

GAX 암모니아 흡수식 열펌프의 발생기 일체형 정류기의 열 및 물질전달 해석

Heat and mass transfer characteristics of generator combined
rectification system of the GAX ammonia absorption heat pump

윤 상 국*
S. K. Yun

Key words: Rectification(정류), Heat and mass transfer(열 및 물질전달), Rectification column plate(정류단), Analyser(정류용측기), Reflux ratio(환류비)

ABSTRACT

A generator-GAX combined rectification system of an ammonia absorption heat pump was investigated to get the optimum design values. The mass and heat transfer phenomena of the rectification system were analysed. The number of column plates, equilibrium temperature of solution on each plate and flowrates of solution and vapor generated were predicted. The characteristics of mass and heat transfer of the generator-GAX combined rectification system, i.e. concentration difference of leaving solution and vapor on each column plate, were found to be mainly governed by the pressure of generator, reflux ratio and temperature difference of analyser coolant. The number of rectification column plates for each different pressure in generator was obtained. The optimum locations for installing the feeder from solution-cooled absorber and GAX desorber in generator were predicted. The improvement of COP was followed by the increase of the rectifier efficiency and the number of column plate, and the decrease of reflux ratio.

기 호 설 명

D : 발생기 상부 발생 암모니아증기량 [g/s]
 F : 발생기 주입용액 [g/s]
 G : 정류단 상승 증기량 [g/s]
 H : 엔탈피 [kJ/kg]
 L : 정류단 하강 용액량 [g/s]
 R : 환류비 L/D
 Q : 열량 [kJ/kg]

W : 발생기하부 암모니아수 유량 [g/s]
 x : 용액중 암모니아 조성
 y : 증기중 암모니아 조성
 z : 정류기를 떠나는 증기의 암모니아 조성

하첨자

B : 발생기 용액가열부
 C : 정류용측기
 D : 발생기 상부
 F : 발생기 주입액

* 정회원, 한국해양대학교 냉동공조공학과

- G : 정류단 상승증기
 L : 정류단 하강액
 $0, 1, \dots, m, n$: $0, 1, \dots, m$, n 번째 정류단
 g : GAX부
 w : 발생기 하부

1. 서 론

현재 상용화 보급되고 있는 흡수식 열펌프 시스템은 작동매체에 따라 크게 암모니아/물 그리고 LiBr/물의 두가지 방식이 있다. 국내의 중대형 빌딩 공조용 흡수식 열펌프는 LiBr/물을 사용하는 시스템이 보급되어 지고 있으나, 하절기 전력부족 문제를 주로 초래하고 있는 가정이나 업소용 냉방기 규모인 소규모 열펌프는 LiBr/물 시스템의 공빙화, 소형화 등 기술적 어려움으로 인하여 암모니아/물을 이용한 시스템이 적용되고 있다. 이러한 암모니아/물을 작동 매체로 한 흡수식 열펌프는 공랭화가 가능하고 흡수기의 열을 발생기에 이용함으로써 COP를 향상시킬 수 있는 장점이 있어 시스템 시뮬레이션과 구성설비 연구^(1,2)가 여러 연구기관에서 수행되고 있다.

암모니아 흡수식 열펌프는 발생기의 암모니아 수용액을 가스로 가열하면 비점이 낮은 암모니아와 함께 물의 일부도 증기 상태로 발생되므로 암모니아와 물을 분리하는 정류기가 추가로 필요하게 된다. 정류기란 비등점이 다른 2종 이상의 용액을 가열하여 상승하는 기체와 하강하는 액체의 접촉에 의한 물질전달로 용액의 물질을 서로 분리하는 장치이다. 발생기에서 암모니아 수용액은 비등되어 정류기 상부에는 비점이 낮은 암모니아 농증기가 발생되며, 정류기 하부로는 암모니아가 약 1% 정도 함유된 수용액이 생성된다. 발생기(desorber) 일체형 정류기 상부의 증기는 암모니아 농도가 95%보다 낮으며, 최상부에 설치된 정류용축기(analyser, dephlegmator)에서 얻어지는 암모니아 농도는 99.8% 이상의 고농도이어야 한다. 정류용축기 출구의 암모니아 증기에 수분 함량이 크면 암모니아 농도가 낮아 증발기와 응축기에서 유체의 포화온도가 높게되고 수분이 증발기에서 증발이 되지않게 되어 냉각 효율과 COP가 크게 감소되기 때문이다.

정류기 형식에는 정류단 적용방식과 충전재(packed column) 방식이 있다.⁽³⁾ 정류단 방식은

발생기, GAX가열기 그리고 정류기가 일체형으로 이루어질 수 있으며, 충전재 방식은 발생기로부터 분리된 정류기를 장착하는 것이다. 정류단식은 발생기와 일체형으로 함으로써 온도구배와 물질전달을 용이하게 할 수 있고 설비를 간소화할 수 있는 장점을 지닌다.

정류기 설계를 위한 열전달과 물질전달의 해석 연구는 석유화학에서 혼합물질의 분리정류를 위하여 액체필름이나 하강하는 액체에 증기의 흡수 메카니즘에 대한 수많은 연구가 수행되어 왔으나,^(3, 4) 암모니아 흡수식열펌프의 정류기에 대한 연구는 수행이 미미하며 그 결과의 발표도 거의 이루어지지 않고 있다. 일부 발표 논문을 보면 Mah⁽⁵⁾, Null⁽⁶⁾, Peterson⁽⁷⁾은 GAX 가열기의 정류 효과 향상과 관련이 있는 중간가열기의 해석을 한바 있고, Bogart⁽⁸⁾는 정류를 포함한 암모니아 흡수식의 일반적 해석을 수행한 바 있다. Kang and Christensen⁽⁹⁾은 암모니아 GAX 시스템의 COP를 높이기 위하여 GAX가열부의 구조를 수직 Fluted 관형을 채택함으로써 정류기 크기가 코일형 동관에 비하여 1/4로 감소함을 발표하였다. 그러나 GAX가열부는 GAX흡수기와는 달리 하강하는 암모니아수와 발생된 암모니아증기가 물질전달이 일어나고 있으므로 수직으로 흐르는 액막과 증기의 물질전달보다 GAX가열부내 정류단을 통한 체류시간을 늘려 물질전달이 용이하게 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

국내에서는 GAX 암모니아열펌프 개발을 위하여 시스템시뮬레이션과 구성설비별 독립된 연구가 진행되고 있다. 김 병주 등⁽¹⁰⁾이 수평관 정류기의 열 및 물질전달에 대하여 해석한 바 있으나 발생기 일체형 정류기 해석은 전혀 이루어진 바가 없다.

본 연구에서는 발생기와 정류기를 조합함으로써 정류기의 소형화가 가능하도록 하고 GAX가열기의 온도중첩이 일어나는 열의 이용을 위하여 발생기내부 열해석을 통하여 용액 주입구 위치, GAX가열기 적정 지점 등 설계인자를 도출하고자 하였다. 또한 발생기와 GAX부의 주입열량 즉 시스템 압력변화에 따른 정류효과, 정류기 단수 및 효율, 환류의 영향 등 인자변화가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하여 GAX시스템의 적정 정류기의 개발을 위한 설계 기준을 제시하고자 한다.

2. 열 및 물질전달 해석

정류단을 적용하는 발생기 일체형 정류기는 Fig. 1과 같이 발생기내부의 정류탑부(rectifying column section)와 발생기와 분리되어 구성된 정류응축부(rectifying condensation section)가 조합되어 있는 형태이고, GAX적용 시스템에서는 발생기내부의 정류탑부에 GAX가열기가 추가로 설치되어 진다.

암모니아와 물이 분리되는 정류탑부는 하부또는 측면에 위치한 발생기의 가스 가열에 의하여 비점이 낮은 암모니아와 수증기가 상승하고, 탑상부에서는 용액이 하강한다. 이 때 하강하는 용액은 정류응축기로부터 환류(reflux)하는 용액과 용액펌프로부터 정류응축기와 용액냉각흡수기를 거쳐 정류탑부에 주입되는 급수용액(feed)으로 이루어진다. 이의 분리기강(separation mechanism)은 탑내의 열 및 물질수지를 취하여해석한다.

정류탑부는 하강하는 액체와 상승하는 증기의 접촉 시간을 많게 하는 정류단(column plate)의 설계가 필요하며, 상부의 정류 응축기(rectifying condenser)는 기화되어 탑 상부로 상승한 증기 중에 포함된 미량의 고비점 물질 즉 물을 응축시켜 환류시키는 장치로서 탑 상부에서 최종 암모

니아 농도를 약 99.8% 이상 고순도로 얻기위하여는 정류응축기가 필수적으로 설치되어야 한다.

2.1 발생기 일체형 정류기 전체의 열 및 물질 전달

정류탑 상부와 하부의 유출물의 적정 농도와 양을 얻기위하여는 발생기의 주입열량과 정류응축기의 방출 열량, 정류탑부의 단수와 직경, 암모니아수 최적 주입 위치 및 양을 결정하여야 한다.

정류탑부 내부의 각 단에서의 물질 수지를 고려하기 위하여, 단 하부로 하강하는 액과 상승하는 증기는 평형 상태로 가정한다. 탑내의 암모니아/물 두가지 혼합물에 대한 Gibbs 상법칙의 자유도 변수는 조성과 상이 각기 두개씩으로 자유도는 두가지가 된다. 즉 정류기 내부의 압력이 일정하므로 평형단에서의 각종 인자들의 값은 1개의 변수 즉 온도에 의하여 좌우된다.

Fig. 1에서 정류탑의 급수(feed) 주입구를 경계로 상부는 정류부(rectifying section) 그리고 하부는 환류부(stripping section)로 구분되며, 탑주위 총괄 물질수지를 취하면 다음과 같다.

$$F = D + W \tag{1}$$

$$F x_F = D z_D + W x_W \tag{2}$$

정류 응축기에서의 물질수지는

$$G_I = D + L_o \tag{3}$$

$$G_I = D + R D = D (R+1) \tag{4}$$

정류탑 상부에서 물질 1(암모니아)에 대하여는

$$G_I y_I = D z_D + L_o x_o \tag{5}$$

가 된다.

탑 상부에서의 에너지 수지는

$$G_I H_{G_I} = Q_c + L_o H_{L_o} + D H_D \tag{6}$$

$$Q_c = D [(R+1) H_{G_I} - R H_{L_o} - H_D] \tag{7}$$

발생정류탑의 에너지 수지를 취하면 전체 주입 열량은

$$Q_B + Q_E = D H_D + W H_W + Q_c + Q_L - F H_F \tag{8}$$

여기서 Q_L 은 시스템의 에너지 손실로 무시될 수

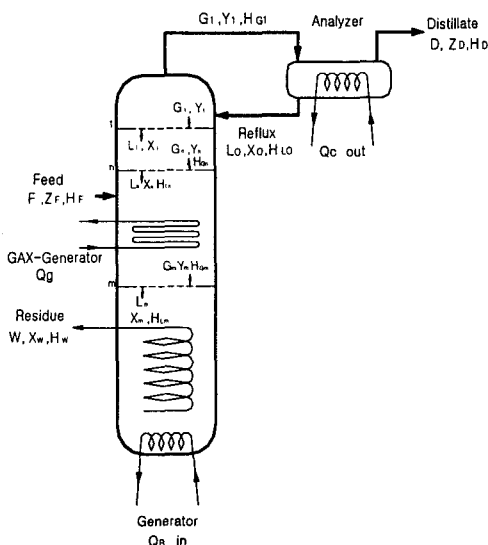


Fig. 1 Schematic diagram of gax-generator combined rectification system.

있고, 정류용축기의 제거열량과 발생증기 D의 열량의 합을 Q', 탑 하부에서 유출되는 암모니아 수의 단위유량당 유출열량을 Q''라 하면,

$$Q' = (Q_c + D H_D) / D = (Q_c / D) + H_D \quad (9)$$

$$Q'' = H_w - (Q_D + Q_g) / W \quad (10)$$

로 표시되며, 식 (11)은

$$F H_F = D Q' + W Q'' \quad (11)$$

이 된다.

식 (1)과 (9)에서 F를 제거하면

$$\frac{D}{W} = \frac{x_F - x_W}{z_D - x_F} = \frac{H_F - Q'}{Q' - H_F} \quad (12)$$

이 식은 암모니아/물 혼합물의 H-x-y 선도^(3,11)에서 정류기 최상부의 암모니아증기가 갖는 엔탈피 지점과 최하부 용액의 암모니아 농도에 대한 엔탈피값을 연결하는 직선이 되며 발생기에 주입 용액의 상태점 즉 조성과 엔탈피는 이 선상에 있게 된다.

2.2 정류부(Enriching section)의 열 및 물질전달 해석

탑내 정류부는 정류단 사이를 정류용축기에서 환류되는 묽은 용액과 상승하는 암모니아 농증기가 흐르면서 물질전달이 발생되며, 이 용액은 GAX 가열기 외부관으로 적하하게 된다. GAX 외부관에서 하강하는 용액은 GAX 가열기에 의해서 추가로 증발되고 환류부에서 상승하는 증기와 물질전달이 일어나 증기중 묽은 흡수되고 암모니아는 증발하게 되어 상승하는 증기는 농도가 짙게 된다.

Feed 주입구 상부인 정류부의 물질수지는

$$G_{n+1} = L_n + D \quad (13)$$

성분 A(암모니아)에 대하여

$$G_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + D z_D \quad (14)$$

$$G_{n+1} y_{n+1} - L_n x_n = D z_D \quad (15)$$

이 식의 왼쪽은 A 물질의 상승량과 강하액량의 차이를 의미한다. 정류시스템에서는 우측 항의

양이 일정하므로 탑 단수에 무관하게 A 물질의 실질적 상승량은 일정하게 된다.

에너지 수지를 취하면

$$G_{n+1} H_{G_{n+1}} = L_n H_{L_n} + Q_c + D H_D \quad (16)$$

정류용축기에서 제거되는 열량 Q'를 대입하면, 잊식은

$$G_{n+1} H_{G_{n+1}} - L_n H_{L_n} = D Q' \quad (17)$$

여기서 왼쪽 항은 탑 상부의 상승 유체와 하강 유체의 엔탈피 차를 나타낸다. 우측항을 일정하게 놓으면 실질적 상승 에너지 양은 일정하게 된다.

식 (13), 식 (14)와 식 (17)에서 D를 제거하면

$$\frac{L_n}{G_{n+1}} = \frac{z_D - y_{n+1}}{z_D - x_n} = \frac{Q' - H_{G_{n+1}}}{Q' - H_{L_n}} \quad (18)$$

이 식은 정류부 탑내의 정류단(column plate) 상하를 떠나는 유체의 상관관계로 내부환류비(internal reflux ratio)가 되며, 각 정류단을 상승하는 증기흐름량과 하강하는 용액흐름량을 구할 수 있다.

2.3 환류부(Stripping section)의 열 및 물질전달 해석

암모니아 열펌프의 환류부는 GAX가열부와 용액에 잠겨져 있는 정류단으로 구성되어 있다. 정류부에서 하강하여 환류부 상부로 주입된 용액은 GAX가열부를 거쳐 단 사이로 하강하고, 발생기에서 가열되어 기화된 증기는 단과 단 사이로 채널을 형성하며 정류부로 상승된다. 이 때 각 단에서의 물질수지는

$$L_m = G_{m+1} + W \quad (19)$$

성분 A(암모니아)에 대하여

$$x_w L_m x_m = G_{m+1} y_{m+1} + W \quad (20)$$

$$L_m x_m - G_{m+1} y_{m+1} = W x_w \quad (21)$$

정류부와 같이 환류부에서도 왼쪽 항은 A 물질의 강하량과 상승량의 차이를 의미하며 우측항인 정류기 하부에서 얻어지는 묽은 암모니아 용액

즉 유출량이 된다. 이 유출액은 하강하는 용액과 열교환하고 환류부 상부로 배출된다.

에너지 수지는

$$L_m H_{Lm} + (Q_B + Q_g) = G_{m+1} H_{Gm+1} + WH_w \quad (22)$$

여기서 하부에 생성되어 환류부 상부로 배출되는 유출액의 열량을 Q'' 로 치환하면,

$$L_m H_{Lm} - G_{m+1} H_{Gm+1} = W Q'' \quad (23)$$

이 된다.

$$\frac{L_m}{W} = \frac{H_{Dm+1} - Q''}{H_{Gm+1} - H_{Lm}} = \frac{y_{m+1} - x_w}{y_{m+1} - x_m} \quad (24)$$

정류단수는 상기 물질 및 열수지 식과 Ponchon - Savarit방식⁽⁴⁾을 사용하여 구하며, 이는 암모니아-물 처럼 혼합열이 크고 비이상성을 지닌 유체의 경우 직접 혼합물의 엔탈피 변화량을 고려해 산정하는 오차가 적은 방법이다. 암모니아와 물의 엔탈피 - 조성 선도를 사용하여 각단에서 액체와 증기의 평형 조성을 구하여 단수를 산정한다.

한편 물질전달은 정류단(rectifying stage, column plate) 형상 즉 단의 직경, 단의 형태, 즉 증기의 상승을 위한 상승구의 크기와 액체의 하강을 위한 면적 등의 영향을 받으나 본 해석에서는 100% 효율로 간주한다. 응축온도, 외적조건 등 해석에 기준값은 Table 1과 같이 설정하였다. 발생기 하부의 1% 암모니아 농도는 용액냉각 흡수기에서 암모니아 증기를 흡수하기 위한 설정농도이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정류단수와 암모니아 농도

Fig. 2-Fig. 4는 발생기 주입열량의 변화에 의한 발생기 내부의 각기 다른 압력에서의 정류단수, 내부 암모니아 용액과 증기의 평형농도 변화를 보여준다. 그림은 정류된 암모니아 농도 99.8%를 얻기위한 압력에 따른 정류단수로서, 발생기 압력이 15 Bar 로 유지되면 정류단은 8개의 단, 16.5 Bar는 9개의 단 그리고 20 bar는 10개의 단이 필요하게 된다. 이는 발생기 일체형 정류기

Table 1 Various setting values for analysis

Analysis conditions	Setting values
NH ₃ concentration of rectifier	99.8%
NH ₃ concentration of residue in generator	1.0%
Analyser(Dephlegmater) efficiency	80%
Temperature range of GAX-generator	132~136℃
Ambient temperature of air for air-cooled condenser	32℃
Evaporator temperature	3℃

의 설계 열펌프의 정류단수를 제시할 뿐만아니라 기준압력보다 운전압력이 높으면 암모니아 분리효율이 감소하고 낮은 압력에서는 원활한 분리를 얻을 수 있음을 보여준다.

각 단에서의 물질전달은 단의 평형온도에서의 액과 증기의 평형농도, 그리고 각 정류단에서 n+1 단의 하부로 강하하는 온도가 낮은 용액의 암모니아 농도와, n단을 상승하는 온도가 높은 증기의 암모니아 농도의 차에 의하여 발생한다. 각 정류단을 상승하는 증기는 평형온도가 낮아지면서 물은 응축되고 암모니아 증기의 농도는 증가하게 되며, 또한 상승하는 농증기와 하강하는 물은 암모니아용액의 농도의 차가 커서 물질전달율이 증가하게 된다. 그림에서 증기의 암모니아 농도는 단을 상승하면서 점차 농도가 증가하고 하강하는 용액중 암모니아 농도는 암모니아를 방출하여 감소하고 있다. 단의 상부로 갈수록 용액과 증기에서의 암모니아의 농도는 증가하며, 상대적으로 물의 농도는 정류기 하부로 갈수록 증가하고 상부에서 현저하게 감소하고 있다. 정류탑 바닥부의 용액은 발생기의 가열에도 불구하고 용액중 암모니아 농도가 낮아 발생하는 증기중 암모니아의 농도가 적고 물증기의 비율이 크게 된다.

용액에 잠겨져 있는 정류단 하부의 환류부에서는 단과 단사이 용액의 농도는 완만하게 변하고 있으나 발생기 가열의 영향으로 암모니아 증기농도는 급격히 변하고 있다. 만약 조작선과 평형선이 근접하면 하부단과 상부단간의 농도와 온도 변화가 훨씬 적게 되고 이 두 선이 만나게 되면

분석은 생략되었다.

3.3 정류단과 용액량

Fig. 6-Fig. 8은 각 압력에서 정류단을 상승하는 증기유량과 하강하는 액의 유량을 나타낸다. 탑 내부 하강하는 용액의 흐름을 보면 탑 하부에서는 균일한 흐름을 보이고 상부에서는 감소한다. 이는 탑 상부에서 환류 용액만이 미량 흘러 내리기 때문이고, 상부 2-3째 단에서 유량이 상승하는 것은 용액냉각 흡수기로부터 중간 농도의 용액이 GAX발생기로 주입되기 때문이다. 그림으로부터 용액냉각 흡수기로부터 돌아오는 암모니아수의 주입지점을 설계할 수 있으며, 15 bar에서는 정류용축기 제외한 4번과 5번 단사이, 16.5 bar는 6번과 7번사이 그리고 20 bar는 7번과 8번단 사이에 주입하여야 한다. 주입지점이 일치하지 않을 경우에는 효율의 저하를 초래하게 된다. 즉 각 단마다 평형온도에 따른 증기와 액이 평형상태가 유지되고 있으나, 주입용액이 동일한 온도지점에 주입되지 않고 낮거나 높은 지점에 주입되면 주입용액의 가열이나 냉각의 영향으로 평형이 깨어지게 되어 효율의 저하를 초래하게 된다.

반면 발생하는 증기 흐름량은 하부 환류부에서 비교적 균일한 흐름을 보이고 상부의 정류부는 환류부보다 증가하나 용액이 주입되는 단에서 증기흐름량이 증가함을 보인다. 이는 탑 하부는 액과 증기의 물질전달 즉 증발과 흡수가 균일하게 형성되기 때문이고, 상부 GAX부에서는 흡수보다 증발이 크게 발생되며 특히 용액주입 단에서의 발생량이 크게 됨을 나타낸다.

3.4 정류 응축기의 전열량과 환류의 영향

발생기 상부에 생성된 암모니아 증기는 정류용축기에 주입되어 정류용축기 내를 흐르는 냉각수에 의해 수분이 응축된다. 응축된 모든 용액은 발생기 상부 즉 정류기 상단에 포화상태의 용액으로 환류된다. 정류용축기 내부에는 충전재를 충전하여 열 및 물질전달의 효과를 높이고 있으나 본 해석에서는 냉각관만을 적용하여 해석한다.

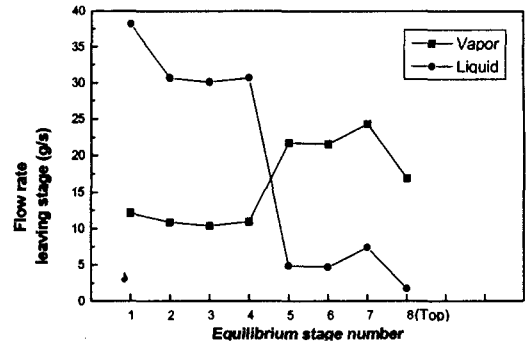


Fig. 6 Liquid and vapor flowrates on rectifying column plate at 15 bar.

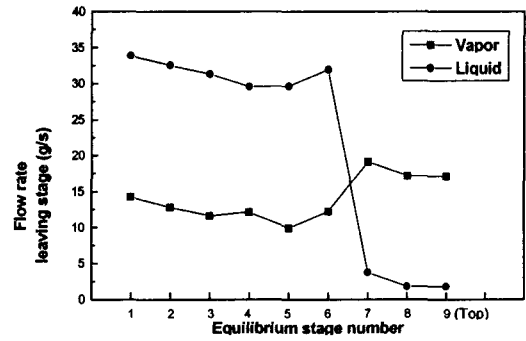


Fig. 7 Liquid and vapor flowrates on rectifying column plate at 16.5 bar.

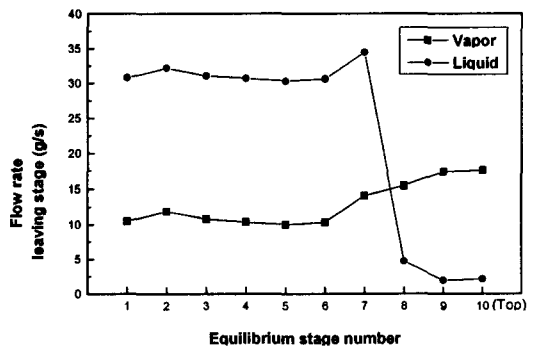


Fig. 8 Liquid and vapor flowrates on rectifying column plate at 20 bar.

응축 환류량은 총량이 환류되는 전체 환류방식과 최소량이 환류되는 최소환류 방식이 있다. 전체 환류방식은 발생된 증기의 대부분이 응축되어 환류되는 것으로 환류액중의 수분이 많고 암모니아 농도는 감소하게 되어 발생기 상부의 정류부에서 생성된 증기중의 물증기와 암모니아 증기

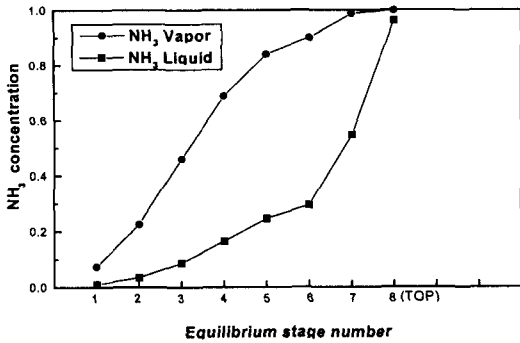


Fig. 2 Liquid and vapor concentration of ammonia on rectifying stage at 15 bar.

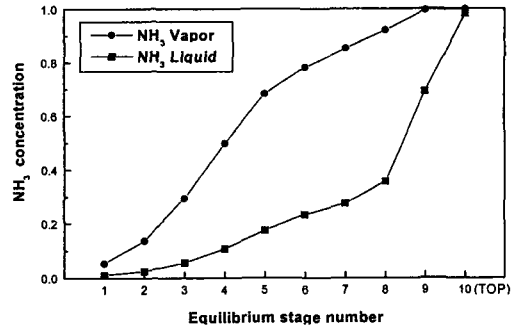


Fig. 4 Liquid and vapor concentration of ammonia on rectifying stage at 20 bar.

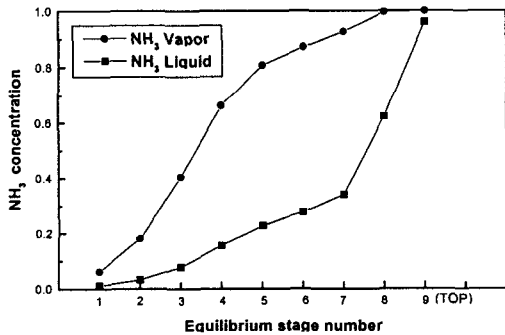


Fig. 3 Liquid and vapor concentration of ammonia on rectifying stage at 16.5 bar.

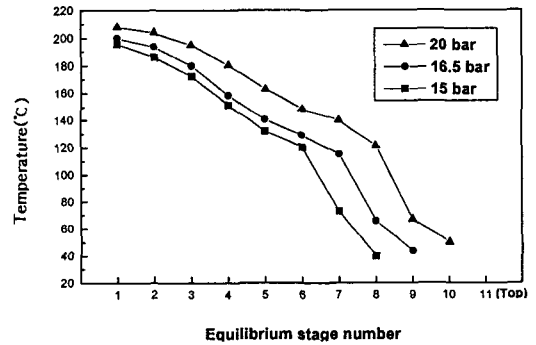


Fig. 5 Equilibrium temperature of each rectifying stages.

핀치점(Pinch point)가 되어 농도곡선은 거의 수평이 된다. 한편 본 정류부 결과와 같이 상단으로 갈수록 농도변화가 크게 변하는 것은 핀치점(Pinch Point)에서 멀어지기 때문이다.

3.2 정류단 평형온도와 GAX가열부

Fig. 5는 각 정류단에서의 하강용액과 상승증기의 평형온도로 압력이 높을수록 단의 하강용액과 상승증기의 평형온도가 높게 나타낸다. 환류부와 정류부의 완만한 온도차는 발생기 가열이 환류부 측에 비교적 균일한 열유속이 가해지고, 상부 정류부에도 GAX가열기에 의하여 균일한 열유속이 형성되기 때문으로 보인다. 이는 또한

암모니아/물 혼합물의 온도에 따른 조성과 엔탈피의 평형관계에도 기인한다. 상부 마지막 2~3개 단에서 온도가 급강하는 것은 정류탑 상부단에서 정류용축기에서 냉각된 환류액과 접촉이 이루어지기 때문이다. 마지막 단의 온도는 정류용축기에서 물 성분이 용축되는 온도를 나타내고 있다.

본 해석으로부터 GAX 가열부의 적정 위치는 GAX의 온도중첩 범위인 상부 2째단과 3째단 사이에 설치하여야 함을 알수있다. 만약 GAX 온도중첩부에 설치되지 않고 하부에 가설된다면 GAX부는 발생기 역할을 하지 못하고 발생기 열을 흡수하여 용액흡수기에 제공하게 될 것이며 이는 시스템의 효율을 낮추게 될 것이다. 즉 GAX부 위치의 변경은 전체 시스템의 효율 저하를 의미하므로 본 연구에서는 효율저하 정도의

의 농도차에 의한 흡수력 즉 물질전달이 향상되어 암모니아의 증기 농도는 증가하나 정류용축기의 생성 증기량은 감소하게 된다. 역으로 환류가 거의 없으면 환류액 농도와 정류기 상부증기의 농도차가 저하되어 암모니아 증기의 농도를 높이기 위하여 정류단이 무한히 많이 필요하게 된다. 그러므로 시스템 효율을 높이기 위하여는 적절한 환류량이 유지되어야 한다.

Fig. 9는 정류용축기의 냉각수 입출구 온도차 즉 방열량에 따른 환류량과 환류액중의 암모니아 농도 변화를 보여준다. 정류용축기내를 순환하고 있는 용액펌프로부터 주입된 냉각수 용액의 입출구 온도차가 커서 방열량이 증가되면 환류액량은 증가하는 반면 환류액중의 암모니아 농도는 감소

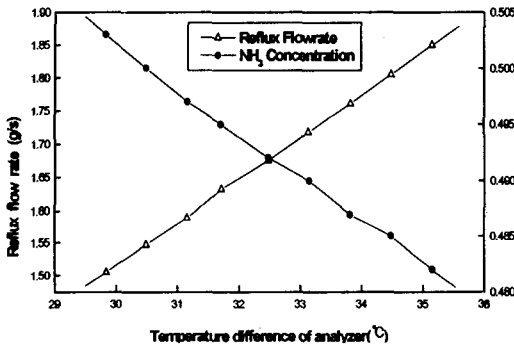


Fig. 9 Reflux flow rate and NH₃ concentration changes on temperature difference of cooling solution in analyser.

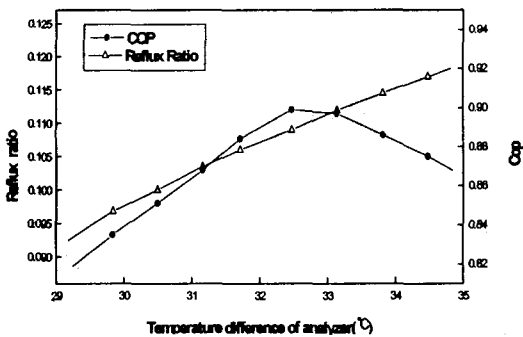


Fig. 10 Reflux ratio and COP changes on temperature difference of cooling solution in analyser.

하게 되는 것을 보여준다. 그러므로 최적의 환류량을 위하여는 냉각관의 적절한 설계가 필요하게 됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 발생기 압력 16.5 bar 경우 정류용축기 온도차에 따른 COP 변화로서 정류용축기의 온도차가 증가하면 환류비가 증가하면서 COP가 증가하나, 한계온도차 즉 32-33°C 이상에서는 환류량의 큰 증가로 발생기 주입열량이 증가하여 COP는 감소하게 됨을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 발생기와 정류기를 조합함으로써 정류기의 소형화가 가능하도록 하고 GAX가 열기의 온도중첩이 일어나는 열의 이용을 위하여 발생기내부 열해석을 통하여 용액 주입구 위치, GAX가열기 적정 지점 등 설계인자를 도출하였다. 또한 발생기와 GAX부의 주입열량 즉 시스템 압력변화에 따른 정류효과, 정류기 단수 및 환류의 영향 등 인자변화가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하여 GAX시스템의 적정 정류기의 개발을 위한 설계 기준으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 발생기 일체형 정류단형 정류기의 발생기 압력이 높을 수록 많은 정류 단수가 필요하게 된다.
- (2) 용액냉각흡수기로부터 돌아오는 암모니아 수의 적정 주입지점과 GAX가열부의 적정 설치 위치를 도출하였다.
- (3) 정류용축기의 냉각수 입출구 온도차에 따라 환류량과 환류액중의 암모니아 농도가 변화되므로 최적의 환류량을 위하여는 냉각관의 적절한 전열면적의 설계가 필요하다.
- (4) 정류용축기의 온도차가 증가하면 환류비가 증가하면서 COP가 증가하나, 한계온도차 이상에서는 주입열량이 증가하여 COP가 감소한다.

후 기

본 논문은 에너지기술개발지원센터와 생산기술 연구원의 지원에 의해 수행된 연구결과로 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 윤재호, 김영일, 유선일, 정시영, 윤상국, 1997, 암모니아 이용 공랭형 흡수식 열펌프 개발 보고서, 통상산업부.
2. 정시영, 1995, 공랭형 암모니아/물 GAX 흡수식 냉동사이클의 수치 해석, 공기조화 냉동공학회논문집, Vol.7, No.3, pp. 488-500.
3. Treybal R. E., 1980, Mass Transfer Operations(3rd ed.), pp. 371-382.
4. King C. J., 1982, Separation Process(2nd ed.), pp. 273-283.
5. Mah R. S .H., Nicholas J. J., and Wodnik R. B., 1977, Distillation with secondary reflux and Vaporization: a comparative evaluation, AIChE J., Vol. 23, No. 5, pp. 651-658.
6. Null H. R., 1976, Heat pumps in distillation, CEP, Vol. 7, pp. 58-64.
7. Peterson W. C., and Wells T. A., 1977, Energy-saving schemes in distillation, Chem. Engineering, No. 9, pp. 78-86.
8. Bogart M. J. P., 1982, Pitfalls in ammonia absorption refrigeration", Int. J. Refrig., Vol. 5, No. 4, pp. 203-208.
9. Kang Y. D., Chen W. and Christensen R. N., 1996, Development of design model for a rectifier in GAX absorption heat pump systems, ASHRAE transactions:symposia, pp. 963-972.
10. 강태은, 김병주, 1998, "암모니아-물 흡수식 시스템에서 정류기의 열 및 물질전달", 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회논문집 (III), pp. 1128-1133.
11. Ziegler B and Trepp Ch., 1984, Equation of state for ammonia-water mixtures, Int. J. Refrig., Vol. 7, No. 2, pp 101-106.