제 1 장

구강의 특성 및 중요성

서울대학교 치의학대학원 구강생화학교실 **민 병 무**

개요

구강생화학이란?

구강의 특징 및 중요성

- 소화기능 (Digestive function)
- 항균작용 (Antibacterial function)
- 완충능 (Buffering action)
- 윤활작용 (Lubrication)
- 위생작용 (Hygienic action)
- 미각 (Taste)
- 수복 (Repair)
- 수분의 균형 조절 (Control of water balance)

1

구강생화학이란?

생화학을 '생명의 분자적 근거에 관한 학문'이라고 할 때 구강생화학은 그 개념을 두개악안면 영역으로 좁힌 것이라고 볼 수 있다. 즉, 구강생화학이란 '두개악안면을 이루는 경조직과 연조직의 기본구조 및 그의 생화학적 대사과정을 연구하는 학문'이라고 할 수 있다.

인체조직은 크게 경조직과 연조직으로 구분되는데, 두개악안면 영역도 다른 인체조직과 동일하게 경조직과 연조직으로 나눌 수 있다. 연조직으로는 피부, 볼(뺨), 구강점막, 혀, 잇몸(치은) 등이 있고, 경조직으로는 악골과 치아가 있다. 악골은 상악골, 하악골 및 경구개(hard palate)가 있으며, 치아는 세 부분의 서로 다른 본체 즉, 법랑질(enamel), 상아질(dentine) 및 백악질(cementum)로 구분된다. 구강생화학은 이와 같이 두개악안면 영역을 구성하고 있는 각 조직의 기본구조, 이들 조직의 생화학적 대사과정 및 대사이상이 어떻게 구강질환 발생과 관련 있는지에 관하여 다루는 학문분야이다.

구강의 특징 및 중요성

서두에서 두개악안면 영역, 특히 구강의 특징을 잘 이해하면 좀 더 친밀감과 자부심을 갖고 공부할 수 있으리라 생각된다. 그러므로 구강의 특징 및 중요성에 관하여 생각해 보기로 한다.

첫째, 구강의 특징 중 하나는 구강은 열려있는 장기 즉, 눈으로 직접 볼 수 있는 장기라는 점이다(그림 1-1). 다른 장기와 비교할 때 구강은 시진이 가능한 장기로 구강질환이 있을 경우 진단이 비교적 용이하고 정확하다. 또한 구강도 인체를 이루고 있는 장기이기 때문에 인체 내 다른 장기의 이상이 구강내에 표현되기도 한다(그림 1-2). 역으로 구강내 이상이 다른 장기나 조직에 병변을 일으킬 수도 있다. 즉, 구강을 정밀하게 진찰함으로써 인체 내 다른 장기의 이상도 파악할 수 있다. 결론적으로 시진이 가능하다는 것은 큰 장점이 될 수 있다.

둘째, 구강은 인체에 존재하는 모든 형태의 경조직이 존재하는 유일한 장기라는 점이다. 인체내에 존재하는 경조직은 크게 골조직과 치아로 나눌 수 있는데, 인체조직 중 구강만이 상악골, 하악골 및 경구개(hard palate)와 같은 골조직 및 치아가 함께 존재하여 인체를 구성하는 모든 형태의 경조직이 함유되어 있는 유일한 장기이다(그림 1-3).

또한 치아의 화학조성은 매우 일정한데, 이것은 치아의 특수성을 말해주는 중요한 결과이다. 인체에서 골조직은 칼슘과 인산의 저장고로 작용하며, 골조직에 있는 칼슘과 인산은 인체에서 필요시 활발히 이동되어 인체의 요구에 부응한다. 즉, 골조직은 동적인 상태이나 치아의 화학조성이 매우 일정하다는 것은 치아는 정적인 상태라는 것을 의미한다. 필요시 골조직에 있는 칼슘과 인산은 활발히 이동하나 치아의 것은 이동하지 않는다는 것을 의미하며, 이는 치아의 특수성을 보여주는 사실이다.

셋째, 구강내에는 타액이 존재한다는 점이다. 타액은 다양한 기능을 갖고 있기 때문에 구강내에 타액이 존재한다는 것은 구강의 특징이면서 구강연구의 중요성을 의미하는 것이다. 타액의 기능에 관하여 간략히 살펴보기로 한다.

소화기능 (Digestive function)

타액에는 α-amylase가 함유되어 있는데 이 효소는 α-1,4 glycosidic bond를 가수분해시키는 탄수화물분해효소(carbohydrase)로서 구강내로 섭취된 탄수화물을 maltotriose, 맥아당(maltose) 또는 포도당(glucose)으로 분해시킨다. α-Amylase는 탄수화물의 내부에 있는 α-1,4 glycosidic bond를 끊는 endoamylase의 기능을 갖는다. 그러므로 구강내로 음식물이 섭취되면 maltotriose, 맥아당으로 분해되고 경우에 따라서는 단당류인 포도당으로 분해된다. 음식물 섭취 시 섭취한 식품 내에 단당류와 이당류가 함유되어 있지 않아도 식품 내 탄수화물이 타액의 α-amylase에 의해 분해되어 단당류인 포도당으로 분해될 수 있어 치아우식증을 유발시킬 수 있다. 또한 음식물 잔사도 α-amylase의 기질로 작용하여 치아우식증 발생에 관여한다.

항균작용 (Antibacterial function)

타액에는 lysozyme, lactoferrin, lactoperoxidase, secretory IgA(sIgA) 등이 존재하는데 이들 물질은 항균

A B C D

그림 1-1. 정상 조직 및 질환에 이환된 구강조직. A, 정상 구강조직. B, 치아우식증에 이환된 치아. C, 치주질환에 이환된 치은조직. D, 치은상피(gingival epithelium)의 일부가 돌출되어 있음을 보여주고 있다.

그림 1-2. 수두(chickenpox 또는 varicella)는 수두대상포진바이러스(Varicella-Zoster virus)에 감염되어 발생하며, 전염성이 높은 질환으로 피부와 점막에 수포와 농포(pustule)를 형성한다. 보통 어린이에서 발생하며, 구강병소도 나타낸다.

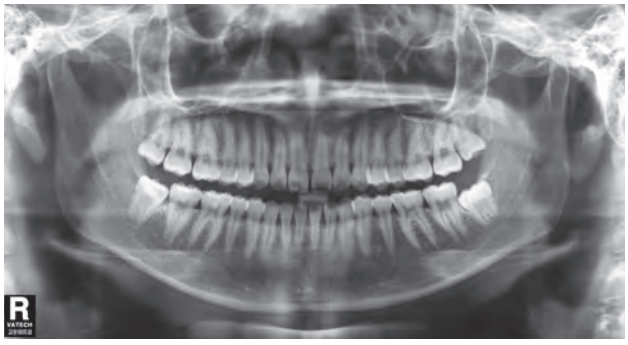

그림 1-3. 파노라마(panorama) 방사선사진. 구강악안면영역에는 다양한 석회화 정도를 보이는 구조물들이 존재한다. 인체에서 석회화가 가장 잘된 법랑질에서부터 피질골(cortical bone), 해면골(trabecular bone), 상아질, 백악질, 수질공간(medullary space) 등이 관찰된다. 방사선사진에서 구강악안면영역은 인체의 다른 어느 부위보다 가장 넓은 영역의 흑화도를 보이고, 이는 다양한 구조물의 총 집합체임을 의미한다.

작용을 나타낸다. 이와 같은 타액단백질들은 구강세균에 의한 해로운 작용으로부터 열려있는 장기인 구강을 보호하는 역할을 한다.

Lysozyme은 1922년 플레밍에 의해 콧물에서 처음 보고되었고, 그 후 타액, 눈물, 위액, 가래 등에 존재함이 보고되었다. Lysozyme은 세균의 세포벽을 구성하는 peptidoglycan 구조(그림 1-4)에서 *N*-acetylmuramate와 *N*-acetylglucosamine 사이의 β-1,4 glycosidic bond를 가수분해시키는 효소로서 캡슐(세균의 외부를 구성하는 구조)을 갖고 있지 않는 세균만을 선택적으로 용해시킨다(그림 1-5). 그러므로 lysozyme의 구강내에서의 역할은 구강내에 일시적으로 들어온 세균을 선택적으로 용해시켜 구강세균의 평형을 유지하는 것이다.

Lactoferrin은 철결합단백질(iron-binding protein)로 타액선의 선포세포(acinar cell)와 호중구(neutrophil)에서 합성되어 결실단백질(apoprotein) 형태로 구강내로 분비된다. Lactoferrin은 보조인자(cofactor)로 제이철이온(Fe^{3+})과 중탄산염(bicarbonate)을 필요로 하는데, 결

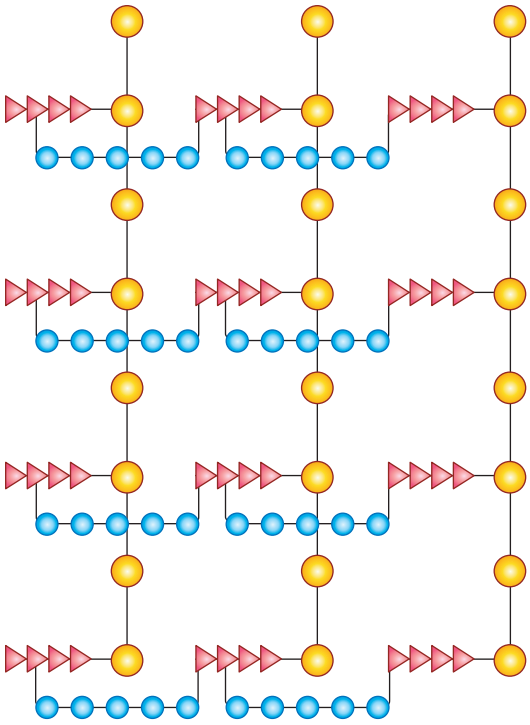

그림 1-4. *Staphylococcus aureus*에서 peptidoglycan의 구조를 보여주는 모식도. 노란색은 당(sugars)을, 붉은색은 tetrapeptides를, 파란색은 pentaglycine bridges를 나타낸다.

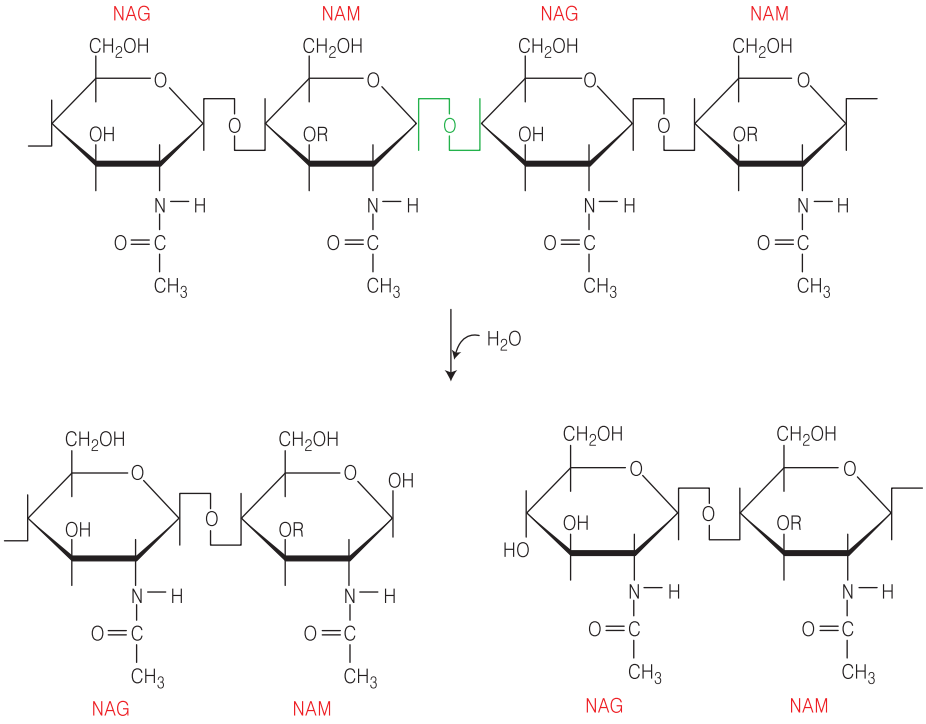

그림 1-5. Lysozyme은 *N*-acetylmuramate (NAM)와 *N*-acetylglucosamine (NAG) 사이의 β-1,4 glycosidic bond를 가수분해시킨다.

실단백질(apoprotein) 형태로 분비된 lactoferrin은 구강내에서 제이철이온과 결합하게 된다. 그러므로 lactoferrin은 세균성장의 필수성분인 철이온을 구강내에서 고갈시킴으로써 세균성장을 억제시켜 영양면역(nutritional immunity)을 나타낸다.

Lactoperoxidase는 우유에서 처음 발견되었고, 이하선과 악하선의 선포세포, 타액, 눈물과 눈물선(lacrimal gland), 획득피막, 치태 등에 존재함이 보고되었다. Lactoperoxidase는 보조인자로 thiocyanate이온(SCN^-)을 필요로 하므로 lactoperoxidase-thiocyanate system이라고 부른다. 이 시스템은 세균이 생산하는 과산화수소(H_2O_2)와 작용하여 독성물질인 thiocyanate이온의 산화유도체[hypothiocyanite($OSCN^-$), hypothiocyanous acid(HOSCN), thiocyanogen$(SCN)_2$ 등]를 생산함으로써 세균활성을 감소시켜 항균작용을 나타낸다.

Secretory IgA(sIgA)는 주로 세균부착에 관여하는 항원과 결합함으로써 세균의 군락화(bacterial colonization)를 방지시켜 항균작용을 나타낸다. Lysozyme, lactoferrin, lactoperoxidase, secretory IgA에 관한 자세한 내용은 제7장 타액에서 언급하고자 한다.

완충능 (Buffering action)

완충능이란 강산이나 강염기를 가했을 때 동량의 물을 가했을 경우보다 좀 더 효과적으로 pH의 변동을 막아주는 능력을 의미한다. 구강내에서 pH 감소는 식품이나 음료수를 통하여 섭취한 산이나 치태세균의 대사결과로 생성된 유기산(organic acids)에 의해 일어나게 되며, 치아 경조직의 용해를 유발시켜 치아우식증을 야기시킨다. 그러나 타액내에는 pH 6 이상에서 작동하는 중탄산완충계(bicarbonate buffer system)와 인산완충계(phosphate buffer system)가 있으며, 또한 pH 5 미만에서 작동하는 타액단백질완충계(salivary protein buffer system)가 있다. 그러므로 이와 같은 타액의 완충능은 구강내에서 pH 감소를 억제시켜 치아우식증 발생을 감소시킬 뿐만 아니라 구강세균의 산생성에 의한 화학적 손상으로부터 구강 연조직을 보호한다.

윤활작용 (Lubrication)

치아표면과 구강내 연조직을 포함한 구강의 총 표면적은 약 200 cm^2 정도이며, 이들 조직은 항상 적어도 100 ㎛두께의 타액층에 둘러싸여 있다. 그러므로 음식물을 먹거나 씹거나 삼킬 때 또는 말할 때 타액은 윤활작용을 함으로써 치아와 구강점막, 음식물과 구강점막 사이의 마찰을 감소시켜 구강점막을 보호하는 작용을 한다. 타액내에 존재하는 분자량이 1,000 kDa 이상인 MG1(high-molecular-weight, mucin-type glycoprotein 1)이라는 당단백질(glycoprotein)은 타액의 윤활작용을 나타내며, 분자량이 200~250 kDa인 MG2도 당단백질로 타액의 점도(viscosity) 유지에 관여한다. 즉, 타액이 전 위장관(gastrointestinal tract)의 상피표면을 덮어 가림으로써 타액내의 당단백질이 상피조직을 기계적 및 화학적으로 보호하는 역할을 제공한다.

위생작용 (Hygienic action)

자극타액(stimulated saliva)의 경우 99.5%가 수분이며, 비자극타액(unstimulated saliva)의 경우에도 94% 이상이 수분이다. 휴식 중에는 분당 약 0.3 ml의 타액이 분비되나 자극 시에는 분당 2.5~5.0 ml까지 타액분비속도는 현저히 증가한다. 그러므로 하루에 분비되는 타액의 양은 약 700~800 ml 정도이다. 이와 같이 구강내에는 많은 양의 타액이 연속적으로 흐르기 때문에 많은 양의 세균과 독소(toxins)를 씻어 제거하는 효과가 있다. 성인의 경우 하루에 약 1.0~2.5 gm의 세균이 타액에 의해 연하되어 제거된다. 또한 구강에서 치아를 제외한 조직은 연조직으로 덮여 있는데 연조직의 표면을 구성하고 있는 상피세포는 교체율(turnover rate)이 빨라 많은 탈락상피세포가 계속적으로 유리된다. 이와 같이 생성된 탈락상피세포와 음식물잔사도 타액에 의해 씻겨져 제거되기 때문에 타액은 구강위생을 청결히 한다.

미각 (Taste)

이하선타액에는 분자량 37 kDa인 아연결합단백질(zinc-binding protein)인 gustin이라는 단백질이 있는데 이 단백질은 미각을 인식하는 기능을 갖는다. 아연이 결핍될 경우 미각인식에 이상을 보이는데, 이는 타액내에서

gustin 양이 감소됨으로써 일어나는 결과로 알려졌다. 즉, 식욕부진(anorexia)도 아연 결핍에 의한 gustin 감소로 설명할 수 있다. 미각상실과 병적인 미뢰(taste bud) 모양을 동반한 환자의 이하선타액에서는 gustin 양이 감소하였으나 외부에서 아연 공급 시에는 gustin 양이 증가하였으며 미각인식기능도 회복되었다.

수복 (Repair)

산공격에 의해 생성된 초기 치아우식병소(결정의 일부가 용해되어 형성된 미세한 치아우식병소)는 계속적인 산공격에 의해 임상적으로 검출 가능한 치아우식병소로 전환된다. 법랑질 표면에 칼슘과 인산이 풍부한 타액단백질 막의 침전은 초기 치아우식병소의 효율적인 재석회화(remineralization)를 위하여 필수적이다. 또한 이러한 상태에서 불소이온은 초기 치아우식병소의 재석회화를 촉진시켜 원래의 치아 표면을 유지하게 한다. 그러나 타액에는 anionic proline-rich protein과 statherin이라는 단백질이 있어 인산칼슘염의 자발적인 침착을 억제하거나 인산칼슘염의 결정 성장을 억제시킴으로써 이 단백질들이 침투해 들어갈 수 있는 치아우식병소는 재석화화될 수 없다.

수분의 균형 조절 (Control of water balance)

인체가 탈수상태가 되면 타액분비속도를 감소시킴으로써 체내 수분을 보존시킨다. 정상적인 상황에서는 갈증을 일으켜 수분을 섭취하게 함으로써 정상으로 되돌리게 한다.

참고문헌

Berg, J.M., Tymoczko, J.L., Gatto Jr. G.J., Stryer, L. Biochemistry, 9th. ed., W.H. Freeman, New York, 2019.

Cole, A.S., Eastoe, J.E. Biochemistry and Oral Biology, 2nd ed., Wright, Bristol, 1988.

Ferguson, D.B. Oral Bioscience, Churchill Livingstone, Edinburgh, 1999.

Lazzari, E.P. Handbook of Experimental Aspects of Oral Biochemistry. CRC Press, Boca Raton, 1983.

제 2 장

법랑질

서울대학교 치의학대학원 구강생화학교실 **민 병 무**

개요

법랑질의 미세구조
- Unit cell
- 결정 (Crystal)
- 법랑소주 (Enamel rod 또는 Prism)

법랑질의 무기성분
- 치아에서 법랑질, 상아질 및 백악질의 순수 분리
- 법랑질의 화학조성

다량무기질
- 칼슘과 인산
- 탄산 (CO_3^{2-})

탄산과 치아우식증

불소와 치아우식증
- 미량무기질 (Trace elements)
- 불소 분포 및 섭취율
- 불소의 치아우식증 억제효과
- 불소와 반상치
- 불소가 법랑질 재석회화에 미치는 영향

법랑질 인회석에서의 이온 치환
- 합성 수산화인회석과 사람 법랑질 인회석의 성질 비교
- 수산화인회석에 이종이온 치환 시에 인회석 결정성의 변화

법랑질 인회석의 전구물질
- Octacalcium phosphate
  [$Ca_8H_2(PO_4)_6 \cdot 5H_2O$]
- 무정형인산칼슘
  (Amorphous calcium phosphate)
- Tricalcium phosphate
  [Whitlockite, $Ca_3(PO_4)_2$]
- Dicalcium phosphate dihydrate
  [Brushite, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$]

법랑질의 유기성분
- Amelogenin
- Enamelin
- Ameloblastin (Amelin 또는 Sheathlin)
- Tuftelin

현재 치과병원이나 치과의원에 내원하는 환자의 수를 원인(chief complaint)별로 구별할 때 치아우식증(dental caries), 치주질환(periodontal disease), 부정교합(malocclusion)의 순이라고 생각된다. 그러나 장차 두개악안면 기형(malformation)이 치과병원에 내원하는 환자의 큰 몫을 차지할 것으로 예상된다. 이중 치아우식증과 치주질환의 일차적 원인은 치태(치면세균막, dental plaque 또는 oral biofilm)이며, 부정교합과 기형은 상당부분 유전적 요인으로 알려져 있다. 이런 배경하에서 치아우식증을 최우선적으로 언급하고자 한다. 치아우식증은 치태세균의 대사산물인 유기산[젖산(lactic acid), 아세트산(acetic acid), 프로피온산(propionic acid), 부티르산(butyric acid) 및 포름산(formic acid)]에 의한 치아의 국소적이고 점진적인 탈회현상이다. 즉, 치태세균의 정상적인 대사결과 생성된 유기산이 치아표면에 접촉하여 임계 pH(critical pH)인 pH 5.5~5.6 미만으로 떨어지게 되면 치아는 탈회되어 부분적으로 용해되며, 타액의 완충능 등 여러 요인에 의해 pH 5.5~5.6 이상으로 증가되면 치아의 탈회는 멈추게 된다. 다시 임계 pH 미만으로 떨어지게 되면 치아의 탈회는 계속되어 결국 치아우식증을 유발한다. 그러므로 치아의 가장 바깥부분인 표층법랑질(outer enamel surface)은 항상 산공격에 노출되어 있다고 볼 수 있다. 초기 치아우식병소는 표층법랑질 20 ㎛ 이내에서 발생되며, 초기 치아우식병소가 계속적으로 산공격을 받아 결정의 용해 부위가 커져 임상적으로 탐지할 수 있는 치아우식증이 발생한다. 그러나 다른 원인에 의해 초기 치아우식병소의 재석회화(remineralization)가 일어나면 정상적인 치아표면을 유지할 수 있다. 그러므로 치아의 화학조성 특히, 치관의 바깥부분을 형성하고 있는 법랑질의 화학조성, 더 나아가 표층법랑질의 화학조성은 치아우식증의 발생과 진행에 큰 영향을 미치게 된다. 치아우식증 발생을 이해하고 예방하기 위해서는 우선 치아의 화학구조를 정확히 이해하여야 하므로 치아우식증 발생과 가장 밀접히 연관된 법랑질의 미세구조부터 살펴보고자 한다. 또한 법랑질의 미세구조 및 화학조성을 상아질과 비교하여 이해를 돕고자 한다.

법랑질의 미세구조

법랑질은 인회석구조를 이루는 가장 작은 단위(space unit 또는 building unit)인 unit cell들이 세 축 방향으로 자라서 결정(crystal)을 형성하고, 결정들이 장축 방향으로 배열하여 tubule을 이루고, tubule이 모여 법랑소주(enamel rod 또는 prism)를 구성한다. 이렇게 형성된 법랑소주들의 둥근 머리부분이 치아의 교합면을 향하도록 배열됨으로써 법랑질을 이룬다.

Unit cell

Unit cell은 평행육면체 모양에 10개의 Ca^{2+}, 6개의 PO_4^{3-}, 2개의 OH^-이 함유되어 있는 인회석구조를 이루는 가장 작은 단위를 의미한다(그림 2-1). 그래서 unit cell을 화학구조식으로 표현하면 $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$이다.

Unit cell은 세 축으로 이루어져 있는데 수평축이 각각 a_1축(a_1-axis)과 a_2축(a_2-axis)이고, 수직축이 c축(c-axis)이다. a_1축과 a_2축 사이는 120°이고, a_1축과 a_2축의 치수(dimension)는 9.42Å이며, c축의 치수는 6.88Å이다(그림 2-2). Unit cell을 구성하고 있는 10개의 Ca^{2+}, 6개의 PO_4^{3-}, 2개의 OH^-의 공간적 배열을 이해하면 unit cell의 구조를 파악할 수 있다. 그러므로 unit cell을 구성하는 이온들의 공간적 배열을 살펴보면, c축의 바닥을 0으로, 위를 1로 보고 4등분 할 때 c축의 1/4과 3/4 위치에 각각 하나의 수산이온이 위치한다(그림 2-3). 각각의 수산이온 주위(c축의 1/4과 3/4 위치)에 각각 3개의 칼슘이온이 위치한다. 1/4 위치와 3/4 위치에 존재하는 Ca^{2+}은 역삼각형의 모양으로 배열된다. 즉, c축 주위에 위치한 Ca^{2+}은 쌓여있는 양상을 띠고 있다(그림 2-4). 10개의 Ca^{2+} 중 c축 주위에 위치한 6개의 Ca^{2+}을 제외한 나머지 4개의 Ca^{2+}은 a_1축과 a_2축의 끝을 연결할 때 생기는 대각선(c축으로 볼 때 0 위치와 1/2 위치)을 3등분 했을 때 1/3 위치와 2/3 위치에 각 1개씩 총 4개의 Ca^{2+}이 위치한다(그림 2-3). Unit cell의 전체적인 모양인 평행육면체에서 10개의 Ca^{2+}과 2개의 OH^-이 존재하는 공간을 제외한 나머지 빈 공간에 6개의 PO_4^{3-}이 위치한다. 그러므로 6개의 PO_4^{3-}이 unit cell의 대부분 공간을 차지하고 있어 PO_4^{3-}은 인회석구조에서 뼈대(framework)를

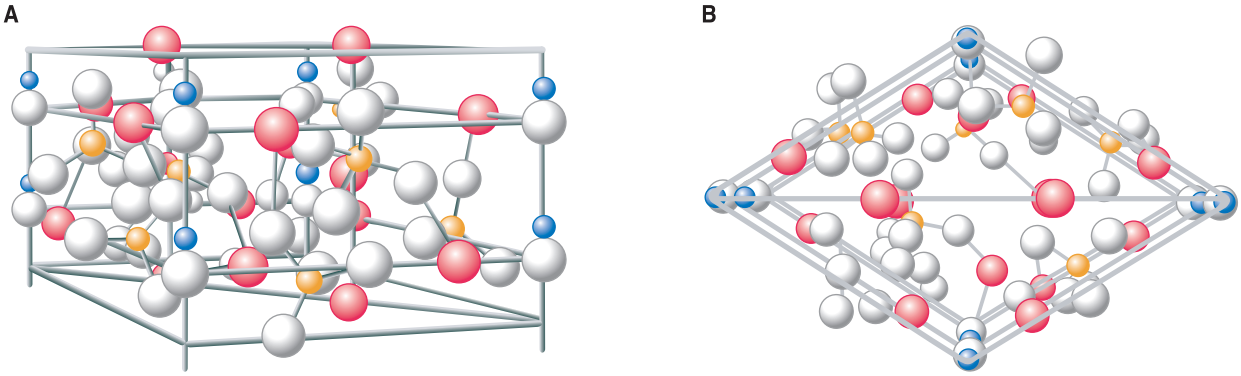

그림 2-1. Unit cell의 구조. **A,** Unit cell을 측면에서 본 side view. Unit cell을 구성하고 있는 이온들의 공간적 배열을 보여주고 있다. **B,** Unit cell을 위에서 내려다 본 top view. 흰 공은 산소원자를, 청색 공은 수소원자를, 빨간 공은 칼슘원자를, 노란 공은 인원자를 나타낸다.

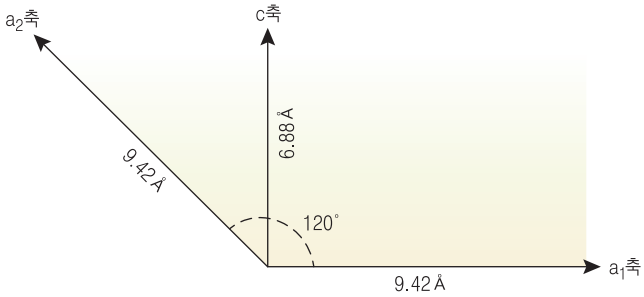

그림 2-2. Unit cell의 세 축과 치수.

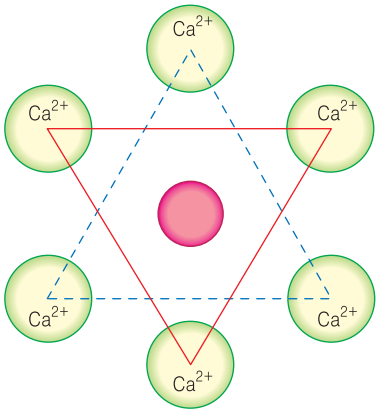

그림 2-4. Unit cell의 c축을 위에서 내려다 본 top view. c축의 1/4과 3/4 위치 수산이온 주위에 각각 3개의 칼슘이온이 존재하는데, 칼슘이온이 역삼각형으로 배열되어 쌓여있는(stacking) 양상을 보인다. 가운데 붉은 점은 c축을 의미한다.

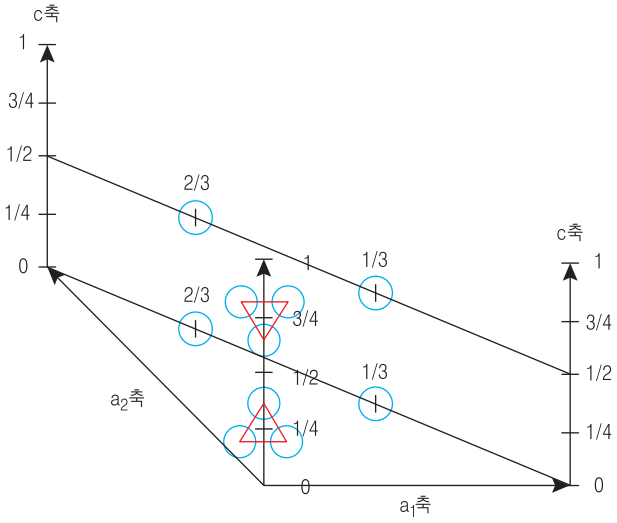

그림 2-3. c축의 바닥을 0으로, 위를 1로 보고 4등분 할 때 c축의 1/4과 3/4 위치에 수산이온이 위치한다. 각각의 수산이온 주위에 각 3개의 칼슘이온이 위치한다. 10개의 Ca^{2+} 중 나머지 4개의 Ca^{2+}은 a_1축과 a_2축의 끝을 연결할 때 생기는 대각선(c축으로 볼 때 0 위치와 1/2 위치)을 3등분 할 때 1/3 위치와 2/3 위치에 각 1개씩 총 4개의 Ca^{2+}이 위치한다. 원은 칼슘이온을 나타낸다.

이루고 있다. PO_4^{3-}에서 원자의 배열을 살펴보면 정사면체의 중앙부위에 인원자가 위치하며 정사면체의 꼭지점에 산소원자가 위치한다. PO_4^{3-}에서 하나의 산소원자는 반드시 칼슘이온과 결합되어 있다. 이와 같이 unit cell은 평행육면체 모양에 10개의 Ca^{2+}, 6개의 PO_4^{3-}, 2개의 OH^-이 함유되어 있는 인회석구조를 이루는 가장 작은 단위를 말한다.

결정 (Crystal)

이러한 작은 unit cell들이 세 축(a_1축, a_2축, c축) 방향으로 자라서 결정을 이룬다. Unit cell이 인회석구조를 이루는 가장 작은 공간적 단위인 반면, 결정은 법랑질을 이루

는 구조적 본체(real structural entity)이다. 결정은 unit cell들이 a_1, a_2, c축으로 자라서 수많은 unit cell들이 합쳐진 것으로서 세로절단(longitudinal section) 시 리본형태(ribbon-like morphology)를 보이며, 가로절단(cross section) 시 마름모꼴(hexagonal pattern)의 모양을 갖는다. 즉, 결정은 연필 모양의 형태를 갖는다(그림 2-5). 법랑질을 포함한 경조직 생성과정에서 최초로 형성된 인회석 결정을 primary crystal(또는 seed crystal)이라 하며, primary crystal은 폭이 얇고 긴 리본 모양의 형태를 갖는다. 법랑질이 성숙하면서 결정도 성숙하게 되는데, 폭과 두께는 증가하는 반면 길이는 변하지 않는다. 또한 법랑질이 성숙함에 따라 일부 유기성분과 수분이 소실되고 그 자리에 무기질의 침착이 일어나게 된다. 즉, 법랑질이 성숙함에 따라 결정 수준에서도 성숙과정이 일어나게 된다.

법랑질 결정의 폭은 30~40 nm(혹은 15~25 nm)이며, 길이는 120~210 nm로, 상아질, 백악질 및 골보다 폭과 길이가 매우 크다(표 2-1). 그러므로 결정의 용적 비는 법랑질의 결정이 상아질, 백악질 및 골보다 200배 이상 큰데, 이것이 인체의 경조직 중에서 법랑질이 산용해도가 가장 작은 이유이다. 즉, 일정한 부피를 구성하는 데 결정의 크기가 작으면 더 많은 결정이 필요하게 되고, 결국 유기산과의 접촉이 일어나는 전체 결정표면의 합은 증가되어 산공격 시에 용해가 잘 일어나게 된다. 이와 같은 이유로 산공격 시에 법랑질보다 상아질이 더 잘 용해된다.

표 2-1. 치아 및 골조직을 구성하고 있는 결정의 폭, 길이 및 상대적 부피

경조직	폭	길이	상대적 부피
법랑질	30~40 nm (15~25 nm)	120~210 nm	200
상아질, 백악질, 골	2~3.5 nm	20~30 nm	1

법랑소주 (Enamel rod 또는 Prism)

결정의 장축이 일렬로 배열하여 세관(tubule)을 이루고, 세관들이 모여 법랑소주(enamel rod 또는 prism)를 구성한다. 그림 2-6은 법랑소주의 가로절단과 세로절단을 동시에 시행한 모식도를 보여주고 있다. 결정의 장축이 일렬로 배열하여 세관을 이루는데 이 때 결정의 장축 이외의 배열은 다양하게 일어난다. 이렇게 형성된 세관이 모여서 법랑소주를 구성한다. 법랑질의 경우 세관의 직경은 350~1000Å이며, 세관 벽의 두께는 48Å이다. 법랑소주 외장(sheath)은 유기성분이 고농도로 존재하며 석회화가 안된 부분이다(그림 2-6).

법랑소주에서 결정과 결정 사이에는 단백질, 지질, 물이 채워져 있다. 즉, 단백질과 지질로 구성된 기질에 물이 채워져 있는 양상을 띠고 있다. 법랑질을 공간적인 개념으로 볼 때 결정 사이의 공간은 약 14%이다. 법랑질의 평균 밀도는

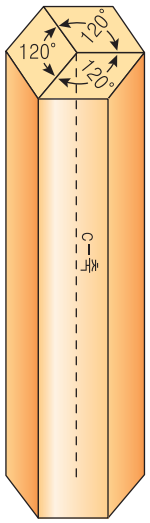

그림 2-5. 이상적인 수산화인회석 결정을 보여주는 모식도.

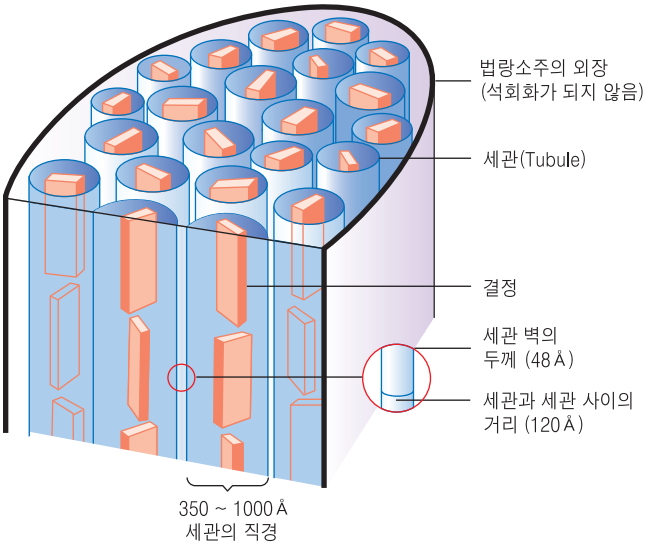

그림 2-6. 법랑소주의 가로절단 및 세로절단을 동시에 시행한 모식도.