

# 遺傳子에 관한 50가지 기초지식 설계도에 따른 단백질 합성

가와카미 마야사 지음  
박 경 숙 옮김

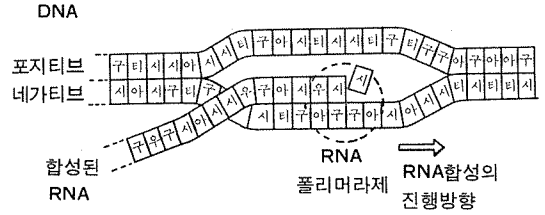
## ◇ 설계도의 복사→RNA

빌딩을 신축하거나 공장에서 제품을 만들 경우에는 직접 설계도를 건축 현장이나 작업장에 가지고 가서 작업을 하는 것은 아니다. 다시 말해 설계도의 복사판을 만들어 현장이나 작업장에 보내며 그것에 따라 건축이나 제조가 시작 되는 것이 보통이다.

DNA도 세포에게는 돌도 없는 중요한 설계도이기 때문에 함부로 나돌아다니지 않게 핵 속에 소중히 간직된다. 그때 그때에 필요한 부분, 즉 필요한 유전자 DNA의 암호문만이 복사되어 단백질을 합성하는 장소에 보내지고, 이 복사 판에 상응한 아미노산 배열이 결정되어 단백질 합성이 이루어지게 되는데, 이 설계도의 복사판에 해당되는 것이 「RNA」이다. 이 「RNA」는 핵에서 단백질 합성 장소로 유전암호의 메시지를 운반하는 역할을 하므로 「메신저 RNA」라 불리우고, 「mRNA」라는 약자로 표기되고 있다.

RNA의 암호문에 DNA의 염기인 티민(T) 대신 우라실(U)이 사용되며, 그 밖에는 DNA와

같다(그림 5·2). 즉, DNA의 암호문 「아·티·구·시·티·구·아」는 RNA에서는 「아·우·구·시·구·아」라는 문장으로 변환된다. 이와 같이 DNA의 암호문을 RNA로 복사하는 것을 「전사(轉寫)」라고 한다. 전사에는 주형이 되는 DNA 말고도 RNA 합성효소가 필요하다. 또 A·U·G·C의 각각에 3개의 인산과 당이 결합된 것이 RNA의 재료가 된다(그림 7-1).



〈그림 7-1〉 RNA의 합성: 주형 DNA의 일부분이 열려 그곳에 RNA폴리머라제가 결합하여 네가티브사슬 DNA 위를 이동하면서, 이 DNA에 대응하는 뉴클레오티드를 가지고 온다. 즉 RNA사슬을 합성한다. 완성된 RNA는 포지티브사슬 DNA와 같은 뉴클레오티드 배열(단, 티민 대신 우라실이 사용된다)을 가진 것이 된다. 이것이 유전자의 복사로서 단백질 합성에 사용 된다.

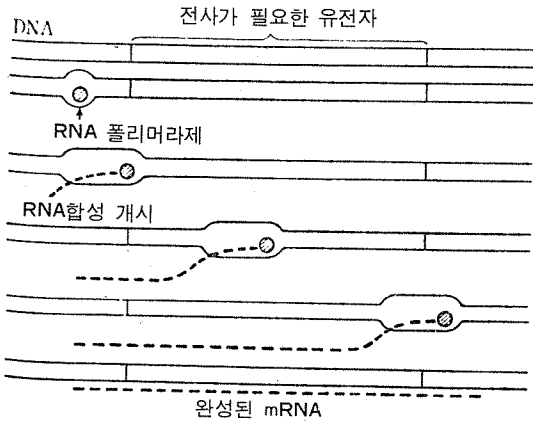
우선, 전사를 필요로 하는 부분의 DNA에는 「RNA 합성효소」가 결합하는데, 그 장소는 암호문의 첫 문자가 위치하는 곳보다 약간 앞쪽에 위치하게 된다(그림 7-2). 이 효소는 DNA사슬 위를 미끄러지듯 이동해 가면서 재료인 뉴클레오티드 3인산을 연결시킨다.

이때는 주형이 되는 DNA사슬의 뉴클레오티드에 꼭 대응하는 뉴클레오티드를 만들어 연결시키는 작업이 이루어진다. 그것은 겹사슬 DNA의 「뉴클레오티드 대응칙」과 거의 같으나 T(티민) 대신에 U(우라실)가 쓰여지는 점이 다르다. 즉, 다음과 같이 전사가 이루어진다.

DNA		RNA
아	→	우
티	→	아
구	→	시
시	→	구

RNA 합성효소는 DNA사슬 위의 전사가 끝나는 점까지 이동한 후 그 완성된 RNA와 같이 D

NA사슬을 떠난다. 이렇게하여 전사는 끝나게 된다.



〈그림 7-2〉 mRNA는 DNA를 주형으로 하여 합성 된다.

〈그림 7-2〉에서와 같이, RNA는 DNA의 네가티브사슬을 주형으로 하여 합성되는데, 완성된 RNA의 뉴클레오티드 배열은 결과적으로 포지티브사슬 DNA의 뉴클레오티드 배열에 해당하게 된다.

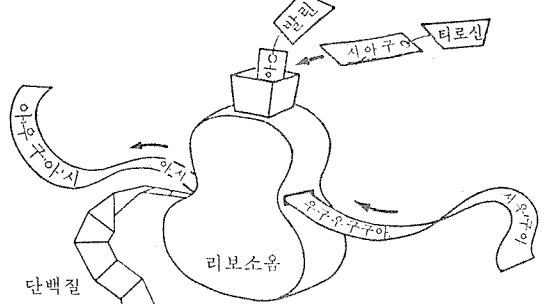
우리 세포안의 가늘고 긴 DNA사슬 위에는 거의 100만 개의 유전자가 존재하지만, 그 모두가 복사되는 것이 아니며, 각각의 세포에 필요한 부분만이 선택적으로 복사되어 그 복사된 것을 바탕으로 하여 단백질이 만들어지고 있다. 어떻게 하여 유전자의 필요한 부분만이 선택되고 있는가는 분자생물학의 흥미로운 분야의 하나인데 이것에 대하여 제4장에서 설명하겠다.

## ◇ 단백질 합성

세포공장 속에서는 당의 분해라든가 아미노산의 합성이라는 따위의 비교적 저분자 제품에 대한 작업은 각각 전문적으로 담당하는 효소라는 로봇트에 의해 행하여지고 있다. 이것에 비해 로봇트 자체의 조립, 즉 단백질의 합성은 그리 간단하지가 않다. 단백질을 합성하려면 「리보솜」이라는 대형 공장기계 이외에도 몇 가지 효소의 협조가 필요하다. 대형 공장기계(리보솜)는 3종류의 RNA와 50여 종류의 단백질로 돼있어

RNA 테이프의 암호 해독장치와 그 암호에 대응하는 아미노산을 배열하여 연결하는 장치를 갖고 있다(그림 8-1).

그 장치에 RNA테이프의 한쪽 끝이 삽입되면 장치는 거기서부터 차례로 테이프의 암호를 읽어 가고, 테이프는 이동하여 장치의 다른쪽 끝으로 나가게 된다. 장치가 「아·우·구」라는 암호를 읽으면 여기에서부터 폴리펩티드의 합성이 시작된다. 그 이후에는 3개의 문자를 한 단위로 하여 한 암호를 해독하고, 그것에 해당하는 아미노산을 배열하여 연결한다. 〈표 8-1〉은 어떤 암호(뉴클레오티드의 배열)가 어떤 아미노산을



〈그림 8-1〉 단백질의 합성

지정하는가를 나타내고 있다. RNA 테이프가 3 문자씩 이동할 때마다 1개의 아미노산이 연결되어 계속 펩티드 사슬은 길어지게 되며, 장치가 RNA의 「우·아·구」라는 암호를 읽으면, 단백질의 합성이 끝나고 펩티드 사슬은 합성기에서 떨어져서 1개의 폴리펩티드가 완성된다. 이 펩티드가 몇 개 모여서 1개의 단백질, 즉 공장 로봇트가 완성된다. 〈그림 8-2〉에 mRNA의 암호와 아미노산의 관계를 보였다.

그런데, 아미노산은 자신이 직접 리보솜으로 오는 것은 아니다. 「transfer RNA」(tRNA)라는 운반자가 있어, 아미노산은 이것과 결합함으로써 mRNA의 암호가 있는 곳까지 운반된다(그림 8-3).

tRNA에도 여러가지 종류가 있어서 각각의 아미노산은 특정한 tRNA에만 결합할 수가 있다. 예를 들면, 메티오닌이라는 아미노산은 그것의 전용 tRNA에만 결합한다. 이 tRNA에는 특별한 3개의 뉴클레오티드인 「우·아·시」가 배열되

〈표 8-1〉 암호표 : 3 개의 뉴클레오티드가 1종류의 아미노산을 지정하는 암호를 나타낸다. 3개중 제1의 뉴클레오티드는 좌단의 난에 표시되어 있고, 제2의 것은 상단에 횡으로 배열되어 있고, 3 번째 것은 우단에 배열 되어 있다. 예를 들면 제1,2,3 뉴클레오티드를 시아구라고 하면 그것은 중양의 글루타민에 해당한다. 즉 시아구 암호는 글루타민이라는 아미노산을 지정하고 있다. •은 mRNA의 종지점을 의미하는 암호이다.

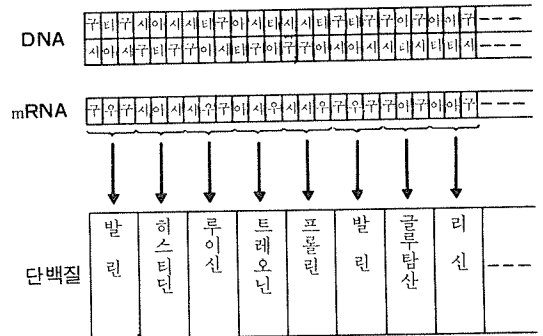
제1	제 2			제3	
	우	시	아		
우	케닐알라닌	세린	티로신	시스테인	우
	케닐알라닌	세린	티로신	시스테인	시
	루이신	세린	• 종지점	• 종지점	아
	루이신	세린	• 종지점	트립토판	구
시	루이신	프롤린	히스티딘	아르기닌	우
	루이신	프롤린	히스티딘	아르기닌	시
	루이신	프롤린	글루타민	아르기닌	아
	루이신	프롤린	글루타민	아르기닌	구
아	이소루이신	트레오닌	아스파라긴	세린	우
	이소루이신	트레오닌	아스파라긴	세린	시
	이소루이신	트레오닌	리신	아르기닌	아
	메티오닌 (개시점)	트레오닌	리신	아르기닌	구
구	발린	알라닌	아스파라긴산	글리신	우
	발린	알라닌	아스파라긴산	글리신	시
	발린	알라닌	글루탐산	글리신	아
	발린 (개시점)	알라닌	글루탐산	글리신	구

어 있는데, 이것은 mRNA 위의 메티오닌용 암호인 「아·우·구」에 대응하도록 배열된 것이다. 그래서 메티오닌을 가진 tRNA는 mRNA의 「아·우·구」의 장소에 메티오닌을 운반하게 되는 것이다.

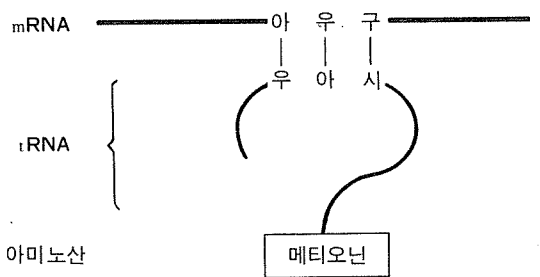
바꾸어 말하면 tRNA는 각각의 아미노산을 운반하기 위한 「화물표」와 같은 것으로, 그 화물표 위에는 아미노산이 보내어질 곳의 주소가 3 문자로 쓰여 있어, 그 주소에 따라 mRNA 위의 특정한 위치에서 아미노산을 틀림없이 운반하는 역할을 하고 있다.

이제, 리보솜의 작용으로 이야기를 돌려보

자. mRNA의 한쪽 끝이 리보솜에 붙어서 미끄러지듯이 이동하기 시작하면, 이윽고 「아·우·구」의 암호가 리보솜에 미끄러져 들어온다. 세포 속에는 각각 특정 아미노산을 결합한 tRNA가 기다리고 있는데 「아·우·구」의 암호가 리보솜에 오게 되면, 그것에 대응되는 뉴클레오티드 배열인 「우·아·시」를 가진 tRNA가 리보솜에 들어와 고정된다. 그 tRNA에는 메티오닌이 연결되어 있으므로 메티오닌이 리보솜으로 동시에 운반된다. mRNA가 3문자 몫을 이동하고, 다음에 「구·티·구」의 암호가 리보솜에 들어오면 그것과 대응하는 tRNA가 발린을 리보솜으로 운반한다. 처음의 메티오닌과 뒤의 발린은 리보솜 내의 효소에 의하여 연결된



〈그림 8-2〉 mRNA의 암호(코돈)와 아미노산



〈그림 8-3〉 tRNA와 mRNA의 뉴클레오티드 대응 : 메티오닌을 운반하는 tRNA의 사슬에는, 뉴클레오티드 배열로 우아시가 있고, 이것은 mRNA 위에 배열하는 아우구에 대응하기 때문에, 아우구가 리보솜 위에 오면 그 장소에 결합한다. 이 tRNA 사슬의 한가닥 끝에는 메티오닌이 결합하여 있으므로, 결과적으로는 메티오닌을 리보솜에 운반하게끔 된다.

다. 다시 mRNA의 이동에 의하여 암호가 바뀌어지고, 역시 그것에 대응하는 tRNA가 다른 아미노산을 운반해 들인다 그리고 그 아미노산은 메티오닌·발린 다음에 연결된다. 이와 같이 하여 mRNA의 3문자 암호에 대응하는 아미노산이 차례로 연결되어, 길다란 폴리펩티드사슬이 되어 단백질의 합성이 완료된다(그림 8-2)

### ◇ 단백질과 RNA는 소모품

종이컵이나 종이접시 등을 비롯한, 한 번 쓰고 버리는 식기나 일용품은 이제는 생활에 없어서는 안될 물건이 되었다. 앞으로는 가구나 주거까지도 사용 후 버리게 되는 생활방식이 나타나리라고들 한다. 장차 어떤 시대를 맞이 하게 될 것인지 가히 상상조차 할 수 없다. 그런데 생물은 수 억년 전부터 한 번 쓰고는 버리는 방식을 널리 채용하여 왔다. 우리는 몸에 필요한 물건을 나날이 섭취하여 영양소를 몸 전체의 세포에 보내어 세포공장의 기계나 건물을 만들고 있는데, 그와 동시에 그들 기계나 건물의 일부를 파괴하여, 땀이나 오줌의 성분으로 배설하고 있다.

1개의 세포를 구성하고 있는 분자 또는 원자는 결코 언제까지나 그 세포 속에 머물러 있는 것이 아니라, 끊임없이 새로운 것으로 대체되고 있다. 몸 전체로 보자면 몸을 구성하고 있는 세포도 늘 새로이 개조되고 있다고 할 수 있다. 왜 생물은 이와같이 언뜻 보기에 낭비라고 생각되는 일을 하고 있는 것일까? 그에 대한 진짜 이유는 알기 어려우나 그 중의 한 가지는 다음과 같은 유전자제어를 위해서라는 것이 밝혀졌다.

乳糖분해 효소의 예와 같이, 특정 유전자가 발현되면, 단백질 설계도의 복사판(RNA)은 몇 장이라도 자동적으로 만들어져서 단백질 합성장으로 보내어진다. 그 때문에 그 설계도에 쫓아 특정 단백질이 다량으로 만들어진다. 만일 RNA와 단백질이 언제까지나 세포 안에 존재해 있다면 세포 속에는 특정 공장 로봇으로 꽉 차게 될 것이다. 또 A부품을 조립하는 로봇과 B부품

을 조립하는 로봇 수의 균형유지가 한번 깨어지게 되면, 다시는 원래대로 되돌릴 수 없게 되고 공장 전체의 생산조절에 큰 혼란을 초래하게 된다. 공장에 설치하는 공장 로봇과 각종 장치의 수를 일정하게 유지하지 않으면, 재료의 구입이나 폐기물과 처리등을 조절할 수 없게 되어 공장전체의 관리가 제대로 되지 않고, 결국은 세포가 죽고 만다.

그래서 세포공장 안에는 RNA와 단백질을 처분하는 로봇이 몇 개 있어 이들을 처리하는 역할을 담당하고 있다. 그것이 RNA분해효소와 단백질 분해효소이다. 세포 안에서 만들어진 mRNA는 설계도의 복사판으로서 몇 번이고 사용되는 동안에 RNA 분해효소를 만나게 되고 그것에 의해 처분되고 만다.

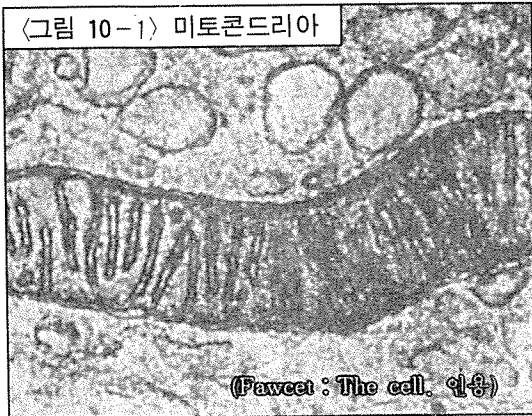
세포에 따라서는 특별한 경우에만 필요한 단백질을 합성하는 것이 있다. 젓당 분해 효소는 그것의 한 예로 영양소로서의 젓당이 세포안에 들어왔을 경우에만 합성되게 되어 있다. 젓당의 세포 안으로의 출현이 계기가 되어 젓당유전자의 분해효소의 전사가 일어나고, 그에 따라 mRNA가 합성되며, 그것을 설계도로 하여 젓당 분해효소의 단백질이 만들어진다. 이렇게 하여 만들어진 효소에 의하여 젓당이 분해되고, 모두 소비되면 유전자 전사는 정지되고 효소의 생산도 일어나지 않게 된다. 세포 안에 쌓인 불필요한 효소단백질이나 그의 mRNA는 단백질 분해효소와 RNA분해 효소의 작용에 의해 분해되고 소실되어 버린다. 이와 같이 세포는 공급된 재료의 질과 양에 따라 그것들을 처리하게 되어 있다.

여러 종류의 유전자 제어인자(단백질)도 마찬가지로, 일정한 수명이 있기 때문에, 세포가 처해진 환경에 따라 그때그때 그 환경에 적합한 활동을 하게 되어 있다. 이것에 비해 DNA는 절대로 버려지는 일이 없다. 이것은 유전자가 단백질의 설계도의 원본이기 때문에 언제까지도 보존해 두지 않으면 안되기 때문이다.

### ◇ 밀실의 안쪽

유럽에는 리히텐슈타인(Lichtenstein) 公國이 타르가, 산마리노(San Marino) 共和國 등의 작은 나라가 몇 군데 있다. 이 나라들은 큰 나라의 중형도시 정도의 규모로 인구는 두 나라 모두 1만 7천명 정도이며, 기능의 일부를 타국에 의존하고는 있지만 정치형태 상으로는 작아도 의정한 독립국이므로 매우 흥미롭다. 우리 몸의 세포 안에도 이런 독립국과 비슷한 작은 방이 있다. 그것은 동·식물 세포에 공통으로 포함되어 있는 「미토콘드리아」와 식물의 「엽록체」이다.

앞에서 언급했듯이, 세포의 미토콘드리아 입자는 에너지의 생산기관이다. 당과 지방을 비롯한 유기물을 산화하는 과정에서 생기는 에너지를 ATP(아데노신 3인산) 등의 화합물로 축적하는 기능을 하는 장소로 말하자면 세포공장의 화력발전소에 해당한다. 여기서 만들어진 ATP는 단백질이나 핵산의 합성 등의 세포의 활동에 이용된다(그림 10-1). 미토콘드리아는 3층의 막으로 된 주머니 모양의 것인데 막에는 시토크롬(Cytochrome) 등의 에너지 생산용 「호흡효소」가 정밀히 배열되어 있는데 그 막의 상태가 잘 보존되지 않으면 에너지 생산의 효율이 아주 나빠진다.



신기한 것은 이 주머니 모양의 방은 주머니의 안쪽에 있는 직공과 바깥쪽에 있는 직공들의 협력에 의하여 그 사이에 벽이 만들어지고 있다는 점이다(그림 10-2). 이는 아마도 효소를 포함하는 벽을 보다 효율적으로 만들기 위해서 필요

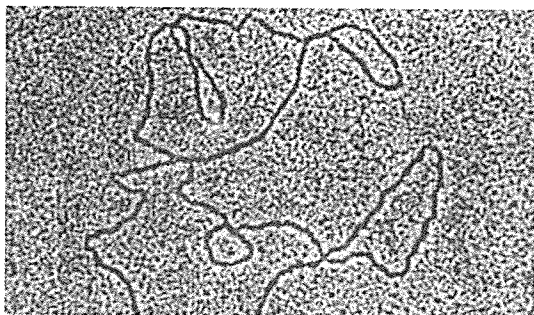
로 한 방법이었을 것이다. 벽의 재료는 벽을 통하여 바깥쪽에서 가져오고 있으나 안쪽에서 벽을 만드는 효소는 안쪽에서 자급하고 결코 바깥으로부터 공급받는 일은 없다. 안팎 양쪽에서 벽을 쌓는 작업에 의하여, 이 밀실의 벽은 점점 넓어지게 되며, 이윽고는 밀실의 중앙이 가늘어져 같은 밀실 2개가 만들어진다. 이와 같이 하여 미토콘드리아는 세포 속에서 증식한다.



방의 벽을 만드는 데는 안쪽으로부터 단백질을 공급할 필요가 있다. 그러기 위해서는 이 밀실 안에 독자적인 DNA가 존재해 있어야 한다. 인간의 미토콘드리아 속에 갇혀 있는 DNA는 길이가 57 $\mu$ (마이크론)이나 되는 사슬로그 양끝은 서로 연결되어 하나의 고리(ring)를 형성하고 있다. 이 DNA 위에는 주로 밀실의 안쪽에 필요한 단백질을 만들기 위한 설계도가 기입되어 있다. 이들 단백질을 만들기 위해서는 이 DNA를 원본으로 한 RNA합성이 미토콘드리아 안에서 이루어지고 이 RNA의 암호에 방탕하여 미토콘드리아 전용의 단백질 합성기(미토콘드리아 리보솜)를 사용하여 단백질 합성이 행해진다. 따라서 미토콘드리아의 내부는 독립한 유전자와 그 해독기구가 소규모이기는 하나 완비되어 있다고 말할 수 있다.

우리 인간의 미토콘드리아 DNA는 16,600 개 정도의 「뉴클레오티드쌍」으로 구성되어 있으며, 앤드슨(S·Anderson)과 그의 동료들에 의하여 1981년에 그러한 뉴클레오티드의 전체 배열이 밝혀졌다. 그것에 따르면 「시토크롬 b, c」 등의 호흡효소를 비롯한 몇 가지의 미토콘드리아 단백

질의 유전자가 DNA위에 배열되어 있으며, 또 미토콘드리아 전용의 리보솜 RNA와 tRNA의 유전자까지도 이 작은 DNA 위에 뽀뽀하게 배열되어 있었다. 미토콘드리아 DNA는 보통의 세포에서와 마찬가지로 복제되어 분열된 미토콘드리아에 분배된다. 또한 세포가 분열할 때에는 이와 같이 하여 증식한 미토콘드리아가 각각의 세포에 균등하게 분배된다.



〈그림 10-3〉 미토콘드리아 DNA : 미토콘드리아에서 추출한 DNA는 한 가닥의 환형이다.

우리의 세포핵에는 아버지로부터 받은 유전자와 어머니로부터 받은 유전자가 거의 반반씩 있기 때문에 우리의 몸은 양친의 성질을 고루

물려받고 있다. 그렇다면 미토콘드리아의 경우는 과연 어떠한가? 수정된 세포는 어머니(난자)의 미토콘드리아는 가지고 있지만, 아버지(정자)로부터의 미토콘드리아는 받지 못한다. 그러므로 개체의 세포는 수정란에서부터 출발하고 있으므로, 미토콘드리아에 관해서는 난자측, 어머니의 유전자의 영향을 강하게 받고 있는 것이다.

식물세포의 경우는 미토콘드리아 이외에 「엽록체」라는 세포 소기관이 있다. 이것도 역시 독자적인 유전자를 가지고 있다. 엽록체는 엽록소를 가지고 있어서 광합성이라는 중요한 기능을 수행하고 있는데, 이 속의 단백질도 엽록체에 포함되어 있는 DNA 설계도에 의해서 만들어진다. 고등동물의 세포의 유전자는 거의 대부분이 핵 속에 있으며, 일반 세포의 단백질은 거의가 다 핵 속의 DNA에 그려진 설계도를 바탕으로 하여 만들어진다. 그러나 유전자의 극히 일부(세포의 전유전자의 10,000분의 1정도)는 미토콘드리아나 엽록체와 같은 세포 소기관 속에 포함되어 있어서 그 소기관의 단백질을 만들 때 사용되고 있다.

### 독자투고환영

「과학과 기술」지는 讀者들의 의견을 수렴하여 보다 더 좋은 잡지를 만들기 위하여 「讀者의 소리」와 「과학기술 수기」를 모집합니다.

#### 讀者의 소리

1. 내 용 : 「과학과 기술」지의 발전에 참고가 될 건설적인 의견이나 개선점에 대한 의견
2. 원고매수 : 8매 이내 (200자 원고지)
3. 기 타 : 명함판 사진 1매

#### 과학기술 수기

1. 내 용 : 가정 및 직장생활을 통하여 실제 체험한 경험담으로서 과학기술과 관련된 내용이어야 하며, 타인에게 귀감이 될 수 있는 것.  
① 과학교육과정에서 있었던 일 ② 성공사례 ③ 실패사례
2. 원고매수 : 24매 이내 (200자 원고지)
3. 기 타 : 명함판 사진 1매 ①, ② 내용과 관계된 사진

※ 채택된 원고는 본지에 게재하고, 소정의 원고료를 드립니다.