

## 2-amino-2-methyl-1-propanol 수용액의 거품 안정화도와 여러 아민 수용액의 거품생성도

윤호병 · 홍원희<sup>†</sup>

한국과학기술원 생명화학공학과  
305-701 대전시 유성구 구성동 373-1  
(2003년 4월 15일 접수, 2003년 10월 8일 채택)

### Study of Foam Stability of an Aqueous 2-amino-2-methyl-1-propanol and Foamability of Various Aqueous Amine Mixtures

Ho Byung Yoon and Won Hi Hong<sup>†</sup>

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, KAIST, 373-1, Guseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea  
(Received 15 April 2003; accepted 8 October 2003)

#### 요 약

아민 수용액의 거품 안정화도를 측정하기 위해서 AMP수용액의 거품소멸 시간을 여러 온도인 20 °C에서부터 80 °C에 걸쳐 측정하였다. AMP수용액의 경우 65 °C 근처에서 거품소멸 기구가 달라지는 현상을 보였으며, 온도증가에 따른 에너지 장벽의 변화로 이와 같은 현상을 설명 할 수 있다. DEA, MDEA, AMP와 같은 여러 아민 수용액의 거품 생성도를 실험을 통해서 알아보았다. 실험온도와 아민 수용액에서의 아민 농도의 변화로부터 혼합물의 거품생성도는 아민 수용액의 물성에 크게 영향을 받는다는 것을 확인 하게 되었으며, 특히 밀도, 점도 그리고 표면장력과 같은 물성들이 거품 생성도에 크게 영향을 미친다는 것을 알게 되었다.

**Abstract** – Foam decay time of aqueous 2-amino-2-methyl-1-propanol mixture was studied experimentally at various temperatures between 20 and 80 °C. Foam stability mechanism was changed at 65 °C. For the purpose of analysis of these results we assume that the additional barrier of foam decay is proportional to operating temperature. We measure foamability at a various operating temperature and amine concentrations in the aqueous diethanolamine, N-Methyldiethanolamine and 2-amino-2-methyl-1-propanol mixtures. The results showed that density, viscosity and surface tension play an important role in the foamability.

**Key words:** Foam Stability, Foamability

#### 1. 서 론

이산화탄소의 분리는 천연가스정제, 암모니아 합성공장의 수소가스정제, Bio 가스정제 등과 같이 주로 생산가스의 품질 향상을 위해 이산화탄소를 제거하는 목적으로 이루어져 왔으나, 환경보존에 대한 관심이 증대 하면서 이산화탄소는 지구 온난화의 주요 원인중 하나로 밝혀져 이의 제거 및 회수와 재활용 방법이 활발하게 연구되고 있다.

반응흡수공정은 대량의 가스처리에 적합하며 넓은 분압 범위의 이산화탄소를 흡수탑과 탈기탑의 조합으로 처리가 가능하다. 이산화탄소의 제거시 많이 사용되는 공정은 단 탑이나 충전탑을 이용하는 반응 흡수법으로 수용성 아민을 용매로 사용한다. 이와 같은 흡수 공정이나 또는 증류 공정과 같이 기체와 액체가 접촉하는 분리공정의 경우에는 조업도중에 거품이 발생하며, 발생된 거품은 분리효율에 커다란 영향을 미친다.

증류나 흡수 같은 분리장치에서 설계한 장치의 범람 값보다 낮은 용

량에서 범람이 발생하는 것이 관찰되었고 이는 장치 내에서 발생하는 거품발생에 의해서 야기 된다는 것이 확인 되었다[1-2]. 분리장치에서 발생하는 거품은 그 정도에 따라서 분리에 도움이 될 수도 있으며, 반대로 거품의 발생에 의해 전혀 분리가 되지 않을 수도 있다[3-5]. 즉, 거품이 적게 발생하는 혼합물의 경우에는 거품으로 인해서 기체와 액체의 접촉 면적이 증가하게 되어서 탑효율이 증가될 수 있지만 거품이 지나치게 많이 발생되면 범람을 일으켜 분리를 할 수 없게 된다. 증류조작 중에 거품의 영향을 알아보기 위해서 모의 증류 실험을 통해서 거품을 발생시키는 실험이 연구 되었으며[6-10] 증류탑 내를 수력학적으로 해석해서 포말높이를 계산하였다[12-15]. 이런 연구들을 통해서 혼합물이 표면장력 정제일 때 거품이 더 잘 발생한다는 것이 밝혀졌다[3, 16-17].

분리조작을 할 때 발생하는 거품에 영향을 미치는 인자들은 크게 탑의 조업조건과 분리하고자 하는 물질들의 물리적 성질로 나눌 수 있다. 조업조건으로는 온도, 기체유속 등이 있다. 그리고 거품 높이에 영향을 미치는 물리적 성질로는 점도, 밀도 그리고 표면장력 등이 있다.

채단탑에서 거품이 발생하는 조업영역은 포말(froth)영역이며 이 영역 내에서 기체유속 증가는 거품높이를 증가시키게 된다. 그러나 기체 유

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: whhong@kaist.ac.kr

속이 계속 증가하여서 조업영역이 분무(spay)영역으로 바뀌면 거품은 거의 발생되지 않는다. Rennie와 Evans[18]에 의하면 체단구멍을 기준으로 한 Reynolds 수가 2,100보다 크게 되면 거품이 깨진다고 하였고, De Goederen[19]는 기체의 유효속도가 0.5 m/s 보다 클 경우 거품이 깨진다고 하였다. 그리고 혼합포말(mixed-froth)영역이나 분무영역, 하강관에서도 거품이 발생한다. 현재 거품문제를 해결하는 방법으로 가장 많이 사용되는 것은 거품억제제를 첨가하여 거품이 발생하는 것을 억제하는 방법을 사용하고 있다.

거품의 발생을 억제하기 위해서 소포제(antifoam agent)첨가로 문제를 해결하고 있으나, 재사용 용매의 소포제 누적 등의 문제점을 야기하므로, 거품 발생 및 조절에 대한 보다 근본적인 접근이 필요하다. 또한 첨가된 소포제는 수용성 아민의 흡수 효율에도 영향을 미칠 수 있으며, 회수를 하지 않고 방출할 경우 환경문제를 일으키기도 한다.

본 연구에서는 분리공정의 효율과 조업 범위를 정확히 예측하기 위해서 거품자체의 생성과 소멸 기구, 동적 특성 등을 실험을 통해서 알아보았다.

## 2. 실험장치 및 방법

거품의 생성과 소멸 기구를 알아보기 위한 실험을 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하여 수행하였다.

실험탑과 기준탑의 내경은 5 cm이고 높이는 25 cm로 구성되어있으며, column을 이중으로 구성하여 온도 조절을 할 수 있게 제작되었다. 거품 생성을 위해서 실험장치속으로 유입되는 기체의 양을 유량계를 통해서 그 유속을 조절할 수 있게 제작되었다.

### 2-1. 거품의 안정화도(foam stability) 측정

아민수용액의 거품 안정화도를 알기 위해서 거품의 소멸속도를 측정

하였다. 거품의 안정화도는 이미 생성되어있는 거품의 안정화도를 측정하는 것으로 일정한 조업조건하에서 얼마나 오랫동안 거품이 남아있는지를 알 수 있는 실험이다.

실험탑에 아민 수용액을 채운 후에 공기를 실험장치 안으로 주입하여 거품을 발생시킨다. 어느 정도 안정된 거품이 생성된 후에 밸브를 이용하여서 기체의 유량을 조절하여 일정한 높이에 도달할 때 까지 거품을 생성 시킨다. 거품의 초기 높이로는 액체 수면으로부터 9 cm가 되었을 때 기체의 유입을 막고 생성된 거품이 모두 소멸될 때 까지 거품의 소멸 속도를 측정한다. 아민 수용액의 경우에는 비교적 짧은 수명을 가지고 있는 거품이기 때문에 소멸되는 높이를 측정하여 기록하였다. 긴 수명을 가지고 있는 거품의 소멸속도 측정 시에는 Manometer나 장치 위에 있는 압력계를 이용해서 압력을 측정한 후 압력변화로부터 거품의 면적 변화를 측정하였다.

### 2-2. 거품의 생성도(foamability) 측정

거품의 생성도는 일정한 조업조건 하에서 거품이 발생하는 정도를 말하며, 거품의 안정화도가 이미 생성된 거품의 지속성을 뜻한다면, 거품의 생성도는 처음 생성되는 정도를 뜻한다. 거품 생성도 측정을 위해서 공기의 유입 유량을 거품 생성에 가장 유리한 조업조건인 21.26 cm/s로 일정하게 유지 시켜주고 일정한 기체 유량 하에서 거품의 초기 거품 생성 높이를 측정한다.

### 2-3. 수용성 아민의 물성

#### 2-3-1. 2-amino-2-methyl-1-propanol 수용액의 밀도

AMP(2-amino-2-methyl-1-propanol) 수용액의 밀도는 Shou 등[19]의 보고를 이용하였다. 이들은 20-90 °C의 온도 범위와 거의 전범위에 걸친 아민 농도에 대한 밀도를 측정하였다. 이들의 측정 결과는 다음 Fig. 2에 나타내었다.

#### 2-3-2. 2-amino-2-methyl-1-propanol 수용액의 점도

아민 수용액의 점도는 Shou 등[19]과 Asit와 Syamalendu[20]가 보고한 자료를 사용하여 본 실험의 물성치로 이용하였다. Fig. 3에 이들의 결과를 나타내었다.

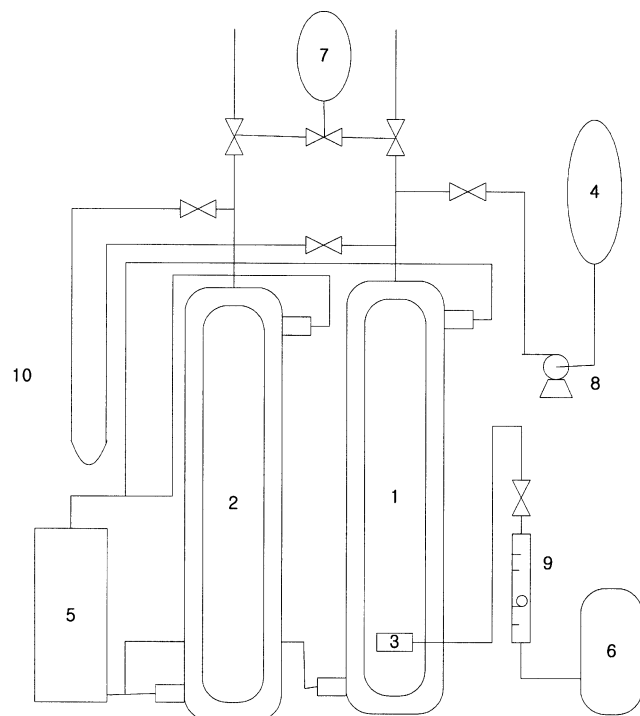


Fig. 1. Experimental apparatus.

1. Test column
2. Reference column
3. Glass frit
4. Amine/water solution
5. Circulator
6. Air gas
7. Pressure gauge
8. Pump
9. Flow meter
10. Manometer

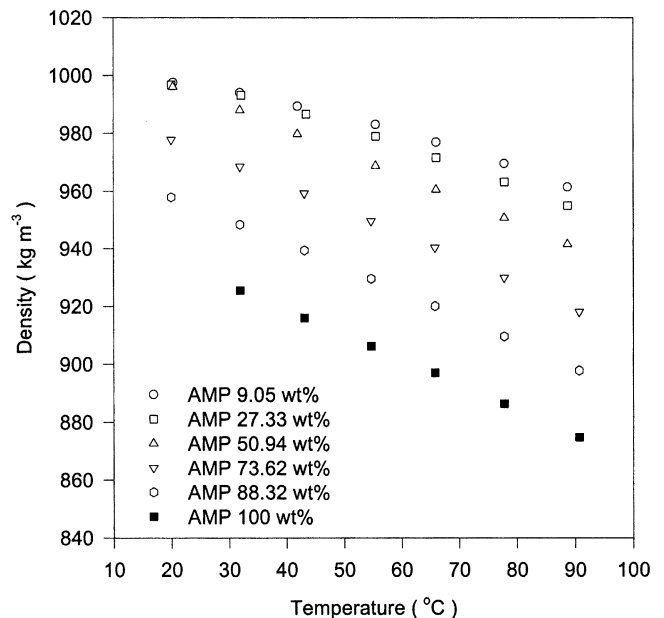


Fig. 2. Densities of aqueous AMP solutions.

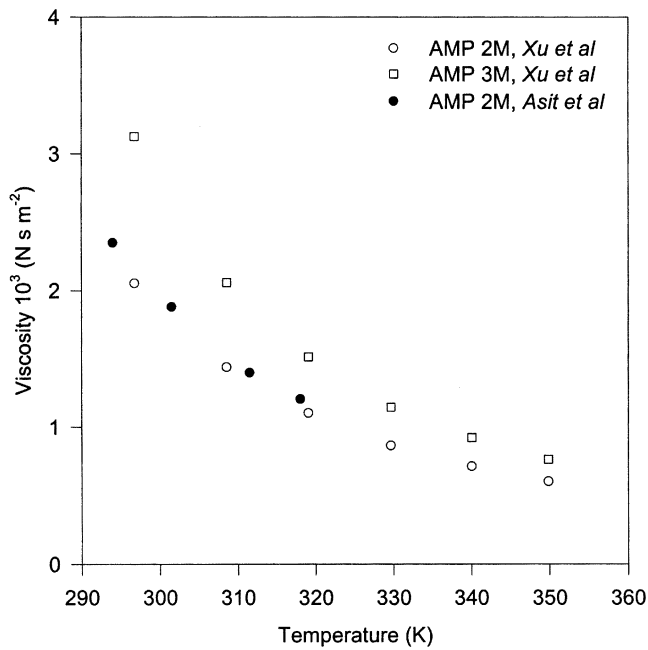


Fig. 3. Viscosities of aqueous AMP solutions.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 거품의 안정화도(foam stability) 실험

일반적으로 불안정한 거품의 경우에는 초기에 매우 빠르게 거품이 소멸 되다가 액체표면과 접하고 있는 한, 두 층의 매우 안정한 거품 층이 남아있게 되는 경우와 이러한 거품 층이 생기지 않고 모두 소멸되는 경우가 있다. CO<sub>2</sub> 흡수제로 사용되는 AMP(2-amino -2-methyl-1-propano) 수용액의 경우에는 온도 변화에 따라서 두 가지의 서로 다른 거품 소멸 형태를 나타내고 있음이 관찰 되었다. 20 °C부터 온도가 상승할수록 거품이 빠르게 소멸되는 것이 관찰되었으며, 빠르게 모든 거품이 소멸되는 것을 알 수 있었다. Fig. 4로부터 시간에 따라서 선형적으로 감소한다는 것을 알 수 있다. 그리고 소멸속도인  $dL/dt$ 는 1.8-2.4(cm/s)의 값을 얻었으며, 온도가 증가 할수록 점차적으로 증가하였다. 그러나 실험 온도가 65 °C 이상이 되면 생성되었던 모든 거품이 소멸되는 것이 아니라 안정화된 거품층이 소멸되지 않고 남아있게 되고 더 이상 시간에 따라서 직선적인 소멸 형태를 보이지 않게 된다. Fig. 5에 나타난 그림은 이

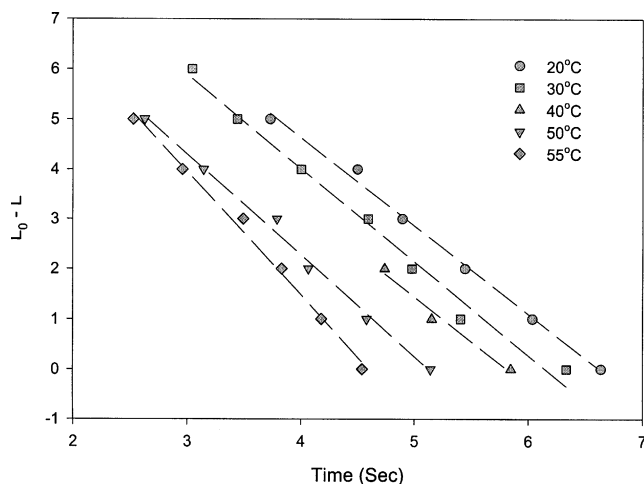


Fig. 4. Foam decay time AMP 10 wt%+pip 1 wt%.

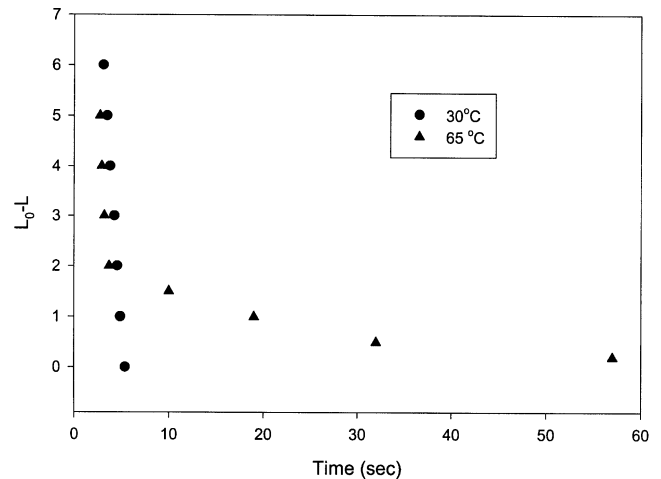


Fig. 5. A compare with two different decay mechanism (AMP 10 wt%+ pip 1 wt%).

와 같은 실험 결과를 나타낸 것으로 30 °C와 65 °C의 실험 결과를 서로 비교한 것이다. 보통의 경우에는 온도가 상승하게 되면 거품안의 기체가 팽창하게 되어서 거품의 소멸을 촉진하거나, 낮은 온도에서 겔형 표면층(geletin surface layer)을 형성하던 액체들이 온도가 증가함에 따라서 뉴튼 유체로(structureless newtonian fluid)로 변이 되어서 거품이 소멸되는 양상을 보이고 있으나, AMP 수용액의 경우에는 오히려 온도가 증가 하여 일정온도(본 실험에서는 65 °C) 이상에서는 생성된 거품이 모두 소멸되지 않고 안정화된 거품 층을 형성하는 것이 관찰 되었다.

이와 같이 온도 상승으로 인한 거품의 안정성이 강화되는 현상은 거품소멸에 필요한 에너지 장벽(energy barrier)이 65 °C이하의 저온 영역에서는 그 값을 가지지 못 하다가 65 °C이상에서는 거품 소멸을 방해하는 요소로 작용하기 때문이다. 조업온도가 증가함에 따라서 에너지 장벽 역시 증가하게 되고, 이러한 에너지 장벽이 거품소멸을 방해하게 된다. 실험에 사용된 AMP 수용액의 경우에는 65 °C 근처에서 거품 소멸 기구가 변화하는 것이 관찰되었다.

거품 소멸에 대한 에너지 장벽의 영향을 식 (1)과 (2)처럼 나타낼 수 있다.

$$L(t) = -at \exp\left(\frac{-Et}{\tau}\right) \quad (1)$$

$$L(t) = -at + b \exp\left(\frac{-Et}{\tau}\right) \quad (2)$$

여기서  $L(t)$ 는 거품의 변화속도를 나타내고,  $E$ 는 거품 안정화에 대한 에너지 장벽이 된다. 그리고  $\tau$ 는 기준시간이 된다.

식 (2)에서 나타난 것처럼 65 °C 이하의 영역에서는 에너지 장벽의 영향이 없어서 거품소멸속도를 직선으로 나타낼 수 있으나, 65 °C 이상의 영역에서는 에너지 장벽의 영향에 의해서 거품 소멸 속도를 더 이상 직선으로 표현할 수 없게 된다.

즉, 식 (2)에서는 65 °C 이하의 온도에서  $a$ 라는 소멸속도 직선으로 거품이 감소하게 되며, Fig. 4로부터 1.8-2.0(cm/s)의 값을 얻었다. 65 °C 이상의 온도에서는 직선적인 소멸형태를 보이지 않으며 에너지 장막에 의해서 거품이 깨지는 것이 방해 받는다. Fig. 5로부터 에너지 장벽과 기준시간의 비인  $E/\tau$  값을 얻었으며, 그 값은 0.1207이다.

Fig. 6은 같은 온도 간격을 두고 온도가 상승함에 따라서 일정시간 동안 거품이 소멸된 정도를 나타낸다. 온도가 증가 할수록 거품의 소멸 속도는 빨라지는 것을 알 수 있다. 그러나 65 °C 이상이 되면 거품소멸의 기구가 변하게 되고, 거품의 초기 소멸속도는 온도에 따라서 영향을 받

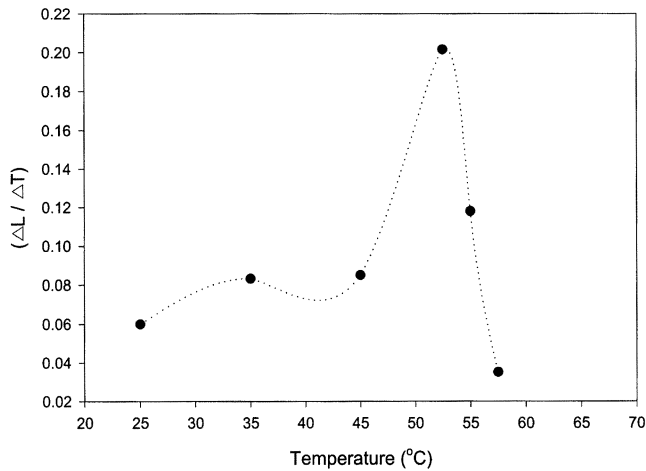


Fig. 6. Change of the rate of foam decay time according to the operating temperature.

지 않게 된다. 즉, 65 °C 이하에서는 Fig. 4에 나타난 것처럼 온도가 증가함에 따라서, 소멸 속도가 증가하게 되나, 65 °C 이상에서는 직선으로 표현된 초기 소멸 속도는 일정하게 된다. Fig. 6은 같은 온도 간격 ( $\Delta 10^\circ\text{C}$ )을 두고 온도가 증가함에 따라서 일정시간 동안 거품이 소멸된 정도를 나타낸다. 온도가 증가 할수록 거품의 소멸 속도는 빨라지는 것을 알 수 있다. 그러나 65 °C 이상이 되면, 거품 소멸의 특성이 변하게 되고, 거품의 초기 소멸 속도는 온도에 따라서 영향을 받지 않게 된다.

Fig. 6은 Fortes[22]가 제시한 매개변수  $\lambda$ 를 이용하여 온도 변화에 따른 거품 안정화도의 변화를 도식한 것이다.

매개변수  $\lambda$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$\lambda = \frac{\Delta \ln L}{\Delta \ln T} \frac{(L_1 - L_0)}{(T_1 - T_0)} \quad (3)$$

각 온도 구간에 따른 거품의 소멸 속도는 일정 온도에서 최고 값을 이루다가 온도가 더 상승하게 되면 감소하게 된다. 50 °C 까지의 온도 영역에서는 거품의 소멸 속도가 급격하게 빨라지게 되지만, 50 °C에서 거품 소멸의 기구가 변화하게 되는 65 °C 까지는 온도가 증가함에 따라서 거품이 소멸되는 속도는 증가하기는 하나 그 차가 점점 줄어들어서 65 °C 이상에서는 변화가 없게 된다. 즉, 20 °C에서 점차적으로 조업온도가 증가함에 따라서 거품의 소멸 속도는 증가하게 되지만, 일정온도 이상이 되면 거품의 소멸 속도는 온도가 증가하더라도 더 이상 증가하지 않게 된다. Fig. 6에서 나타난 것과 같이  $\Delta T$ 를 사용하여 5, 10 °C의 온도 차이에 의한 거품의 소멸 정도를 온도별로 나타냄으로서 거품의 소멸 속도가 곡선으로 나타나는 65 °C에 도달 되면 온도가 상승하더라도 Fig. 5에서 직선으로 표시 되는 초기 소멸속도는 변화하지 않게 된다.

### 3-2. 거품 생성도(foamability)에 관한 실험

거품의 생성도(foamability)는 일정조업 조건하에서 거품이 발생할 수 있는 능력을 말한다. Bikerman[23]에 의해서 거품 생성도라는 의미의 “foamability” 또는 “foaminess”의 개념이 도입되었으며, 본 실험에서는 거품 생성도 측정을 위해서 기체의 유입 유량을 21.26 cm/s로 일정하게 유지 시켜주고 일정한 기체 유량 하에서 거품의 초기 생성 높이를 측정 하였다. 초기 거품 생성 높이는 조업 온도와 유입되어 들어오는 기체의 유속 등과 같은 일정한 조업조건하에서 아민 혼합물이 발생될 수 있는 최대 높이를 뜻한다.

Fig. 7에는 diethanolamine(DEA) 수용액에 대한 실험 결과를 나타내었다.

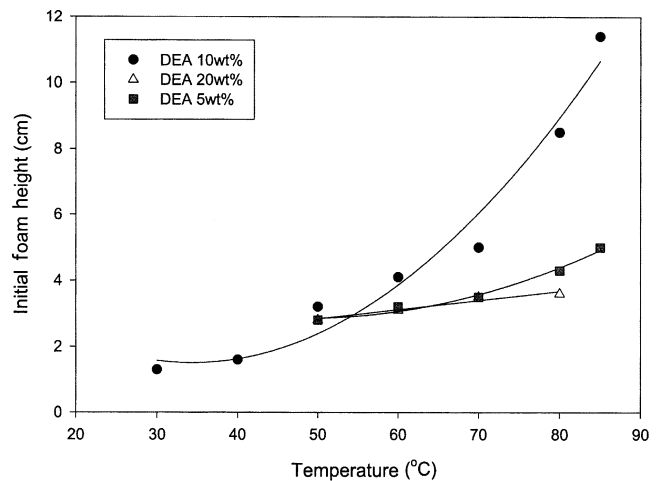


Fig. 7. An effect of operating temperature on the foamability (DEA/Water).

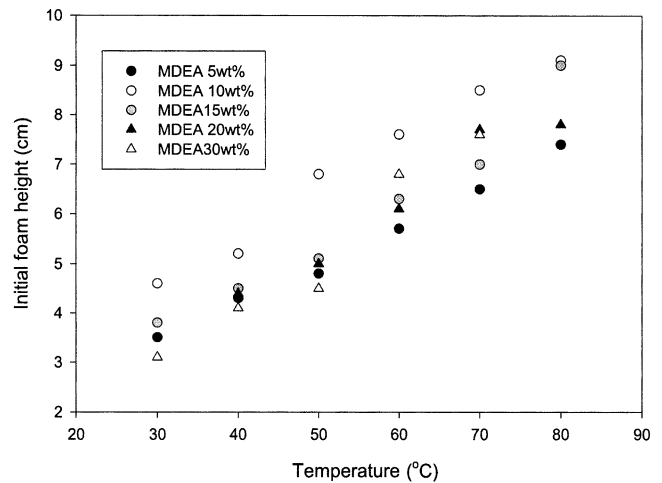


Fig. 8. An effect of operating temperature on the foamability (MDEA/Water).

각각 DEA 5, 10, 20 wt%에 대한 실험 결과를 나타내고 있으며, 조업 온도가 증가함에 인해서 거품 생성도가 증가하는 것을 알 수 있다. Diethanolamine의 농도 증가에 대해서는 10 wt% 일 때 가장 높은 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 조업 온도와 대상 아민의 온도 변화에 따른 결과는 diethanolamine 수용액의 물성 변화에 따른 것으로 볼 수 있다. 즉, diethanolamine 수용액의 밀도, 점도, 표면장력과 같은 물성들의 영향을 받아서 거품 생성도를 나타내는 초기 거품 생성 높이가 결정된다.

Fig. 8과 9는 각각 N-Methyldiethanolamine(MDEA), 2-amino-2-methyl-1-propanol(AMP) 수용액의 거품 생성도를 조업 온도에 따라서 나타낸 것이다. Fig. 7의 diethanolamine의 결과와 같이 조업 온도가 증가 할수록 거품 생성도가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 혼합물에서 아민의 농도가 증가 할수록 거품 생성도를 나타내는 초기 거품 생성 높이 가 증가 하다가 일정 농도 이후에는 감소하는 결과를 보여 주고 있다.

Fig. 10은 실험에 사용된 3종류의 다른 아민 혼합물인 diethanolamine, N-methyldiethanol amine 그리고 2-amino-2-methyl-1-propanol의 농도 증가에 따른 거품 생성도를 나타내고 있으며, 조업온도는 50 °C 일때의 결과를 나타내고 있다.

#### 3-2-1. 거품 생성도에 미치는 밀도의 영향

혼합물의 밀도가 증가 할수록 거품의 안정화도와 거품 생성도는 감소

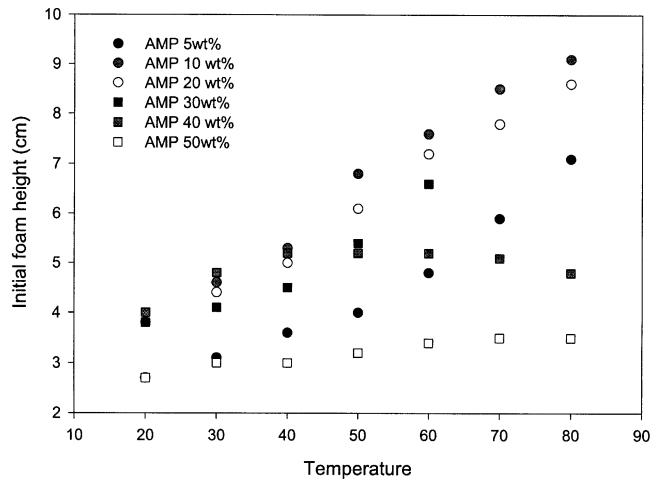


Fig. 9. An effect of operating temperature on the foamability.

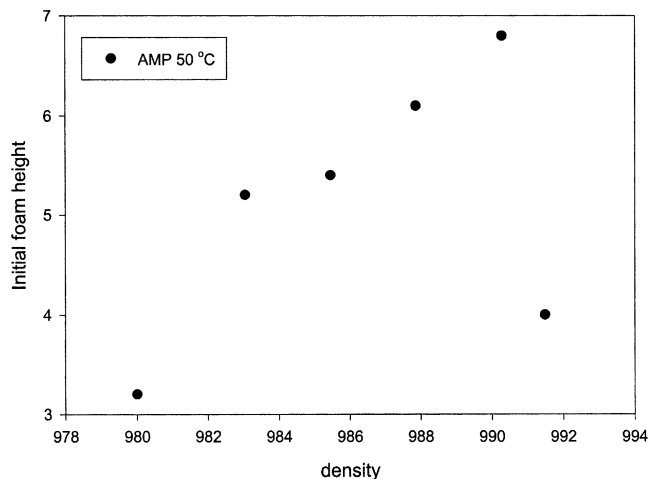


Fig. 10. Density effect on the initial foam height.

하게 된다. 거품 안정화도의 경우 혼합물의 밀도가 증가 하게 되면, 거품을 이루고 있는 액체들의 배수(drainage)가 중력에 의해서 더 빠르게 진행된다. 따라서 생성된 거품은 보다 쉽게 깨어지고 불안정하게 된다. 거품 생성도의 경우에는 유입되는 기체와 함께 액체가 같이 상승하여 거품을 형성하게 되므로, 혼합물의 밀도가 증가 하게 될 수록 중력의 영향을 더 많이 받게 되어서 거품이 생성되는데 어려움이 생기게 된다. 실험 결과 역시 이와 같은 사실을 나타내고 있다. 조업 온도가 증가 할수록 혼합물의 밀도는 감소하게 되고, 혼합물의 거품 생성도는 증가 하게 된다. 그리고 아민 수용액의 농도가 증가 할수록 혼합물의 밀도는 감소하게 되므로 (Fig. 2) 거품 생성도 역시 농도 증가에 따라서 증가 하게 된다.

Fig. 10에 조업온도가 50 °C 일때 혼합물의 밀도 변화에 따른 거품의 생성도를 나타내었다. 이 그림으로부터 거품 생성도에 미치는 밀도의 영향이 점도나 표면장력의 효과에 비해서 작다는 것을 알 수 있다.

### 3-2-2. 거품 생성도에 미치는 점도의 영향

아민 혼합물의 점도가 증가 하게 될 수록 거품의 생성도는 감소하게 된다. 밀도가 거품 발생을 억제 하는 것과는 다른 성질로 점도가 증가 할수록 거품 생성을 억제 하게 되는데, 유입되는 기체와 함께 액체가 같이 상승하여서 거품을 형성하게 되는데 있어서 아민 수용액의 점도가 증가 할수록 기체의 상승에 대한 저항이 증가 하게 된다. 즉, 일정한 유속이라는 실험조건 하에서 혼합물의 점도가 증가 하게 되면 혼합물내로 들어오는 기체가 가지고 있는 힘에 대한 액체의 저항 값이 커지게 되므로 기체와 함께 상승 할 수 있는 액체의 양이 감소하게 된다. 이러

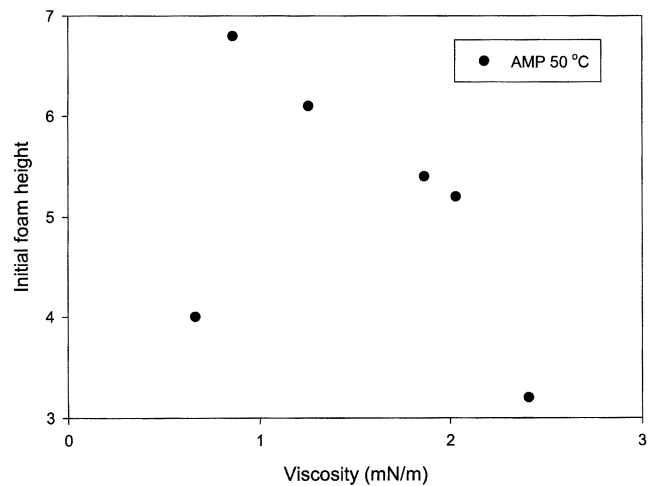


Fig. 11. Viscosity effect on the initial foam height.

한 결과로부터 점도 증가에 따른 거품의 생성도는 감소 하게된다.

실험 결과에 나타난 것처럼 조업 온도가 증가 할수록 아민 수용액의 점도는 감소하게 되고, 혼합물의 농도가 증가 할수록 아민 수용액의 점도는 증가하게 된다(Fig. 3). 이러한 점도 증가의 영향으로 일정한 농도 이상에서 거품의 생성도는 감소하는 모습을 보이게 되는 것이다.

Fig. 11에 점도 변화에 따른 거품의 생성도를 나타내었다. 혼합물의 점도가 증가함으로 인해서 거품의 생성도가 감소하는 것을 알 수 있다.

### 3-2-3. 거품 생성도에 미치는 표면장력의 영향

거품 생성도에 영향을 주는 물성으로 가장 크게 작용하는 것으로 표면장력을 생각 할 수 있으며, 표면 장력이 증가 할수록 거품의 안정도는 감소하게 된다.

조업 온도가 증가 할수록 아민 수용액의 표면장력은 감소하게 되고 거품 생성도는 증가 하게 된다. 그리고 아민 수용액의 아민의 농도가 증가 할수록 표면장력은 감소하게 되고 거품 생성도는 증가 하게 된다.

Fig. 12에 표면장력에 의한 거품 생성도의 변화를 나타내었다. DEA 수용액의 50, 60 °C에서의 결과를 나타내었다.

Fig. 13은 아민의 농도가 증가함에 따라서 밀도와 표면장력 감소에 따른 영향에 의해서 낮은 아민 농도 영역에서는 거품 생성도가 증가하는 경향을 보이다가 아민의 농도가 증가 할수록 점도의 영향이 밀도와 표면장력의 효과를 상쇄하여 거품 생성도가 감소가 된 것이다.

채단탐의 경우 발생하는 하이드로 카본 혼합물의 거품 발생 정도를

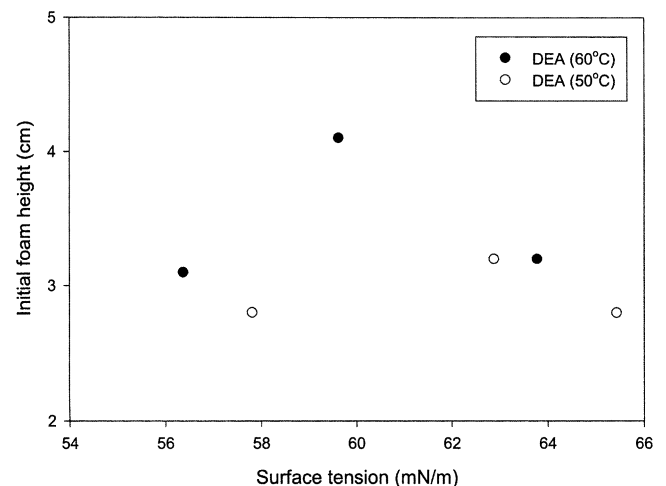


Fig. 12. Surface tension effect on the initial foam height.

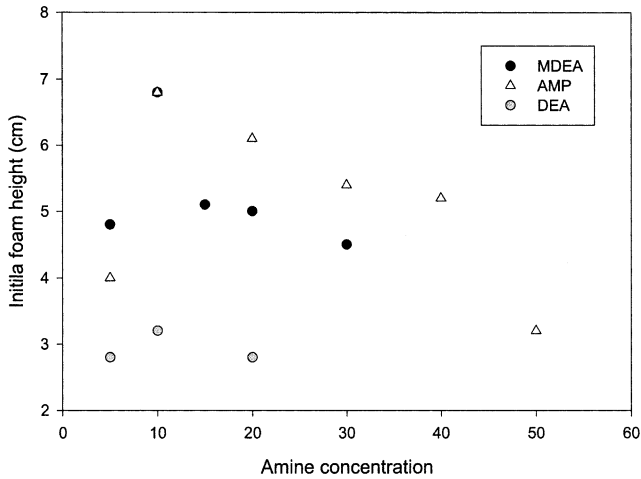


Fig. 13. Foamability of amine/water mixtures (50 °C).

Reynolds 수와 Weber수의 곱으로 나타낼 수 있으며 식 (4)처럼 나타 낼 수 있다[24].

$$\frac{H_F}{d} = A \left( \frac{v^2 d \rho}{\sigma} \right)^{0.55} = \left( \frac{dv \rho}{\mu} \right)^{0.115} = We^{0.55} Re^{0.115} \quad (4)$$

거품 생성도 역시 식 (4)와 같은 방법으로 나타낼 수 있으며, 거품의 생성도를 의미하는 초기 거품 생성 높이가 밀도, 점도, 표면장력과 같은 혼합물의 물성에 반비례하는 것으로부터 식 (5)와 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$H_i = \frac{\alpha \left( \frac{A}{\rho} \right)^a \left( \frac{B}{\mu} \right)^b}{\rho} \quad (5)$$

식 (5)에서 초기 거품의 생성 높이에 미치는 밀도의 영향이 점도와 표면장력에 비해서 작다고 가정한다면 한 관계식으로 밀도의 영향을 무시 할 수 있다고 한다면 식 (5)에서 밀도항을 상수로 생각 할 수 있다.

#### 4. 결 론

2-amino-2-methyl-1-propanol 수용액의 거품 안정화도는 조업 온도에 따라서 거품 소멸 기구가 변한다는 것을 실험을 통해서 알게 되었다. 실험온도가 65 °C 이하일 때에는 거품 소멸 속도는 측정 시간에 대해서 선형적으로 감소하며, 실험 온도가 증가 할수록 더 빠르게 소멸 된다. 그러나 실험 온도가 65 °C 이상일 때에는 모든 거품이 깨지지 않고 안정화된 거품 층이 오랜 시간을 두고 존재 하게 되며, 거품 소멸 속도 역시 측정 시간에 대해서 선형적인 모습을 보이지 않는다. 이렇게 실험 온도 증가에 따라서 안정화된 거품 층이 생성되는 이유로는 실험 온도 증가에 따라서 거품 소멸을 방해하는 에너지 장벽 값이 증가하기 때문이다. 이러한 에너지 장벽의 영향을 아래와 같이 나타 낼 수 있다.

$$L(t) = -at + b \exp\left(\frac{-Et}{\tau}\right)$$

위에서 65 °C 이하의 조업온도에서는 1.8-2.0(cm/s)의 거품 소멸속도를 얻었고, 65 °C 이상의 조업온도에서 거품소멸을 방해하는 에너지장벽의 값을 얻었으며 그 값은  $(E/\tau)$  0.1207이 된다.

일정한 조업 조건하에서 발생될 수 있는 거품의 양을 나타내는 거품 생성도는 조업 온도와 아민 수용액상의 아민의 농도에 따라서 다른 값을 나타내는데, 거품 발생도에 영향을 미치는 물성으로는 밀도, 점도 그리고 표면장력 등이 있으며, 밀도, 점도, 표면장력 등의 값이 증가 할수

록 거품 생성도는 감소하게 된다.

여러 물성과 거품 생성도의 관계를 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_i = \frac{\alpha \left( \frac{A}{\rho} \right)^a \left( \frac{B}{\mu} \right)^b}{\rho}$$

#### 감 사

본 연구는 에너지관리공단이 지원한 연구결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

#### 사용기호

a	: constant
b	: constant
d	: plate hole diameter
$H_F$	: foam height
$H_i$	: initial foam height
$v_s$	: superficial velocity
Re	: reynolds number $Re = \frac{dv_s \rho L}{\mu}$
We	: weber number $We = \frac{v_s^2 d \rho L}{\rho}$

#### 그리스 문자

$\alpha$	: experimental constant
$\mu$	: viscosity
$\rho_L$	: liquid density
$\sigma$	: surface tension

#### 참고문헌

- Lockett, M. J., "Distillation Tray Fundamentals," 1st ed., Cambridge University press, Cambridge, 44-53(1986).
- Ross, S., "Mechanism of Foam Stabilization and Antifoam Action," *Chem. Eng. Prog.*, **63**(9), 41(1967).
- Zuiderweg, F. J. and Harmens, A., "The Influence of Surface Phenomena on the Performance of Distillation Column," *Chem. Eng. Sci.*, **9**, 89(1958).
- Ross, S. and Nishioka, G. J., "Foaminess of Binary and Ternary Solutions," *J. Phys. Chem.*, **79**(15), 1561(1975).
- Bolles, W. L., "The Solution of Foam Problem," *Chem. Eng. Prog.*, **63**(9), 48(1967).
- Kister, H. Z., "Distillation Operation," McGraw-Hill, New York, 393-407(1990).
- Eckert, J. S., "Extraordinary Distillation Problems: Problems of a Packed Column," *Chem. Eng. Prog.*, **61**(9), 89(1965).
- Glausser, W. E., "Foaming in a Natural Gasoline Absorber," *Chem. Eng. Prog.*, **60**(10), 67(1964).
- Kister, H. Z., Pinczewski, W. V. and Fell, C. J., "Entrainment from Sieve Tray in the Froth Regime," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **27**, 2331(1988).
- Benenett, D. L., Agrawal, R. and Cook, P. J., "New Pressure Drop Correlation for Sieve Tray Distillation Columns," *AIChE J.*, **29**(3), 434(1983).
- Colwell, C. J., "Clear Liquid Height and Froth Density on Sieve Trays," *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, **20**(2), 298(1981).
- Fair, J. R., Steinmeyer, D. E., Penney, W. R. and Crocker, B. B., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill, New York.

- York, 85-88(1984).
13. Biddulph, M. W. and Thomas, C. P., "Effect of Liquid Surface Tension on Small Hole Distillation Sieve Tray Pressure Drop," *AIChE J.*, **41**(4), 819(1995).
  14. Bennett, D. L., Kao, A. S. and Wong, L. W., "A Mechanistic Analysis of Sieve Tray Froth Height and Entrainment," *AIChE J.*, **41**(9), 2067(1995).
  15. Bainbridge, G. S. and Sawistowski, H., "Surface Tension Effect in Sieve Plate Distillation Column," *Chem. Eng. Sci.*, **19**, 992(1964).
  16. Davies, B., Ali, Z. and Porter, K. E., "Distillation of System Containing two Liquid Phases," *AIChE J.*, **33**(1), 161(1987).
  17. Lowry, R. P. and van Winkle, M., "Foaming and Frothing Related to System Physical Properties in a Small Perforated Plate Distillation Column," *AIChE J.*, **15**(5), 665(1969).
  18. De Goederen, C. W. J., "Distillation Tray Efficiency and Interfacial Area," *Chem. Eng. Sci.*, **20**, 1115(1965).
  19. Shou X., Frederick D. O. and Alan E. M., "Physical Properties of Aqueous AMP Solutions," *J. Chem. Eng. Data*, **36**, 71-75(1991).
  20. Asit K. S. and Syamalendu S. B., "Solubility and Diffusivity of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> in Aqueous Solutions of 2-Amino-2-methyl-1-propanol," *J. Chem. Eng. Data*, **38**, 78-82(1993).
  21. Adamson, A. W., "Physical Chemistry of Surface," 5th ed., John Wiley & Sons, 544-550(1990).
  22. Fortes, M. A., "Thermal Expansion of Liquid Foams," *Langmir.*, **11**, 639-642(1995).
  23. Bikerman, J. J., "Foams" Springer, Heidelberg(1973).
  24. Yoon, H. B., Hong, W. H., Lee, T. Y., Kim, S. S. and Song, I. S., "Analysis of Foaming Phenomena of Binary Mixtures in Sieve Plate Columns," *HWAHAK KONGHAK*, **36**(3), 380-386(1998).