

복합분광분석장치를 사용한 반사분광분석과 흡수분광분석의 비교

黃 薰* · 鄭世熙 · 李京秀[†]

강원대학교 자연과학대학 화학과

[†]강원도 북원여자고등학교

(2000. 11. 29 접수)

Comparison of the Reflectance and the Absorption Spectrometries Using the Combined Spectrometer

Hoon Hwang*, Sehui Jung, and Kyungsoo Lee[†]

Department of Chemistry, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

[†]Bookwon Girls Senior Highschool, Wonju 220-100, Korea

(Received November 29, 2000)

요 약. 흡수분광분석장치와 반사분광분석장치가 결합된 형태의 복합분광분석장치를 제작하여 흡수분광분석과 반사분광분석의 성능을 서로 비교하였다. Cu^{2+} 이온표준용액과 Co^{2+} 이온표준용액들을 사용한 실험 결과에 의하면, 분석대상성분의 농도가 너무 높은 경우나 분석대상성분의 몰흡광계수가 충분히 크지 않은 경우와 같이 기존의 흡수분광분석으로는 정량분석이 힘든 시료용액에 대한 분광분석에 용이하게 적용될 수 있다는 사실을 확인하였다.

ABSTRACT. A combined spectrometer which could function as either the absorption spectrometer or the reflectance spectrometer was built and used for the comparison of the applicabilities of the two types of spectrometers. According to the results the sensitivity of the reflectance spectrometry was found to be useful for the quantitative analysis when the concentration of the analyte was too low or the molar absorptivity of the analyte was too small for one to perform the quantitative analysis using the absorption spectrometry.

서 론

기존의 흡수분광분석장치(absorption spectrometer)들은 물질에 의한 빛의 흡수(absorption)현상에 근거하여 시료 중 분석대상성분에 관한 정량적인 정보를 얻으며, 그 장치의 내부에는 광원(radiation source), 단색화장치(monochromator), 셀실(cell compartment), 그리고 광 검출기(radiation detector)의 순서로 구성성분(component)들이 배열(configuration)되어 있다. 이와는 달리 반사분광분석장치의 경우 광원과 광 검출기가 cell을 중심으로 모두 같은 쪽에 위치하도록 배열되어 있으며, 광원으로부터 시료용액에 주사된 빛 중 시료용액에 의해 반사되어 돌아오는 반사광(reflected light)이 광검출기에 의해 감지된다. 물질의 종류와 양에 따라 반사광

의 세기가 달라짐에 근거하는 반사분광분석은 현재 주로 표면이 균일한 고체시료들(예: 섬유, 플라스틱, 종이, 등)에 대한 분석에 활용되고 있으며,¹ 유동성이 크고 불안정한 표면을 가지는 액체시료들에 대한 분석작업에는 사용되고 있지 않았다. 그러나 최근에 발표된 논문²에 의하면 액체시료에 대한 반사분광분석의 가능성이 제시되었으며,² 그에 따르면 Cu^{2+} 이온표준용액을 사용한 비교실험결과 $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$, 0.10 M 의 농도범위에 서는 반사분광분석이 흡수분광분석에 비해 약 2배정도 더 큰 감도를 보여주고 있다. 그러나 그 논문에서 수행한 흡수분광분석장치와 반사분광분석장치의 성능비교실험의 경우 사용한 분광분석장치들 사이에 현저한 차이점들이 내재하고 있었다. 즉, 반사분광분석장치의 경우 실험실에서 자체 제작한 장치들 사용하였으나, 흡

수분광분석장치는 현재 상업적으로 제작· 판매되고 있는 Spectronic 20을 사용하였다. 이는 두 장치들의 주요한 구성성분들(광원 및 광 검출기)의 종류와 특성이 서로 크게 다르고 발생신호의 측정 및 표시방법에도 현저한 차이가 있었다는 것을 의미한다. 결국 반사분광분석장치와 흡수분광분석장치의 올바른 성능비교를 위해서는 두 가지 장치들을 똑 같은 조건(똑 같은 성능을 가진 광원, 광검출기, 그리고 신호측정 및 표시장치)하에서 제작해야 한다는 지적이 가능한 것이다. 또한, 종전의 비교실험에서는 광원으로 단일한 파장(붉은색)의 빛만을 사용하였으나 보다 흡수분광분석과 반사분광분석의 비교를 위해서는 광원의 다양화를 기해야 할 필요성도 있는 것이다.

실 험

분광분석장치. 이 실험에서는 똑같은 종류의 광원과 광검출기를 채용하여 제작한 흡수분광분석장치와 반사분광분석장치들이 결합된 형태의 복합분광분석장치(combined spectrometer)를 제작하였다(Fig. 1). 복합분광분석장치는 시료용액에 의해 투과되는 빛의 세기와 반사되는 빛의 세기를 동시에 측정할 수 있으며, 따라서 동일한 조건과 환경에서 흡수분광분석과 반사분광분석의 성능을 서로 비교할 수 있게 된다. 분광분석장치의 성능을 정확히 판단하기 위해서는 가능한 많은 종류의 빛들을 광원으로 사용해야 한다. 그러나 가시광선 영역의 빛들은 기본적으로 붉은 색 계열의 빛들(붉은색에서 노란색)과 푸른 색 계열의 빛들(초록색에서 보라색)로 구분할 수 있다. 즉, 각 계열의 빛들을 대표할 수 있는 붉은색과 푸른색 빛을 내는 두 가지 광원들만을 선택적으로 사용하여 얻어지는 결과들에 근거하여 주어진 분광분석장치의 성능을 예측하여도 별 무리가 없을 것이다. 따라서 이 실험에서는 붉은색과 푸

른색의 빛을 방출하는 고광도(high luminescence) 발광 다이오드(light emitting diode, LED)들을 광원으로 사용하였다. 또한, 각 LED로부터 방출되는 빛을 한 방향으로 모아줌과 동시에 좁은 지름을 가진 원형빛살로 변환시켜주기 위해 LED를 파이렉스(pyrex) 유리관(내경: 5.0 mm, 길이: 약 20 cm)의 한쪽 끝 내부로 삽입하여 고정시켰다. 파이렉스 유리관의 마갈부분은 먼저 흰색테이프로 감싸주어 LED로부터 방출된 빛이 부명한 유리관의 내부를 지나는 동안 빛이 외부로 유출되는 것을 방지함과 동시에 유리관 내부에서 발생하는 빛의 반사를 촉진시켰다. 또한, 외부의 빛이 유리관 내부로 진입하는 것을 방지하기 위해 흰색 테이프가 감겨진 유리관의 외부를 다시 한번 검은색 테이프로 감싸주었다. 썰의 앞부분에는 Fig. 1에서 볼 수 있는 것처럼 유리관의 외경보다 다소 큰 내경을 가진 검은색 플라스틱 관을 장착하여 LED를 장착한 유리관들의 삽입과 인출이 가능하도록 만들어 좁으므로 광원들을 쉽게 교환할 수 있게 하였다. 플라스틱 관의 내부로 삽입된 유리관의 끝부분은 썰에서 약 1cm정도의 거리를 두고 위치하게 되며, 썰의 표면에는 지름이 약 8 mm정도인 원형빛살이 직각으로 방사된다. 광검출기로는 광다이오드(photodiode)를 사용하였으며, 흡수분광분석을 위해서는 썰의 반대 쪽 약 1cm정도의 거리에 설치하였다. 이 때 광다이오드는 검은색 관의 내부 끝 부분에 장착되며, 그 관은 전체 구조에 고정된다. 반사분광분석장치용 광검출기로는 앞에서 언급하였던 플라스틱 관의 외부 끝 부분에 같은 종류의 광다이오드를 장착하여 사용하였다. 시료용액을 남는 용기로는 석영(quartz)썰을 사용하여 썰 자체에 의한 반사를 최소화하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 광원, 광검출기, 그리고 썰이 위치하는 부분은 검은 색의 상자 내부에 위치시켜 외부로부터의 빛에 의한 영향을 방지하였다. 광 검출기들에서 발생하는 전기적인 신호(전압)들은 멀티미터(multimeter)로 측정하였다.

용액의 제조. $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (extra pure, Junsei Chemical)와 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (extra pure, Junsei Chemical)를 더 이상의 정제과정 없이 사용하여 농도가 1.00 M인 Co^{2+} 이온과 Cu^{2+} 이온 표준용액들을 제조 한 후, 각 표준용액을 적절히 희석하여 1.00×10^{-1} , 2.00×10^{-1} , 4.00×10^{-1} , 6.00×10^{-1} , 8.00×10^{-1} , 1.00×10^{-2} , 2.00×10^{-2} , 4.00×10^{-2} , 6.00×10^{-2} , 8.00×10^{-2} , 0.100 M

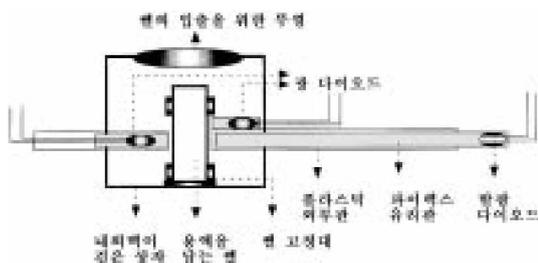


Fig. 1. Schematic diagram of the combined spectrometer.

인 표준용액들을 제조하였다.

결과 및 고찰

푸른색 광원과 Co^{2+} 이온 표준용액을 사용한 비교실험결과, 분홍색을 띠는 Co^{2+} 이온의 표준용액들과 푸른 빛의 광원을 사용하여 얻어진 반사분광분석의 결과가 Table 1에 실려있다. 셀에 검은 색 잉크를 넣어준 후 측정된 반사광의 세기는 4.24 mV이었으며, 이는 셀표면으로부터 반사되어 나오는 빛의 세기이다(총전력은 분에서 언급한 바와 같이 검은 색의 상자 내부표면이나 셀을 고정시키는 검은 색 셀 홀더 cell holder 의 표면으로부터 반사되어 돌아오는 빛의 세기는 무시할 수 있다). 따라서 Co^{2+} 이온 표준용액들과 물을 사용하여 얻은 반사광의 세기로부터 이 값을 빼어주면 보정치가 얻어진다. 이 보정치는 순수하게 Co^{2+} 이온 표준용액의 표면에서 반사되어 돌아오는 빛의 세기이다. 여기서 반사도(reflectance, R)는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{반사도}(R) = \frac{\text{시료용액에 의한 반사광의 세기(보정치)}}{\text{물에 의한 반사광의 세기(보정치)}}$$

반사분광분석에서의 반사도는 흡수분광분석에서의 투과도(transmittance, T)에 상당하는 용어이다. Table 1

을 보면 $1.00 \times 10^{-4} M$ ~ $0.100 M$ 농도영역에서 Co^{2+} 이온 표준용액의 농도가 깊어짐에 따라 용액의 표면으로부터 반사되는 빛의 세기가 감소함을 볼 수 있다. 그러나 투과도(T)가 분석대상성분의 농도에 비례하여 변하지 않는 것처럼 반사도 역시 농도에 정비례하여 변하지 않음을 알 수 있다. 흡수분광분석에서는 분석대상성분의 농도변화에 따라 직선적으로 변하는 성질로써 $\Lambda \sim \log I$ 로 정의되는 흡광도(absorbance, Λ)를 사용한다. 즉, 시료용액에 의한 흡광도와 분석대상성분의 농도사이에는 직선적인 관계가 성립하는 것이다(Beer의 법칙). 반사분광분석에서는 시료용액에 방사된 빛들 중 용액을 투과하여 지나간 빛은 제외하고 용액의 표면에서 반사되어 돌아오는 빛의 세기를 나눈다. 용액을 투과하여 지나가는 빛을 제외한 나머지 빛 중 일부는 용액의 표면에 존재하는 분석대상성분에 의해 흡수된다. 만일 용액의 표면에서 발생하는 빛의 흡수현상이 Beer의 법칙을 따른다면, 용액의 표면에서 반사되어 돌아오는 빛의 세기 역시 용액의 농도와 정비례관계를 나타낼 것이다. 다만, 분석대상성분의 농도에 따라 정비례하여 증가하는 흡광도와는 달리 반사분광분석에서는 분석대상성분의 농도변화에 따라 정비례하며 감소하는 현상이 관측되어야 하는 것이다. 따라서 반사분광분석의 경우에도 흡광도에 상당하는 새로운 성질을 정

Table 1. The reflectance(R) and the degree of reflection(r) of the Co^{2+} standard solutions

$[Co^{2+}]$, M	Magnitude of the reflected light (before correction), mV	Magnitude of the reflected light (after correction), mV	Reflectance (R)	Degree of reflectance ($r=1 \cdot \log R$)
0(water)	35.53	31.29	1.0000	1
$1.00 \cdot 10^{-4}$	35.48	31.24	0.9984	0.9993
$2.00 \cdot 10^{-4}$	35.40	31.16	0.9958	0.9982
$4.00 \cdot 10^{-4}$	35.38	31.14	0.9952	0.9979
$6.00 \cdot 10^{-4}$	35.25	31.01	0.9911	0.9961
$8.00 \cdot 10^{-4}$	35.16	30.92	0.9882	0.9948
$1.00 \cdot 10^{-3}$	35.04	30.80	0.9843	0.9931
$2.00 \cdot 10^{-3}$	34.64	30.40	0.9716	0.9875
$4.00 \cdot 10^{-3}$	33.86	29.62	0.9466	0.9762
$6.00 \cdot 10^{-3}$	32.95	28.71	0.9175	0.9626
$8.00 \cdot 10^{-3}$	32.20	27.96	0.8936	0.9511
$1.00 \cdot 10^{-2}$	31.54	27.30	0.8725	0.9408
$2.00 \cdot 10^{-2}$	28.40	24.16	0.7721	0.8877
$4.00 \cdot 10^{-2}$	23.26	19.02	0.6079	0.7838
$6.00 \cdot 10^{-2}$	19.60	15.36	0.4909	0.6910
$8.00 \cdot 10^{-2}$	16.68	12.44	0.3976	0.5994
0.100	14.52	10.28	0.3285	0.5166
black ink	4.24			

의해야 할 필요가 있고, 이 논문에서는 다음과 같이 정의할 수 있는 새로운 용어를 도입하고자 한다.

반광도(degree of reflection) - $r = 1 - \log R$

Fig. 2에서 나타난 반광도 vs. $[Co^{2+}]$ 의 plot을 보면, Co^{2+} 이온 표준용액의 농도가 증가함에 따라 반광도는 거의 직선형태로 감소하게 됨을 볼 수 있다. 다만 Co^{2+} 이온 표준용액의 농도와 반광도가 직선형태에서 약간 벗어나는 현상은 수용액 중에서 Co^{2+} 이온이 Co^{3+} 이온으로 산화될 수 있다는 사실에 기인하는 것으로 추정할 수 있다.

Table 2는 흡수분광분석장치를 사용하여 얻은 결과를 보여주고 있다. 반사분광분석에서와 마찬가지로 셀에 잉크를 넣고 측정된 투과광의 세기는 0 mV이었다. 여기서 부과도(T)와 흡광도(A)는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{부과도}(T) = \frac{\text{시료용액에 의한 투과광의 세기}}{\text{물에 의한 투과광의 세기}}$$

$$\text{흡광도}(A) = -\log T$$

Table 2을 보면, 반사분광분석장치를 사용했을 때와는 달리 Co^{2+} 이온 표준용액의 농도가 $1.00 \times 10^{-3} M$ 이 될 때까지 용액의 농도증가에 따라 흡수되는 빛의 양에 아무런 변화가 없음을 볼 수 있다. 이는 흡수분광

Table 2. The transmittance and absorbance of the Co^{2+} standard solutions

$[Co^{2+}]$, M	The intensity of the transmitted light, V	Transmittance (T)	Absorbance (A)
0(water)	0.4253	1.0000	0
1.00×10^{-4}	0.4253	1.0000	0
2.00×10^{-4}	0.4253	1.0000	0
4.00×10^{-4}	0.4253	1.0000	0
6.00×10^{-4}	0.4253	1.0000	0
8.00×10^{-4}	0.4253	1.0000	0
1.00×10^{-3}	0.4253	1.0000	0
2.00×10^{-3}	0.4251	0.9995	2.172×10^{-4}
4.00×10^{-3}	0.4247	0.9986	6.084×10^{-4}
6.00×10^{-3}	0.4241	0.9972	1.218×10^{-3}
8.00×10^{-3}	0.4236	0.9960	1.741×10^{-3}
1.00×10^{-2}	0.4229	0.9944	2.439×10^{-3}
2.00×10^{-2}	0.4198	0.9871	5.639×10^{-3}
4.00×10^{-2}	0.4132	0.9715	0.01256
6.00×10^{-2}	0.4059	0.9544	0.02027
8.00×10^{-2}	0.3968	0.9330	0.03012
0.100	0.3875	0.9111	0.04043

분석에서 분석대상성분의 농도가 아주 높은 경우 발생할 수 있는 일반적인 현상이다. 흡수분광분석에서는 우선 시료용액에 의한 빛의 부과도를 측정할 후 그에 근거하여 흡광도를 구한다. 즉, 앞에서 이미 정의한 바와 같이 시료용액을 부과하는 빛의 세기(x 라고 하자)를 순수한 물을 투과하는 빛의 세기(Table 1에서 보면 425.3 mV)로 나누어 부과도를 구한다면, 광검출기에 도달하는 빛의 세기가 425.3 mV인 상황에서 그 보다 작은 값(x)이 나타내는 비율($x/425.3$)을 구하게 된다. 그런데 농도가 아주 높거나 분석대상성분의 불투광계수가 아주 작은 경우에는 시료용액의 미세한 농도변화에 따라 발생하는 투과광의 세기변화(Δx) 역시 미세하게 된다. 결국 투과하는 빛의 세기변화를 상대적으로 표현한다면 $\Delta x/425.3$ 로 나타낼 수 있으며, 그 값은 일반적인 성능의 광검출기로서는 감지할 수 없는 정도로 작아진다. 반사분광분석의 경우 불에 의해 반사되는 빛의 세기를 기준으로 각 용액에 의한 반사도를 구하며, 물에 의해 반사되는 빛의 세기는 흡수분광분석에서 물을 투과하여 광검출기에 도달하는 빛의 세기에 비해 상대적으로 아주 작은 값이다. 즉, 흡수분광분석에 비해 상대적으로 아주 작은 빛의 세기를 기준(Table 1을 보면 31.29 mV)으로 하여 각 용액에 의해 반사되어 돌아오는 빛의 세기(y)를 상대적으로 표현($y/31.29$)하는 반사분광분석의 경우에는 시료용액의 미세한 농도변화에 의해 발생하는 반사광세기의 작은 변화($\Delta y/31.29$)도 감지할 수 있게 된다. 따라서 반사분광분석의 경우 흡수분광분석에 비해 감도(sensitivity)가 높아 시료용액의 농도가 너무 높거나 분석대상성분의 불투광계수가 너무 작아 기존의 흡수분광분석에 의해 정량이 어려운 분광분석에도 성공적으로 활용될 수 있는 것이다. 물론 시료용액의 농도가 충분히 진해지거나 분석대상물질의 불투광계수가 비교적 큰 경우에는 반사분광분석의 이러한 장점은 사라지게 된다. 종전의 논문에서 제시된 결과를 보면 시료용액의 농도가 증가함에 따라 흡광도는 지속적으로 증가하는 반면, 반사도의 변화는 더 이상 변하지 않게 되는 지점에 도달하는 현상이 관측되었다. 시료용액의 농도가 증가하면서 반사분광분석의 감도가 감소하는 현상은 쉽게 예측할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 반사분광분석에서 반사도를 구하기 위해 사용하는 기본 값은 31.29 mV이고 흡수분광분석에서 부과도를 구하기 위해 사용하는 기본값은 425.3 mV이다. 두 경우 모두 시료용액의 농도 증가에 따라

용액에 의해 발생하는 신호(x 또는 y)들이 기본 값들
 보 접근(반사분광분석: $x \rightarrow 31.29$, 흡수분광분석: $y \rightarrow$

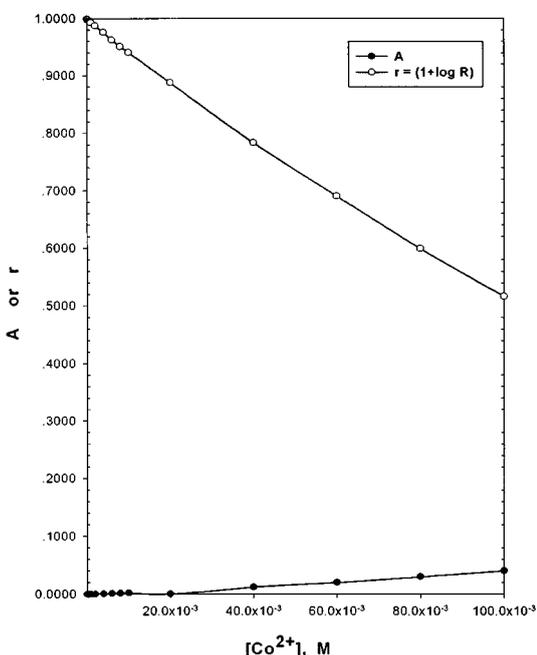


Fig. 2. Plots of absorbance(A) or degree of reflection(r) vs. $[Cu^{2+}]$.

425.3)게 되며, 반사분광분석의 경우 흡수분광분석에 비해 더 빠르게 포화상태에 도달하는 것이다. Fig. 2 에는 반사분광분석의 결과(반사도 vs. $[Co^{2+}]$)와 더불어 흡수분광분석의 결과(A vs. $[Co^{2+}]$)도 표현되어 있으며, Co^{2+} 이온 표준용액의 농도변화에 따른 반광도의 변화 폭이 흡광도의 변화 폭에 비해 훨씬 더 큼을 볼 수 있다.

붉은색 광원과 Cu^{2+} 이온 표준용액을 사용한 비교실험결과. 푸른색을 띠는 Cu^{2+} 이온 표준용액들과 붉은색 광원을 사용한 경우에 얻어진 반사분광분석의 결과가 Table 3에 실려있다. 셀에 검은 색 잉크를 넣어준 후 측정된 반사광의 세기는 9.0 mV이었다. Cu^{2+} 이온 표준용액들과 붉은색 광원을 사용한 반사분광분석의 결과도 역시 $1.00 \times 10^{-4} M$ - 0.100 M 농도영역에서 Cu^{2+} 이온 표준용액의 농도가 진해짐에 따라 용액의 표면으로부터 반사되는 빛의 세기가 감소함을 보여주며, Fig. 3을 보면 Cu^{2+} 이온 표준용액의 농도에 따라 반광도가 직접적으로 감소함을 보여준다(앞의 Co^{2+} 이온 수용액과는 달리 Cu^{2+} 이온은 산화되지 않고 그대로 존재하므로 직선을 나타낸다). Table 4는 흡수분광분석의 결과를 보여주며, 이 경우에도 셀에 잉크를 넣고 측정된 부과광의 세기는 0 mV이었다. Co^{2+} 이온 표준용액을 사용한 실험결과와 마찬가지로 Cu^{2+} 이온 표준용액의

Table 3. The reflectance(R) and the degree of reflection(r) of the Cu^{2+} standard solutions

$[Co^{2+}]$, M	The intensity of the reflected light (before correction), mV	The intensity of the reflected light (after correction), mV	Reflectance (R)	Degree of reflection ($r=1-\log R$)
0(water)	169.45	160.45	1.0000	1.0000
1.00×10^{-4}	169.26	160.26	0.9988	0.9995
2.00×10^{-4}	169.00	160.00	0.9972	0.9988
4.00×10^{-4}	168.37	159.37	0.9933	0.9971
6.00×10^{-4}	167.48	158.48	0.9877	0.9946
8.00×10^{-4}	166.75	157.75	0.9832	0.9926
1.00×10^{-3}	165.99	156.99	0.9784	0.9905
2.00×10^{-3}	163.66	154.66	0.9639	0.9840
4.00×10^{-3}	158.12	149.12	0.9294	0.9682
6.00×10^{-3}	152.97	143.97	0.8973	0.9529
8.00×10^{-3}	148.24	139.24	0.8678	0.9384
1.00×10^{-2}	143.30	134.30	0.8370	0.9227
2.00×10^{-2}	122.32	113.32	0.7063	0.8490
4.00×10^{-2}	89.12	80.12	0.4993	0.6984
6.00×10^{-2}	65.82	56.82	0.3541	0.5492
8.00×10^{-2}	49.12	40.12	0.2500	0.3980
0.100	37.72	28.72	0.1790	0.2528
black ink	9.00			

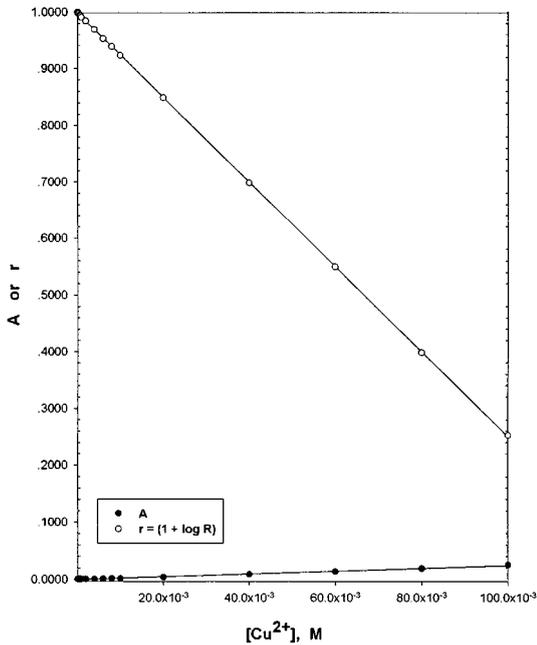


Fig. 3. Plots of absorbance(A) or degree of reflection(r) vs. $[Cu^{2+}]$.

농도가 $1.00 \times 10^{-3} M$ 에 이를 때까지는 용액의 농도증가에 따라 흡수되는 빛의 양에 거의 변화가 없음을 알 수 있다. Fig. 3은 '반광도 vs. $[Cu^{2+}]$ '의 plot과 함께 '흡광도 vs. $[Cu^{2+}]$ '의 plot을 보여주고 있으며, Co^{2+} 이온 표준용액의 경우와 비슷하게 Cu^{2+} 이온의 농도변화에 따른 반광도의 변화 폭이 흡광도의 변화 폭에 비해 훨씬 더 큼을 볼 수 있다.

결 론

이 연구에서 제작한 복합분광분석장치를 사용하여 수행한 흡수분광분석장치와 반사분광분석장치의 성능비교의 결과는 다음과 같다. 우선, 반사분광분석은 액체 상태의 시료에 대한 분광분석에 활용될 수 있음을 다시 한번 알 수 있었으며, 반사분광분석의 경우 흡수분광분석에서 사용되는 흡광도에 상당하는 용어보써 반광도를 새롭게 정의하여 사용하였다. 즉, 반사분광분석에서는 반광도가 용액의 농도증가에 비례하여 직선적으로 감소한다. 둘째로, 붉은색과 푸른색을 나타내는 광원들을 사용한 이번의 실험에서 의미 있는 결과들을 얻었다는 사실에 근거하여 반사분광분석이 가시광선 영역의 모든 빛들에 적용될 수 있음이 밝혀졌다. 셋째,

Table 4. The transmittance and the absorbance of the Cu^{2+} standard solutions

$[Co^{2+}]$, M	The magnitude of the transmitted light, volt	Transmittance (T)	Absorbance (A)
0(water)	0.4715	1.0000	0
$1.00 \cdot 10^{-4}$	0.4714	0.9998	$8.687 \cdot 10^{-5}$
$2.00 \cdot 10^{-4}$	0.4714	0.9998	$8.687 \cdot 10^{-5}$
$4.00 \cdot 10^{-4}$	0.4713	0.9996	$1.738 \cdot 10^{-4}$
$6.00 \cdot 10^{-4}$	0.4713	0.9996	$1.738 \cdot 10^{-4}$
$8.00 \cdot 10^{-4}$	0.4713	0.9996	$1.738 \cdot 10^{-4}$
$1.00 \cdot 10^{-3}$	0.4713	0.9996	$1.738 \cdot 10^{-4}$
$2.00 \cdot 10^{-3}$	0.4712	0.9994	$2.607 \cdot 10^{-4}$
$4.00 \cdot 10^{-3}$	0.4709	0.9987	$5.650 \cdot 10^{-4}$
$6.00 \cdot 10^{-3}$	0.4706	0.9981	$8.259 \cdot 10^{-4}$
$8.00 \cdot 10^{-3}$	0.4702	0.9972	$1.218 \cdot 10^{-3}$
$1.00 \cdot 10^{-2}$	0.4699	0.9966	$1.479 \cdot 10^{-3}$
$2.00 \cdot 10^{-2}$	0.4676	0.9917	$3.620 \cdot 10^{-3}$
$4.00 \cdot 10^{-2}$	0.4625	0.9809	$8.375 \cdot 10^{-3}$
$6.00 \cdot 10^{-2}$	0.4574	0.9701	0.01318
$8.00 \cdot 10^{-2}$	0.4518	0.9582	0.01854
0.100	0.4462	0.9463	0.02397
black ink	0		

반사분광분석장치는 시료용액의 농도가 너무 낮거나 분석대상성분의 불흡광계수가 아주 작아 기존의 흡수분광분석장치로는 정량이 힘든 시료용액에 대한 분광분석에 용이하게 적용될 수 있다는 사실을 확인하였다. 그러나 시료용액의 농도가 충분히 진해지거나 상대적으로 큰 불흡광계수를 가지는 분석대상성분의 경우에는 반사분광분석의 감도가 흡수분광분석의 감도에 비해 더 낮아질 수도 있다. 그러나 액체시료에 대한 반사분광분석에 관한 보다 다양한 연구가 요구된다. 액체에 의한 반사의 경우 액체의 표면에 존재하는 얇은 층에서 흡수와 반사를 일으키는 것으로 알려져 있다. 따라서 반사분광분석의 경우 흡수분광분석과는 달리 아주 적은 양의 시료만을 필요로 하게 된다는 장점을 가지게 되는 것이다. 반사현상의 이러한 장점에 근거하여 차후의 연구과제는 반사분광분석에 사용하는 시료용액의 최소화를 위한 방안 등을 다루고자 한다.

인 용 문 헌

1. I. Surles, T. Erickson, J. O. Priesner, D. *Amer. Lab.* **1975**, 7, 55.
2. 황 훈, 정동승, *J. Korean Chem. Soc.* **2000**, 44(4), 316.