**분동식 압력계 실험**

**[기계공학실험1 - 4주차] 학년: 3학년 학번: 20191820 이름: 김형준**

**1. 실험 이론**

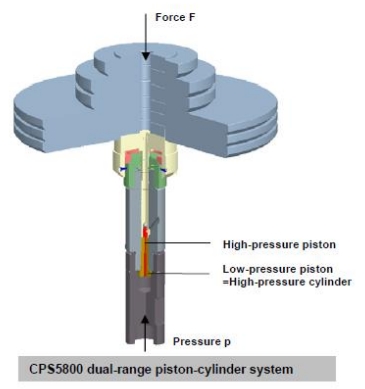
1-1. 분동식 압력교정 장치

분동식 압력계는 피스톤에 작용하는 힘을 이용해 내부 유체에 표준 압력을 만드는 장치이다. 피스톤 위에 분동을 올려 수직방향으로 힘을 추가로 가할 수 있으며, 내부 유체에 표준압력을 만들어 압력계로 활용하거나 다른 압력계에 연결하여 압력을 교정하는 용도로도 사용할 수 있다.

본 실험에서는 질량을 알고 있는 분동을 측정하는 압력계로 사용한다. 분동을 피스톤 위에 올려놓았을 때 실린더 내의 유체에 발생하는 표준 압력의 크기는

으로 구할 수 있다. 이 압력은 분동 반대편에 있는 압력계로 크기를 측정할 수 있다.

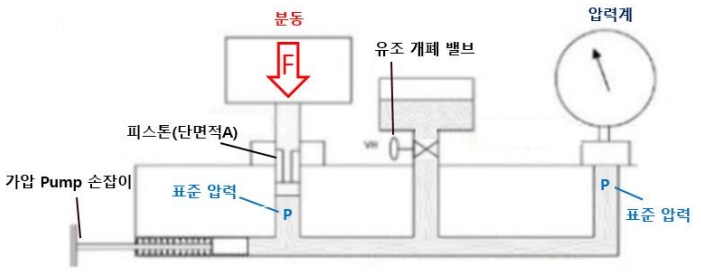
이때, 위에서 구한 압력은 분동만에 의해서 발생한 계기 압력(gauge pressure) 이므로

절대 압력()은 측정한 계기 압력()에 대기압()을 더함으로써 아래와 같이 구할 수 있다.

질량이 다른 각각의 분동은 이중 실린더(dual-range piston-cylinder)를 사용하여 고압과 저압 두 가지의 표준 압력을 발생 시킬 수 있다.

이중 피스톤 단면도

**2. 실험 방법**

****

1) 압력 트랜스듀서(압력계)의 전원을 켠다.

2) 좌측 레버(outlet valve)와 우측 레버(가압 펌프 손잡이)가 모두 반시계 방향으로 끝까지 잠겨있는지 확인한다.

3) 가운데 레버(유조 개폐 밸브)를 눌러 잠그고, 표준 압력이 발생할 수 있도록 한다.

4) 좌측 레버를 시계방향으로 끝까지 열어 갇혀있는 공기를 제거한다.

5) 측정하고자 하는 분동을 실린더 위에 놓는다.

6) 우측 레버를 시계방향으로 돌리면서 분동의 저압(파란선), 고압(붉은선) 지시침까지 실린더를 올린다.

7) 측정부(지시침)의 중간 눈금이 보일 때 레버를 정지하고 압력계의 측정값을 기록한다.

8) 분동을 올린 채로 우측 레버를 반시계 방향으로 돌려 감압시킨 후에 분동을 내려놓는다.

9) 측정이 모두 끝난 뒤에 양쪽 레버를 반시계 방향으로 끝까지 돌려 잠그고, 개폐 밸브를 열어 압력을 완전히 빼놓는다.

**3. 실험 결과**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 계기압력 | 공칭압력(피스톤+분동) | | 측정값(피스톤+분동) | | 오차율 | |
| **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압(%)** | **고압(%)** |
| 피스톤 | **0.689** | **13.789** | **0** | **14** | **100.00** | **1.53** |
| 분동1 | **2.689** | **53.789** | **2** | **53** | **25.62** | **1.47** |
| 분동2 | **5.689** | **113.789** | **6** | **113** | **5.47** | **0.69** |
| 분동3 | **20.689** | **413.789** | **21** | **408** | **1.50** | **1.40** |
| 분동4 | **40.689** | **813.789** | **38** | **799** | **6.61** | **1.82** |

※ 피스톤의 공칭압력은 0.689 [bar](저압), 13.789 [bar](고압)으로 측정되었음

**4. 결과 분석**

4-1. 오차 원인 분석 및 보정 방법

위의 실험 결과에서 실험값과 이론값 사이에 오차가 존재하는데, 이는 다음과 같이 크게 여섯가지 원인에 의해 발생한다.

1) 위치에 따른 중력 차이

중력은 위도, 경도, 고도에 따라 다른 값을 가질 수 있는데, 이는 결과적으로 해당 위치의

중력가속도에 영향을 미치게 된다. 이 값은 최대 0.5%만큼 차이가 날 수 있는데, 이는 지구 자전에 따른 원심력이 위도에 따라 다르고, 지구가 완전한 구체가 아닌 평평한 타원체이며, 지구 내부의 지질구조가 균일하지 않기 때문이다.

실험에서 압력을 측정할 때, 실험장치에서는 표준 중력가속도 값 을 사용했으므로 실제 중력가속도 값과 차이가 있어 오차가 생길 수 있다.

실험 장소의 위도, 경도, 고도를 고려한 실제 중력가속도 값 를 고려해 오차를 계산하면, 로, 실제 압력값()은 공칭압력()보다 약 0.045% 정도 크게 측정되는 것을 알 수 있다.

2) 온도에 의한 피스톤의 단면적 변화

실험장치의 작동조건 중 온도에 관한 조건이 존재하는데, 이번 실험에서 사용된 실험 장치는 표준 기준 조건()에서 작동하는 것을 전제로 만들어졌으므로, 압력 측정시 온도가 이를 벗어나게 되면 실험장치를 구성하는 재료의 열팽창에 의해 피스톤-실린더 시스템의 유효 단면이 변하게 되어 오차가 발생할 수 있다.

이를 보정하는 수식은 다음과 같다.

여기서, 를 적용하면,

로, 실제 압력값()은 공칭압력()보다 약 0.0044% 정도 크게 측정되는 것을 알 수 있다.

3) 공기에 의한 부력 효과

물체가 유체 속에 잠겨있을 때, 물체는 중력의 반대 방향으로 부력을 받게된다. 이 힘의 크기는 (V : 물체의 부피) 로 구할 수 있다. 피스톤 위에 올리는 분동은 실험실 내부의 공기 속에 잠겨있다고 볼 수 있는데, 실험장치에서 피스톤에 가해지는 힘을 계산할 때 분동에 가해지는 공기에 의한 부력을 계산하지 않았으므로 이에 대한 오차가 발생할 수 있다. 공기에 의한 부력을 고려하면 분동의 무게는

로 계산할 수 있는데, 에서 F가 분동의 무게이므로

로 쓸 수 있고, , 를 사용해 계산하면,

로, 실제 압력값()은 공칭압력()보다 약 0.015% 정도 작게 측정되는 것을 알 수 있다.

4) 비틀림에 의한 유효 단면적의 변화

실험 시작 전, 수평계로 실험장치의 수평을 맞추고 실험을 시작하더라도, 공기의 움직임이나, 외부 환경의 진동, 높은 압력에 의한 압력 왜곡 등으로 인해 피스톤 위에 올려진 분동의 밑바닥이 실린더와 정확히 수직이 되지 않을 수 있다. 이로 인해 피스톤의 유효 단면적이 변해 오차가 발생할 수 있다.

이를 보정하는 식은 다음과 같다.

왜곡 계수 와 공칭압력()은 양수이므로 분모의 값은 항상 1보다 크므로 측정값()은 공칭압력보다 항상 작게 계산된다. 여기서 왜곡계수 이고, 각각의 공칭압력을 대입해 오차를 계산하면 아래의 표와 같다.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 계기압력 | 공칭압력(피스톤+분동) | | 보정값() | | 실제 압력값이 공칭압력보다 작게 측정되는 비율 | |
| **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압(%)** | **고압(%)** |
| 피스톤 | **0.689** | **13.789** | **0.689** | **13.7889** | **0** | **0.00014** |
| 분동1 | **2.689** | **53.789** | **2.689** | **53.7887** | **0** | **0.00054** |
| 분동2 | **5.689** | **113.789** | **5.689** | **113.7877** | **0** | **0.00114** |
| 분동3 | **20.689** | **413.789** | **20.6889** | **413.7719** | **0.00021** | **0.00414** |
| 분동4 | **40.689** | **813.789** | **40.6888** | **813.7228** | **0.00041** | **0.00814** |

※ 측정값과 보정값이 같은 항목은 측정값과 보정값의 차이가 미만임

위 표에서와 같이, 공칭압력이 클수록 실제 압력값이 공칭압력보다 작게 측정되는 비율이 증가하는 것을 알 수 있다.

5) 유조개폐밸브의 개폐여부

분동식 압력계 내부에는 압력측정을 위한 유체가 채워져 있는데, 측정에 필요한 정확한 양의 유체를 딱 맞춰서 넣는 것은 불가능 하기 때문에 유체를 추가로 넣을 수 있는 유조 개폐밸브가 존재한다. 실험을 진행할 때는 유체의 압력을 유지시키기 위해 개폐밸브를 잠그지만, 밸브의 특성상 완전하게 유체가 구멍을 통해 흐르는 것을 막을 수는 없기 때문에, 구멍으로 유체가 흘러 압력 측정에 오차가 발생할 수 있다. 이 경우, 개폐 구멍을 통해서 얼마나 유체가 흘렀는지, 압력이 얼마나 변했는지를 계산할 수 없어 측정값 보정이 불가능하다.

6) 압력계 표시부의 절단오차

실험에서 사용된 압력계는 소수점을 버리고 측정값의 정수 부분만 출력하기 때문에 오차가 발생한다. 그러나, 이 경우에도 버려진 소수점 자리의 숫자가 정확히 무엇인지 알 수 없으므로 측정값 보정이 불가능하다.

4-2. 오차 보정결과 및 토의

4-1에서 분석한 오차 중 측정값 보정이 가능한 1) ~ 4)에 대해서만 측정값 보정을 진행하였다. 측정값 보정의 순서는 1)부터 4)까지 순서대로 진행하였으며, 각각의 보정을

(1) 보정), (2) 보정),

(3) 보정), (4) 보정) 와 같이 각각의 식을 순차적으로 계산함으로써 보정된 압력값을 계산한다. (4)의 보정식은 을 에 대한 식으로 정리한 꼴로 만들어 유도함)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **계기압력** | **측정값**  **(피스톤+분동)** | | **보정값** | | **보정값의 오차율** | | **오차율의 차** | |
| **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압(bar)** | **고압(bar)** | **저압**  **(%)** | **고압**  **(%)** | **저압**  **(%)** | **고압**  **(%)** |
| **피스톤** | **0** | **14** | **0** | **13.995** | **100** | **1.49** | **0.00** | **0.04** |
| **분동1** | **2** | **53** | **1.999** | **52.982** | **25.66** | **1.50** | **-0.04** | **-0.03** |
| **분동2** | **6** | **113** | **5.998** | **112.961** | **5.43** | **0.73** | **0.04** | **-0.03** |
| **분동3** | **21** | **408** | **20.993** | **407.860** | **1.47** | **1.43** | **0.03** | **-0.03** |
| **분동4** | **38** | **799** | **37.987** | **798.725** | **6.64** | **1.84** | **-0.03** | **-0.03** |

※ 오차율의 차는 미보정값(측정값)의 오차율과의 차를 계산한 것임

위 식대로 보정값을 계산하여 오차율을 다시 구하면 위의 표와 같다.

그러나, 오차율이 생각보다는 크게 줄어들지 않았는데, 이는 압력계의 절단 오차가 전체 오차에 상당히 큰 부분을 차지함을 추측할 수 있다. 이는 라는 큰 단위의 소수점을 무시함으로써 10kPa를 넘는 큰 압력값도 무시될 수 있었기 때문이다.

특히, 피스톤-저압의 경우 공칭압력은 인데, 절단오차 때문에 로 측정되어 보정과 무관하게 오차율이 항상 100%로 유지되는 것을 알 수 있다.

또한, 상대적으로 절단오차에 큰 영향을 받는(가 큰 측정값) 저압 측정값이 상대적으로 절단오차에 작은 영향을 받는 고압 측정값보다 전체적으로 오차가 큰 것을 확인 할 수 있다.

**5. 참고 문헌**

▪ WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG. 2010. “Operating Instructions Pressure Balance”