

밸브 유량식의 유도: 베르누이 방정식에서 Cv까지

1. 베르누이 방정식의 기본

유체의 에너지 보존을 나타내는 베르누이 방정식은 다음과 같습니다:

$$\frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{\rho} + gz = \text{constant}$$

여기서

- v : 유속
- P : 압력
- ρ : 밀도
- gz : 위치에너지 항

밸브나 오리피스에서는 위치에너지 변화(gz)를 무시할 수 있으므로, 압력 강하 ΔP 가 속도 증가로 변환됩니다.

2. 압력 강하와 속도의 관계

베르누이 방정식에서 압력 강하 ΔP 는 속도 증가와 직접적으로 연결됩니다:

$$v \sim \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

따라서 유량은

$$Q = A \cdot v \sim A \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

로 표현됩니다. 여기서 A 는 유로 단면적입니다.

3. 경험적 계수 k 의 도입

실제 밸브에서는 마찰, 난류, 형상 손실 등이 존재하므로 단순한 이론식만으로는 정확하지 않습니다. 따라서 이를 보정하기 위해 경험적 계수 k 를 도입합니다:

$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta P}$$

여기서 k 는 밸브의 구조적 특성을 반영한 비례상수입니다.

4. 밸브 계수 C_v 의 정의

미국 단위계에서는 이 k 를 표준화하여 밸브 계수 C_v 로 정의합니다:

$$Q = C_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{SG}}$$

- Q : 유량 (갤런/분, GPM) - ΔP : 압력 강하 (psi) - SG : 유체의 비중 (무차원)

즉, C_v 는 “압력 강하와 유량의 관계를 나타내는 경험적 계수”이며, 밸브의 구조적 저항 특성을 수치화한 값입니다.

5. 요약

- 베르누이 방정식은 압력 강하와 속도 증가의 관계를 보여준다.
- 오리피스/밸브에서는 이 관계가 $Q \propto \sqrt{\Delta P}$ 로 나타난다.
- 실제 밸브에서는 손실을 반영하기 위해 경험적 계수 k 를 도입한다.
- 미국 단위계에서는 이를 표준화하여 C_v 로 정의하며, 밸브 성능 비교에 사용한다.

따라서 $Q = k\sqrt{\Delta P}$ 는 단순한 경험식이 아니라, 베르누이 방정식에서 출발하여 밸브 구조적 특성을 반영한 결과라고 할 수 있다.