

3.1 효소의 특성

생명체를 유지시키는 수많은 생화학 반응들은 거의 모두가 효소(enzyme)에 의해 이루어진다. 예를 들어, 제1장 및 제2장에서 다루었던 것처럼 다당류인 녹말의 분해, 이당류인 유당의 분해 및 포도당을 세포 내로 끌어들이기 등 많은 일을 효소가 수행하며 DNA, RNA 및 단백질의 합성 또한 효소에 의해 수행된다. 또한 4장에서 다루게 될 해당과정, TCA 회로, 아미노산의 합성 등 세포 내에서 일어나는 각종 생화학 반응마다 효소가 작용한다. 효소는 단백질의 일종으로 반응을 일으키는 촉매제 역할을 한다. 효소는 화학 촉매제의 일종이지만 몇 가지 관점에서 볼 때 차이가 있다. 화학 촉매에 의한 반응은 대부분 높은 온도와 압력, 매우 높거나 낮은 pH 상태에서 일어나지만, 효소에 의한 촉매 반응은 100℃ 이하의 온도, 낮은 압력, 중성에 가까운 pH 상태에서 일어난다.

또 효소는 화학 촉매제보다 기질(substrate)과 생성물(product)에 대한 특이성이 높다. 그러므로 효소에 의한 반응은 거의 부산물(by-product)을 만들지 않는다. 예를 들어, 리보솜(ribosome)에서 단백질을 합성할 때 효소에 의해 촉매되는 경우 1000개의 아미노산이 만들어지지만 실수로 잘못 만드는 경우가 거의 없다. 그러나 화학적으로 합성하는 경우에는 반응이 불완전하게 일어나며 부가적인 다른 반응까지 같이 일어나서 100개 정도의 아미노산밖에 만들지 못한다. 효소는 대부분 기질의 농도에 따라 촉매 작용의 속도가 다양하게 변한다.

효소는 분자량이 15,000달톤~수백 만달톤인 고분자 단백질이며 이미 2,000 종류 이상이 알려져 있다. 효소의 이름은 끝에 -ase의 접미사가 붙는다. 아밀로스(amylose)의 분해 효소인 아밀라제(amylase)와 같이 작용하는 기질 이름 위에 붙는 경우와 알코올 탈수소화

효소(alcohol dehydrogenase)처럼 촉매가 작용하는 반응명칭 뒤에 붙는 경우가 있다.

3.2 효소의 구조

효소는 구형의 단백질 분자로 활성부위(active site)를 가지고 있다. 이 활성부위는 효소에 의한 촉매반응 동안 기질과 결합한다. 효소는 특정한 기질하고만 결합하여 반응을 촉매하는데, 이러한 효소의 성질을 기질특이성(substrate specificity)이라 한다. 효소의 기질특이성은 효소 활성부위의 모양과 기질 분자의 모양에 의해 결정된다. 이것은 효소와 기질이 마치 퍼즐 조각을 맞추듯 특정한 방식으로 결합해야 하기 때문이다. 많은 효소들은 비단백질을 포함하기도 하는데 이를 보조인자(cofactor)라 한다. 이것은 효소에 영구적으로 붙어있거나 기질에 약하게 붙어있다. 보조인자에는 보결족이라 부르는 아연, 철, 마그네슘과 같은 금속이온과 조효소(coenzyme)라고 부르는 유기분자가 있다. 일부 비타민(B₁, B₂ 등)과 NAD, FAD, CoA 등이 조효소로 작용한다. 이 보조인자들은 적정량만 필요하며 지나치게 많은 경우에는 유해할 수도 있다.

3.3 효소의 분류

효소의 분류와 명명법에 관한 규약에 따라 효소는 촉매하는 화학반응의 형식에 따라 나누어진다.

3.3.1 산화환원 효소(oxidoreductase)

수소 또는 전자를 기질에 첨가 또는 제거하는, 즉 산화환원반응을 촉매하는 효소로서 산화효소, 환원효소, catalase, peroxidase, oxygenase, hydroxylase 등이 포함된다. 생체 내에서 이 효소계에 의하여 생명유지에 필요한 에너지를 얻는다.

3.3.2 전이효소(transferase)

기질 안에 원자단을 전이시키는 효소로서 amino기, carboxyl기, methyl기, acyl기, 인산기, amino산 잔기 등이 전이(transfer)된다.

3.3.3 가수분해효소(hydrolase)

물분자가 도입되어 기질의 공유결합을 가수분해시키는 효소로서 지질의 ester 결합, 당

질의 glycosidic 결합, 단백질의 peptide 결합 등을 절단한다.

3.3.4 탈이효소(lyase)

가수분해 이외의 방법으로서 기질로부터 carbonyl기, aldehyde기 등의 원자단을 분리하여 기질에 이중결합을 생성시키거나 이중결합에 이와 같은 원자단을 부가시켜 주는 효소이다.

3.3.5 이성화효소(isomerase)

기질분자의 분해, 전위, 산환환원을 일으키지 않고 분자의 이성화반응을 촉매하는 효소이다.

3.3.6 합성효소(synthetase)

ATP와 같은 고에너지결합의 분해와 동시에 작용하여 2개의 분자를 결합시키는 반응을 촉매하는 효소이다.

3.4 효소의 작용

효소는 기질과 결합하여 효소-기질 복합체(enzyme-substrate complex)를 형성함으로써 반응의 활성화 에너지(activation energy)를 낮추는 촉매 역할을 한다.

어떤 물질들이 모여서 화학반응을 하려면 이 물질들이 서로 결합하거나 충돌할 만큼 에너지를 가져야 하는데, 이런 상태가 되는 데 필요한 에너지를 그 물질의 활성화 에너지라 한다. 효소는 이런 활성화 에너지를 낮추어 줌으로써 생물체 내의 화학반응을 촉진시킨다.

그림 3.1에서 볼 수 있듯이 효소에 의해 촉매되지 않은 반응은 활성화 에너지(E_a)가 많이 필요하지만, 효소에 의해 촉매된 반응은 활성화 에너지(E_a)가 더 적게 필요하다. 두 가지 반응 모두 반응하기 전의 에너지와 반응이 끝난 후의 에너지는 같다. 즉, 두 반응 모두 반응 전과 반응 후의 에너지 차이는 같다. 다만 효소는 반응이 시작하기 위해 필요한 활성화 에너지를 낮추어 줌으로써 반응이 좀더 쉽고 빨리 일어날 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

이렇게 효소가 반응에 필요한 활성화 에너지를 낮출 수 있는 것은 효소가 기질과 결합하여 기질이 반응하기 쉽게 도와주기 때문이다. 효소들은 각기 다른 형태의 활성부위

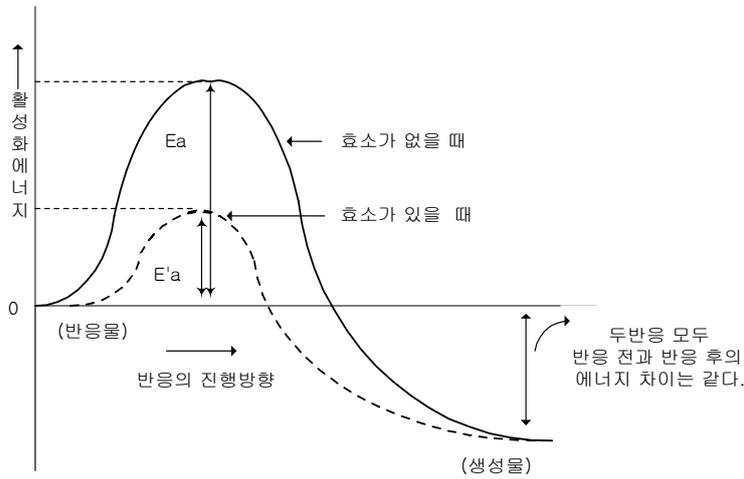


그림 3.1 효소에 의해 촉매 작용을 받은 반응과 받지 않은 반응의 활성화 에너지 비교

(active site)를 가지고 있다. 그러므로 효소는 자신의 활성부위에 알맞게 결합하는 특정한 기질하고만 상호 작용할 수 있다. 효소와 기질은 활성부위에서 결합하여 효소-기질 복합체(enzyme-substrate complex)를 형성한다. 반응이 끝난 후에도 효소의 형태는 변하지 않으며 기질은 새로운 생성물이 된다. 이렇게 효소가 특정 기질과만 결합하여 반응을 촉매하는 성질을 효소의 기질특이성(substrate specificity)이라 한다. 기질은 효소에 비해 작은 분자이므로 효소분자의 특정 부위에 결합하게 된다. 이러한 상호작용을 설명하는 가장 간단한 모형은 열쇠-자물쇠 모형(lock and key model)으로서 효소를 자물쇠로, 기질을 열쇠로 나타낸다(그림 3.2).

그러나 기질과 효소의 활성부위간의 결합이 처음부터 완벽하게 들어맞는 것은 아니다. Induced fit model에서는 효소와 기질의 반응을 다음과 같이 설명한다. 여러 모양의 기질 중에서 효소의 활성부위와 가장 잘 들어맞는 기질이 선택되어 효소의 활성부위에 붙는

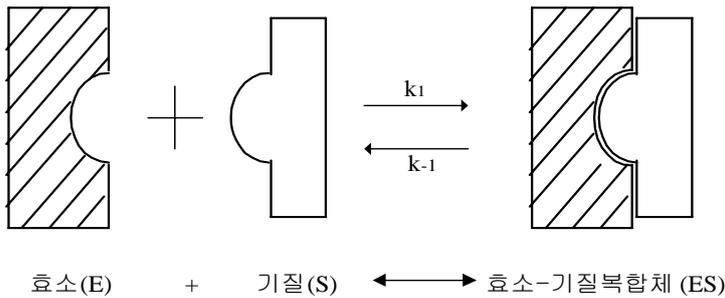


그림 3.2 효소촉매 반응의 자물쇠-열쇠 모형의 개념도

다. 그러면 효소의 활성부위의 모양이 기질의 모양과 비슷해지도록 변형된다. 이때에 기질의 모양도 조금 바뀌게 되는 데 이것이 효소반응에 필요한 활성화 에너지를 낮춰 준다. 그런 후에 효소의 작용을 통해 기질이 새로운 생성물로 만들어진다.

효소와 기질간의 상호작용을 분자수준(molecular level)에서 이해하기 위하여 X-선이나 라만분광기(Raman spectroscopy)와 같은 다양한 방법으로 효소-기질 복합체(enzyme-substrate complex)의 존재를 확인하였고, 이들 간의 상호작용은 효소-기질 복합체마다 다르기는 하지만 매우 약한 결합으로 대부분 반데르발스(van der Waals) 결합과 수소결합으로 알려져 있다.

온도와 pH는 효소의 활성에 큰 영향을 미친다. 온천지대에서 발견되는 내열성 미생물 등 예외가 있기는 하지만 효소는 대개 40 °C 정도까지는 온도증가에 따라 활성이 증가한다. 하지만 그 이상에서는 열에 의한 변성이 일어나서 활성을 잃어버린다. 또, 위(stomach)에서 작용하는 펩신(pepsin)처럼 최적 pH가 2정도로 강산성인 경우도 있으나 효소의 활성은 대부분의 효소의 경우 pH가 중성 부근일 때 가장 좋다.