

## ★③ 샤가프 법칙

샤가프 법칙은 앞서 다음과 같이 설명하였다.

2중 가닥에서,  
A와 T는 상보적이고  
G와 C도 상보적이기 때문

- ① 생물 종에 따라 DNA를 구성하는 각 염기의 조성은 다르다.
- ② '한 종'의 이중 나선 DNA에서는 항상 A와 T의 양이 거의 같고  
G와 C의 양이 거의 같다.

즉, **퓨린 계열 염기는 전체 염기의 절반만큼 존재한다.**

기본적인 개념은 이게 전부이나, 평가원 기출문항은 다음 사실들을 토대로 꽤 많이 진보된 상황이다.

해당 단원에서 해제할 Schema를 정리하면 다음과 같다.

## [샤가프 법칙 Schema]

1. 수소 결합의 두 가지 관점
2. 1<sup>st</sup> 비례상수 필요 시 2<sup>nd</sup> 정량값을 구하자.
3. 염기 조성을 파악할 때, **GC 비율 First**
4. 2중 가닥 First 생각 ∵ 샤가프 법칙 / 한 염기 → All
5. T or U 개수 → 이중 가닥인 경우, ATU 계열 중 A의 개수는 정확히 절반이다.
6. 단일 가닥의 염기 조성을 파악할 때는, ①계열별 상보성 ②번역 ③BT 가 Key다.
7. 정체성을 파악하자. 복제 중인 2중 가닥의 경우, U가 존재할 수 있다.
8. 상보적이거나 유사한 경우, 단일 가닥과 이중 가닥에서 **GC 비율 일정**
9. 조건을 한 가닥 혹은 한 계열로 번역하라.
10. 염기의 분류 기준 ①, ②, ③

문제풀이 과정에서 상세히 설명하겠다

위 Schema들은 문제풀이 과정에서 유기적으로 사용된다.  
다음 예제를 풀어보자.

[예제 8] 표는 300쌍의 염기쌍으로 구성된 이중 나선 DNA I~III의 염기 조성을 나타낸 것이다.

구분	염기 조성(%)				
	A	G	T	C	계
I	20	ⓐ	?	?	100
II	?	36	ⓒ	?	100
III	?	ⓒ	ⓓ	?	100

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르시오

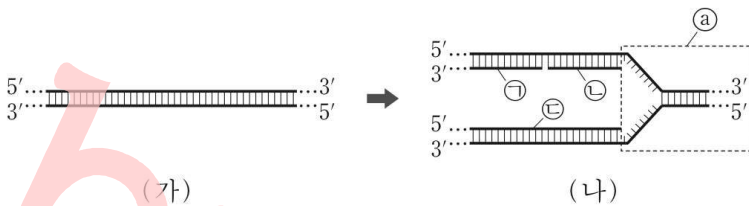
- ㄱ. ⓐ+ⓒ=44 이다.
- ㄴ. ⓒ+ⓓ=50 이다.
- ㄷ. II의 G+C 개수는 216개이다.
- ㄹ. 이중 가닥 전체에서 염기 간 수소 결합의 총 수는 I보다 II에서 많다.

[Schema 2]

비례상수와 정량값

- ① 비례상수를 나타내는
- ② 적절한 양의 정수를 의미하며
- ③ 비례상수 × 곱상수 = 정량값 이 성립한다.

비례상수를 할당하는 예시를 들어보자.



- a(나)에서 복제되지 않은 부분의 염기 개수는 (가)의 염기 개수의 40%이다.
- (나)에서 염기 개수는 3200개이다.
- ㉠ 가닥과 ㉡ 가닥의 염기 개수는 서로 동일하며, ㉠의 염기 개수와 ㉢의 염기 개수의 합은 ㉣의 염기 개수와 같다.

DNA 복제

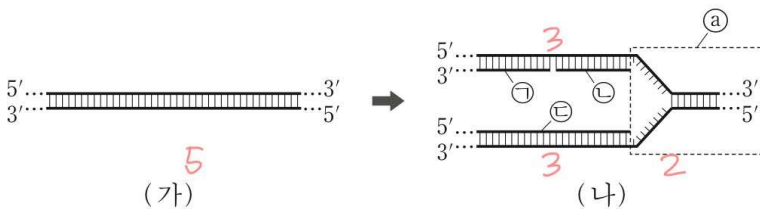
하나의 DNA 분자를 동일한 두 개의 분자로 배가시키는 과정

위와 같은 상황에서 조건에 의해

(가)의 염기 개수 : a = 5 : 2

가 성립하므로

다음과 같이 비례상수를 설정할 수 있다.



위와 같이 설정하면, 모든 가닥들의 염기에 대한 상황 파악을 용이하게 할 수 있어 고난도 문항을 해제할 때 도움이 된다.

예를 들어, 비례상수 2+3+3에 3200이 할당되므로, 비례상수 5에는 2000이 할당됨을 알 수 있다.  
(∵ 8 : 3200 = 5 : 2000)

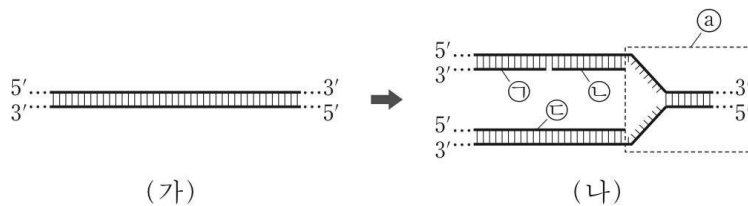
또한 ㉢, ㉣ 가닥의 염기 개수를 구해야 한다면,

㉢ 가닥에는 비례상수 1.5가 할당되므로  
 ㉣ 가닥은 염기 600개로 이루어졌음을 알 수 있으며  
 (∵ 5 : 2000 = 1.5 : 600 ∴ (가) 가닥과 ㉣ 가닥의 비례 이용)

㉡ 가닥은 비례상수 0.75가 할당되므로  
 ㉡ 가닥은 염기 300개로 이루어졌음을 알 수 있다.  
 (∵ 2 : 800 = 1.5 : 600 ∴ a 가닥과 ㉡ 가닥의 비례 이용)

[예제 18] 다음은 어떤 세포에서 일어나는 DNA X의 복제에 대한 자료이다.

- 그림 (가)는 DNA X를, (나)는 X가 복제되는 과정의 일부를 나타낸 것이다
- (나)에서 염기의 개수는 800개이고, ㉠~㉣은 새로 합성된 가닥이다.
- ㉠(나)에서 복제되지 않은 부분의 염기 개수는 X의 염기 개수의 40%이다.
- (나)에서 ㉠의 염기 개수와 ㉡의 염기 개수의 합은 ㉣의 염기 개수와 같다.
- ㉠의 염기 개수 : ㉡의 염기 개수 = 2 : 1 이다.
- ㉠의 G+C 함량은 20%이고, ㉡의 G+C 함량은 80%이다.
- (가)에서 C의 함량은 24%이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르시오

- ㄱ. (가)의 G 개수는 240개이다
- ㄴ. ㉡의 G+C 개수는 40개이다.
- ㄷ. ㉠의 G 개수는 60개이다.

갑자기 수리적으로 난이도가 급격히 상승하였으나... 비례상수와 여러 Schema의 유용성을 잘 파악할 수 있는 문항이라 예제로 넣었다.

초심자가 처음 보고 풀기에는 수학적으로 어려우니 조금만 생각해보고 해제를 보자.

(이 문항에, 복제 과정에서 나타날 수 있는 염기 U(유리실)을 추가한다면 현재 난이도의 수능에 등장하더라도 높은 난이도의 킬러에 속한다.)

다만... 어느 정도 사가프 법칙 문항을 접해 본 후 이 실전서를 접하고 있다면

**‘충분히 생각 후’**

해제를 보는 게 얻어가는게 많을 것으로 판단된다.

본격적으로 예제가 어려워지고 있어, 필자의 문제 풀이 순서를 서술하겠다.

+ 필자는 고난도 문항의 경우, 선지부터 관찰한다.  
(당연히 ★발문 우선이나...보통 요즘 고난도 문항에는 발문에 정보가 없다.)

구하는 바를 확실히 하고 문제로 들어갔을 때 더 시간이 단축되는 경우가 귀납적으로 많았기 때문이다.

물론 선지에서 많은 시간을 할애하지는 않고, 다음 사실들을 중심으로 본다.

### ① 독립적으로 풀 수 있는 선지인지

EX <16 6평>

ㄴ. N는 DNA의 구성 성분 중 5탄당에 존재한다 (X)

EX <20 9평 11번>

ㄱ. ㉓와 ㉔의 DNA에서  $\frac{T}{C}$ 는 서로 같다. (O)

㉓와 ㉔는 서로 복제된  
DNA 중 하나라, 염기 조성이 동일하다.

### ★② 자료에서 구해야하는 바를 파악

우리는 객관식 시험인 수능에서, 자료를 완벽하게 해석할 필요 없다. 구하는 것을 인지하고 있으면 그에 방향을 설계할 수 있고 구하는 것 위주로 풀어나가면 된다.

무작정 풀어나가는 것보다 이 과정이 훨씬 정확하게 구하는 것을 도출할 수 있으며 시간도 저절로 Save될 것이다.

(필자는 수능을 치른 해 모든 평가원 시험에서 시간이 남았으며, 전부 1등급이었다 자랑은 아니고... 틀린 방법이 아니라 나름의 근거이다.)

정리하면 고난도 문항의 경우

1<sup>st</sup> 발문 → 2<sup>nd</sup> 선지 → 3<sup>rd</sup> 자료 순서로 읽는다.

[예제 18 해설] 정답 나, 다

- ㄱ. (가)의 G 개수는 240개이다
- ㄴ. ㉠의 G+C 개수는 40개이다.
- ㄷ. ㉡의 G 개수는 60개이다.

모든 선지가 GC 조성을 파악하도록 구성되어 있다

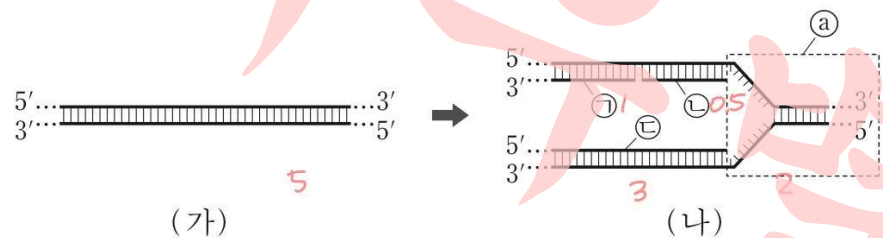
(아직 배운 내용이 비례상수 뿐이어서 그렇다. 챕터가 길어지면 해당 유형에 '프라이머의 위치'와 염기 T의 개수 vs U의 개수 비교가 선지에 추가될 것이다.) 따라서 (가), ㉠, ㉡의 GC 조성을 구해야겠다는 점을 인지하고 자료로 가자.

1<sup>st</sup> 비례상수 할당

<조건 3~5>

- ㉠(나)에서 복제되지 않은 부분의 염기 개수는 X의 염기 개수의 40%이다.
- (나)에서 ㉠의 염기 개수와 ㉡의 염기 개수의 합은 ㉢의 염기 개수와 같다.
- ㉠의 염기 개수 : ㉡의 염기 개수 = 2 : 1 이다.

(가)와 (나)의 각각의 가닥들에 다음처럼 비례상수가 할당된다.



곱상수는 100이 된다.  
 $8 \times 100 = 800$   
 비례상수  $\times$  곱상수 = 정량값

이 때, <조건 2>에서 (나)에서 염기의 개수는 800개 라는 정량값을 제시했으므로, 비례상수 8에 정량값 800이 할당된다.

2<sup>nd</sup> GC 조성 판단

## [조건 6-7]

- ㉠의 G+C 함량은 20%이고, ㉡의 G+C 함량은 80%이다.
- (가)에서 C의 함량은 24%이다.

㉠에서 GC 함량이 20%이면  
그와 상보적인 가닥에서의 GC 함량도 20%이다.

또한 ㉠과 상보적인 가닥과 ㉡은 GC에 한해서 동일한 가닥이므로  
㉡ 가닥 중 ㉠과 상보적인 부분의 GC 함량도 20%이다

마찬가지로 ㉡ 가닥 중 ㉠과 상보적인 부분의 GC 함량도 80%이므로  
㉡의 GC 함량은  $20\% \times \frac{2}{3} + 80\% \times \frac{1}{3} = 40\%$ 이다.

이 수식을 다른 관점으로 바라보자.

$20\% \times \frac{2}{3} + 80\% \times \frac{1}{3} = 40\%$  은 비중을 나타내는 식이다.

그리고 이 두 항을 하나의 항으로 합쳐서 관찰하면

$\frac{20 \times 2 + 80 \times 1}{3} \% = 40\%$ 이 되고 이는 다음과 같은 기하적 의미를 가진다.

‘20%와 80%의 1 : 2 내분점’

다른 말로 하면, 20에 2의 비중이 80에 1의 비중이 주어지기에  
20에 두 배만큼 가까워야 한다.

따라서 우리는 식이 복잡하게 출제되어도  
암산으로 파악할 수 있게 된다.

이 예제까지는

비중을 이용한 풀이, 내분점을 이용한 풀이를 모두 제시하고

앞으로 등장하는 문항들은

유기적으로 상황에 적절한 풀이를 이용하여 해설하겠다.

우리는

ㄱ 선지와 ㄴ 선지는 이미 푼 것과 다름없다.

## [Schema 8]

(상보적일 때) GC 비율 일정

G와 C는 단정적으로 상보적이  
기 때문이다.

GCATAG ∙ ∙ ㉠

CGTAUC ∙ ∙ ㉡ (AUC는 ㉠)

㉠의 GC 함량도 50%

㉡의 GC 함량도 50%

이중 가닥의 GC 함량도 50%

왜냐하면

(가)와 ㉠의 염기 개수에 대한 비례상수를 모두 구했으며

GC 함량은 문제 조건에 제시되어 있기 때문에 **계산만 하면 되기** 때문이다.

이제  $\square$  선지인 ㉠의 GC 함량만 구해내면 문제를 해결할 수 있다.

㉠의 GC 함량을  $\otimes\%$ 라고 하자.

㉠과 ㉡에 상보적인 가닥을 포함하는 이중 가닥의 GC 함량은 40%이다.

이 때, ㉠과 ㉡의 염기 개수비가 3 : 2 이고

(가)의 GC 함량이 48% 이므로

( $\because$  (가)에서 C 함량이 24%이고 이중 가닥에서는 G 개수=C 개수 이므로)

[Schema 9]

조건 번역

(가)에 대한 문제 조건은 C 함량이라고 주어졌지만, 우리가 이끌어가고 있는 건 GC 함량~~이므로~~ GC 함량으로 번역하였다.

<수식적 풀이>

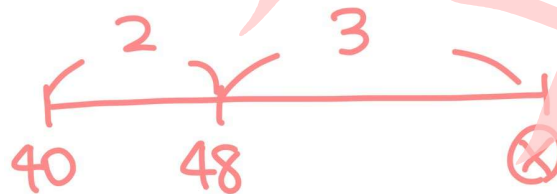
다음 식이 성립한다.

$$40\% \times \frac{3}{5} + \otimes\% \times \frac{2}{5} = 48\%$$

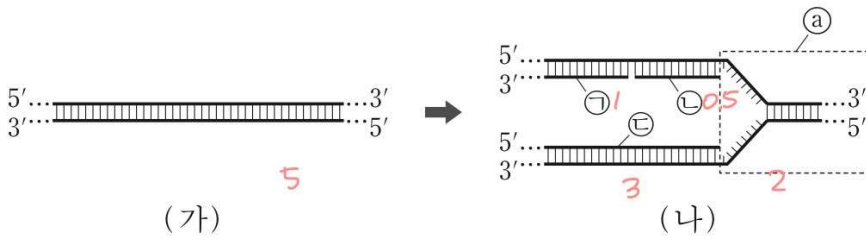
따라서  $\otimes=60$  이다.

<기하적 풀이>

이는 머리 속으로 다음과 같이 도식화된다.



따라서  $\otimes=60$  이다.



ㄱ. (가)의 G 개수는 240개이다 (X)

(가)의 비례상수는 5, 곱상수는 100이므로

(가)의 염기 개수는 500개이다

이 때, GC 함량이 48%이므로,  $G+C=240$ 개이고

G는 120개이다

ㄴ. ㉠의 G+C 개수는 40개이다. (O)

㉠의 비례상수는 0.5이므로

㉠의 염기 개수는 50이다.

㉠의 GC 함량이 80%이므로

㉠의 GC 개수는 40개이다.

ㄷ. ㉡의 G 개수는 60개이다. (O)

㉡의 비례상수는 2이므로

㉡의 염기 개수는 200개이다.

㉡의 GC 함량이 60%이므로

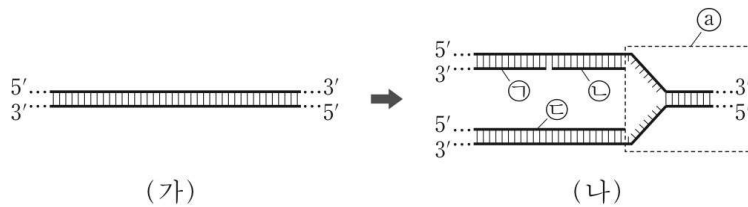
㉡의 G 함량은 30%이고 ( $\therefore$  2중 가닥)

㉡의 G 개수는 60개이다.

[예제 18 정답 ㄴ, ㄷ]

[예제 19] 다음은 어떤 세포에서 일어나는 DNA X의 복제에 대한 자료이다.

- 그림 (가)는 DNA X를, (나)는 X가 복제되는 과정의 일부를 나타낸 것이다.
- (나)에서 염기의 개수는 680개이다.
- ㉠~㉢은 새로 합성된 가닥이다.
- ㉠(나)에서 복제되지 않은 부분의 염기 개수는 X의 염기 개수의  $\textcircled{x}$ %이다.
- (나)에서 ㉠의 염기 개수와 ㉡의 염기 개수의 합은 ㉢의 염기 개수와 같다.
- ㉠의 염기 개수 : ㉡의 염기 개수 = 5 : 2 이다.
- ㉠의 G+C 함량은 20%이고, ㉡의 G+C 함량은 90%이다.
- ㉠의 C 함량은 30%이다.
- (가)에서 C의 함량은 23%이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르시오

- ㄱ. (나)의 G 개수는 148개이다
- ㄴ. ㉠의 G+C 개수는 20개이다.
- ㄷ.  $\textcircled{x}=40$  이다

[예제 19 해설] 답. 나, 다

- ㄱ. (나)의 G 개수는 148개이다
- ㄴ. ㉠의 G+C 개수는 40개이다.
- ㄷ.  $\otimes=40$  이다

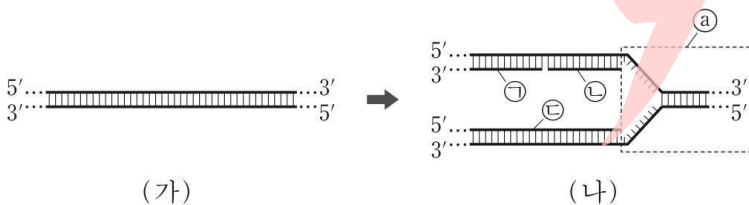
GC 조성과 염기 비율을 질문하고 있음을 알 수 있다.

염기 개수를 할당하려 해도 ㉠의 비율이  $\otimes\%$ 로 주어져 있어 불가능하다 따라서 GC 함량을 먼저 관찰하겠다.

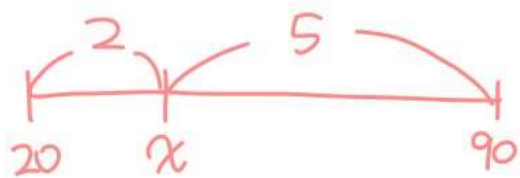
### 1st GC 함량

[조건 6~9]

- ㉠의 염기 개수 : ㉡의 염기 개수 = 5 : 2 이다.
- ㉠의 G+C 함량은 20%이고, ㉡의 G+C 함량은 90%이다.
- ㉢의 C 함량은 30%이다.
- (가)에서 C의 함량은 23%이다.



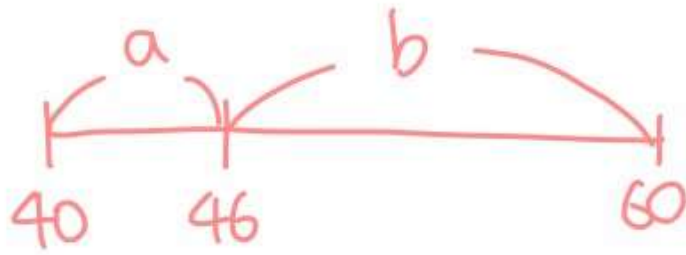
예제 9와 같은 논리로, ㉢의 GC 함량을 구할 수 있다.



따라서 ㉢의 GC 함량은 40% 이다

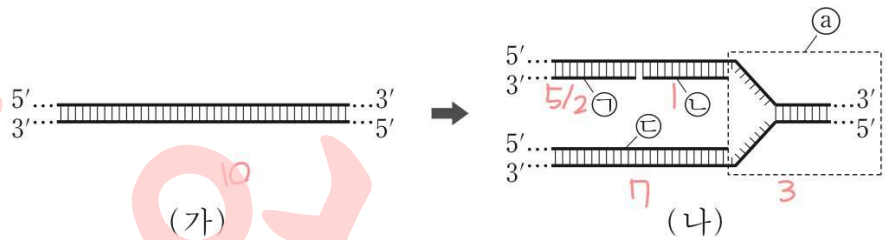
㉠과 ㉢는 2중 나선 DNA이므로, C 함량을 GC 함량으로 번역하자.  
그러면, ㉠의 GC 함량은 60%이고 (가)의 GC 함량은 46%이다.

따라서 내분점 논리로 다음과 같은 상황임을 알 수 있다.



따라서  $a : b = 3 : 7$  이므로 다음과 같이 비례상수가 할당된다.

2<sup>nd</sup> 비례상수



- ㄷ.  $\otimes=40$  아다 (X)  
 $\otimes=30$  이다.

비례상수 17에 680개가 할당되므로, 10에는 400개가,  $\ominus(5/2)$ 에는 100개가 할당된다.

- ㄴ.  $\ominus$ 의 G+C 개수는 20개이다. (O)  
 $\ominus$ 의 염기 개수는 100개이고,  $\ominus$ 의 GC 함량은 20%이므로  $\ominus$ 의 GC 개수는 20개이다.

- ㄱ. (나)의 G 개수는 148개이다 (O)  
 (나)의 GC 개수를 구하라는 말과 동치이다.  
 ① 부분의 염기 개수는 120개이고, GC 비율이 60%이므로 GC 개수는 72개이다.  
 ①을 제외한 나머지 부분은 염기가 560개이고, GC 비율이 40%이므로  
 ( $\therefore$   $\ominus$ 의 GC 비율이 40%)

①을 제외한 나머지 부분의 GC 개수는 224개이다

따라서 (나)에 존재하는 GC 개수는  $224+72=296$ 개이므로  
 (나)에 존재하는 G 개수는 148개이다.

[예제 20] 다음은 DNA X와 Y에 대한 자료이다.

- 2중 나선 DNA X와 Y는 각각 200개의 염기쌍으로 이루어져 있다.
- X는 단일 가닥  $X_1$ 과  $X_2$ 로, Y는 단일 가닥  $Y_1$ 과  $Y_2$ 로 이루어져 있다.
- X에서  $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이고, Y에서  $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{7}$ 이다.
- $X_1$ 에서 구아닌(G)의 비율은 16%이고, 피리미딘 계열 염기의 비율은 52%이다.
- $Y_1$ 에서 사이토신(C)의 비율은 30%이다.
- $Y_2$ 에서 아데닌(A)의 비율은 16%이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르시오.

- ㄱ. 염기 간 수소 결합의 총 수는 X가 Y보다 60개 적다.
- ㄴ.  $X_1$ 의 G 개수 +  $Y_2$ 의 C 개수 = 112개이다.
- ㄷ. X에서  $\frac{A}{G} = 2$ 이다.

여우별

[예제 20 해설] 답 ㄱ, ㄴ, ㄹ

ㄱ. 염기 간 수소 결합의 총 수는 X가 Y보다 60개 적다.

X와 Y의 염기 수가 동일하므로, GC 조성을 파악해야 함을 알 수 있다.

ㄴ. X<sub>1</sub>의 G 개수 + Y<sub>2</sub>의 C 개수 = 112개이다.

단일 가닥 X<sub>1</sub>과 Y<sub>2</sub>의 염기 조성을 파악해야 하고, 정확한 정량값(G 개수)를 구해야함을 알 수 있다.

[Schema 6]

단일 가닥의 염기 조성 파악

① 계열별 상보성

$A \propto T$  or  $U$

$G \propto C$

② 번역

한 가닥으로 몰아서 생각한다.  
(∴ 생각의 용이 / 시간의 단축)

(필자는 이렇게 샤가프 문항을 푸는 방식이 더 빠르고 정확한 방식으로 푸는 게 맞다.)

다만, 확립된 방법이 없으면 적혀져 있는 방식을 체화하자.

③ BT

= Base Table (염기표)

	A	T	G	C	U
X <sub>1</sub>					

위처럼 염기 조성을 나타낸 표이다.

따라서

① 계열별 상보성

② 번역.

③ BT

을 생각하자.

ㄷ. X<sub>2</sub>에서  $\frac{A}{G} = 2$ 이다.

ㄴ과 동일하다.

문제에서 구해야 하는 바를 인지했으니, 자료를 해석하자.

1<sup>st</sup> 계열별 비율 파악

[조건 3]

X에서  $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 이고, Y에서  $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{7}$ 이다.

[Schema 7]

정체성 파악

X와 Y가 순수한 DNA인지, 복제 중인 DNA인지 판단해야 한다.

들어있는 염기의 종류가 달라  $\frac{A+T}{G+C} = k$  조건의 해석 방식이 달라진다.

X와 Y는 모두 DNA 2중 나선이므로,  $\frac{A+T}{G+C} = \frac{3}{2}$ 에서 A+T와 G+C 각각의 비율을 판단할 수 있다.

X의 GC 비율이 40%, Y의 GC 비율은 70%임을 위 <조건 3>에서 알 수 있다.  
(∴ GC 비율 First 정량값 필요시에 / GC First AT는 자동 결정)

2<sup>nd</sup> 단일 가닥 조성 파악

[조건 4]

X<sub>1</sub>에서 구아닌(G)의 비율은 16%이고, 피리미딘 계열 염기의 비율은 52%이다.

위 조건에서 단일 가닥 X<sub>1</sub>의 BT를 그리면 다음과 같다.

	A	T	G	C
X <sub>1</sub>	32	28	16	24

(∵ GC 비율 40%이므로, C는 24%이고 피리미딘 계열 염기의 비율이 52%이므로 T는 28%)

<조건 5>

Y<sub>1</sub>에서 사이토신(C)의 비율은 30%이다.

위 조건에서 단일 가닥 Y<sub>1</sub>의 BT를 그리면 다음과 같다.

	A	T	G	C
Y <sub>1</sub>			40	30

(∵ GC 비율 70%)

총 염기 수가 같을 때  
수소 결합 수 차이  
= GC bp 차이

<조건 6>

Y<sub>2</sub>에서 아데닌(A)의 비율은 16%이다.

위 조건에서 나머지 BT를 채우면 다음과 같다.

	A	T	G	C
Y <sub>1</sub>	14	16	40	30

(∵ Y<sub>2</sub>의 A 비율이 16% → Y<sub>1</sub>의 T 비율이 16% = 번역)

Y<sub>2</sub>의 C 개수는  
Y<sub>1</sub>의 G 개수로 번역하여 생각

한 단일 가닥의 비례상수의 합은 100이고

한 단일 가닥의 염기 개수는 200개이므로

한 단일 가닥의 곱상수는 2이다

비례상수 × 곱상수 = 정량값

×2	A	T	G	C
X <sub>1</sub>	32	28	16	24
Y <sub>1</sub>	14	16	40	30

ㄴ. X<sub>1</sub>의 G 개수 + Y<sub>2</sub>의 C 개수 = 112개이다. (O)  
32+80=112개

ㄱ. 염기 간 수소 결합의 총 수는 X가 Y보다 60개 적다. (O)

X는 Y보다 GC bp가 30만큼 적다 (비례상수)

이 때, 정확한 개수는 GC bp가 60만큼 적으므로 (정량값)

ㄷ. X<sub>2</sub>에서  $\frac{A}{G} = 2$ 이다. (X)

수소 결합 총 개수는 X가 Y보다 60개 적다.

X<sub>1</sub>에서  $\frac{T}{C} = \frac{7}{6}$ 이므로 X

바뀌 말하면, AT 조성의 경우 변할 수 있다.

필자가 예제 17, 18, 19의 선지를 GC 계열 위주로 설정한 이유이다.

AT 조성은 U의 조성에 따라 영향을 받기에 어려운 선지가 된다.

[Schema 3]

GC 비율 First

GC 조성은 상보적인 가닥, 동일한 가닥, 유사한 가닥, 원가닥과 상보적인 가닥으로 구성된 2중 가닥에서 변하지 않는다.

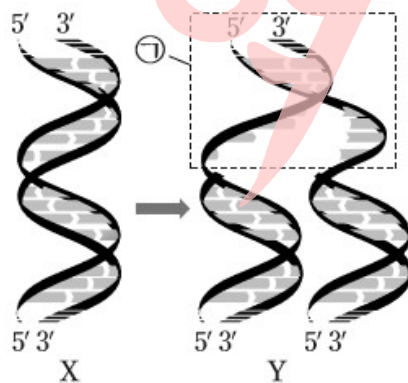
물론 ATU 조성도 변하지 않으나, T나 U의 불확실성 때문에 GC 조성을 먼저 생각하고 여사건으로 ATU 조성을 생각하는 게 바람직하다.

$$\frac{A+T}{G+C} = \textcircled{\times} \text{ 꼴을 파악할 때}$$

분모의 GC 조성을 통해 나머지 AT 조성을 파악하는 게 바람직하다.

AT 조성은 U의 조성에 따라 영향을 받기 때문이다.

[예제 21] 그림은 대장균의 DNA X가 복제되는 과정의 일부를 모식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 Y는 X가 50% 복제되었을 때의 DNA이다. 표는 Y의 특성을 나타낸 것이다

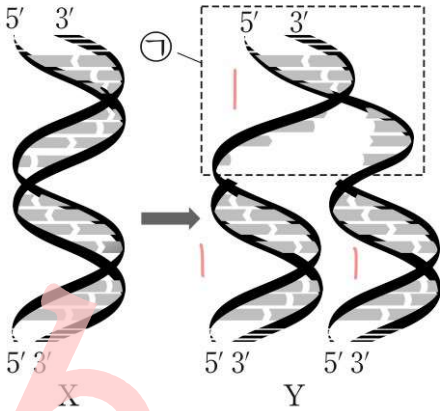


○Y를 구성하는 뉴클레오타이드는 모두 2400개이다.  
 ○Y에서 새로 합성된 DNA 가닥의 G+C 함량은 35%이고, Y에서 복제되지 않은 부분 ①의 G+C 함량은 45%이다.

X의 G+C 개수는?

[예제 21 해설] - 답 640개

비례상수를 할당하면 다음과 같다.



DNA 복제가 일어나면, 똑같은 염기 비율을 가진 DNA가 생성되므로 새로 합성된 DNA 가닥의 GC 함량이 35%이면, 기존 DNA 가닥의 GC 함량도 35%이다.

DNA X는

GC 함량이 35%인 부분의 염기 개수 : GC 함량이 45%인 부분의 염기 개수 = 1:1  
이므로

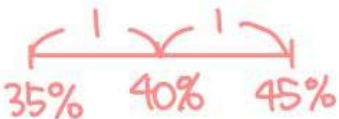
DNA X의 GC 함량은 40%이다.

<복습>

수식적

$$35\% \times \frac{1}{2} + 45\% \times \frac{1}{2} = 40\%$$

기하적



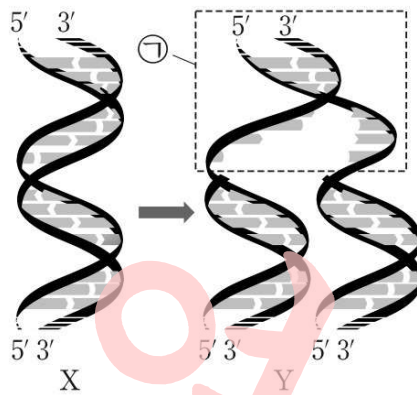
X의 총 염기 수 : Y의 총 염기 수 = 2 : 3 이므로 (:: 비례상수 할당)  
X의 총 염기 수 = 1600(개) 이다.

따라서 X의 G+C 개수는 1600(개)×40%=640(개) 이다.

[예제 22] 그림은 대장균의 DNA X가 복제되는 과정의 일부를 모식적으로 나타낸 것이다. 그림에서 Y는 X가 ⑩% 복제되었을 때의 DNA이다. 표는 Y의 특성을 나타낸 것이다

쉬워보이지만  
필자가 추측하기엔  
충분히 출제될 수 있고  
고난도 문항이라 생각한다.

- Y를 구성하는 뉴클레오타이드는 모두 320개이다.
- Y에서 새로 합성된 DNA 가닥의 A+T 함량은 60%이고, Y에서 복제되지 않은 부분 ㉠의 A+T 함량은 20%이다.
- Y에서 U(유라실)의 개수는 24개이다.
- X에서 A+T 함량은 50%이다.



⑩ 값은?

개인적으로 지금까지 등장한 예제 중 처음 접했다면 가장 수리적으로 어려운 문제가 아닌가 싶다. (하지만 아직 난이도 中...)

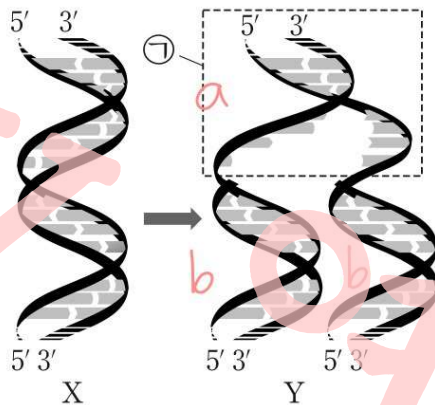
주어진 조건을 잘 연립해서, 구하는 바를 도출해야 하고...

이는 [schema 9] 조건을 한 가닥 혹은 한 계열로 번역하라.

와 일맥상통하다.

필자는 모든 조건을 U의 비율로 번역하여 풀었다.

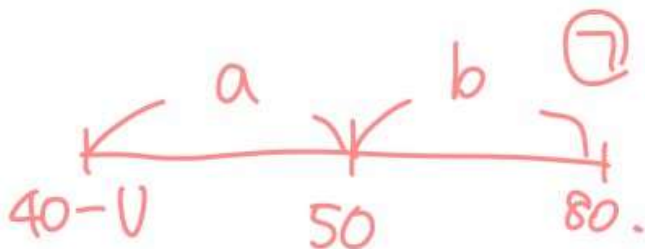
우선 상황을 관찰하기 위해 복제되지 않은 부분 ㉠의 염기에 관한 비례상수를 a, 새로 합성된 가닥의 염기에 관한 비례상수를 b로 설정하였다.



U의 비율을 미지수 U로 두겠다.

- Y에서 새로 합성된 DNA 가닥의 A+T 함량은 60%이고, Y에서 복제되지 않은 부분 ㉠의 A+T 함량은 20%이다.
- X에서 A+T 함량은 50%이다.

그리고 기하적 관점을 활용하여 상황을 관찰하면 다음과 같다.



(∵ ㉠의 A+T가 20%이므로, G+C는 80%이다.)

(∵ 새로 합성된 부분의 A+T가 60%이나, 새로 합성된 부분에는 U의 비율이 U% 존재하므로 G+C의 비율은 40-U% 이다)

(∵ 연습해 온 바에 의하면 X의 GC 비율 50%는 40-U%와 80%의 a : b 내분점이다.)

수학 서적 쓰는 것 같누...

상황이 복잡하니 구하는 것을 관찰하자.

구하는 것은 X가 ⑩% 복제되었는지를 질문하고 있다.

이는, 비례상수의 정확한 값이 아닌 a와 b의 비, 즉  $\frac{a}{b}$ 에 대해 질문하는 상황임을 알 수 있다.

사용하지 않은 조건에는 다음 조건들이 있다.

- Y를 구성하는 뉴클레오타이드는 모두 320개이다.
- Y에서 U(유라실)의 개수는 24개이다.

우선, 유라실은 새로 합성된 DNA 가닥 부분에 존재한다.

즉,  $320 \times \frac{2b}{a+2b}$  개 중, U% 만큼이 U(유라실) 24개인 것이다.

$$\therefore 320 \times \frac{2b}{a+2b} \times \frac{U}{100} = 24$$

$$U = \frac{15a}{4b} + \frac{15}{2} \dots \textcircled{A}$$

이제, 아까 내분점으로 상황 파악한 것을 위 식과 연립하기 위해 수식으로 나타내보자.

$$(40 - U) \times \frac{b}{a+b} + 80 \times \frac{a}{a+b} = 50$$

$$\Rightarrow 30a = 10b + Ub$$

$$\Rightarrow U = \frac{30a}{b} - 10 \dots \textcircled{B}$$

드디어 구하고자 하는  $\frac{a}{b}$ 에 관한 두 식이 도출되었다.

③과 ⑥을 연립하자.

$$U = \frac{15a}{4b} + \frac{15}{2} = \frac{30a}{b} - 10$$

$$\Rightarrow \frac{35}{2} = \frac{105a}{4b}$$

$$\therefore a : b = 2 : 3$$

따라서 ⑩=60 이다.

너무 수리적으로 과한 면이 있다.

하지만, 복제 중인 DNA와 연관짓지 않고, 순수하게 샤가프 문항이 고난도로 출제되었을 때를 대비한 모래주머니 효과라고 생각하자!!

## [Schema 4]

## 이중 가닥 First

단일 가닥과 이중 가닥이 동시에 주어지면, 이중 가닥부터 관찰하는게 좋다.

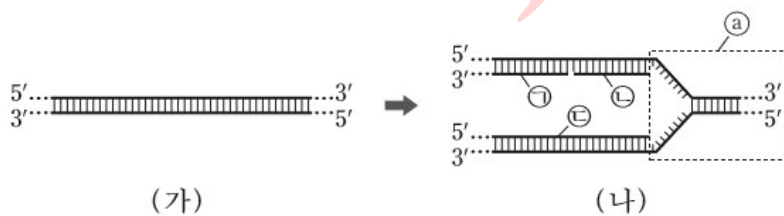
왜냐하면, 단일 가닥은 단일 가닥 내 염기 간 규칙성이 없으나 이중 가닥은 샤가프 법칙이 성립하기 때문이다.

실사 복제 중인 2중 가닥이더라도,  $A=T+U / G=C$  가 성립한다.

## [예제 23 - 18 9평 변형]

다음은 어떤 세포에서 일어나는 DNA 복제에 대한 자료이다

- 그림 (가)는 X를, (나)는 X가 복제되는 과정의 일부를 나타낸 것이다. X는 1000개의 염기쌍으로 이루어져 있다.
- ㉠~㉢은 새로 합성된 가닥이고, ㉣의 염기 개수는 X의 염기 개수의 30%이다
- (나)에서 ㉠의 염기 개수와 ㉡의 염기 개수의 합은 ㉣의 염기 개수와 같고, 상보적인 가닥과 수소 결합의 개수는 ㉠에서가 ㉡에서보다 많다.
- ㉠~㉣의 말단에는 ㉤개의 한 종류의 뉴클레오타이드로 구성된 동일한 프라이머가 존재한다.
- 다음은 ㉠~㉣, ㉤에서의 염기 조성을 나타낸 것이다. ㉠~㉣, ㉤는 각각 I~IV 중 하나이다.



구분	염기의 개수				
	A	T	G	C	U
I	70	20	㉖	100	?
II	?	?	150	㉗	?
III	㉘	30	60	?	?
IV	110	60	㉙	140	?

다음 물음에 답하시오.

- ㉖+㉗+㉘+㉙의 값은?
- ㉠에서 U의 비율은?
- ㉡에서 G+C 비율은?

[예제 23 해설] - 답. ㄱ. 510 / ㄴ. 10% / ㄷ. 60%

선지를 보면

U가 존재함을 알 수 있다. (0%일수도 있으나 그러면 문제로 안내지)

원래 힌트를 주고 싶지 않았으나

그러면 실전문제지 예제가 아니기에, 표에도 친절하게 U의 비율을 제시하였다.

1<sup>st</sup> 이중 가닥 파악

이중 가닥 부분(㉔)에서는  $A=T / G=C$  가 성립하며, 퓨린 계열 염기 = 피리미딘 계열 염기가 성립한다.

· ㉔의 염기 개수는 X의 염기 개수의 30%

조건에 의해, ㉔는 X의 염기 개수의 40%임을 알 수 있고 800개의 염기로 구성되어 있음을 파악할 수 있다.

이 때,  $A=T / G=C$ 를 만족하면서  $A+T+G+C=800$ 을 만족할 수 있는 것을 찾으면 구분 II 뿐이다.

구분 II의 염기 조성은 다음과 같다.

(∵ ㉔는 복제가 일어나지 않은 부분이므로 U가 존재할 수 없다)

구분	염기의 개수				
	A	T	G	C	U
II=㉔	250	250	150	150	0

∴ ㉔ = 150

2<sup>nd</sup> 단일 가닥 염기 조성 파악

단일 가닥의 염기 조성은 다음과 같이 언급한 바 있다.

[Schema 6]

① 계열별 상보성 (1<sup>st</sup> GC 상보성 ⇒ 2<sup>nd</sup> ATU 상보성) [Schema 3] GC 우선 생각

② 번역

③ BT (Base Table)

BT는 이미 문제에 주어져 있고, 한 가닥으로 몰아서 (번역) 생각하기에는 ㉔과 ㉔ 두 가닥으로 나뉘어져 있어 복잡하다.

따라서 필자는 주어진 BT를 활용하여 계열별 상보성을 따지겠다는 생각을 했다.

오른쪽과 같이 Schema를 베이스로 생각하라는 거지 무조건 다 쓰자! 이런 의도로 서술한 게 아니다.

일단 연장 도구함을 준비해두고 필요한 연장을 적재적소 상황에 맞게 사용하자는 마인드가 적절하다.

도구가 없으면 애초에 해결을 못하잖아

2<sup>nd</sup> - ① GC 상보성

구분	염기의 개수				
	A	T	G	C	U
I	70	20	①	100	?
III	②	30	60	?	?
IV	110	60	③	140	?

①+② 가닥은 ③ 가닥과 상보적이다.

즉, ①+② 가닥의 G 개수는 ③ 가닥의 C 개수이다.

그 반대도 마찬가지이다.

우리는 ①+② 가닥을 한번에 관찰하기 쉽지 않다.

그래서 ③ 가닥을 먼저 찾으려 한다.

이는 ATU는 TU를 한번에 관찰하기 어려우니 A를 생각하고, 여사건으로 TU를 생각 하자는 다음 Schema 5와 일맥상통하다.

마찬가지로 ATU는 A=T+U를 관찰해야 하니, 상보적인 염기가 1개로 단정적인 GC를 먼저 관찰하자는 Schema 3과도 접점이 있다.

(이러한 **생각의 촉발**은, 궁극적으로 고난도 문항의 빠르고 논리적인 해결로 이어진다. 지금까지의 예제는 쉬워서 행동영역을 잘 적지 않았으나 실전문제나 위와 같이 어려운 예제들에는 행동영역도 세심히 서술하겠다.

Schema와 행동영역(Schema의 도출 원리) 부분에 주목하여 해설을 체화하면, 어떤 등급의 학생도 언어갈 점이 있으리라 생각한다.)

GC 상보성을 통해 ③ 가닥과 연관지을 수 있는 점은

'III은 ③ 가닥이 될 수 없다' 라는 것이다

왜냐하면 III이 ③ 가닥이려면

III의 G 개수 = I의 C 개수 + IV의 C 개수 가 성립해야 하는데

$60 \neq 100+140$  이기 때문이다.

더 이상 얻을 수 있는 정보가 없으니 다음 계열로 넘어가자.

2<sup>nd</sup> - 2<sup>nd</sup> ATU 상보성

구분	염기의 개수				
	A	T	G	C	U
I	70	20	㉞	100	?
III	㉠	30	60	?	?
IV	110	60	㉡	140	?

ATU 상보성을 통해 ㉡ 가닥과 연관지을 수 있는 점은  
'은 ㉡ 가닥이 될 수 없다' 라는 것이다

왜냐하면 I이 ㉡ 가닥이라면

I의 A 개수 = III의 T 개수 + III의 U 개수 + IV의 T 개수 + IV의 U 개수  
가 성립해야 하는데

$70 \neq 30+k+60+k$  이기 때문이다.

따라서 I과 III이 ㉡ 가닥이 될 수 없으므로 IV가 ㉡ 가닥임을 알 수 있다.

또한 ㉡ 가닥의 염기 개수는 600개로 문제에 제시되어 있으므로

㉡는 IV의 U의 개수를 구하면 자동으로 도출됨을 알 수 있다.

U의 개수를 구해야 하니 U의 개수를 ㉢라고 하자.

그러면 다음과 같은 식들이 성립한다.

실제로는 이걸 일일이 적는게  
아니라 BT에 수치를 표기하는  
식으로 풀어내야 한다

책에 서술해야해서 이런 방식  
으로 적는거지 실제로 이렇게  
수식을 적어가며 풀면 시간 내  
로 불가능하다.

관련 Schema을 생각하며 BT  
에 직접 적어야 한다.

[GC 상보성]

$$\text{㉡}+60=140 \dots \text{㉠}$$

$$100+(\text{III의 C의 개수})=\text{㉡} \dots \text{㉡}$$

[ATU 상보성]

$$110=20+\text{㉢}+30+\text{㉢} \dots \text{㉢}$$

$$70+\text{㉠}=60+\text{㉢} \dots \text{㉣}$$

$$\text{㉠에서 } \text{㉢}=80$$

$$\text{㉢에서 } \text{㉢}=30$$

이 때, ㉢=30이면 IV에서의 G 개수 즉, ㉡가 결정된다.

㉡ 가닥의 염기 개수는 600개이므로 ㉡=260이다

㉣에서 ㉢=30이므로 ㉣=20이다.

㉡에서 ㉡=260이므로 (III의 C의 개수)=160이다. 이를 BT에 채워 완성하면 다음과 같다.

구분	염기의 개수				
	A	T	G	C	U
I	70	20	80	100	30
㉠	250	250	150	150	0
III	20	30	60	160	30
㉡	110	60	260	140	30

· 상보적인 가닥과 수소 결합의 개수는 ㉠에서가 ㉡에서보다 많다.

I과 III은 염기 개수가 300개씩으로 동일한 것을 눈대중으로 알 수 있다.

혹여 왜 갑자기 염기 개수를 썼는지 의아해 할 수 있으니  
다시 한번 수소 결합 조건 & 선지의 해석 순서를 언급하겠다 (너무 오래전 Page라...)

[수소 결합 총 수 판단 정리]

### 1<sup>st</sup> 염기 수 판단

비교하려고 하는 I과 III의 의 염기가 같은지 다른지 파악한다.  
염기 수가 주어지지 않았으면 1번째 관점일 가능성이 높다.

### 2<sup>nd</sup> 관점 선택

염기의 수가 같으면, 압도적으로 GC 조성(두번째 관점)이 편리하며  
염기의 수가 다르면, 자료에서 주어지는 것에 따라 방향이 결정된다.

최근 4년간 수능 시험에서는  
'염기의 수가 같은 상황'이 출제되었다.

즉, 시간을 Save할 수 있는 여지를 주어왔다.  
바르게 풀면 수능 생명과학은 시간이 남는 시험이다.

따라서 우리는 GC 조성이 높은 III이 수소 결합 수가 많음을 바로 알 수 있다.

따라서 III이 ㉠, I이 ㉡이다.

ㄱ. ㉠+㉡+㉢+㉣의 값은? 510

ㄴ. ㉠에서 U의 비율은?

300개 중 30개이므로 10%

ㄷ. ㉡에서 G+C 비율은?

300개 중 180개이므로 60%

## [Schema 5]

이중 가닥인 경우, ATU 계열 중 A의 개수는 절반이다.

이중 가닥에서  $A=T+U$  개수가 성립한다.

이 때, T는 항상 A와 상보적이고 U는 항상 A와 상보적이다.  
 즉, T 개수를 x개라 하면 그에 상보적인 A 개수도 x개이고  
 U 개수를 y개라 하면 그에 상보적인 A 개수도 y개이다.

또한, 이중 가닥 내에서 모든 A는 T or U와 상보적 결합을 구성하고 있으므로 A는 전체 염기  $2x+2y$ 개 중  $x+y$ 개만큼 존재한다.

즉, ATU 계열 중 절반만큼 존재한다.

위의 예제까지는 보통 G나 C의 개수, GC 조성을 많이 질문했으나 (아직, [Schema 5]를 안해서 그렇다. 이제 막 넣을 예정)

보통 평가원 문항이나 교육청 문항에서는 T의 개수나 U의 개수를 질문한다.

ATU 계열의 염기 개수의 절반이 A의 개수임을 이용하면 여사건을 이용해 T나 U의 개수를 도출할 수 있다.

[Schema 3, 4, 5]를 종합하면 다음과 같은 생각 순서가 나온다.

## [염기 조성 판단]

1<sup>st</sup> 이중 가닥 → 2<sup>nd</sup> 단일 가닥

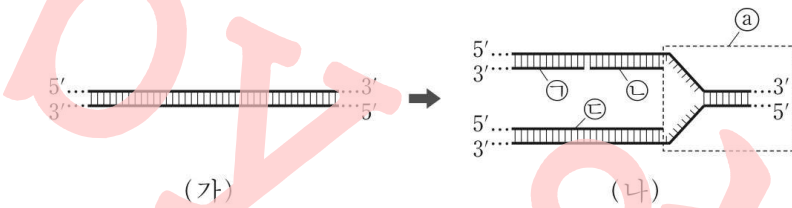
이중 가닥의 염기 조성을 생각할 때

1<sup>st</sup> GC 조성 → 2<sup>nd</sup> ATU 중 A → 3<sup>rd</sup> 여사건 활용 T or U

[예제 24 - 예제 19번 변형]

다음은 어떤 세포에서 일어나는 DNA X의 복제에 대한 자료이다.

- 그림 (가)는 DNA X를, (나)는 X가 복제되는 과정의 일부를 나타낸 것이다
- (가)에서 염기의 개수는 1000개이다.
- ㉠~㉣은 새로 합성된 가닥이다.
- ㉠(나)에서 복제되지 않은 부분의 염기 개수는 X의 염기 개수의 ㉡%이다.
- (나)에서 ㉠의 염기 개수와 ㉢의 염기 개수의 합은 ㉣의 염기 개수와 같다.
- ㉠의 염기 개수 : ㉢의 염기 개수 = 1 : 2 이다.
- ㉠의 G+C 함량은 20%이고, ㉢의 G+C 함량은 80%이다.
- ㉠의 C 함량은 5%이다.
- (가)에서 C의 함량은 20%이다.
- (나)에서 유라실(U)의 개수는 20개이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르시오

- ㄱ. (나)의 T 개수는 400개이다
- ㄴ. ㉠의 G+C 개수는 20개이다.
- ㄷ. ㉡=40 이다