

# 로가리듬 감속

## 1. 감속의 물리적 배경

중성자는 핵분열 시 약 2MeV의 고속 중성자(Fast neutron)로 생성됩니다.

하지만 대부분의 열중성자형 원자로는 중성자의 속도를 **0.025 eV** 수준까지 감속(moderation)시켜야 핵분열이 잘 일어납니다.

이때 중성자가 여러 번 감속재(예: 물, 중수, 흑연)와 충돌하며 에너지를 조금씩 잃게 되는데, 이 과정을 수학적으로 표현하기 위해 "로가리듬 감속단위"라는 개념을 사용합니다.

---

## 2. 로가리듬 감속단위 (Lethargy, $u$ )의 정의

$$u = \ln \left( \frac{E_0}{E} \right)$$

- $E_0$ : 감속 이전의 에너지 (시작 에너지)
  - $E$ : 감속 이후의 에너지
  - 단위 없음 (무차원, log의 특성)
- 

## 3. 로그 식 전개

기본 로그 성질을 이용해 식을 다음과 같이 전개할 수 있습니다:

$$u = \ln \left( \frac{E_0}{E} \right) = \ln(E_0) - \ln(E)$$

즉,

$$u = \ln E_0 - \ln E$$

이 식은 에너지 변화에 따라 로가리듬적으로 중성자의 감속 정도가 누적된다는 걸 의미합니다.

---

## 4. 감속 1회당 평균 증가량: 평균 감속단위 (Average Logarithmic Energy Decrement, $\xi$ )

중성자가 감속재 원자와 1번 충돌할 때 평균적으로 에너지를 얼마나 잃는지를 나타냅니다.

$$\xi = \left\langle \ln \left( \frac{E_{\text{before}}}{E_{\text{after}}} \right) \right\rangle$$

- 수소:  $\xi \approx 1.0$  (한 번 충돌에 거의 에너지 반 이상 소실)
- 탄소:  $\xi \approx 0.158$
- 우라늄:  $\xi \approx 0.0096$

## 5. 전체 감속 충돌 횟수 계산

중성자가  $E_0 \rightarrow E$ 로 감속할 때 필요한 평균 충돌 횟수:

$$N = \frac{u}{\xi} = \frac{\ln(E_0/E)}{\xi}$$

예: 2 MeV  $\rightarrow$  0.025 eV, H<sub>2</sub>O 감속재 ( $\xi = 1$ )

$$u = \ln \left( \frac{2 \times 10^6}{0.025} \right) \approx \ln(8 \times 10^7) \approx 18.2$$

$\rightarrow$  평균적으로 **18번의** 충돌이 필요

## 정리

항목	의미
$u = \ln(E_0/E)$	중성자가 에너지를 얼마나 잃었는지를 로그로 표현
$u = \ln E_0 - \ln E$	로그 차로 표현된 에너지 감속
$\xi$	1회 충돌당 평균 로그 감속량
$N = \frac{u}{\xi}$	감속에 필요한 평균 충돌 횟수