

맥주양조의 공정측정과 분석기술 (끝)

The Process Measurements and Analysis Technology



장 일 선
(주)노바·바이오그린텍
대표이사

<지난호에 이어>

1-5-5. 이온(The Ion)

이온은 중성원자가 1개 이상의 전자를 잃거나 얻어 형성된 미립자(particle)이다. 전자 1개를 잃은 원자는 cation(양이온)이라고 부르는 양으로 대전된 이온을 형성하고 전자 1개를 얻은 원자는 anion(음이온)이라고 부르는 음으로 대전된 이온을 형성한다. "ion"이라는 말은 희랍어로 "Traveller(여행자)"를 의미한다.

전장(electric field)의 영향 아래서 이온들은 반대극(opposite pole)으로 이동(travel)한다.

따라서 기체나 액체에서 전도도(conductivity)가 발생된다. 만일 NaCl 분자의 이온결합이 고온이나 수용액에 의해 깨어지면 염소원자는 얻은 전자를 갖고 음으로 대전된 ion으로 남고 소듐(나트륨)원자는 양으로 대전된 ion으로 남는다.

1-5-6. 해리(Dissociation)

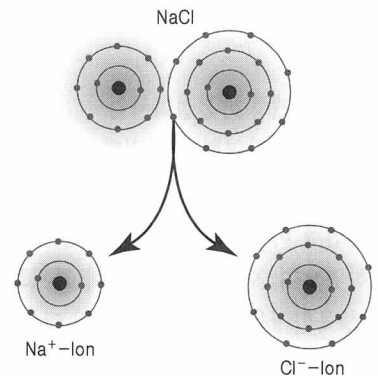
물은 3개 집단의 화합물 즉 염(salts), 산(acids), 염기(bases)의 탁월한 용매(solvent)이다.

물에 들어오면 이 화합물들은 그들의 ion으로 분리된다. 즉 그들은 해리된다.

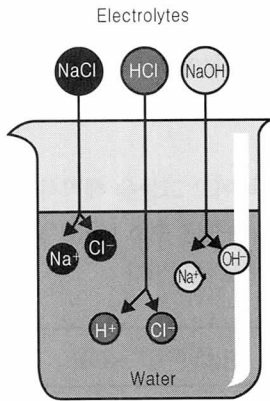
NaCl을 물에 넣으면 물분자의 극력(polar forces)이 음과양으로 대전된 이온들 사이의 정전기 인력을 감소시켜 이온들을 떼어 놓는다.

이온들은 물분자로 둘러싸여(수화되어/hydrated) 이온들의 재결합을 방지한다. 염산(HCl)도 같은 방법으로 H⁺이온과 Cl⁻이온으로 해리되고 가성소다(NaOH)도 같은 방법으로 Na⁺이온과 OH⁻이온으로 해리된다. 물 속에서 염, 산, 염기의 해리가 물이 탁월한 도체(conductor)가 되게 만든다. 해리된 용액을 전해질(전해액/electrolyte)이라고 한다.

The Dissociation of Sodium Chloride

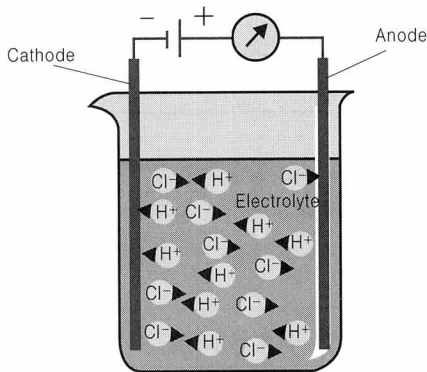


<그림 1-32> NaCl 해리



〈그림 1-33〉 전해질

만일 2개의 전극을 전해질에 담그고 이 전극에 전위차를 가하면 음으로 대전된 이온은 양으로 대전된 전극(양극/anode)으로 끌리고 양극에 음이온이 도달하면 음이온은 그들의 전하(charge)를 잃는다(전자를 잃는다). 따라서 이것을 음이온(anion)이라고 한다. 마찬가지로 양으로 대전된 이온은 음으로 대전된 전극(음극/cath-ode)쪽으로 이동하여 양이온은 전자를 얻어 그들의 전하를 잃는다(양이온).



〈그림 1-34〉 음이온과 양이온

1-5-7. 산-염기-염(Acids-Bases-Salts)

화학에서 3종의 전해질을 구별한다 : 산, 염기 그리고 염. 산은 물에 녹으면 순수(pure water) 보다 많은 수소이온/H⁺(양성자)의 농도를 만드는 화합물이다. 따라서 산

(acids)은 양성자 공여체/pro ton doner(양성자 = 양으로 대전된 수소이온 H⁺)이다. 산은 신맛이 나고 litmus 시험지의 색을 적색으로 만든다.

litmus는 용액이 산인지 염기인지를 분별하는 데 사용하는 가장 역사가 깊은 지시약(지시체)이다. litmus는 licheus에서 추출한 분홍색 염료이다. licheus는 진균(fungus)과 조류(alga)의 공생적 군집(symbiotic association)으로 구성된 식물 유기체이다.

가장 흔한 산은

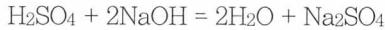
- 염산(Hydrochloric acid), HCl : 위액의 성분
- 질산(Nitric acid), HNO₃ : 염료와 폭약제조에 사용
- 아세트산(Acetic acid), CH₃COOH : 식초
- 개미산(Formic acid), HCOOH : 염색과 두무질(tanning)에 사용
- 황산(sulphuric acid), H₂SO₄ : 연축전지에 사용
- 인산(phosphoric acid), H₃PO₄ : 치과 cement, 비료

염기(Bases)는 물에 녹으면 과잉의 수산화이온, OH⁻을 만들거나 양성자(proton)를 수용한다-염기는 양성자 수용체(acceptor)이다. 염기는 쓴맛이 나고 litmus를 청색으로 만든다. 염기는 점액성(끈적끈적한)이다.

가장 흔한 염기는

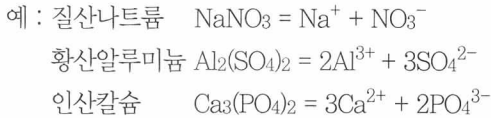
- 가성소다(Sodium hydroxide), NaOH : 배관과 oven 세척제
- 수산화칼슘(Calcium hydroxide/ 소석회), Ca(OH)₂ : 소석회(lime), 건축용mortar에 사용
- 수산화알루미늄(Aluminium hydroxide), Al(OH)₃ : 알루미늄 화합물의 원료
- 수산화칼륨(Potassium hydroxide), KOH : 연질 비누
- 수산화마그네슘(Magnesium hydroxide), Mg(OH)₂ : 마그네시아 용액
- 암모니아(Ammonia), MG(OH)₂ : 가정용 세제

-염(Salts) : 산과 염기의 수용액이 결합하면 중화반응이 일어난다. 반응은 대단히 신속하고 일반적으로 물과 염(salt)을 만든다. 예를 들어 황산(H₂SO₄)과 가성소다(NaOH)는 물과 황산나트륨(Na₂SO₄)를 만든다.



염은 H⁺이온을 염기로 대체하거나 OH⁻이온을 산으로 대체하면 생성된다.

양이온과 음이온은 결합하여 전기적 중성화합물을 만든다.



1-5-8. 몰(Mole)

“Mole”은 물질의 양(amount)을 표시하는 SI단위(국제단위계/In'tl system of units)로서 탄소-12(carbon-12) 0.012kg(12g)에 있는 원자만큼의 많은 기본단위들을 포함한 양과 같다. 기본실체(elementary entities)는 규정이 되어야만 하고 이 실체들은 원자, 분자, 이온, 전자 혹은 다른 미립자일 수도 있다.

이 단위는 1971년에 국제적 통용을 위해 제정하였다(Oxford 사전). 탄소-12원자(다른 물질의 양을 계량하는 기준) 12g에 포함된 기본입자의 수는 6.0221367×10^{23} 개이다. 이 수는 Avogadro number(아보가드로수)라고 하는데 이탈리아의 물리학자 Avogadro(1776~1856)에게 경의를 표하여붙인 이름이다.

Avogadro는 1811년에 압력과 온도가 동일한 같은 체적의 기체는 같은 수의 분자를 포함한다고 주장(가정)하였다. mole은 수적으로 물질의 원자량과 동일한 만큼의 gram으로 표시한 어떤 물질의 양이다.

- 1 mole H₂ = 2 g
- 1 mole H₂O = 18 g
- 1 mole Cl₂ = 71 g
- 1 mole Rn = 222 g
- 1 mole HCl = 36.5 g
- 1 mole NaOH = 40 g

1-5-9. 수용액의 수소이온 농도

(The Hydrogen Ion Concentration in Aqueous Solutions)

물은 전해질을 녹이고 그들을 해리시키며 물분자 자체도 소량이 양으로 대전된 수소 ion(H⁺)과 음으로 대전된 수산화 ion(OH⁻)으로 해리된다.



H⁺ : 산도작용(acidity action)을 갖는 양으로 대전된 수소 ion

OH⁻ : 알칼리도작용(alrality action)을 갖는 음으로 대전된 수산화 ion

수소 ion의 양과 수산화 ion의 양이 같으면 물이 중성(neutral)이다. 깨끗한 중성수에서는 천만개(10⁷)의 물분자 중 단 한 분자만 해리된다. 수소 ion은 실제로 양성자(proton)이고 수소이온이 전자와 결합하여 형성하는 수소는 일반화된 산·염기론에서 가장 간단한 산-염기 중화반응으로 관찰될 수 있다.



실제로 수소 ion 또는 양성자는 용액 속에 자유롭게 존재하지 않고 물분자와 결합하여 존재한다.

물의 이온화반응을 더 정확하게 표시하면



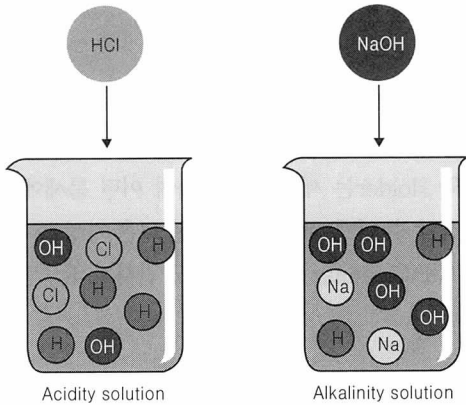
H₃O⁺는 hydronium이라고 부르고 수용액에서 이 이온이 산의 성질을 나타낸다. 간단하게 하기 위해 화학식에서는 H⁺로 사용한다. 중성수에 산이 녹으면 산의 해리로 만들어진 H⁺ ion 만큼 H⁺ ion 농도가 증가한다.

물은 특성이 변한다. 즉 식초나 레몬주스 같이 신맛이 나고 부식성이 있어 금속을 용해시킨다.

염기를 중성수에 녹이면 그 염기의 해리로 만들어진

OH⁻ ion 만큼 OH⁻ ion의 농도가 증가한다.

따라서 상대적인 H⁺ ion의 농도가 감소한다. 물의 특성이 변한다. 즉 쓴맛이 나고 젖은 비누 같이 끈적끈적하다. 위의 2case에서 더 이상 물을 용액이라고 부를 수 없고 수용액(aqueous solution)이라고 말하지 않을 수 없다.



<그림 1-35> 산용액과 알칼리용액

모든 산과 염기의 수용액은 그들의 상대적인 수소 ion(H⁺)과 수산화 ion(OH⁻)의 농도에 따른 화학적 활성도(activity)를 갖는다. 수용액의 수소 ion 농도를 1개 수소 ion에 대한 해리되지 않은 물분자의 양으로 표시한다. 즉, 100개의 물분자 중에 1개의 H⁺ ion이 있으면 1:100 또는 1/10² 또는 10⁻²로 표시한다.

만일 천만개의 물분자 중에 1개의 H⁺ ion이 있으면 1:천만 또는 1/10⁷ 또는 10⁻⁷로 표시한다. 만일 10억개의 물분자 중에 1개의 H⁺ ion이 있으면 1:10억 또는 1/10⁹ 또는 10⁻⁹로 표시한다. 물에서 해리된 H⁺ ion과 OH⁻ ion의 ion적(ion product)은 22°C에서 10⁻¹⁴(mole/liter)로 일정하다(해리상수).

따라서 순수의 H⁺ ion 농도와 OH⁻ ion 농도가 같아 H⁺ ion 농도는 10⁻⁷이고 OH⁻ ion의 농도는 10⁻⁷이 되지 않으면 안된다. 이것이 자동적으로 pH의 정의를 도출한다.

“the negative common logarithm of the active hydrogen ion concentration in an aqueous solution”

수학으로 표시하면

$$pH = \log \frac{1}{H + \text{ion 농도 (mole/l)}}$$

Theory is necessary – Experience is essential.

1-6. 양조에서 pH제어의 중요성

담금(mashing)에서 최종 포장 단계까지 전 양조공정에서 pH제어가 최종제품의 균질성을 보장하기 위한 기본이다. 향미(flavor)에 대한 pH의 영향과 맥주의 물리적, 미생물학적 안정도를 분명히 인식하고 있기 때문에 생산된 맥주의 pH제어의 중요성은 은알 납득하고 있다. 그러나 맥아즙 생산, 발효 및 기타 처리공정에서 pH값을 균일하게 유지하는 것도 맥주생산 단계에서 발생하는 수 많은 효소반응과 화학반응의 재현조건 확보가 맥주의 품질을 결정짓기 때문에 동등하게 중요하다.

일반적으로 pH제어의 기작(mechanism)이 양조공정 제어의 중요한 요소 중 하나로 인식하는 것이 아니고 맥아즙과 공정 중의 맥주의 pH값이 양조장과 발효의 결과로서 당연한 것으로 받아들이는 어느 정도 이상한 현상이 있다(pH를 당연히 제어할 요소가 아니고 발효를 하면 pH값이 그렇게 된다고 인식한다).

1-6-1. 맥아즙 생산에서 pH제어

(pH control during wort production)

양조공정에서 pH제어가 가장 중요한 공정은 담금공정이다. 이 단계에서 나타나는 주 영향이 맥아즙과 맥주에 결과적으로 영향을 주는 완충시스템(buffer system)의 내용과 형식(content and format)에 까지 작용하기 때문이다. 생산할 맥주의 종류에 따라 선택한 맥아의 성분(grist composition)이 맥아즙의 성분을 결정짓기 때문이다.

맥아 부가물(malt adjunct) 즉 단백질, 변성(용해도)의 정도(modification), 건조특성(kilning) 등이 맥아즙 성분

을 결정짓는 주요 요소가 된다. 많은 나라에서 맥아즙의 pH를 인산(H₃PO₄)으로 조절한다. 독일에서처럼 “Reinheitsgebot(순수맥주령)”주의에 의해 양조가 되는 경우에는 양조장에서 생물학적으로 제조한 산(acid)으로 pH를 조절하지 않으면 안된다. 젖산(lactic acid)이 발효로 생산된다.

- 대표적인 공정조건
- 온도: 48 ~ 50°C
- pH: 2.5 ~ 5

이 용도에서 큰 문제점은 pH sensor의 액간접속부(diaphragm/junction)가 단백질 침착에 의해 막히는 것이다.

[실제적힌트] Hamilton Polysolve Polymer 전해질을 충전한 POLILYTE HTVP 복합전극을 사용하면 이 문제가 완벽하게 해결된다. 보통 발효조 벽에 측면삽입을 권장한다. 착탈식 Holder Retractable Bio/70/225를 사용하면 공정의 중단 없이 유지관리가 가능하다.

발효조는 1년에 1~2회 세척하기 때문에 CIP 내성전극은 필요없다.

1-6-2. 발효에서 pH제어


발효 중에 효모가 유리아미노산(free amino acid)을 소비하고 배설한 글루탐산염(glutamate), 아스파르탐산염(aspartate), 구연산염(citrate), 기타유기산(젖산, 숙신산/succinate), 피루빈산/pyruvate)을 포함한 펩티드

(peptide), 폴리펩티드(polypeptide/아미노산의 다중 결합물)로 맥주 속의 주 완충계(mainbuffer system)를 만든다.

[실제적힌트] In-Line pH제어용으로 Hamilton 복합전극 Chemtrode P 250과 착탈식 Holder Retractable를 권장한다.

1-6-3. 측정 System의 요구조건

식품과 음료산업에서는 높은 표준의 위생설계(hygenic design)를 충족하지 않으면 안된다. In-Line Sensor와 Holder는 세정이 가능하여 어떤 틈새에도 세균이 부착할 수 없게 해야 된다. 또한 고온 가성소다 용액에 의한 CIP(Cleaning in Place)에도 견디지 않으면 안된다.

- 위생적 sensor head
- 오염이 없을 것
- 이물체(foreign body)에 의한 위해성이 없을 것
- 튼튼할 것
- 고정설치의 경우 CIP가 가능할 것
- 재현성이 있을 것
- 신뢰성이 좋고 유지관리가 낮을 것
- 복잡한 화학적 물리적 시료에 적합할 것
- GMP에 적합할 것(Good Manufacturing Practice/ 우수 식품/의약품제조 관리기준) 

참고문헌

1. Brewing beer by Sigrist Photometer AG.
2. From Beer to Molecular Biology : the evolution of industrial biotechnology / Tor-Magnus Enari.
3. Technology, Brewing and Malting/ Wolfgang Kunze. 3rd Edition, 2004.
4. pH Measurement Guide by Erich K. Springer.
5. Oxygen Measurement, Hamilton AG.
6. Chemistry, 2nd Edition by Rob Lewis and Wynne Evans.
7. 고등학교화학 I, 김시중 외, 금성교과서
8. Brewery Effluent, EBC Technology and Engineering Forum
Published by Fachverlag Hans Carl.
9. 최신미생물학, 유재근, 도서출판광은, 2005.