

3.2 베르누이: 인류의 위대한 기기(利器)에는 베르누이 법칙이 작동하고 있다!

□ 베르누이의 생애

유체역학은 몰라도 베르누이를 들어보지 않은 사람은 많지 않다. 다니엘 베르누이는 네덜란드의 Groningen 태생으로 아버지 Johann Bernoulli와 큰아버지 Jacob Bernoulli는 당대의 유명한 수학자였다. 다니엘은 어려서부터 수학에 재능을 보였는데, 아버지는 다니엘이 자기와 같은 수학자가 되는 것을 반대하여 의사가 되기를 바랐다. 다니엘은 개인교습 정도로나마 수학을 계속 접할 수 있었고, 결국 아버지의 뜻에 따라 의학교육을 받았다. 21세에 의학교육을 마친 다니엘은 대학의 해부학과 생물학 교수직에 지원했으나 실패하였고 (당시 교수 자리는 제비뽑기에 따라 결정하였다고 한다), 러시아 제국과학원의 수학교수로 초청을 받았다. 당시 의사들은 체내에 과도하게 피가 누적되면 병이 들었다고 생각하여 정맥을 절개하여 방혈하는 방법을 사용했다. 그러나 혈압을 측정할 방법이 없어 얼마나 방혈을 해야 하는 지 알 수가 없었다. 다니엘은 파이프에 작은 구멍을 뚫어 유리관을 붙여 물기둥의 높이와 파이프 내부의 압력이 비례하는 것을 확인하였다. 이렇게 관수로에서 압력 측정에 성공한 다음, 유속이 증가하면 압력이 감소하고 유속이 감소하면 압력이 증가하는 것을 발견하였다. 이는 유체역학에서 관수로흐름을 정량화하는 기념비적인 발견이었다.

1903년은 역사상 처음으로 라이트 형제가 동력 비행기를 조종하여 지속적인 비행에 성공한 해이다. 이후에도 많은 사람들이 비행에 성공하였으나 비행기의 원리를 이론적으로 설명하지 못하였다. 1905년 러시아의 주코프스키는 비행기 날개에 양력이 발생하는 원리를 베르누이 법칙을 가지고 설명하였다.

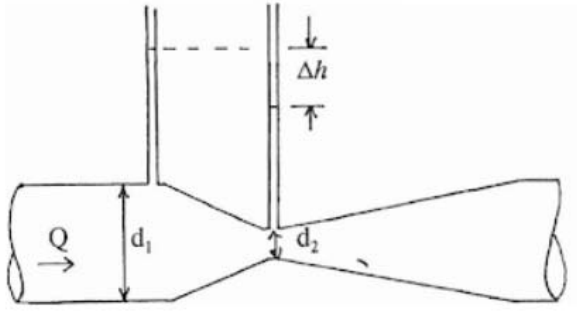
□ 베르누이 원리

베르누이 법칙은 유체 운동의 에너지보존에 관한 것으로 압력에 의한 에너지, 운동에 의한 에너지, 그리고 위치에너지의 합은 일정하다는 것이다. 이를 식으로 쓰면 다음과 같다.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{일정}$$

위에서 p 는 압력, ρ 는 유체의 밀도, v 는 유체의 속도, g 는 중력가속도, 그리고 z 는 임의의 기준면으로부터의 높이를 나타낸다. 우리가 고등학교 물리에서 배운 운동에너지와 위치에너지에 압력에 의한 에너지가 추가되었다고 보면 된다. 운동에너지와 위치에너지는 질량이 m 에 대해서 각각 $1/2mv^2$ 와 mgh 인데, 위의 식에서는 단위 부피에 해당하는 에너지로 이해하면 된다.

아래와 같이 관의 단면이 축소되었다 다시 넓어지는 수평관의 흐름을 생각해 보자. 관에서 흐름이 수평이므로 위치에너지의 변화는 없다. 관의 단면이 축소되면서 유속이 빨라지면 베르누이 법칙에 의해서 압력은 감소하게 된다. 이러한 원리를 이용하여 압력이 떨어지는 것을 측정하여 이를 유량으로 환산하는 계기를 벤츄리미터라고 한다.



Venturimeter

[그림] 관수로에서 유량 측정을 위한 벤츄리미터

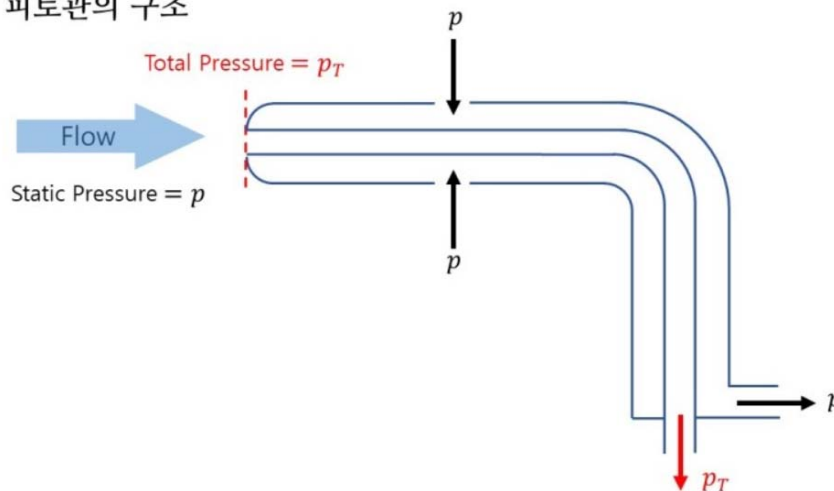
□ 피토관

앞의 베르누이 원리에서 $1/2\rho v^2$ 도 압력과 같은 작용을 하는 것을 알았다. 즉, $1/2\rho v^2$ 은 유체의 운동으로 인해 압력의 역할을 하는 것으로 이것을 동압력이라고 하고 p 는 동압력과 구분하여 정압력이라고 한다. 아래 그림과 같은 장치를 피토관이라고 한다. 정면을 향하는 가운데 구멍을 통해서 유체가 들어와 정압력과 동압력을 측정하고 위와 아래의 구멍을 통해서 정압력을 측정한다. 측정된 동압력과 정압력의 차를 이용하면 유체의 속도를 계산할 수 있다. 즉,

$$(p + \frac{1}{2}\rho v^2) - p = \frac{1}{2}\rho v^2$$

이와 같은 원리를 이용하여 유속을 측정하는 장치를 피토관이라고 하며 실제로 대부분의 항공기에 장착되어 속도 정보를 제공한다.

피토관의 구조



[그림] 피토관의 구조



[사진] 항공기에 장착된 피토관

□ 에어프랑스 447편 추락사고

에어프랑스 447편은 2009년 5월 31일 브라질의 리우데자네이루 국제공항을 출발하여 프랑스 파리의 샤를 드골 국제공항을 향하고 있었다. 항공기는 에어프랑스의 장거리용 여객기인 에어버스사의 A330-200 기종이었으며 승무원을 포함해 228명이 탑승하고 있었다.

앞에서 소개한 에어프랑스 447편 사고는 나중에 입수한 블랙박스 판독 결과, 속도를 나타내는 계기판의 오류에서 비롯되었다는 것이 밝혀졌다.

에어프랑스 447편은 파리를 향해 순항하던 중 브라질 북부에서 뇌우에 의한 난기류를 만나 우회하기로 결정하였다. 이때 비행기의 피토관이 결빙되어 계기판의 속도는 부정확했다. 일반적으로 피토관의 결빙한 경우 열선을 이용해 녹여 다시 작동하게 하는 데는 40초가 걸린다. 그러나 에어프랑스 447편에게 이 40초는 모든 것을 되돌릴 수 없을 만큼 충분히 길었다.

정확하지 않은 속도로 인해 자동비행 장치가 꺼지자 기장은 수동으로 조종하기 시작하였다. 계기판의 고도와 속도가 잘못된 정보를 제공하자 기장은 순간 혼란에 빠졌고 고도를 회복하기 위해 기수를 높이고 속도를 높였다. 그러나 공기가 희박한 고도에서 기수를 들어 올리고 속도를 높이는 조작은 매우 위험하다. 오히려 비행기는 충분한 양력을 발생시킬 수 있는 속도를 잃게 되어 바다를 향해 하강하고 있었다. 얼마 지나지 않아 피토관의 얼음이 녹아 정상 작동을 하였음에도 부조종사가 기수를 계속 들어 올리고 있는 바람에 비행기는 바다에 추락하게 되었다. 결국 에어프랑스 447편은 브라질 북동쪽 565 km 대서양 한가운데 추락하여 탑승객 전원 사망하게 되었다.

참고문헌

닉 폴슨, 제임스 스콧 (2018). 수학의 쓸모, 더 퀘스트 (노태복 역).

최무영 (2008). 최무영 교수의 물리학 강의, 책갈피.