

# 수질환경에서 광섬유 센서의 구리 이온 감지 물질로서 8-Hydroxyquinoline 합성유도체의 광학적 반응 특성 연구

김범규, 박병기\*  
순천대학교 에너지환경공학과

## Study on Optical Characteristics of 8-Hydroxyquinoline Synthesized Derivative as Sensing Material of the Fiber-Optic Copper Ion Sensor in Aqueous Environment

Beom Kyu Kim, Byung Gi Park\*

Department of Energy & Environmental Engineering, Soonchunhyang University

**요 약** 수질환경에서 구리이온을 검출하기 위하여 광섬유 센서의 구리 이온 감지 물질로 8-Hydroxyquinolin-2-carboxaldehyde와 4-Aminoantipyrine으로 합성된 8-Hydroxyquinoline 합성유도체에 대해 광학적 반응 특성을 조사하였다. 실험은 광섬유를 이용한 측정시스템을 이용하여 수용액에 용해된 구리 이온의 농도에 대해 합성유도체에 의한 흡광도와 관계를 평가하기 위하여 수행되었다. 8-Hydroxyquinoline 합성유도체는 수질 환경에서 다양한 금속 이온들 중에서 구리 이온에 대해 노란색에서 붉은색으로 변화되는 높은 발색 현상을 나타냈으며 530 nm의 고유 흡광 파장을 보였다. 제작된 합성유도체의 Cu 이온에 대한 선택성을 평가하기 위하여 Hg 이온의 영향을 조사하였다. Cu와 Hg 이온의 다양한 농도 비 (Cu:Hg ratio 0.05부터 20까지)에서 흡광도를 측정 한 결과, Cu 이온의 농도 증가에 따라 530nm에서 흡광도가 증가하는 경향을 보였다. 구리 이온의 고유 흡광 파장인 530 nm에서 합성 유도체에 의한 흡광도 세기는 구리 이온의 로그 농도에 선형으로 비례하였다. 따라서 8-Hydroxyquinoline합성유도체는 광섬유 센서의 구리 이온 감지 물질로 우수한 특성을 보임을 실험적으로 확인할 수 있었다.

**Abstract** An 8-hydroxyquinoline compound that was synthesized with 8-hydroxyquinoline-2-carboxaldehyde and 4-aminoantipyrine was investigated for use as the sensing material of a fiber-optic copper ion sensor in an aqueous environment. The experiment was conducted with a fiber-optic measurement system, in order to evaluate the relationship between the absorbance peak and copper ion concentration. The synthesized derivative exhibited a (highly selective) chromogenic phenomenon for copper ions among various metal ions in an aqueous environment and showed a specific absorbance peak at a wavelength of 530 nm for copper ions. The effect of mercury ions was investigated to evaluate the selectivity of the prepared synthesized derivatives toward Cu ions. The absorbance was measured at various concentration ratios of Cu and Hg ions (Cu:Hg ratios from 0.05 to 20), and it was found that the absorbance at 530 nm tended to increase with increasing Cu ion concentration. The experimental results also showed the linear relationship between the logarithmic concentration of copper ions and the specific absorbance peak at a wavelength of 530 nm. These results indicate that the synthesized 8-hydroxyquinoline compound has selectivity for copper ions and can be used as a sensing material for fiber-optic copper ion sensors.

**Keywords** : Aqueous environment, Copper ion, Sensing material, fiber-optic sensor, 8-Hydroxyquinoline

\*Corresponding Author : Byung Gi Park(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-41-530-1659 email: byunggi@sch.ac.kr

Received October 23, 2017

Revised(1st November 20, 2017, 2nd November 24, 2017)

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

## 1. 서론

수질환경에서 대부분의 중금속은 이온 형태로 존재하여 여러 과정을 통해 인체로 흡입된다. 중금속이 장기간 동안 인체에 축적되면 만성질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. 특히 이온화 상태의 구리( $\text{Cu}^{2+}$ )는 신경퇴행성 질환을 일으키는 중금속으로 철저한 관리가 필요하다 [1]. 수질환경에서 중금속 오염의 심각성을 인지하고 피해를 예방하기 위해 중금속 이온을 검출하는 다양한 분석방법이 활용되고 있다. 수질 환경에서 구리 이온의 검출은 전통적으로 시료를 채취하여 실험실 분석 장비를 이용하는 방법과 이온선택성 전극을 이용하는 방법이 있다 [2]. 실험실 분석 장비를 이용하는 방법들은 장비가 고가이며 전처리 시간이 길다는 단점이 있으며 이온선택성 전극을 이용하는 전기화학적 방법은 기준전극의 안정성, 이온선택성 전극의 교정 등 측정에 상당한 주의를 필요로 한다. 이에 반하여 수질환경에서 금속 이온과 결합하는 착물에 의한 광 신호의 변화를 나타내는 특성을 이용하는 광섬유 센서는 높은 감응성과 편리성 측면에서 매우 유용하다고 알려져 있다. [3,4] 특히 광 신호의 변화를 이용하는 광섬유 센서는 전자기적 센서와 달리 전자기파의 영향을 받지 않으며, 유연하고 부식저항성 및 내구성이 좋아 pH 검출 [5] 및 다양한 금속 이온의 탐지 [6]를 위해 개발되었다.

광섬유 센서는 감지하고자 하는 금속 이온과 화학반응하여 광학적 특성이 바뀌는 감지 물질을 이용한다. 감지 물질은 졸-겔법 등으로 박막에 고정시켜 광섬유의 한쪽에 부착하여 광 신호의 변화를 탐지한다. 광섬유 센서는 광섬유의 반대쪽에 광 신호 검출기를 설치하여 광 신호 변화를 측정하고 디지털 신호로 변환시켜 측정 대상의 물리량을 검출하는 방법을 주로 사용한다. 따라서 광섬유 센서에서 중금속 이온을 선택적으로 감지하려면, 중금속 이온의 농도에 따라 광 특성이 바뀌는 적절한 화합물을 감지 물질로 선정하는 것이 중요하다.

수질 환경에서 8-Hydroxyquinoline은 금속 이온과 발색반응 특성을 가지고 있어 감지 물질로 광범위하게 사용되고 있다. 8-Hydroxyquinoline계 합성유도체는 다양한 방법으로 합성되며 합성 방법에 따라 금속 이온과 결합하여 보이는 광학적 특성이 다르다. Pyrrole과 합성된 8-Hydroxyquinoline 화합물 [7]은 구리 이온에 대한 형광 특성을 이용하는 센서의 감지물질로 연구되었다. 이 합

성유도체는 대부분의 금속 이온에 대해 민감도를 나타내지 않지만 구리와 수은 이온에 반응하여 형광을 보이며 수은 이온 보다 구리 이온에 대해 민감도가 더 높다고 보고되었다. 금속이온의 감지 물질로 Benzoic acid로 합성된 Azo 8-Hydroxyquinoline benzoate 합성유도체 [8]는 수은 이온에 대해 강한 발색 현상을 보이며 구리 이온에 대해서도 발색 현상이 나타나는 것으로 보고되었다. 4-Aminoantipyrine과 합성된 8-Hydroxyquinoline 화합물 [9]은 형광 현상에 비해 흡광이 두드러지게 나타나는 것으로 보고되어 있다.

광섬유 센서에서 가시광선 과장 영역에서 흡광 원리를 이용할 때 측정시스템을 단순하게 구성할 수 있으므로 감지 물질로 4-Aminoantipyrine과 합성된 8-Hydroxyquinoline을 선정하였다. 광섬유 센서의 감지부를 제작하기 위하여 감지 물질을 박막에 고정시키는 연구를 수행하기 전에 합성된 감지 물질에 대해 구리 이온에 대한 광학적 반응 특성을 연구하였다. 8-Hydroxyquinoline은 수용액에서 구리 외에도 수은 등의 다른 금속에 대해서도 반응하는 특성을 가지고 있으므로 구리의 선택적 검출에 대한 다른 금속의 영향을 조사할 필요가 있다. 따라서 여러 가지 중금속 중에서 8-Hydroxyquinoline의 수은 반응으로 나타나는 형광 특성을 활용하는 연구가 대부분이므로 구리와 수은의 선택성에 대한 연구를 수행하여 구리의 선택적 검출을 위한 방안을 고찰하였다. 이 연구에서는 8-Hydroxyquinoline 유도체 합성, 암실 환경에서 광섬유를 이용하여 UV-Vis 스펙트럼을 이용하는 분광학적 측정 시스템 구축, 금속 이온이 용해된 수용액에서 스펙트럼 측정 및 분석으로 구성하였다.

## 2. 실험방법

수용액에 용해된  $\text{Cu}^{2+}$ 를 감지하는 물질로서 선정된 8-Hydroxyquinoline 화합물 유도체(이하 합성유도체)를 합성하였다. 합성유도체를 제작에 사용된 모든 시약 및 용액은 Sigma Aldrich사에서 구매하여 별도의 정제 없이 사용하였다. 유도체의 합성 방법은 상온에서 에탄올 20 ml에 물비가 1:1이 되도록 8-Hydroxyquinoline-2-carboxaldehyde 170mg (1mmol)과 4-Aminoantipyrine 200 mg (1mmol)을 첨가하여 1시간 동안 반응시킨다. 이후 진공여과기로 통과시키면서 에탄올로 세척하여 여

과지에 걸리진 침전물을 공기 중에서 건조시켜 합성유도체 분말을 얻는다.

수용액에서 합성유도체의 금속 이온에 대한 광학적 반응 특성을 조사하기 위한 광섬유 기반 분광학적 측정 시스템을 구성하였다. 측정 시스템은 광원, 광섬유, 광검출기, 컴퓨터로 구성되며 Fig. 1 에 나타났다. 광섬유는 유연성이 있는 플라스틱 광섬유(GH 4001, Mitsubishi Rayon)를 사용하였으며 광원(DH-2000-BAL, Ocean Optics)은 안정적인 출력을 가지는 할로겐 백색광을 이용하였다. 수용액의 흡광도를 정확하고 효과적으로 측정하기 위해 광원과 스펙트로미터 사이에 수용액을 담은 셀의 고정 장치(CUV-UV Cuvette Holder, Ocean Optics)를 활용하였다. UV-Vis 스펙트럼을 측정하는 스펙트로미터(QE65000, Ocean Optics)는 400 nm ~ 850 nm의 측정 파장 범위를 가진다.

주변 광원의 영향을 배제하기 위하여 셀 고정 장치를 둘러싸는 암실 환경을 구축하였다. 모든 실험은 상온에서 수행하고, 수용액에서 중금속 이온들의 농도는 분석기기의 표준 용액인 SAMCHUN 사의 1000 ppm 표준 용액을 구매하여 별도의 정제 없이 분취하여 사용하였다.

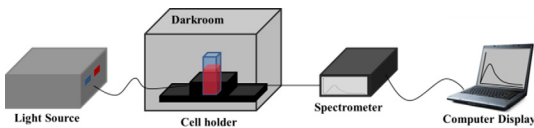


Fig. 1. Schematics of experimental setup

### 3. 결론 및 고찰

합성 유도체의  $Cu^{2+}$ 에 대한 선택적 반응 특성을 조사하기 위하여 다양한 금속 이온을 가진 수용액에서 합성유도체의 흡광 특성 변화를 관찰하였다. 실험에서  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Bi^{2+}$ 의 금속 이온에 대해 합성유도체와 광학적 반응 특성을 조사하였다. 각각의 금속 이온에 대해 1000 ppm의 표준 용액을 분취해 초순수에 용해시켜 농도가  $2.5 \times 10^{-4}$  M이 되는 수용액을 제조하여 사용하였다. 제조된 용액에 합성유도체를의 농도가  $4.824 \times 10^{-4}$  M이 첨가하여 완전히 혼합하고 셀 고정 장치에 장착하여 흡수 스펙트럼을 측정하였다.  $Cu^{2+}$ 가 존재하는 수용액에 합성유도체를 첨가하여 혼합

시키면 다른 금속 이온과 달리 수용액은 노란색에서 적색으로 색상이 바뀌는 현상이 육안으로 관찰된다.

Fig. 2는 각각의 금속 이온에 대해 측정된 흡수 스펙트럼을 나타낸다.  $Cu^{2+}$  수용액은 파장이 530 nm인 영역에서 가장 큰 흡광도를 보였다.  $Cu^{2+}$ 를 제외한 다른 금속 이온들은 붉은색으로 발색이 되지 않았으며 더 낮은 파장 영역에서 최대 흡광도를 보였다. 구리 이온을 제외하고 흡광도가 가장 큰 값을 가지는  $Hg^{2+}$ 의 경우에도  $Cu^{2+}$ 에 비해 약 1/3 정도의 흡광도를 나타낸다.  $K^+$ 과  $Li^+$ 은 합성유도체와 거의 반응하지 않아 흡광도가 거의 변화하지 않았다. 따라서 합성유도체에 대해  $Cu^{2+}$ 는 530 nm 파장에서 고유 흡광 특성을 가지며 다른 금속 이온들에 비해 합성유도체와 반응하여 상대적으로 큰 흡광도를 가짐을 확인할 수 있다.

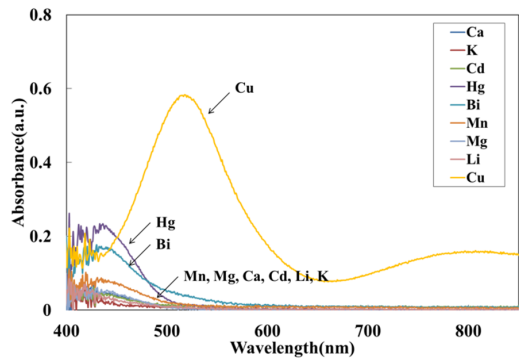


Fig. 2. Absorbance spectra of metal ions in aqueous environment. Metal ions are Ca, K, Cd, Hg, Bi, Mn, Mg, Li, and Cu. Concentration of each metal ion is  $2.5 \times 10^{-4}$  M, respectively and concentration of synthesized 8-hydroxyquinoline compound is  $4.824 \times 10^{-4}$  M.

합성유도체와  $Cu^{2+}$  이온의 반응에 대한 다른 금속 이온의 영향을 조사하기 위하여, 합성유도체와 반응시킨 각각의 금속 이온( $Hg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Bi^{2+}$ )이 존재하는 수용액에  $Cu^{2+}$ 의 농도가 같아지도록 적정하여 광특성 변화를 분석하였다. 앞의 실험과 동일한 조건을 유지하기 위하여 합성 유도체의 농도는  $4.824 \times 10^{-4}$  M으로 유지하였다. Fig. 3은  $Cu^{2+}$  이온 외에 다른 금속이 공존하는 용액에 대하여 400-850 nm 파장 범위에서 흡광도 변화를 측정된 흡광 스펙트럼을 보여준다. 전반적인 흡수 스펙트럼 경향은 다른 금속 이온이 존재하더라도  $Cu^{2+}$ 에 의한 고유 흡수 스펙트럼을 보이지

만 흡광도의 세기에서 변화가 나타난다.  $K^+$ 과  $Li^+$ 이  $Cu^{2+}$ 와 공존할 때 530 nm 파장에서 흡광도 변화는  $Cu^{2+}$ 만 존재하는 경우에 비해 상대적으로 작았지만 다른 금속 이온들은 흡광도가 점점 더 작아지도록 하였다. 구리 이온의 흡광도 변화에 가장 큰 영향을 주는 금속 이온은 수은 이온이다. 구리 이온의 흡광도에 대한 다른 금속 이온의 영향을 파악하기 위하여 Fig. 3에서 530 nm 파장에서 흡광도를 선택하여 Fig. 4에 표시하였다.

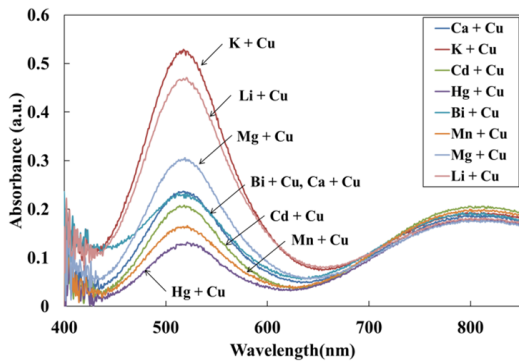


Fig. 3. Absorbance spectra in aqueous solution with  $Cu^{2+}$  ion and other metal ion. Concentration of each metal ion is  $2.5 \times 10^{-4}$  M and concentration of the synthesized 8-hydroxyquinoline compound is  $4.824 \times 10^{-4}$  M.

Fig. 4는 실험에 사용한 금속 이온들이 구리 이온의 고유 흡수 파장인 530 nm에서 흡광도에 미치는 영향을 나타낸다. Fig. 4에 나타난 바와 같은  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Bi^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ 의 순서로 구리 흡광도에 미치는 영향은 증가하였다. 이러한 경향은 8-Hydroxyquinoline 합성유도체에 대한 전이 금속의 결합 안전성을 나타내는 Irving-Williams Series[10]와 일치한다. 합성유도체가 구리 이온을 선택적으로 측정하는 광섬유 센서의 감지 물질로 활용되기 위하여 구리 이온 다음으로 결합 안전성이 높은 수은 이온의 영향을 고려하여 합성 유도체의 구리 이온에 대한 선택성을 평가하였다. 실험은  $Cu^{2+}$ 와  $Hg^{2+}$ 의 몰비를 변화시키며 흡수 스펙트럼을 측정하여 합성 유도체의 구리 이온에 대한 선택성을 평가하였다.

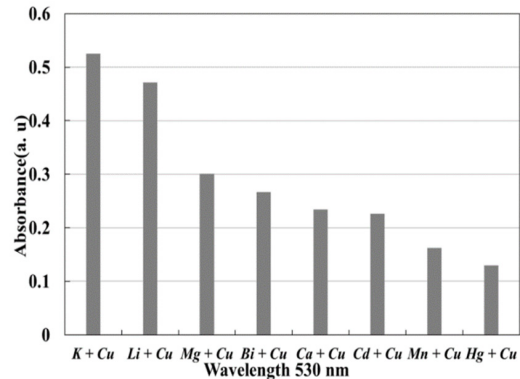


Fig. 4. Absorbance at wavelength of 530nm in aqueous solution co-existing  $Cu^{2+}$  ion and other metal ion. Concentration of each metal ion is  $2.5 \times 10^{-4}$  M and concentration of the synthesized 8-hydroxyquinoline compound is  $4.824 \times 10^{-4}$  M.

Fig. 5는  $Cu^{2+}$ 와  $Hg^{2+}$ 의 몰비에 따라 흡수 스펙트럼을 측정한 결과를 나타낸다. 실험에 사용된 합성유도체의 농도는  $4.824 \times 10^{-4}$  M이며  $Hg^{2+}$ 의 농도는 5 ppm으로 고정하였다.  $Cu^{2+}$ 의 농도는 수은 이온과 구리 이온의 몰비가 0.05에서 20의 비율이 되도록  $Hg^{2+}$ 의 수용액에  $Cu^{2+}$ 를 적정하였다. 구리 이온이 0 ppm인 경우에 최대 흡광도는 430 nm의 파장에서 관찰된다. 수은 이온의 농도가 구리 이온의 농도에 비해 높은 경우 530 nm 파장에서 흡광도가 관찰되지 않았다. 구리 이온의 농도가 점점 증가함에 따라 430 nm 파장에서의 흡광도는 점차 감소하고 구리 이온의 특성 파장인 530 nm에서 흡광도는 점차 증가하였다. 합성유도체는 수은 이온과 먼저 반응하여 착물을 형성한 상태에서 구리 이온의 농도를 점차 증가해 주면 합성유도체와 결합되어 있던 수은 이온이 구리 이온으로 치환되어 점차 붉은색으로 발색하여 530 nm에서 흡광도가 증가하는 것으로 보인다.

실험 결과는 수용액에서 구리 이온과 다른 금속 특히 수은 이온이 공존하는 경우에 구리 이온의 농도가 다른 금속에 비해 높지 않으면 구리 이온을 검출하는 것이 어렵다는 것을 나타낸다. 그러나 구리 이온이 주성분이 되는 경우 고유의 특성 파장이 확인되므로 광섬유 센서의 감지 물질로서 활용이 가능할 것이다.

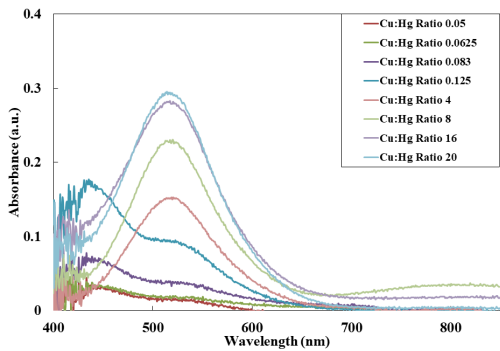


Fig. 5. Absorbance spectra as a function of concentration of  $Hg^{2+}$  in aqueous solution with  $Cu^{2+}$  ion. Concentration of  $Cu^{2+}$  ions are fixed at  $2.5 \times 10^{-4}$  M and concentration of the synthesized 8-hydroxyquinoline compound is  $4.824 \times 10^{-4}$  M.

수용액에서  $Cu^{2+}$  농도와 530 nm 파장에서 흡광도의 상관관계를 도출하기 위하여  $Cu^{2+}$ 의 농도를 변화시키며 흡수 스펙트럼을 측정하였다. Fig. 6은 합성유도체의 농도를  $4.824 \times 10^{-4}$  M으로 고정한 조건에서  $Cu^{2+}$ 의 농도를 0 ppm에서 200 ppm까지 증가시킬 때 변화하는 흡수 스펙트럼을 나타낸다.

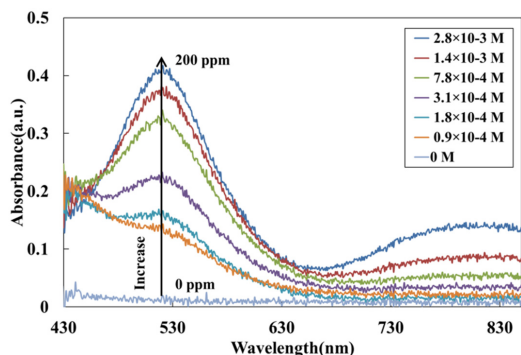


Fig. 6. Absorbance spectra depending on copper ion concentration

수용액에서  $Cu^{2+}$ 의 농도가 증가할수록 색상 변화는 초기 무색에서 노란색, 주황색, 붉은색으로 점차 변화되었으며  $Cu^{2+}$ 의 고유 흡수 파장인 530 nm 파장에서 흡광도는 점차 증가하였다.  $Cu^{2+}$  농도와 흡광도(530nm 파장)의 상관관계를 도출하기 위하여 530 nm 파장에서 흡광도를 농도의 로그함수로 Fig. 7과 같이 도시하였다. Fig. 7에 나타낸 바와 같이 흡광도(530 nm 파장)는 농도의 로그 값에 대해 선형으로 비례하는 관계를 가진다.

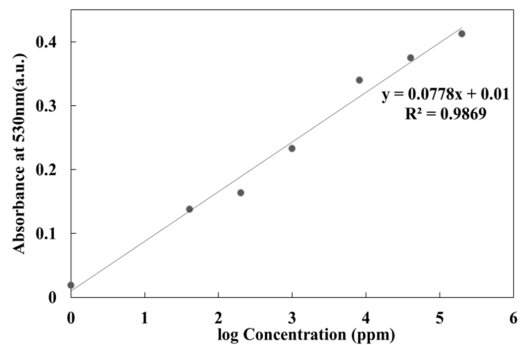


Fig. 7. Relationships between absorbance at 530nm wavelength and copper ion concentration

#### 4. 결론

수질 환경에서 광섬유 센서의 구리 이온 감지물질을 선정하기 위하여 8-Hydroxyquinoline계 합성유도체로 제작하여 구리 이온에 대한 광학적 반응 특성을 조사하였다. 제작된 합성유도체는  $Hg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Bi^{2+}$  등의 여러 금속 이온이 공존하는 경우에도 구리 이온과 높은 반응성을 보이며 530 nm에서 고유 흡수 파장을 나타냈다. 또한 합성된 8-Hydroxyquinoline계 화합물은 구리 이온의 로그 농도에 따라 530 nm 파장에서 흡광도가 선형으로 비례함을 보였다. 제작된 합성유도체의 이러한 광학적 반응 특징은 광섬유 센서에서 구리 이온을 검출하기 위한 감지 물질로서 적합함을 나타낸다. 향후 합성된 8-Hydroxyquinoline계 화합물을 줄-겔 법으로 다양한 형상으로 제작하여 광섬유 센서의 구리 이온 검출 특성 평가를 수행할 예정이다.

#### References

- [1] K. H. Ji, J. K. Kim, M. J. Lee, S. Y. Park, H. J. Kwon, H. K. Cheong, J. Y. Jang, D. S. Kim, S. D. Yu, Y. W. Kim, K. Y. Lee, S. O. Yang, I. J. Jung, W. H. Yang, D. H. Paek, Y. C. Hong, K. H. Choi, "Assessment of exposure to heavy metals and health risks among residents near abandoned metal mines in Goseong, Korea", *Environmental Pollution*, vol. 178, pp. 322-328, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.031>
- [2] F. W. Fifield, P. J. Haines, *Environmental Analytical Chemistry*, 2nd ed., Wiley-Blackwell, 2000.
- [3] A. P. Silva, H. Q. N. Gunaratne, T. Gunnlaugsson, A. J. M. Huxley, C. P. McCoy, J. T. Rademacher, T. E. Rice,

- “Signaling recognition events with fluorescent sensors and switches”, *Chemical Reviews*, vol. 97, no. 5, pp. 1515-1566, 1997.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/cr960386p>
- [4] O. S. Wolfbeis, “Fiber-Optic Chemical Sensors and Biosensors”, *Analytical Chemistry*, vol. 80, no. 12, pp. 4269-4283, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/ac800473b>
- [5] B. S. Lee, J. Y. Hong, Y. M. Hwang, S. H. Cho, “Feasibility study on the development of fiber-optic pH sensor for endoscope”, *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 213-217, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.5369/JSSST.2004.13.3.213>
- [6] M. Benounis, N. Jaffrezic-Renault, H. Halouani, R. Lamartine, I. Dumazet-Bonnamour, Detection of heavy metals by an optical fiber sensor with a sensitive cladding including a new chromogenic calix arene molecule, *Materials Science and Engineering: C*, vol. 26, no. 2-3, pp. 364-368, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2005.10.055>
- [7] Y. Mei, P. A. Bentley, W. Wang, “A selective chemo-sensor of  $\text{Cu}^{2+}$  based on 8-Hydroxyquinoline”, *Tetrahedron Letters*, vol. 47, no. 14, pp. 6413-6416, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2006.01.091>
- [8] Y. F. Cheng, D. T. Zhao, M. Zhang, Z. Q. Liu, Y. F. Zhou, T. M. Shu, F. Y. Li, T. Yi, C. H. Huang, “Azo 8-Hydroxyquinoline benzoate as selective chromogenic chemosensor for  $\text{Hg}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$ ”, *Tetrahedron Letters*, vol. 47, no. 36, pp. 6413 - 6416, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2006.06.125>
- [9] M. M. Mashaly, Z. H. Abd-Elwahab, A. A. Faheimb, “Preparation, Spectral Characterization and Antimicrobial Activities of Schiff Base Complexes Derived from 4-Aminoantipyrine. Mixed Ligand Complexes with 2-Aminopyridine, 8-Hydroxyquinoline and Oxalic Acid and their Pyrolytical Products”, *Journal of the Chinese Chemical Society*, vol. 51, no. 5A, pp. 901-915, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/jccs.200400135>
- [10] H. Irving, R. J. P. Williams, “The Stability of Transition-metal Complexes”, *The Journal of the Chemical Society*, pp. 3192-3210, 1953.  
DOI: <https://doi.org/10.1039/jr9530003192>

**김 범 규(Beom Kyu Kim)****[정회원]**

- 2012년 2월 : 순천향대학교 에너지 환경공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 순천향대학교 일반대학원 화학공학.환경공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 일반대학원 화학공학.환경공학과 박사과정

<관심분야>  
센서, 화학센서

**박 병 기(Byung Gi Park)****[정회원]**

- 1999년 2월 : 서울대학교 원자핵공학과 (공학박사)
- 2002년 10월 ~ 2007년 2월: (주) 미래와도전 전문연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 에너지환경공학과 교수

<관심분야>  
원자력, 센서, 화학센서