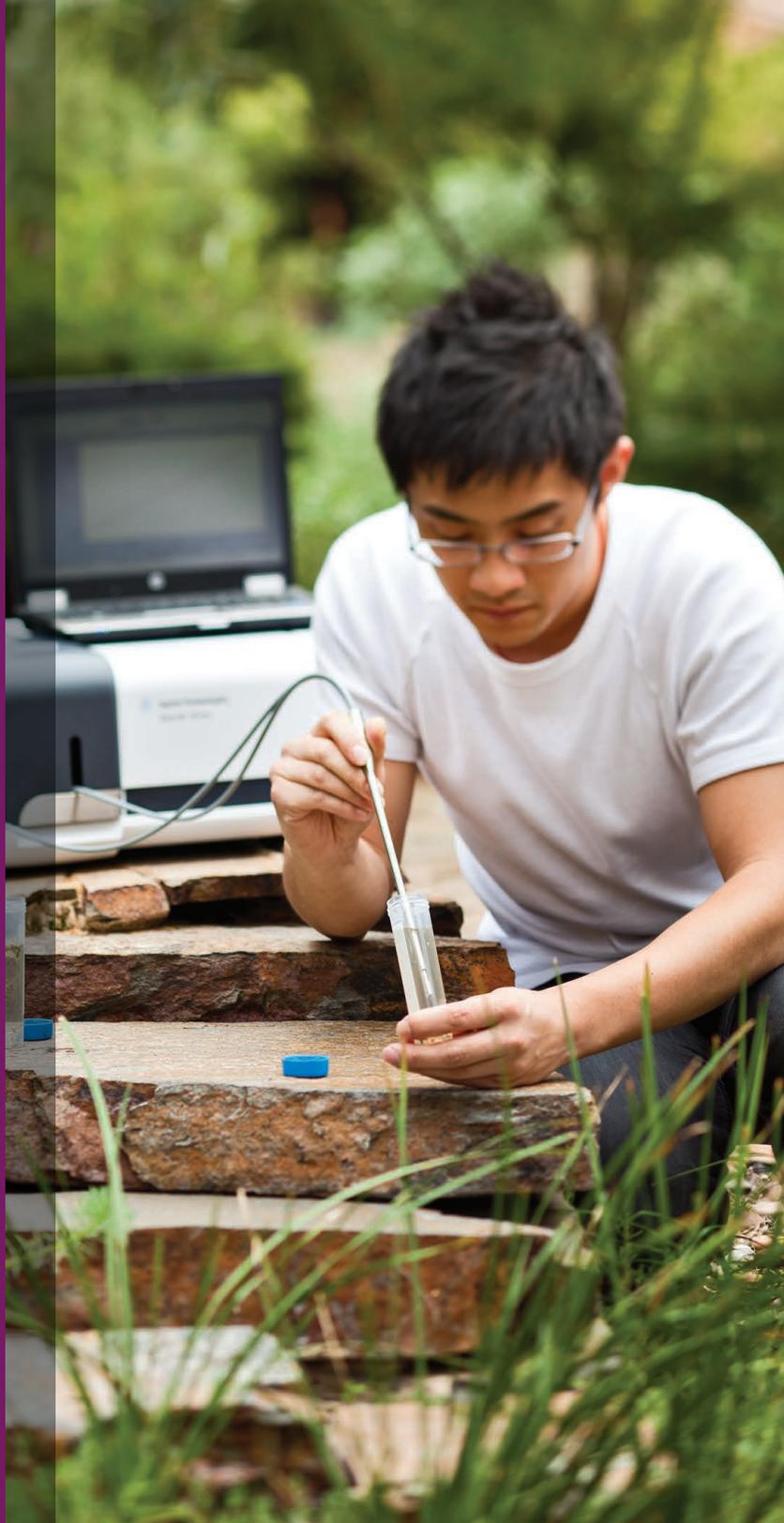


# UV-Vis 분광 광도법 기초 지식

기본 지침서





# 내용

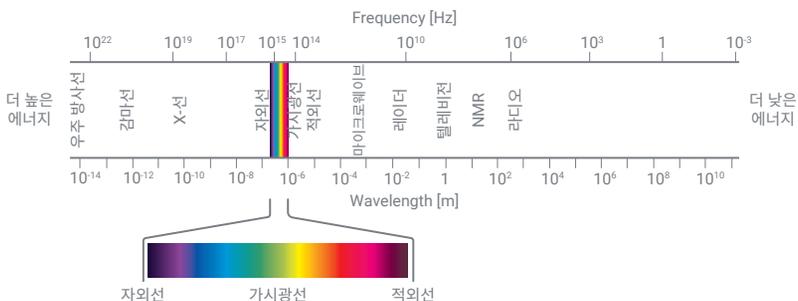
<b>1 UV-Vis 측정 기본 원리</b>	<b>3</b>
1.1 전자기 스펙트럼	3
1.2 파장 및 진동수	3
1.3 UV-visible 스펙트럼	3
1.4 투과율 및 흡광도	4
1.5 요약	4
<b>2 최신 UV-Vis 분광 광도계는 어떻게 작동합니까?</b>	<b>5</b>
2.1 기기 설계	7
<b>3 UV-Vis 측정을 위한 최적의 파라미터 선택</b>	<b>13</b>
3.1 광학 셀 선택	13
3.2 시료 온도 조절	16
3.3 시료 교반	16
3.4 저온 측정	16
3.5 용매 투광성	17
3.6 최적 스펙트럼 대역폭	18
3.7 미광	19
3.8 UV-Vis 기기의 선형 범위	19
3.9 기타 유용한 정보	20
3.10 파장 또는 역 센티미터	20
<b>4 일반적인 UV-Vis 응용 분야 개요</b>	<b>21</b>
4.1 식별—스펙트럼 및 구조	21
4.2 ID 확인	22
4.3 분자 정량화	22
4.4 동역학	24
4.5 색상 측정	26
4.6 화합물의 구조적 변화	28
4.7 단백질 및 핵산 용융 온도	28
4.8 다성분 분석	30
4.9 소프트웨어 요구사항	32
<b>5 용어</b>	<b>34</b>

# 1. UV-Vis 측정 기본 원리

## 1.1 전자기 스펙트럼

자외선(UV)과 가시광선은 라디오파, 적외선(IR), 우주 방사선, X-선 등의 다른 광선과 함께 전자기 스펙트럼을 구성하는 일부 요소입니다.

그림 1. 전자기 스펙트럼, 가시광선 영역 확장됨.



전자기 방사선과 관련된 에너지는 다음과 같이 정의합니다.

$$E = hv$$

여기서  $E$ 는 에너지(줄 단위),  $h$ 는 플랑크상수( $6.62 \times 10^{-34}$  Js),  $v$ 는 진동수(초 단위)입니다.

분광기를 사용하면 물질이 전자기 방사선과 어떤 상호작용을 하는지 또는 어떻게 전자기 방사선을 방출하는지에 대한 연구가 가능합니다. 분광기는 측정 파장 범위에 따라 여러 종류로 나뉩니다. UV-Vis 분광기는 전자기 스펙트럼의 자외선 가시 영역의 빛을 사용합니다. 적외선 분광기는 스펙트럼의 보다 낮은 에너지 영역인 적외선을 사용합니다.

## 1.2 파장 및 진동수

전자기 방사선은 파동으로 공간을 통과하는 교차 전기 및 자기장의 조합으로 간주할 수 있습니다. 방사선이 파동과 같은 역할을 하기 때문에 다음 방정식과 관련이 있는 파장 또는 진동수 측면에서 분류할 수 있습니다.

$$v = c/\lambda$$

여기서  $v$ 는 진동수(1/초 단위),  $c$ 는 빛의 속도( $3 \times 10^8$  ms<sup>-1</sup>),  $\lambda$ 는 파장(미터 단위)입니다.

UV-Vis 분광기에서 파장은 대개 나노미터(1nm = 10<sup>-9</sup> m) 단위로 표시합니다. 파장이 더 짧은 방사선이 더 많은 에너지를 가진다는 방정식을 따르며, UV-Vis 분광기의 경우 낮은(짧은) 파장의 자외선이 가장 높은 에너지를 가집니다.

때때로 이 에너지가 감광성 시료를 측정할 때 원치 않는 광화학 반응을 일으키기에 충분할 수 있습니다.

## 1.3 UV-visible 스펙트럼

방사선이 물질과 상호작용할 때에는 반사, 산란, 흡수, 형광/인광(흡수 및 재방출), 광화학 반응(흡수 및 결합 손상) 등을 포함한 다양한 현상이 일어납니다. 일반적으로 UV-visible 스펙트럼을 알아보기 위한 시료 측정 시에는 흡광도를 측정합니다.

빛은 에너지의 한 형태이기 때문에 물질의 빛 흡수는 물질 내 분자(또는 원자)의 에너지 준위를 높게 됩니다. 분자의 총 전위 에너지는 전자, 진동 및 회전 에너지의 합계로 나타냅니다.

$$E_{total} = E_{electronic} + E_{vibrational} + E_{rotational}$$

각 형태에서 분자가 가지고 있는 에너지의 양은 연속체가 아니라 일련의 개별적인 수준 또는 상태입니다. 다양한 상태 간의 에너지 차이는 다음과 같은 순서로 나타냅니다.

$$E_{electronic} > E_{vibrational} > E_{rotational}$$

일부 분자 및 원자의 경우 UV 및 가시광선의 입사 광자는 다양한 전자 에너지 준위 간에 전이를 야기할 수 있는 충분한 에너지를 가지고 있습니다. 흡수된 빛의 파장은 더 낮은 에너지 준위에서 더 높은 에너지 준위로 전자를 이동시키는 데 필요한 에너지를 가지고 있습니다. 그림 2는 포름알데히드에서 전자 전이의 예와 전이를 일으키는 빛의 파장을 보여줍니다.

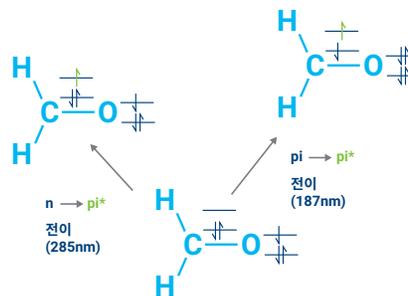


그림 2. 포름알데히드에서 전자 전이. 187nm에서 자외선이 C-O 결합 내 전자의 방출을 야기하며 285nm 파장의 빛이 산소 원자에서의 전자 방출과 C-O 결합으로의 전자 전이를 일으킵니다.

이러한 전이는 매우 좁은 흡광도 밴드를 나타내며, 이는 빛을 흡수하는 물질의 에너지 준위에 따라 크게 달라집니다. 그림 3에서 확인할 수 있는 것처럼, 원자에 대해서도 마찬가지입니다.

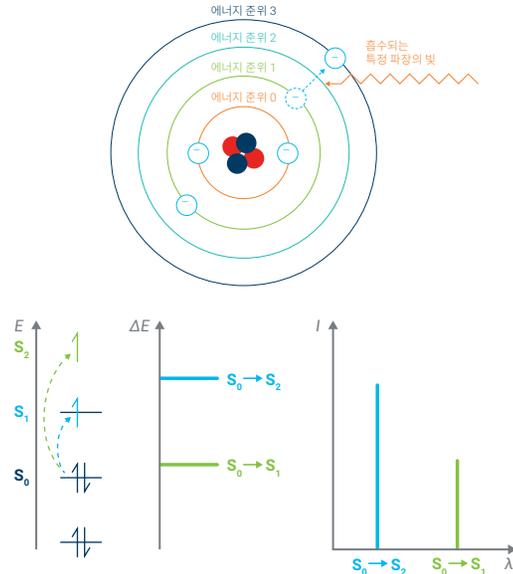


그림 3. 특정 파장의 입사광은 원자 내 전자의 방출을 야기합니다. 원자 또는 이온의 종류 및 전이되는 전자의 에너지 준위는 흡수되는 빛의 파장을 결정합니다. 전이는 1개 이상의 에너지 준위 간에서 발생할 수 있으며, 여기에는 전자를 핵에서 더 멀리 옮길 수 있는 더 많은 에너지(예: 더 낮은 파장의 빛)가 필요합니다.

하지만, 분자의 경우, 진동 및 회전 에너지 준위가 전자 에너지 준위에 겹쳐져 있습니다. 서로 다른 에너지를 가지는 많은 전이가 발생할 수 있기 때문에 밴드가 넓어집니다(그림 4 참조). 밴드가 넓어지는 현상은 용매-용질 상호작용으로 인해 용액에서 더 커집니다.

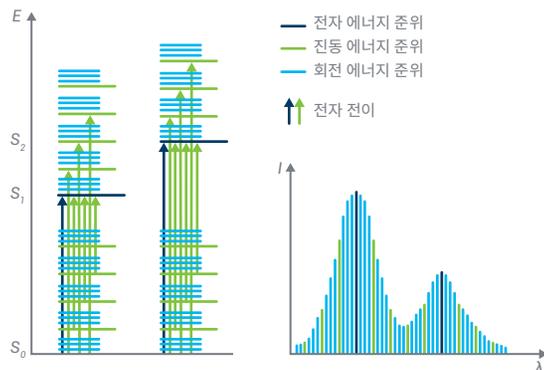


그림 4. 분자에서 전자 전이와 UV-visible 스펙트럼(I는 강도, λ는 파장).

## 1.4 투과율 및 흡광도

빛이 시료를 통과하거나 시료에서 반사될 때 흡수된 빛의 양은 입사 방사선( $I_0$ )과 투과된 방사선( $I$ ) 간의 차이와 같습니다. 흡수된 빛의 양은 흡광도로 나타냅니다. 투과율, 즉 시료를 통과하는 빛은 일반적으로 분자가 1인 분수 또는 백분율로 표기하며, 다음과 같이 정의합니다.

$$T = I/I_0 \text{ 또는 } \%T = I/I_0 \times 100$$

흡광도는 다음과 같이 정의합니다.

$$A = -\log T$$

대부분의 응용 분야에서 (섹션 1.9에 기술한 것처럼, Beer Lambert 법칙에 따라) 흡광도와 농도 및 경로 길이 사이의 관계가 일반적으로 선형이기 때문에 흡광도 값이 사용됩니다.

## 1.5 요약

- UV 및 가시광선은 전자기 스펙트럼의 일부입니다
- UV-Vis 분광기에서 파장은 대개 나노미터(nm) 단위로 나타냅니다
- 빛은 물질과 부딪히면 반사, 산란, 전이 또는 흡수될 수 있으며, 광화학 반응을 일으킬 수 있습니다
- 입사광의 에너지로 인해 전자가 다양한 에너지 준위로 전이됩니다. 분자의 진동 및 회전 에너지 준위 사이에서도 전자 전이가 발생하기도 합니다
- 대부분의 UV-Vis 분광기 응용 분야에서는 빛의 흡광도를 사용합니다.  $A = -\log T$ 로 정의되고, 여기서 T는 투과율입니다

## 2. 최신 UV-Vis 분광 광도계는 어떻게 작동합니까?

자외선 가시광선(UV-Vis) 분광 광도계는 광원을 사용해 UV에서 가시 파장 범위의 빛(일반적으로 190 ~ 900nm)으로 시료를 측정합니다. 그다음에 기기 각각 파장에서 시료에 의해 흡수, 전이 또는 반사된 빛을 측정합니다. 일부 분광 광도계는 근적외선(NIR) (800 ~ 3,200nm)까지 파장 범위가 확대되었습니다.

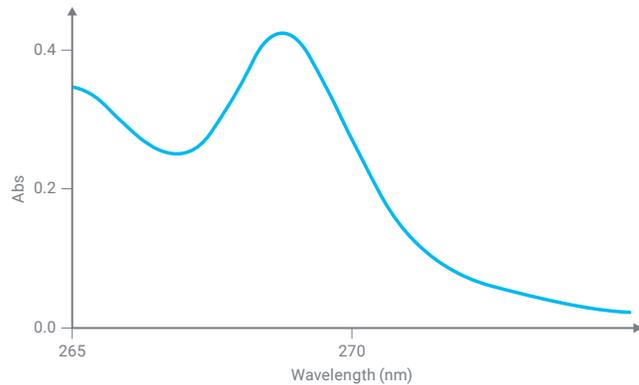


그림 5. UV 흡광 스펙트럼, 대략 269nm에서의 흡광도 피크 표시.

그림 5에서 확인할 수 있는 것처럼, 얻은 스펙트럼에서 시료의 화학적 또는 물리적 속성을 측정할 수 있습니다.

일반적으로 다음과 같은 작업이 가능합니다.

- 고체 또는 액체 시료 내 분자 파악
- 용액 내 특정 분자의 농도 측정
- 액체 또는 고체에 대한 빛의 흡광도 또는 투과율-파장 범위 특성 규명
- 표면의 반사 특성 규명 또는 물질의 색상 측정
- 화학 반응 또는 생물학적 프로세스 연구

다양한 액세서리와 시료 홀더를 UV-Vis 분광 광도계와 결합해 다양한 유형의 측정을 수행할 수 있습니다. 다양한 측정 기능 및 시료 유형(예: 고체 vs. 액체)과 다양한 측정 조건에 따라 사용할 수 있는 다양한 액세서리가 있습니다(그림 6 및 7).



그림 6. 광섬유 프로브 액세서리를 UV-Vis 분광 광도계에 장착해 다양한 용기에 담긴 액체 시료를 측정할 수 있습니다.

UV-Vis 분광 광도법은 다양하게 활용할 수 있는 기법으로, 다양한 분야에서 거의 한 세기 동안 사용되어 왔습니다. UV-Vis 분광 광도계는 재료 테스트/연구, 화학/석유화학, 생명 공학/제약 실험실에서 일상적으로 사용됩니다.

그림 7. 이 polycrystalline photovoltaic 태양광 전지와 같은 고체 시료는 UV-Vis 분광 광도계를 사용해 측정할 수 있습니다.



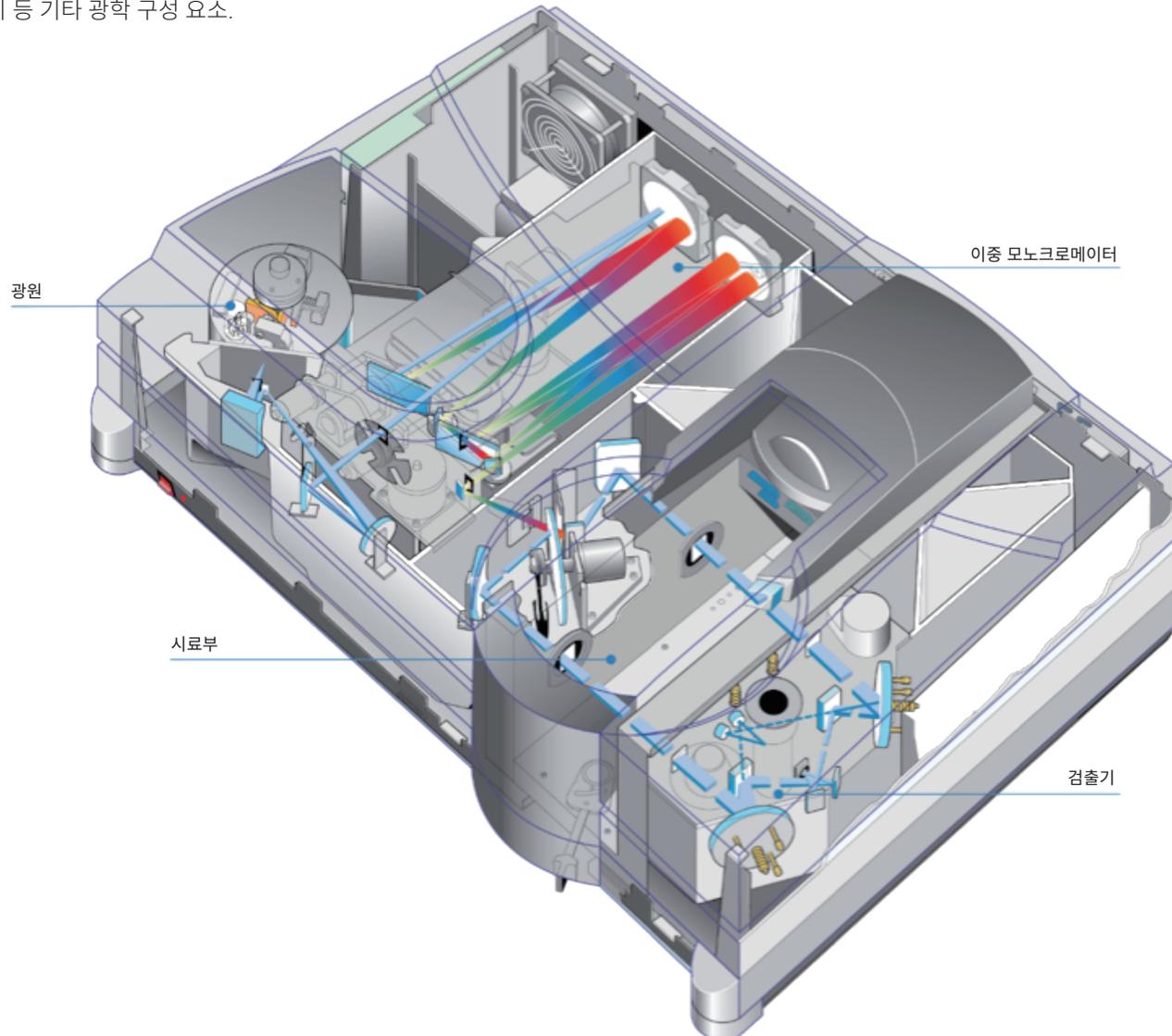
## 2.1 기기 설계

### 구성 요소

분광 광도계의 주요 구성 요소:

- UV-visible 스펙트럼에서 광대역 전자기 방사선을 생성하는 광원
  - 광대역 방사선을 파장에 따라 분리하는 분광 장치
  - 광선이 투과하거나 시료에서 반사되도록 하는 시료 영역
  - 반사되거나 투과된 방사선의 강도를 측정하는 1개 이상의 검출기
- 렌즈, 거울, 광섬유, 기기 내 빛 전달 장치 등 기타 광학 구성 요소.

그림 8. Agilent Cary 5000 UV-Vis-NIR  
분광 광도계의 내부 레이아웃 구성도,  
주요 구성 요소 표시. 고성능 기기입니다.  
일상적 측정을 위한 UV-Vis 분광  
광도계의 광학 설계는 더 간단합니다.



## 광원

이상적인 광원은 낮은 노이즈와 장기간 안정성으로 모든 파장에서 일정한 강도를 생성합니다. 하지만 아쉽게도 이러한 광원은 존재하지 않습니다. UV-visible 분광 광도계에 오랫동안 사용되어 온 광원으로는 두 종류가 있습니다.

- 중수소 아크 광원은 UV 영역 내의 훌륭한 강도 연속성 및 가시광선 영역 내의 유용한 강도를 제공하기 위해 사용되었습니다
- 텅스텐-할로겐 광원은 전체 가시광선 범위와 UV 스펙트럼 일부 범위에서 훌륭한 강도를 나타냅니다

보다 최근에는 단일 Xenon 플래시 램프가 널리 쓰이고 있습니다. Xenon 플래시 램프를 단일 광원으로 사용하는 것은 기존의 2개 광원 유형을 사용하는 것보다 훨씬 이점이 많습니다.

### 중수소(D<sub>2</sub>) 아크 광원

중수소 아크 광원은 중수소 가스로부터의 아크 방전을 사용해 UV 영역에서의 우수한 강도 연속성 및 185 ~ 400nm 가시광선 영역에서의 유용한 강도를 나타냅니다.(그림 9 참조). 현대의 중수소 아크 광원은 낮은 시그널 노이즈를 가지고 있으나, 종종 광원의 노이즈는 전체 기기 노이즈 성능에서 한계 요소로 작용합니다. 시간이 흐를수록 중수소 아크 광원의 빛의 강도가 지속적으로 감소합니다. 이러한 광원의 반감기(강도가 최초 값의 절반으로 떨어지는 데 걸리는 기간)는 일반적으로 약 1,000시간입니다. D<sub>2</sub> 광원은 이런 짧은 반감기로 인해 상대적으로 자주 교체해야 합니다.

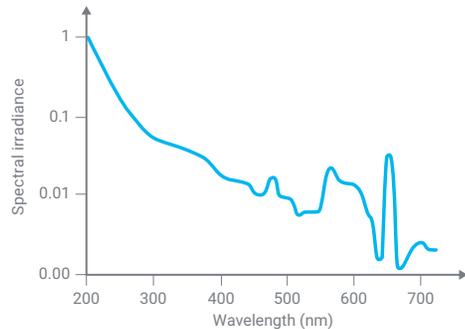


그림 9. 중수소 아크 광원의 강도 스펙트럼.



### 텅스텐-할로겐 광원

텅스텐-할로겐 광원은 필라멘트를 사용합니다. 전류가 필라멘트를 통과할 때 가열되고 빛을 방출합니다(그림 10 참조). 이 광원은 UV 중 일부 영역, 가시광선 전체, NIR 범위(350 ~ 3,000nm)에서 훌륭한 강도를 발휘합니다. 이러한 유형의 광원은 노이즈가 매우 낮고, 드리프트가 적고, 일반적으로 사용 시간이 10,000시간입니다.

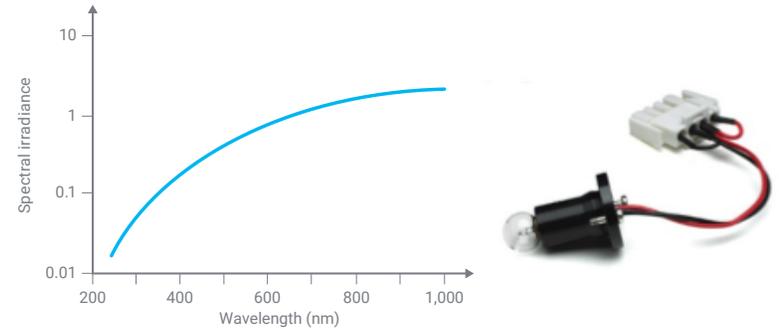


그림 10. 텅스텐-할로겐 광원의 강도 스펙트럼.

D<sub>2</sub>와 텅스텐-할로겐 광원을 모두 사용하는 UV-visible 분광 광도계에서는 광원 선택기를 사용해 상황에 따라 적절한 광원을 선택하도록 하거나, 두 광원에서 나오는 빛을 혼합해 하나의 광대역 광원을 생성하기도 합니다.

### Xenon 플래시 램프

연속적인 광원을 제공하는 D<sub>2</sub> 또는 텅스텐-할로겐 광원과 달리 Xenon 플래시 램프는 매우 짧은 시간 동안 플래시 형태로 빛을 방출합니다. 빛을 방출하는 시간이 짧으며 오직 시료 측정 시에만 방출하기 때문에 광원의 수명은 깁니다. 시료는 측정 시에만 빛을 받게 됩니다. 이 짧은 빛 조사 시간으로 인해 Xenon 플래시 램프는 광표백에 민감한 시료 측정에 적합합니다. 광표백 현상은 긴 시간 동안 연속적인 광원에 노출된 민감한 시료에서 나타날 수 있습니다. Xenon 플래시 램프는 185 ~ 2,500nm의 고강도 빛을 방출하기 때문에 다른 보조 광원은 필요하지 않습니다(그림 11). Xenon 플래시 램프는 교체 없이 장기간 사용 가능하며, D<sub>2</sub> 또는 텅스텐-할로겐 광원을 사용하는 시스템과 비교해 큰 인기를 얻고 있습니다. 또 다른 장점은 D<sub>2</sub> 또는 텅스텐-할로겐 광원과 달리 예열 시간이 필요하지 않다는 점입니다.

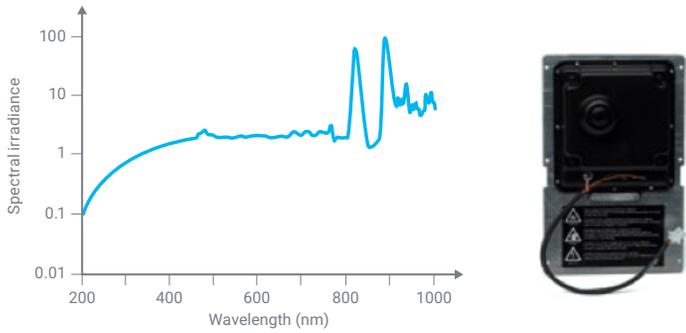


그림 11. Xenon 램프의 강도 스펙트럼.

### 모노크로메이터

모든 광원은 넓은 스펙트럼의 백색광을 생성합니다. 특정 파장 밴드로 빛의 범위를 제한하려면, 빛이 다음 구성 요소로 이루어진 모노크로메이터를 통과해야 합니다. 모노크로메이터는 다음으로 구성되어 있습니다.

- 입구 슬릿
- 분광 장치, 빛을 여러 파장으로 분리하고(무지개와 같이) 특정 파장대만을 선택
- 선택된 파장의 빛만이 통과해 시료로 조사되도록 하는 출구 슬릿

모노크로메이터를 이해하는 쉬운 방법은 창문을 통해 햇빛이 들어오는 방을 떠올리는 것입니다. 햇빛이 백색광을 무지개로 분리하는 프리즘을 통과합니다. 무지개가 방의 반대쪽 창문 위로 떨어집니다. 프리즘을 돌리면, 다양한 색의 빛, 즉 다양한 파장이 창문을 통해 방 안으로 사라집니다.

모노크로메이터의 이상적인 결과물은 단일 파장의 빛입니다. 하지만, 현실적인 결과물은 항상 파장대입니다.

현재 판매되는 대부분의 분광 광도계에는 분광 장치로서 홀로그래픽 격자가 포함되어 있습니다. 이러한 광학 장치 구성품은 유리로 만들어져 있으며, 유리 위에 매우 좁은 홈이 표면에 정밀하게 에칭되어 있습니다. 홈의 크기는 분산되어야 하는 빛의 파장과 치수가 동일합니다. 마지막으로 반사 표면을 만들기 위해 알루미늄 코팅이 사용됩니다.

격자와 만나는 빛의 간섭 및 회절은 파장에 따라 다른 각도에서 반사됩니다. 홀로그래픽 격자는 선형 각분산과 함께 파장을 생성하고, 온도에 민감하지 않습니다. 하지만, 중첩되는 다양한 정렬로 빛을 반사합니다(그림 12 참조). 따라서 원하는 반사 정렬의 빛만 검출기에 도달하도록 하기 위해 필터를 사용해야 합니다. 오목 격자가 빛을 분산하는 동시에 모읍니다.

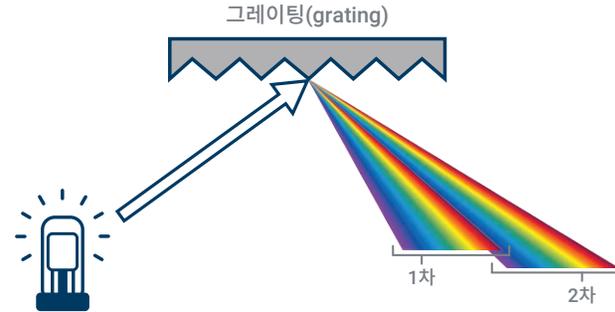


그림 12. 홀로그래픽 격자가 백색광을 다양한 파장의 빛으로 분산하는 방법.

### 단일 모노크로메이터 분광 광도계

단일 모노크로메이터 분광 광도계는 일반적 용도의 분광기로 사용되며, 컴팩트한 광학 시스템으로 통합할 수 있습니다. 그림 13은 단일 모노크로메이터 광학 시스템의 단순 구성도입니다. 단일 모노크로메이터 분광 광도계는 이중 모노크로메이터 시스템처럼 좁게 빛의 파장을 선택할 수는 없습니다. 하지만, 많은 응용 분야(예를 들어, 흡수 피크가 넓은 시료를 측정하는 경우)에서 이러한 기능이 필요하지 않을 수 있습니다.



그림 13. 단일 모노크로메이터 분광 광도계.



### 이중 모노크로메이터 분광 광도계

이중 모노크로메이터는 일반적으로 고성능 기기에 사용됩니다. 이중 모노크로메이터는 일렬로 배치되어 있습니다. 광원이 첫 번째 모노크로메이터로 분할된 다음 두 번째 모노크로메이터에 의해 추가로 분할됩니다. 시스템으로 들어가는 미광이 감소하고, 스펙트럼 정확성(특정 파장을 정확하게 선택하는 기능)이 증가합니다. 그림 14는 이중 모노크로메이터 광학 시스템의 단순 구성도입니다.

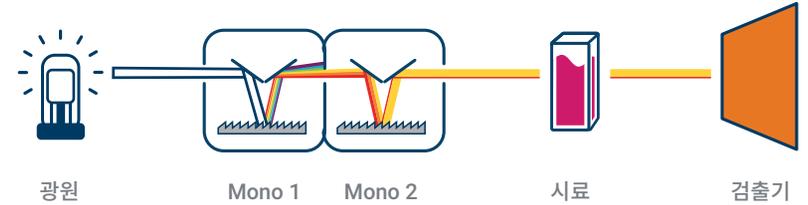


그림 14. 이중 모노크로메이터 분광 광도계의 단순 구성도.

### 시료부

시료부에서 시료는 모노크로메이터로부터 나오는 광선이 시료를 통과할 수 있는 위치에 놓이게 됩니다. 액체 시료의 흡광도 측정을 위해서는 일반적으로 알려진 고정 경로 길이의 큐벳에 액체 시료를 넣습니다. 큐벳은 그림 15에서 확인할 수 있는 것처럼, 직사각형의 액체 홀더입니다. 큐벳은 유리, 석영, 플라스틱 또는 UV/가시광선이 통과할 수 있는 기타 다른 재료로 만들어집니다. 표준 큐벳은 10mm의 경로 길이를 가지고 있으며 석영으로 만들어져 있어, UV 파장이 잘 투과됩니다. 보다 저렴한 가격의 플라스틱 큐벳도 사용 가능하나, 일반적으로 플라스틱은 UV 광선을 잘 통과시키지 않으므로 측정이 가시광선 파장 영역일 경우에만 유용합니다. 그 외에 소량의 액체를 담기 위한 큐벳부터 희석이 많이 된 시료에 사용하기 위해 경로 길이가 훨씬 긴 큐벳까지 특별한 용도에 맞는 큐벳도 있습니다.



그림 15. 액체 시료 측정을 위한 큐벳. 왼쪽에서 오른쪽으로: 경로 길이 10mm의 표준, 3ml 큐벳, 극미량의 시료를 측정하기 위한 울트라마이크로 셀, 희석된 용액에 사용하는 긴 경로 길이의 큐벳.

고체 시료는 간단한 투과 측정을 위해 적절한 위치에 놓으면 됩니다. 고체 시료는 다양한 입사각으로 측정 가능합니다. 확산 반사 또는 투과와 같은 보다 복잡한 측정을 위해 시료부에 다른 액세서리를 추가로 설치할 수도 있습니다.

### 단일 빔 분광 광도계

가장 단순한 구성의 UV-Vis 분광 광도계는 단일 빔 광학 시스템을 갖추고 있습니다. 단일 빔 시스템의 경우 빛은 모노크로메이터에서 나와 시료를 거쳐 검출기로 들어갑니다. 이 단순한 설계 덕분에 상대적으로 적은 수의 광학 구성 요소가 사용되기 때문에 기기의 크기는 줄이고 가격은 낮출 수 있습니다.

그러나 시료를 측정하기 전에 베이스라인 및 바탕시료를 먼저 측정해야 합니다. 액체 시료 측정의 경우, 베이스라인 판독을 통해 큐벳 및 사용된 용액의 흡광도를 알 수 있습니다. 단일 빔 시스템에서는 시료와 별개로 베이스라인을 측정해야 합니다. 별개 판독을 통해 측정의 정확도를 떨어뜨릴 수 있는 광 강도, 시스템 광학 성능, 베이스라인과 판독 시료 간에 차이가 있는지 확인해야 합니다. 이러한 부정확성은 측정 시간이 오래 걸리는 시료 또는 바탕시료가 시간에 따라 달라질 수 있는 경우에 문제가 됩니다. 현장에서 이는 측정 시 단일 빔 시스템의 베이스라인/바탕시료 측정을 자주, 그리고 정기적으로 수행해야 한다는 뜻입니다.

### 이중 빔 분광 광도계

많은 UV-Vis 시스템에서 이중 빔 광학 시스템을 사용합니다. 이중 빔 유형의 경우 모노크로메이터에서 방출되는 빛이 레퍼런스 빔과 시료 빔, 두 가지 빔으로 분할됩니다. 빛은 보통 거울 처리된 부분을 갖춘 회전 바퀴 등의 광학 부품에 의해 분할되거나, 절반이 은으로 처리된 빔 분배기(beam splitter)라는 이름의 거울 장치로 분할됩니다. 각 빔은 별도의 광학적 경로를 통해 시료 챔버로 들어갑니다. 동일 파장의 2개 빔이 존재하므로, 레퍼런스/블랭크 빔과 시료 빔은 동시에 측정될 수 있습니다. 이는 실시간으로 기기의 변동을 보정하면서 시료를 측정할 수 있다는 뜻입니다. 이 실시간 보정으로 인해 높은 정확도의 측정이 가능합니다.

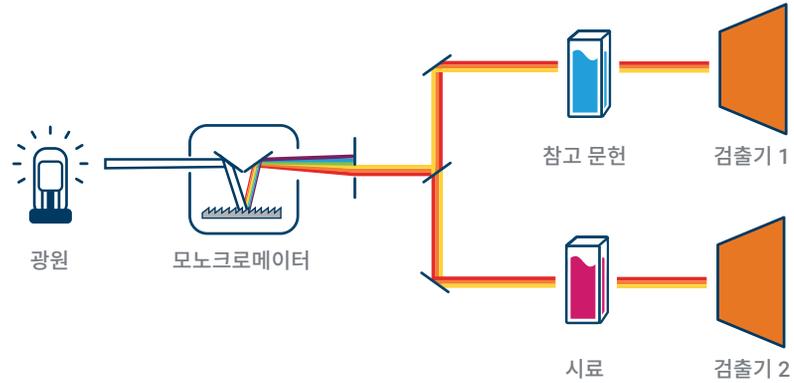


그림 16. 2개의 검출기를 갖춘 이중 빔 광학 시스템의 구성도.

### 이중 빔 분광 광도계

보다 최근의 분광 광도계 설계에서는 시료와 레퍼런스 검출기의 이중 빔 광학 레이아웃을 사용합니다. 레퍼런스 검출기는 각 측정의 광원 밝기 변동을 보정하는데 사용되고, 용매 또는 바탕시료(고체 시료의 경우)는 시료 위치에서 측정된 후, 수집된 시료 스펙트럼에서 차감됩니다. 전자 장치와 소프트웨어의 발달로, 이 설계는 측정 과정을 간단하게 유지하면서 동시에 잘못 사용된 큐벳 또는 시료 위치로 인한 오류 가능성을 줄여줍니다. 이중 빔 설계는 일반 이중 빔 기기와 성능이 동일하지만, 최근 들어 일반적으로 연구 등급의 기기로 분류됩니다.

### 시료부

UV-Vis 분광 광도계의 시료부는 일반적으로 검은색 상자에 뚜껑이 달려 있습니다. 시료부 내부가 완전한 검은색으로 되어 있어 시료부로 유입되는 미광 흡수가 용이합니다.

시료부에서 시료는 모노크로메이터로부터 나오는 광선이 시료를 통과할 수 있는 위치에 놓이게 됩니다. 위에서 논의한 것처럼, 액체 시료에는 유리, 플라스틱, 또는 석영 재질의 큐벳(그림 15)이 사용됩니다. 고체 시료는 시료부 바닥에 붙어 있는 홀더로 위치를 고정합니다. 또한 빛은 광섬유를 이용해 시료부에서 빼낼 수 있습니다. 광섬유는 매우 크거나, 뜨겁거나, 차갑거나, 방사성 물질이거나, 기타 위험한 물질의 시료를 측정할 때 유용합니다. 그림 6에서 확인할 수 있는 것처럼, 광섬유는 광섬유 프로브를 통해 빛을 분광 광도계에서 빼내 시료부 밖에 위치한 용액을 측정하도록 할 수 있습니다. 또는, 고체 시료의 빛 반사, 형광, 투과 측정을 가능케 하는 광섬유 장치를 사용할 수도 있습니다.

## 검출기

검출기는 시료의 빛을 전기적 신호로 변환합니다. 광원처럼, 낮은 노이즈와 고감도로 넓은 파장 범위에서 선형 감응을 제공해야 합니다. 일반적으로 분광 광도계에는 광전자 증배관 검출기 또는 광다이오드 검출기가 포함되어 있습니다. 파장 범위 또는 감도를 개선하기 위한 고성능 시스템에는 다른 전문 검출기가 사용됩니다.

각 검출기의 감도 및 파장 범위가 다릅니다. 다중 검출기가 장착된 시스템의 경우 시스템이 측정에 필요한 파장 범위와 일치하는 검출기로 전환합니다.

### 광전자 증배관(PMT)

광전자 증배관(그림 17)은 튜브 본체 내에서 신호 변환과 여러 단계의 증폭을 조합합니다. 음극 재료의 특징에 따라 스펙트럼 감도를 결정합니다. 단일 PMT는 200 ~ 900nm의 전체 UV-visible 영역에서 감도가 우수합니다. PMT 검출기는 낮은 빛 준위에서 높은 감도를 제공합니다. 희석 시료의 경우 시료에 부딪히는 대부분의 빛이 검출기를 통과합니다. 바탕시료와 시료 측정 간의 작은 차이를 정확하게 검출하기 위해 검출기에는 높은 빛 강도 수준에서 시그널 노이즈가 낮아야 합니다.

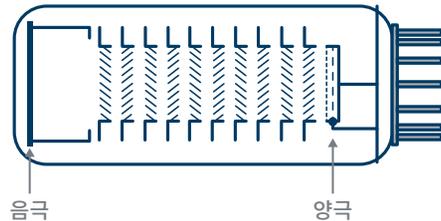


그림 17. 광전자 증배관 검출기.

### 실리콘 다이오드(Si)

실리콘 광다이오드 검출기(그림 18)는 최신 분광 광도계의 검출기에서 광범위하게 사용됩니다. 광다이오드 검출기는 PMT 검출기보다 측정 범위가 더 넓고 더 견고합니다. 광다이오드에서 반도체 재료에 부딪히는 빛이 물질에 전자를 흐르게 하고, 그로 인해 물질 전체에 연결된 축전지에서 전하를 빼앗습니다. 규칙적인 간격으로 전하를 빼앗긴 축전지를 재충전하는데 필요한 전하량은 빛의 강도와 비례합니다. 실리콘 기반 검출기의 검출 한계는 약 170 ~ 1,100nm입니다.

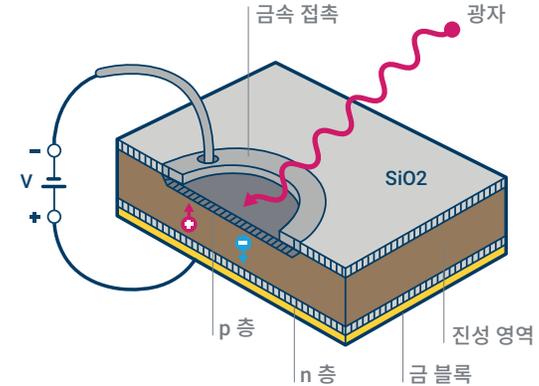


그림 18. 실리콘 광다이오드 검출기.

### 갈륨 인듐 비소(InGaAs) 광다이오드

InGaAs 검출기는 가시광선 및 NIR 파장 범위에서 뛰어난 성능을 제공하는 전문 검출기입니다. InGaAs 검출기는 협대역(800 ~ 1,700nm) 및 광대역(800 ~ 2,500nm) 옵션으로 사용할 수 있습니다. 이러한 검출기는 근적외선 영역에서 선형 감응도와 감도 검출에 유용합니다.

### 납 설파이드(PbS) 검출기

분광 광도계에서 사용되는 가장 일반적인 NIR 검출기는 PbS 검출기입니다. 이 검출기는 1,000 ~ 3,500nm 범위에서 민감합니다. 고성능, 넓은 파장 범위 분광 광도계의 PbS 검출기는 UV-visible 범위 측정을 위한 PMT 검출기와 함께 사용하는 경우가 많습니다. 낮은 NIR 주파수에서 높은 감도가 필요한 경우 PbS 검출기는 협대역 InGaAs 검출기와 함께 사용할 수 있습니다.

### 3. UV-Vis 측정을 위한 최적의 파라미터 선택

성공적인 측정을 위해서는 가장 적합한 시료 홀더, 용매 및 기기 파라미터를 선택하는 것이 매우 중요합니다.

#### 3.1 광학 셀 선택

일반적으로 액체 시료는 큐벳에 담습니다(큐벳은 광학 셀 또는 '셀'의 다른 이름임). 큐벳은 응용 분야에 따라 다양한 디자인으로 제공됩니다. 주요 내용은 다음과 같습니다.

- '표준' 10mm 경로 길이 광학 셀(그림 15 참조). 약 3.5mL가 담기는 셀에는 서로 평행하는 두 개의 광학 창이 있습니다. 일반적으로 셀을 취급할 때 사용되는 면이라는 것을 표시하기 위해 해당 면을 불투명하게 만들거나 흠이 있습니다. 광학 창은 가능한 한 깨끗하게 유지하고 절대 만지지 않아야 합니다. 사용하지 않을 때는 광학 표면에 스크래치가 나지 않도록 주의해야 합니다. 일회용, 제한사용 셀도 사용할 수 있습니다. 이러한 셀은 폴리스티렌 또는 폴리메타크릴산메틸(PMMA)로 만들어지며, 고온에서 사용할 수 없습니다. 폴리스티렌은 340 ~ 800nm의 범위에서만 측정할 수 있는 자외선을 투과하지 않습니다. PMMA 셀은 300nm의 낮은 파장에서도 사용할 수 있습니다
- 최대 0.5mL로 부피가 작은 경우 Semi-micro 셀을 사용할 수 있습니다. 이러한 셀은 표준 셀과 외부 치수는 비슷하지만, 필요한 시료 부피를 줄이기 위해 내부 채널이 좁습니다. Ultra-micro 셀도 사용할 수 있으며, 0.5µL를 담을 수 있습니다. 광학 창 측면의 블랙 마스킹(그림 19 및 20 참조)은 큐벳 내부에서의 내부 반사를 방지합니다. 셀이 UV-Vis 기기 내 광학 빔 높이와 일치선을 이루도록 주의를 기울여야 합니다. 이를 Z-높이라고 합니다. Z-높이는 큐벳 바닥에서 광학 경로 길이의 중앙까지의 거리입니다. 시료 부피가 제한적인 경우 Semi-micro 또는 Ultra-micro 셀이 유용합니다.

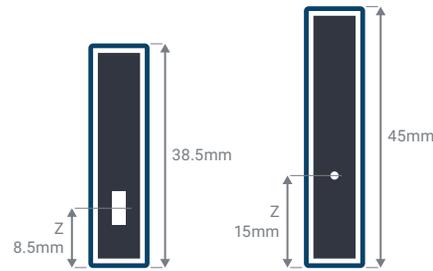


그림 19. "마스킹" 큐벳을 사용해 광학 빔이 시료를 통과하도록 합니다. 큐벳의 Z-높이가 UV-Vis 분광 광도계 설계와 호환되도록 하는 것이 중요합니다.



그림 20. 10mm 경로 길이, 1.4mL 부피 Semi-micro 셀.

여러 액체 시료를 측정하기 위해 플로우셀을 사용할 수 있습니다. 플로우셀은 다양한 내부 셀 부피 및 경로 길이로 사용할 수 있습니다. 대개의 경우 이러한 셀은 연동 펌프에 연결되고, 시료 주입기에 연결할 수 있습니다. 펌프가 셀에 연결된 튜브로 시료를 밀어 셀을 채우고 측정합니다. 다음 시료를 셀에 공급하기 전에 헝겍 용액을 채워 셀을 세척합니다.



그림 21. 플로우 셀, 4 x 11mm 직사각형 구멍, 10mm 경로 길이. 커넥터 및 튜브에 연결된 상태. 대부분의 광학 셀은 캡 또는 뚜껑과 함께 제공됩니다. 캡은 시료가 실수로 유출될 가능성과 시료가 증발될 가능성을 모두 줄이도록 설계되어 있습니다. 휘발성 또는 위험한 시료를 측정하는 경우 캡을 사용할 것을 강력하게 권장합니다.

## 셀 경로 길이

경로 길이는 입사광이 시료를 통과해 이동하는 거리입니다. 경로 길이가 다양한 큐벳을 사용할 수도 있습니다. 사용해야 하는 경로 길이는 시료의 흡광도에 따라 달라집니다.

- 흡광도가 높은(>3Abs) 농축 시료는 경로 길이가 짧은 큐벳(5mm 이하)을 사용해야 합니다. 아니면, 시료를 희석해야 합니다. 흡광도가 높은 용매를 보상하기 위해 경로 길이가 짧은 큐벳을 사용할 수도 있습니다
- 흡광도가 낮은(<0.2Abs) 희석 시료는 흡광도 판독을 개선하는 경로 길이가 긴 셀(최대 100mm)을 사용해야 합니다. 오류 수준을 낮추는 데도 도움이 됩니다

대부분의 UV-Vis 분광 광도계 시스템에는 경로 길이가 10mm인 표준 큐벳에 적합한 큐벳 홀더가 함께 제공됩니다. 경로 길이가 긴 큐벳에는 경로 길이가 긴 적합한 셀 폴더가 필요합니다.

경로 길이가 더 짧은 셀은 표준 10mm 경로 길이 큐벳과 동일한 크기로 사용할 수 있습니다. 이러한 셀은 기기와 함께 제공되는 표준 셀 홀더에 맞습니다. 셀 스페이서를 사용해 경로 길이가 더 짧은 큐벳을 표준 큐벳 홀더에 끼울 수 있습니다.

## 재료

큐벳 창에 사용되는 재료의 광학 속성을 고려해야 합니다. 파장 범위가 가장 넓은 경우에는 석영 유리가 적합합니다. 석영 유리가 더 비싸기 때문에 340nm(폴리스티렌) 및 350nm(광학 유리) 미만의 측정이 필요하지 않은 경우에는 광학 유리 또는 플라스틱(폴리스티렌)을 사용할 수 있습니다. 폴리스티렌 셀은 높은 온도에서 사용하기에 적합하지 않습니다. 시료/용매가 셀을 손상시키지 않도록 폴리스티렌 셀을 사용할 때는 주의를 기울여야 합니다. 폴리스티렌 셀을 일회용 또는 플라스틱 셀이라고 하는 경우가 많습니다. 스크래치가 쉽게 나고 일회용으로 설계되어 있습니다. 표 1은 UV에서 NIR 파장 범위에 걸친 일반적인 재료의 투과율을 보여줍니다.

표 1. 일반적인 큐벳 재료용 투명 창.

재료	적절한 파장(nm)
석영	170 ~ 2,700
Infrasil 석영(NIR)	220 ~ 3,800
광학 유리	334 ~ 2,500
폴리스티렌(일회용)	340 ~ 800

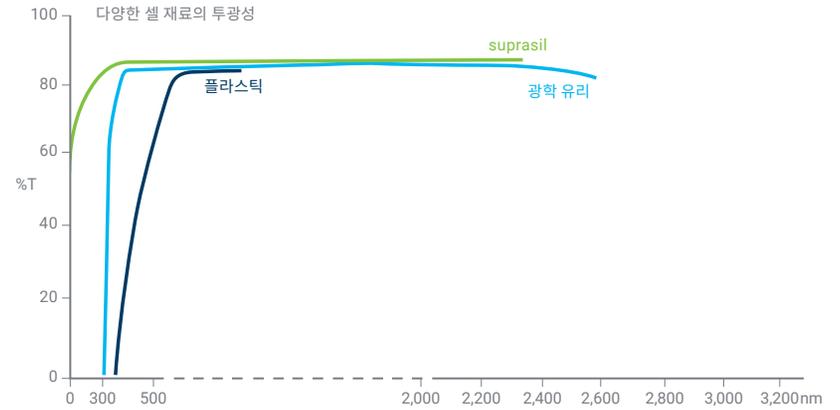


그림 22. 일반적인 광학 셀 재료의 투광성.

## 큐벳 매칭

일부 큐벳은 매칭되는 쌍으로 판매되고, 대부분의 UV-Vis 및 UV-Vis-NIR 일반 분석에 사용됩니다. 매칭되는 쌍을 사용하면, 두 개의 큐벳 모두가 비어 있거나 물로 채워져 있을 때 비슷한 흡광도 또는 투과율 판독 기능을 제공합니다. 매칭 코드는 배치 번호와 비슷합니다. 큐벳을 만든 원료 배치(melt) 투과 특성을 반영합니다.

매칭할 큐벳 쌍의 경우 큐벳 쌍이 특정 파장에서 투과율 허용 범위 내에 포함되어야 합니다. 예를 들어, 큐벳 쌍이 200nm 파장에서 서로 1.5% 내에서 투과되어야 합니다. 큐벳 제조업체가 공급하는 재료에 대해 측정된 파장에서 투과율과 매칭되는 허용 범위를 지정합니다.

매칭 코드는 새로운 셀과 비교하는 경우 실제 값입니다. 표면 오염 또는 세척 과정이나 잘못된 취급으로 인한 마모 때문에 사용 중에 투과 특성이 변합니다. 따라서 새로운 셀을 배치 코드가 동일한 기존 셀과 반드시 매칭시켜야 하는 것은 아닙니다.

최신 생산 및 융합 기법 덕분에 평편도, 평행도 및 구조 내성이 개선되었습니다. 이와 함께 원료 품질 보증에 대한 관심이 높아지면서 일반 표준 높은 등급 석영 셀의 투과 매칭 필요성이 거의 사라졌습니다.

## 청결도

지문의 기름은 UV 영역에서 중요한 흡수체 역할을 합니다. 광학 표면에 남은 지문으로 인해 결과에 오류가 발생할 수 있습니다. 셀을 사용하기 전에 깨끗하고 부드러운 천을 사용해 모든 지문과 오염물질을 닦아 내십시오. 천에 세제 또는 윤활제가 묻어 있지 않은지 확인하십시오. 안경 렌즈용 티슈 또는 기타 용도의 티슈에는 측정에 영향을 미칠 수 있는 세제 또는 윤활제가 함유되어 있는 경우가 많습니다.

초음파 클리너를 사용해 유리 또는 석영 큐벳을 세척하지 마십시오. 각 초음파 수조는 다양한 주파수로 초음파를 생성하기 때문에 수조가 셀의 공진 주파수에서 작동하는 경우 셀이 깨집니다.

모든 농도의 불산(HF)과 같은 Fluorinated acids는 석영 및 유리를 부식시키기 때문에 사용하지 않아야 합니다. 강한 염기성 용액(pH 9.0 이상)도 창외 표면을 분해하고 큐벳의 수명을 단축시킵니다.

바탕시료 측정 후에 셀의 광학 창을 세척하지 마십시오. 세척이 필요한 경우 측정을 계속하기 전에 새로 바탕시료를 측정하십시오.

## 기타 큐벳 취급 팁

간단한 몇 가지 단계를 통해 큐벳 수명을 유지할 수 있습니다.

- 사용 후에 바로 큐벳에서 시료를 제거하십시오. 시료가 큐벳에서 건조되어 달라붙는 것을 방지합니다. 큐벳 내부 표면에 달라붙는 것으로 알려진 단백질 및 강한 염료를 사용하는 경우에는 특별한 주의를 기울이십시오. 테스트 후에 바로 셀에서 시료를 제거하고 시료를 변경할 때마다 용매를 사용해 철저히 헹구십시오
- 오랫동안 동일한 시료를 측정하는 경우 캡을 씌워 적절한 온도에서 시료를 보관해 증발을 최소화하십시오. 일부 시료에는 지속적인 교반이 필요합니다
- 하루 일과를 마칠 때 모든 큐벳을 철저히 세척하고 다음을 수행하십시오
  - 건조 후 적절한 용기에 보관합니다
  - 내산성 비커에서 약산성 용액(1% nitric acid 또는 hydrochloric acid)에 적신 상태로 큐벳을 보관합니다 큐벳이 손상되는 것을 방지하기 위해 비커 한 개당 하나의 큐벳만 보관합니다. 다시 사용하기 직전에 항상 충분한 양의 물로 헹구십시오



## 휴대전화 디스플레이 측정

휴대전화, 태블릿, 노트북 및 텔레비전에 사용되는 화면 설계자들은 화면을 가능한 한 얇게 만들기 위해 노력하고 있습니다. 10미크론이라도 두께를 줄이면 장치의 전체 크기를 줄이는 데 있어 큰 차이를 만들 수 있습니다. 이러한 화면은 발광 다이오드(LED) 및 액정 디스플레이(LCD)를 사용해 디스플레이의 색을 제어하고, 백라이트 리플렉터가 빛을 발산합니다. 대개의 경우 백라이트 리플렉터는 투명한 고분자 재료로 만들며, 한쪽 표면에 리플렉터 필름을 붙입니다. 플라스틱 거울 한 장처럼 보입니다. 백라이트 리플렉터의 반사 및 투과율을 측정하는 것은 새로운 디자인 개발에서 매우 중요한 부분입니다. 그리고 제조 과정에서 중요한 품질 관리 측정입니다. 백라이트 리플렉터의 반사 및 투과율은 UV-Vis 분광 광도계를 사용해 측정합니다. 백라이트 리플렉터는 시료부에 수직으로 장착하고 중심 축을 기준으로 회전시켜, 다양한 입사각에서 반사 및 투과율을 측정합니다.

[측정 세부 정보는 여기에서 확인할 수 있습니다.](#)

### 3.2 시료 온도 조절

대부분의 시료는 실온에서 측정할 수 있지만, 시료를 가열하거나 냉각해야 하는 경우가 있습니다. 주요 내용은 다음과 같습니다.

- 증발을 줄이기 위해 휘발성 시료 냉각
- 시료 처리 또는 균질성 개선을 위해 점성이 높은 시료 가열
- 가열하는 경우 화학적 변화에 민감한 시료
- 시료를 가열 또는 냉각할 때 시료 변화 관찰

UV-Vis 분광 광도계에 액세서리를 장착해 시료의 온도를 제어할 수 있습니다. 고정 온도로 측정하는 경우에는 가장 간단한 온도 제어 시스템이 적합합니다. 일반적으로 이러한 시스템은 온도 조절 물 순환기를 사용해 가열된 물이 시료 큐벳이 들어 있는 매니폴드를 통과하도록 합니다. 보다 정밀한 온도 제어를 위해 Peltier 가열기/냉각기가 시료 매니폴드에 통합되어 있습니다. Peltier 장치를 사용하면 온도 제어의 정밀성을 높이고 승온 측정을 수행할 수 있습니다. 공냉식 Peltier 시스템을 사용하면 수냉식 Peltier 시스템 또는 물 순환 시스템과 비교해 유지 보수 필요성이 감소합니다. 물 순환 시스템에는 물 호수 누출 확인 및 냉각제 채우기를 포함해 정기적인 유지 보수가 필요합니다. Peltier 시스템의 또 다른 장점은 냉각제 펌핑이 필요하지 않기 때문에 작동할 때 소음이 적다는 것입니다.

온도 제어 옵션을 사용하는 경우 시스템에서 온도 모니터링 기능을 제공해야 합니다. 최소한 시스템에서 시료 매니폴드의 온도를 보고해야 합니다. 외부 물 가열 시스템을 사용하는 경우에 특히 중요합니다. 순환기와 시료 매니폴드 간에 수조에 설정한 온도보다 떨어지는 열 손실이 발생할 수 있습니다. Peltier 제어 시스템의 경우 시료 매니폴드 온도가 모니터링되고, 온도를 안정적으로 유지하기 위한 피드백을 제공합니다.

온도 제어가 매우 중요한 경우 시료를 바로 측정하면 보다 정확한 판독이 가능합니다. 소형 온도 프로브가 큐벳 내부의 시료에 삽입되어 있습니다. 프로브가 광 경로를 방해하지 않도록 조심스럽게 배치되어 있습니다. 시료에서 바로 온도를 모니터링하는 경우 UV-Vis 제어 소프트웨어를 사용해 측정할 때마다 각 큐벳의 온도를 기록할 수 있어야 합니다.

### 3.3 시료 교반

온도 제어 시료 교반이 중요합니다. 이를 통해 용액과 온도 균일성을 항상 유지합니다. 시료 교반은 점성이 높은 시료에 특히 중요합니다. 또는 큐벳 내 화학 반응을 연구할 때 용액이 균일하게 혼합된 상태를 유지하도록 할 때 특히 중요합니다.

열 (및 화학적) 균일성 확보를 위한 교반의 효과는 시료, 용매 및 용액 점도에 따라 크게 달라집니다. 점도가 온도에 따라 변화하고, 온도가 시간의 흐름에 따라 증가하는 경우 점도가 교반 효과 및 측정에 영향을 미칠 수 있다는 점을 지적해야 합니다.

용액 교반을 위해 자석 교반 비드 또는 스타가 시료 큐벳 하단에 위치해 있습니다. 바닥이 약간 들어간 특수 설계 큐벳도 사용 가능합니다. 이 원형 홈에는 교반 비드가 들어 있어 교반 효과를 높입니다.

교반 속도가 용액에 적합한지 확인하기 위해 분석법을 개발하는 경우 주의를 기울여야 합니다. 교반 속도가 너무 느리면 시료가 적절하게 혼합되지 않을 수 있습니다. 속도가 너무 빠르면 시료 안에 기포가 생겨 결과에 오류가 발생할 수 있습니다.

실험에 가장 적합한 교반 속도를 찾으려면 모든 시료를 대상으로 테스트 실험을 수행하는 것이 좋습니다. 물과 점도가 비슷한 액체를 측정하는 경우 일반적으로 교반 속도가 800 ~ 900rpm일 때 표준 큐벳 내에서 온도 균일성이 가장 뛰어납니다. 점도가 더 높은 시료에는 교반 속도를 줄이고 점도가 더 낮은 시료는 속도를 높이십시오.

### 3.4 저온 측정

주변 온도보다 낮은 온도에서 시료를 측정하는 경우 큐벳 외부에서 응축이 발생할 수 있습니다. 이는 측정에 방해가 될 수 있습니다. UV-Vis 분광 광도계의 시료부를 깨끗한 건성 가스를 사용해 퍼징함으로써 응축을 예방할 수 있습니다. 일부 시스템에는 빛이 유입되지 않도록 하면서 시료부에 가스를 주입할 수 있는 특수 퍼징 포트가 장착되어 있습니다. 저온 시료 측정을 위한 대안은 광섬유 팁 프로브를 사용하는 것입니다. 광섬유 커플러가 시료부에 삽입되어 있고, 빛이 시스템에서 광섬유 케이블, 시료에 직접 삽입한 팁 프로브를 통과하도록 합니다(그림 6 참조). 그 다음에 빛이 리턴 광섬유 케이블을 통해 검출기로 다시 돌아갑니다. 고정 온도에서 여러 시료를 측정할 때 시료 처리량 증대를 위해 이 기법을 사용하는 것이 좋습니다.

### 3.5 용매 투광성

UV 분석을 위해 액체 시료 또는 용해 고체 시료를 측정하는 경우 용매 투광성을 고려해야 합니다. 용매는 시료 용해도, 안정성, pH 요건, UV-visible 차단 파장 등에 따라 선택합니다. 수용성 화합물의 경우 UV 파장 전체에서 측정이 가능하기 때문에 물이 탁월한 선택입니다. 유기 용매를 사용하면 효과적이고 사용 가능한 UV 파장 범위가 제한됩니다. 용매를 선택할 때는 용매의 시료 용해도 뿐만 아니라 관심 파장 범위의 용매 투광성을 모두 고려하십시오 (그림 23 참조).

UV 영역에서 일반적인 용매의 유용한 투광성 범위

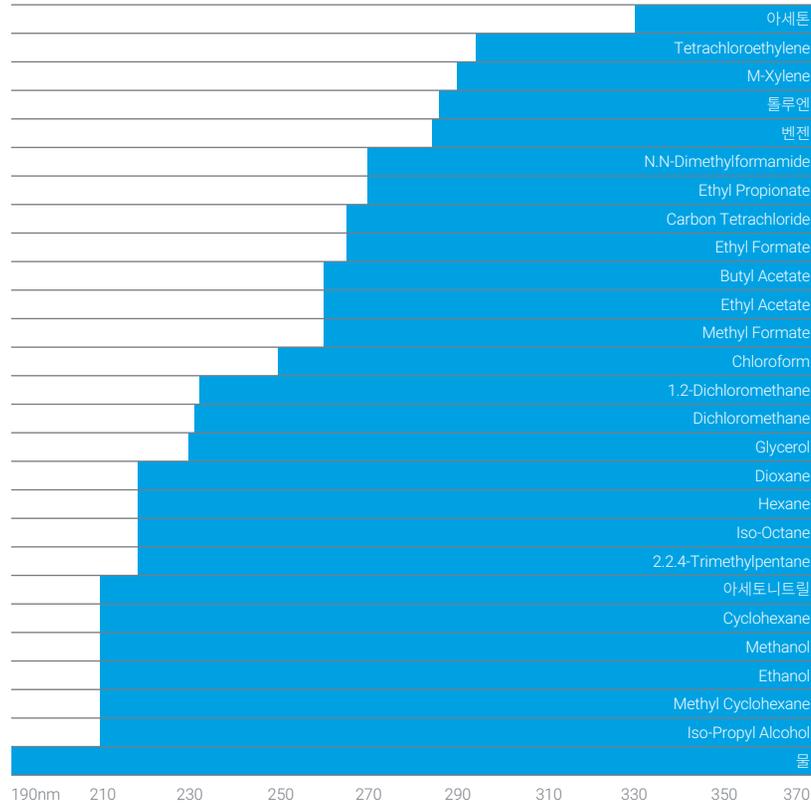


그림 23. UV 영역에서 일반적인 용매 투광성 범위. UV 분석의 경우 물을 선호하지만, 시료가 물에 용해되지 않는 경우 또 다른 용매가 필요할 수 있습니다.



### 매우 중요한 역할을 하는 분자 하나

프로토포피린 분자가 많은 식물과 동물 생명의 토대가 됩니다. 미성숙 적혈구 세포(망상 적혈구)의 링 구조에 아연 원자를 삽입해 분자를 안정화시킵니다. 망상 적혈구가 성숙함에 따라 아연이 철로 교체됩니다. 성숙 적혈구가 많은 동물과 인간의 혈액에서 글로빈 형성 헤모글로빈, 산소 분자와 결합합니다.

식물의 경우 마그네슘이 프로토포피린 링에 삽입되어 광합성에 필요한 1차 화합물 중 하나인 엽록소를 만듭니다.

프로토포피린이 자외선을 흡수하기 때문에 광합성에서 매우 중요한 역할을 한다는 사실은 전혀 놀랍지 않습니다. 이 분자는 형광빛을 냅니다. 이러한 특성 때문에 프로토포피린이 분광기를 사용한 분석에 적합한 분자입니다. 사실 프로토포피린이 유아기 납중독에 대한 1차 선별 테스트의 기반이 됩니다(7).

1. Clinical and Laboratory Standards Institute, Erythrocyte Protoporphyrin Testing; Approved Guideline, Volume 16, No. 8, 1996

### 3.6 최적 스펙트럼 대역폭

시료를 측정하는 경우 필요한 측정 분해능을 고려해야 합니다. UV-Vis 분광기로 분석하는 대부분의 고체 또는 액체 시료는 좌우로 20nm 이상의 차수로 자연스럽게 피크가 넓어집니다. 스펙트럼 대역폭(SBW)을 분석물질 자연 대역폭의 약 10분의 1로 설정한 기기를 사용하는 것이 좋습니다. 기기의 SBW는 ½ 피크 정점(그림 24 참조)에서 빛의 대역폭으로 정의되고, 때때로 반치폭(FWHM)이라고 하기도 합니다. UV-Vis 분광 광도계의 SBW는 모노크로메이터 설계에 따른 물리적 슬릿 폭과 관련이 있습니다.

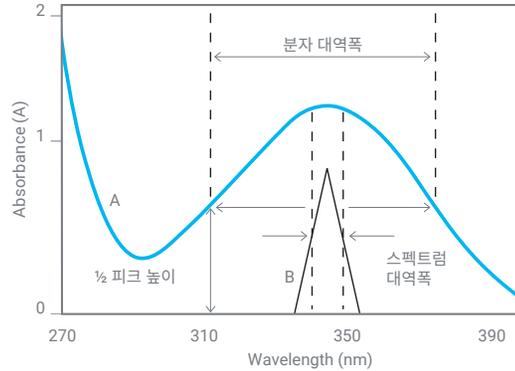


그림 24. 스펙트럼 A는 345nm에 근접한 피크 정점을 보여줍니다. 스펙트럼 대역폭이 표시되어 있습니다. UV-Vis 분광 광도계의 스펙트럼 슬릿 폭은 항상 필요한 스펙트럼 대역폭보다 좁습니다.

분광 광도계의 설계에 따라 물리적 슬릿의 폭은 고정되거나 변경될 수 있습니다. 대부분의 중간 범위 UV-Vis 분광 광도계는 1.5nm의 고정 스펙트럼 대역폭이 일반적이고 대부분의 액체 및 고체 시료 피크 분해에 충분합니다. 더 넓은 SBW를 사용하면 더 많은 빛이 시료를 통과하기 때문에 데이터 품질은 개선되고 노이즈는 감소하지만, 좁거나 근접한 시료 피크는 분해하지 않습니다. 더 좁은 SBW를 사용하면 분해능은 더 우수하지만, 시료에 도달하는 빛이 적기 때문에 동일한 데이터 품질을 얻기 위한 데이터 수집 시간이 증가할 수 있습니다.

사용자가 슬릿 폭을 선택해 시스템의 분해능을 조절할 수 있도록 고성능 또는 연구 등급의 분광 광도계 시스템을 설계하는 경우가 많아지고 있습니다. 이는 더 까다로운 시료를 측정하는 경우에 유용합니다. 슬릿 폭을 극대화해 피크의 고분해능이 필요하지 않은 고흡수성 시료에서 빛 처리량을 높일 수 있습니다. 검출기에 대한 빛 처리량이 높아지면, 결과의 분석법 반복성, 정확도 및 정밀도가 개선됩니다. 고분해능이 필요한 경우 슬릿 폭을 줄일 수 있습니다(그림 25 및 26 참조).

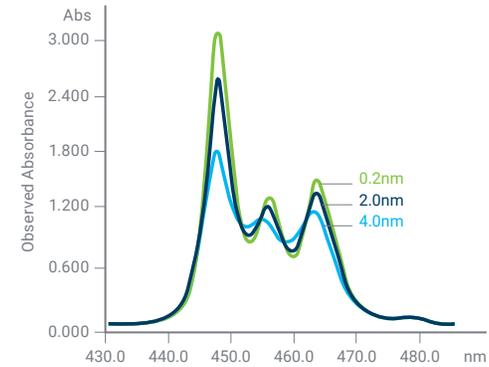


그림 25. 중첩된 스캔, 각각 다양한 기기 슬릿을 사용해 측정. 슬릿이 넓어지면 신호 대 잡음비는 개선되지만, 분해능은 감소합니다.

지침으로 SBW는 시료 분자 대역폭의 10분의 1로 설정해야 합니다(표 2의 예).

표 2. 일반적인 UV-Vis 측정 유형에 권장하는 스펙트럼 대역폭 설정.

대표 화합물	피크 nm	대역폭 nm	최적 (SBW) nm
<b>Amino Acids</b>			
tryptophan	279	45	4.5
tyrosine	275, 195	40, 10	4.0, 1.0
phenylalanine	258	2.2	0.2
<b>Nucleotides</b>			
adenosine	260	28	2.8
thymine	265	30	3
<b>Proteins</b>			
cytochrome c, oxidized	410	25	2.5
rhodopsin	500, 278	~90, 25	9, 2.5
ribonuclease	278	20	2
<b>Pigments and Dyes</b>			
β-carotene	480	35	3.5
chlorophyll a	660	20	2
<b>Coenzymes</b>			
Nicotinamide adenine dinucleotide	260	35	3.5
NADH	340, 260	50, 25	5, 2.5
<b>Simple Organics</b>			
benzene, vapor	253	<<0.1	<<0.01
benzene, solution	253	2	0.2
anthracene	375	3	0.3

스펙트럼 분해능을 최적화하는 경우 데이터 수집 간격도 고려해야 합니다. 피크에서 최소 세 개의 데이터 포인트를 수집해야 합니다. 데이터 간격이 좁아지면 분해능은 개선되지만, 데이터 수집에 걸리는 시간과 데이터 간격 사이에 트레이드 오프가 발생합니다.

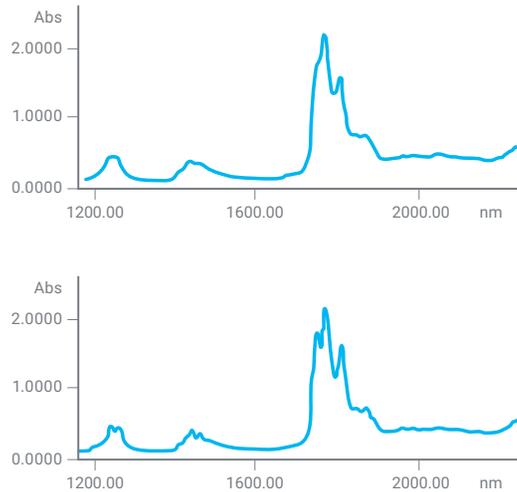


그림 26. 이러한 두 가지 스캔은 SBW를 변경했을 때 분해능에 미치는 영향을 보여줍니다. SBW가 15nm(상단 그래프)일 때 스펙트럼에서 세부적인 구조가 거의 관찰되지 않습니다. SBW가 3nm(하단 그래프)일 때 피크가 훨씬 더 두드러집니다.

### 3.7 미광

미광 또는 SRE(stray radiant energy)은 선택된 스펙트럼 대역 외의 파장이 검출기에 도달하는 방사선 비율로 정의합니다. 미광은 잘못된 기기 설계 (실험실 조명, 창문을 통해 들어오는 햇빛 또는 모노크로메이터에서 잘 분리되지 않은 빛으로 인해 기기로 누출되는 빛) 또는 기기 손상으로 인해 발생합니다. 대부분의 시스템에는 미광 문제를 파악하기 위한 기기 성능 확인 기능을 갖추고 있습니다. 테스트 용액을 사용해 확인합니다. 미광 레벨을 테스트하는 데 사용되는 용액은 표시된 파장에서 투과되지 않기 때문에 (이러한 용액은 다른 파장에서 투과함) 관찰되는 투과율은 미광의 투과율입니다.

미광으로 인해 흡광도 판독이 감소하고 관찰된 피크 모양이 변합니다 (그림 27 참조). 그로 인해 미광이 Beer-Lambert 법칙과의 차이를 가져오는 원인이 되고(그림 28 참조) 농도 측정을 신뢰할 수 없습니다. UV-Vis 기기의 미광 성능에 따라 기기에서 측정할 수 있는 최대 흡광도가 결정됩니다.

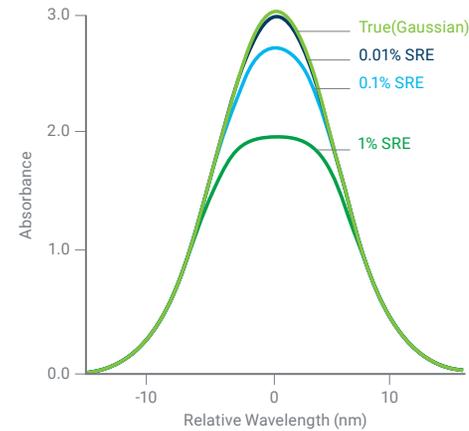


그림 27. 기기에서 미광이 증가하면 피크의 최대 흡광도가 낮아지고 곡선이 평평해집니다.

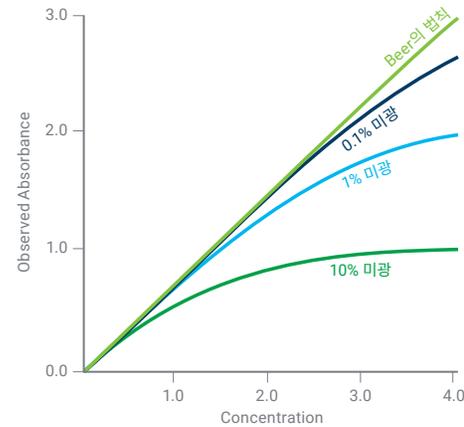


그림 28. 미광 성능이 낮은 UV-Vis 시스템은 Beer의 법칙과 차이가 나타납니다. 이 때문에 농도 계산을 신뢰할 수 없습니다.

### 3.8 UV-Vis 기기의 선형 범위

기기 설계 및 사용하는 측정 파라미터 모두를 활용해 특정 파장에서 기기가 측정할 수 있는 최대 흡광도를 결정합니다. 흡광도가 높으면 검출기에 도달하는 빛이 거의 없고, 이로 인해 신호 대 잡음비가 감소합니다(그림 29의 스펙트럼에서 특성 '프린지' 참조). 시스템의 한계를 파악하면 기기 성능을 벗어나는 시료를 측정하거나 검량을 수행하는 것을 피할 수 있습니다. 액체 시료의 경우 시료 희석을 통해 기기 선형 범위에서 측정할 수 있습니다. 또는, 경로 길이가 짧은 큐벳을 사용할 수 있습니다.

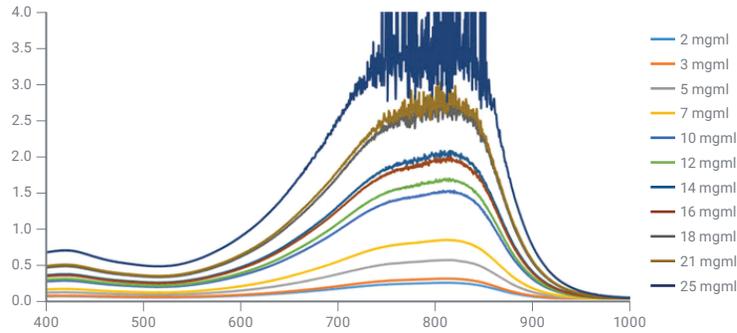


그림 29. 시료 흡광도가 점진적으로 증가함에 따라 검출기에 도달하는 빛이 감소합니다. 결과에서 노이즈 증가 및 두드러지는 뾰족한 신호가 스캔 모드에서 관찰됩니다.

### 3.9 기타 유용한 정보

흡광도(A 또는 Abs)는 Beer-Lambert 법칙으로 설명하는 농도와 흡광도 간 선형적 관계 때문에 UV-Vis 분광기에서 자주 측정됩니다. 다른 응용 분야에서는 투과 또는 흡수된 빛의 백분율이 더 의미할 수 있습니다 예를 들어, 재료의 광학적 특성을 비교할 때는 투과율 또는 흡광도 차이를 비교하는 것이 더 유용할 수 있습니다.

대부분의 UV-Vis 분광 광도계 시스템을 사용해 일반적으로 사용되는 파라미터 간에 수집한 데이터를 변환할 수 있습니다. 이러한 파라미터 간의 관계는 표 3에 나와 있습니다.

표 3. 투과율과 흡광도 사이의 관계를 시각화하는 것이 어려울 수 있습니다. 이 표는 흡광도가 7Abs로 측정된 시료가 시료를 통과하는 빛의 단 0.00001%만 투과한다는 점을 보여줍니다.

%T	T	Abs	%A	LogA
100	1.0	0	0	-
50	0.5	0.3	50	-0.52
10	0.1	1	90	0
1	0.01	2	99	0.3
0.1	0.001	3	99.9	0.48
0.01	0.0001	4	99.99	0.60
0.001	0.00001	5	99.999	0.70
0.0001	0.000001	6	99.9999	0.78
0.00001	0.0000001	7	99.99999	0.85

### 3.10 파장 또는 역센티미터

대부분의 UV-Vis 측정은 나노미터 단위로 측정된 파장( $1 \times 10^{-9}m$ )으로 보고됩니다. 보다 오래된 연구에서는 상호 길이 또는 파수( $cm^{-1}$ )가 사용됩니다. 파수는 적외선(IR) 분광기 측정에서 자주 사용됩니다. 파수 스케일을 사용하면 입사 방사선의 에너지 준위 변화를 알려주기 때문에 유용합니다. 파장이 낮아지면 파수가 커지고 에너지가 높아집니다(표 4 참조).

적외선 분광기에 파수를 사용하면 파장이 점진적으로 더 짧아질 때 더 쉽게 스펙트럼 차이를 시각화할 수 있습니다.

UV-Vis 분광기의 경우 일반적으로 스펙트럼 범위에서 표시된 스펙트럼을 시각화하는 편리한 방법으로 파장을 선호합니다.

대부분의 UV-Vis 분광 광도계 시스템을 사용해 파장 또는 파수에서 스펙트럼을 수집할 수 있습니다.

표 4. 파장(nm) 및 파수( $cm^{-1}$ ) 변환.

$\lambda$ nm	$cm^{-1}$
3,300	3,030
3,000	3,300
2,500	4,000
2,000	5,000
1,500	6,666
1,000	10,000
800	12,500
600	16,667
400	25,000
200	50,000
175	57,143

## 4. 일반적인 UV-Vis 응용 분야 개요

### 4.1 식별—스펙트럼 및 구조

UV-visible 스펙트럼은 일반적으로 소수의 넓은 흡광도 피크만 보입니다. 매우 좁은 피크를 생성하는 적외선 분광기와 같은 기법과 비교해 UV-Visible 분광기가 제공하는 정성적 정보의 양은 제한적입니다. 몇 개의 넓은 피크만 보이기 때문에 특성 스펙트럼을 기반으로 한 화합물 식별이 어렵습니다.

유기 화합물에 의한 대부분의 흡수는  $\pi$ (즉, 불포화) 결합의 존재에 의해 발생합니다. 크로모포어는 보통  $\pi$  결합을 포함하는 분자 그룹입니다. 포화 탄화수소에 삽입할 때(UV-visible 흡광 스펙트럼을 보이지 않음), 185 ~ 1,000nm 사이의 흡광도를 가지는 화합물을 생성합니다. 표 5에는 몇 가지 크로모포어와 흡광도 최대치의 파장이 나열되어 있습니다.

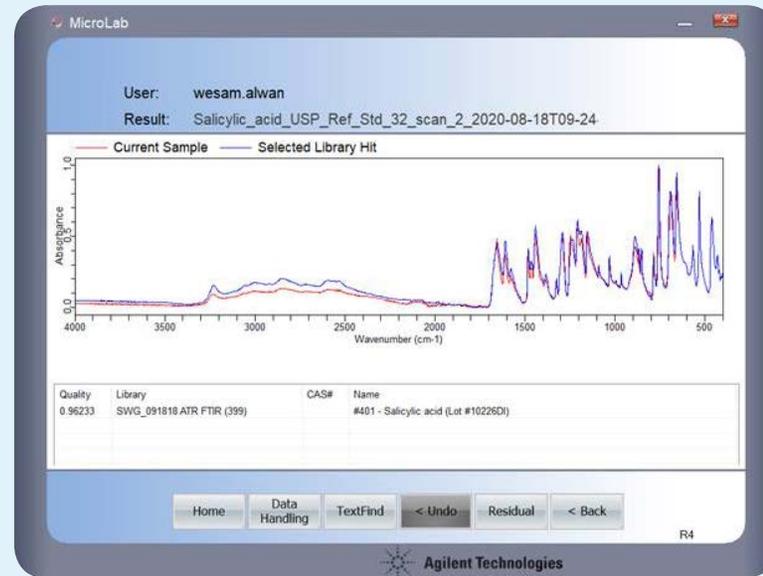
표 5. 일부 크로모포어와 흡광도 최대치의 파장.

크로모포어	화학식	예시	$\lambda_{max}(nm)$
카르보닐(케톤)	$RR'C=O$	아세톤	271
카르보닐(알데히드)	$RHC=O$	Acetaldehyde	293
카르복실	$RCOOH$	Acetic acid	204
아미드	$RCONH_2$	아세트아미드	208
Ethylene	$RCH=CHR$	Ethylene	193
Acetylene	$RC=CR$	Acetylene	173
니트릴	$RC=N$	아세토니트릴	<160
니트로	$RNO_2$	Nitromethane	271

특정 파장에서 흡광도 밴드가 나타나는 경우 크로모포어의 존재를 나타내는 좋은 지표입니다. 하지만, 흡광도 최대치의 파장 위치는 고정되어 있지 않지만, 부분적으로 크로모포어의 분자 환경과 시료가 용해되는 용매에 따라 달라집니다. pH 및 온도와 같은 다른 파라미터로 인해 흡광도 최대치의 강도 및 파장 모두에서 변화가 나타날 수 있습니다.

### 화합물 식별에 FTIR 스펙트럼을 사용할 수 있습니다

푸리에 변환 적외선(FTIR) 스펙트럼에는 UV-Vis 스펙트럼보다 세부적인 정보가 훨씬 더 많이 포함되어 있습니다. 여기에서 확인할 수 있는 것(빨간색)과 같은 스펙트럼을 FTIR 스펙트럼 라이브러리와 매칭해 화합물을 식별할 수 있습니다. 여기에서는 제약-salicylic acid(파란색으로 표시된 라이브러리 스펙트럼).



이중 결합에 추가 이중 결합을 결합하면 흡수대의 강도와 파장이 모두 증가합니다. 결합 탄화수소 또는 카로티노이드와 같은 일부 분자 시스템의 경우 강도 및 파장 사이의 관계가 체계적으로 연구되어 왔습니다. 전이 금속 이온에도 가시 영역(400 ~ 700nm)에서 흡수를 일으키는 전자 에너지 준위가 있습니다.

## 4.2 ID 확인

UV-visible 스펙트럼을 사용해 완전하게 미지 물질을 식별할 수는 없지만, 측정된 스펙트럼과 레퍼런스 스펙트럼을 비교하여 물질 ID를 확인할 수는 있습니다. 스펙트럼이 매우 비슷한 경우 미분 스펙트럼을 사용할 수 있습니다. 그림 30에서 확인할 수 있는 것처럼, 미분 차수가 높아질수록 밴드의 수가 늘어납니다. 이러한 복합 미분 스펙트럼은 물질 특성 규명 또는 식별 목적의 정성 분석에서 유용하게 사용할 수 있습니다. 예를 들어, steroid testosterone의 흡광 스펙트럼에는 약 330nm에 넓고 특징이 없는 집중된 밴드 하나가 표시되지만, 2차 미분 스펙트럼에는 6개의 각기 다른 피크를 나타냅니다. 미지 물질을 식별할 때도 분해능 향상 효과가 유용할 수 있습니다. 그림 30은 컴퓨터 시뮬레이션을 보여줍니다. 30nm에서 분리된 40nm 자연 스펙트럼 대역폭 (NBW)이 포함된 두 개의 가우시안 대역이 흡광 모드에서 추가되는 경우 두 가지 성분 밴드 사이의 중간에 최대치가 있는 단일 밴드가 나타납니다. 이러한 두 가지 성분은 분해되지 않습니다. 스펙트럼의 사차 미분을 사용하면 이러한 두 가지 밴드가 분명하게 표시되고, 최대치가 성분 밴드의  $\lambda_{max}$ 와 가까운 중앙에 위치합니다.

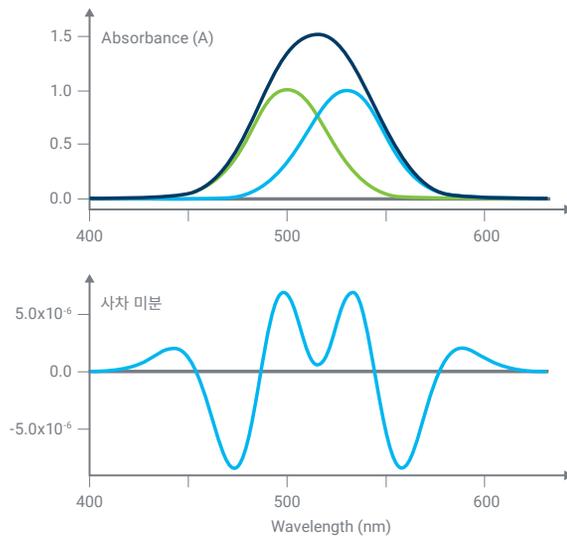


그림 30. 유도체 분석을 사용해 분해능 향상. 원래는 중첩된 피크가 하나의 넓은 피크로 표시됩니다. 스펙트럼의 4번째 유도체를 사용하면 훨씬 더 높은 고분해능 피크의 스펙트럼이 나타납니다.

## 4.3 분자 정량화

### Beer의 법칙

100개의 광자로 구성된 빛이 큐벳에 입사되었지만, 50개만 반대쪽으로 방출되는 경우 투과율은 0.5%, 즉 50%입니다. 이러한 50개 광자가 동일한 큐벳을 통과하고 25개만 방출됩니다. 그림 31은 큐벳의 경로 길이와 비교해 투과율 변화를 보여줍니다.

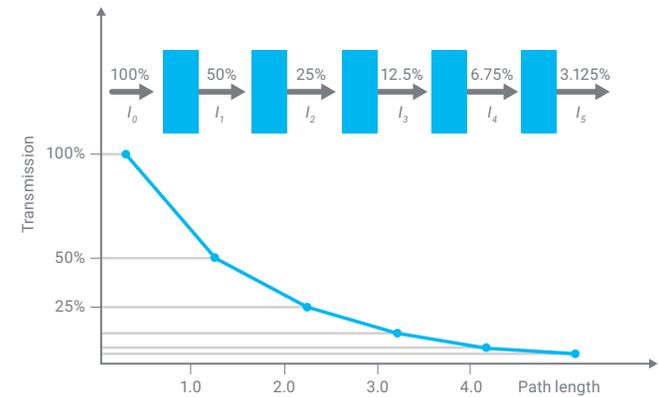


그림 31. 투과율 및 경로 길이- Bouguer-Lambert 법칙.

일반적으로 Lambert(1760)가 이 효과를 처음 수학식으로 만들었다는 이유로 높은 평가를 받지만, 1729년에 Bouguer가 처음 이 효과를 공식적으로 기술한 것으로 알려져 있습니다. 방정식:

$$T = I/I_0 = e^{-kb}$$

여기서:

- $I_0$ 는 입사 강도
- $I$ 는 투과 강도
- $e$ 는 자연 로그의 밑수
- $k$ 는 상수
- $b$ 는 경로 길이(대개의 경우 센티미터 단위)

Beer의 법칙은 Bouguer의 법칙과 동일합니다(단, 농도 관점에서 명시되었다는 점 제외). 흡수된 빛의 양은 빛이 통과하는 흡수 분자의 수와 비례합니다. 그림 32는 농도와 비교해 투과율 변화를 보여줍니다.

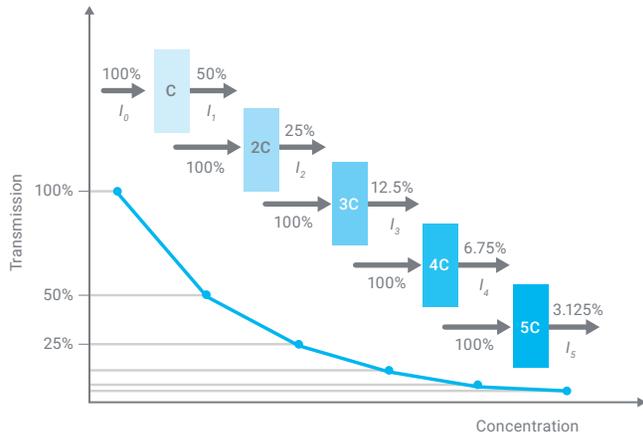


그림 32. 투과율 및 농도—Beer의 법칙.

이 두 가지 법칙이 결합해 Beer-Bouguer-Lambert 법칙이 탄생했습니다.

$$T = I/I_0 = e^{-kbc}$$

여기서  $c$ 는 흡수하는 물질의 농도(대개의 경우 리터당 그램 또는 리터당 밀리그램으로 표시)입니다. 이 방정식은 로그를 적용해 일차식으로 바꿀 수 있으며, 대개의 경우 십진법으로 나타냅니다.

$$A = -\log T = -\log(I/I_0) = \log(I_0/I) = \Sigma bc$$

여기서  $A$ 는 흡광도이고  $\Sigma$ 는 몰 흡광도 또는 소광 계수입니다. 이 식이 일반적으로 Beer의 법칙이라고 알려져 있습니다. 그림 33은 농도와 비교해 흡광도 변화를 보여줍니다.

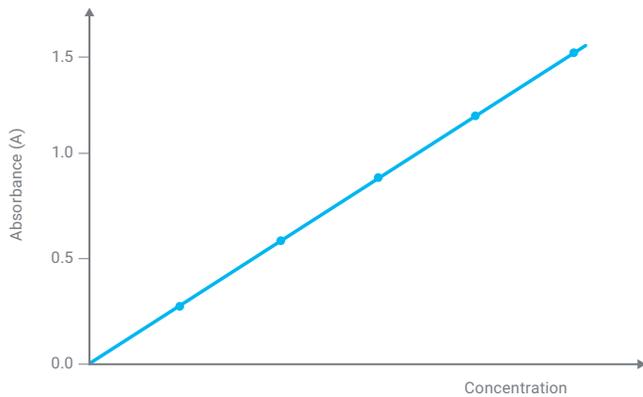


그림 33. Beer-Bouguer-Lambert 법칙은 입사광의 흡광도와 분자 농도 사이의 선형 관계를 설명합니다.

소광 계수( $\epsilon$ )는 파장, 용매 및 온도와 같이 정밀하게 정의된 조건에서 특정 물질의 특성입니다. 실질적으로는 측정된 소광 계수가 사용한 기기의 특성에 따라 부분적으로 달라집니다. 이러한 이유 때문에 소광 계수에 대해 사전 측정된 값은 대개 정량 분석에서 사용되지 않습니다. 대신 분석할 물질에 대한 검량 곡선 또는 작업 곡선을 알려진 농도의 분석물질을 포함하는 하나 이상의 표준 용액을 사용해 만듭니다.

전자 전이의 경우 바닥 상태와 여기 상태 사이의 에너지 차이가 상대적으로 큽니다. 따라서 실온에서 모든 분자가 전자 바닥 상태에 있을 가능성이 매우 높습니다. 흡수하고 바닥 상태로 돌아가는 속도가 빠르기 때문에 평형 상태에 매우 빠르게 도달합니다. 따라서 UV 가시광선 흡수가 정량적으로 매우 정확합니다. UV-Visible 분광 광도계는 흡광도와 농도의 선형 관계 및 UV 가시광선 측정의 상대적 용이성으로 인해 수많은 정량 분석법의 토대가 되었습니다. Beer의 법칙이 영차 스펙트럼을 따른다고 가정할 때 농도와 모든 미분 스펙트럼 차수에 대한 진폭 사이에 비슷한 선형 관계가 존재합니다.

영차:  $A = \epsilon bc$

일차 미분:  $dA/d\lambda = (d\epsilon/d\lambda)bc$

n차 미분:  $d^n A/d\lambda^n = (d^n \epsilon/d\lambda^n)bc$

$\lambda$ 에서,  $A$ 는 흡광도,  $\epsilon$ 은 소광 계수이고,  $b$ 는 시료 경로 길이이고,  $c$ 는 시료 농도입니다.

단일 성분 정량화의 경우 포지티브 피크와 네거티브 피크가 모두 존재하기 때문에 흡광 스펙트럼보다 미분 스펙트럼이 있는 파장을 선택하는 것이 더 어렵습니다. 짝수 차수 미분의 경우에는 흡광 스펙트럼과 동일한  $\lambda_{max}$ 에서 피크 최대값 또는 최소값이 나타나지만, 홀수 차수 미분의 경우에는 이 파장이 영교차 포인트입니다. 가장 높은 최대값과 가장 낮은 최소값 간의 차이를 적용하면 최고의 신호 대 잡음비(S/N)가 나오지만, 다른 성분의 간섭에 대한 감도가 증가할 수 있습니다.

정확한 결과를 얻으려면 분석할 시료에 검량을 수행한 흡수 성분만 들어 있어야 합니다. 시료가 용액인 경우 용매의 순수 시료를 바탕시료로 사용해야 합니다. 두 번째 파장을 사용해 간섭 성분을 바로잡을 수 있습니다.

## 농도 측정

UV-Vis 분광 광도계의 가장 일반적인 응용 분야 중 하나는 간단한 농도 정량화입니다. 광섬유 딥 프로브 액세서리와 결합하면 UV-Vis 분광 광도계를 사용해 큐벳에 옮겨 담지 않고 시료 용기에서 바로 농도를 측정할 수 있습니다.

[자세히 알아보기](#)



## 4.4 동역학

반응 동역학 분석은 화학 및 생화학에서 반응이 어떻게 일어나는지를 이해하는데 있어 토대가 됩니다. UV-Vis 분광 광도법은 시료를 파괴하지 않기 때문에 이 응용 분야에 적합한 기법입니다. 시간의 흐름에 따라 반응물 또는 생성물의 변화로 인해 특정 파장에서 흡광도가 변할 때 이 기법을 사용할 수 있습니다. 고속 스캔 UV-Vis 시스템을 사용하면 반응이 일어날 때 여러 번 스캔을 진행해 반응을 시각화하고 속도 계산을 위한 파장 선택에 도움을 줄 수 있습니다.

### 단일 포인트 동역학

단일 포인트 동역학 분석은 반응 속도를 측정하는 가장 간단한 방법입니다. 단일 파장, 대개의 경우 관심 분석물질의 최대 흡광도를 선택하고, 반응을 시작한 후 해당 파장의 흡광도가 지속적으로 모니터링됩니다. 그림 34는 네 가지 시료의 시간의 흐름에 따른 흡광도 변화를 보여줍니다. 시간의 흐름에 따른 흡광도 변화를 모니터링하면 반응을 연구할 수 있습니다. 흡광도가 더 이상 변하지 않으면 대개의 경우 반응이 끝났음을 나타냅니다. 그림 34는 30분 동안 네 가지 다른 시료에 대한 결과를 보여줍니다.

단일 포인트 측정의 장점은 빠른 반응의 경우 시스템이 측정하는 동안 다른 파장으로 이동할 필요가 없기 때문에 거의 연속 데이터를 수집할 수 있다는 점입니다. 기기의 데이터 수집 속도와 신호 평균화 시간은 수집할 수 있는 데이터 양에서 한계 요소입니다.

역학적 측정을 위해 여러 파장을 모니터링할 수 있습니다. 이를 통해 하나의 파장에서 반응 결과물의 생성과 다른 파장에서 감소에 대한 인사이트를 제공할 수 있습니다.

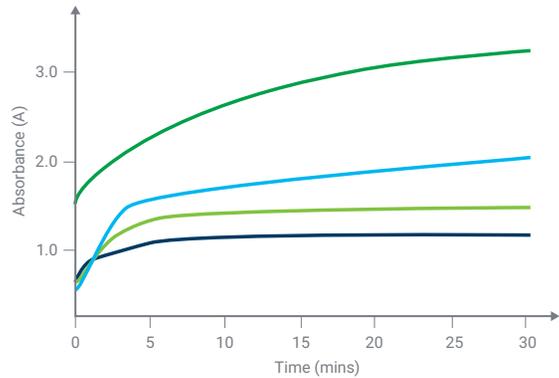


그림 34. 시간의 흐름에 따른 흡광도 변화를 모니터링하면 반응을 연구할 수 있습니다. 흡광도가 더 이상 변하지 않으면 대개의 경우 반응이 끝났음을 나타냅니다. 이 그래프는 30분 동안 네 가지 다른 시료에 대한 결과를 보여줍니다.

### 스캐닝 동역학

시간의 흐름에 따른 파장 범위를 스캔하면 동역학 측정을 수행할 때 추가 정보를 제공할 수 있습니다. 반응이 일어날 때 반응에 대한 시각적 인상을 제공하는 것 외에도(그림 34 참조), 이 측정을 사용하면 반응 속도를 계산하기 위해 스캔 범위에서 파장 수를 유연하게 선택할 수 있습니다. 여기에는 반응이 진행될 때 반응물 소비 또는 반응 결과물 생산에 대한 분석이 포함됩니다. 스캐닝 동역학을 수행할 때는 UV-Vis 시스템이 선택한 파장 범위를 빠르게 스캔할 수 있는지 확인하는 것이 중요합니다. 스캐닝 속도를 줄이면 반응하는 동안 파장에서 수집되는 데이터 양이 제한됩니다.

### 고속 - 혼합 동역학

반응 속도 또는 빠르게 반응하는 두 가지 용액을 모니터링하려면 전문 고속 혼합 액세서리 또는 정적 유량 액세서리를 사용해야 합니다. UV-Vis 분광 광도계에 장착하는 경우 이러한 액세서리는 혼합이 이루어지는 UV-Vis 내 플로우 셀에 두 개 이상의 용액을 정확하게 공급합니다. 용액이 플로우 셀에서 혼합되자마자 정적 유량 액세서리가 UV-Vis 시스템의 분석 시작을 트리거합니다. 옵션에는 용액의 혼합 비율을 변경하는 기능과 플로우 셀과 반응물 모두에 대한 온도 조절 기능이 포함됩니다. 수집 속도가 매우 중요하기 때문에 반응 시간 내에서 일련의 데이터 포인트를 수집할 정도로 데이터 수집 속도가 충분히 빠른 UV-Vis 시스템을 선택하는 것이 중요합니다. 그림 36에 나타난 예는 3초 동안 모니터링한 반응을 보여줍니다.

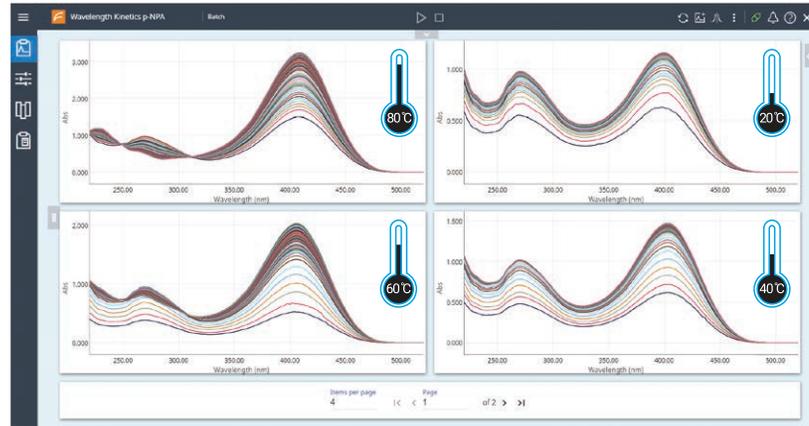


그림 35. 스캐닝 동역학: UV-vis 분광 광도계는 반응 화학에 대한 강력한 인사이트를 제공합니다. 화학 반응에 미치는 온도의 영향을 여러 온도에서 빠르게 스캔으로 빠르고 쉽게 관찰할 수 있습니다. 스캐닝 동역학 실험은 [여기에서 확인할 수 있습니다.](#)

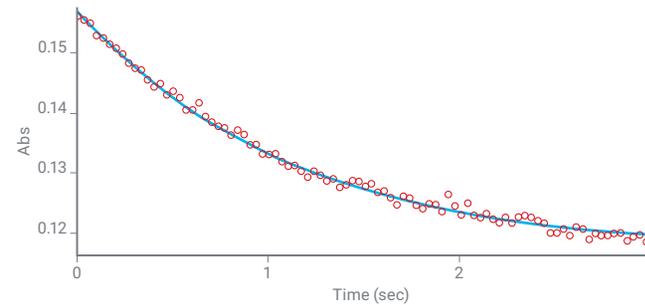


그림 36. 최신 UV-Vis 분광기 및 고속 혼합 액세서리를 사용하면 몇 초 수준으로 반응을 측정할 수 있습니다. [다음 실험 예를 살펴보세요.](#)

### 동역학 측정 고려 사항

온도가 반응 속도에 영향을 미칠 수 있습니다. 이러한 이유로 시료를 일정한 온도로 유지하는 것이 중요합니다. 예를 들어, 생물학적 반응에는 대개 체온(37°C)을 선택합니다. 이러한 목적으로 Peltier 냉각/가열 큐벳 또는 물 온도 조절 큐벳 홀더를 UV-Vis 시스템과 함께 사용하는 것이 일반적입니다. 이러한 액세서리가 시료를 특정 온도로 유지하거나 시간의 흐름에 따라 온도를 변경(증가)할 수 있습니다.

약간의 온도 변화 또는 온도 변화율이 결과에 유의미한 영향을 미칠 수 있기 때문에 온도 정확도 및 재현성을 신중하게 고려해야 합니다. 일부 시스템에는 (큐벳 홀더의 온도를 측정하는 것이 아니라) 큐벳 내에서 바로 시료 온도를 측정할 수 있는 기능이 있습니다. 온도 제어 시스템에 대한 피드백을 함께 고려하면, 일반적으로 시료에 대한 온도 제어 기능이 더 뛰어납니다. 시료의 온도 프로브를 사용해 흡광도 데이터와 함께 시료 온도를 기록할 수도 있습니다.

일관성 및 재현성 있는 시료 교반도 중요합니다. 실온에서 반응을 측정하는 경우 교반을 통해 반응물이 반응하는 동안 일관되게 혼합되도록 해야 합니다. 온도 조절 시료의 경우 교반을 통해 시료에서 온도 그레디언트가 발생하지 않도록 합니다.

복잡한 시스템을 측정하는 경우 광섬유 프로브를 사용하는 것이 좋습니다. 광섬유 케이블을 사용하면 분광 광도계의 빛이 UV-Vis 분광 광도계 외부의 시료로 직접 전달됩니다. 이는 시료가 온도 또는 압력의 양 극단에 있는 유동 제조 공정을 측정하는 경우 또는 시료를 물리적으로 분광 광도계 시료부 내부에 장착할 수 없는 경우에 유용할 수 있습니다.

[동역학 실험 데모](http://www.agilent.com)는 [agilent.com](http://www.agilent.com) 사이트에서 시청할 수 있습니다.

### 4.5 색상 측정

색은 물질의 중요한 속성입니다. 물질의 색은 빛의 특정 파장에서 흡수율이나 반사율과 관계가 있습니다. 인간의 눈에는 그림 37 및 그림 38에서 확인할 수 있는 것처럼 흡수되는 보색만 보입니다.

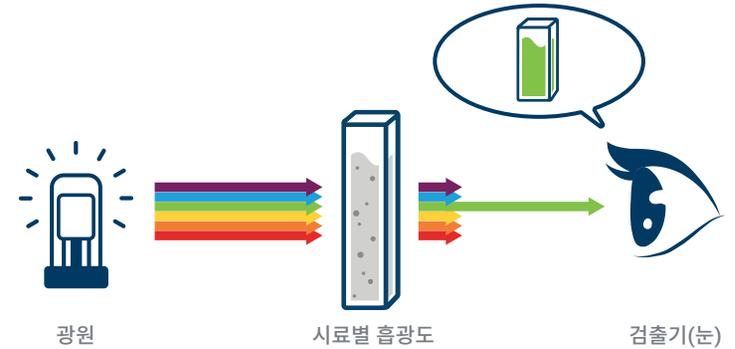


그림 37. 투과와 색상. 분광 광도계 검출기와 마찬가지로 우리의 눈은 투과하거나 표면에서 반사되는 빛을 볼 수 있습니다. 이를 물체의 색으로 인식합니다.



그림 38. 다양한 색과 관련된 빛의 파장(왼쪽) 및 흡수된 빛의 색과 인간의 눈에 보이는 관련 보색(오른쪽).

실질적으로는 색의 생성과 감지는 매우 복잡한 과정으로 다음을 포함한 여러 가지 요인의 영향을 받습니다.

- 물체에 부딪히는 빛의 스펙트럼(해질녘과 정오에 관찰되는 색의 차이)
- 고체 물질의 표면 구조(물고기의 비늘 또는 새의 깃털은 표면의 물리적 구조 때문에 관찰되는 색이 변하는 두 가지 예)
- 보는 각도(진주 광택 페인트처럼 일부 표면은 해당 표면을 보는 각도가 변함에 따라 색이 변함)

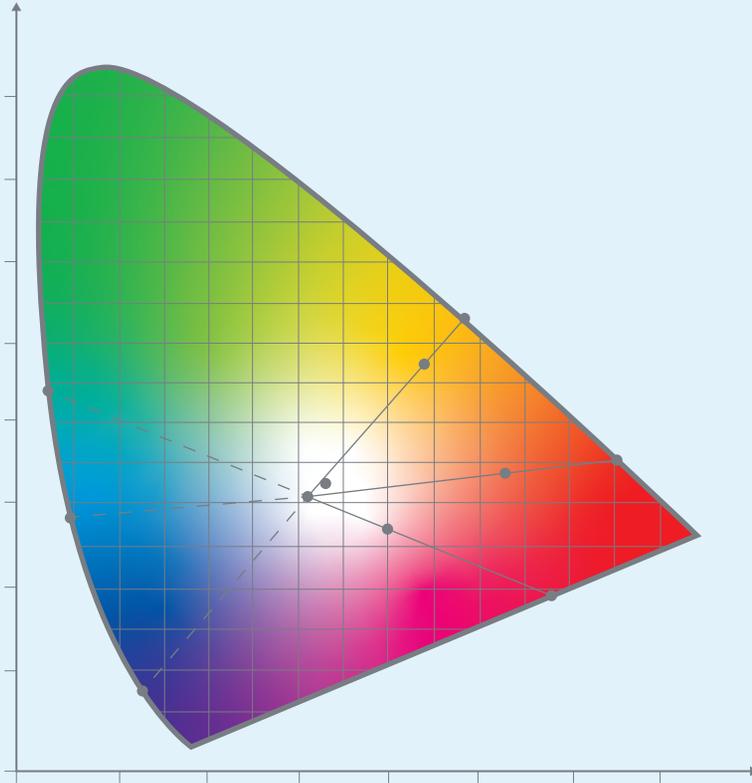
CIE L\*a\*b와 같은 특수 색상 측정 시스템 및 색상 측정을 위한 기기 장치가 그동안 개발되었습니다. 적절한 소프트웨어가 장착되어 있는 경우 대부분의 분광 광도계를 색상 측정에 사용할 수 있습니다. 색지각은 표면과 (거울과 같은) 정반사율 또는 산란반사를 생성할 수 있는 기능의 영향을 받습니다. 이러한 요소 때문에 색상 측정에는 다양한 보기 각도에서 정반사율 또는 산란반사를 수집하고 관찰할 수 있는 특별한 액세서리가 필요할 수 있습니다.

색상 측정 기기는 시료의 UV-Vis 스펙트럼을 세 개의 색상 좌표로 변환시키는데, 이 좌표를 통해 색을 3차원 색상 공간에 위치시킵니다(오른쪽 그림 참조). 세 개의 좌표가 시료의 밝기, 채도 및 색조를 정의합니다. 밝기는 색이 얼마나 밝고 어두운지를 측정합니다. 채도는 '색순도'를 측정하고 색조는 무지개에서 관찰되는 색과 비슷한 주요 스펙트럼 색깔입니다.

조색 측정(예: 제조품의 페인트 색 측정)에 사용하는 것뿐만 아니라 UV-Vis 분광 광도계는 용액의 색 변화를 측정하는 데도 사용할 수 있습니다. UV-Vis 측정은 이러한 목적으로 사용되는 경우가 많으며, 이를 통해 육안 검사 없이 반응이 일어났는지 진행 중인지를 평가합니다. 색상 기반 분석은 UV-Vis 분광 광도법에서 가장 널리 사용되는 응용 분야 중 하나입니다.

## 색상 측정

UV-Vis 분광 광도계는 액체 및 고체 물질의 색을 측정하는 데 사용됩니다. 용액 또는 물질에 투과되는 가시광선이나 표면에서 반사되는 빛을 측정해 액체 또는 물질의 색을 계산할 수 있습니다. 세 가지 숫자를 사용해 '색상 공간'에 측정된 색의 좌표를 나타냅니다. [자세히 알아보기](#)





#### 얼마나 까매야 까맣다고 할 수 있나요? 심해어에게 물어보세요.

연구자들이 피부색이 매우 까만 심해어를 발견했습니다. 피부의 입사광 반사 비율이 0.5% 미만입니다. 심해어는 매우 까만 피부 덕분에 먹이를 사냥하는 동안에도 발각되지 않습니다. 깊고 어두운 바닷속 생물들은 생물 발광 빛을 사용해 먹이나 공격자를 찾는 데 도움을 받는 경우가 많습니다. 매우 까만 피부가 생물 발광 빛을 흡수해 심해어가 눈에 띄지 않도록 합니다.

스미스소니언 국립 자연사 과학관(Smithsonian National Museum of Natural History) 및 듀크대학교(Duke University) 연구자들은 빛의 99.5%를 흡수하는 심해어 피부의 반사율을 측정했습니다. 이 반사율을 극락조의 반사율(99.95%) 및 가시광선의 99.96%를 흡수하는 세상에서 가장 까만 물질인 벤타블랙 반사율과 비교했습니다.

심해어가 빛을 흡수하는 데 사용하는 메커니즘을 태양광 패널, 망원경, 카메라 및 위장 시스템에서 응용할 수 있습니다.

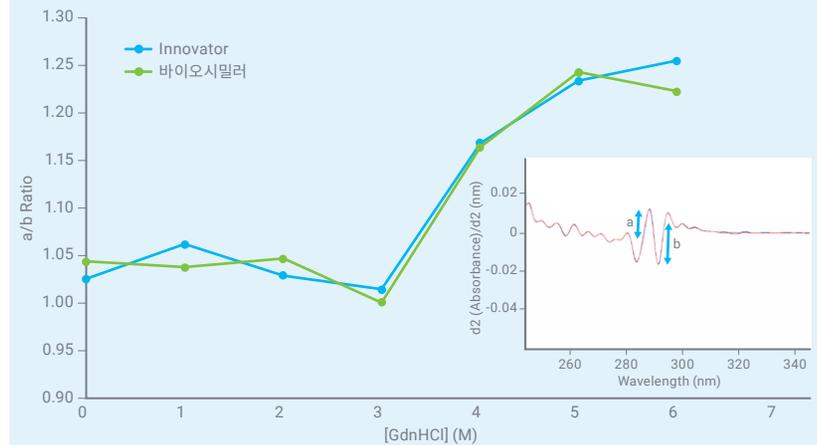
[연구 결과를 읽어보세요](#)

#### 4.6 화합물의 구조적 변화

UV-visible 분광기를 사용해 화합물의 많은 물리 화학적 특성을 측정할 수 있습니다. 이러한 측정을 통해 화합물을 식별하거나 특정 속성을 확인할 수 있습니다.

##### 형태 연구

UV-Vis 분광기는 단백질 구조에 대한 인사이트를 제공할 수 있습니다. UV-Vis 분광 광도법은 시료를 파괴하지 않기 때문에 귀중한 시료를 희생할 필요가 없습니다. 이 때문에 UV-Vis는 LC 또는 질량 분광법과 같은 기술을 이용한 분석 전에 사용할 수 있는 이상적인 도구입니다. 이러한 내용이 Innovator와 바이오시밀러 단일 클론 항체 쌍 비교를 통해 입증되었습니다. [자세히 알아보기](#)



#### 4.7 단백질과 핵산 용융 온도

UV-Vis 분광기는 단백질 및 핵산과 같은 생체분자 분석을 위해 생명 과학 분야에서 일반적으로 사용됩니다. 단백질의 흡광 스펙트럼은 방향족 아미노산 tryptophan, tyrosine, phenylalanine의 흡광도 때문에 나타납니다. 다성분 분석을 사용해 각 방향족 아미노산이 원형 단백질에 얼마나 존재하는지를 확인할 수 있습니다.

실온에서 단백질은 특정한 3차 구조 또는 형태를 가지기 때문에 방향족 아미노산에 적합한 특정 전자 환경을 만듭니다. UV-Vis 분광기의 다른 응용 분야는 단백질을 열 또는 화학적 변성제에 노출시키는 것입니다. 그러면 특정 온도 또는 농도에서 단백질이 펼쳐지거나 용융되고 구조를 잃게 됩니다.

이러한 과정에서 방향족 아미노산의 전자 환경이 변화하고, 그 결과 스펙트럼 변화 또는 이동이 발생합니다.

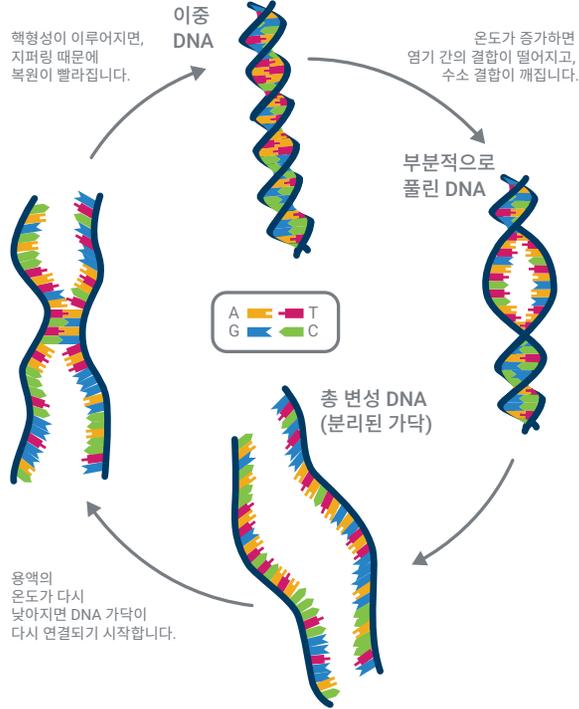


그림 39. DNA가 가열되면서 DNA 이중나선의 가닥이 펼쳐집니다. 이로 인해 260nm에서 자외선의 흡광도가 증가합니다. DNA가 냉각되면 가닥이 다시 꼬입니다.

고유 상태의 디옥시리보핵산(DNA)은 동일한 축을 중심으로 나선형으로 꼬여 있는 두 개의 디옥시리보스 분자 가닥으로 구성되어 있습니다. 이중가닥은 purine과 pyrimidine 염기 사이의 수소 결합을 통해 연결되어 있습니다. Adenine은 thymine에 연결되고(A-T) guanine은 cytosine(G-C)에 연결됩니다. 이러한 염기가 DNA 및 다른 유형의 핵산 UV 흡광도를 나타내는 주요 원인이며, 피크 최대값은 260nm에서 나타납니다. 모든 다성분 시스템에서와 마찬가지로 관찰된 핵산 분자의 흡광도는 개별 흡광도의 합계와 동일해야 합니다.

$$A_{DNA} = A_{adenine} + A_{guanine} + A_{cytosine} + A_{thymine}$$

하지만, 관찰된 흡광도는 예상된 값보다 항상 유의미하게 낮습니다. 염기 간의 수소 결합으로 인해 전자 환경이 변화하기 때문입니다. 분자가 가열되면 수소 결합이 깨지고 이중가닥이 펼쳐지고, 흡광도가 증가해 모든 염기의 합계를 통해 예상한 값에 근접합니다(그림 39 참조). 이 변성 과정이 용융 또는 열 용융으로 알려져 있습니다. 열 용융 실험에서는 이중가닥의 핵산 용액 온도가 단계적으로 증가하고, 각 온도에서 260nm의 흡광도를 측정하고 용융 곡선으로 나타냅니다(그림 40 참조). 용융이 발생하는 온도 범위의 중간 지점이  $T_m$  값입니다. 특정 핵산 시료의  $T_m$  값은 주로 시료의 G-C 쌍 비율에 따라 달라지며, G-C 쌍 각각에는 세 개의 수소 결합이 포함되어 있습니다(반대로 각 A-T 쌍에는 두 개의 수소 결합이 포함되어 있음). 시료에서 G-C 쌍의 비율이 높아질수록 관찰된  $T_m$  값이 증가합니다.

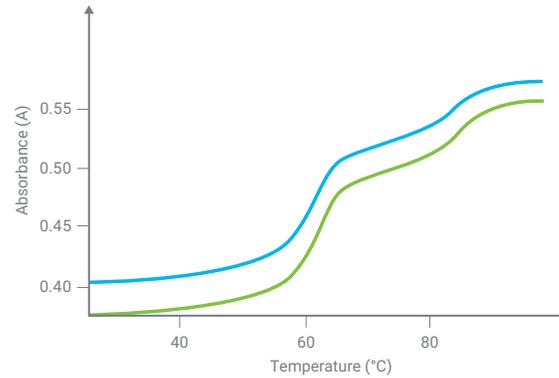


그림 40. 260nm에서 흡광도 측정, 온도가 증가하면 이 DNA '용융' 특성 그래프가 나타남. 흡광도 변화는 DNA 나선이 펼쳐질 때 다중 전이를 나타냅니다.

단백질 및 DNA 용융 분석을 수행하기 위해 UV-Vis 분광 광도계에는 시료 온도를 정확하고 재현성 있게 변경하기 위한 수단이 포함되어 있어야 합니다. 최근 분광 광도법 측정 장비의 발전으로 인해 thermal melt 측정 경과 시간이 크게 줄었을 뿐만 아니라 온도 정확도가 이전보다 더 높아졌습니다. UV-Vis 열 용융 분석 시스템은 통합된 큐벳 내 온도 프로브와 함께 사용할 수 있습니다. 프로브는 실험하는 동안 용액의 온도를 정확하게 제어하는 데 사용할 수 있습니다. 큐벳 내 교반을 통해 시료가 균질하게 가열되도록 합니다. 분석할 시료가 많은 경우 다중 셀 홀더가 기기에 장착되어 있거나 기기와 함께 제공됩니다. 대부분의 Peltier 온도 제어 액세서리에는 Peltier 원소를 냉각하기

위한 순환 수조가 필요합니다. 최근의 혁신으로 셀 블록에서 공냉식 Peltier를 사용할 수 있게 되었습니다. 필요한 온도 범위는 일반적으로 0 ~ 110°C 사이이고, 내장된 온도 모니터링 및 교반 기능을 사용해 분석하는 동안 시료의 온도가 가능한 한 빨리 증가하도록 합니다.

### 핵산 열 용융 분석

시료 온도 제어는 UV-Vis 열 용융 시스템의 핵심적인 요구사항입니다. 큐벳 내 온도 프로브를 사용해 재현성 있고 빠르게 가열할 수 있습니다. [자세히 알아보기](#)



## 4.8 다성분 분석

UV-visible 스펙트럼을 사용하는 다성분 분석이 단일 성분 분석만큼이나 오랫동안 수행되어 왔습니다. 하지만, 다성분 분석에서 사용되는 기법을 사용하면 올바르지 않은 결과가 나오는 경우가 많기 때문에 널리 적용되지 않았습니다. 잘 설계된 최신 UV-Vis 분광 광도계는 보다 정밀한 데이터를 제공하고, 최신 Curve-fitting Technique 기법은 보다 정확한 결과를 제공할 뿐만 아니라 결과가 올바르지 않을 때를 알려줍니다.

### 가성성 원칙

Beer의 법칙에 따르면, 흡광도는 지정된 파장에서 방사선을 흡수하는 분자의 수에 비례합니다. 흡수하는 물질이 하나 이상 존재하는 경우 이 원칙이 적용됩니다. 모든 다성분 정량 분석법은 모든 혼합물 파장에서 흡광도가 해당 파장에서 혼합물의 각 성분 흡광도의 합과 동일하다는 원칙을 기반으로 합니다. 다성분 분석에 대한 간단한 접근법은 혼합물에 포함된 성분의 수와 동일한 수의 파장에서의 측정을 기반으로 합니다. 대개 선택한 파장이 각 성분 최대 흡광도의 파장입니다. 검량을 위해 알려진 농도의 순수 성분 표준물질 흡광도를 측정해

선택한 각 파장에서 각 성분에 대한 소광 계수를 측정합니다. 각 파장에서 혼합물의 흡광도는 해당 파장에서 각 성분의 흡광도 합계이고, 이는 각 성분의 소광 계수와 농도에 따라 달라집니다. 따라서 두 가지 성분 x 및 y에 대한 방정식은 다음과 같습니다.

$$A'_{(x+y)} = A'_x + A'_y = e'_x bc_x + e'_y bc_y$$

및

$$A''_{(x+y)} = A''_x + A''_y = e''_x bc_x + e''_y bc_y$$

여기서:

- A'는 파장에서의 흡광도'
- A''는 파장에서의 흡광도''
- e'는 파장에서의 몰 흡수율'
- e''는 파장에서의 몰 흡수율''
- c는 농도
- b는 경로 길이입니다

이러한 방정식을 쉽게 풀어 각 성분의 농도를 결정할 수 있습니다. 항상 완벽한 측정이 가능하다면, 스펙트럼이 매우 비슷한 성분의 복잡한 혼합물에 대해서도 정확한 결과를 얻을 수 있을 것입니다. 하지만, 현실에서는 항상 측정 오류가 발생합니다. 주요 스펙트럼 중첩이 발생하는 경우 이러한 오류는 결과 정확도에 유의미한 영향을 미칠 수 있습니다. 그림 41은 흡광도 최대치에서 스펙트럼이 중첩되지 않는 두 가지 성분 혼합물의 시뮬레이션을 보여줍니다.

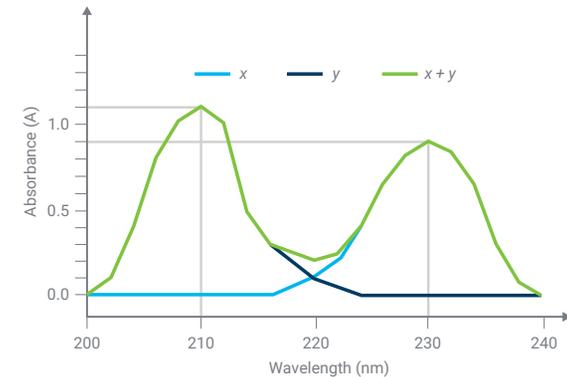


그림 41. 스펙트럼이 거의 중첩되지 않는 두 가지 성분 혼합물.

반대로 그림 42는 흡광도 최대치에서 스펙트럼이 유의미하게 중첩되는 두 가지 성분 혼합물의 시뮬레이션을 보여줍니다.

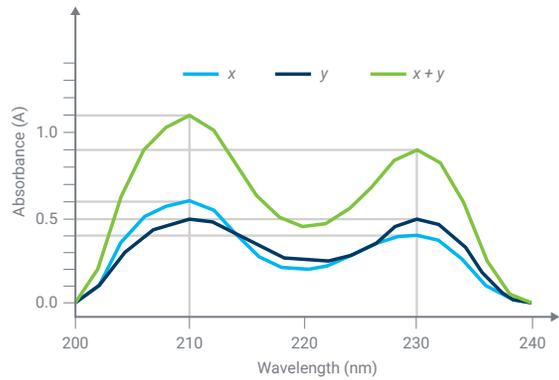


그림 42. 스펙트럼이 유의미하게 중첩되는 두 가지 성분 혼합물.

스펙트럼이 거의 중첩되지 않음		스펙트럼이 상당히 중첩됨	
$A'(x+y) = 1.1 + 0.0 = 1.1$		$A'(x+y) = 0.6 + 0.5 = 1.1$	
$A''(x+y) = 0.0 + 0.9 = 0.9$		$A''(x+y) = 0.4 + 0.5 = 0.9$	

$cx = cy = 1$ 인  $x$  및  $y$  혼합물의 경우 측정된 흡광도는 다음과 같아야 합니다.

$A'_{(x+y)}$  및  $A''_{(x+y)}$ , 즉  $A'_{(x+y)} = 0.99$  (-10%) 및  $A''_{(x+y)} = 0.99$  (+10%) 측정에서 10% 오류가 발생하는 경우 정량 계산 결과는 표 6과 같습니다.

표 6. 스펙트럼이 거의 중첩되지 않는 경우와 스펙트럼이 상당히 중첩되는 경우 다성분 분석 결과 비교.

구성 요소	공칭 농도	계산된 농도	스펙트럼이 거의 중첩되지 않음		스펙트럼이 유의미하게 중첩됨	
			오류(%)	계산된 농도	오류(%)	
x	1	0.9	-10%	0.0	-100%	
y	1	1.1	+10%	1.98	+98%	

## 최소 제곱법

추가 스펙트럼 정보를 사용해 임의 노이즈의 영향을 줄일 수 있습니다. 즉 단 두 개가 아니라 일련의 데이터 포인트를 정량화에 사용할 수 있습니다. 소위 이 과잉 결정 시스템에서 측정된 시료의 스펙트럼에 표준 스펙트럼을 최소 제곱법으로 적용하면 정량 결과가 나옵니다(1,2). 표 43은 각 측정 포인트에서 임의 오류가 10%일 때 그림 42에 표시된 두 가지 성분 혼합물에 대한 스펙트럼을 보여줍니다.

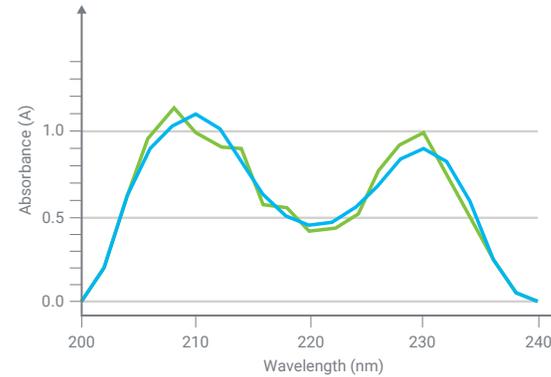


그림 43. 각 파장에서 임의 오류가 10%일 때 혼합물 스펙트럼.

데이터 포인트가 21개(200 ~ 240nm에서 2nm 간격)이면, 표 7에서 확인할 수 있는 것처럼 두 가지 파장에서 일반적인 측정에 따른 오류가 대략 100%일 때와 비교했을 때 최소 제곱법을 따른 정량 결과 오류는 1% 이하입니다.

표 7. 간단한 연립 방정식 및 최소 제곱법을 사용한 다성분 분석 결과 비교.

구성 요소	공칭 농도	계산된 농도	210nm 및 230nm만 사용		200 ~ 240nm 사용	
			오류(%)	계산된 농도	오류(%)	
x	1	0.0	-100%	1.003	+0.3%	
y	1	1.98	+98%	0.995	-0.5%	

이 분석법을 사용하면 보다 복잡한 혼합물과 스펙트럼이 비슷한 성분의 간단한 혼합물을 분석할 수 있습니다. 최소 제곱법 계산 후 나머지는 표준 스펙트럼이 시료 스펙트럼과 얼마나 잘 맞는지를 나타내는 좋은 지표이기 때문에 결과의 정확성을 나타내는 좋은 지표입니다.

다성분 분석의 예는 시료 전처리가 최소화된 혈액의 다섯 가지 헤모글로빈 정량화입니다(3). 표 44는 헤모글로빈 유도체의 흡수 스펙트럼을 보여줍니다. 이전에는 분석이 분광기 및 적정을 포함해 다양한 분석 기법을 사용해 수행되었습니다.

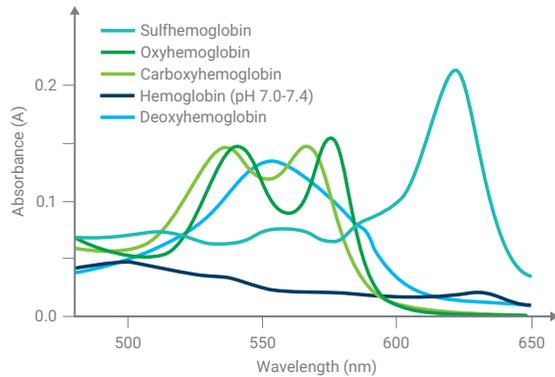


그림 44. 헤모글로빈 유도체의 흡수 스펙트럼.

### 기타 분석법

다성분 분석을 위한 다른 통계학적 접근법에는 PLS(partial least squares), PCR(principle component regression), MLS(multiple least squares) 분석법이 포함됩니다. 이론적으로 이러한 분석법은 위에서 설명한 분석법보다 더 많은 장점이 있지만, 검량 과정이 훨씬 더 복잡할 수 있습니다.

### 시료 요건

UV-visible 스펙트럼에 기여하는 시료의 각 성분에 대해 순수 표준물질 또는 표준물질 혼합물을 사용해 검량을 수행하는 경우에만 간단한 연립 방정식 및 최소 제곱법을 사용해 정확한 결과를 얻을 수 있습니다. 미지 시료는 추가로 흡수하지 않아야 합니다.

### 기기 요건

단일 성분 정량화는 일반적으로 동일한 기기를 사용해 표준물질 또는 일련의 표준물질을 측정하는 다음 미지 물질을 측정하는 방식으로 수행합니다. 이 검량 과정에 기기 편차가 포함되지 않아야 합니다. 그에 따라 절대적인 파장 정확성 및 절대적인 광도 정확성이 상대적으로 중요하지 않습니다. 반면에 광도 재현성은 정밀한 결과를 얻는 데 매우 중요합니다. 흡광도 최대치에서 측정을 수행하는 경우에만 파장 재현성이 중요하지 않습니다. 파장에 따른 흡광도 변화 속도가 느리기 때문입니다. 하지만, 밴드의 한쪽 측면에 있는 파장을 사용하는 경우 파장 재현성이 매우 중요해집니다. 마지막으로 검량 과정이 선형 관계에 의존하는 경우 기기 선형 범위가 매우 중요합니다. 특히 간단한 연립 방정식을 사용하는 경우 정확한 다성분 분석은 신호 대 잡음비가 우수해야 합니다. 최소 제곱법의 경우 흡광도 밴드 측면의 데이터가 계산에 포함되기 때문에 우수한 파장 재현성도 매우 중요합니다. 하지만, 더 많은 데이터가 필요하기 때문에 생산성을 높이기 위해서는 고속 스캔이 필요합니다.

### 4.9 소프트웨어 요구사항

전문 다성분 소프트웨어를 사용하면 수집된 데이터 분석을 위한 데이터 모델 생성에 도움을 받을 수 있습니다. 이러한 소프트웨어 패키지는 기기 소프트웨어 제어 및 보고 소프트웨어에 포함되어 있거나 독립형 패키지로 제공됩니다. 사용 가능한 대부분의 UV-Vis 시스템은 다성분 소프트웨어 패키지로 가져올 수 있는 표준 형식으로 데이터를 내보내 처리할 수 있습니다.

### 참조:

1. Kisner, H.; Brown, W.; Kavarnos, G. Multiple analytical frequencies and standards for the least-squares analysis of serum lipids. **Anal. Chem.** **1983**, 55, 1703.
2. Maris M.; Brown, C.; Lavery, D. Nonlinear multicomponent analysis by infrared spectrophotometry. **Anal. Chem.** **1983**, 55, 1694.
3. Zwart, A.; van Kampen, E.; Zijlstra, W. Multicomponent analysis of hemoglobin derivatives with a reversed-optics instrument. **Clin. Chem.**, **1984**, 30, 373.



## 5. 용어

**흡광도:** 1. 빛을 흡수하는 물질의 특성 2. A 또는 Abs로 표시하는 빛 흡수력 단위.

**arc(램프):** 불활성 기체를 통해 전기 arc 또는 voltaic arc로 빛을 만듭니다.

**베이스라인:** 시료를 측정할 때 사용하는 파라미터와 동일한 파라미터로 수집한 측정치입니다. 시료가 장착되지 않은 상태에서 측정합니다. 대개 바탕시료가 베이스라인 측정을 위해 사용됩니다. 바탕시료를 사용하면 기기, 용매, 큐벳 등의 영향을 최종 시료 측정치에서 제외할 수 있기 때문입니다.

**바탕시료:** 흡수하는 물질이 없는 시료의 기질 또는 용매. 액체 시료를 측정하는 경우 큐벳에 담은 용매(물인 경우가 많음)를 의미합니다. 바탕시료의 흡광도를 시료의 흡광도에서 빼 순수하게 시료의 흡광도만 측정할 수 있습니다.

**카로티노이드:** 일부 식물, 조류 및 일부 박테리아에서의 광합성과 관련된 크로모포어.

**크로모포어:** 빛을 흡수하는 분자의 일부

**CRM:** 약어. 인증 참조물질(Certified Reference Material). 제공된 표준물질과 관련하여, 주요 표준물질로 인증을 받아 비교하는 데 사용합니다.

**큐벳:** 일반적으로 셀이라고도 하는 큐벳은 액체 시료를 담은 용기입니다. 다양한 부피와 경로 길이의 큐벳을 사용할 수 있습니다. 큐벳 재질에 따라 투광성이 결정됩니다.

**확산:** 광학 설계에서 빛을 구성 파장으로 분할할 수 있는 광학 장치의 기능을 의미합니다. 예: 프리즘의 백색광이 확산을 통해 무지개 현상을 만듭니다.

**형광:** 발광의 한 형태이자 일부 분자의 특성으로 하나의 주파수에서 빛을 흡수하고 다른 주파수의 수명이 짧은 빛을 방출합니다.

**GMP:** 약어. 의약품 제조 및 품질 관리기준(Good Manufacturing Practice). 일반적으로 제약 및 기타 규제 대상 제조 산업에서 사용됩니다.

**홀로그래픽(광학 장치):** 홀로그래픽 광학 장치는 광학 장치 표면에 간섭 패턴을 에칭해 만듭니다. 홀로그래픽 광학 장치는 렌즈, 거울 및 기타 광학 장치 대신 사용할 수 있습니다. 설계 덕분에 정확한 빛 복제가 용이해졌습니다.

**노이즈:** 분광 광도계 관점에서 노이즈는 기기 자체로 인해 발생하는 백그라운드 전기 신호를 의미합니다. 노이즈가 너무 심하면 측정 신호에 영향을 미쳐 두 가지 신호를 구분하는 것이 어려워집니다. 도시에서 별을 볼 때와 시골에서 별을 볼 때를 떠올려 보면 쉽게 이해할 수 있습니다. 도시의 조명이 만들어 내는 백그라운드 빛(노이즈) 때문에 별을 보는 것이 쉽지 않습니다. 시골에는 백그라운드 빛이 거의 없기 때문에 별빛을 쉽게 볼 수 있습니다.

**Peltier:** Peltier는 열전쌍으로 작동하는 가열/냉각 장치입니다. 이 장치가 열을 장치 한쪽에서 다른 쪽으로 전달합니다. 이를 통해 시료 온도를 정확하게 제어할 수 있습니다.

**약전:** 제약 세부 정보가 나열되어 있는 규제 문서로 제약 산업 테스트 절차에 필요하거나 권장됩니다.

**인광:** 형광과 관련이 있는 발광의 한 형태. 일부 분자의 특성으로 하나의 주파수에서 빛을 흡수하고 다른 주파수의 지연된 빛을 방출합니다.

**광화학 (반응):** 빛의 흡수로 인해 발생하는 화학 반응.

**감광성:** 빛에 노출되었을 때 반응하는 물질의 감도.

**QA/QC:** 약어. 품질 관리 또는 품질 보증(Quality Control 또는 Quality Assurance).

**정성(측정):** 시료에 대한 수치가 아닌 정보를 제공하는 측정(예: 용액의 분자 식별).

**정량(측정):** 수치(예: 농도)가 결과로 나오는 측정.

**희토류 산화물:** 홀몸, 디디몸 및 산화사마륨을 파장 유효성 측정을 목적으로 사용하기 위해 표준물질 조직 및 약전에서 참조합니다.

**반사:** 시료 입사각에서 방향을 바꾸는 빛의 경로를 설명합니다.

**산란:** 임의 각도에서 빛이 표면에서 튀어 오르는 효과.

**SOP:** 약어. 표준 작업 절차서(Standard Operating Procedure). 안전하고 반복성 있게 측정을 수행하도록 하기 위해 작성된 문서.

**스펙트럼:** Spectra의 복수. 파장의 길이. 전자기 스펙트럼. 대개의 경우 파장 대강도(또는 분광 광도계로 측정된 흡광도)를 그래픽으로 표현한 것을 의미합니다.

**SST:** 약어. 시스템 적합성 테스트(System Suitability Test). 시스템이 목적에 부합하는지를 확인하기 위한 테스트.

**투과율:** 시료를 투과하는 입사광의 비율.

**Zero:** 저울의 'Tare(용기 중량 제외 측정)' 기능과 동일합니다. 기기 판독 값을 0Abs로 설정합니다.

추가 정보:

[www.agilent.com/chem/cary3500uv-vis](http://www.agilent.com/chem/cary3500uv-vis)

온라인 구매:

[www.agilent.com/chem/store](http://www.agilent.com/chem/store)

Agilent Community에서 기술적 질문에 대한 해답을 얻고 리소스에 액세스하세요.

[community.agilent.com](http://community.agilent.com)

미국 및 캐나다

**1-800-227-9770**

[agilent\\_inquiries@agilent.com](mailto:agilent_inquiries@agilent.com)

유럽

[info\\_agilent@agilent.com](mailto:info_agilent@agilent.com)

아시아 태평양

[inquiry\\_lsca@agilent.com](mailto:inquiry_lsca@agilent.com)

DE-008895

이 정보는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다.

© Agilent Technologies, Inc. 2025  
2025년 8월 19일, 한국에서 발행  
5980-1397KO

한국에질런트테크놀로지스㈜  
대한민국 서울특별시 서초구 강남대로 369,  
DF타워 9층, 06621  
전화: 82-80-004-5090(고객지원센터)  
팩스: 82-2-3452-2451  
이메일: [korea-inquiry\\_lsca@agilent.com](mailto:korea-inquiry_lsca@agilent.com)

