

[~] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

분자생물학의 중심 원리에 따르면, 대부분의 생물은 DNA에 저장된 유전 정보를 mRNA로 옮긴 후, mRNA로 전달된 유전 정보로부터 단백질을 합성한다. 이 두 과정을 각각 전사 과정과 번역 과정이라 한다. 핵을 갖지 않는 원핵생물과 달리, 진핵생물의 DNA는 세포질에 이중막으로 둘러싸인 핵 속에 존재하며, 전사 과정은 핵에서, 번역 과정은 핵 바깥의 세포질에서 진행된다. 그런데 진핵생물의 전사 과정에서 필요한 여러 효소나 인자는 대부분 단백질에 속한다. 그렇다면 핵 바깥에서 합성되는 단백질은 어떻게 막으로 둘러싸인 핵 안으로 다시 운반될 수 있을까?

핵의 이중막을 가로지르는 통로인 핵공 복합체는 핵 바깥의 세포질과 핵 안과 통하며, 30여 개의 단백질로 구성되어 있다. 몇몇 작은 분자들은 핵공을 통해 자유롭게 핵에 드나들 수 있지만, 대부분의 단백질 고분자는 핵국재화신호(NLS)라고 하는 특정 아미노산 서열에 의해 식별되어 핵 수송 수용체의 도움을 받아야만 비로소 핵공을 통해 핵 안으로 이동할 수 있다. 이와 같이 핵공은 핵 안팎의 모든 물질의 출입에 관여하여 문지기과 같은 역할을 수행한다.

단백질은 종류에 따라 서로 다른 핵 수송 수용체의 도움을 받을 수 있다. 그 중 ㉠ 염기성 아미노산이 주를 이루는 NLS를 가진 단백질(P)은 임포틴이라고 하는 핵 수송 수용체의 도움을 받아 핵 안으로 수송된다. 임포틴이 P의 NLS를 식별하여 그 서열에 결합하면 P-임포틴 복합체가 형성되며, 이 복합체는 다시 핵공 속의 단백질과의 상호 작용을 통해 핵 안으로 운반된다. 핵 안의 P-임포틴 복합체는 임포틴과 다른 분자 사이의 결합에 의해 P를 내놓는다. 그렇다면 핵 안으로 이동한 임포틴은 어떻게 다시 세포질에서 다른 P 분자의 수송에 관여할 수 있을까? 이를 이해하기 위해 P의 분리와 밀접한 관련이 있는 Ran 단백질에 대해 살펴보자.

Ran 단백질은 GTP와 결합할 수 있는 단백질인 G 단백질의 일종이다. 따라서 Ran 단백질은 핵 안팎에서 GTP와 결합된 Ran-GTP나, GDP와 결합된 Ran-GDP의 상태로 존재한다. Ran에 결합된 GDP를 GTP로 바꾸는 효소는 핵 안의 염색질에 결합되어 있는 반면, Ran에 결합된 GTP를 가수 분해해 GDP로 바꾸는 효소는 세포질 방향으로 뻗어 있는 핵공의 섬유에 결합되어 있다. 그러므로 Ran은 핵에서 주로 Ran-GTP의 상태로 존재하고, 세포질에서는 주로 Ran-GDP 분자의 상태로 존재한다.

P-임포틴 복합체의 임포틴에 Ran-GTP가 결합하면 임포틴의 구조가 바뀌어 P와 임포틴 사이의 결합이 끊어진다. 이 반응은 P를 내놓음과 동시에 임포틴-Ran-GTP 복합체를 형성한다. 임포틴-Ran-GTP 복합체는 다시 핵공을 거쳐 세포질 밖으로 운반되는데, 그 과정에서 핵공 섬유의 효소는 복합체의 Ran에 결합된 GTP를 GDP로 바꾸어 임포틴과 Ran을 분리시켜 임포틴을 자유롭게 한다. 이렇게 자유로워진 임포틴은 단백질의 수송에 계속적으로 관여할 수 있게 된다. 한편, 세포질의 Ran-GDP 분자는 NTF2라고 하는 다른 핵 수송 수용체와 결

합하여 핵 안으로 운반된 뒤, 다시 Ran-GDP와 NTF2 분자로 각각 분리된다. 핵 안으로 운반된 Ran-GDP는 염색질의 효소에 의하여 Ran-GTP로 바뀐다.

이처럼 핵 안으로의 단백질 수송은 핵 수송 수용체와 밀접하게 연관되어 있다. 몇몇 단백질은 핵 안으로 수송된 후에 다시 핵 밖으로 운반되기도 하는데, 핵 밖으로의 단백질 수송 과정에서도 엑스포틴이라고 하는 핵 수송 수용체가 수송되는 단백질의 핵외수송신호(NES)라는 아미노산 서열을 식별하여 수송되는 단백질과 핵 수송 수용체의 결합이 이루어지기도 한다.