

에탄올 아민 제조 공정에서의 생성물 분포

안용수* · 이태영** · 장용근*** · 정창복**** · 임선기

한국과학원 화학공학과

(접수 1980. 5. 7)

Product Distribution in the Ethanolamine Manufacturing Process

Yong-Soo Ahn, Tae-Yeong Lee, Yong-Keun Chang, Chang-Bock Chung,
and Son-Ki Ihm,

Department of Chemical Engineering,
Korea Advanced Institute of Science, Seoul 131-00, Korea

(Received May 7, 1980)

요 약

에틸렌 옥사이드와 28% 암모니아수로부터 액상에서 에탄올 아민을 만들 경우, 반응온도, 원료물비(암모니아/에틸렌 옥사이드), 물의 농도, 원료에 포함되는 에탄올 아민등이 에탄올아민(모노-디-트리 에탄올 아민)의 생성물 분포에 미치는 영향을 회분식 및 연속식 반응 실험을 통해 고찰하였다. 물질 수지식으로부터 생성물 분포는 각속도 상수의 절대값과는 무관하고 속도 상수사이의 비율에 따라 결정됨을 알 수 있었으며 실험 조건인 50~90°C 범위에서 반응 온도는 생성물 분포에 거의 영향을 미치지 않았다. 반면 원료 물비가 생성물 분포에 미치는 영향은 가장 커서 암모니아가 많아질수록, 모노 에탄올아민의 생성율은 증가하나, 트리 에탄올 아민의 생성율은 감소하며, 디 에탄올 아민의 생성율은 조금 증가하다가 다시 감소하였다. 혼합물 중의 물은 에탄올 아민 자체와 함께 촉매작용을 하며 물의 농도가 높을 수록 모노 에탄올 아민의 생성율이 증가한다. 생성물 분포를 조절하기 위해서는 모노 및 디 에탄올 아민을 원료에 첨가하거나, 환류시킬 수 있으나 주어진 원료 물비(암모니아/에틸렌 옥사이드)에 대하여 첨가 또는 환류시킬 수 있는 양에는 상한이 있으며, 이 계의 생성물 분포는 에탄올 아민이 원료에 첨가되지 않은 실험으로부터 얻어진 속

* 충남대덕 렉키 중앙연구소

** 영남대학교 화학공학과

*** 한국과학 기술연구소

**** 전남대학교 화학공학과

도 상수비 값을 그대로 사용해도 신빙성 있는 예측이 가능하였다.

ABSTRACT

Ethanolamines being manufactured through a liquid phase reaction of ethylene oxide and 28% ammonia water, the effects of reaction temperature, feed mole ratio (defined as the ratio of ammonia to ethylene oxide), water concentration, and the amines in the feed on the distribution of each ethanolamine product (mono-, di-, and triethanolamine) were investigated with batch and continuous tubular reactor systems.

Material balances indicate that the product distribution does not depend on the absolute values of rate constants but on the ratios among them. Temperature has negligible effect on the product distribution over the range of temperatures between 50°C and 90°C. The feed ratio is a predominant factor to product distribution, such that as the ammonia ratio increases, the fraction of monoethanolamine increases and that of triethanolamine decreases, while that of diethanolamine increases slightly and then decreases. Water in the reaction mixture plays a role of catalyst and as water concentration increases, the formation of monoethanolamine is promoted. Mono- and diethanolamine may be added or recycled into feed in order to control the product distribution. However there are limitations in their amounts for a given feed mole ratio and the product distribution can be estimated reasonably well by using the ratios among the rate constants as obtained when the feed does not contain ethanolamines.

I. 서 론

세척제 제조 분야와 gas scrubbing 분야에서 주요한 물질로 쓰이는 에탄올 아민은 에틸렌 옥사이드(EO, C_2H_4O)와 암모니아와의 반응에 의해 생성되며 모노 에탄올 아민(MEA, $H_2NC_2H_4OH$), 디 에탄올 아민(DEA, $HN(C_2H_4OH)_2$), 트리 에탄올 아민(TEA, $N(C_2H_4OH)_3$)의 세 가지가 있다.

모노 에탄올 아민은 주로 산성 gas의 흡수 처리제 및 고체세제의 원료, 디 에탄올 아민은 액체세제의 원료, 트리 에탄올 아민은 주로 화장품의 원료로 많이 쓰인다.

에탄올 아민은 1860년 Wurtz에 의해 최초로 에틸렌클로로 하이드리드와 암모니아 수용액으로부터 합성되었다.¹⁾ 그러나 이 방법은 에탄올 아민과 암모늄 클로라이드를 분리하는데 어려움이 있어 근래에는 주는 에틸렌 옥사이드와 암모니

아 수용액을 사용하는 방법에 의해 공업적인 생산이 이루어지고 있다.

이외에도 암모니아 수용액 대신 암모니아 증기를 에틸렌 옥사이드와 반응시키는 방법,²⁾ 암모니아 증기를 양이온 교환 수지를 축매로 하여 에틸렌 옥사이드와 반응시키는 방법,³⁾ 암모니아 수용액 대신 암모늄 염을 사용하는 방법⁴⁾ 등이 있으나, 이들은 특수한 목적을 위한 것으로, 공업적으로는 거의 사용되지 않고 있다.

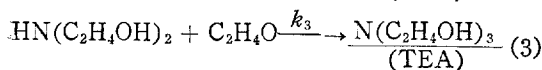
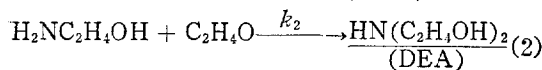
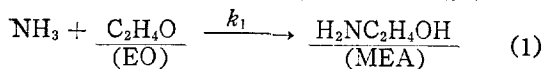
본 연구에서는 에틸렌 옥사이드와 중농도(28 wt%)의 암모니아수를 비교적 높지 않은 압력에서 액상 반응을 통하여 에탄올 아민을 합성하는 공정에 관하여 회분식 및 연속식 실험을 통하여 고찰하였다.

II. 이론적 배경

에탄올 아민은 올레핀 옥사이드와 암모니아로부터 만들어지는 알칸올 아민중의 한 화합물이

다. 알칸올 아민은 암모니아의 수소 원자를 하이드록시 알킬기로 치환한 것이다.

암모니아 수용액과 에틸렌 옥사이드로부터 에탄올 아민이 생성되는 반응은 다음과 같다.



에탄올 아민의 생성 반응은 전형적인 2차 촉자 병발 반응이며 발열 반응으로 에틸렌 옥사이드 1몰당 23~26Kcal의 열이 발생하고⁴⁾ 물이 촉매 역할을 한다.⁸⁾ 부산물로 트리 에탄올아민이 에틸렌 옥사이드와 반응하여 생기는 테트라 에탄올 아민과 에틸렌 옥사이드가 물과 합쳐 생성되는 에틸렌글리콜 등이 있으나 이들의 생성 반응은 매우 느리게 진행되므로 대개의 경우 무시될 수 있다.

반응 (1), (2), (3)의 반응 속도식은 다음과 같다.

$$\frac{d(C_M + C_D + C_T)}{dt} = k_1 C_A C_E \quad (4)$$

$$\frac{d(C_D + C_T)}{dt} = k_2 C_M C_E \quad (5)$$

$$\frac{dC_T}{dt} = k_3 C_D C_E \quad (6)$$

또한,

$$C_{A0} = C_A + C_M + C_D + C_T \quad (7)$$

$$C_{E0} = C_E + C_M + 2C_D + 3C_T \quad (8)$$

(4)식을 (5)식으로 나누고, (5)식을 (6)식으로 나누어 시간항을 소거한 후 (7), (8)식을 이용하여 적분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{C_D}{C_{A0}} &= \frac{K_2}{(1-K_2)(1-K^3)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right) \\ &+ \frac{K_2}{(K_2-1)(K_2-K_3)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{K_2} \\ &+ \frac{K_2}{(K_4-1)(K_3-K_2)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{K_3} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{C_T}{C_{A0}} &= 1 - \frac{K_2 K_3}{(1-K_2)(1-K_3)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right) \\ &- \frac{K_3}{(K_2-1)(K_2-K_3)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{K_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- \frac{K_2}{(K_3-1)(K_3-K_2)} \left(\frac{C_A}{C_{A0}} \right)^{K_3} \\ &\left(\text{단, } K_2 = \frac{k_2}{k_1}, K_3 = \frac{k_3}{k_1} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

생성물의 분포는 속도 상수(k_1 , k_2 및 k_3)의 절대값보다는 속도 상수비(K_2 및 K_3)에 의해 결정됨을 알 수 있다. 에탄올 아민 생성반응에서 속도 상수는 온도와, 촉매작용을 하는 물 농도의 함수이며 따라서 속도 상수비 K_2 , K_3 역시 온도와 물 농도의 함수이다.

III. 실험장치 및 방법

1. 회분식 반응실험

(1) 실험범위 및 조건

원료 : 에틸렌 옥사이드, 28wt% 암모니아 수용액, 모노 에탄올아민, 디 에탄올아민

반응기 : 스테인리스 압력반응기 (용량 50ml)

반응온도 : 50 - 90°C

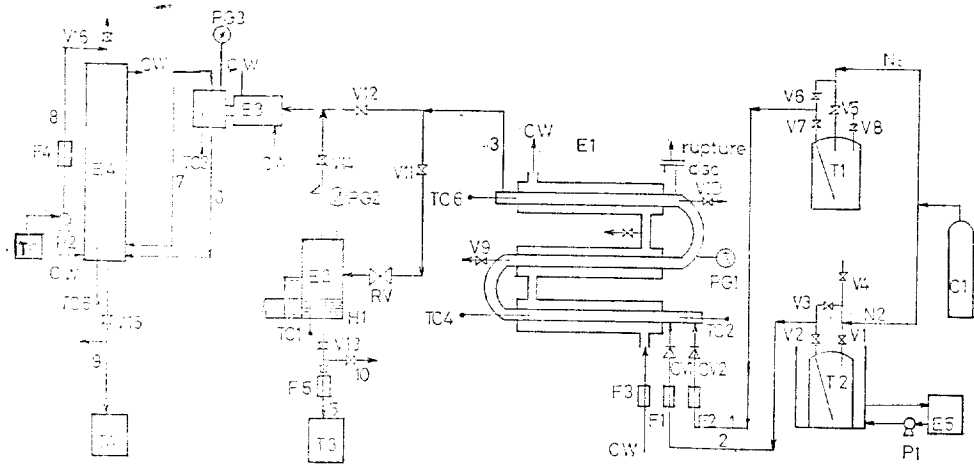
원료몰비 : Amm/EO = 1 - 15,
MEA/EO = 0 - 1.5,
DEA/EO = 0 - 0.4

(2) 실험 방법

부동액을 순환시켜 -5°C의 저온으로 유지되는 통에 반응기를 담근 후 역시 -5°C에서 에틸렌옥사이드와 암모니아 수용액을 메스실린더로 정량하여 반응기에 넣었다, 모노 에탄올 아민과 디에탄올 아민을 넣어줄 경우에는 상온에서 주사기로 정량하여 넣었다. 반응기에 원료를 채운 후 마개를 닫고 충분히 흔들어 준 후에 각 반응 온도로 유지되는 항온조에 담갔다. 에틸렌옥사이드가 과량의 암모니아와 충분히 반응하여, 평형에 도달하도록 30 - 90분간 반응시킨 후 전환율 측정을 위한 시료를 채취하였다.

2. 연속식 반응 실험

(1) 실험 범위 및 조건



C1 : Nitrogen Cylinder
 CV : Check Valve
 CW : Cooling Water
 E1 : Tubular Reactor
 E2 : Evaporator
 E3 : Condenser
 E4 : Ammonia Scrubber
 E5 : Chiller
 F : Flowmeter
 H1 : Heater

P : Pump
 PG : Pressure Gauge
 RV : Reducing Valve
 V : Valve
 TC : Thermocouple
 T1 : Ammonia Storage Tank
 T2 : EO Storage Tank
 T3 : Ethanolamine Tank
 T4 : Ammonia Tank
 T5 : Distilled Water Tank

Fig. 1. Schematic Diagram of Continuous Reaction Apparatus

기준 : 0.5 - 1.0kg of EO/hr

원료 : 에틸렌 옥사이드, 2Swt% 암모니아 수용액

반응기 : 스테인리스 관형 반응기(내경 2.5cm 길이 5cm)

반응압력 : 7-11 기압

체류시간 : 약 25 분

원료물비 : $\text{Amm}/\text{EO} = 2 - 10$

유량은 체류시간이 25 분 정도가 되도록 유지해 주고, 반응 온도는 반응압력(또는 증기압)에 따라 달라지나 70 - 80°C 정도로 유지시켜 회분식 실험에서 밝혀질 것 이지만 생성물 분포에 미치는 영향이 적 게 되도록 실험하였다.

(2) 실험 장치

본 연구에서 사용한 연속식 반응실험장

치는 Fig. 1 과 같다.

반응 원료인 암모니아 수용액과 에틸렌 옥사이드는 각기 저장용기(T₁, T₂)로부터 질소 가스의 압력에 의해 도관 1, 2를 통해 유량계(F₁, F₂)와 체크밸브(CV₁, CV₂)를 거쳐 반응기에 공급된다.

반응은 이중관의 내관을 따라 진행되며 발생하는 반응열을 외관을 통 하는 냉각수로 제거함으로써 온도를 조절한다.

반응 후 혼합물은 도관 3을 통해 감압밸브(RV)를 통과 하면서 그 압력이 상압 부근까지 떨어지게 되며 증발기(E₂)에 도입된다. 개폐식 온도 조절기에 의해 일정 온도로 유지되는 증발기에서 대부분의 미반응 암모니아와 물의 일부가 제거되고 생성된 에탄올 아민과 대부분의 물은 증발

기 하부의 도관 5를 통하여 용기(T_3)에 저장되며 일부는 도관 10을 통해 시료로 채워진다.

증발된 암모니아와 물은 도관 4를 통해 이중관 열 교환기형의 응축기(E_3)에 도입된다. 여기서 응축 분리된 암모니아 수 응액과 증기는 각기 도관 6, 7을 통해 암모니아 흡수탑(E_4)하부에 도입되며, 증기는 탑 상부에서 유입되는 증류수에 의해 흡수되어 다시 탑 하부로 빠지게 된다. 암모니아 흡수시 발생하는 열을 제거하기 위해 자켓을 달아 냉각수를 순환시킨다.

장치의 각 부분에서의 압력 및 온도를 측정하기 위해 압력계(PG1-3)와 열전대(TC1-6) 및 온도 기록계가 설치되어 있다.

(3) 실험 방법

모든 밸브가 잠겨 있는 상태에서 밸브 V6, V11, V14, V16을 순서대로 연후 C1의 정지 밸브를 열고 질소 가스로 2~3분 동안 purge시켜 에틸렌 옥사이드가 공기와 접촉하는 것을 방지하였다.

밸브 V6, V11, V14, V16을 순서대로 잠그고 밸브 V1, V5, V15를 연후 펌프(P2)를 가동시켜 증류수를 암모니아 흡수탑(E_4)에 공급하였다.

다시 밸브 V2, V7을 열고 반응 기내에 혼합물이 어느 정도 찰때까지 기다린후 밸브 V14, V11을 순서대로 열었다.

가열기(H1)를 작동시킨 후, 증발기(E_2)의 액위가 일정 수준에 이르면 밸브 V13을 조절하여 그 높이가 일정하도록 유지시켰다.

원료의 유량, 각 부분의 온도, 압력, 액위 등이 정상상태에 도달하는 데는 40~90분이 소요되었으며 이후 10분 간격으로 도관 10을 통하여 시료를 채취하였으며 반응기 체류 시간인 약 25분 후에는 생성물이 평형 상태에 도달했음을 분석결과로 부터 확인할 수 있었다.

3. 분석

본 연구에서는 유기 고분자의 일종인 bead 상의 Tenax-GC를 충전물질로 하는 직접적 가스크로 방법을 사용하였다.¹⁰⁾

각 실험에서 채취한 시료를 가열하여 미반응 암모니아와 미량의 에틸렌 옥사이드를 제거한후 시료주입이 용이하도록 3~5배의 물로 희석하여 가스 크로마토 그래피로 분석하였다.

Thermal Conductivity Detector(TCD)

가 부착된 Varian 1400 가스 크로마토 그래피를 사용할 때의 조건은 다음과 같았다.

Column : $4\text{ft} \times \frac{1}{8}\text{ in.}$ OD. stainless steel tube with Tenax-GC 60/80 mesh

Reference Column : $4\text{ft} \times \frac{1}{8}\text{ in.}$ OD., stainless steel tube, empty

Detector : TCD

Carrier gas : He, 60ml/min

Reference gas : He, 5ml/min

Injector 온도 : 310°C

Detector 온도 : 330°C

Column 온도 : 135°C 에서 1분간 등은 유지 후 15°C/min 의 속도로 320°C 까지 가열.

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 반응 온도가 생성물 분포에 미치는 영향(회분식)

원료 몰비(Amm/EO)를 5와 10으로 하고 각각 50°C , 70°C , 90°C 에서 반응시킨 결과가 Fig. 2에 있다.

Fig. 2에 나타난 바와같이 $50\sim 90^\circ\text{C}$ 범위에서, 반응온도가 생성물 분포에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 여러 문헌에서^{1,2,5,8)} 밝혀진 바와같이 연쇄적으로 일어나는 반응(1), (2) 및 (3)에 대한 활성화 에너지가 거의 같아, 온도가 각각의 속도 상수 k_1, k_2, k_3 에 미

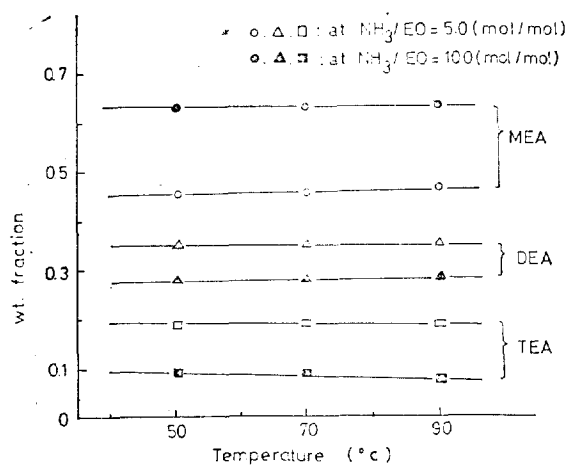
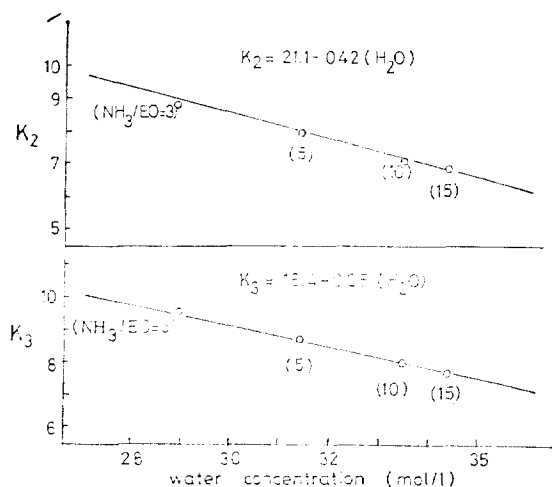


Fig. 2. Product Distribution vs. Temperature

Fig. 3. Ratios K_2 and K_3 vs. Water Concentration

치는 영향이 같기 때문에 온도에 따라 각 반응 속도는 변하지만, 그들 사이의 비율인 속도상수비 K_2 및 K_3 의 값은 거의 일정하게 유지되기 때문이다.

2. 물이 속도 상수비(K_2 및 K_3)에 미치는 영향(회분식)

반응온도가 속도 상수비에 미치는 영향이 없으므로 속도 상수비를 물 농도만의 함수로 간주할 수 있다. 한 원료 물비로 각각 50°C, 70°C, 90°C에서 실험한 결과를 평균하여 각 성분의 농

도를 구한 후 식(9)와 (10)을 이용하여 시행오차법에 의해 K_2, K_3 값을 구하고, 이들을 해당원에서의 물 농도에 대해 플롯한 결과가 Fig. 3 물 비표에 있다.

Fig. 3에 나타난 바와같이 K_2, K_3 값은 물농도에 대한 일차 감소 함수로 표시되며 최소 자승법에 의해 다음과 같이 나타내진다.

$$K_2 = 21.1 - 0.42C_w \quad (11)$$

$$K_3 = 16.4 - 0.25C_w \quad (12)$$

식 (11)과 (12)의 물농도 (C_w)는 mol/l로 표시되며, 윗식들이 얻어진 C_w 의 범위는 28~35 mol/l이다.

일반적으로 물 농도가 증가할수록 전체적인 반응 속도는 증가하나, 식 (11), (12)에서 보듯이 디에탄올 아민과 트리 에탄올 아민의 생성율은 모노 에탄올 아민에 비해 상대적으로 감소하게 된다.

3. 원료 물비(Amm/EO)가 생성물 분포에 미치는 영향

Fig. 4에서 실선은 회분식에 해당하는 것으로 식 (11), (12)에서의 K_2, K_3 값을 이용하여 식 (4)~(6)을 수치 해석적인 방법으로 적분하여 구한 값이고, 실선으로 이어진 점들은 회분식 실험 결과이다. 또한 점선으로 이어진 점들은 연속식 실험 결과이다.

회분식, 연속식 모두 모노 에탄올 아민의 생성율은 원료 물비의 값이 증가함에 따라 급격히 증가하며 트리 에탄올 아민은 이와 반대 현상을 보이고 디에탄올 아민의 생성율은 조금 증가했다가 다시 감소한다.

연속식 결과를 회분식 결과와 비교하면 Fig. 4.에서 보듯이 연속식의 경우, 회분식보다 전반적으로 모노 에탄올 아민과 디 에탄올 아민의 생성율이 낮고 트리 에탄올 아민의 생성율은 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 Ferrero¹⁾ 등에 의해서도 관찰되었는데 이에 대한 가장 큰 원인으로 실제로 관형 반응기를 사용할 때 회분식에서처럼 완전한 혼합이 이루어지지 않는다는 점을 들 수 있다. 과량의 암모니아를 수용액의 형태로 공급할 때 그 유량이 에틸렌 옥사이드의

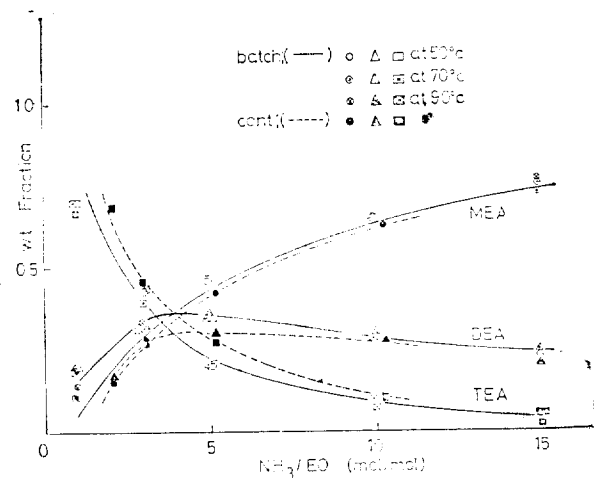


Fig. 4. Product Distribution vs. Feed Ratio (Ammonia/EO) (solid lines for batch reactor are calculated from the values of K_2 and K_3)

유량에 비해 월등히 크므로 반응물의 완전 혼합이 이루어지지 않을 경우 에틸렌 옥사이드 자체는 암모니아수에 완전히 용해되었더라도 암모니아 수용액의 일부는 미치 에틸렌 옥사이드와 접촉하지 못하게 된다. 이때 실제로 반응이 일어나는 부분에서의 암모니아와 에틸렌 옥사이드와의 비가 실제로 공급해준 값보다 작게 되어 결과적으로 모노 에탄올 아민의 생성율이 예상보다 낮고 트리 에탄올 아민의 생성율은 예상보다 높게 나타나는 것으로 생각된다.

4. 원료에 포함되는 모노 에탄올아민과 디 에탄올아민의 영향

三木正之¹⁰⁾ 등에 의하여 에탄올 아민의 수산기가 물의 그것과 마찬가지로 촉매 작용을 갖는다는 것이 밝혀졌다. 실제 공정에 있어서 원하는 조성의 생성물을 얻기 위해서 모노 에탄올 아민과 디 에탄올 아민을 반응기로 환류시켜 주는 것이 필요하며 이러한 경우 반응기로 도입되는 원료 중에 포함되는 에탄올 아민이 속도 상수값 또는 속도 상수비에 미치는 영향에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 원료에 포함된 에탄올 아민(모노-또는 디-)의 농도가 반응전보다 반응 후에 더

낮아 결국 환류에 의해 생성되는 양보다는 평형을 유지하기 위해 소모되는 양이 크게되면 이는 실제 연속 공정에서는 채택될 수 없는 경우이다 따라서 반응기에 환류되는 에탄올 아민의 양에는 제한이 있게 마련인데 회분식 실험결과에 의하면 원료 몰비(Amm/EO)가 3일때 그 상한이 몰비로 0.4(MEA/EO), 0.15(DEA/EO), 원료 몰비가 5일때 0.6(MEA/EO), 0.2(DEA/EO) 정도이다.

Table 1에 위에서 언급한 상한에서의 회분식 실험결과가 수록되어 있다.

Table 1에서 원료에 에탄올 아민이 포함되지 않은 상태에서 구해진 K_2 및 K_3 값에 의해 계산된 값이 실험치와 비교적 잘 일치함을 알 수 있는데, 이는 원료중에 포함되는 에탄올 아민의 양이, 자체의 촉매 작용에 의해 생성물 분포에 영향을 미칠 수 있는 만큼이 되지 못하기 때문인 것으로 생각된다.

이상의 고찰을 토대로 하면 실제 공정에서의 에탄올 아민의 환류량은 본 연구에서 사용한 수준이거나 그 이하이어야 하며, 이때는 환류되는 에탄올 아민의 양에 관계없이 암모니아수만을 원료로 한 경우의 K_2 및 K_3 값을 그대로 실제 공정에 적용할 수 있음을 알 수 있다.

5. 제 언

실용 가치가 있는 최종 제품을 얻기 위해서는 반응 생성물의 분리 정제 과정이 뒤 따라야 하는데 에탄올 아민의 경우 상압에서의 끓는 점은 모노-, 디-, 트리 에탄올 아민이 각각 171°C, 269°C 360°C로 그 차이가 매우 크나, 디 에탄올 아민과 트리 에탄올 아민의 경우 상압에서의 끓

Table 1. 원료에 포함되는 MEA와 DEA의 영향

원료 몰비 (mol/mol)			생성물 조성 (wt%)		
Amm/EO	MEA/EO	DEA/EO	MEA	DEA	TEA
3	0.4	0.15	22.7(21.0)	34.2(33.9)	43.1(45.1)
5	0.6	0.2	33.7(31.2)	38.0(38.1)	28.3(30.6)

(괄호 안의 값은 식 (11), (12)의 K_2, K_3 값으로 부터 계산한 값)

는 점 이상의 온도에서는 열 분해 현상이 현저하기 때문에 단순한 상압에서의 분별 증류에 의한 생성물의 분리 방법은 적합치 못하다. 따라서 이에 대한 충분한 검토가 있어야 하며, 이로부터 얻은 자료로부터 pilot plant 설계와 수요 예측 및 수요 개발을 고려한 경제성 검토가 뒤따라야 할 것이다.

V. 결 론

1. 세 가지 에탄올 아민 즉, 모노 에탄올 아민, 디 에탄올 아민, 트리 에탄올 아민의 생성물 분포에 미치는 온도의 영향은 무시할 수 있다.
2. 생성물 분포에 직접 관련되는 속도 상수 비 $K_2(k_2/k_1)$ 및 $K_3(k_3/k_1)$ 는 물의 농도에 대하여 일차 감소 함수이다.
 $K_2 = 21.1 - 0.42C_w$
 $K_3 = 16.4 - 0.25C_w$
 $(C_w : 28 \sim 35 \text{ mol/l})$
3. 원료 물비(암모니아/에틸렌 옥사이드)가 증가 할수록 모노 에탄올 아민의 생성물은 급격히 증가하는 반면 트리 에탄올 아민의 생성물은 급격히 감소하며 디 에탄올 아민의 생성물은 증가했다가 다시 감소한다.
4. 실제 공정에서 생성물의 조성을 조절하기 위해 에탄올 아민을 환류시키는 경우라도 그 촉매 작용은 무시될 수 있으며 동시에 본 연구에서 암모니아 수용액과 에틸렌 옥사이드만을 원료로 한 실험으로부터 구한 속도 상수 비 K_2 및 K_3 값을 그대로 실제 공정에 적용할 수 있다.

줄어 및 약어

Amm : Ammonia, NH_3

EO : Ethylene oxide, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$

MEA : Monoethanolamine, $\text{H}_2\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})$

DEA : Diethethanolamine, $\text{HN}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_2$

TEA : Triethanolamine, $\text{N}(\text{C}_2\text{H}_4\text{OH})_3$

$C_A, C_E, C_H, C_D, C_T, C_w$: Concentration of ammonia, EO, MEA, DEA, TEA, and water respectively in imol/liter

\dot{C}_{A0}, C_{E0} : Initial concentratons of ammonia and EO

k_1, k_2, k_3 : Rate constants, $\text{mole}^{-1} \text{ liter min}^{-1}$

K_2 : Ratio of rate constants, k_2/k_1 , dimensionless.

K_3 : Ratio of rate "constants, k_3/k_1 , dimensionless

참고 문헌

1. P.Ferrero, F.Berbe et L.R. Flamme, Bull. Soc. Chim. Belg., **56** (1947), 349~368.
2. C. Potter and R.R. McLaughlin, Can. J. Research, **25**, 405~414.
3. 日本特許, 昭 52-2887
4. 日本特許, 昭 53-9707
5. Gerhard Schulz, Walter Goetze and Peter Wolf, Chemie-Ing-Techn. **40**, Jahrg (1968) 446~448.
6. E.J. Schwoegler, Wyandotte and John Frank Olin, U.S. Patent, 2, 373, 199, Apr. 10, (1945).
7. 日本特許, 昭 49-47728
8. 三本伊藤, 石油化學 **15** (1966), 215-220.
9. R.M.Fuoss, J. Am. Chem. Soc. **65** (1943), 2406-2408.
10. N.C. Saha, S.K. Jain and R.K. Dua, Chromatographia, **10** (7) (1977), 368~371.
11. Kirk and Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," 2nd ed., 1969, John Wiley & Sons, Inc.