

탄수화물

16

강의 내용

1. 탄수화물이란?
2. 단당류의 구조
3. 단당류의 화학반응
4. 중요한 이당류
5. 다당류
6. 당단백질
7. 저탄수화물 식이요법

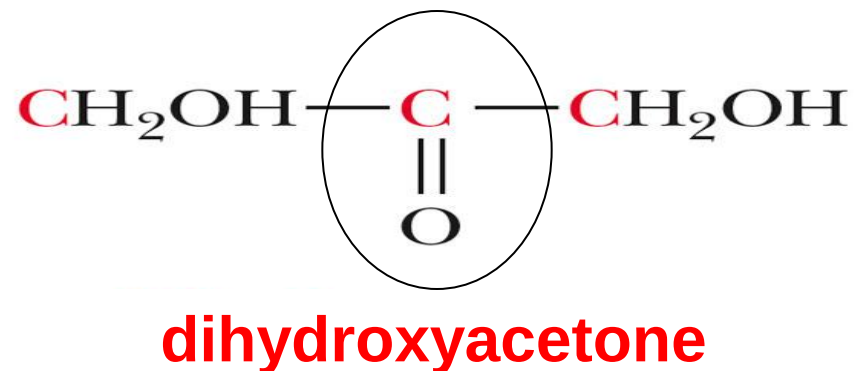
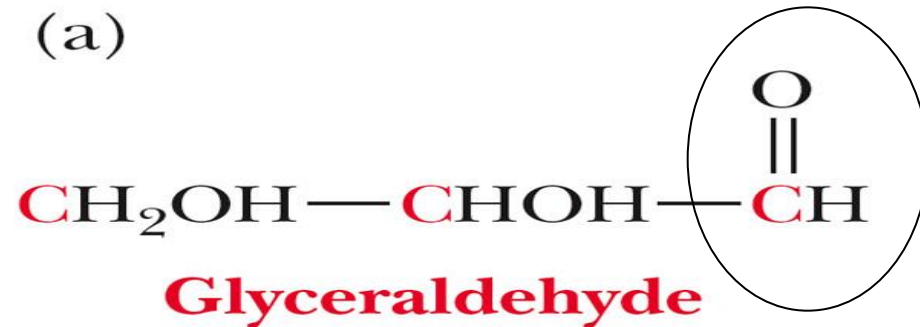
1. 탄수화물이란?

- $C_nH_{2n}O_n$ 의 일반식을 갖는다.
- 단당류 : 포도당, 과당, 갈락토오스
- 이당류: 설탕, 유당, 맥아당
- 올리고당 : 스타키오스
- 다당류 : 녹말, 글리코겐

2. 단당류의 구조

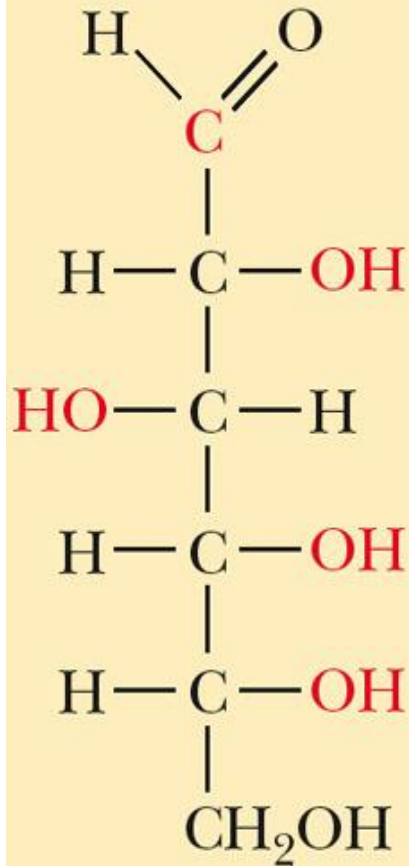
1) Aldose와 ketose

(a)

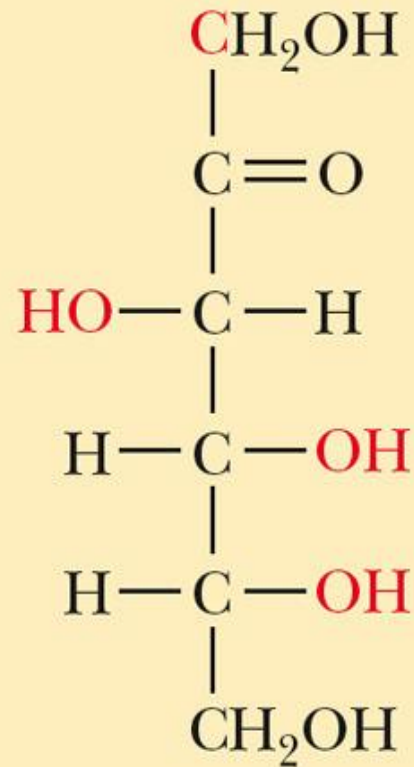


1) Aldose와 ketose

Carbon
number



D-Glucose
(an aldose)



D-Fructose
(a ketose)

1

2

3

4

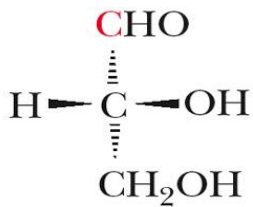
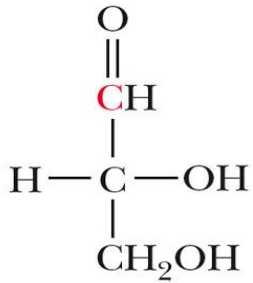
5

6

2. 단당류의 구조

2) D-sugar와 L-sugar

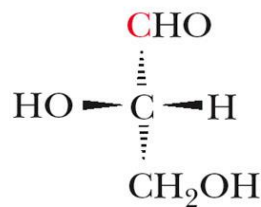
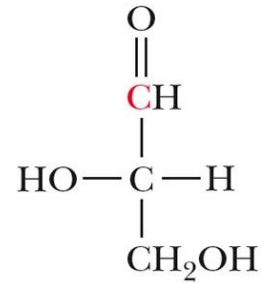
(b)



D-Glyceraldehyde



(c)



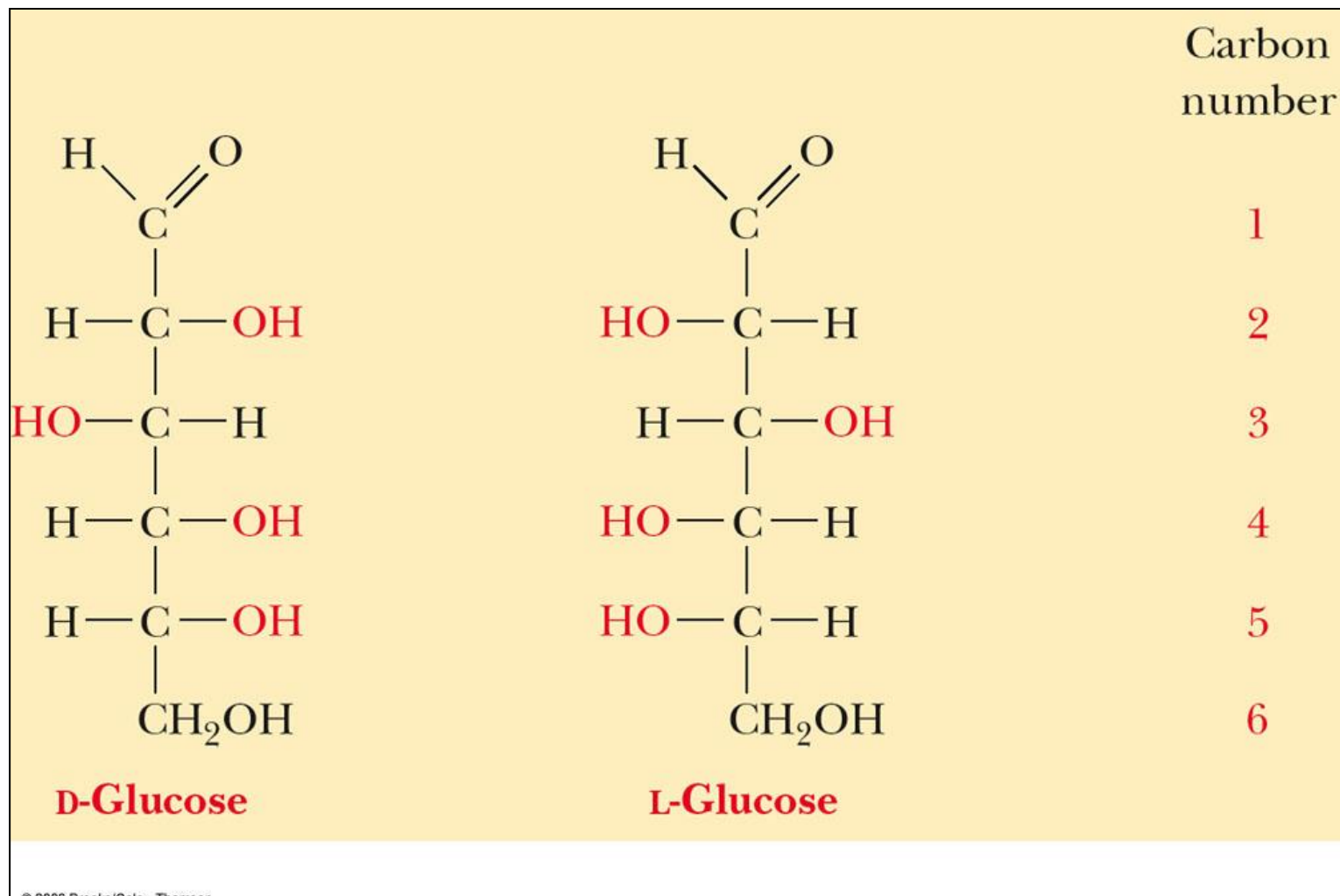
L-Glyceraldehyde



3) 단당류의 입체이성체

- D-sugar와 L-sugar의 관계
- 거울상 이미지 (mirror image)
- D-당은 키랄성 탄소 중 가장 번호가 큰 탄소에 붙은 OH의 위치가 오른쪽에 있다.
- L-당은 키랄성 탄소 중 가장 번호가 큰 탄소에 붙은 OH의 위치가 왼쪽에 있다.
- 키랄성 탄소 : 탄소에 결합된 원자나 원자단이 모두 다른 탄소 = 부제탄소

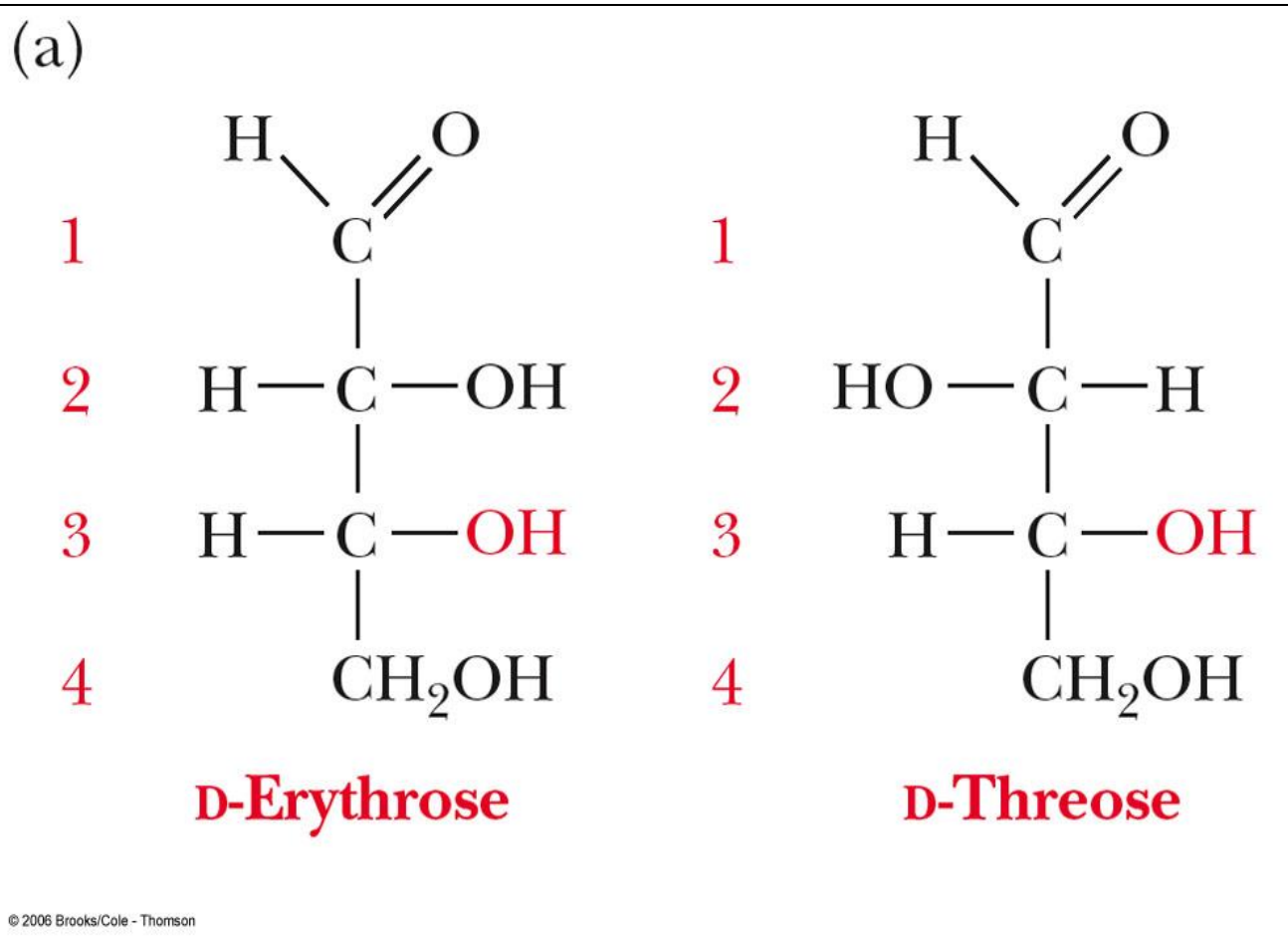
3) D-글루코오스와 L-글루코오스



키랄탄소는 5번 탄소이다.

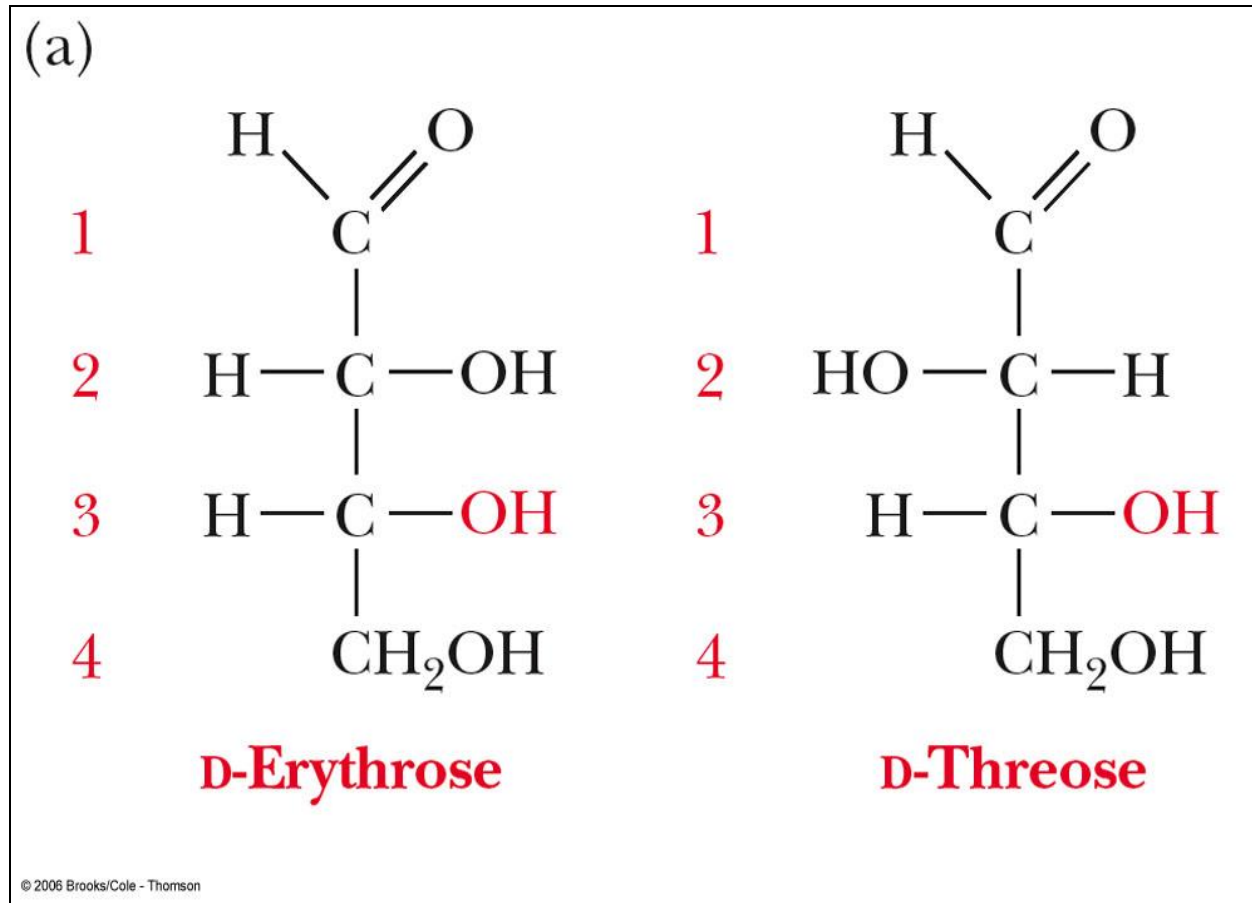
4) 부분입체이성체

겹쳐지지도 않고 거울상 관계도 아닌 입체이성체



5) 에피머 (Epimer)

단 하나의 키랄성 탄소에서의 입체배치가 다른 부분입체 이성체



탄소 원자 3~6개짜리 알도오스. 탄소 원자에 번호를 매겨놓았다. 이 그림에는 가능한 이성체들 중에서 절반만을 나타냈음을 유의하라. 그림에 나타낸 각각의 이성체에 대해서는 여기에 나타내지 않은 L-형 계열의 거울상이성체가 존재한다.

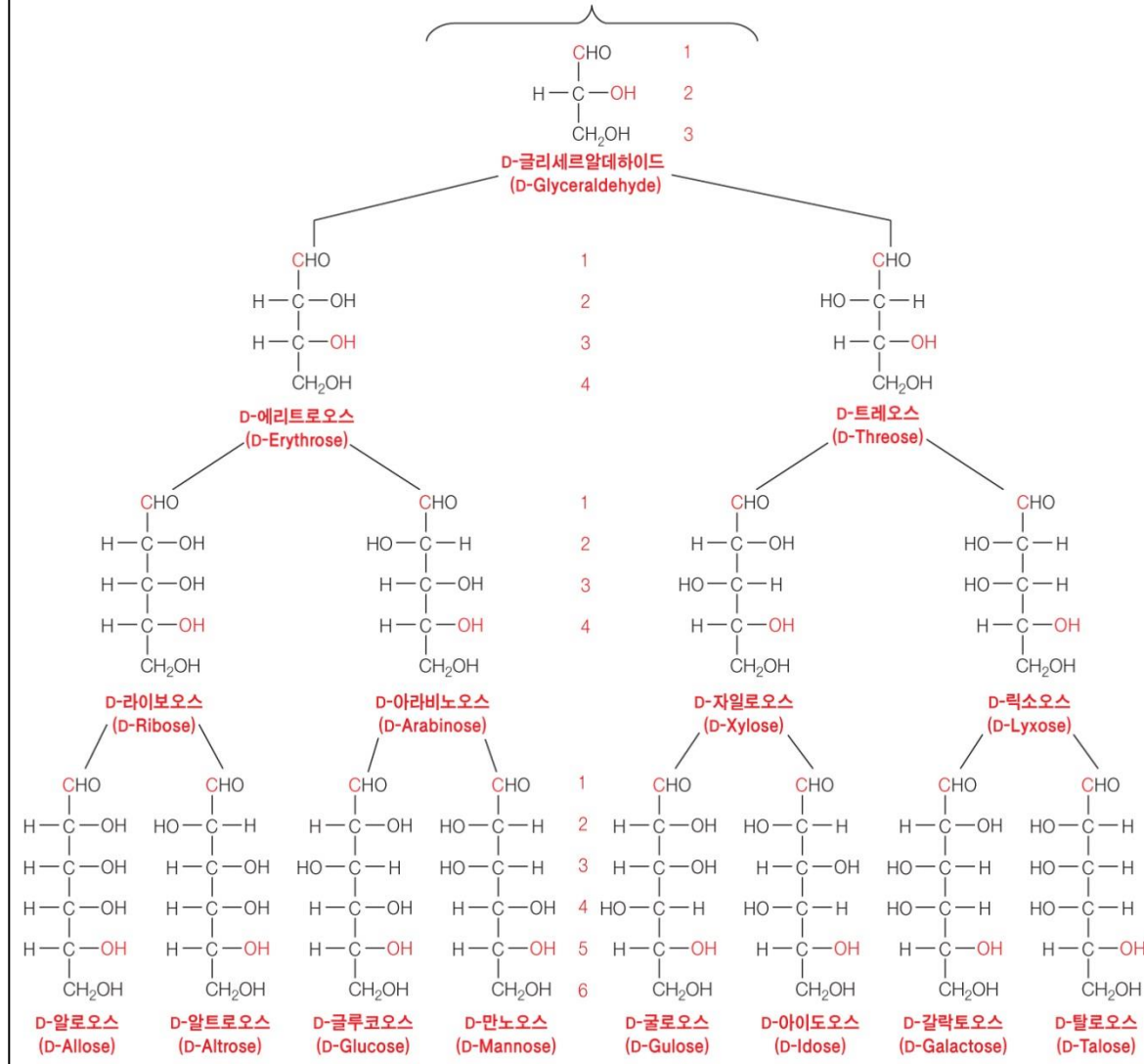


그림 16.4 단당류들 간의 입체화학적 관계.

6) 고리형 구조 (하워스 투영식)

당은 수용액에서 고리구조가 된다.

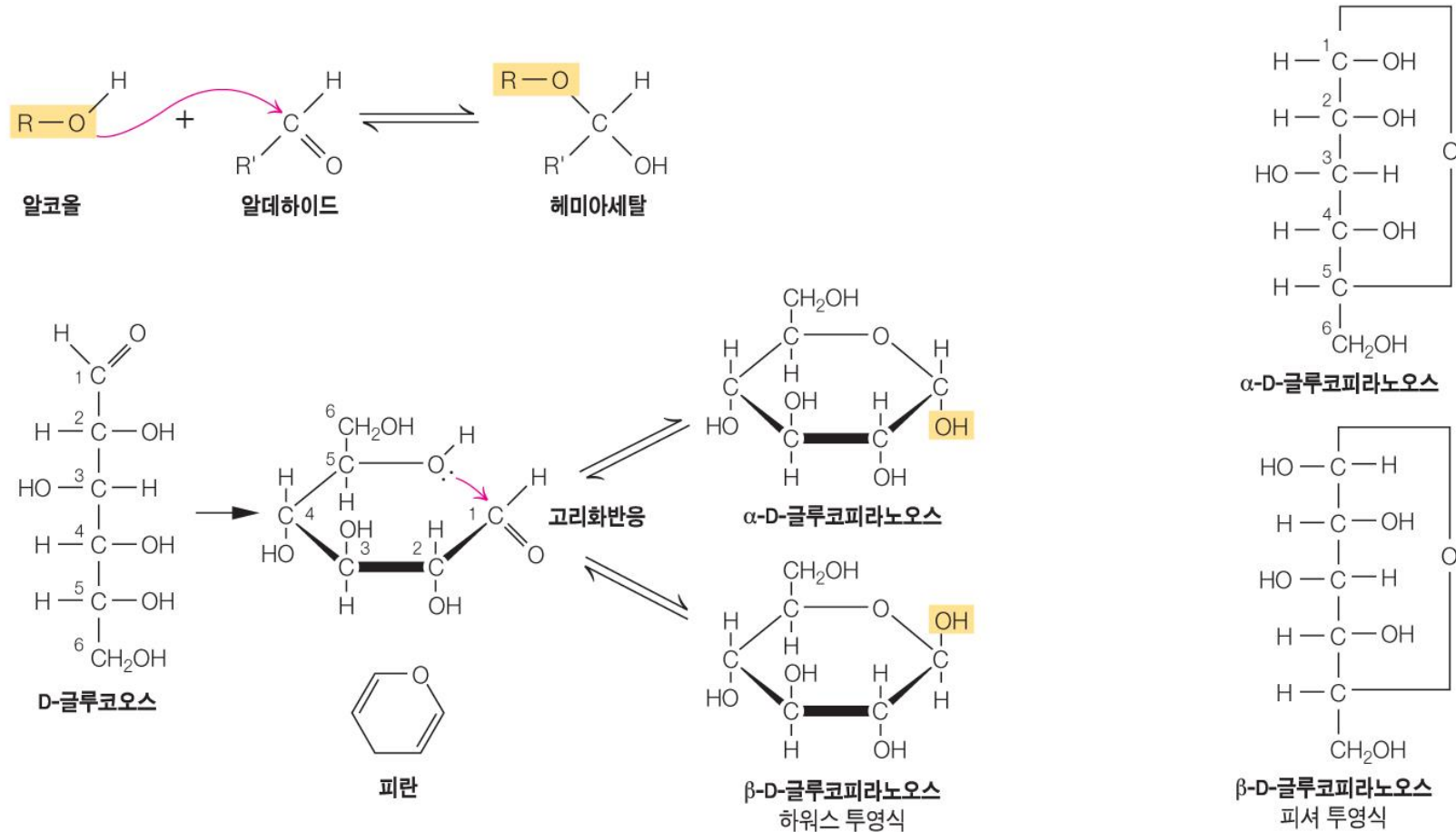


그림 16.5 직선형 D-글루코오스는 분자 내 반응을 거쳐서 고리형 헤미아세탈을 형성한다.

퓨란과 피란

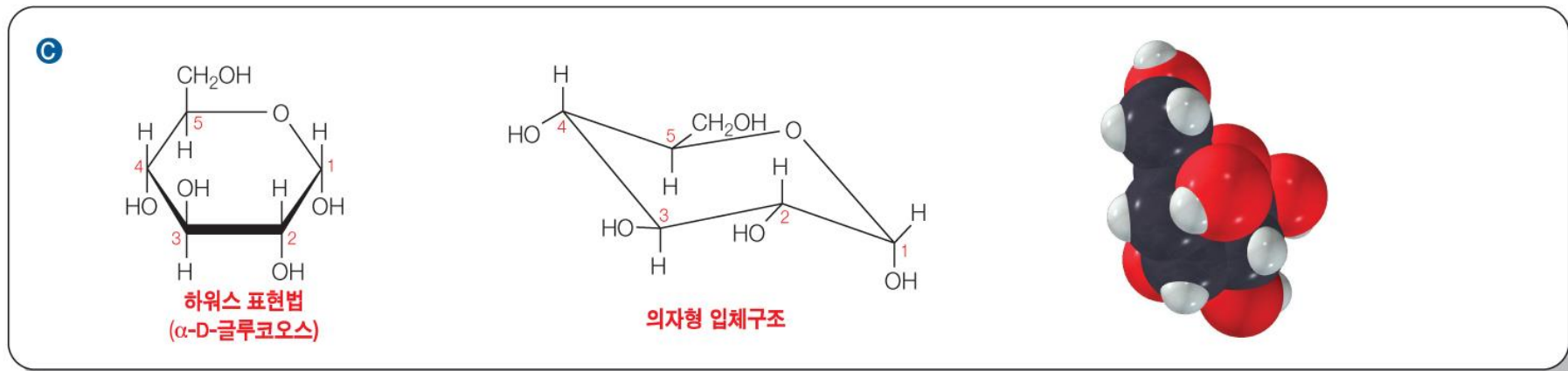
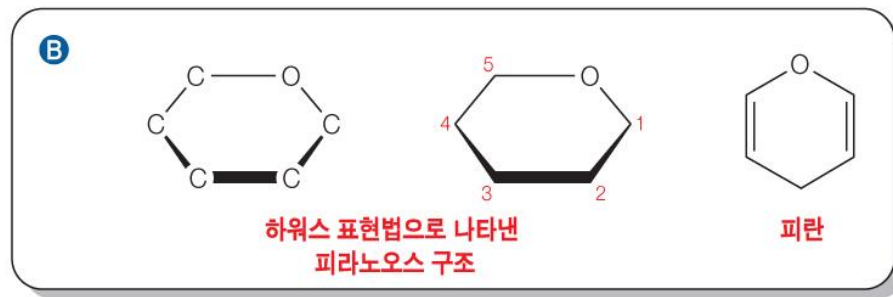
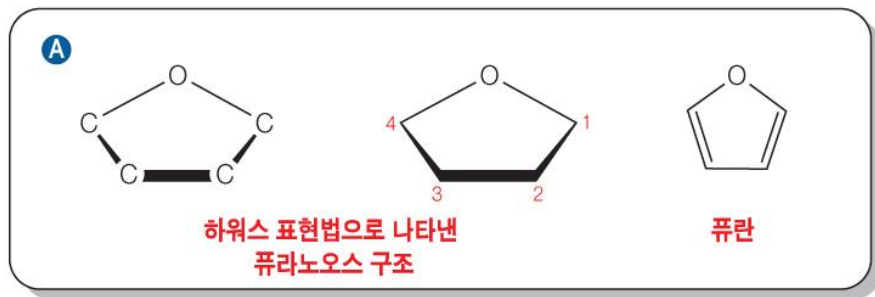


그림 16.7 당 구조의 하위스 표현법. (A) 하위스 표현법으로 나타낸 퓨라노오스를 퓨란의 구조와 비교한 것. (B) 하위스 표현법으로 나타낸 피라노오스를 피란의 구조와 비교한 것. (C) α -D-글루코피라노오스에 대한 하위스 표현법(왼쪽), 의자형 입체구조(가운데) 그리고 공간-채움 모델(오른쪽). (Leonard Lessin/Waldo Feng/Mt. Sinai CORE).

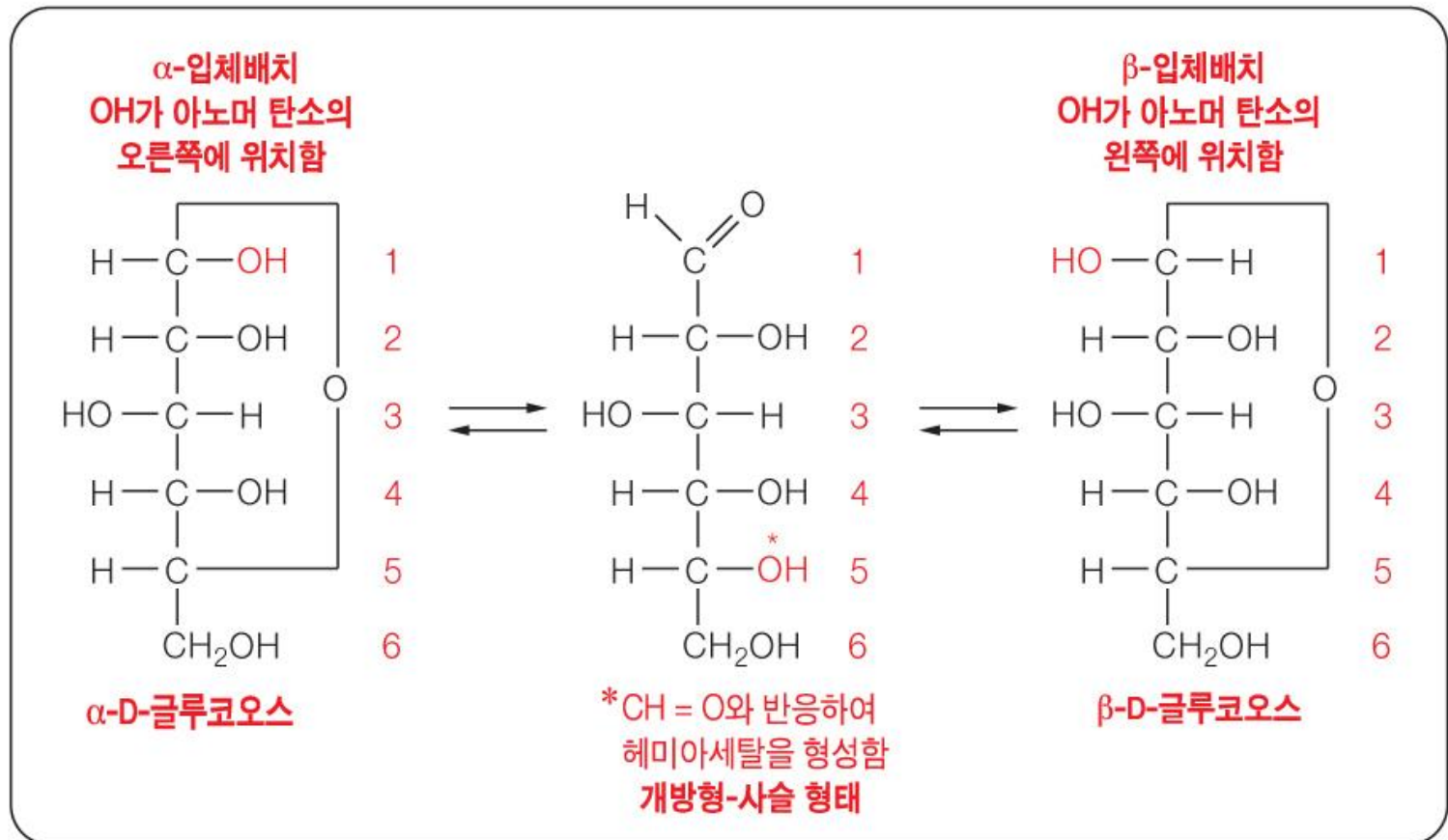
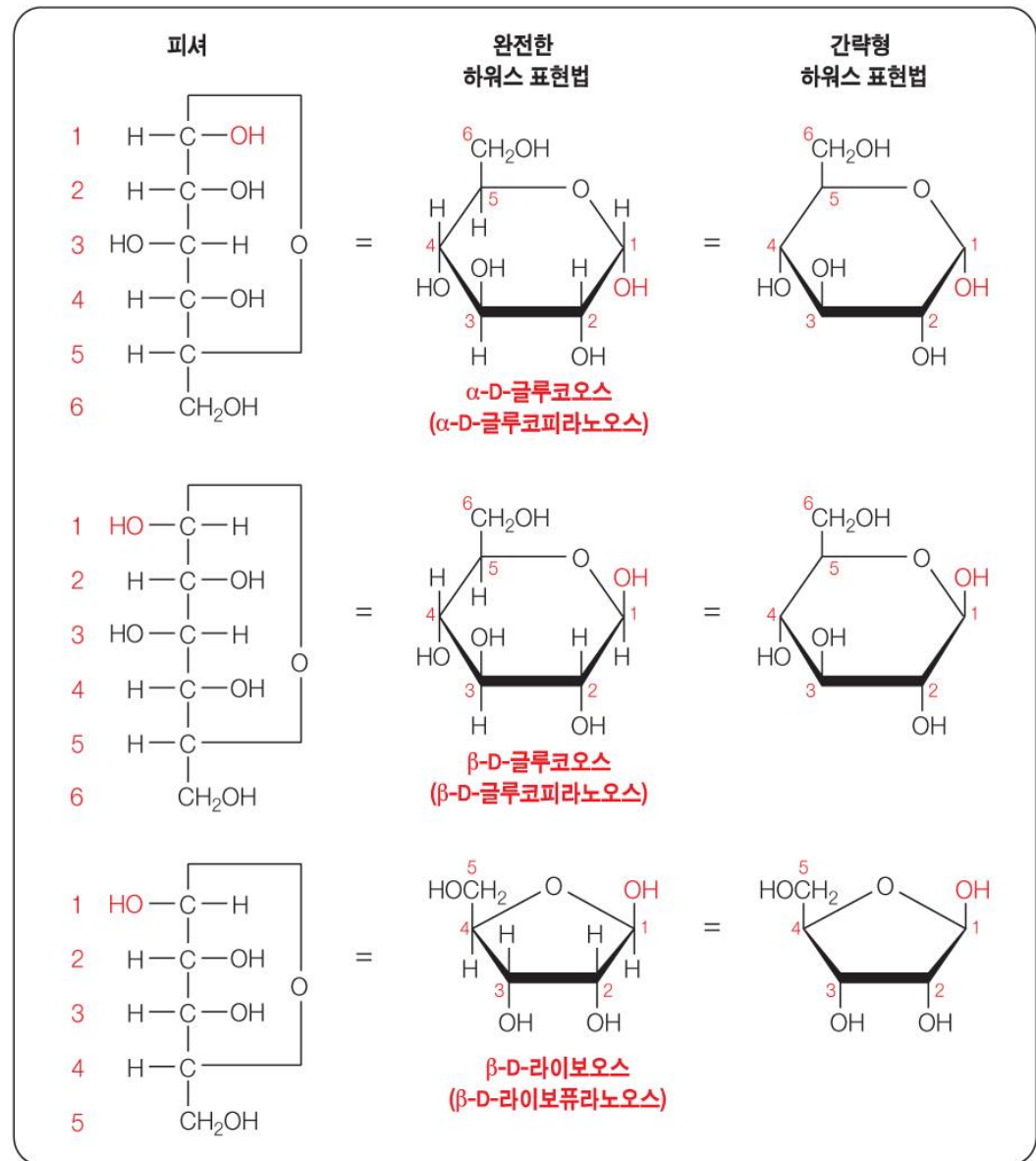


그림 16.6 세 가지 형태의 글루코오스에 대한 피셔 투영식. α-형과 β-형은 개방형-사슬 형태를 통해서 서로 전환될 수 있다는 점을 주목하라. 5번 탄소의 입체배치가 D형을 결정한다.

7) 아노머 (Anomer)

α와 β형의 관계

그림 16.8 α-, β-D-글루코오스(글루코피라노오스)와 β-D-라이보오스(라이보푸라노오스)에 대한 피셔 표현법, 완전한 하위스 표현법, 간략형 하위스 표현법의 비교. 하위스 표현법에서는 α-아노머의 OH기(적색)가 아래쪽을 향하여 표시되어 있고, β-아노머의 OH기(적색)는 위쪽을 향하여 표시되어 있다.



3. 단당류의 화학반응

- ① 산화환원 반응
- ② 에스터화 반응
- ③ 배당체의 생성

1) 당의 산화반응

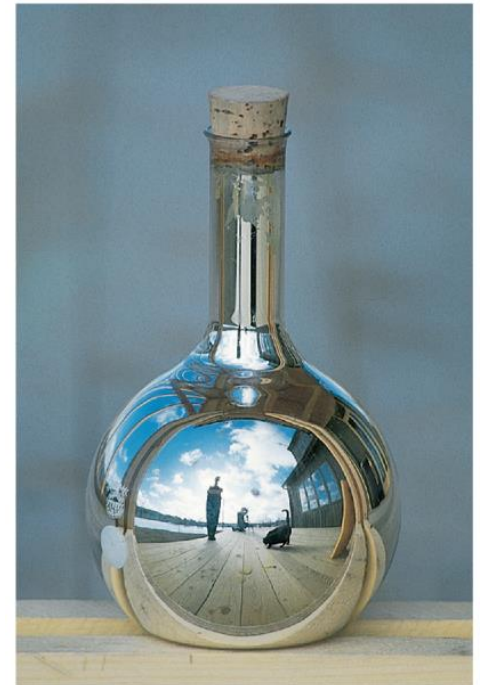
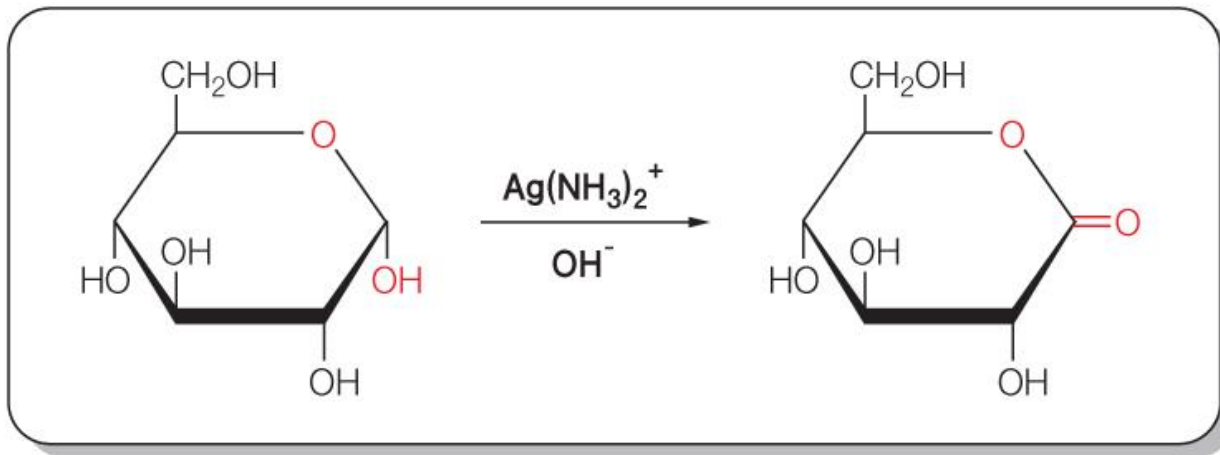
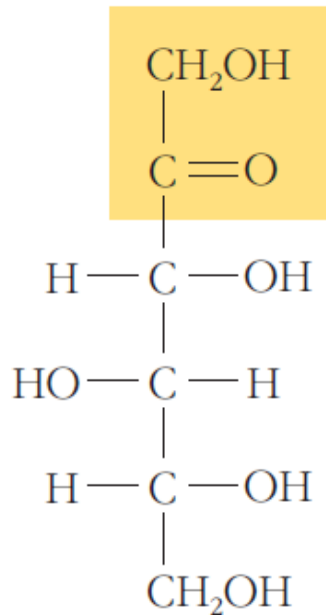


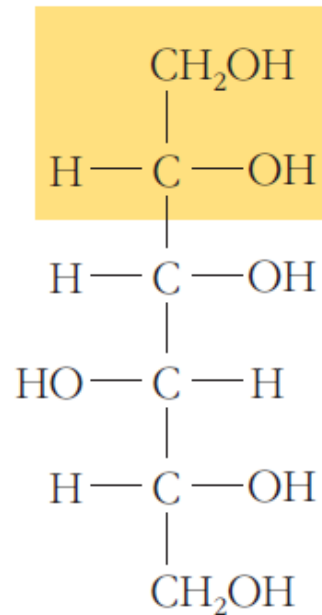
그림 16.9 당의 락톤으로 산화되는 반응. 당의 산화반응의 예. α -D-글루코오스 헤미아세탈의 락톤으로의 산화. 유리된 은이 은거울로 침전된 것은 반응이 일어났다는 것을 나타낸다.

2) 당의 환원반응

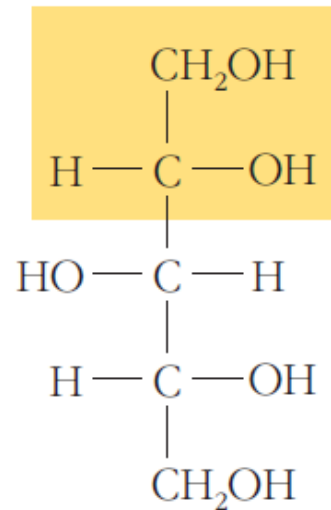
- 당알코올의 생성 (자일롤로오스 → 자일리톨)
- 단맛이 증가한다.
- 무설탕껌에 감미료로 이용된다.



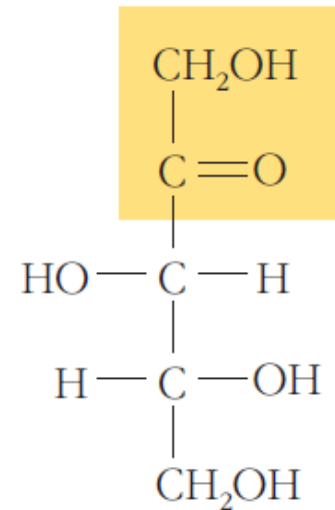
D-소르보오스



D-솔비톨



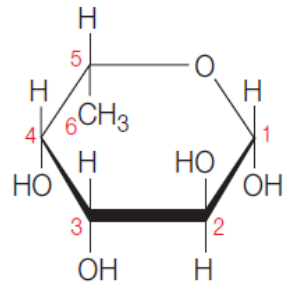
D-자일리톨



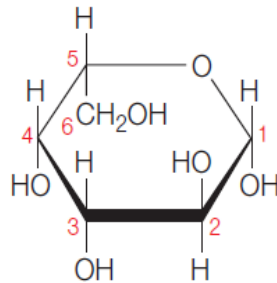
D-자일롤로오스

2) 당의 환원반응

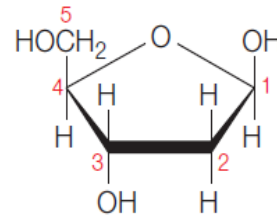
- 디옥시당의 생성
- 혈액형을 결정하는 당단백 구성
- DNA 구성 당



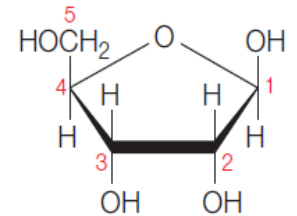
β -L-푸코오스
(6-디옥시- β -L-갈락토오스)



β -L-갈락토오스



β -D-디옥시라이보오스
(2-디옥시- β -D-라이보오스)



β -D-라이보오스

3) 에스터화 반응

당의 수산기는 에스터결합을 형성할 수 있다.

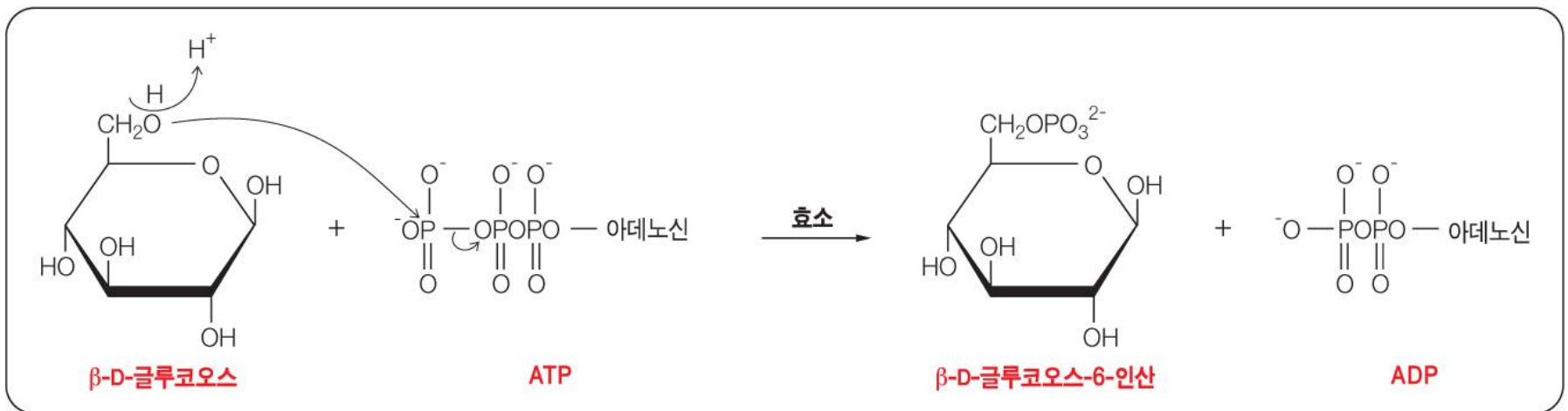


그림 16.12 글루코오스의 인산 에스터 형성반응. ATP는 인산기 공여체이다. 효소는 6번 탄소의 $-\text{CH}_2\text{OH}$ 와 특이적으로 상호작용한다.

4) 글라이코사이드(Glycoside) 생성반응

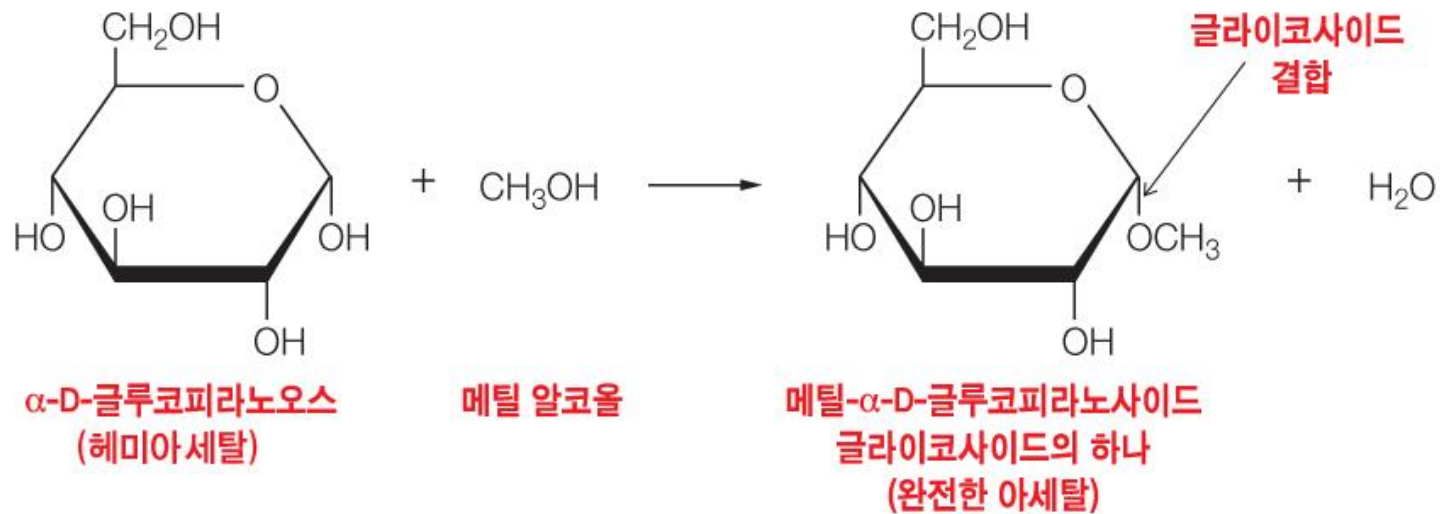


그림 16.13 글라이코사이드 형성의 일례. 메틸 알코올 (CH_3OH)과 α -D-글루코피라노오스가 반응하여 그에 상응하는 글라이코사이드를 형성한다.

4) 글라이코사이드(Glycoside): 이당류

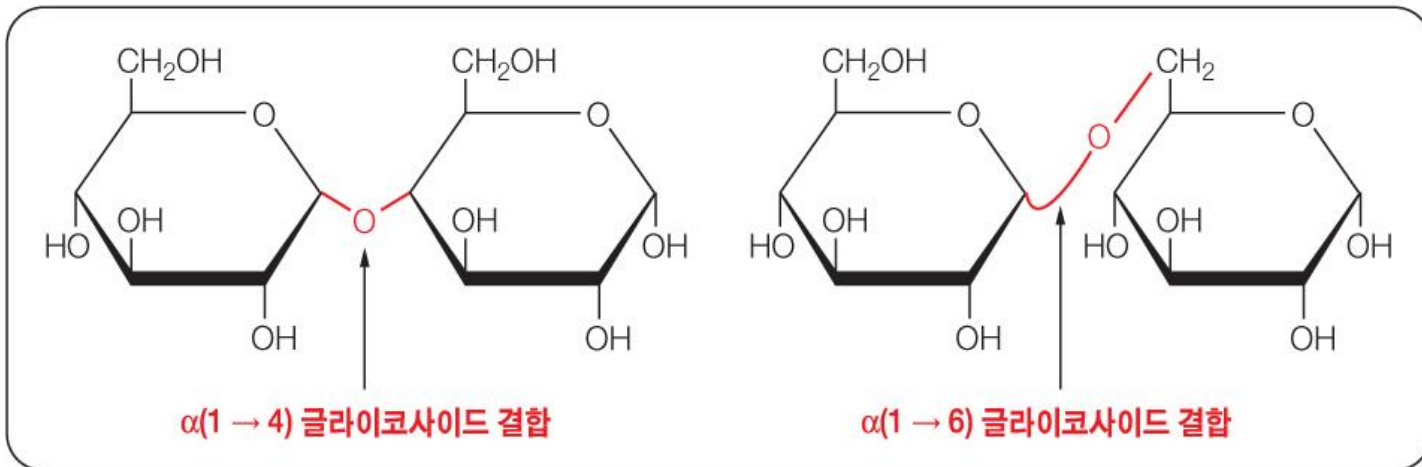


그림 16.14 α -D-글루코오스로 이루어진 두 가지 다른 이당류. 이 두 가지 화합물은 하나는 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 결합을 하고 있고, 다른 하나는 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 결합을 하고 있기 때문에 그 특성이 서로 다르다.

4) 글라이코사이드(Glycoside): 이당류

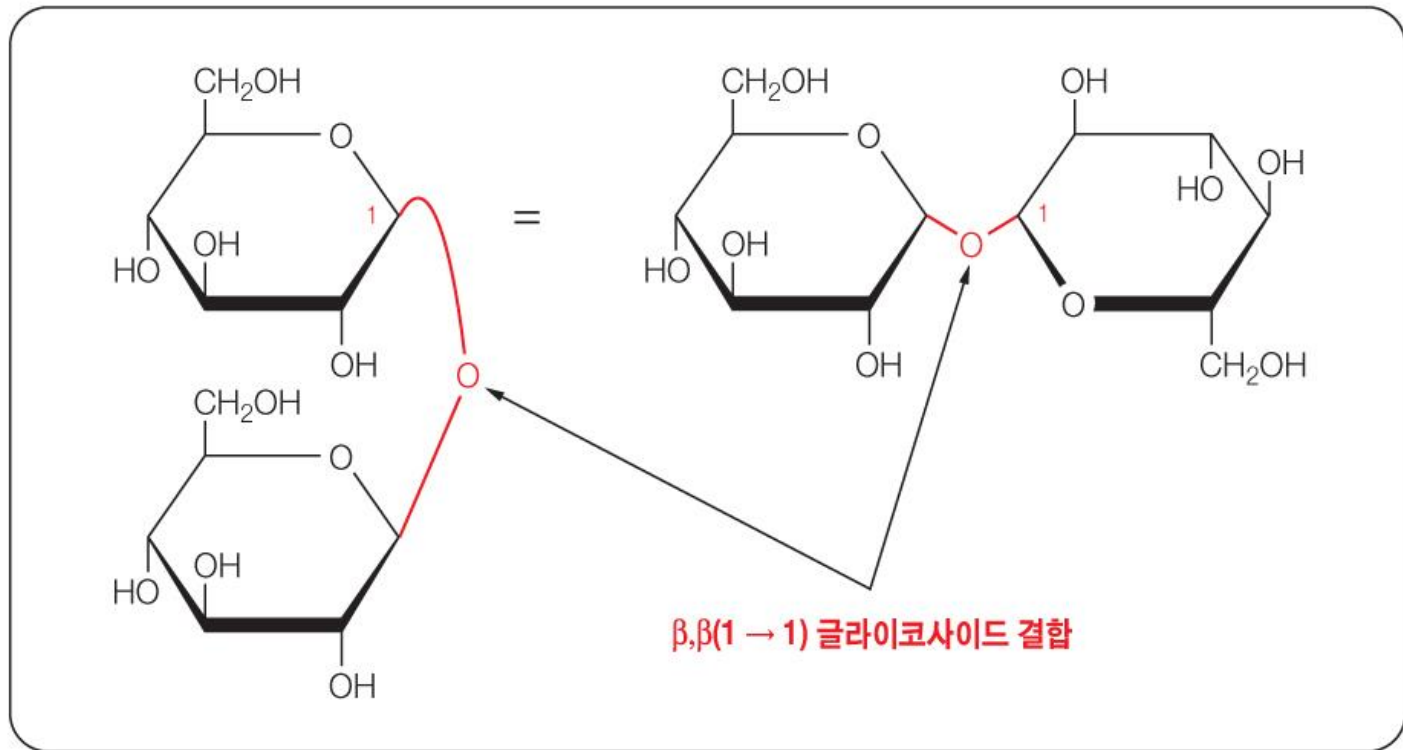
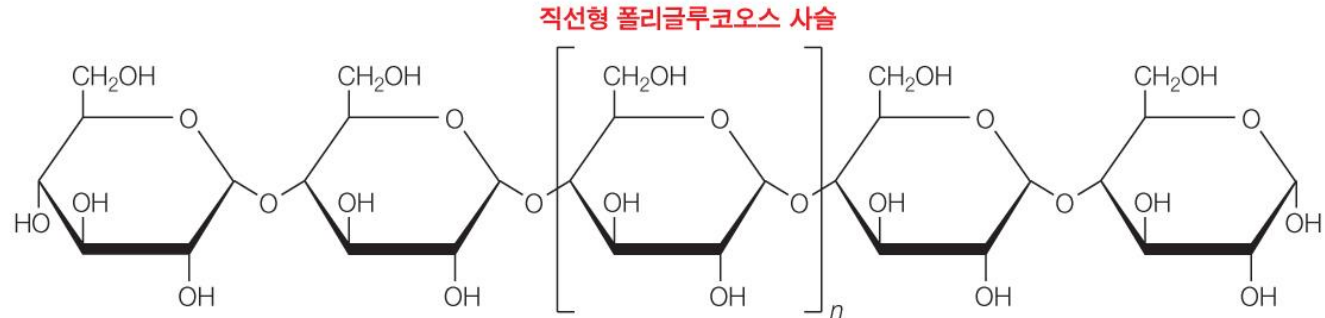


그림 16.15 β -D-글루코오스로 이루어진 이당류. 아노머 탄소들(C-1) 모두가 글라이코사이드 결합에 관여되어 있다.

4) 글라이코사이드(Glycoside): 다당류

- A** 아밀로오스에서는 직선형의 폴리글루코오스 사슬이 생긴다. 모든 글라이코사이드 결합이 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 이다.



- B** 아밀로펙틴과 글리코겐에서는 분지형-사슬 중합체가 생긴다. 분지형-폴리글루코오스-사슬의 글라이코사이드 결합은 분지점(가지 친 곳)에서는 $\alpha(1 \rightarrow 6)$ 이지만, 사슬을 따라서 형성되어 있는 것들은 모두 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 이다.

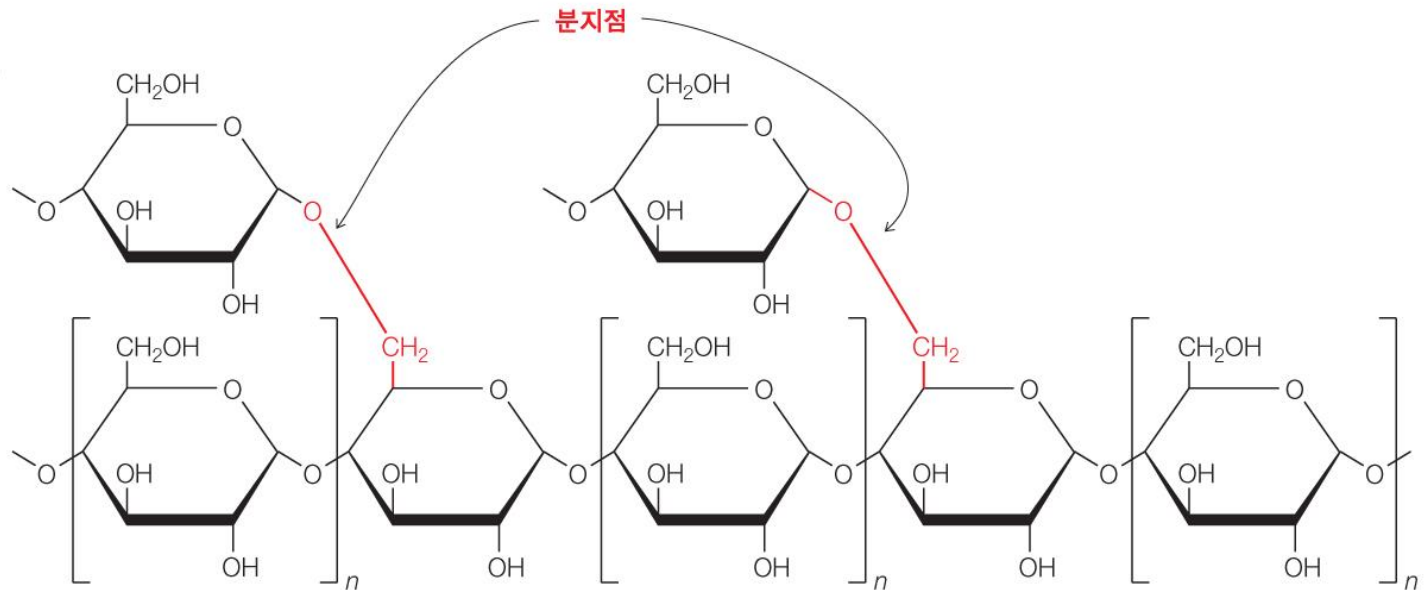
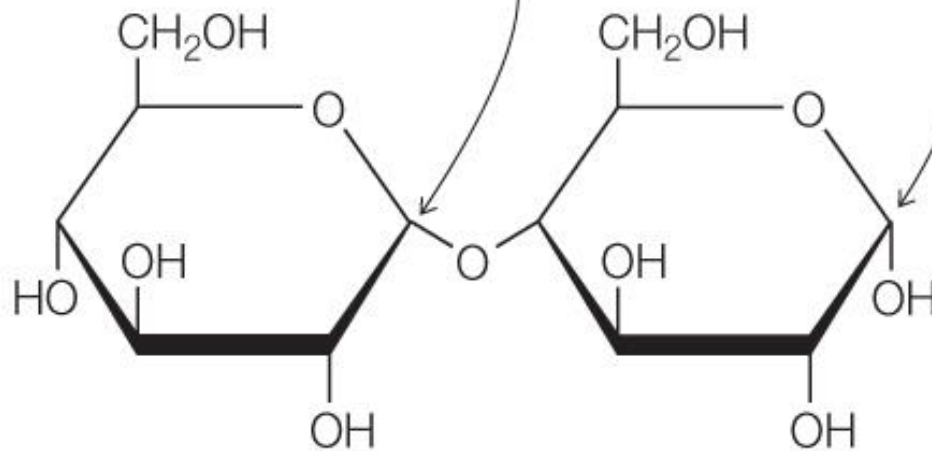
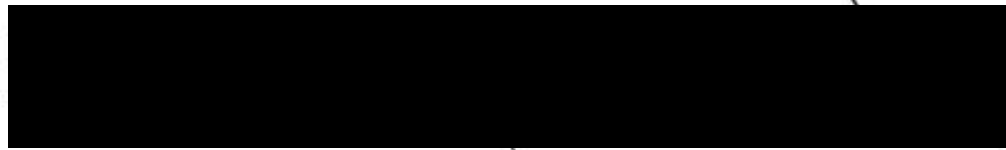


그림 16.16 α -D-글루코오스로 이루어진 직선형과 분지형-사슬 중합체.

5) 환원당 검사



환원성 말단(고리가 열려서 아노머 탄소에 유리되어 있는 C=O가 생성될 수 있다.)

$\alpha(1 \rightarrow 4)$ 결합을 하고 있는 α -D-글루코오스 2량체

그림 16.17 환원당. 유리된 헤미아세탈 말단을 가지고 있는 이당류는 환원당이다. 왜냐하면 유리된 알데하이드 카보닐기나 잠재적인 알데하이드기가 아노머 탄소 위치에 있기 때문이다.

6) 아미노당

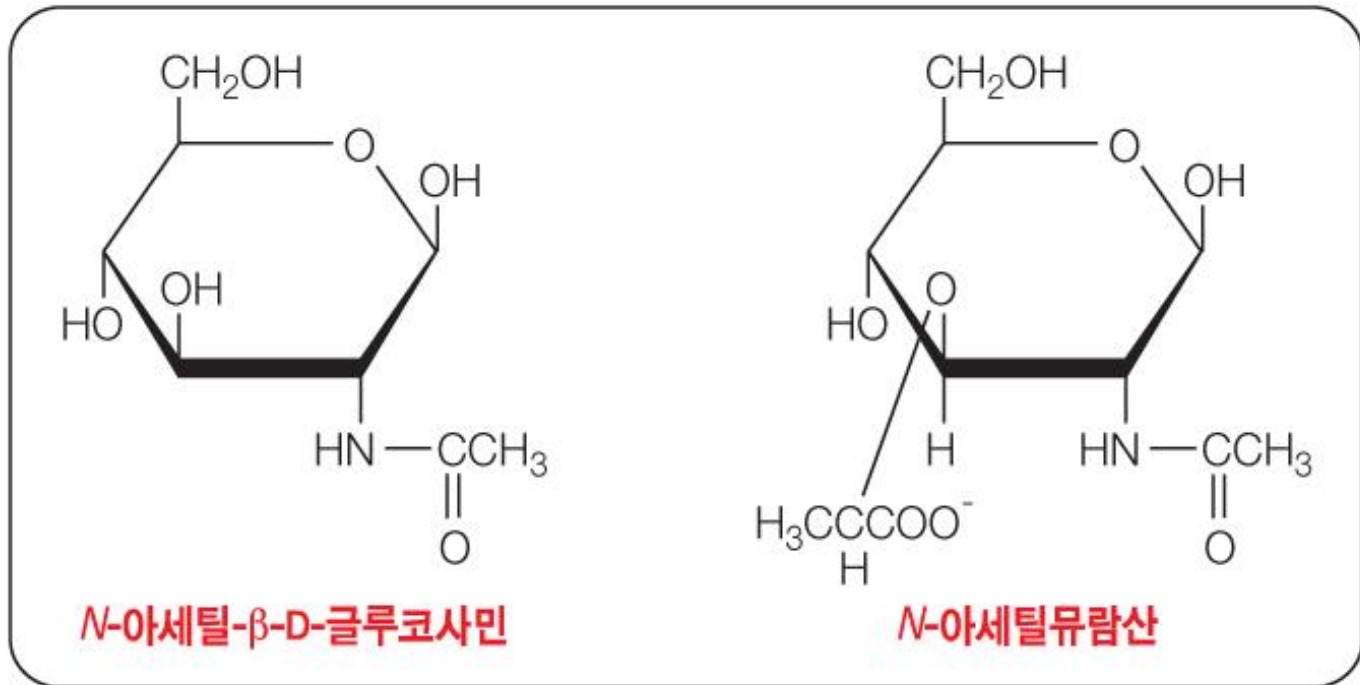


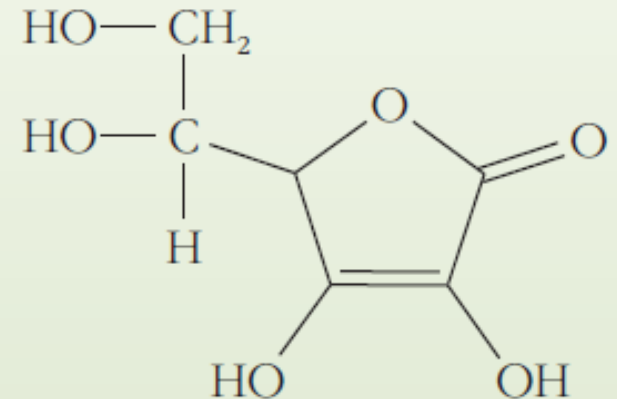
그림 16.18 N-아세틸-β-D-글루코사민과 N-아세틸뮤람산의 구조.

16.2 생화학과의 접목 | 영양학

비타민 C는 당과 관련이 있다

7) 비타민 C

- 포도당으로부터 합성된다.
- 인체에서는 합성되지 않는다.
- 공기 중에서 쉽게 산화된다.
- 결핍증 발생 → 괴혈병



아스코브산
(비타민 C)

4. 중요한 2당류

- Sucrose (설탕)
- Lactose (유당)
- Maltose (맥아당)
- Cellobiose
- Isomaltose

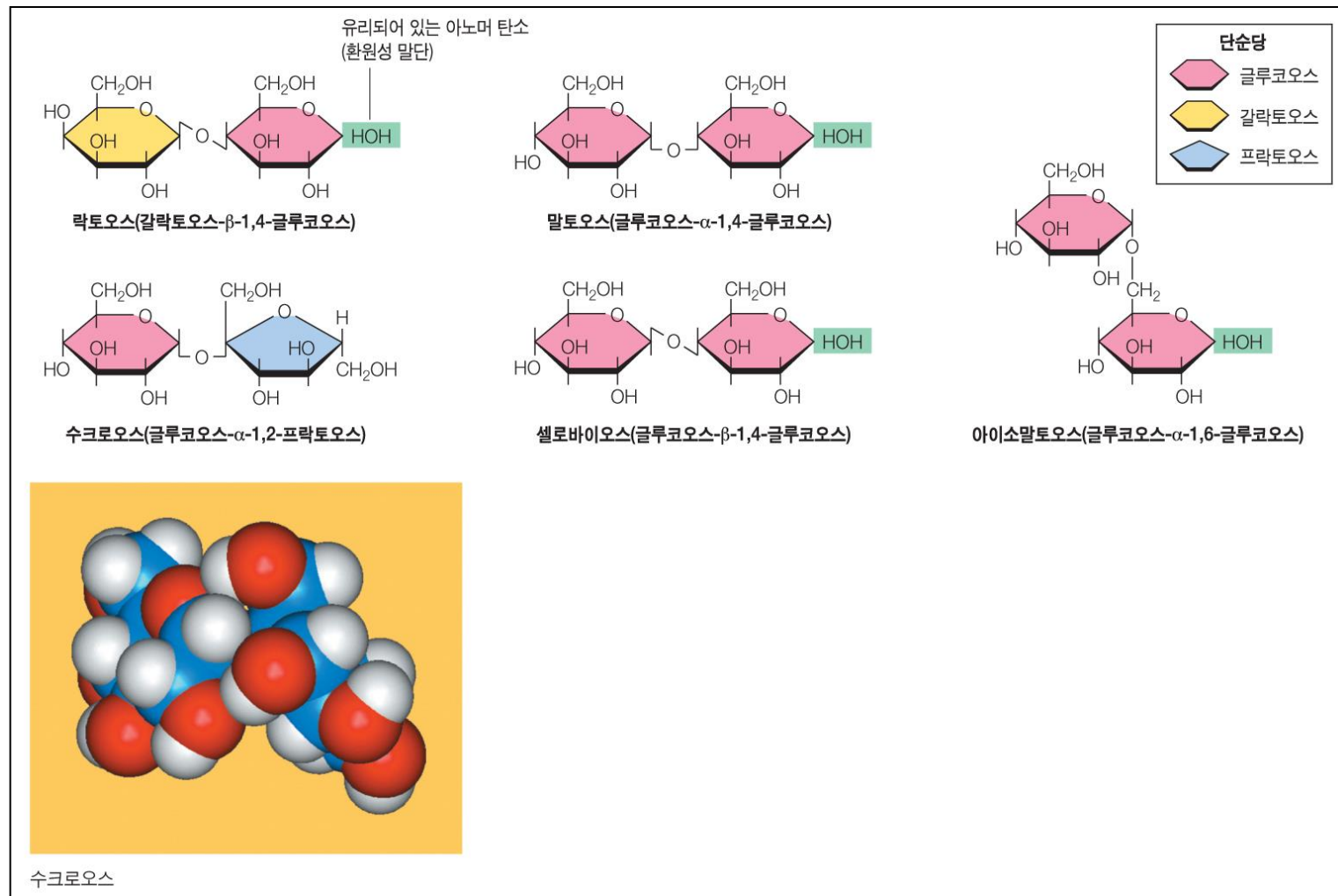
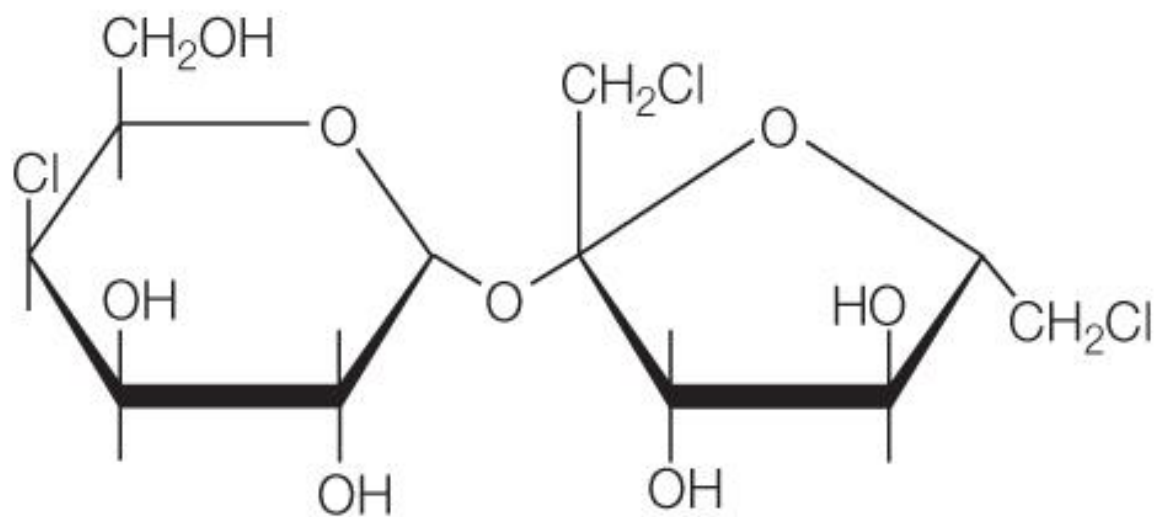


그림 16.19 몇 가지 중요한 이당류의 구조. —HOH 표시는 입체배치가 α 나 β 어느 것이나 될 수 있다는 것을 의미한다. D-형의 당을 이런 방향으로 그렸을 때, —OH기가 고리의 위쪽을 향해 있으면 그 입체배치를 β -형이라고 하며, —OH기가 고리의 아래쪽을 향해 있으면 그 입체배치를 α -형이라고 한다. 또한 수크로오스는 유리된 아노머 탄소 원자를 가지고 있지 않다는 점도 주목하라.



수크랄로오스

그림 16.20 수크랄로오스의 구조. 수크랄로오스[스플렌다(Splenda)라는 상품명으로 시판되고 있음]는 3개의 수산기가 염소로 대체된 점에서 수크로오스와 다르다.

16.3 생화학과의 접목 | 영양학

락토오스 과민증: 왜 그렇게 많은 사람들이 우유 마시기를 원하지 않을까?

락토오스 과민증

- 소장 Lactase의 결여
- 대장 박테리아 lactase에 의해 분해되어 수소가스, CO_2 , 유기산 생성
- 설사, 복부팽창 등 유발
- 두유, lactose-free milk 섭취로 예방 가능



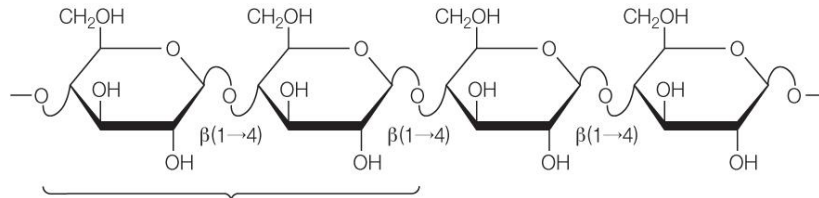
▶ 락토오스 과민증 환자를 위한 대체 유제품. 이 제품들은 락토오스 과민증 환자들이 칼슘을 섭취하는 데 도움이 된다.

5. 다 당 류

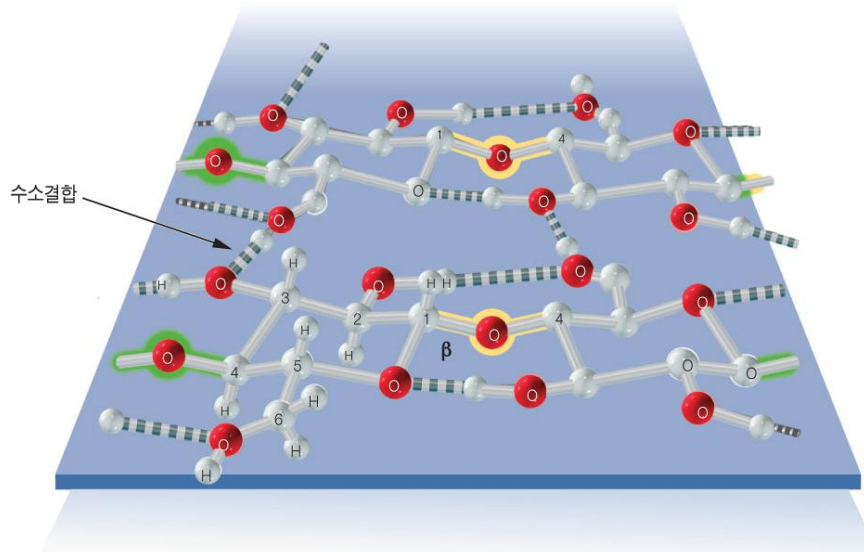
- Cellulose
- Starch
- Glycogen
- Chitin
- Peptidoglycan
- Pectin
- Lignin
- Glycosaminoglycans

1) 셀룰로오스

- 포도당이 $\beta 1 \rightarrow 4$ 결합으로 연결된 식물섬유
- 다당류 사슬끼리 수소결합으로 안정화되어 있다.
- 사람은 소화할 수 없다.

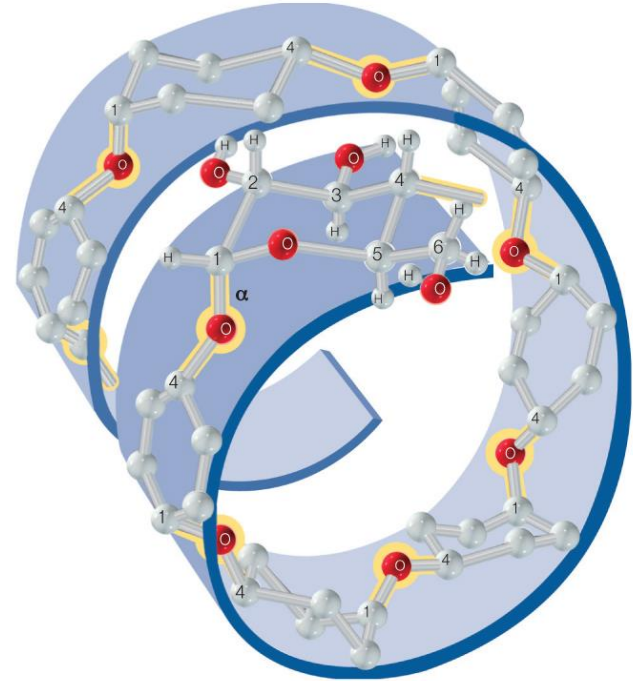
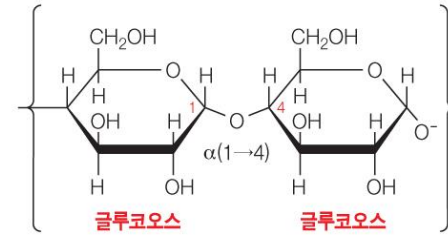


셀룰로오스 내에 반복되어 있는
이당류(β -셀로바이오스)



2) 녹말

- 포도당이 $\alpha 1 \rightarrow 4$ 과 $\alpha 1 \rightarrow 6$ 결합으로 연결된 식물성 다당류
- 나선형구조
- 아밀로오스
- 아밀로펙틴
- 저장형 다당류
- 사람은 소화할 수 있다.
- 주된 에너지원이다.



▶ **그림 16.22** 녹말의 구조는 글루코오스의 α -아노머에 기초한다. 녹말의 단량체는 글루코오스의 α -아노머인데, 이들이 연결되면 나선형으로 접히는 사슬이 만들어진다. 2량체가 반복되어 있는데 이 2량체들은 전부 글루코오스 두 분자가 $\alpha(1 \rightarrow 4)$ 결합으로 연결되어 있다. [삽화: 어빙 가이스(Irving Geis). 저작권은 하워드휴즈 의학 연구소(Howard Hughes Medical Institute) 소유임. 허가 없이 전재 금지.]

아밀로오스와 아밀로펙틴의 비교

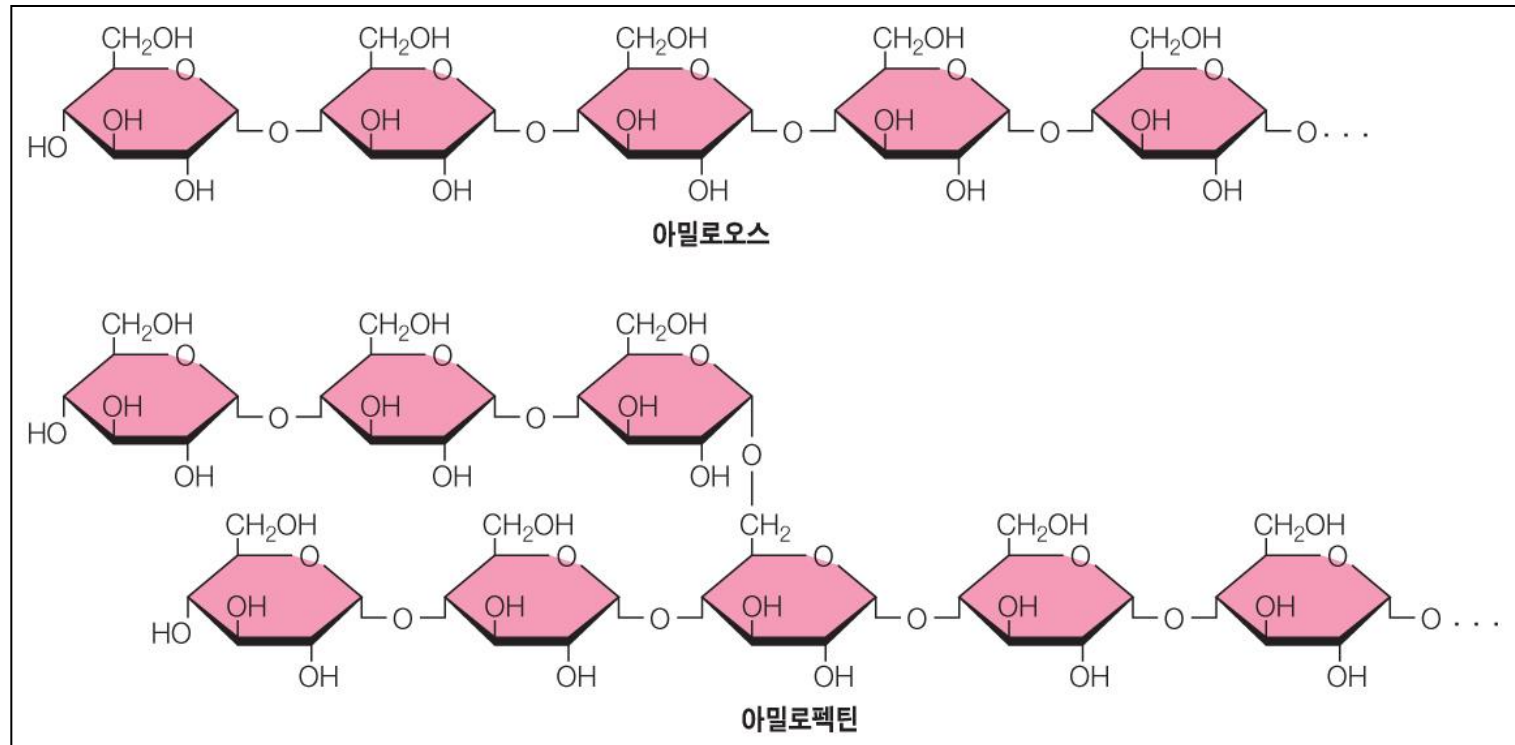
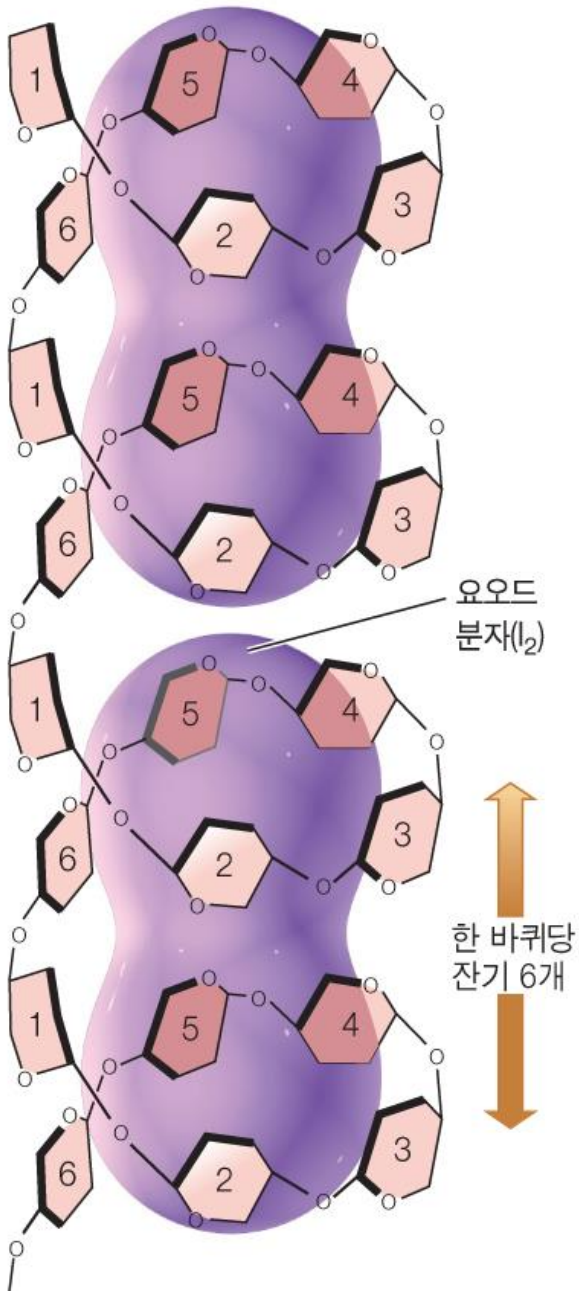


그림 16.23 녹말의 두 가지 형태는 아밀로오스와 아밀로펙틴이다. 직선형으로 연결되어 있을 때는 $\alpha(1\rightarrow4)$ 이지만, 아밀로펙틴에서 가지 쳐 있는 곳은 $\alpha(1\rightarrow6)$ 임에 유의하라. 다당류의 분지점에는 구성성분 단당류의 어떤 수 산기도 관여될 수 있다. 아밀로펙틴은 가지를 매우 많이 친 구조로서, 12~30개의 잔기마다 분지점이 나타난다.

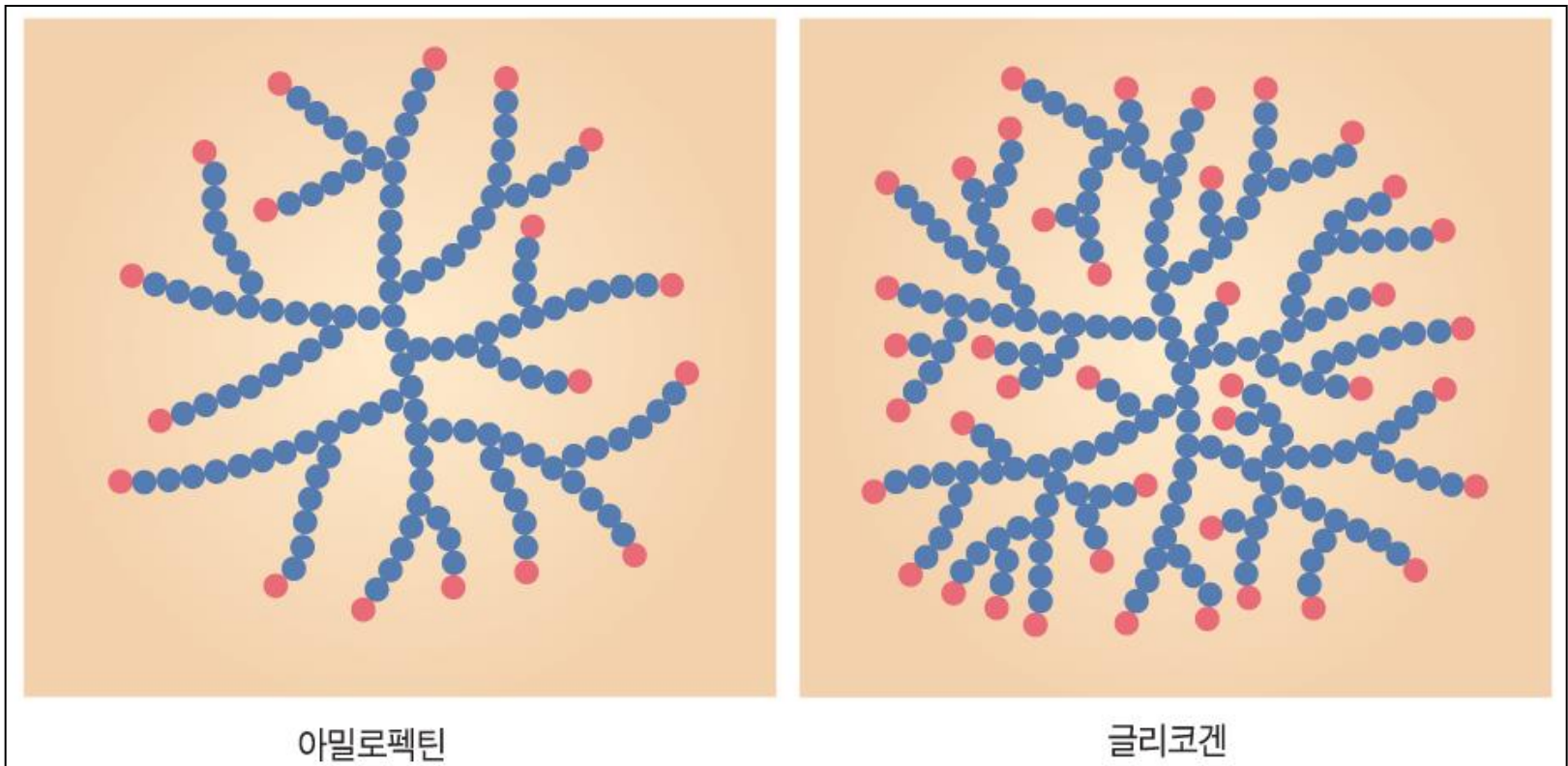
당의 정성반응 : 요오드반응

그림 16.24 녹말-요오드 복합체. 아밀로오스는 나선구조로 존재하는데, 나선 한 바퀴당 잔기가 6개씩이다. 녹말-요오드 복합체에서 요오드 분자는 나선의 장축에 평행하게 위치한다. 여기에는 나선 네 바퀴를 나타냈다. 복합체의 독특한 청색이 나타나려면 36개의 글루코오스 잔기가 포함된 6바퀴의 나선이 필요하다.



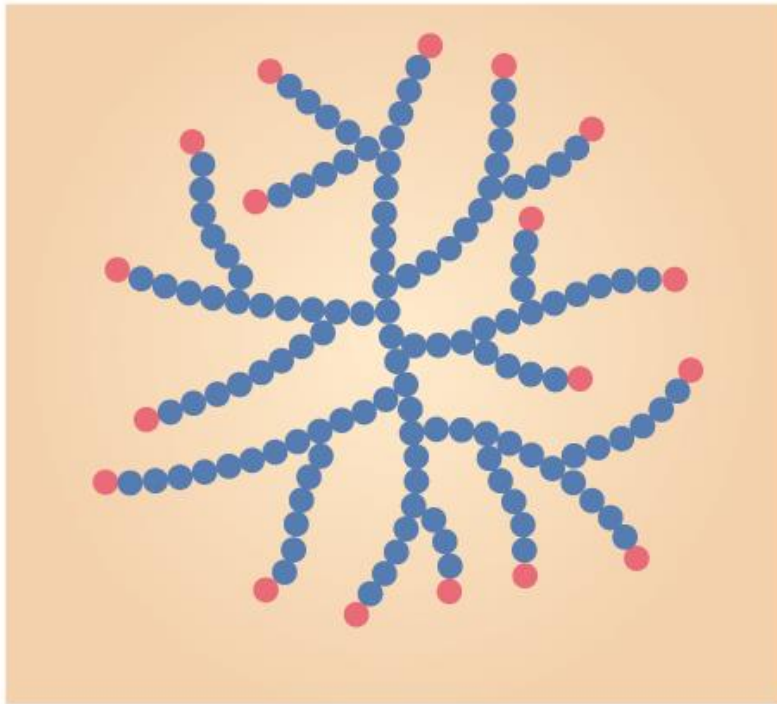
3) 아밀로펙틴과 글리코겐의 구조 비교

- 글리코겐은 포도당 잔기 10개 마다 가지가 있다.
- 아밀로펙틴은 포도당 잔기 12-30개 마다 가지가 있다.
- 가지가 만들어질 때마다 비환원성말단이 생긴다.

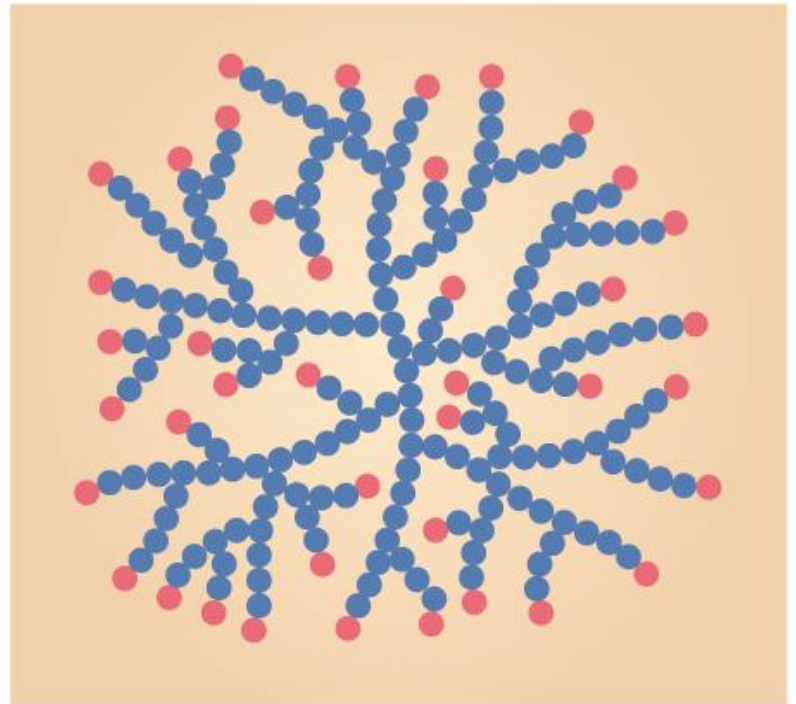


비환원성말단의 의미

- 비환원성말단이 많을수록 수용성이다.
- 즉, 가지가 많을수록 물에 잘 녹는다.
- 비환원성말단이 많을수록 생체에서 쉽게 분해되어 에너지로 이용된다.

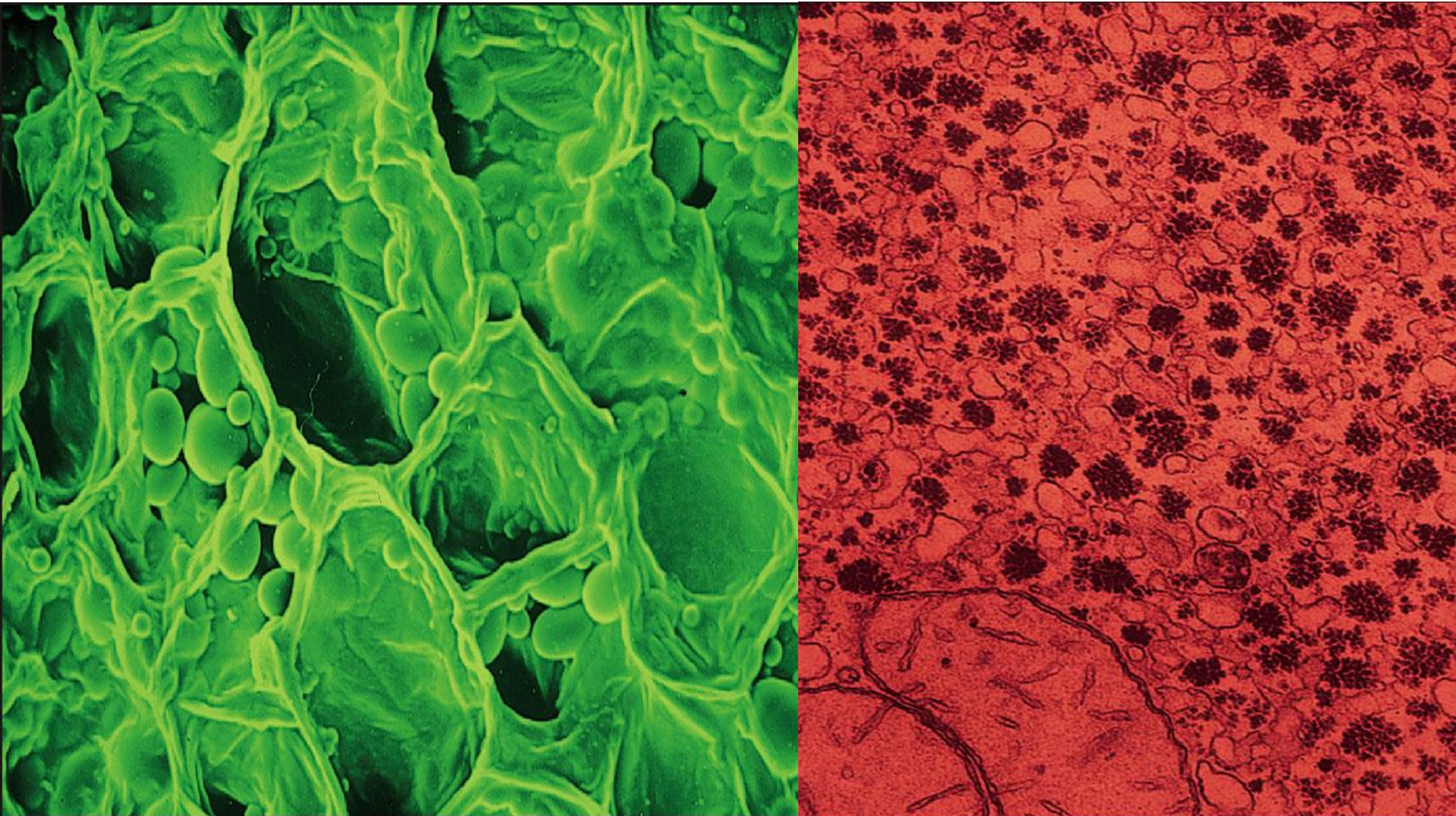


아밀로펙틴



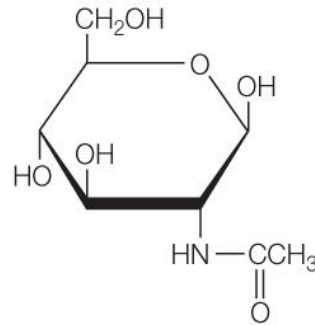
글리코겐

현미경으로 본 녹말과 글리코겐

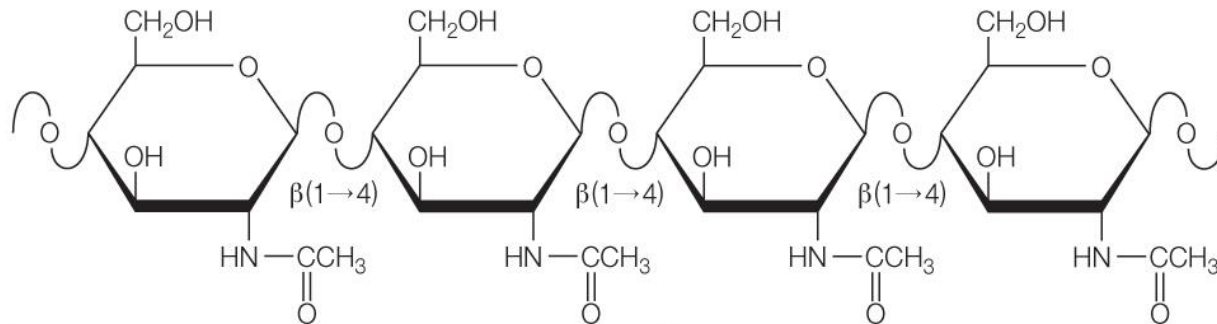


4) 키틴

아세틸글루코사민이 $\beta 1 \rightarrow 4$ 결합으로 연결



N-아세틸- β -D-글루코사민



키틴 내에 반복되어 있는 이당류

5) Peptidoglycan: 박테리아의 세포벽성분

펩타이드와 이종다당류로 구성되어 있다
이종 다당류 (아세틸 글루코사민과 아세틸뮤람산의 중합체).

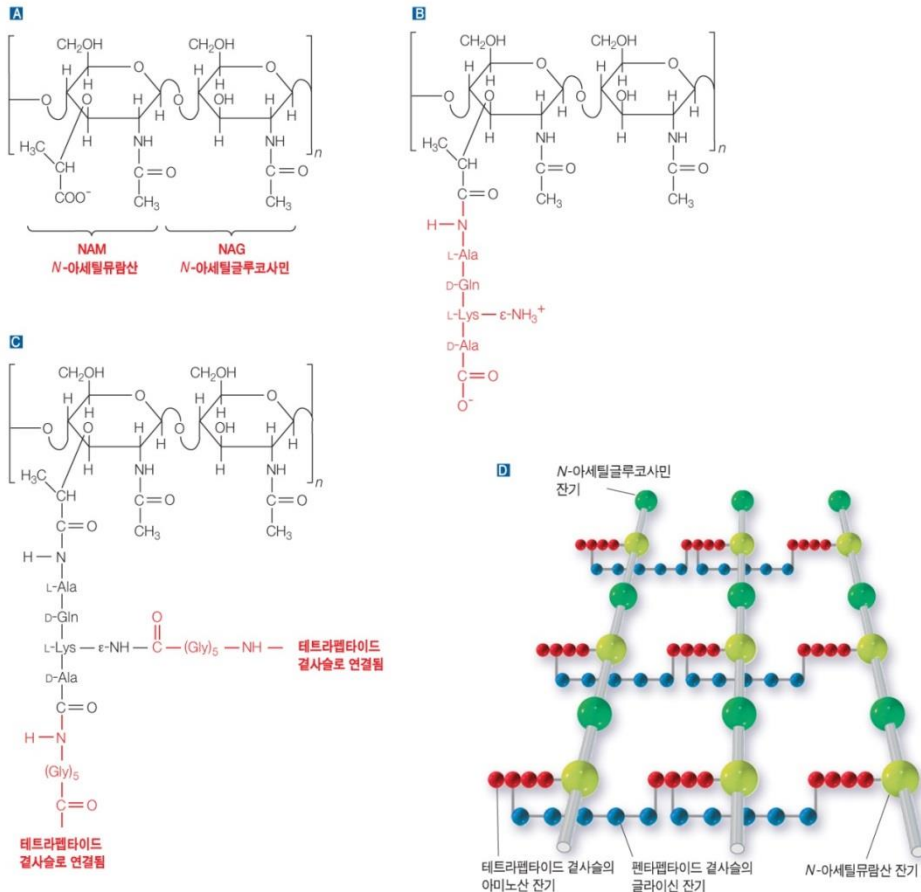
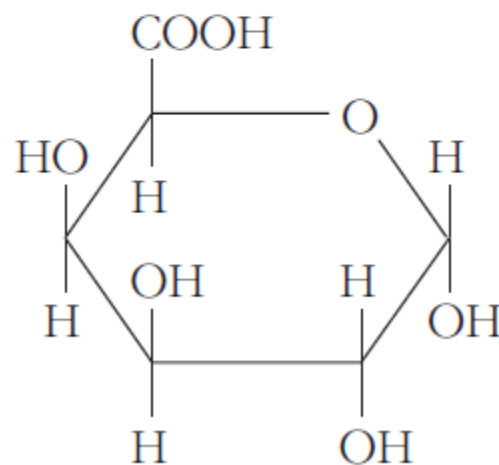


그림 16.27 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*, 스타필로코커스 오리어스)의 박테리아 세포벽의 펩티도글라이칸 구조. (A) 반복되는 이당류. (B) 테트라펩타이드 결사슬(적색으로 표시)을 가지고 있는 반복 이당류. (C) 펜타글라이신(적색으로 표시) 교차결합의 첨가. (D) 펩티도글라이칸의 개요도. 당은 커다란 구로 나타냈다. 적색 구는 테트라펩타이드의 아미노산 잔기이며, 청색 구는 펜타펩타이드의 글라이신 잔기이다.

6) 펙틴: 식물 세포벽 구성. 잼, 젤리를 겔 상태로 만들어준다.

식물 세포벽은 주로 **셀룰로오스**(cellulose)로 구성되어 있다. 식물 세포벽에서 발견되는 다른 중요한 다당류 성분은 **펙틴**(pectin)이다. 펙틴은 주로 D-갈락투론산으로 만들어진 중합체이다. D-갈락투론산은 갈락토오스의 C-6 탄소의 수산기가 카복실기로 산화된 갈락토오스 유도체이다.



D-갈락투론산

7) 리그닌: 식물 세포벽성분, 탄수화물이 아니다.

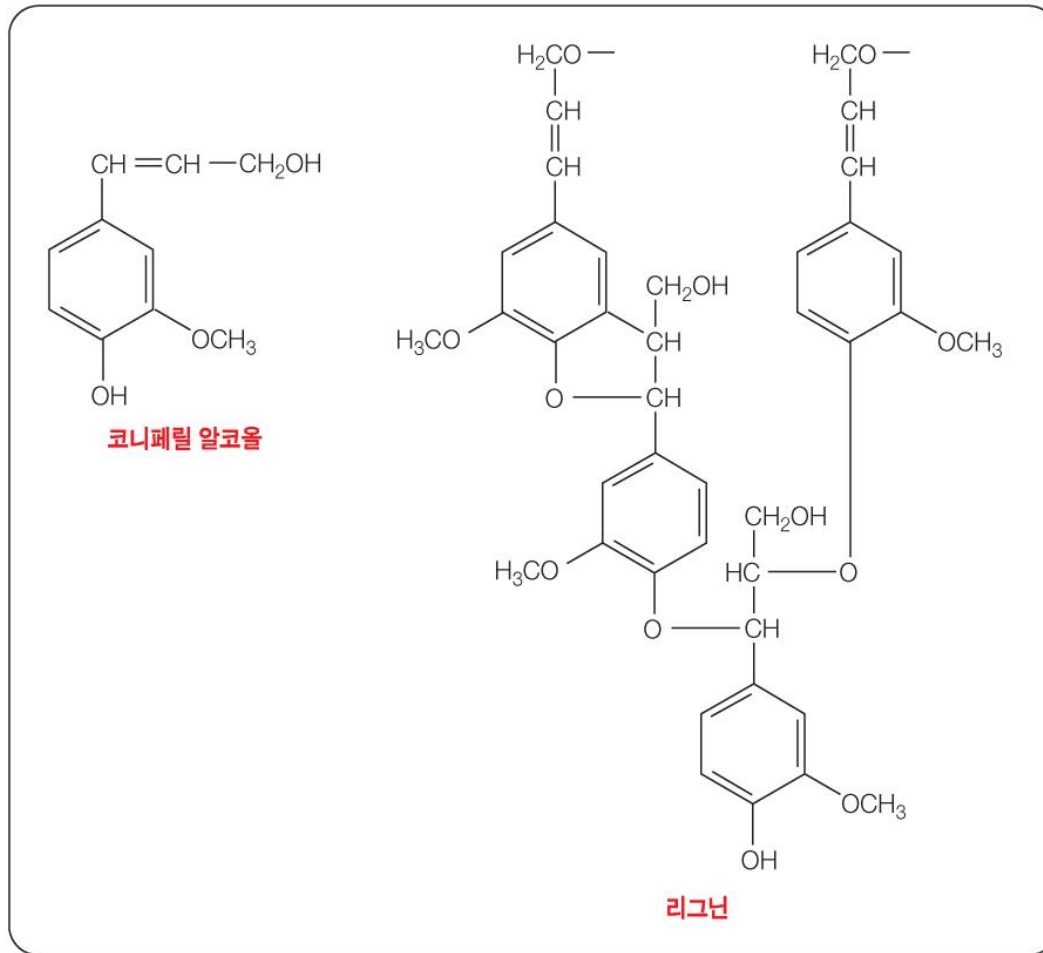


그림 16.28 코니페릴 알코올의 중합체인 리그닌의 구조.

8) 글라이코사미노글라이칸:

- 아미노당
- 음전하를 띤다.
- 헤파린 (혈액 응고 방지)
- 황산 콘드로이틴 (연골)
- 하이알루론산 (윤활액)

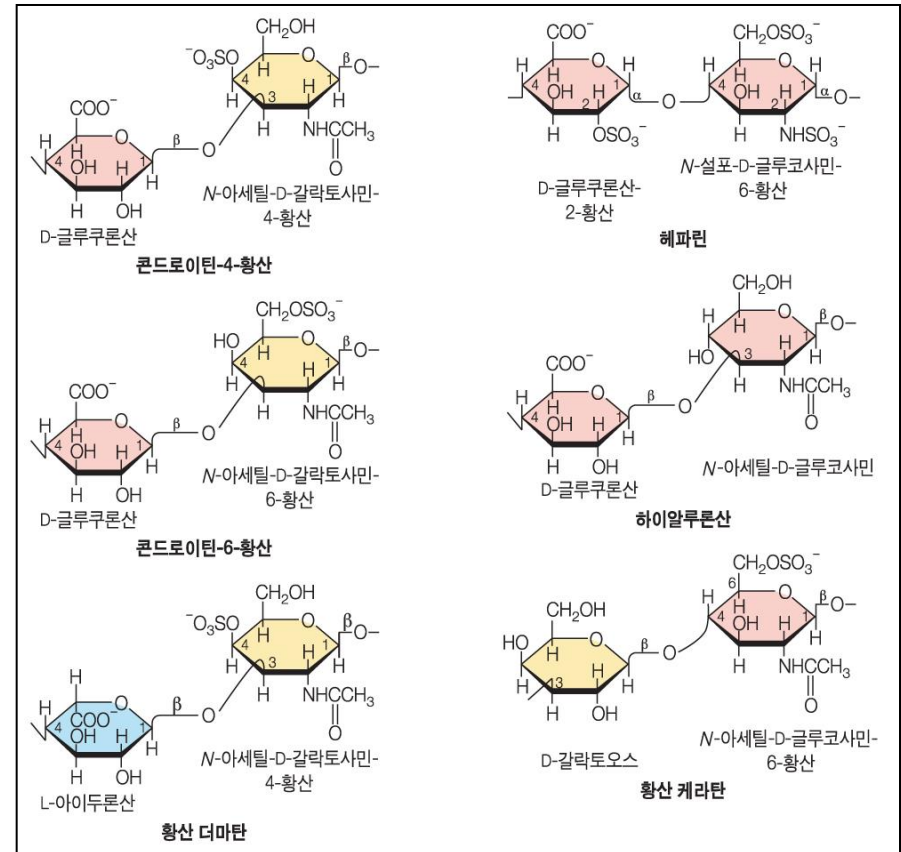
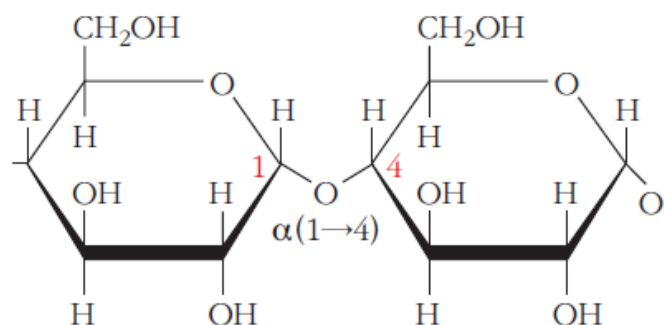
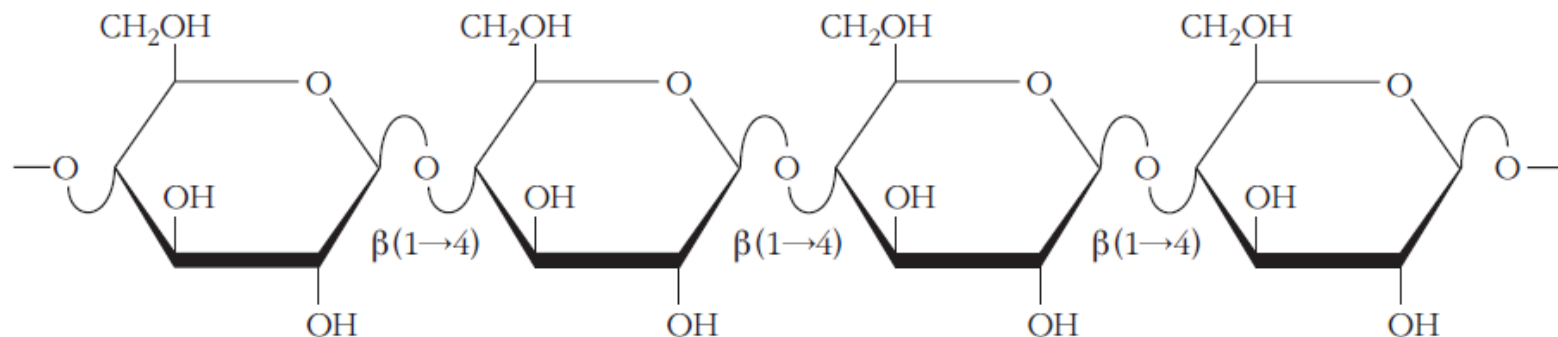


그림 16.29 글라이코사미노글라이칸. 반복되는 이당류 단위체로부터 생성되며, 종종 프로테오글라이칸의 성분으로 존재한다.

16.4 생화학과의 접목 | 건강과 관련된 이야기

식이섬유가 몸에 아주 좋은 이유는 무엇일까?



수많은 아침식사용 곡류식품(시리얼)은 섬유질 함량이 높다는 광고를 하고 있다.
이러한 아침식사에는 과일도 들어 있어서 섬유질 함량이 올라간다.

9) 식이섬유

- 소화효소로 소화되지 않는 탄수화물과 리그닌
- 수용성과 불용성이 있다.
- 수용성: 펙틴, 검(gums)
- 불용성: 셀룰로오스
- 기능: 혈당저하
콜레스테롤 저하
포만감 증가 → 체중 감소
대장암 억제

16.5 생화학과의 접목 | 건강과 관련된 이야기

당단백질과 수혈

수혈 상관관계

혈액형	항체를 형성하는 대상 혈액형	수혈 받을 수 있는 혈액형	수혈해 줄 수 있는 혈액형
O	A, B	O	O, A, B, AB
A	B	O, A	A, AB
B	A	O, B	B, AB
AB	없음	O, A, B, AB	AB

7. 저탄수화물 식이요법

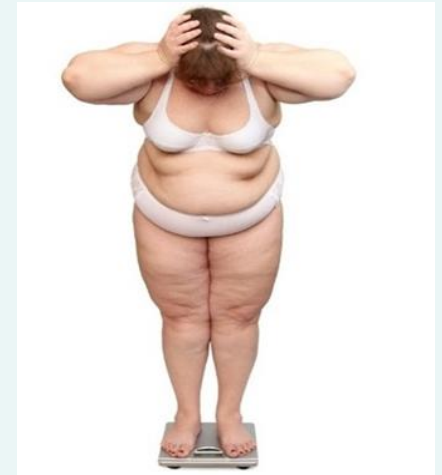
저탄수화물 식이요법은 체중조절에 효과적인가?

① Atkin diet (황제 diet)

- 단백질 위주의 식사
- 인슐린분비를 촉진하지 않는다.
- 케톤체, N 배설량 증가로 신장에 부담

② zone diet

- 하루 3번의 식사, 2번의 간식
- 식사 사이의 간격 5시간 이내
- 탄 : 탄 : 지 = 30 : 40 : 30
- 당질지수가 낮은 식품 권유



16.1 생화학과의 접목 | 영양과 건강

저-탄수화물 식이요법

당지수 (glycemic index): 식후 혈당 상승 정도로 비교하는 지표



시판되는 일부 식품들은 그 식품의 글리세믹 지수가 낮다는 것을 주장하고 있다.



저-탄수화물 식이요법으로 체중이 감소하면 혈압을 현저하게 떨어뜨릴 수 있다.