



2020 학년도 2 학기

화학공업과

화공양론

담당교수 : 김경호

제 3 주차 2차시



DIT 동의과학대학교
DONG-EUI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

[수업 목표]

1. 물과 분자량에 대해 학습해 봅시다.
2. 밀도와 비중, 그리고 농도에 대해 학습해 봅시다.

예제 2.15

계산 기준 선택

석탄으로부터 에너지 함유량이 높은 가스나 가솔린을 생산하는 공정의 대부분은 수소나 합성 가스를 만드는 가스화 단계를 포함한다. 이때 메탄의 수율이 높고 가스화 속도가 빠른 가압 가스화법을 선호한다.

시험 가동에서 50.0 kg의 가스를 얻었는데, 그 조성(몰 기준)은 H_2 10.0%, CH_4 40.0%, CO 30.0%, CO_2 20.0%이다. 이 가스의 평균분자량을 구하라.

▶ 풀이

계산 기준을 선택하자. ‘무엇을 알고 있는가?’라는 질문에 답한다면 가스 50.0 kg을 계산 기준으로 선택해야겠지만 잠시 생각해 보면 이 계산 기준은 쓸모가 없다. 문제에 주어진 가스의 조성은 몰 조성이므로 이 수치에 kg을 곱하는 것은 아무 의미도 없다. 따라서 ‘가장 편리한 계산 기준’으로 가스 100 kg mol을 선택한다.

계산 기준: 가스 100 kg mol(또는 100 lb mol)

표를 만들면 계산과정이 간결해진다. 각 성분마다 따로 계산할 수 있지만 이러한 방법은 비효율적인 동시에 실수하기도 쉽다.

성분	% = kg mol	분자량	질량(kg)
CO ₂	20.0	44.0	880
CO	30.0	28.0	840
CH ₄	40.0	16.04	642
H ₂	10.0	2.02	20
합계	100.0		2382

$$\text{평균분자량} = \frac{2382 \text{ kg}}{100 \text{ kg mol}} = 23.8 \text{ kg/kg mol}$$

답을 검산해 보면 각 성분의 분자량이 2~44 범위이고 평균분자량이 그 중간값인 23.8이므로 타당한 값이다.

예제 2.16

계산 기준 변경

O₂ 20%, N₂ 78%, SO₂ 2%인 가스의 조성을 SO₂를 제외한 기준(SO₂-free basis)으로 다시 나타내려 할 때 어떻게 하면 되는가?

> 풀이

먼저 계산 기준을 가스 1 mol로 선택한다. 왜 그런가? 가스의 조성이 mol %이기 때문이다. 다음 각 성분의 몰을 구한 후 SO₂를 제외하고 계산 기준을 조정하여 O₂와 N₂가 100%가 되도록 하면 된다.

계산 기준: 가스 1.00 mol

성분	몰분율	몰(mol)	SO ₂ 제외 가스의 몰(mol)	SO ₂ 제외 가스의 몰분율
O ₂	0.20	0.20	0.20	0.20
N ₂	0.78	0.78	0.78	0.80
SO ₂	0.02	0.02		
	<u>1.00</u>	<u>1.00</u>	<u>0.98</u>	<u>1.00</u>

마지막 열에서는 사사오입했지만 문제에 주어진 몰분율값을 고려하면 타당하다.

[수업 목표]

1. 물과 분자량에 대해 학습해 봅시다.
2. 밀도와 비중, 그리고 농도에 대해 학습해 봅시다.

예제 2.17

비중이 주어진 경우의 밀도 계산

페니실린의 비중이 1.41이라면 이 페니실린의 밀도를 다음 단위로 구하라.

- (a) g/cm^3
- (b) lb_m/ft^3
- (c) kg/m^3

> 풀이

먼저 기준물질의 비중으로 밀도를 구하자. 페니실린이나 기준물질(물로 추정)의 온도가 언급되지 않았으므로 페니실린은 실내 온도인 22°C , 기준물질은 4°C 물로 가정한다. 따라서 기준밀도는 62.4 lb/ft^3 또는 $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 (1.00 \text{ g/cm}^3)$ 이다.

$$\text{a. } \frac{1.41 \frac{\text{g P}}{\text{cm}^3}}{1.00 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}} \left| \frac{1.00 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{cm}^3}}{\text{cm}^3} \right| = 1.41 \frac{\text{g P}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{b. } \frac{1.41 \frac{\text{lb}_m \text{ P}}{\text{ft}^3}}{1.00 \frac{\text{lb}_m \text{ H}_2\text{O}}{\text{ft}^3}} \left| \frac{62.4 \frac{\text{lb}_m \text{ H}_2\text{O}}{\text{ft}^3}}{\text{ft}^3} \right| = 88.0 \frac{\text{lb}_m \text{ P}}{\text{ft}^3}$$

$$\text{c. } \frac{1.41 \text{ g P}}{\text{cm}^3} \left| \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^3 \right| \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1.41 \times 10^3 \frac{\text{kg P}}{\text{m}^3}$$

이미 알고 있겠지만 석유산업에서는 석유제품의 비중을 °API라는 비중계 척도로 나타낸다. 다음은 밀도와 °API 비중의 관계식이다.

$$^\circ\text{API} = \frac{141.5}{\text{sp. gr.} \frac{60^\circ\text{F}}{60^\circ\text{F}}} - 131.5 \quad (\text{API 비중}) \quad (2.4)$$

$$\text{sp. gr.} \frac{60^\circ}{60^\circ} = \frac{141.5}{^\circ\text{API} + 131.5} \quad (2.5)$$

석유제품의 부피와 밀도는 온도에 따라 변하므로 석유산업에서는 60°F를 기준온도로 정하여 비중과 API 비중을 나타낸다.

예제 2.18

분자량이 192인 약품 생산 공정에서 물과 약품을 포함하는 반응기 배출유량이 10.5 L/min이다. 수용액 중의 약품 농도는 41.2%이고 수용액의 비중은 1.024이다. 배출 흐름 중의 약품 농도(kg/L)와 약품의 배출유량(kmol/min)을 구하라.

> 풀이

문제가 다소 복잡하므로 다시 잘 읽어 보기 바란다. 수용액에 관해서는 비중을 포함한 성질을 알고 있다. 문제를 풀려면 비중을 이용하여 밀도를 구하고 몰농도(몰/부피)를 구해야 한다.

먼저 약품의 질량 분율(41.2%)을 밀도(질량/부피)로 바꾼다. 문제에 약품의 질량 분율이 나와 있

으므로 배출 용액 1.000 kg을 계산 기준으로 정한다. 그림 E2.18은 출구를 보여 준다.

계산 기준: 용액 1.000 kg

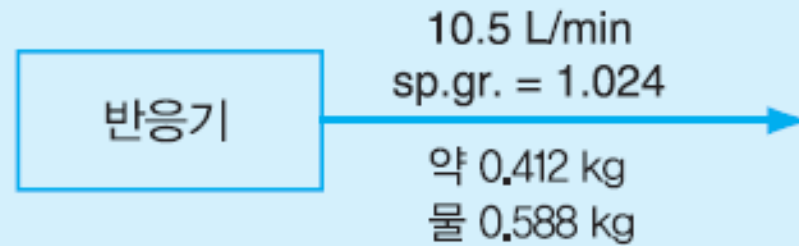


그림 E2.18

주어진 자료인 질량 분율(41.2%)로부터 밀도(질량/부피)를 구하려면 어떻게 해야 할까? 수용액의 비중을 이용하여 다음과 같이 수용액의 밀도를 구한다.

$$\text{수용액의 밀도} = (\text{sp.gr.})(\text{표준밀도})$$

$$\text{수용액의 밀도} = \frac{1.024 \frac{\text{g soln}}{\text{cm}^3 \text{ soln}}}{1.000 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{ H}_2\text{O}}} \left| \frac{1.000 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{ H}_2\text{O}}}{1.000 \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{cm}^3 \text{ H}_2\text{O}}} \right| = 1.024 \frac{\text{g soln}}{\text{cm}^3 \text{ soln}}$$

수용액 밀도의 계산을 자세하게 하기 위해 단위를 표시하는 것은 너무 번거롭기는 하지만 계산을 분명하게 하기 위해 설명하고 있다. 이어서 이 밀도를 이용하여 용액 1.000 kg 중의 약품의 질량(질량 분율)을 용액의 단위 부피 중의 약품의 질량(농도)으로 계산하여 바꾸기 전에 기준 수용액 1.000 kg에 대해 약품 0.412 kg이 있다는 것을 깨닫는다.

$$\frac{0.412 \text{ kg drug}}{1.000 \text{ kg soln}} \left| \frac{1.024 \text{ g soln}}{1 \text{ cm}^3 \text{ soln}} \right| \left| \frac{1 \text{ kg soln}}{10^3 \text{ g soln}} \right| \left| \frac{1000 \text{ cm}^3 \text{ soln}}{1 \text{ L soln}} \right| = 0.422 \text{ kg drug/L soln}$$

단위 제거 중의 혼란을 피하기 위해 수용액의 특성(예: g soln, L soln)과 약품의 질량 간에 구분선을 그린다.

유량을 구하기 위해 다른 계산 기준(1분)을 취한다.

$$\text{계산 기준: } 1 \text{ min} = \text{용액 } 10.5 \text{ L}$$

위의 계산 결과를 이용하여 선택한 부피를 질량으로 바꾼 다음 몰로 바꾼다.

$$\frac{10.5 \text{ L soln}}{1 \text{ min}} \left| \frac{0.422 \text{ kg drug}}{1 \text{ L soln}} \right| \left| \frac{1 \text{ kg mol drug}}{192 \text{ kg drug}} \right| = 0.0231 \text{ kg mol/min}$$

답을 검산해 보라.

정상적으로 살아 있는 세포에 필요한 질소는 단백질 대사에서 제공된다(즉 셀에서의 단백질 소모). 제약업체와 같이 상업적으로 셀을 성장시키는 경우, 일반적으로 질소의 소스로 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 을 사용한다. 500 L 발효 중간체에서 최종 세포 농도가 35 g/L일 때, 발효 중간체 안에서 소비된 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 의 양을 결정하라. 세포는 질소 9 wt %를 포함하고 있으며, 질소의 소스는 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 만 있다고 가정하라.

>풀이

계산 기준: 35 g/L가 포함된 용액 500 L

$$\frac{500 \text{ L}}{1} \left| \frac{35 \text{ g cell}}{\text{L}} \right| \left| \frac{0.09 \text{ g N}}{\text{g cell}} \right| \left| \frac{\text{g mol}}{14 \text{ g N}} \right| \left| \frac{1 \text{ g mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{2 \text{ g mol N}} \right|$$

$$\frac{132 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}{\text{g mol } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 7425 \text{ g } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$$

다음은 미국 환경청이 가이드라인으로 제시하고 있는 가장 일반적인 인체 악영향 물질 5개에 대해 기준 농도에서 일정 기간 동안 노출되는 경우 인체에 악영향을 줄 수 있는 극한 수준이다.

- 이산화황: $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hr 평균)
- 입자상 물질(미세먼지, $10 \mu\text{m}$ 이하): $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hr 평균)

c. 일산화탄소: 10 mg/m^3 (9 ppm) (8 hr 평균), 40 mg/m^3 (35 ppm) (1 hr 평균)

d. 이산화질소: $100 \mu\text{g/m}^3$ (1 hr 평균)

e. 오존: 0.12 ppm (1 hr 평균)

여기서 ppm을 제외하고는 기체 농도를 질량/부피 단위로 나타낸 점에 유의하기 바란다.

현재 OSHA에서 정한 공기 중 HCN의 8 hr 한계는 10.0 ppm이다. 공기 중 HCN의 치사량은 상온에서 300 mg/kg이다(Merck index). 10.0 ppm을 mg/kg의 단위로 나타내라. 10.0 ppm은 치사량의 몇 분의 1인가?

풀이

기상 중의 ppm(몰 기준!)을 질량비로 환산하는 문제이다.

계산 기준: 공기/HCN 혼합물 1 kg

공기 중 HCN의 양은 아주 극미량이므로 10.0 ppm은 10.0 g mol HCN/10⁶ g mol air로 간주할 수 있다.

$$\frac{10.0 \text{ g mol HCN}}{10^6 (\text{air} + \text{HCN}) \text{ g mol}} = \frac{10.0 \text{ g mol HCN}}{10^6 \text{ g mol air}}$$

이어서 HCN의 몰을 질량으로 바꾸기 위해 분자량을 구하면 MW = 27.03이다.

$$\begin{aligned} & \frac{10.0 \text{ g mol HCN}}{10^6 \text{ g mol air}} \left| \frac{27.03 \text{ g HCN}}{1 \text{ g mol HCN}} \right| \left| \frac{1 \text{ g mol air}}{29 \text{ g air}} \right| \left| \frac{1000 \text{ mg HCN}}{1 \text{ g HCN}} \right| \left| \frac{1000 \text{ g air}}{1 \text{ kg air}} \right| \\ &= 9.32 \text{ mg HCN/kg air} \end{aligned}$$

$$\frac{9.32}{300} = 0.031$$

이 답이 타당한가? 적어도 1보다는 작은 값이다.

이번 주 수업은
여기서 마치도록 하겠습니다...
수고 많으셨습니다...^^

감사합니다

