



**Anton Paar**

1967년 부터

**DENSITY**  
MEASUREMENT <sup>TM</sup>

# 성공적인 밀도 측정을 위한 5단계

물 체크, 보정, 시료 준비, 시료 주입 및 세척에 주의를 기울여야 합니다.

Anton Paar GmbH는 1967년부터 매우 정확하고 신뢰성이 높은 연구 및 산업용 밀도계를 전문적으로 제공해 왔습니다.

이 브로셔에는 Anton Paar가 50년 넘게 쌓아온 측정 방법에 관한 경험과 통찰력이 집약되어 있습니다.

이 가이드라인을 따르면 정확하고 재현 가능한 밀도 측정 결과를 얻는 데 많은 도움이 될 것입니다.

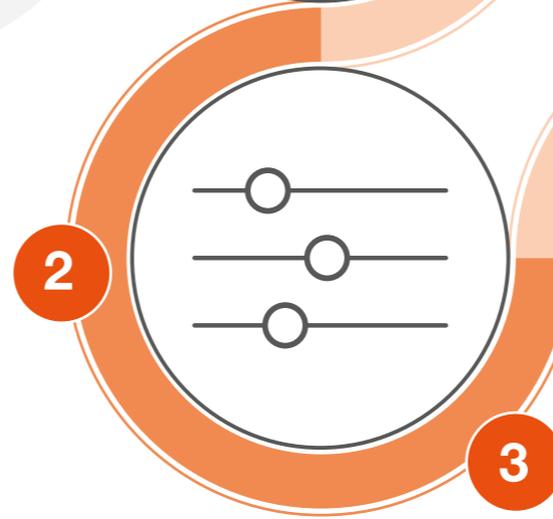
## 1 물 체크

매일 측정 전에 물 체크를 수행하십시오.



## 2 보정

물 체크에 통과되지 않고, 세척 후에도 효과가 없으면 공기/물 또는 물 보정을 수행하십시오.



## 3 시료 준비

재현 가능한 결과를 얻으려면 매번 같은 방법으로 시료를 준비할 수 있도록 주의를 기울여야 합니다.

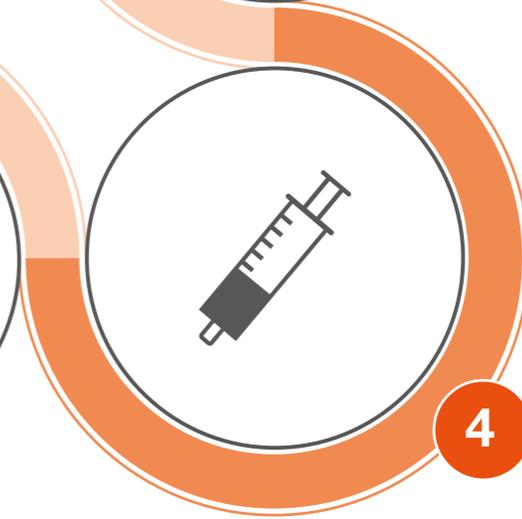


## 4 시료 주입

측정 셀에 시료를 주입할 때는 거품이 생기지 않도록 주의를 기울여 주십시오.

## 5 세척

측정 직후 측정 셀에서 시료를 제거한 후, 기기를 정기적으로 세척하십시오.



# 물 체크는 측정 전 매일 수행합니다.



밀도 체크를 주기적으로 실시하면 밀도 및 농도 측정의 정확도를 높이고 안정적으로 유지할 수 있습니다.

## 작업절차

- 직전에 탈기를 수행한 초순수(예: 2차 증류수 또는 탈이온수)를 측정 셀에 주입합니다.
- 측정을 시작합니다.
- 측정된 밀도를 기준값과 비교합니다.

측정된 밀도 값이 요구되는 허용 오차 범위를 벗어나면 물 체크에서 불합격됩니다. 허용 오차 범위는 응용 분야에 따라 다르며, 예를 들어 청량음료 산업 같은 분야보다 제약 산업에서 더 엄격합니다.

## 예

청량음료의 경우, 일반적인 허용 오차 한도는  $\pm 1 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ 입니다. 이는 측정된 밀도가  $0.9981 \text{ g/cm}^3$ 와  $0.9983 \text{ g/cm}^3$  사이일 경우 물 체크에 합격함을 의미합니다.

## 물 체크에 불합격할 경우

### 다음을 시도해 보십시오:

- 신선한 초순수를 사용하십시오.
- 물 체크를 반복합니다.

## 그래도 물 체크에 불합격할 경우:

- 측정 셀을 꼼꼼히 세척합니다.
- 새로운 초순수를 사용해 물 체크를 반복합니다.

## 그래도 물 체크에 불합격할 경우:

- 공기/물 또는 물 보정을 수행합니다.

사용자 물 체크:  
사용자 물 체크에 대한 허용 오차  
한도는

---

---

---

---

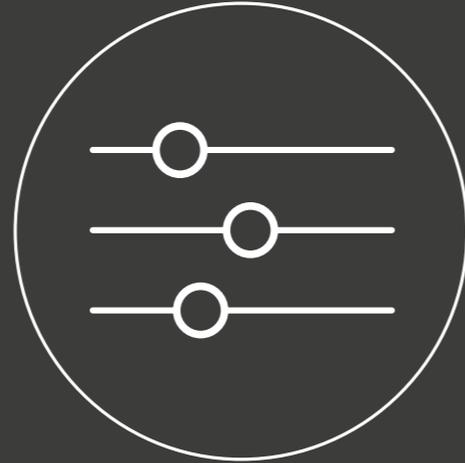
---

---

---

---

# 물 체크에 불합격한 경우, 세척 후에도 효과가 없으면 공기/물 또는 물 보정을 수행하십시오.



보정 작업을 수행하면 기기 상수가 변경됩니다. 결과의 일관성과 비교 가능성을 위해, 물 체크 결과가 불합격일 때 신선한 물을 사용하거나 측정 셀을 세척해도 효과가 없는 경우에만 보정을 수행해야 합니다. 측정 오차의 원인은 대부분 잘못된 세척이며, 보정은 최후의 수단으로서 수행해야 합니다. DMA 501 또는 DMA 1001과 같이 기준 오실레이터가 없는 기기는 매우 정확한 측정을 위해 온도 변화 후 보정이 필요할 수 있습니다.

### 워크플로

- 일반적인 보정 매개체는 건조한 기체와 최근에 기체를 제거한 초순수(예: 2차 증류수)입니다.
- 해당 기기의 자동 보정 절차를 따르십시오.
- 보정 기록 일지에 보정 내역을 기록하십시오.

원인	결과	밀도에 미치는 영향	
과도한 세척	측정 셀의 부피 증가	인위적인 밀도 저하	세척의 부작용을 보정으로 보완해야 하는 이유
효과적이지 않은 세척	측정 셀의 부피가 감소함	인위적인 밀도 증가	



과거에는 일주일에 한 번씩 보정을 수행하는 것이 권장되었지만, 이제는 그렇지 않습니다. 범위를 벗어난 경우에만 기기를 보정하십시오.

### 사용자의 보정 매개체는

보정 매개체 1 \_\_\_\_\_

밀도 1 \_\_\_\_\_

보정 매개체 2 \_\_\_\_\_

밀도 2 \_\_\_\_\_

보정 매개체 3 \_\_\_\_\_

밀도 3 \_\_\_\_\_

# 재현 가능한 결과를 얻으려면 매번 같은 방법으로 시료를 준비할 수 있도록 주의를 기울여야 합니다

## 시료에 기체가 함유되어 있을 경우.

액체 시료에서 기체를 제거하려면 여러 가지 방법이 있습니다. 사용자의 용도에 가장 적합한 방법은 시료의 종류, 기체의 종류, 시료에 용해된 기체의 양에 따라 다릅니다. 시료 준비 중에는 휘발성 성분이 증발하기 때문에 많은 시료의 조성이 약간 변할 수 있다는 사실에 주의하십시오.



### 교반

- 더 이상 기포가 발생하지 않을 때까지 2~15분 동안 (교반 장비에 따라 다름) 시료를 강하게 교반합니다.
- 교반 후 종이 필터에 시료를 부어 더욱 효율적인 탈기 효과를 얻을 수도 있습니다.

### 초음파 수조

- 기포가 발생하지 않을 때까지 시료를 초음파 수조에 약 5~10분 동안 담급니다.

### 끓이기

- 액체를 몇 분 동안 끓여서 용존 가스를 제거합니다.
- 깨끗한 유리 플라스크에 끓인 액체를 채운 후 뚜껑을 덮습니다.
- 액체가 대략적인 측정 온도로 식을 때까지 기다립니다.

### 주사기 사용

- 주사기\*에 시료를 채우고 입구를 손가락으로 막습니다.
- 피스톤을 당겨 진공 상태를 만든 다음 손가락을 떼어 가스를 배출합니다.
- 이 절차를 세 번 이상 반복하여 시료에 가스가 남지 않도록 합니다.

## 위험도가 높은 시료인 경우

- 시료와 세척액, 세정액 및 폐액의 취급에 관한 안전 수칙을 모두 준수하십시오(예: 보안경, 장갑, 호흡기 보호 장치 등 사용).
- 측정을 시작하기 전에 시료와 접촉하는 모든 물질의 내화학성을 확인합니다.

## 시료에 점성이 있는 경우

- 시료를 가열하여 점도를 낮추십시오.
- 시료의 점도가 높은 경우 가열 장치를 사용해 시료 주입구 및 배출구에서 시료가 굳지 않도록 하십시오.
- 자동 시료 주입기를 사용하는 경우 점도가 주어진 사양에 적합한지 확인합니다.

## 시료가 휘발성인 경우

- 시료 바이알을 뚜껑으로 닫으십시오.
- 바이알을 가볍게 흔들어서 액체가 잘 섞이도록 합니다.
- 휘발성이 높은 시료인 경우 가압 환경에서 시료를 주입하는 기능이 갖춰진 시료 주입 장치를 사용하십시오.



인화성 액체는 화재 발생 위험이 높으므로 끊이지 마십시오.

시료에 독성이 있는 휘발성 성분이 함유된 경우, 항상 가스 배출 후드 같은 적절한 환경에서 시료를 취급하십시오.

최고의 시료 준비 방법을 알아보려면 지역 Anton Paar 담당자에게 문의하십시오.

\*주사기는 진공을 만들기 위한 공간을 확보할 수 있을 만큼 충분히 커야 합니다. 주사기의 3분의 2까지만 채우십시오.

# 측정 셀에 시료를 주입할 때는 기포가 생기지 않도록 주의를 기울여 주십시오.



## 시료 주입 장치를 사용한 자동 주입

시료 주입 장치의 사용은 작업자로 인한 주입 오류를 제거하는 유일한 방법입니다. 시료 주입 장치는 매번 같은 방법으로 측정을 반복하므로 반복 가능한 결과를 얻는 가장 좋은 방법입니다.

점도가 높은 시료 또는 휘발성 성분이 포함된 시료와 같은 까다로운 시료도 원활하게 주입됩니다. 일부 시료 주입 장치는 자동 세척을 추가로 지원합니다.

## 작업절차

- 시료를 해당 시료 바이알에 주입하고 필요에 따라 매거진을 준비합니다.
- 시료 장치가 자동 세척을 지원하는 경우 충분한 세척액이 준비되어 있는지 확인합니다.
- 일련의 측정을 시작하기 전에 폐기물 용기를 비웁니다.
- 기기 설정을 확인합니다.
- 기기로 측정할 시료 목록을 작성합니다.
- 측정을 시작합니다.

## 주사기를 사용한 수동 주입

주사기를 사용하는 것은 시료를 탁상용 밀도계에 주입하는 기존의 방식입니다. 반복 가능한 결과를 얻고 측정 셀에 기포가 생기지 않도록 하려면 어느 정도 연습이 필요합니다.

## 작업절차

- 멈추지 않고 플런저를 천천히 부드럽게 누릅니다.
- 기포가 생기지 않고 측정 셀이 채워지는지 확인합니다.
- 기기 설정을 확인합니다.
- 측정을 시작합니다.

페이스트와 성질이 비슷한 물질에는 항상 주사기를 사용하십시오. 시료의 점도가 매우 높은 경우에는 주사기에서 플런저를 완전히 빼내고 스폰을 사용해 시료를 주사기의 뒷부분으로 주입한 후 플런저를 다시 삽입하여 시료를 주입할 수 있습니다.



밀도계에 시료를 주입하기 전에, 모든 침수 부품에 시료에 대한 저항성이 있는지 확인하십시오.

## 사용자 시료 주입

---

---

---

---

---

---

---

---

# 측정 후 측정 셀에서 시료를 제거한 후, 기기를 정기적으로 세척 하십시오.



측정 셀을 매 근무일 또는 근무 교대 후 적어도 한 번씩 세척하고 건조시키십시오.

다음과 같은 경우에는 더 자주 세척해야 할 수 있습니다.

- 보정을 수행하는 경우,
- 이전 시료와 섞이기 쉽지 않은 시료를 측정하는 경우 (예: 석유화학 시료 측정 후 물을 측정하는 경우),
- 측정에 최소한의 시료량을 사용하려는 경우,
- 이전 시료와 화학 반응을 일으킬 수 있는 시료를 측정하는 경우.

기기를 세척하는 가장 효과적인 방법은 자동 세척을 지원하는 시료 주입 장치를 사용하는 것입니다. 이 경우 사용하는 세척액이 시료에 적합한지 확인하십시오.

## 작업절차

- 두 가지 세척액을 사용하여 측정 셀을 세척합니다.
  - 세척액 1: 세척액 1은 측정 셀에 남아 있는 시료 잔여물을 녹이고 제거합니다. 이 액체는 모든 시료 성분을 잘 녹이는 용매여야 합니다.
  - 세척액 2: 세척액 2는 세척액 1을 제거하며, 셀의 건조 속도를 높이기 위해 건조한 공기를 통과시킬 때 쉽게 증발합니다. 세척액 2는 세척액 1에 잘 용해되는 용매여야 합니다.
- 내부 공기 펌프를 작동시켜서 측정 셀을 건조\*시킵니다.
- 공기 밀도를 측정하여(=공기 체크) 세척과 건조가 성공적으로 이루어졌는지 확인합니다.
- 기기가 측정값을 기준값과 자동으로 비교합니다.

\* 휴대용 기기는 건조할 필요가 없습니다. DMA 35는 건조시켜서는 안 됩니다.



밀도계에 세척액을 주입하기 전에 모든 침수 부품이 세척액에 대해 저항성을 가지는지 확인하십시오(설명서 참조).

## 사용자의 세척액은

시료 \_\_\_\_\_

세척액 1 \_\_\_\_\_

세척액 2 \_\_\_\_\_

시료 \_\_\_\_\_

세척액 1 \_\_\_\_\_

세척액 2 \_\_\_\_\_

# 올바른 밀도 측정을 위한 추가 팁



견고한  
실험실 벤치를 사용해 주십시오.



청결한  
환경을 유지해 주십시오.



1년에 한 번씩  
ISO 17025에 따라 기기 교정을 수행하십시오.



직사광선이나 환기로 인한 직접적인 공기 흐름을  
피해 주십시오.



기기로부터 2M 안에 열원을 배치하지 마십시오.



서비스 기술자에게 정기적인 유지보수를 의뢰해  
주십시오.



지정된 표준에 따라 정기적으로 교정을 수행해  
주십시오.



# 주요 샘플과 권장 세척액 목록

시료	권장 세척액 1	권장 세척액 2
애프터세이브 로션, 향수	알코올	-
맥주	물, 실험실용 효소 함유 세정제*	에탄올
맥주 맥아즙	물, 실험실용 효소 함유 세정제*	알코올
연료	나프타	아세톤, 알코올
액체비누 및 세제	물	알코올
운할유	나프타	아세톤, 알코올
우유, 크림	물, 실험실용 효소 함유 세정제*	알코올
모터 오일	나프타	아세톤, 알코올
오렌지주스	물	알코올
슈납스	알코올	-
청량음료	물	알코올
샐러드드레싱, 마요네즈	나프타	알코올
샴푸	물	알코올
선택로션	나프타	알코올
목재 보호/ 투명 증류주 기반(물 기반)	나프타(물)	알코올

\* 특수 세척용으로 실험실용 효소 함유 세정제를 권장합니다.  
실험실용 세정제를 사용한 후에는 측정 셀을 물로 헹궈야  
합니다.



### 밀도("실제 밀도")

밀도  $\rho$ 는 질량을 부피로 나눈 값으로 정의됩니다.

$\rho = \frac{m}{V}$	<p><math>\rho</math> _____ 밀도</p> <p><math>m</math> _____ 질량</p> <p><math>V</math> _____ 부피</p>
----------------------	---

밀도의 단위는 kg/m<sup>3</sup> 또는 g/cm<sup>3</sup>입니다. 1 g/cm<sup>3</sup> = 1000 kg/m<sup>3</sup>.

질량에는 중력이나 공기 중 부력 같은 외부 조건이 적용되지 않습니다. 즉, 무중력 상태의 무게인 셈입니다.

액체 및 가스의 실제 밀도는 진동 U-튜브 방법으로 측정됩니다.

액체 및 가스의 밀도는 온도에 따라 크게 좌우됩니다. 그러므로 밀도 측정 시 항상 정확한 온도 측정 또는 제어가 요구됩니다. 일반적으로 온도가 증가함에 따라 밀도는 감소합니다. 각 분자마다 열 운동으로 인해 더 많은 공간이 필요하기 때문입니다.

**참고:** 물은 독특한 액체입니다. 온도 3.98 °C,  $\rho = 0.999972 \text{ g/cm}^3$ 일 때 최대 밀도에 도달합니다.

### 겉보기 밀도

시료의 겉보기 밀도  $\rho_{app}$ 은 부피로 나눈 공기 중 무게로 정의됩니다.

$\rho_{app} = \frac{W}{V}$	<p><math>\rho_{app}</math> _____ 겉보기 밀도</p> <p><math>W</math> _____ 무게</p> <p><math>V</math> _____ 부피</p>
----------------------------	---

겉보기 밀도에 적용되는 단위는 일반적으로 kg/m<sup>3</sup> 또는 g/cm<sup>3</sup>입니다. (실제) 밀도와 겉보기 밀도 값이 다르다는 점에 유의하십시오. 겉보기 밀도는 실제 밀도보다 작습니다.

시료의 공기 중 부력과 기준 무게의 무게 및 밀도를 고려하여 실제 밀도로부터 겉보기 밀도를 계산할 수 있습니다. 최근에는 무게추를 정의하는 소재로 스틸이 사용되고 있습니다. 예전에는 황동이 사용되었습니다.

$\rho_{app} = \frac{\rho_{true, sample} - \rho_{air}}{1 - \frac{\rho_{air}}{\rho_{steel \text{ or } brass}}}$	<p><math>\rho_{app}</math> _____ 겉보기 밀도</p> <p><math>\rho_{true, sample}</math> _____ 시료의 실제 밀도</p> <p><math>\rho_{air}</math> _____ 공기의 실제 밀도</p> <p><math>\rho_{steel \text{ or } brass}</math> _____ 황동 또는 스틸의 실제 밀도</p> <p><math>\rho_{brass} = 8.4 \text{ g/cm}^3</math> 및 <math>\rho_{steel} = 8.0 \text{ g/cm}^3</math></p>
---	--

### 비중

비중 SG(상대 밀도 D라고도 함)는 정의된 온도에서 시료의 밀도  $\rho_{sample}$ 을 순수한 물의 밀도  $\rho_{water}$ 로 나눠서 계산합니다.

$D^{20/4} = SG^{20/4} = \frac{\rho_{sample} \text{ at } 20 \text{ }^\circ\text{C}}{\rho_{water} \text{ at } 4 \text{ }^\circ\text{C}}$	<p><math>D^{T1/T2} = SG^{T1/T2}</math> 주어진 온도에서의 비중</p> <p><math>\rho_{sample}</math> _____ 시료의 밀도</p> <p><math>\rho_{water}</math> _____ 순수한 물의 밀도</p> <p>4 °C: <math>\rho_{water} = 0.999972 \text{ g/cm}^3</math></p> <p>20 °C: <math>\rho_{water} = 0.998203 \text{ g/cm}^3</math></p>
--	--

비중은 무차원이므로 단위도 없습니다.

### 겉보기 비중

겉보기 비중  $SG_{app}$ (상대 밀도  $D_{app}$ 라고도 함)는 정의된 온도에서 시료의 겉보기 밀도  $\rho_{app, sample}$ 을 순수한 물의 겉보기 밀도  $\rho_{app, water}$ 로 나눠서 계산합니다.

$D_{app}^{20/20} = SG_{app}^{20/20} = \frac{\rho_{app, sample} \text{ at } 20 \text{ }^\circ\text{C}}{\rho_{app, water} \text{ at } 20 \text{ }^\circ\text{C}}$	<p><math>D_{app}^{T1/T2} = SG_{app}^{T1/T2}</math> 주어진 온도에서의 비중</p> <p><math>\rho_{app, sample}</math> _____ 시료의 겉보기 밀도</p> <p><math>\rho_{app, water}</math> _____ 순수한 물의 겉보기 밀도</p>
---	---

비중은 무차원이므로 단위도 없습니다.

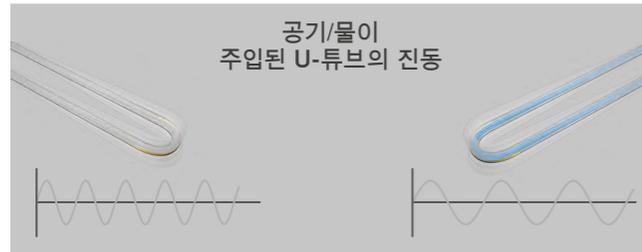
비중계를 사용한 측정의 경우 겉보기 비중은 다음과 같은 방법으로 측정할 수 있습니다.

$D_{app}^{20/20} = \frac{\text{weight}_{sample+bottle} - \text{weight}_{bottle}}{\text{weight}_{water+bottle} - \text{weight}_{bottle}}$	
--	--

	공기(T = 20 °C), P = 1013 MBAR	물 T = 20 °C일 때
실제 밀도 $\rho$	0.00120	0.99820
비중 $SG^{20/20}$	0.00120	1
비중 $SG^{20/4}$	0.00120	0.99823
겉보기 비중 $SG_{app}^{20/20}$	0	1

## 진동 U-튜브 방법

진동 U-튜브 방법은 유체의 실제 밀도를 측정하는 데 사용됩니다. 시료가 U 모양의 튜브로 삽입되면 전자적으로 자극이 가해져 시료의 특성 주파수로 진동합니다. 시료의 밀도에 따라 특성 주파수가 달라집니다. 특성 주파수의 정확한 측정 및 적절한 보정을 통해 시료의 밀도가 측정됩니다. 밀도의 고온 종속성으로 인해 측정 셀의 온도를 정확히 조절해야 합니다.



현대식 고정밀 밀도계는 다음과 같은 추가 기능을 제공합니다.	점도 보정 넓은 점도 범위에 대한 정확한 결과 지원  기준 오실레이터 단 한 번의 보정으로 넓은 온도 범위에 대한 정확한 결과 지원
-----------------------------------	---

## 강제 진동 방법

디지털 밀도계가 출시된 이래로 일정한 진동을 구현하는 것은 최첨단 기술에 해당했습니다. 이 기술은 이제 한계에 도달했습니다.



"펄스 여기 방법"은 U-튜브가 펄스에 의해 여기되어 진동한다는 사실을 설명합니다. 일정한 진폭에 도달하면 펄스 시퀀스가 중지됩니다. U-튜브의 진동은 어떠한 영향도 받지 않고 자유롭게 페이드아웃되는 동안 측정됩니다. 여기와 페이드아웃이 주기적으로 번갈아 나타납니다.

이 방식의 장점은 다음과 같습니다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용자는 기존 방법에 비해 더 많은 정보를 얻을 수 있습니다.</li> <li>- 점도 보정이 개선됩니다.</li> <li>- "펄스 여기 방법"은 개선된 반복성 및 재현성을 제공합니다.</li> </ul>
---------------------	--

## 농도 측정

밀도 측정을 통해 두 성분의 혼합물(이원 혼합물)의 농도를 측정할 수 있습니다. 밀도 A와 B를 알고 있는 두 시료를 혼합하면 밀도가 값 A와 B 사이에 속하는 시료를 얻게 됩니다. 정확한 값은 혼합비와 그에 따른 농도에 따라 달라집니다.

### 준이원 혼합물, 즉

- 두 가지 주요 성분을 함유하는 혼합물에 대해서도 농도 측정이 가능합니다. 특정 추가 성분이 소량의 농도로 존재하지만, 대량의 밀도에 대해 미치는 영향이 미미하므로 이러한 성분은 무시할 수 있습니다.
- 예: 일반 청량음료의 주요 성분은 물과 당입니다. 그 밖의 모든 성분은 당도(°Brix) 측정 시 무시할 수 있습니다.
- 혼합물에 여러 성분이 포함되지만, 한 성분의 양만 달라집니다. 그 밖의 모든 성분은 정확히 일정하게 유지됩니다.
- 예: 주입제 생산 시 몇몇 기본 성분은 레시피에 따라 무게가 정확히 계량됩니다. 두 번째 단계에서는 이 혼합물이 물과 희석됩니다. 농도는 밀도 측정을 통해 제어할 수 있습니다.

## 교정

교정은 얻은 측정 결과를 표준 기준값과 비교하는 작업입니다. 교정은 측정과 보정의 품질에 대한 유효성을 확인하기 위해 수행됩니다. 예를 들어, 표준 기준값은 밀도 표준 액체에 대한 인증을 통해 제공됩니다. 표준의 불확실성과 기존 방법은 측정 품질을 최대한 높게 유지하는 데 매우 중요합니다.

**권장 사항:** 가급적 ISO 17034에 따라 인증되고 기기보다 3배 더 우수한 것으로 지정된 밀도 표준을 사용하여 1년에 1~2회 교정을 수행해 주십시오.

## 출고 전 교정

Anton Paar의 생산 센터를 나가는 모든 기기는 출고 전에 교정됩니다. 기기는 공장 인증서와 함께 제공되고 배송 즉시 측정할 수 있으며 고도로 정밀하고 정확한 측정 결과를 제공합니다.

## ISO 17025 교정

ISO 17025에 따른 교정은 국제 단위계(SI)로 추적 가능하며 감사 시 신뢰할 수 있고 국제적으로 인정되는 기준으로 사용됩니다.

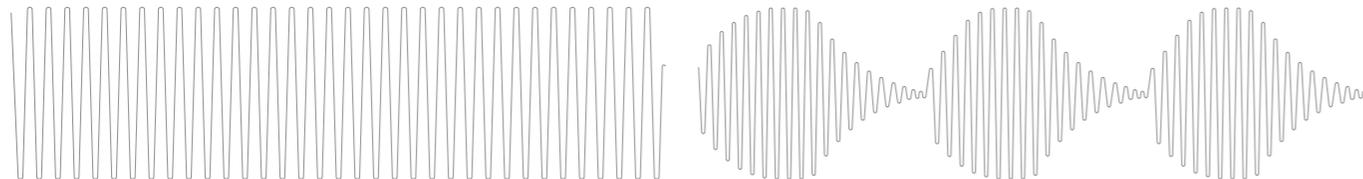
## 보정

보정은 정확한 측정을 가능하게 하고 계통적 측정 오차를 없애기 위해 기기 상수를 수정하는 작업입니다. 정해진 편차가 허용 오차 범위 내에 있지 않으면 교정 후 보정을 실시해야 합니다.

보정 시 밀도계는 표준물질의 밀도 값과 측정된 진동 기간을 사용하여 기기 상수를 계산합니다. 일반적으로 보정에는 건조 공기와 최근에 가스를 제거한 순수(예: 2차 증류수) 같은 두 가지 표준물질이 필요합니다.

## ISO 17034 인증 표준물질

ISO 17034 인증 밀도 표준물질의 경우, 지정된 기준값은 지속적인 모니터링을 통해 표준물질의 사용 기간 동안 유효합니다. 또한, SI 단위로 추적할 수 있습니다.

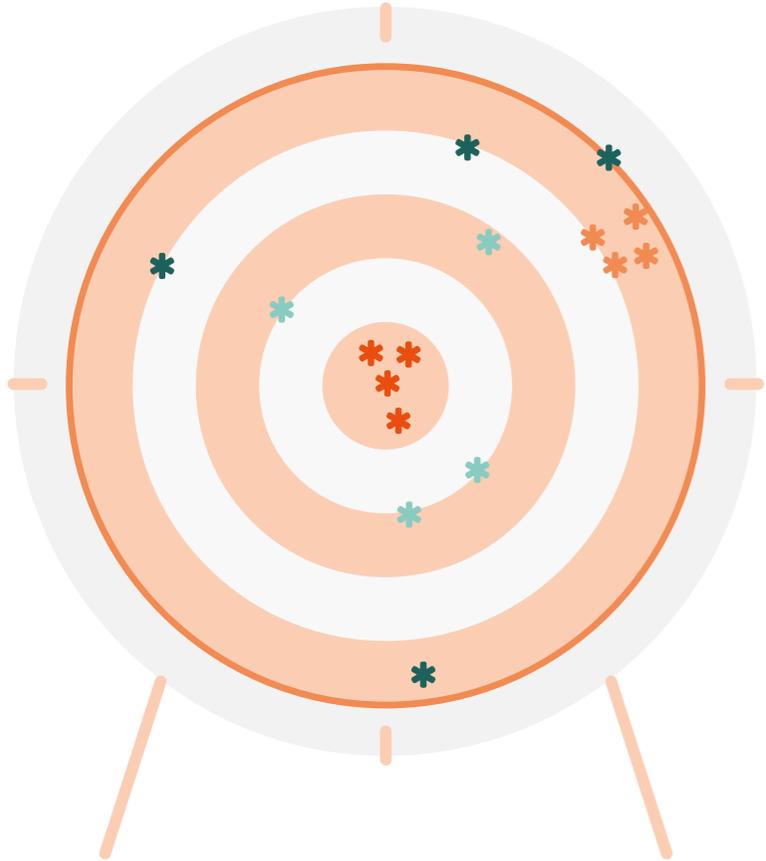


### 정확도

정확도는 측정 결과가 측정량의 실제 값과 얼마나 가까운지를 정성적으로 표현합니다.

이와 대조적으로, 정확도의 정량적 척도는 측정의 불확실성입니다.

정확도 및 정밀도 상태:	<span style="color: green;">*</span> 정확하지 않음, 정밀하지 않음
	<span style="color: lightblue;">*</span> 정확함, 정밀하지 않음
	<span style="color: orange;">*</span> 정확하지 않음, 정밀함
	<span style="color: red;">*</span> 정확함, 정밀함



### 정밀도

정밀도란 주어진 측정 조건에서 측정 결과가 서로 간에 얼마나 가까운지를 정성적으로 표현하는 것을 말합니다. 정밀도는 반복성 또는 재현성 조건으로부터 명시할 수 있습니다.

### 측정 불확실성

측정 불확실성은 측정량의 실제 값이 예상되는 구간을 나타냅니다.

측정 불확실성에는 측정 기기에서 발생하는 기기 측정 불확실성, 교정 표준물질의 불확실성, 측정 프로세스(시료 준비, 시료 주입 등)로 인한 불확실성이 포함됩니다.

표준 불확실성은 “GUM(Guide to the expression of uncertainty in measurement; 측정 불확실성 표현 지침)”, JCGM 100:2008에 따라 측정할 수 있습니다.

### 반복성

반복성은 동일한 측정 조건에서 실시되는 동일한 측정량에 대한 연속 측정 결과 간의 일치 근접성을 말합니다.

이러한 이상적인 조건은 측정 결과의 분산을 최소화합니다.

반복성 조건 은 다음과 같습니다.	- 동일한 측정 절차
	- 동일한 작업자
	- 동일한 조건에서 사용되는 동일한 측정 기기
	- 동일한 위치
	- 단기간 동안 반복

반복성은 반복성 표준 편차로 표현할 수 있습니다. 이 표준 편차는 반복성 조건에서 실시되는 측정으로부터 계산됩니다.

### 재현성

재현성은 변경된 측정 조건에서 실시되는 동일한 측정량에 대한 측정 결과 간의 일치 근접성을 말합니다.

이러한 조건은 측정 결과의 분산을 최대화합니다.

이러한 재현성 조건에는 다음이 포함될 수 있습니다.	- 측정 원리
	- 측정 방법
	- 작업자
	- 측정 기기
	- 기준 표준물질
	- 위치
	- 사용 조건
	- 시간

변경된 측정 조건을 명시해야 합니다.

재현성은 재현성 표준 편차로 표현할 수 있습니다. 이 표준 편차는 정의된 재현성 조건에서 실시되는 측정에서 계산됩니다.

### 측정 오차

측정 오차는 측정된 정량적 값에서 기준의 정량적 값을 뺀 값입니다. 무작위 측정 오차와 체계적 측정 오차는 구분할 수 있습니다.

### 무작위 측정 오차

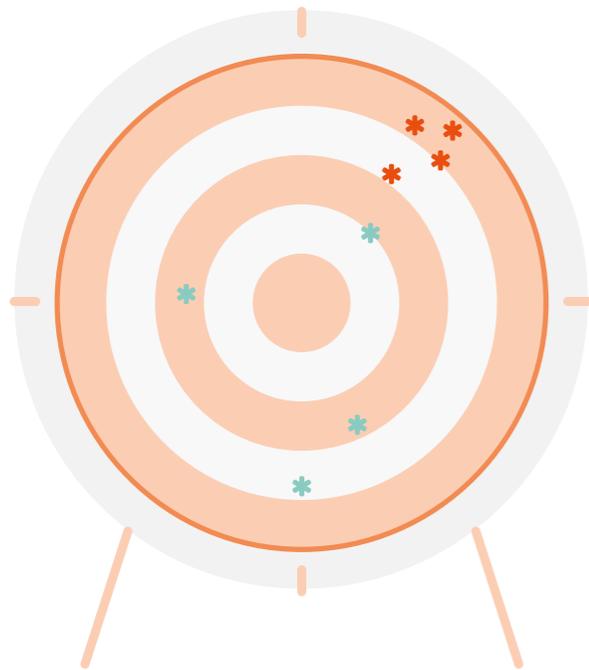
무작위 측정 오차는 반복되는 측정에서 예측할 수 없는 방식으로 변하는 측정 오차의 구성 요소입니다. 무작위 측정 오차를 제거하기 위해 많은 측정을 수행해야 합니다. 이러한 측정의 평균값은 실제 값에 가까워지는 경향이 있습니다.

### 계통적 측정 오차

계통적 측정 오차는 반복성 조건에서 수행되는 동일한 측정량의 무한 횟수의 측정에서 획득될 평균값에서 측정량의 실제 값을 뺀 것입니다.

계통적 측정 오차와 그 원인은 알려져 있기도 하고 그렇지 않기도 합니다. 알려진 계통적 측정 오차를 보정하기 위해 별도로 보정을 적용할 수 있습니다.

측정 오차:	<span style="color: #00A08A;">✱</span> 무작위 측정 오차
	<span style="color: #E67E22;">✱</span> 계통적 측정 오차



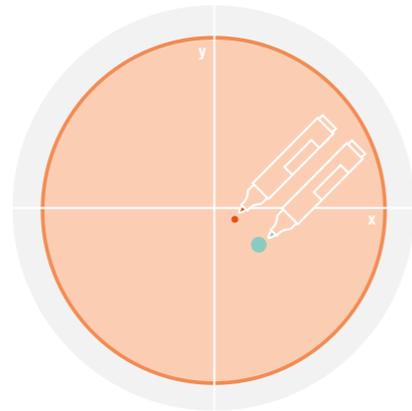
### 분해능

분해능은 차이를 구별하는(이를테면 두 가지를 서로 구분하기 위해) 능력입니다. 분해능이 높다는 것은 작은 차이까지도 구별할 수 있다는 의미입니다. 디지털 시스템에서는 분해능이 획득하거나 볼 수 있는 최소 증가 또는 단계를 의미합니다. 아날로그 시스템에서는 안정적으로 관찰할 수 있는 최소 단계 또는 차이를 의미합니다.

대부분의 사람들이 분해능이 높은 기기가 더 정확한 결과를 제공한다고 잘못 생각하고 있습니다. 분해능이 높다고 반드시 정확도가 높지는 않습니다.

시스템의 정확도는 절대로 시스템의 분해능을 초과할 수 없습니다!

- 미세 분해능에 대한 비유  
미세한 마커로는 작은 점을 그릴 수 있습니다.
- 거친 분해능에 대한 비유  
두꺼운 마커로는 세밀한 그림을 그릴 수 없습니다.



### 산술 평균값

산술 평균값  $x_0$ 는 측정값의 합계를 측정 횟수  $n$ 으로 나눈 것입니다.

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$x_0$  \_\_\_\_\_ 평균값  
 $i$ 번째 측정의  $x_i$  \_\_\_\_\_ 측정값  
 $n$  \_\_\_\_\_ 측정 횟수

평균값은 측정 결과의 산란도에 대한 정보를 제공하지 않습니다.

예:

일련의 밀도 측정을 통해 다음 결과를 제공합니다.  산술 평균값( $n = 6$ ): $x_0 = 0.9982037 \text{ g/cm}^3$	$x_1 = 0.998203 \text{ g/cm}^3$ $x_2 = 0.998203 \text{ g/cm}^3$ $x_3 = 0.998204 \text{ g/cm}^3$ $x_4 = 0.998203 \text{ g/cm}^3$ $x_5 = 0.998204 \text{ g/cm}^3$ $x_6 = 0.998205 \text{ g/cm}^3$
---	--

팁: Microsoft Excel에서는 AVERAGE(number1, number2, ...) 함수를 사용할 수 있습니다.

### 실험 표준 편차(S.D.)

동일한 측정값에 대한 일련의  $n$ 회 측정의 경우, 실험 표준 편차  $s$ 는 결과의 분산을 나타냅니다. 다음 공식에 의해 제공됩니다.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2}$$

$s$  \_\_\_\_\_ 실험 표준 편차  
 $n$  \_\_\_\_\_ 측정 횟수  
 $i$ 번째 측정의  $x_i$  \_\_\_\_\_ 측정값  
 $x_0$  \_\_\_\_\_ 산술 평균값

평균값은 흔히 표준 편차와 함께 제시됩니다. 평균값은 데이터의 중앙 위치를 의미하며, 표준 편차는 산란도를 의미합니다.

산술 평균값의 예는 실험 표준 편차를 계산하는 데 사용됩니다.

$x_0 = 0.9982037 \text{ g/cm}^3$   
 $n = 6$

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - 0.9982037)^2 + (x_2 - 0.9982037)^2 + \dots + (x_6 - 0.9982037)^2}{5}}$$

$s = 0.000001 \text{ g/cm}^3$

팁: Microsoft Excel에서는 STDEV.S (number1, number2, ...) 함수를 사용할 수 있습니다.

# 일반적으로, 성공적인 밀도 측정의 중요 요소는 무엇일까요?

처음부터 마지막까지 - 실험실에서 작업을 시작하는 순간부터 장비를  
청소하는 순간까지  
전체 측정 과정에 대한 기본 5단계를 주시하고 익숙해지도록  
훈련한다면 문제없이 작업하실 수 있습니다.

자세히 알아보기



[www.anton-paar.com/density](http://www.anton-paar.com/density)