로 액과 함께 흘러가고 저비점 성분은 증기를 따라서 저비점 제품 생산구 방향으로 이동하여 증기로 저비점 성분의 제품으로 생산되도록 하는 구조를 가지고 있다. 저비점 제품의 증기는 증류관 상부에 설치된 냉각관을 거쳐 액상 제품으로 생산하였다. 고비점 제품과 저비점 제품은 연속으로 생산하였으며, 원료도 연속으로 공급하였다. 이렇게 얻어진 고비점 제품과, 저비점 제품 및 원료의 농도는 가스 크로마토그래프(HP-5890 series II, Agilent)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

수평형 유리 증류관을 이용한 증류실험을 통하여 기존의 수직형 증류탑에 비해 어느 정도의 처리능력과 분리효율을 가지는지를 조사하였다. 에탄올과 *n*-프로판올의 분리실험을 실시하여 제안하는 증류관의 증류효율을 실증적으로 검토하였다.

증류관에 액을 채운 후 외부 전열기에 전기를 공급하고 증류관 내 고비점 제품 생산구와 저비점 제품 생산구의 온도 변화를 측정하여 Fig. 4에 나타내었다. 우선 고비점 제품 생산구의 온도가 먼저 상승하기 시작하여 증기가 발생하면서 증기가 저비점 제품 생산구 방향으로 이동하여, 저비점 제품 생산구의 온도가 상승하고 제품은 증기로 배출되어 냉각기에 의해 냉각되었다. 고비점 제품 생산구의 온도 온도설정이 125 °C 이기 때문에 온도조절기 H5에 가장 많은 열을

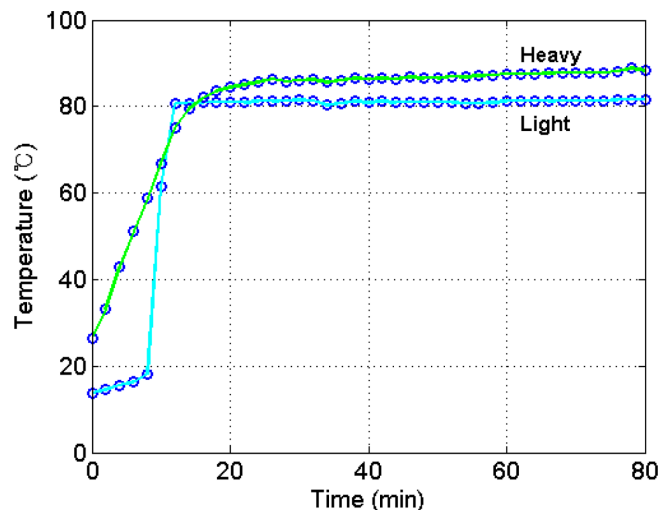


Fig. 4. Temperatures of products measured inside the column.

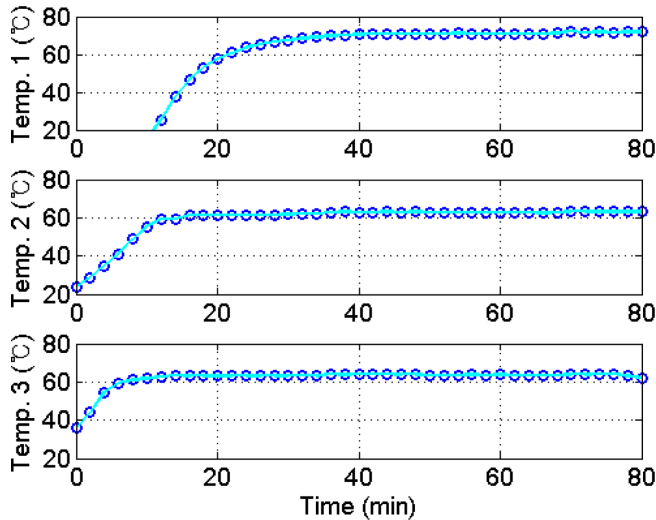


Fig. 5. Temperatures of heat control system 1 to 3 measured outside the column.

공급하여 많은 증기가 발생되도록 설계되었다. 기존의 증류탑에 설치된 재비가 없고 증류관의 외벽을 직접 가열하여 열을 공급하였다. 이러한 구조를 사용한 이유는 증류관의 길이 방향으로 온도 분포를 서로 다르게 유지함으로써 각기 다른 온도에 해당하는 기액 평형을 유지하여 증류관의 길이 방향으로 각기 다른 비점의 제품을 생산하기 위함이다. Fig. 4에서와 같이 고비점 제품 생산구를 먼저 가열하기 시작한 후 약 8 분이 경과하여 저비점 생산구의 온도가 급격히 상승하기 시작한다. 이는 고비점 생산구에서 이동된 증기와 자체 가열에 의해 설정된 온도까지 상승한 것이다. 가열을 시작한 후 약 20분 후 고비점 제품 생산구와 저비점 제품 생산구 모두 안정한 정상상태의 운전 온도에 다다르게 되었다.

이러한 증류관 양단의 내부온도 변화와 함께 증류관 외부의 구간별 온도 변화는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 5의 상단에서부터 저비점 제품 생산구의 온도조절기 H1의 측정온도를 나타낸다. 중간은 H2, 하단은 H3의 온도변화를 나타낸다. 온도조절기의 위치 표시는 Fig. 1에 제시되어 있다. 증기가 고비점 생산구에서 발

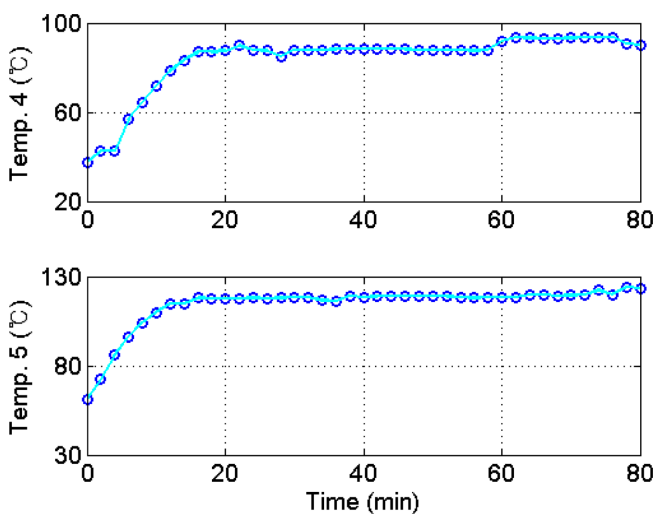


Fig. 6. Temperatures of heat control system 4 and 5 measured outside the column.

Table 1. Measured temperatures inside and outside the column

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Inside temperature (°C)				
Light product	81.6	82.6	83.3	83.4
Heavy product	91.1	91.5	91.8	91.5
Column outside temperature (°C)				
Section 1	71.8	70.0	72.8	72.5
Section 2	62.2	64.5	65.3	65.0
Section 3	60.0	62.2	62.2	62.2
Section 4	80.5	83.0	87.3	85.0
Section 5	123.8	123.5	124.0	123.5

생하여 저비점 생산구로 이동되면서 온도가 점차적으로 상승하였기 때문에 그림의 최하단 H3의 온도가 가장 먼저 상승되면서 증간의 H2, 그리고 상단의 H1 온도가 상승함을 보여준다. 정상상태에서의 온도는 거의 안정적으로 유지됨을 보여주나 Fig. 4의 저비점 제품 온도와 H1을 비교하면 정상상태 온도에서 오히려 제품온도가 더 높은 것을 알 수 있다. Table 1에서의 제품온도는 내부 온도를 측정한 것이고 온도조절기의 온도는 유리 증류관의 외부 온도를 측정한 것으로 실제 증류관에서의 열전달 과정을 분석해 보면 그 이유를 알 수 있다. Fig. 1의 증류관 구조 그림에서 원료 공급의 위치를 기준으로 오른쪽은 고비점 제품 생산구에 연결되고 왼쪽은 저비점 제품 생산구에 연결된다. 기존의 증류탑에서 원료 공급단의 하부 즉 회수부에 해당하는 것이 오른쪽이고, 원료 공급단의 상부 즉 정제부에 해당하는 것이 왼쪽이다. 그러므로 정제부에서는 열을 방출하고 회수부에서는 열을 공급받는 구조이다. 이러한 사실은 Fig. 7의 비단열 증류탑의 구조에서 알 수 있다. 비단열 증류탑의 정제부에서는 냉각기를 거친 냉각수가 탑 내를 지나면서 각 증류단을 냉각시키고 있는 것을 알 수 있다. 반대로 Fig. 6의 H4와 H5의 온도는 Fig. 4의 고비점 제품 생산구의 온도와 비교할 때 더 높은 것을 알 수 있다. 즉 유리 증류관의 오른쪽에서는 가열이 일어나고 이것은 기존 증류탑의 회수부에서 열을 공급받는 것과 유사하다. Fig. 7의 비단열 증류탑

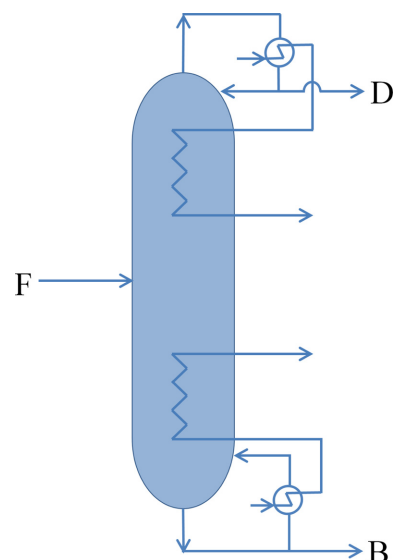


Fig. 7. Schematic diagram of a diabatic distillation column.

Table 2. Experimental results of flow rates, composition and recovery in products

	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Flow rate (mL/min)				
Feed	16.4	16.6	21.4	22.3
Light product	8.3	10.2	11.2	10.1
Heavy product	8.1	6.4	10.2	12.2
Composition (mole fraction)				
Feed (ethanol)	0.53	0.55	0.52	0.52
Light product (ethanol)	0.79	0.77	0.72	0.72
Heavy product (<i>n</i> -propanol)	0.73	0.73	0.74	0.72
Recovery (%)				
Ethanol	82.2	93.8	79.0	68.4
<i>n</i> -Propanol	76.7	62.5	73.5	82.1

의 회수부에서 채비기에서 나온 증기로부터 열을 공급받는 것과 같은 원리이다.

기존 증류탑에서 발생하는 전열의 과정을 동일하게 수평형 증류탑에 활용함으로써 분리의 조작을 수행할 수 있음을 실험적으로 보이고자 하였다. 이러한 분리 조작의 성능은 Table 2의 실험 결과에서 알 수 있다. 정상상태 실험조건에서 원료의 유량과 제품의 유량이 다를 때 얻어진 제품의 조성을 정리하였다. 원료유량이 적을 때 제품농도가 다소 높게 얻어졌으나 큰 차이는 없었다. 수직형 증류탑을 사용하였을 때 본 연구에서와 동일 농도의 원료로부터 동일농도의 제품을 얻을 때 필요한 증류단의 수가 많지 않으므로 본 실험에서 사용한 증류관의 이론 증류단 높이(HETP)가 크음을 알 수 있다. 즉, 본 실험의 증류관 길이를 이론적 소요 증류단의 수로 나눈 것이 HETP인데 이론 소요 증류단의 수가 많지 않아 HETP가 크다는 것이다. 본 실험과 동일한 유리 증류관과 동일한 충전물을 사용하여 수직 증류관 증류 실험을 메탄올과 에탄올을 이용하여 실험하였을 때 HETP가 8 cm로 얻어졌음을 감안할 때 수평 증류관의 HETP 상당 길이가 다소 크음을 알 수 있다[4]. 실제 계산을 해 보면, 본 실험의 수평 증류관의 경우는 액의 환류량이 매우 적으므로 수직 증류관의 환류비가 0.5라고 가정했을 때 동일한 분리가 가능한 증류단의 수가 HYSYS에 의한 계산에서 10단이 얻어졌다. 본 실험의 증류관의 길이가 150 cm이므로 HETP 상당 길이는 15 cm이고 이는 수직 증류의 거의 2배에 이른다. 이러한 결과는 수평 증류관용 충전물이 별도로 개발되어야 보다 높은 증류효율의 분리가 가능할 수 있음을 보여 준다. 또 원료의 공급량을 증가하였을 때에도 동일한 분리효율이 얻어질 수 있도록 충전물을 개선한다면 실용 가능한 수평형 증류탑이 개발될 수 있을 것이다. 기존의 수평형 증류탑 실험[7,8]에서는 매우 적은 양의 원료를 처리한 반면 본 연구에서는 실제 응용성을 감안하여 보다 많은 양을 처리하였으며, 적절한 분리효율을 얻었다.

수평형 증류탑의 장점은 장치의 설치와 운전 및 관리가 용이하다는 점이다. 수직형 증류탑에 비해 소요 부지의 면적은 많이 필요하겠지만 높은 곳에 설치하지 않기 때문에 접근성이 매우 용이하여 장치를 취급하기에 매우 편리한 이점이 있다. 소요 부지를 줄이기 위

해서 장치를 다단으로 설치한다든지 지그재그 형태로 설치한다면 기존에 비해 아주 넓은 면적의 부지를 사용하지는 않을 것이다.

4. 결 론

수평형 증류탑을 이용하였을 때의 증류효율을 에탄올과 프로판올을 이용한 증류실험을 통하여 조사하였다. 유리 증류관의 온도분포를 연속적으로 조절하여 각 온도에 상응하는 기-액 평형이 증류관 내에 연속적으로 형성되도록 함으로써 분리가 가능하도록 설치하였다. 동일한 규모의 수직형 증류관을 이용한 분리실험의 결과와 비교하였을 때 증류효율이 다소 떨어지나 기존의 수평 증류실험에서보다 많은 양의 원료를 처리할 수 있음을 알았다. 수평형 증류에 적절한 충전물을 개발한다면 기존의 수직형 증류탑을 대체할 수 있는 수평형 증류탑을 실용화할 수 있을 것이다.

감 사

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(과제번호 2011-0021819).

참고문헌

1. Lee, M. Y. and Kim, Y. H., "Design of Thermally Coupled Distillation Process Utilizing Existing Columns," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **46**(5), 1017-1022(2008).
2. Hwang, K. S., Kim, B. C. and Kim, Y. H., "Experimental Evaluation of a Modified Fully Thermally Coupled Distillation Column," *Korean J. Chem. Eng.*, **27**(4), 1056-1062(2010).
3. Choi, Y. M., Woo, D. S., Cho, H. and Han, M. W., "Control of Reactive Dividing Wall Column for the Recovery of Lactic Acid," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **49**(3), 306-313(2011).
4. Kim, B. C., Cho, T. J. and Kim, Y. H., "Development of Small Distillation Column for Performance Evaluation of Distillation Column," *Korean Chem. Eng. Res. (HWAHAK KONGHAK)*, **48**(5), 668-671(2010).
5. Tsai, R. E., Schultheiss, P., Krttner, A., Lewis, J. C., Seibert, A. F., Eldridge, R. B. and Rochelle, G. T., "Influence of Surface Tension on Effective Packing Area," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **47**, 1253-1260(2008).
6. Orlando, Jr., A. E., Medina, L. C., Mendes, M. F. and Nicolaiewsky, E. M. A., "HETP Evaluation of Structured Packing Distillation Column," *Brazil. J. Chem. Eng.*, **26**, 619-633(2009).
7. Seok, D. R. and Hwang, S. T., "Zero-gravity Distillation Utilizing the Heat Pipe Principle (micro-distillation)," *AIChE J.*, **31**, 2059-2065(1985).
8. Sundberg, A., Uusi-Kyyny, P. and Alopaeus, V., "Novel Micro-distillation Column for Process Development," *Chem. Eng. Res. Des.*, **87**, 705-710(2009).