

버터플라이 밸브를 지나는 압축성 유동의 수치해석적 연구

김희동 · 김동선 · 우선훈 · 서태원
(안동대학교)

일반적으로 배관계를 통하는 유체 유량을 조절하거나 감압하는 목적으로 각종 밸브가 널리 이용되고 있다. 이러한 밸브는 작동 유체의 종류나 밸브형상에 따라 여러 가지로 분류할 수 있으나, 밸브가 유동에 미치는 저항특성, 밸브에서 발생하는 유동관련 소음진동, 기밀도, 내구 및 보수성 등을 고려하여 적절한 밸브를 선정하게 된다. 종래 버터플라이 밸브는 주로 비압축성 유체유동을 조절하기 위하여 사용되어 왔으나, 최근 다양한 방면에서 압축성 유동을 제어하기 위하여 그 활용이 증대되고 있다. 이것은 버터플라이 밸브의 형상이 매우 단순하여 밸브가 유동에 미치는 저항이 작으며, 제작 및 설치가 용이하기 때문이다.

최근 미국, 프랑스, 독일 등에서는 자동차 엔진 및 항공기 엔진의 흡입공기 유량을 조절하기 위한 목적으로 버터플라이 밸브가 검토되어, 밸브에서 발생하는 압력손실 뿐만 아니라 유동관련 소음진동(flow-induced noise and vibration)이 타의 유량조절용 밸브에 비하여 상당히 작으며, 유량조절 기능이 매우 우수한 것으로 인식되고 있다. 예를 들면 자동차 엔진의 경우 버터플라이 밸브를 적용하는 경우에 연소에 필요한 공기유량이 증대되어, 엔진의 성능이 향상되는 것으로 알려져 있다.

현재까지 버터플라이 밸브를 통하는 압축성 유동에 관한 연구는 매우 미비한 실정이다. 미국의 일리노이즈 대학의 Dutton, & Morris 등은 초음속 풍동의 측정부에 단순한 형태인 Plate type 과 circular arc type의 버터플라이 밸브를 설치하여 실험을 수행하였다. 그들의 실험은 밸브 개구각에 따른 밸브하류의 유동특성, 압력회복, 그리고 밸브면에 작용하는 유체역학적 힘을 조사하였으나, 수치해석법을 버터플라이 밸브 유동에 적용한 사례는 아직까지 없다.

압축성 유동에 버터플라이 밸브를 적용하기 위해서는 밸브주변에서 발생하는 유동특성이 충분히 알려져야 하며, 밸브의 최적설계에 대한 연구가 요구된다. 본 연구에서는 버터플라이 밸브를 통하는 공기의 유동에 수치계산법을 적용하였다. 수치계산은 2차원 Navier-Stokes 방정식에 유한체적법을 적용하였으며, 난류유동을 계산하기 위하여 표준형 $k-\epsilon$ 난류모델을 이용하였다. 수치계산에서 사용된 격자는 밸브의 개구각도 및 압력비에 의존하여 약간 변화하였으나, 약 50000개 정도의 정렬격자를 사용하였다. 본 연구에서 적용된 버터플라이 밸브는 Biconvex Circular Arc형으로, 밸브 상하류에 작용하는 유동의 압력비와 밸브의 개구각도를 변화시켜 밸브 주변에서 발생하는 유동장을 조사하였다.