

---

# 2023년 대학부설 과학영재교육원 사사과정 연구성과 발표대회

---

- 화학 -



한국과학창의재단  
Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity



# contents

## 화학A

01. 탄산이온의 침전 반응을 이용한 대기 중 이산화탄소 영구 제거 연구 ..... 3
02. 일회용마스크 성분인 폴리에틸렌 분해 미생물 확인 연구 ..... 27
03. 메틸 살리실레이트 합성과 구조 분석에 관한 연구 ..... 41
04. 전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에 따른 구리의 환원에 대한 화학적 고찰 ..... 53
05. 간단한 방법으로 된장 안의 나트륨과 칼륨의 양 정량하기 ..... 83
06. 치과용 임플란트 표면처리를 위한 비불소계 성분을 활용한 Ti 금속의 양극산화 ..... 91
07. 질량분석기를 이용한 달걀 흰자의 글리칸 분석 ..... 103
08. 금속 나노입자의 제조 및 빛과 나노입자의 상호작용 탐구 ..... 121
09. 스마트폰 앱(color meter)을 이용한 RGB코드와 용액의 농도 관계 ..... 137
10. 버려지는 폐 마스크를 이용한 수질 정화 장치 제작 ..... 147

## 화학B

01. 은 나노입자 합성 ..... 163
02. 양이온계 색소인 Methylene Blue가 흡착제거 되는 상황에서 음이온계 색소가 미치는 영향에 대한 탐구 ..... 171
03. 대장암 세포주 HT-29에 대한 천연생물자원 추출물의 항암활성 탐색 ..... 183
04. 전기도금으로 만든 전극의 물 분해 효율 비교 ..... 193
05. 전산과학을 이용한 다공성 물질 흡착반응 ..... 203
06. 분자 오비탈로 이해하는 지시약의 색 변화 ..... 211
07. 산화철 나노입자의 광촉매적 특성 비교 연구 ..... 221
08. 천연 살충제 주요 성분인 피레트린의 유기합성 연구 ..... 229
09. 폐식용유를 활용한 에너지원(바이오디젤 합성) ..... 241
10. 구리(Cu)와 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액 산화 환원 반응에서 은 수지상결정(Ag dendrite) 관찰 ..... 247

## 화학C

01. 섬유의 종류에 따른 착향 연구 ..... 259
02. 포도덩굴손 추출물의 항산화 및 항염증 효능 ..... 269
03. 항산화활성 및 신경세포를 보호하는 천연물의 탐색 ..... 281
04. 물의 어는점 탐구 ..... 293
05. 칼슘 알지네이트를 이용한 구리의 흡착 및 탈착 ..... 301
06. 골드-팔라듐 나노입자 합성과 촉매를 통한 에탄올 분해 반응 ..... 311
07. 중금속 이온 확인을 위한 화학비색센서 개발 및 탐구 ..... 327
08. 반도체성 탄소나노튜브 소자를 이용한 고이동도 TFT의 특성 비교 연구 ..... 341
09. 일상 생활 물질들의 생명체에 대한 영향 ..... 363



# 화학A

01. 탄산이온의 침전 반응을 이용한 대기 중 이산화탄소 영구 제거 연구 .....	3
02. 일회용마스크 성분인 폴리에틸렌 분해 미생물 확인 연구 .....	27
03. 메틸 살리실레이트 합성과 구조 분석에 관한 연구 .....	41
04. 전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에 따른 구리의 환원에 대한 화학적 고찰 .....	53
05. 간단한 방법으로 된장 안의 나트륨과 칼륨의 양 정량하기 .....	83
06. 치과용 임플란트 표면처리를 위한 비불소계 성분을 활용한 Ti 금속의 양극산화 ..	91
07. 질량분석기를 이용한 달걀 흰자의 글리칸 분석 .....	103
08. 금속 나노입자의 제조 및 빛과 나노입자의 상호작용 탐구 .....	121
09. 스마트폰 앱(color meter)을 이용한 RGB코드와 용액의 농도 관계 .....	137
10. 버려지는 폐 마스크를 이용한 수질 정화 장치 제작 .....	147



화학A

01\_탄산이온의 침전 반응을 이용한 대기 중  
이산화탄소 영구 제거 연구



# 탄산이온의 침전 반응을 이용한 대기 중 이산화탄소 영구 제거 연구

김윤(전주솔빛중학교 2학년)  
김현수(전주우전중학교 2학년)  
서승아(전주서신중학교 2학년)  
이성준(전주아중중학교 2학년)  
임서현(전주오송중학교 2학년)  
주진탁(군산서흥중학교 2학년)

지도교수 : 박종호 (전북대학교 과학교육학부)  
지도교사 : 김유진 (전북대학교 과학교육학부)

## 초록

대기 중의 이산화탄소를 효과적으로 포집하고 이를 안정적인 형태로 영구 제거하기 위한 방법을 연구하였다. 실험 장치는 이산화탄소 공급 장치, 트랩, 기체양 측정 장치 등으로 구성되어 있다. 공급 장치를 통해 일정량의 이산화탄소를 수산화나트륨 용액, 수산화바륨 용액, 염화바륨 용액에 통과시켜 포집량을 측정하였다. 수산화나트륨 용액은 이산화탄소를 효과적으로 용해시켰으며, pH가 높을수록 포집량이 증가하였다. 수산화바륨 용액은 수산화나트륨 용액보다 많은 이산화탄소를 포집하여 제거했는데, 이는 염기성 용액에서의 포집뿐만 아니라 생성된 용액 속의 탄산 이온과 바륨 이온의 침전 반응으로 더 많은 이산화탄소가 용해되기 때문이라고 해석된다. 또한, 염화바륨 용액에서는 추가적인 포집이 관찰되지 않았는데, 이는 낮은 pH로 인해 용액 속의 충분한 양의 이산화탄소가 용해되지 않아 침전물이 생성되지 않았기 때문이라고 추정된다. 이 연구에서는 이산화탄소를 효과적으로 포집하기 위해서는 용액의 pH를 높여야 함을 확인할 수 있었고 염기성 용액 속에 이산화탄소를 녹인 후 이를 바륨 이온과 침전반응을 유도하여 안정적인 형태로 영구 제거함으로써 추가적인 이산화탄소를 포집할 수 있다는 것을 확인했다. 이는 염기성 용액이 이산화탄소를 효과적으로 제거할 수 있지만, 이후 보관 과정에서 녹아 있던 이산화탄소가 다시 방출될 수 있는 가능성을 보완하여 대기 중의 이산화탄소를 탄산바륨이라는 안정한 형태로 제거할 수 있는 가능성을 제시한 중요한 결과다. 이 결과는 이산화탄소에 의한 지구온난화를 줄이는데 기여할 수 있음을 시사한다.

## I. 서론

지구가 생성된 이후로 지구의 온도는 지속적으로 변화해왔으며 상승과 하강을 반복하였다. 그러나 최근의 온도 변화의 폭은 오랫동안 이어진 변화에 비해 상당히 높다. “기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)”에 따르면 지난 100년 간 지구의 온도는 약 1.8℃가 상승하였는데 이것은 자연적으로 일어난 기후 변화량을 벗어나는 것이다.[1, 2] 따라서 과학자들은 이와 같은 큰 온도 변화는 일시적인 변화가 아니라 인간의 활동에 의한 것이고 특히 이산화탄소와 같은 온실가스의 배출량이 증가한 것과 관련이 있다고 보고 있다.[2]

실제로 지구 대기 중의 이산화탄소의 농도는 산업혁명 시기인 16세기부터 꾸준히 증가해오고 있다. 지난 2018년의 이산화탄소 농도는 1750년에 비해 약 45%가 증가했으며 특히 1950년 이후의 증가폭은 더욱 커지고 있다.[3] 이와 같은 이산화탄소의 증가는 지구 온도의 급격한 상승과 밀접한 상관관계가 있어서 지구 온난화의 원인으로 여겨진다. 따라서 이산화탄소의 농도를 조절하기 위한 전지구적 노력이 필요했고 이런 노력 중 하나가 2005년에 발효된 교토 의정서 협약이다.[4] 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)에 따르면 이런 국제적 노력이 기후 변화를 줄이는데 효과적이었다고 평가되지만, 지구 온난화를 1.5℃ 수준으로 유지하기 위해서는 2030년까지 온실가스를 2019년의 43% 정도를 줄여야 2050년 초반에 탄소 중립을 달성할 수 있다고 하였다.[1, 2]

그러나 고도로 산업화된 현재 사회에서는 이산화탄소의 배출량을 완전히 없애는 것은 불가능하다. 이산화탄소의 배출량을 줄이려는 노력을 기울이더라도 많은 사람들이 사용할 에너지나 제품의 생산에는 이산화탄소가 발생되기 마련이기 때문이다. 따라서 탄소 중립 목표를 달성하기 위해서는 이산화탄소의 배출량 감축 노력뿐만 아니라 발생된 이산화탄소를 제거하는 연구도 활발히 진행되고 있다.[5-8] 특히 전북대학교 과학영재교육원의 2021년 사사과정에서도 이산화탄소를 포집하여 제거할 수 있는 여러 가지 물질에 대한 성능 연구를 진행하였다.[9] 이 연구에 의하면 염기성 용액에 존재하는 수산화이온(OH<sup>-</sup>)은 수소이온(H<sup>+</sup>)과 반응함으로써, 이산화탄소가 물에 녹아 생성되는 중탄산이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)이나 탄산이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)의 생성을 촉진시키기 때문에 이산화탄소의 제거에 효과적이라는 것을 보였다. 뿐만 아니라 용액의 pH가 높을수록 이산화탄소 제거에 더욱 효과적이라는 것도 알아낼 수 있었다. 그러나 염기성 용액에 의해서 물에 녹아 제거된 이산화탄소는 용액의 온도가 높아지거나 pH가 변하면 다시 기체로 변해 대기로 되돌아갈 수 있다. 이 때문에 용액 속의 이산화탄소를 즉각 안정한 형태로 변환시키는 것이 필요하다.

본 연구에서는 이산화탄소를 영구적으로 제거하기 위해, 이산화탄소가 용해되어 만들어진 탄산이온을 침전 반응에 의해 안정한 고체 형태로 전환시키는 과정을 중학생 수준의 실험으로 고안하여 수행하였다. 바륨이온을 첨가하여 탄산이온과 침전을 일으키는 반응이 용액의 pH와 어떤 연관성이 있는지를 실험하였고, 수산화이온

이 많지 않은 조건에서 바륨이온만으로 이산화탄소를 제거할 수 있는지도 확인하였다. 이 연구를 통해 대기 중의 이산화탄소를 영구적으로 제거할 수 있는 방법과 이 방법이 가장 효율적으로 작동하기 위한 조건을 최적화함으로써 탄소중립을 실현하고 나아가 지구의 기후변화를 막는데 기여할 수 있다.

## II. 이론적 배경

### 2-1. 이산화탄소

이산화탄소( $\text{CO}_2$ )는 탄소 원자 하나에 산소 원자 둘이 결합한 화합물이다. 고체 상태일 때는 해빙 시에 바로 기체로 승화하므로 드라이아이스(dry ice)라고 부른다. 기체 상태일 때는 무색, 무취(보통 냄새가 없지만, 고농도에서는 산성의 톱 쏘는 냄새가 남), 무미로 지구의 대기에 미량으로 존재하며, 화산 가스에도 포함되어 있다. 유기물의 연소, 생물의 호흡, 미생물의 발효 등으로 만들어진다. 생물의 광합성 과정에서 주로 이산화탄소를 이용하여 탄수화물이 합성된다. 또한, 지표면에서 방출되는 적외선 영역대의 복사에너지를 흡수하는 온실가스 중 하나로서 지구시스템의 에너지 평형에 중요한 역할을 하며 육상 및 해양 표층에서 생물권의 탄소 흡수에 중요한 공급원이 된다. 대기 중 이산화탄소 농도는 기후의 장기적인 변동에 따라 자연적으로 변화할 수도 있고 화석연료 사용 증가에 따라 인위적으로 증가하여 기후의 급격한 변화를 유발할 수 있다.

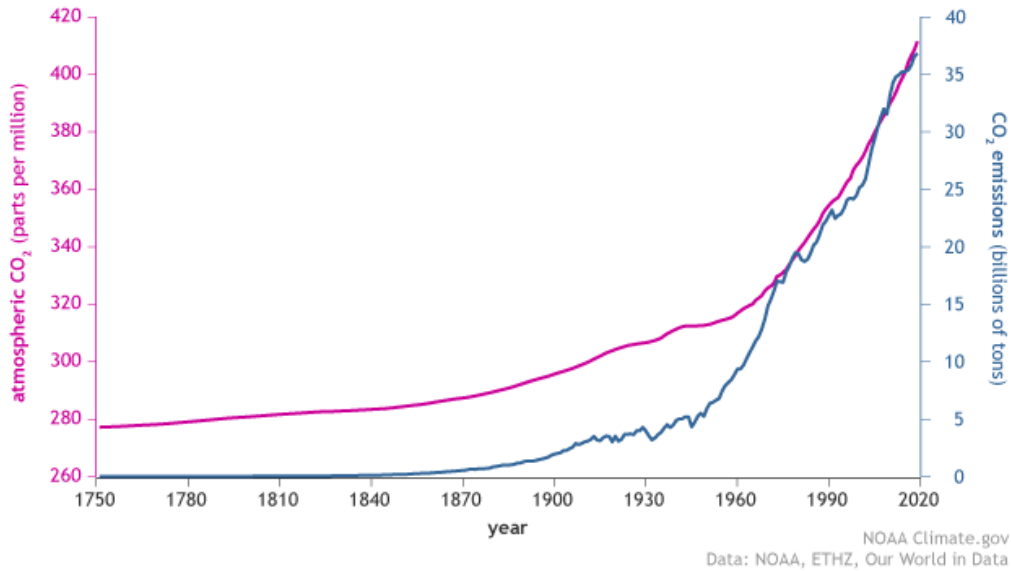
### 2-2. 이산화탄소 기체에 의한 지구온난화

지구로 들어오는 에너지의 대부분은 태양으로부터 온다(입사 에너지). 이런 태양의 복사에너지는 지구에서의 반사나 지구로부터의 복사를 통해 외부로 빠져나간다(방출 에너지). 지구로부터의 복사 중 일부는 대기 중의 온실 기체에 의해서 다시 흡수되어 순환함으로써 지역적으로 지구의 온도를 균일하게 하는데 기여한다. 이렇게 지구로 들어오는 에너지와 빠져나가는 에너지가 균형을 이루면 지구의 온도는 일정하게 유지된다.

이산화탄소는 메탄( $\text{CH}_4$ )과 수증기( $\text{H}_2\text{O}$ )와 함께 대표적인 지구 대기의 온실 기체 중 하나이다. 지구가 방출하는 복사 에너지는 주로 적외선인데, 이 적외선은 이산화탄소의 탄소-산소 결합이 진동하는데 흡수되므로 이산화탄소가 대기 중에 많을수록 지구가 방출하는 에너지를 다시 많이 흡수한다. 그 결과 지구의 입사 에너지와 방출 에너지 사이의 균형이 깨져서 지구의 온도가 증가하는 지구온난화가 발생한다. 따라서 대기 중의 이산화탄소의 양과 지구의 온난화 정도는 관련이 있다. 그림 1은 최근 약 300년간의 대기 중 이산화탄소의 농도 변화를 나타내고 있다.[3] 산업혁명 직후인 1750년부터 이산화탄소의 양은 꾸준히

증가해왔지만 그 증가폭은 최근 100년간 폭발적으로 증가하였다. 이런 이산화탄소의 증가는 최근의 지구의 온도 급격한 상승과 무관하지 않다는 것이 과학자들의 의견이다.

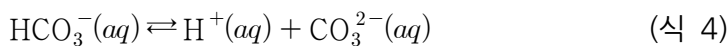
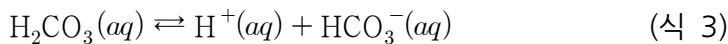
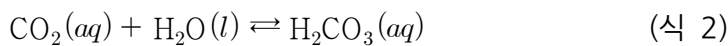
CO<sub>2</sub> in the atmosphere and annual emissions (1750-2019)



<그림 1. 대기 중 이산화탄소 존재량의 최근 변화량> [3]

### 2-3. 이산화탄소의 용해 반응

이산화탄소가 물에 용해되는 반응은 다음과 같다.

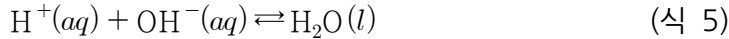


이산화탄소 기체는 물에 녹아 이산화탄소 용액이 된다.(식 1) 이후 물(H<sub>2</sub>O)과 결합하여 탄산 용액(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)이 되고(식 2) 이것의 일부가 수소 이온(H<sup>+</sup>)을 내놓고 중탄산 이온(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)으로 변환된다.(식 3) 이때 만들어진 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 다시 한 번 H<sup>+</sup>를 내놓으며 탄산 이온(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)을 만든다.(식 4) 결국, 물에 용해된 이산화탄소는 단계적으로 H<sup>+</sup>를 내놓는데 H<sup>+</sup>은 용액의 산성도를 높이며, 용액의 pH를 낮춘다. 따라서 물에 이산화탄소가 많이 용해될수록 용액의 pH는 낮아진

다. 순수한 물의 pH는 중성인 7이어야 하지만 대기 중의 이산화탄소가 물에 용해되어 pH를 5.5 수준으로 낮추기 때문에 약한 산성으로 변하게 된다.

#### 2-4. 염기성 용액에서의 이산화탄소의 용해도

용액의 pH가 높은 염기성 용액에는 수산화이온(OH<sup>-</sup>)이 많이 포함되어 있다. OH<sup>-</sup>는 식 5와 같이 용액 속의 H<sup>+</sup>와 완전히 결합하여 물을 만든다.



이 반응은 이산화탄소가 용해된 용액 속 화학종 사이의 평형을 깨트린다. 이에 따라서 용액 속의 화학종들은 새로운 평형상태에 도달하기 위해 르샤틀리에의 원리에 의해 식 (1)~(4)의 반응들이 더 효과적으로 일어난다. 결국 염기성 용액에서는 이산화탄소의 용해도가 크게 증가한다.

2021년에 전북대학교 과학영재교육원 사사과정에서 수행된 연구에 의하면, 용액의 pH가 높아질수록 이산화탄소가 더 많이 녹으며, 이런 원리를 이용하면 이산화탄소가 염기성 용액에 의해 효과적으로 제거될 수 있다는 것을 의미한다는 것을 밝혔다.[9] 이산화탄소는 pH가 비교적 높은 염기성 용액에서 비교적 용해가 잘 이루어진다.

#### 2-5. 바륨이온과 탄산이온의 침전 반응

침전은 가열과 냉각 또는 시약을 가했을 때 일어나는 화학변화의 생성물이 용액 안에 나타나는 현상을 말하며 용질이 포화상태에 도달해 용액 속에 나오는 것을 말한다.

이산화탄소가 물에 용해되면 식 1-4에 의해서 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>를 만드는데, 주기율표 2A족에 속하는 알칼리토금속 원소 중 하나인 바륨이온(Ba<sup>2+</sup>)은 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>와 반응하여 탄산바륨(BaCO<sub>3</sub>)을 생성한다.(식 6)



BaCO<sub>3</sub>은 물에 대한 용해도가 매우 낮아서 물에 녹지 않으므로 용액 속에 백색 침전을 만들어 가라앉는다.

### Ⅲ. 연구방법

#### 3-1. 준비물

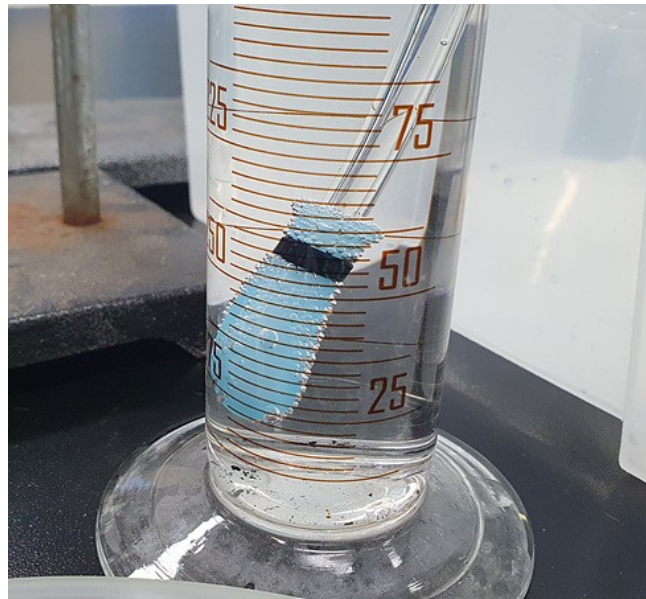
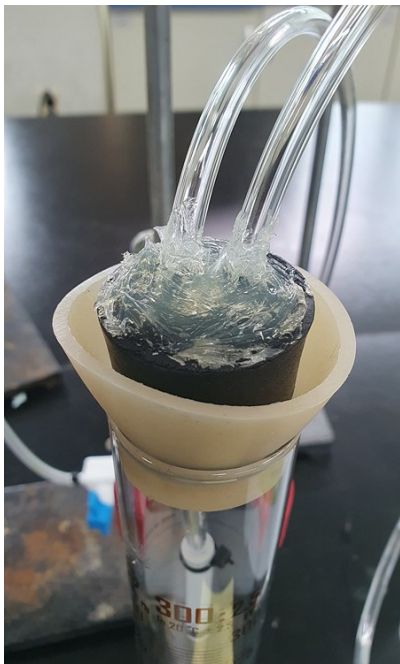
수산화나트륨(NaOH), 수산화바륨( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ), 염화바륨( $\text{BaCl}_2$ ), 완충용액(pH, 4, 7, 10), pH 미터, 500 mL 비이커, 300 mL 메스실린더, 200 mL 메스실린더, 고무마개, 호스(내경 4 mm, 외경 6 mm), 스탑콕, 실리콘, 고무 밸브, 바늘,  $\text{CO}_2$  공급 장치, 레귤레이터, 거름종이, 거름장치, 전자저울, 증류수, 약수저, 물통, 스탠드, 초시계

#### 3-2. pH 미터 교정

- (1) pH 전극 주위의 KCl 염을 제거한 후 충진 용액을 채운다. 전극을 전극 보관 용액에 수 시간 정도 담가 활성화 시킨다.
- (2) pH 미터의 교정 단추를 누른 후 전극을 pH 4 완충용액에 담가 교정한다.
- (3) (2)의 과정을 pH 7과 pH 10 완충용액을 이용하여 반복한다.

#### 3-3. 실험 장치 구성

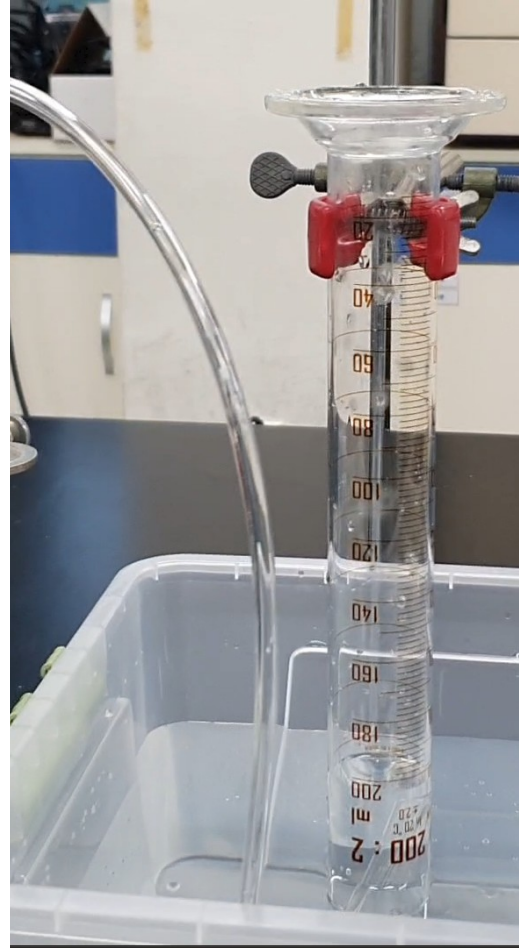
- (1) 300 mL 메스실린더에 고무마개와 호스를 그림 2와 같이 연결한다. 고무마개와 호스 연결 부위를 실리콘으로 봉한다. (이 부분을 " $\text{CO}_2$  트랩"이라고 부른다.)
- (2) 호스 끝에 고무 밸브를 연결하고 바늘로 미세 구멍을 10 개 뚫는다.
- (3) 그림 3과 같이 이산화탄소 저장 캔에 레귤레이터를 연결하고 호스(내경 4 mm, 외경 6 mm)에 스탑콕을 연결한다.
- (4) 그림 4와 같이 200 mL 메스실린더에 물을 가득히 채워 거꾸로 세우고 호스 끝을 연결한다. 전체적인 장치의 모습은 그림 5와 같다.



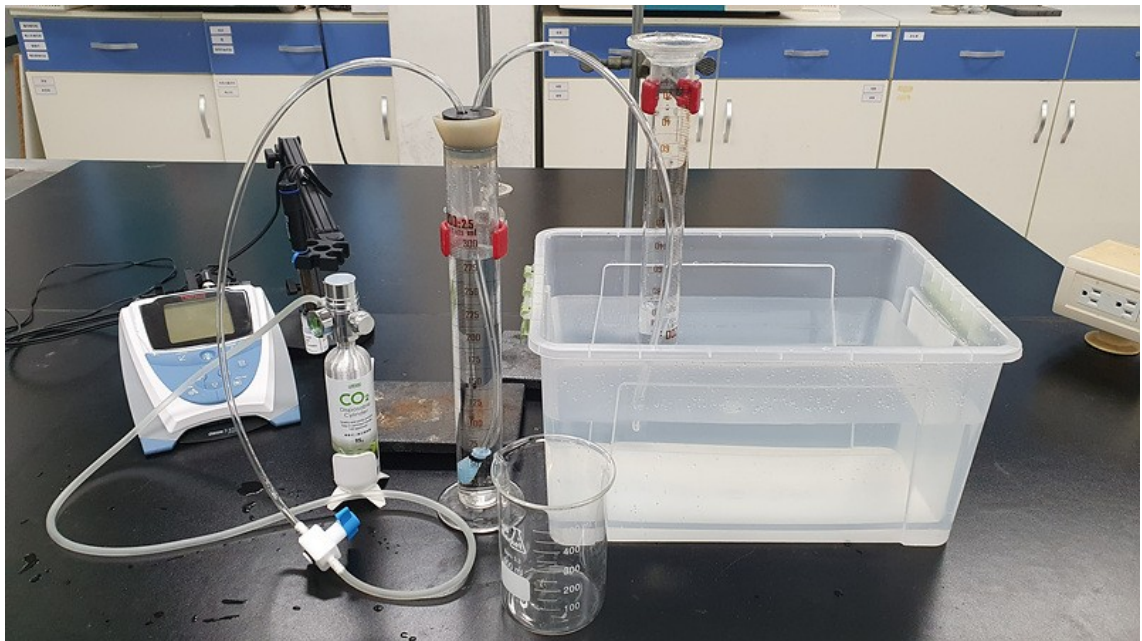
<그림 2.  $\text{CO}_2$  트랩>



<그림 3. CO<sub>2</sub> 공급 장치>



<그림 4. 통과한 CO<sub>2</sub> 양 측정 장치>



<그림 5. 실험 장치 전체>

### 3-4. 실험 절차 (이산화탄소 공급량 결정)

- (1) CO<sub>2</sub> 트랩에 증류수 250 mL를 넣고 고무마개를 닫는다.
- (2) 이산화탄소가 나와 메스실린더의 물 180 mL를 밀어내는데 약 2분이 걸리도록 레귤레이터를 조절한다.
- (3) 적당량이 조절되면 스탑콕을 닫는다. 레귤레이터의 조절량은 고정해놓은 후 변하지 않도록 주의한다.

### 3-5. 실험 절차 (이산화탄소 공급량 확인-대조군)

- (1) 증류수의 pH를 측정한 후 기록한다.
- (2) CO<sub>2</sub> 트랩에 증류수 250 mL를 넣고 고무마개를 닫는다.
- (3) 스탑콕을 열고 정확히 2분동안 이산화탄소를 공급한 후 스탑콕을 닫는다.
- (4) 메스실린더에 포집된 이산화탄소의 부피를 읽어 기록한다.
- (5) 증류수의 pH를 측정한 후 기록한다.
- (6) (2)-(5)을 2번 더 반복하여 포집된 이산화탄소의 부피의 평균값을 기록한다.

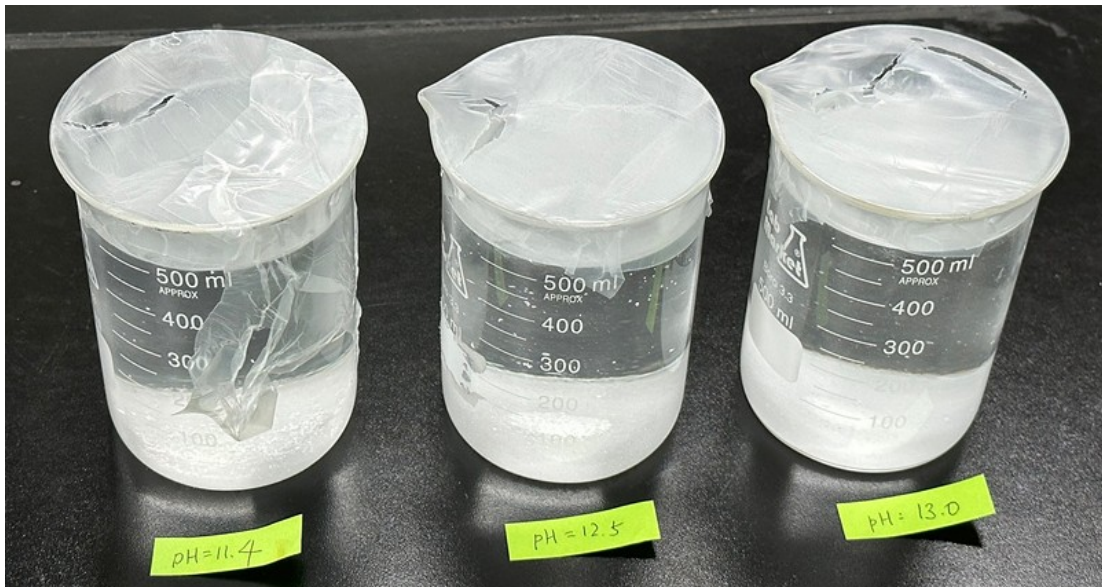
### 3-6. 실험 절차 (수산화나트륨 용액에 의한 이산화탄소 제거)

- (1) 500 mL 플라스크 3 개에 각각 증류수 500 mL를 넣는다.
- (2) pH가 각각 약 11.0, 12.5, 13.0이 되도록 수산화나트륨을 넣어 용해시킨다.(각각 약 0.02 g, 0.63 g, 2.0 g의 수산화나트륨이 필요하다. 이 용액을 각각 “수산화나트륨 용액 A”, “수산화나트륨 용액 B”, “수산화나트륨 용액 C”이라고 부른다.)
- (3) 수산화나트륨 수용액의 pH를 측정한 후 기록한다.
- (4) CO<sub>2</sub> 트랩에 수산화나트륨 용액 A를 250 mL만큼 넣고 고무마개를 닫는다.
- (5) 스탑콕을 열고 정확히 2분동안 이산화탄소를 공급한 후 스탑콕을 닫는다.
- (6) 메스실린더에 포집된 이산화탄소의 부피를 읽어 기록한다.
- (7) CO<sub>2</sub> 트랩의 용액의 pH를 측정하여 기록한다.
- (8) 용액에 침전이 생성되었는지 확인한다.
- (9) (4)-(8)의 과정을 한 번 더 반복한다.
- (10) 다른 수산화나트륨 용액에 대해서도 (3)-(9)의 과정을 반복한다.

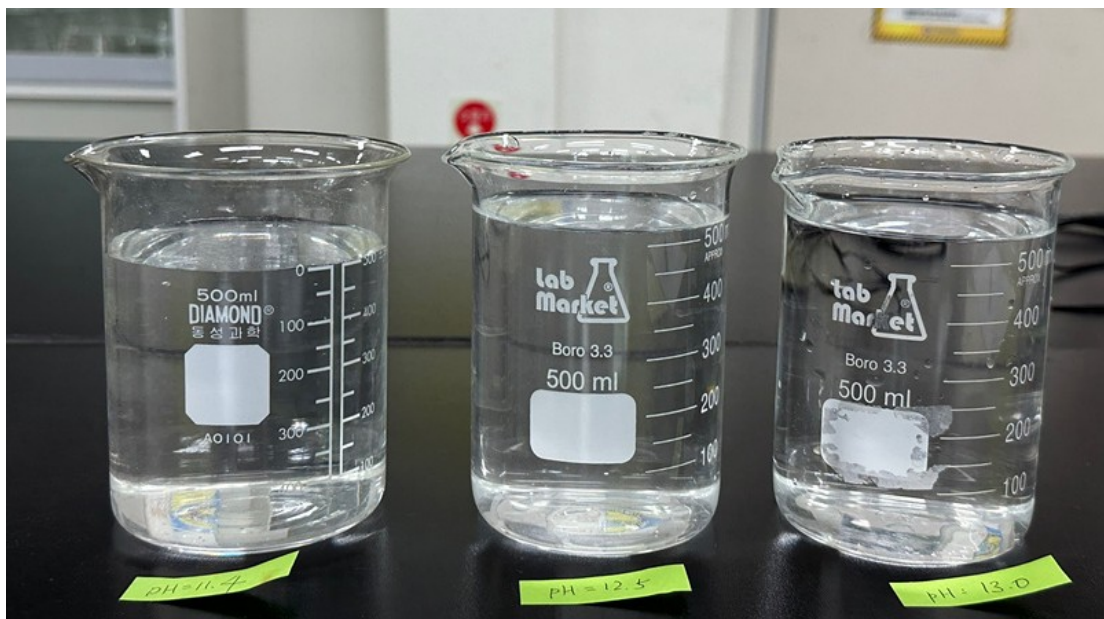
### 3-7. 실험 절차 (수산화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거)

- (1) 500 mL 플라스크 3 개에 각각 증류수 500 mL를 넣는다.
- (2) pH가 각각 약 11.0, 12.5, 13.0이 되도록 수산화나트륨을 넣어 용해시킨다.(각각 약 0.02 g, 0.63 g, 2.0 g의 수산화나트륨이 필요하다.)
- (3) (2)의 용액 각각에 수산화바륨 약 0.5 g을 넣어 용해시킨다. (그림 6)
- (4) (3)의 용액을 뷰흐너깔대기와 거름종이로 걸러 걸러진 용액을 모은다.(이 용액을 각각 “수산화바륨 용액 A”, “수산화바륨 용액 B”, “수산화바륨 용액 C”이라고 부른다.) 용액에는 침전물이 포함되어 있지 않아야 한다. (그림 7)
- (5) 수산화바륨 수용액의 pH를 측정한 후 기록한다.

- (6) CO<sub>2</sub> 트랩에 수산화바륨 용액 A를 250 mL만큼 넣고 고무마개를 닫는다.
- (7) 스탑콕을 열고 정확히 2분동안 이산화탄소를 공급한 후 스탑콕을 닫는다.
- (8) 메스실린더에 포집된 이산화탄소의 부피를 읽어 기록한다.
- (9) CO<sub>2</sub> 트랩의 용액의 pH를 측정하여 기록한다.
- (10) CO<sub>2</sub> 트랩의 용액을 거르고 건조 시킨다.
- (11) (6)-(10)의 과정을 한 번 더 반복한다.
- (12) 다른 수산화바륨 용액에 대해서도 (5)-(11)의 과정을 반복한다.
- (13) 건조된 침전물의 질량을 측정하여 기록한다.



<그림 6. 다양한 pH의 염기성 용액에 수산화바륨을 넣은 용액 (거르기 전)>



<그림 7. 다양한 pH의 염기성 용액에 수산화바륨을 넣은 용액 (거른 후)>

### 3-8. 실험 절차 (염화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거)

- (1) 증류수 500 mL에 염화바륨 1 g을 넣어 용해시킨다.(이 용액을 “염화바륨 수용액”이라고 부른다.)
- (2) 염화바륨 수용액의 pH를 측정한 후 기록한다.
- (3) CO<sub>2</sub> 트랩에 염화바륨 수용액 250 mL를 넣고 고무마개를 닫는다.
- (4) 스탑콕을 열고 정확히 2분동안 이산화탄소를 공급한 후 스탑콕을 닫는다.
- (5) 메스실린더에 포집된 이산화탄소의 부피를 읽어 기록한다.
- (6) CO<sub>2</sub> 트랩의 용액의 pH를 측정하여 기록한다.
- (7) CO<sub>2</sub> 트랩의 용액에 침전이 생성되었는지 확인한다. 침전이 생성되었다면 이를 거르고 건조 시킨다.
- (8) (3)-(7)의 과정을 한 번 더 반복한다.
- (9) 건조된 침전물의 질량을 측정하여 기록한다.(침전이 생성되었을 경우)

#### IV. 연구결과

그림 8과 같이 실험을 수행하였다.



<그림 8. 실험 수행 장면>

#### 4-1. 이산화탄소 공급량 확인

이산화탄소 공급장치의 레귤레이터를 조절하여 2분 동안 그림 4에 표시된 메스실린더에서 약 180 mL의 물이 밀려나오도록 CO<sub>2</sub>를 공급시킨 후 레귤레이터를 고정하였다. 이와 같이 하여 2분 동안의 CO<sub>2</sub> 공급량을 고정시켜서 이후의 실험에서 일정한 양의 CO<sub>2</sub>를 공급할 수 있다.

CO<sub>2</sub>를 공급하면 CO<sub>2</sub> 트랩 안에, 그림 9의 왼쪽과 같이, CO<sub>2</sub> 방울이 발생되면서 일부가 용액에 녹는다. 반면에, 녹지 않고 용액을 통과한 CO<sub>2</sub>의 방울은 그림 9의 메스실린더에 채워져 있던 물을 밀어낸다.



<그림 9. CO<sub>2</sub>를 공급하였을 때 실험 장치의 모습 (기체 방울 생성)>

이렇게 고정된 CO<sub>2</sub> 공급량이 실제로 얼마만큼의 부피인지 결정하기 위해 3번의 반복 실험을 수행하였으며 그 결과를 표 1에 나타내었다. 공급된 CO<sub>2</sub>의 일부가 CO<sub>2</sub> 트랩의 증류수에 용해되므로 포집된 CO<sub>2</sub>의 부피는 180 mL보다 적은 평균 163.3 mL였다. 이렇게 결정된 163.3 (± 3.1) mL는 공급된 CO<sub>2</sub>의 값으로 정할 수 있으며, 이후 실험의 대조군으로 사용된다. (괄호 안의 숫자는 표준편차이다.) 즉, CO<sub>2</sub> 트랩에 증류수 대신 다른 용액을 채워 넣을 경우 추가로 흡수되는 CO<sub>2</sub>의 양은 163.3 mL보다 적어질 것이고, 그 차이만큼이 CO<sub>2</sub> 트랩에 추가로 용해된 CO<sub>2</sub>의 양이라고 할 수 있다.

CO<sub>2</sub>가 물에 용해되면 식 (1)-(4)에 의해 용액의 pH가 낮아질 것으로 예상되었다. 실제로, CO<sub>2</sub>를 공급하기 전 증류수의 pH (표 1 중 초기 pH)는 6.04였는데 CO<sub>2</sub>를 공급한 후 증류수의 pH는 평균 4.24로서 약 1.8 만큼이 낮아졌다. 이를 통해서 CO<sub>2</sub> 트랩에 CO<sub>2</sub>가 추가로 용해되었다는 것을 알 수 있다.

표 1. CO<sub>2</sub> 공급량 확인

	pH		이산화탄소 부피(mL)
	초기	최종	
1	6.04	4.23	160.0
2		4.25	166.0
3		4.24	164.0
평균	6.04	4.24	163.3
표준편차	-	0.01	3.1

#### 4-2. 수산화나트륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

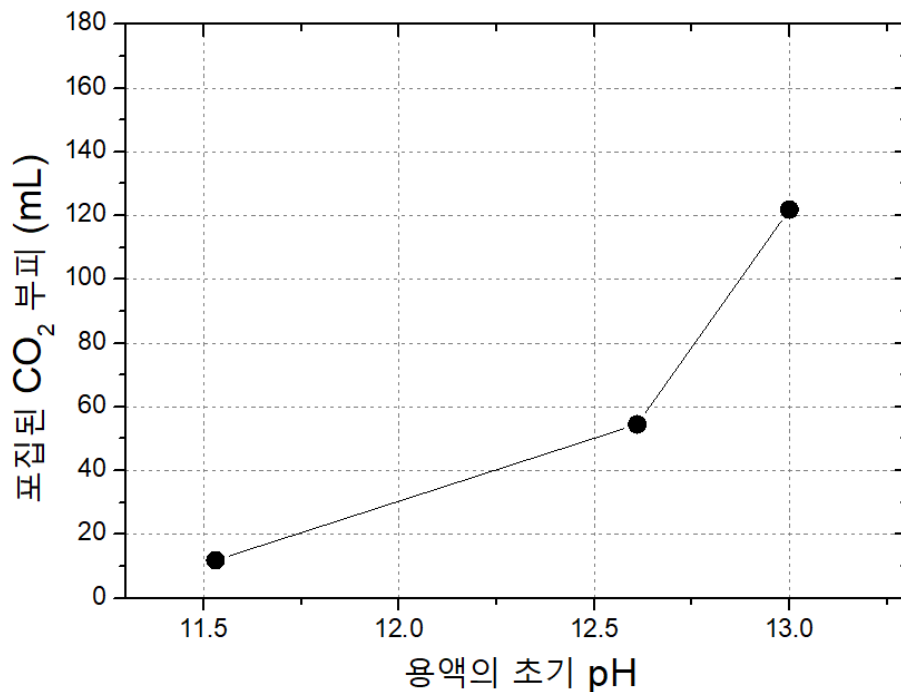
수용액을 수산화나트륨(NaOH)을 이용하여 pH를 각각 11.53, 12.61, 13.00으로 만들었으며 이 용액을 각각 “수산화나트륨 용액 A”, “수산화나트륨 용액 B”, “수산화나트륨 용액 C”이라고 부른다. 세 용액에 결과 4-1에서 정한 일정량의 CO<sub>2</sub>를 통과시켜 얻은 결과를 표 2에 정리하였다. 수산화나트륨 용액 A, B, C를 통과한 CO<sub>2</sub> 부피는 각각 151.5 (± 11.2), 108.8 (± 1.7), 41.4 (± 5.1) mL로서 결과 4-1에서 정한 CO<sub>2</sub> 부피의 공급량인 163.3 (± 3.1) mL와 비교하면 용액에 포집된 CO<sub>2</sub> 부피는 각각 12.2 (± 11.6), 54.5 (± 3.5), 121.9 (± 6.0) mL라고 정할 수 있다. 수산화나트륨 용액의 초기 pH에 따른 CO<sub>2</sub> 포집량을 그림 10에 나타내었다. (괄호 안의 숫자는 표준편차이며 연산된 값의 표준편차는 오차전파(error propagation) 방법에 의해 계산하였다.)

CO<sub>2</sub>가 포집됨으로써 세 용액의 pH는 각각 11.53에서 5.97(± 0.07), 12.61에서 10.44(± 0.06), 그리고 13.0에서 12.83(± 0.13)으로 감소하였다. 이것은 CO<sub>2</sub>가 용해됨에 따라서 식 (1) - (4)의 과정에 의해 생성된 H<sup>+</sup>때문에 용액의 pH가 감소하기 때문이다.

표 2. 수산화나트륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

수산화나트륨 용액		pH		통과된 CO <sub>2</sub> 부피(mL)	포집된 CO <sub>2</sub> 부피(mL)*	침전물 질량(g)
		초기	최종			
A	1	11.53	5.93	158.0	5.3	-
	2		6.05	138.5	24.8	-
	3		5.92	157.9	5.4	-
	평균	11.53	5.97	151.5	12.2	-
	표준편차	0	0.07	11.2	11.6	-
B	1	12.61	10.39	107.6	55.7	-
	2		10.48	110.0	53.3	-
	평균	12.61	10.44	108.8	54.5	-
	표준편차	0	0.06	1.7	3.5	-
C	1	13.00	12.91	46.2	117.1	-
	2		12.89	36.0	127.3	-
	3		12.68	42.0	121.3	-
	평균	13.00	12.83	41.4	121.9	-
	표준편차	0	0.13	5.1	6.0	-

\* (CO<sub>2</sub> 공급량)-(통과된 CO<sub>2</sub> 부피)



<그림 10. 수산화나트륨 용액의 초기 pH에 따른 CO<sub>2</sub> 포집량 변화>

용액의 pH가 높을수록 더 많은 양의 CO<sub>2</sub>가 포집됨에도 불구하고 CO<sub>2</sub> 공급 전후의 pH 변화량이 높은 pH에서 더 작은 것으로 관찰되었다. 이것은 pH

가  $H^+$  농도( $[H^+]$ )에 대한 로그함수이기 때문이다. pH는 식 7과 같이 정의되며,  $[H^+]$ 과 수산화이온 농도( $[OH^-]$ ) 사이의 관계는 식 8과 같다.

$$pH = -\log[H^+] \quad (\text{식 7})$$

$$[H^+] \times [OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \quad (25^\circ\text{C에서}) \quad (\text{식 8})$$

따라서 pH의 변화량이  $H^+$ 의 변화량과 단순히 비례하지 않는다. 실제로, pH가 11.53에서 5.97로 감소된 수산화나트륨용액 A의 경우에는  $[H^+]$ 가  $2.95 \times 10^{-12} \text{M}$ 에서  $1.07 \times 10^{-6} \text{M}$ 로 증가하여  $OH^-$ 를 약 0.0034 M 감소시킨 것이지만, pH가 13.00에서 12.83로 감소된 수산화나트륨용액 C의 경우에는  $[H^+]$ 가  $1.0 \times 10^{-13} \text{M}$ 에서  $1.48 \times 10^{-13} \text{M}$ 로 증가하여  $OH^-$ 를 약 0.032 M 감소시킨 것이다. 이것은 수산화나트륨용액 A보다 C에서 포집되는  $CO_2$  양이 더 많기 때문에 약 10배의  $OH^-$ 를 감소시킬 수 있는 것이다.

이 실험은 2021년 전북대학교 과학영재교육원 사사과정에서 수행한 실험과 비교하여  $CO_2$  공급 장치 등을 보완한 후 다시 수행한 것이다. 이 실험을 통해 용액의 pH가 높을수록 더 많은  $CO_2$ 가 용액에 포집되는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.[9] (용액의 pH가 높을수록 더 많은  $CO_2$ 가 용해되는 이유는 2-4에 설명되어있다.)

#### 4-3. 수산화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

수용액을 수산화나트륨(NaOH)을 이용하여 충분히 염기성(약 pH 11.5, 12.5, 13.0)으로 만든 후 충분한 양의 수산화바륨( $Ba(OH)_2$ )을 녹여 포화시키고, 녹지 않고 남아 있는  $Ba(OH)_2$  고체를 거른 용액의 pH는 각각 11.69, 12.57, 13.10 이었다. 즉, 여러 pH 조건에서 바륨 이온( $Ba^{2+}$ )을 추가로 녹인 용액이다. 이 용액은 각각 “수산화바륨 용액 A”, “수산화바륨 용액 B”, “수산화바륨 용액 C”이라고 부른다.

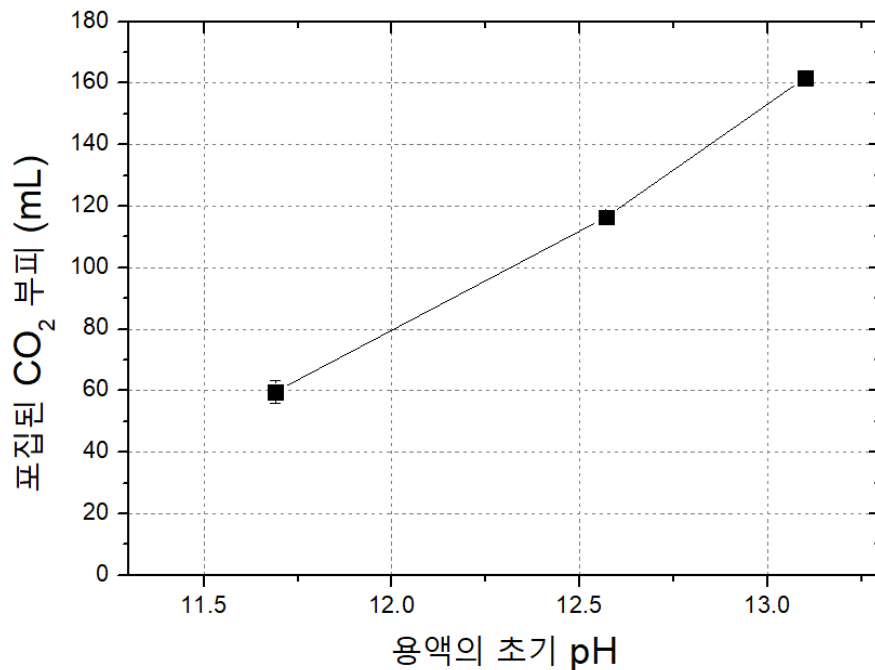
세 용액에 결과 4-1에서 정한 일정량의  $CO_2$ 를 통과시켜 얻은 결과를 표 3에 정리하였다. 수산화바륨 용액 A를 통과한  $CO_2$  부피는  $103.6(\pm 3.7) \text{ mL}$ 로서 결과 4-1에서 정한  $CO_2$  부피의 공급량인  $163.3(\pm 3.1) \text{ mL}$ 와 비교하면 용액에 포집된  $CO_2$  부피는  $59.7(\pm 4.8) \text{ mL}$ 라고 정할 수 있다. 하지만 포집된  $CO_2$  부피는 수산화바륨 용액 B에서 급격하게 증가하여  $116.4(\pm 3.3) \text{ mL}$  이었으며, 수산화바륨 용액 C는  $161.7(\pm 3.2) \text{ mL}$ 으로서 공급된  $CO_2$ 이 거의 모두 용액에 포집되었다. 수산화바륨 용액의 초기 pH에 따른  $CO_2$  포집량을 그림 11에 나타내었다. 이를

통해서 용액의 pH가 높아질수록 CO<sub>2</sub> 포집량이 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 이것은 결과 4-2에서 수행한 실험 결과와 같다고 할 수 있다.

표 3. 수산화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

수산화바륨 용액		pH		통과된 CO <sub>2</sub> 부피(mL)	포집된 CO <sub>2</sub> 부피(mL)*	침전물 질량(g)
		초기	최종			
A	1	11.69	5.70	106.2	57.1	0.0157
	2		5.66	101.0	62.3	0.0070
	평균	11.69	5.68	103.6	59.7	0.0113
	표준편차	0	0.03	3.7	4.8	0.0060
B	1	12.57	9.74	47.6	115.7	0.0712
	2		9.70	46.2	117.1	0.0535
	평균	12.57	9.72	46.9	116.4	0.0624
	표준편차	0	0.03	1.0	3.3	0.0125
C	1	13.10	12.92	2	161.3	0.0278
	2		12.92	1.2	162.1	0.0276
	평균	13.10	12.92	1.6	161.7	0.0277
	표준편차	0	0	0.6	3.2	0.0001

\* (CO<sub>2</sub> 공급량)-(통과된 CO<sub>2</sub> 부피)



<그림 11. 수산화바륨 용액의 초기 pH에 따른 CO<sub>2</sub> 포집량 변화>

그러나 CO<sub>2</sub> 포집량은 결과 4-2와 크게 차이가 난다. 즉, 비슷한 pH의 수산화나트륨 용액과 수산화바륨 용액을 비교하였을 때, 수산화바륨 용액이 약 40 - 60 mL의 CO<sub>2</sub>를 추가로 포집하였다. 예를 들어, pH가 약 12.5 인 경우 수산화나트륨은 54.5 mL의 CO<sub>2</sub>를 포집한 반면에 수산화바륨 용액은 116.4 mL를 포집하여 약 2 배 이상의 포집량을 나타내었다.

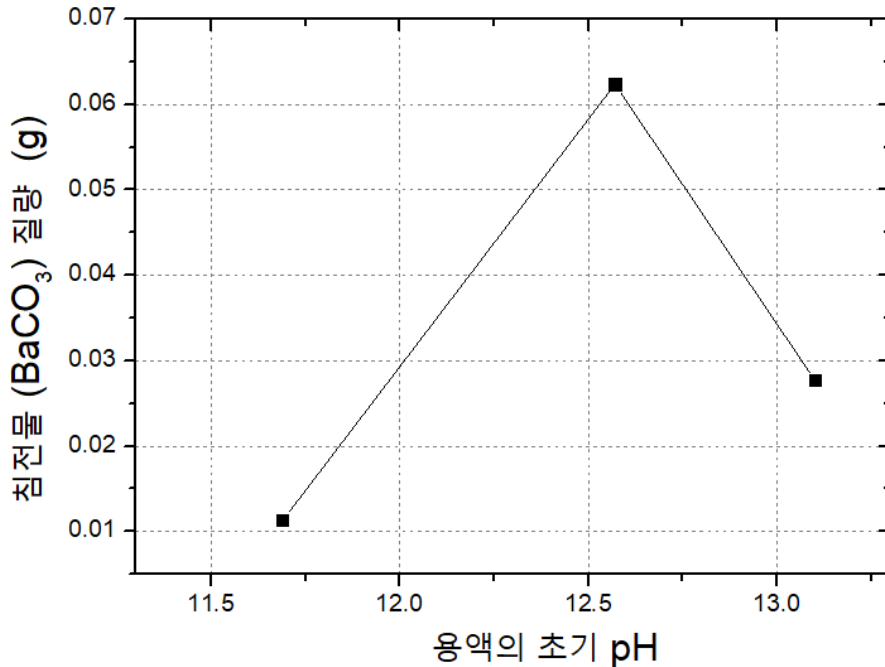
이것은 CO<sub>2</sub> 공급 전과 후의 용액의 pH 변화량과도 일치하는 결과이다. 용액에 더 많은 양의 CO<sub>2</sub>가 용해되어 포집될수록 용액의 pH는 더 많이 변하는 것으로 예상할 수 있다. 실제로 비슷한 pH의 수산화나트륨 용액과 수산화바륨 용액을 비교하면, pH가 약 11.5인 경우 수산화나트륨 용액은 pH가 11.53에서 5.97로 변해 5.56만큼이 감소하였지만, 수산화바륨 용액은 11.69에서 5.68로 6.01만큼이 감소하였다. 또한 pH가 약 12.5인 경우, 수산화나트륨 용액과 수산화바륨 용액의 pH 변화는 각각 12.61에서 10.44 (2.17 감소)와 12.57에서 9.72 (2.85 감소)이었으며, pH가 약 13.0인 경우, 수산화나트륨 용액과 수산화바륨 용액의 pH 변화는 각각 13.00에서 12.83 (0.17 감소)와 13.10에서 12.92 (0.18 감소)이었다.



<그림 12. 수산화바륨 용액 B에 의한 CO<sub>2</sub> 포집>

이렇게 수산화바륨 용액의 CO<sub>2</sub> 포집량이 비슷한 pH의 수산화나트륨에 비해서 크게 증가한 이유는, 염기성 용액에 의해 포집된 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>이 용액 속의 Ba<sup>2+</sup>

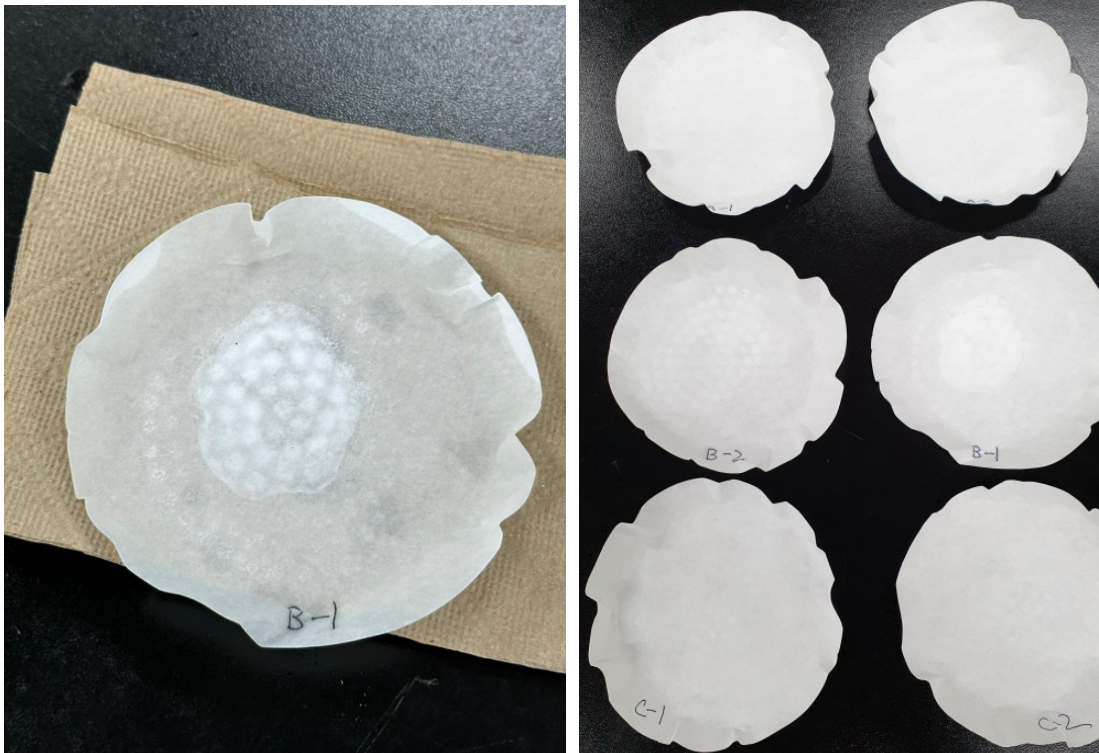
와 반응하여  $\text{BaCO}_3$  침전물을 만들어 용해된  $\text{CO}_2$ 가 추가적으로 소모되기 때문이다. 이 때문에  $\text{CO}_2$ 가 더 많이 용해될 수 있는 것이다. 이것은  $\text{CO}_2$ 를 공급하였을 때  $\text{CO}_2$  트랩 속의 수산화바륨 용액이 뿌옇게 변하였던 관찰 내용과 일치한다. 특히 그림 12과 같이 수산화바륨 용액 B의 경우가 가장 확연한 변화를 보여주었다. 이런 침전물은 수산화나트륨 용액에서는 관찰되지 않는 것이었다.



<그림 13. 용액의 초기 pH에 따른 침전물( $\text{BaCO}_3$ )의 양 변화>

표 3과 그림 13에 나타낸 것과 같이  $\text{CO}_2$ 를 포집한 수산화바륨 용액 A, B, C를 걸러서 모은 하얀 침전물( $\text{BaCO}_3$ )의 양은 각각  $0.0113(\pm 0.0060)$ ,  $0.0624(\pm 0.0125)$ ,  $0.0277(\pm 0.0001)$  g 이었다.(그림 14) pH가 더 높은 수산화바륨 용액 C에서 B에서보다 적은 침전물이 생기는 이유는, 더 높은 pH에서는  $\text{Ba}^{2+}$ 가 덜 녹기 때문이라고 설명할 수 있다. 높은 pH에서는 용액 속에 아주 많은 수산화이온 ( $\text{OH}^-$ )이 녹아 있으므로  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  고체의 낮은 용해도곱( $K_{sp}$ ) 때문에  $\text{Ba}^{2+}$ 가 많이 녹을 수 없으며 이 때문에  $\text{CO}_3^{2-}$ 과 침전반응을 일으킬  $\text{Ba}^{2+}$ 이 부족하기 때문이다.

그렇지만 수산화바륨 용액은 수산화나트륨 용액에 비해 더 많은  $\text{CO}_2$ 를 포집함으로써  $\text{CO}_2$  제거 효율을 크게 증가시킬 수 있었다. 뿐만 아니라  $\text{Ba}^{2+}$ 은  $\text{CO}_3^{2-}$ 와 침전반응을 통해 안정한 형태의  $\text{BaCO}_3$ 을 만들기 때문에 용액의 온도나 pH가 변했을 때 포집된  $\text{CO}_2$ 가 다시 공기 중으로 방출되는 것을 방지할 수 있다.



<그림 14. 수산화바륨 용액과 CO<sub>2</sub> 반응에 의한 침전물 생성>

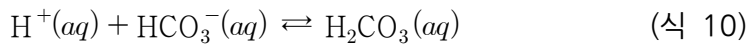
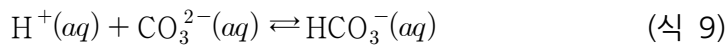
#### 4-3. 염화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

염화바륨 용액에 의한 CO<sub>2</sub> 제거 실험의 결과를 표 4에 정리하였다. 염화바륨 용액은 pH를 따로 조절하지 않았기 때문에 초기의 pH는 증류수의 pH와 거의 같은 6.41이었다. 따라서 수산화나트륨 용액이나 수산화바륨 용액과는 달리 염기성이 아니라 중성에 가까웠다. 여기에 CO<sub>2</sub>를 통과시켰을 때 회수된 CO<sub>2</sub>의 부피는 163.4(±1.3) mL로서 결과 4-1의 CO<sub>2</sub> 공급량 결정 실험의 결과(163.3(±3.1) mL)와 거의 변화가 없었다. 이것은 염화바륨 용액은 증류수보다 추가로 CO<sub>2</sub>가 포집되는 양이 없다는 것을 의미한다. 또한 CO<sub>2</sub> 공급 전과 후의 pH는 6.41에서 4.32(± 0.28)로 감소하였는데, 그 감소폭이 2.09이므로 오차 범위를 고려했을 때 증류수의 경우인 1.8과 거의 변화가 없다고 할 수 있다.

염화바륨 용액에는 Ba<sup>2+</sup>가 녹아 있으므로 CO<sub>2</sub>가 용해되어 생성되는 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>와 침전반응이 가능하므로 증류수에 비해 CO<sub>2</sub>가 추가로 용해되는 효과가 예상되었으나 실제로는 그 효과가 미미한 것으로 판단되었다. CO<sub>2</sub>를 공급하였을 때 수산화바륨 용액의 경우와는 달리 CO<sub>2</sub> 트랩에 어떠한 침전물도 관찰되지 않았으며, CO<sub>2</sub>를 모두 공급한 후 거름종이로 걸렀으나 남아 있는 침전물이 관찰되지 않았다.

수산화바륨 용액과 염화바륨 용액에는 모두  $Ba^{2+}$ 이 녹아 있어도  $CO_2$ 를 공급하였을 때 수산화바륨 용액에만  $BaCO_3$  침전물이 생기는 이유는 pH의 차이에 있다고 생각된다. 첫째로, 2021년에 수행된 전북대학교 과학영재교육원 사사과정 연구와 이번 연구의 4-2 실험에 의하면 염기성 용액은  $CO_2$ 를 효과적으로 용해시켜 포집한다. 그 결과  $Ba^{2+}$ 와 침전 반응을 일으킬  $CO_3^{2-}$ 가 충분히 존재하므로  $BaCO_3$  침전물을 많이 만들 수 있다.

그러나 이것만으로는 염화바륨 용액에  $BaCO_3$  침전물이 전혀 생성되지 않는 것을 설명하기에 충분하지 않다. 따라서 다음과 같은 두 번째 설명이 필요하다. 수산화바륨 용액과 달리 염화바륨 용액의 pH는 중성 또는 약한 산성이었다 (pH 6.41). 특히  $CO_2$ 를 공급하면 pH가 4.32까지 감소하였다. 이런 산성 조건에서는 르샤틀리에 원리에 따라 식 (3)과 (4)의 역반응인 다음 반응(식 (9)와 (10))이 많이 일어난다.



따라서  $Ba^{2+}$ 과 침전 반응을 일으킬  $CO_3^{2-}$ 가 절대적으로 줄어든다. 이렇게 감소된  $CO_3^{2-}$ 의 양은 식 (6)의 평형상수를 만족시키기에는 충분하지 않기 때문에 침전 반응이 일어나지 않는다. 그 결과 염화바륨 용액에서는 증류수에 비해  $CO_2$ 의 추가적인 용해가 일어나지 않는다.

표 4. 염화바륨 용액에 의한 이산화탄소 제거

염화바륨 용액	pH		이산화탄소 부피(mL)	침전물 질량(g)
	초기	최종		
1	6.41	4.51	164.3	0
2		4.12	162.5	0
평균	6.41	4.32	163.4	0
표준편차	0	0.28	1.3	0

## V. 결론 및 제언

대기 중의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )를 효과적으로 포집한 후 안정적인 형태인 침전물로 영구 제거하는 방법을 알아보기 위하여  $\text{CO}_2$  공급 장치,  $\text{CO}_2$  트랩, 수산화바륨 용액으로 이루어진 실험 장치를 만들어 실험하였다.

$\text{CO}_2$  공급 장치에 의해 일정량의  $\text{CO}_2$ 를 수산화나트륨 용액, 수산화바륨 용액, 염화바륨 용액에 각각 통과시켜  $\text{CO}_2$  포집량을 측정하였다. 수산화나트륨 용액은 2021년 전북대학교 과학영재교육원 사사과정에서 수행된 실험 결과와 일치하였는데, 염기성 용액은  $\text{CO}_2$ 를 효과적으로 용해시켰으며, pH가 높을수록  $\text{CO}_2$  포집량이 증가하였다. 수산화바륨 용액은 수산화나트륨 용액보다 더 많은  $\text{CO}_2$ 가 포집되어 제거되었다. 이것은 염기성 용액에 의해  $\text{CO}_2$ 를 효과적으로 용해시킬 뿐만 아니라 그 결과 생성된  $\text{CO}_3^{2-}$ 이 용액 속의  $\text{Ba}^{2+}$ 과 침전 반응을 일으켜 더 많은  $\text{CO}_2$ 를 용해시키기 때문이다. 이것은  $\text{CO}_2$  통과 후 수산화나트륨 용액보다 pH 변화가 더 크게 감소된 것과, 침전 반응의 결과로 생긴  $\text{BaCO}_3$ 의 관찰로 확인할 수 있었다. 염화바륨 용액에서는 증류수와 비교할 때 추가적인  $\text{CO}_2$ 의 포집을 관찰할 수 없었는데, 이것은 낮은 pH로 인하여 용액 속의  $\text{CO}_3^{2-}$ 가 감소함으로써  $\text{BaCO}_3$  침전물이 생성되지 못하기 때문으로 판단된다.

이번 연구에서는  $\text{CO}_2$ 를 효과적으로 포집하기 위해서는 용액의 pH를 높여야한다는 사실을 재확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, 염기성 용액 속에  $\text{Ba}^{2+}$ 를 녹여놓음으로써  $\text{CO}_2$  용해의 결과물인  $\text{CO}_3^{2-}$ 과 반응하여 침전시켜서 안정적인 형태인  $\text{BaCO}_3$ 를 만들어 영구적으로 제거하고  $\text{CO}_2$ 를 추가적으로 포집할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이것은 대기 중  $\text{CO}_2$ 를 제거하는데 염기성 용액이 효과적이기는 하지만, 이후 보관 과정에서 온도가 상승하거나 pH가 변할 경우 용액에 녹아 있던  $\text{CO}_2$ 가 공기 중으로 다시 방출될 수 있다는 단점을 보완할 수 있음을 알려준다. 즉, 용해된  $\text{CO}_2$ 를  $\text{BaCO}_3$ 로 변환시켜 이를 따로 관리하면 대기 중에서  $\text{CO}_2$ 가 영구적으로 제거시킬 수 있다는 것을 알 수 있다는 점에서 이 연구는 이산화탄소에 의한 지구온난화를 감소시키는데 큰 의미가 있다고 생각된다.

## VI. 참고문헌

1. “Global Warming of 1.5°C”, IPCC, 2018
2. “지구온난화 1.5°C 특별보고서 해설서”, 대한민국 기상청, 2020.
3. “Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide”, NOAA, 2023.  
(<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>)
4. “Kyoto Protocol-Targets for the first commitment period”, UN, 1997.
5. 민병무, “연소 후 이산화탄소 포집기술 현황”, KIC News, 12, 15-29, 2009.
6. 이창근, “이산화탄소 포집기술 최신 개발 현황”, 공업화학 전망, 12, 30-42, 2009.
7. 한건우, 안치규, 이창훈, 김제영, 전희동, “암모니아수를 이용한 CO<sub>2</sub> 포집 기술”, News & Information for Chemical Engineers, 29, 594-599, 2011
8. 여국현, “건식 흡착제를 이용한 이산화탄소 포집기술 동향”, Konetic Report, 2016.
9. 김예소, 김희성, 임준모, 정휘성, 차재혁, “이산화탄소 제거제 성능 평가 연구”, 2021학년도 사사과정 연구성과 발표대회 논문집, 전북대학교 과학영재교육원, 2021.

화학A

02\_일회용마스크 성분인 폴리에틸렌 분해 미생물  
확인 연구



# 일회용마스크 성분인 폴리에틸렌 분해 미생물 확인 연구

박지환 (중앙고등학교 1학년)

임서경 (동원중학교 3학년)

김소연 (동원중학교 3학년)

김주한 (회현중학교 3학년)

지도교수 : 이인아 (군산대학교 화학과)

## 초록

본 연구에서는 인간이 일상생활에서 사용하는 일회용마스크의 성분인 폴리에틸렌을 분해하는 미생물에 대하여 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 일회용마스크 성분인 폴리에틸렌을 분해하기 위하여 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*)을 이용하였고, 사용하지 않은 깨끗한 일회용마스크를 작은 크기로 잘게 잘라 녹농균과 날짜별로 0, 1, 3, 5, 7, 9일(days)간 37°C에서 배양한 후 필터 과정을 거쳐 얻은 액을 상온에서 건조시킨 후 각 폴리에틸렌의 양을 측정하였다. 그 결과 날짜별로 폴리에틸렌의 양을 측정했을 때 시간이 지남에 따라 증가하여 일회용마스크 내 녹농균을 증식하면 일회용마스크 성분 중 하나인 폴리에틸렌이 분해되어 미세플라스틱을 관찰 할 수 있었다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

인간이 일상생활에서 사용하는 일회용마스크는 장기적으로 착용 시 일회용마스크 안에 공기가 적어 일부 사람들에게 호흡곤란을 초래하고, 일회용마스크는 피부와 직접 접촉하므로 장시간 착용 시 피부에 문제를 일으켜 입 주위로 붉은 반점이 나타나는 등 피부에 트러블이 발생한다(Brooks et al., 2022). 일회용마스크의 종류와 재질은 다양하며, 일회용마스크는 필터 소재, 마감재, 코와 입을 막아주는 와이어, 이어줄 기능 부착물로 구성되어 있다(Rahman et al., 2022). 일회용마스크의 필터 소재는 폴리프로필렌(polyethylene, PP), 폴리에스터(polyester, PE) 등 합성섬유를 사용하여 공기를 통과시키며 먼지, 바이러스, 세균 등을 걸러내고, 마감재는 일회용마스크를 착용하는 부분으로 면, 폴리우레탄, 폴리에스터 등의 소재로 제작되어 일회용마스크를 피부에 밀착된 상태를 유지하고 착용감과 내구성을 높이는 역할을 한다(Yu et al., 2023). 일회용마스크에서 코와 입을 막는 와이어는 알루미늄선이나 구리선으로 이루어져 일회용마스크의 윤곽을 유지하여 입과 코를 완전히 가리고 누출을 방지하며, 이어줄 기능 부착물은 탄성 고무, 나일론 등의 소재로 일회용마스크를 편안하게 착용할 수 있다(Ko et al., 2021). 일회용마스크를 만들 때 사용되는 부직포는 폴리에틸렌, 폴리에스터 등 다양한 합성섬유로 제작되어 접착제와 같이 압축

해서 만들기 때문에 이러한 성분들은 접촉성 피부염을 유발할 수 있으며, 일회용 마스크 위에 금속이나 고무줄이 있어 접촉성 피부염으로 이어질 수 있다(Nightingale et al., 2022). 일회용마스크 착용 시 땀을 지속적으로 흘리면 일회용마스크 내에 습기가 생성되어 미생물이 증식하기 좋은 환경이 되고, 일회용마스크를 장시간 사용할 경우 오염 및 변형이 일어나기 쉬우므로 정기적인 세척과 교체가 필요하여 일회용마스크를 유지하는데 문제가 있다(Erickson et al., 2021). 또한 일회용마스크는 사람들이 표정을 인식하고 의사소통하는 것을 어렵게 하므로 사회적 연결성 문제를 일으킬 가능성이 있다(Yousefimashouf et al., 2023). 우리의 관심 부분은 일부 연구에서 일회용마스크와 같은 일상적으로 사용되는 제품에서 발생하는 미세플라스틱에 대한 우려가 제기되고 있고 일회용마스크는 일반적으로 폴리프로필렌과 폴리에스터 등의 화학물질로 만들어지며 이러한 섬유는 사용 후 자연적으로 분해되지 않고 작은 조각으로 분해될 가능성이 있다(Shen et al., 2023). 우리는 일회용마스크에서 발생하는 미세플라스틱에 대한 연구가 상대적으로 적고, 그 영향과 위험성에 대한 정확한 평가가 이루어지지 않아 일회용마스크 사용 등 일상생활에서 발생하는 미세플라스틱에 대한 관심과 연구가 더 필요하다. 우리가 찾고 이해한 것은 일회용마스크 성분인 폴리프로필렌과 폴리에스터는 열가소성 고분자로 분류되어 연소 시 분해되고, 일회용마스크 성분 중 일부는 미세먼지와 상호작용하여 미세플라스틱을 생성할 수 있다는 것이다(Vijayalakshmi et al., 2022). 추가적으로 일회용마스크 분해 촉진 물질에 대하여 조사한 결과 유기탄화물(organic carbon)은 자동차 배기가스와 산불 등에서 발생하는 화합물이고, 미량금속(trace metals)은 공업과 교통 등으로 인해 발생하는 수은·납·카드뮴 등이며 황산염(sulfate)은 황화물과 산성 물질이 반응하여 생성한다(Xu et al., 2023). 또한 질산염(nitrate)은 질소산화물과 산성 물질이 반응하여 생성하고 암모니아(ammonia)는 가축사육·비료 사용 등으로 인해 발생하며 이외에도, 염화물, 광물, 유기물, 광물, 세균, 곰팡이 등이 미세먼지 및 초미세먼지에 포함된다.

미세플라스틱(Microplastic)은 크기가 5mm 이하의 작은 플라스틱 입자로, 플라스틱이 바다로 흘러들어가 풍화와 물리적 작용에 의해 작은 크기로 분해되어 해양 생태계에 널리 퍼져있어 해수면뿐만 아니라 해저 퇴적물과 북극 해빙에서도 발견되는데, 이 미세플라스틱이 해양 생물에 유입되면 물리적인 상처에서부터 장폐색 등 여러 부작용을 겪는다(Jiang et al., 2022; Schwabl et al., 2019). 이렇듯 어류부터 인간에 이르기까지 먹이사슬의 모든 단계에 있는 생물들은 미세플라스틱을 먹을 수 있고, 미세플라스틱은 우리 인간의 식탁에 흔히 올려지는 해산물을 통해 인체로 유입된다(Liang et al., 2022). 미세플라스틱은 인체에 영향을 미치며 미세플라스틱 입자 자체가 물리적으로 인체에 영향을 미칠 수 있으며, 인체의 호흡기 및 소화기 상피세포와 접촉하여 세포 포식 메커니즘을 통해 인체에 흡수되어 내부 장기 손상 및 염증, 세포증식 및 괴사, 미세플라스틱 섭취로 인한 면역세포 억제 등을 유발한다(Smith et al., 2018; Kannan & Vimalkumar, 2021). 특히 플라스틱 입자가 작을수

록 위험하고 입자가 작을수록 생체 조직의 장벽을 통과해 혈관을 침투할 수 있다 (Ragusa et al., 2021). 일회용마스크를 반복적으로 착용하거나 사용함으로써 발생하는 습도는 세균 번식을 촉진할 수 있으며, 일회용마스크를 취급할 때 청결하지 않은 손으로 만지거나 바닥에 놓아두면 세균이 일회용마스크에 달라붙을 수 있어 일회용마스크 내 미생물 존재 여부를 조사하였다(Košir et al., 2022). 일회용마스크 내부에 생길 수 있는 세균의 종류에는 연쇄상구균(*Streptococcus*), 포도상구균(*Staphylococcus*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 대장균(*Escherichia coli*), 클로스트리듐속(*Clostridium spp.*), 고초균(*Bacillus spp.*), 항생제 내성균류(antibiotic-resistant bacteria)가 있다(Martinez et al., 2022). 또한 폴리머 분해 미생물을 조사한 결과, 폴리에틸렌(PE) 분해균의 종류에는 이데오넬라 사카이엔시스(*Ideonellasakaiensis*), 로도코커스 로도크로스(*Rhodococcus rhodochrous*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 바실러스 세레우스(*Bacillus cereus*), 스프링고모나스 균속(*Sphingomonas sp.*), 스트렙토마이세스균속(*Streptomyces sp.*)이 있다(김예빈 & 염수진, 2023). 이 실험에서는 일회용마스크 내부에서 발생할 수 있는 균과 폴리에틸렌 분해균에서 공통적으로 존재하는 녹농균을 조사하였다. 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*)은 눈물 형성균으로 알려져 있고 그람 음성균에 속하는 세균 중 하나로 토양, 물, 식물, 동물, 인간의 체내에서 발견되며 생존 및 번식이 가능하여 다양한 생물학적, 생화학적, 유전적 특성을 가지고 있다(Wood et al., 2023; Lorusso et al., 2022). 이 균은 일부 환경에서는 유익한 역할을 하지만, 특정 조건에서는 감염의 원인이 될 수 있다(Ng et al., 2023). 녹농균은 기생 또는 천식 감염, 상부 호흡기감염, 요로감염 등 다양한 감염을 유발할 수 있으며, 특히 면역력이 약하거나 기저질환이 있는 환자에게 주로 문제가 된다(Liao et al., 2022; Brandão et al., 2023). 녹농균은 환경에 존재하는 미생물 중에서 유전자 이동 능력이 뛰어나고 다양한 항생제 내성 유전자를 보유하고 있어 감염 치료에 대한 전략을 어렵게 하는 중요한 병원균 중 하나이다(Kunz et al., 2022). 또한 녹농균은 일반적으로 유기물의 분해자 역할을 하며 생태계에서 중요한 역할을 한다(Mazzolini et al., 2023). 그 밖에도 일반적으로 사용되는 항생제에 대하여 조사한 결과 카바페넴(carbapenem)계 항생제는 메로페넴(meropenem), 임이파넴(imipenem), 에르타페넴(ertapenem)이 있고 퀴놀론(quinolone)계 항생제에는 시프로플록사신(ciprofloxacin), 레보플록사신(levofloxacin)이 있으며, 아미노글리코사이드(aminoglycoside)계 항생제에는 아미카신(amikacin), 토브라마이신(tobramycin)이 있다. 폴리믹신(polymyxin)계 항생제에는 콜리스틴(colistin), 폴리믹신 B(polymyxin B)가 사용된다(Aminov, 2010). 본 연구에서는 문헌 조사를 통해 일회용마스크에서 실제로 미세플라스틱이 발생할 수 있는 경우를 확인하고자 하였다. 또한 일회용마스크를 장시간 착용하면 인체에 해로운 균이 많이 발생하는데 이 균들 중에서 미세플라스틱을 만들어 내는 균주가 존재한다는 것을 문헌을 통해 예측하였고 실험을 통하여 확인하였다.

## II. 이론적 배경

일회용마스크는 개인의 선택에 의하여 사용되어 왔지만, 코로나19로 인해 전 세계적으로 일회용마스크의 사용이 증가하여 우리의 일상에서 쉽게 접할 수 있게 되었다. 일회용마스크는 바이러스, 유해가스 등 인체에 유해한 물질을 걸러내어 유해 물질로부터 우리 몸을 보호하지만 한편으로 환경에도 영향을 미친다(Spennemann, 2022). 일회용마스크를 소각하는 과정에서 폴리프로필렌을 연소시켜 일산화탄소, 다이옥신 등 유해 물질을 발생시켜 환경오염을 유발한다(Jemec Kokalj et al., 2022). 우리는 실험을 시작하기 전에 문헌 조사를 통하여 두 가지의 가설을 설정하였는데 첫 번째 가설은 일회용마스크를 분해하는 세균이 있는지 확인하는 것이다. 중국 산둥 대학과 영국 리즈 대학, 미국 메릴랜드 대학, 호주 애들레이드 대학 등 국제 연구팀에 따르면 코로나19가 발생하기 전인 2019년 전 세계 일회용마스크 총생산량은 약 120억 개로, 2020-2022년 3년간 전 세계 일회용마스크 판매량은 9285억 개에 달했고, 이 중 일회용마스크는 약 9000억 개로 추산되었다(Liu et al., 2023). 오스트리아에 있는 비엔나 자연생명과학대학 연구진에 의하면 소가 사료를 섭취하면 반추 활동을 통해 소화하는 제1위내에서 음료수 병이나 식품 포장재, 합성섬유 등에 쓰이는 플라스틱을 분해하는 미생물을 찾아냈다고 발표하였다(Quartinello et al., 2021). 또한 종전연구에서 녹농균의 일종인 슈도모나스균(*Pseudomonas*)이 플라스틱 분해 능력이 있고 이들 중 유전자 구성 비율이 98%에 달한다는 결과를 활용하여 제 1위내 미생물에서 유전자 샘플을 확보하는데도 성공하였다(Selvakumar et al., 2021). 두 번째 가설은 일회용마스크를 장시간 착용하면 인체에 유해한 세균이 일회용마스크에서 증식할 수 있는데, 그중 일회용마스크를 분해하는 균주가 많이 발생할 수 있으며, 이 세균 중 일부는 미세플라스틱을 생성하는 균주일 수 있다. 이러한 배경들을 바탕으로 마스크의 장시간 사용이 주는 영향성을 본 연구를 통해 확인하고자 하였다.

## III. 연구 방법

### III-1. 균 배양실험: 3일 이상 착용한 일회용마스크에서 다양한 세균의 존재 확인

우리가 3일 이상 착용한 일회용마스크에 세균이 있는지 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 이 실험에서는 고체배지를 제조하여 실험에 사용하였으며, 준비한 200mL 삼각플라스크에 soy broth 3%, agar 2%를 미세저울을 이용하여 무게를 측정하였고, 100mL 눈금실린더를 이용하여 증류수 100mL의 무게를 측정해 첨가한 후 고압 증기멸균기(autoclav)를 이용하여 멸균한 다음, 준비해 놓은 페트리디쉬(petridish)에 부어 상온에서 굳혔다. 준비한 1.5mL 마이크로튜브(microtube)에 마이크로피펫(micro pipette)을 사용하여 멸균된 증류수 500 $\mu$ L를 첨가한 후, 본 실험을 위해 착용하고 있던 일회용마스크 안쪽 부분을 면봉으로 문지른 뒤 멸균된 가위로 자른 후 준비해 놓은 증류수 500 $\mu$ L가 첨가되어 있는 1.5mL 마이크로튜브에 넣고 볼텍스 믹서

(vortex mixer)를 이용해 면봉에 부착된 균들이 포함된 실험액을 이용하여 실험하였다. 그 후 실험액 100 $\mu$ L를 준비한 고체배지에 분주하고 스프레더(spreader)를 사용해 도말한 후, 배양기(incubator)를 이용하여 35~37 $^{\circ}$ C에서 24시간 배양한 다음날 페트리디쉬에 배양된 균 상태를 확인하였다.

### III-2. 일회용마스크, 녹농균, 대장균 배양실험

이 실험에 사용한 균주인 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*) KCTC 2695, 대장균(*Escherichia coli*) KCTC 1039를 생물자원센터에서 구입하여 사용하였다. 이 실험에서는 액체배지를 사용하였는데 500mL 삼각플라스크 6개를 준비해 미세저울을 이용하여 soy broth 3%의 무게를 측정하였고, 100mL 눈금실린더를 이용하여 증류수 300mL의 무게를 측정해 첨가한 후 고압증기멸균기를 이용하여 멸균하였다. 멸균된 6개의 삼각플라스크에 사용하지 않은 깨끗한 일회용마스크를 잘게 자른 것과 녹농균과 대장균 배양액( $1 \times 10^7$  cfu/mL)을 각각 35~37 $^{\circ}$ C에서 0, 1, 3, 5, 7, 9일간 배양하였다. 날짜별로 배양된 혼합물은 필터페이퍼(filter paper)를 이용하여 1차로 여과한 후 주사기필터(syringe filter)를 이용하여 2차 여과하였다. 미세저울을 이용하여 비어있는 페트리디쉬의 무게를 측정한 후 필터(Filtration) 과정을 거친 혼합액을 준비한 페트리디쉬에 부어 흡후드(fume hood)에서 24시간 이상 자연 건조한 후 미세저울을 이용하여 건조된 미세플라스틱 시료의 양을 측정하였다. 대장균도 위와 동일한 방법으로 진행하였다. 위와 동일한 방법으로 녹농균, 대장균을 이용하여 각각 5회 반복실험을 한 후 평균을 내었다.

### III-3. 통계처리

모든 데이터는 평균 $\pm$ 표준오차로 나타내었고, 통계학적 분석은 Microsoft Office Excel의 one-way ANOVA Test를 활용하였으며, \*P<0.05를 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

## IV. 연구 결과

### IV-1. 균 배양실험: 3일 이상 착용한 일회용마스크에서 다양한 세균의 존재 확인

본 실험에서는 3일 이상 착용한 일회용마스크 내부에 묻은 균을 면봉을 이용하여 수집하고 추출한 실험액을 도말 후 배양하여 콜로니(colony)를 확인한 결과 한번 이상 착용하고 있던 일회용마스크에서의 다양한 종류의 세균이 존재를 확인하였다.

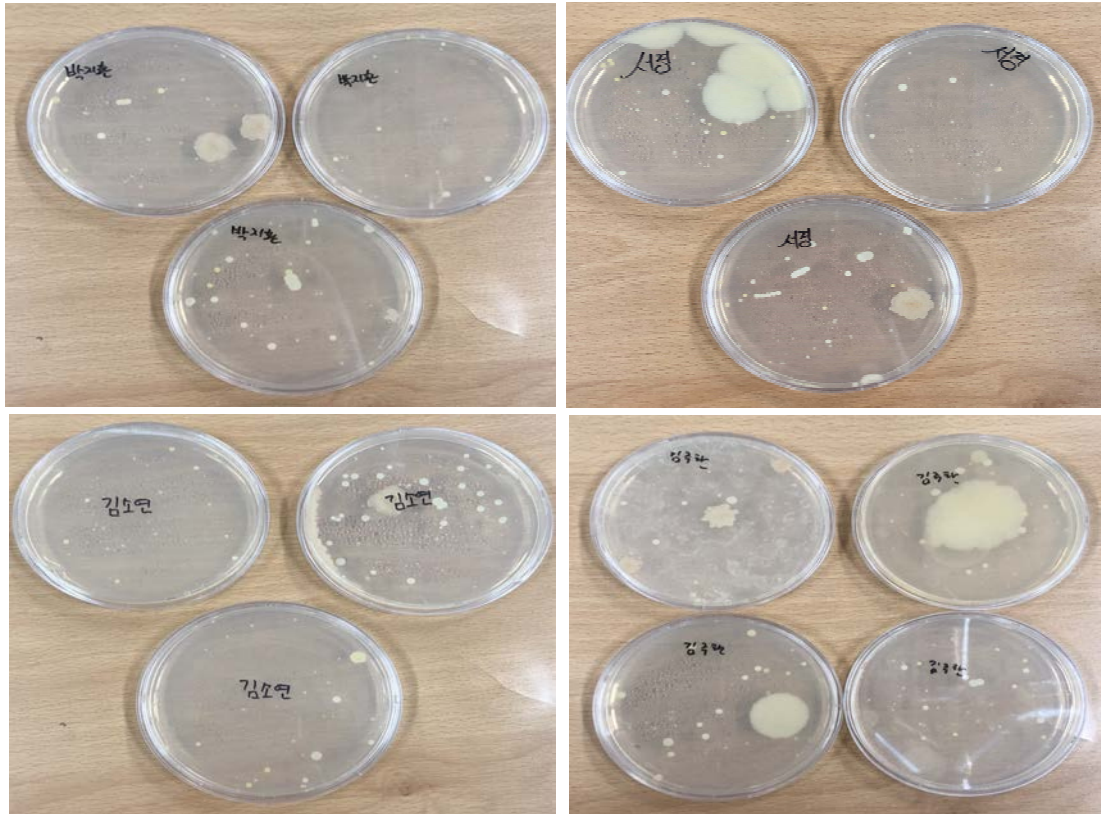


그림 1. 일회용마스크 착용 후 균 배양

#### IV-2. 일회용마스크와 녹농균 배양 후 미세플라스틱량 비교 실험: 녹농균과 배양에서 미세플라스틱 검출 확인

사용하지 않은 일회용마스크를 녹농균 및 대장균과 함께 배양한 후 생성된 미세플라스틱을 측정 한 결과, 0일(days)에는 녹농균과 배양했을 경우  $0.0003 \pm 0.00001 \text{mg}$ , 대장균과 배양했을 경우  $0.0001 \pm 0.00001 \text{mg}$ 이었고, 1일(days)째 무게를 측정 한 결과 녹농균과 배양했을 경우  $0.1007 \pm 0.002 \text{mg}$ , 대장균과 배양했을 경우  $0.0501 \pm 0.004 \text{mg}$ 이었으며, 3일(days)째 무게를 측정 한 결과 녹농균과 배양했을 경우  $0.1067 \pm 0.05 \text{mg}$ , 대장균과 배양했을 경우  $0.0637 \pm 0.07 \text{mg}$ 이었다. 5일(days)째 무게를 측정 한 결과 녹농균  $0.3642 \pm 0.08 \text{mg}$ , 대장균  $0.0781 \pm 0.01 \text{mg}$ 이었고, 7일(days)째 무게를 측정 한 결과 녹농균과 배양했을 경우  $0.4992 \pm 0.09 \text{mg}$ , 대장균과 배양했을 경우  $0.079 \pm 0.02 \text{mg}$ 이었으며, 배양 후 9일(days)째 무게를 측정 한 결과 녹농균과 배양했을 경우  $0.5721 \pm 0.12 \text{mg}$ , 대장균과 배양했을 경우  $0.0822 \pm 0.05 \text{mg}$ 으로 측정되었다.

Table 1. 일회용마스크 날짜별 배양 후 미세플라스틱 측정량 결과

균	days					
	0 days	1 days	3 days	5 days	7 days	9 days
녹농균	0.0003 ±0.00001	0.1007 ±0.002	0.1067 ±0.05	0.3642 ±0.08	0.4992 ±0.09	0.5721 ±0.12
대장균	0.0001 ±0.00001	0.0501 ±0.004	0.0637 ±0.07	0.0781 ±0.01	0.079 ±0.02	0.0822 ±0.05

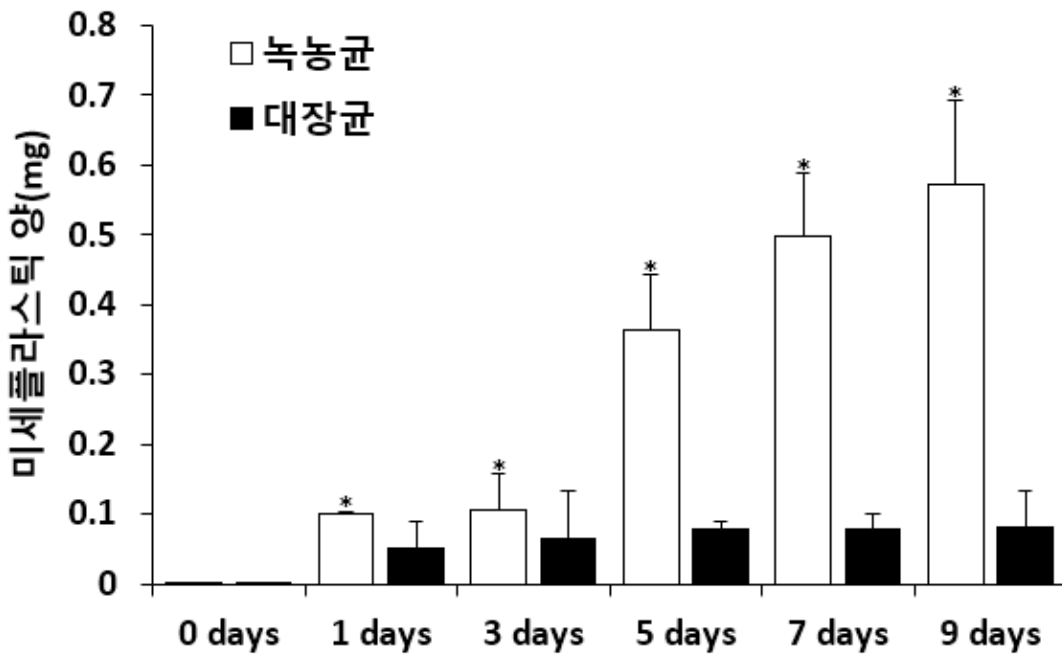


그림 2. 녹농균과 대장균의 배양 일 수에 따른 미세플라스틱의 양 측정

## V. 결론 및 제언

본 연구 활동의 목적은 일회용마스크를 사용하였을 때 일회용마스크의 성분인 폴리에틸렌의 분해를 균주를 이용한 직접적인 실험을 통하여 미세플라스틱의 검출 여부를 확인하고자 하였다. 우리가 사용하는 일회용마스크는 세균에 의한 손상보다 사용감에 의한 손상이 더 클 수 있지만, 우리의 연구는 세균에 의한 일회용마스크 손상에 대한 가능성을 제시하고 관찰하여 증명한 것에 의의를 두었다. 녹농균은 눈물 형성균으로 불리며 일회용마스크를 장기간 사용 시 발견될 수 있으며, 일회용마스크의 구성 성분 중 하나인 폴리에틸렌을 분해한다고 알려져 있기 때문에 실제 실험을 통해 이 균주가 일회용마스크에서 증식하면 일회용마스크 구성 성분인 폴리에틸렌이 분해되어 미세플라스틱을 형성한다는 가설을 확인하였다. 본 연구 결과의 중요성은 일회용마스크는 미세먼지와 세균 감염을 예방하기 위해 사용하는 것이지만, 오랜 시간 사용할 경우 증식된 세균에 의해 미세플라스틱이 발생하여 우리 몸

에 유입될 수 있어 일회용마스크 사용법에 대한 숙지는 매우 중요하다는 것을 증명하였다. 더 나아가 우리가 실험을 통하여 더 알아보고 싶어진 내용은 녹농균에 의해 일회용마스크가 분해되어 미세플라스틱이 생기는 것을 확인하였으나, 미세플라스틱의 성분에는 분석하지 못하였기 때문에 향후 기존 연구 문헌에서 언급된 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌과 같은 고분자가 검출이 되는지 확인하는 분석실험을 하고자 한다.

## VI. 참고문헌

- 김예빈, 염수진 (2023). 폴리에틸렌과 폴리스티렌의 생물학적 분해 동향. *News & Information for Chemical Engineers*, 41(5), 532-541.
- Aminov RI (2010). A brief history of the antibiotic era: lessons learned and challenges for the future. *Frontiers in microbiology*, 1, 134.
- Brandão AC, Putzeys L, Pires DP, Voet M, Paeshuyse J, Azeredo J, Lavigne R (2023). Impact of phage predation on *P.aeruginosa* adhered to human airway epithelium: major transcriptomic changes in metabolism and virulence-associated genes. *RNA biology*, 20(1), 235-247.
- Brooks JK, Sultan AS, Jabra-Rizk MA (2022). Prolonged facial mask wear is a concern for the development of dysbiotic microbiome. *Respiratory Medicine and Research*, 81, 100877.
- Erickson SP, Foshee JP, Baumann BC, Council ML, MacArthur KM (2021). Mohs surgical site infection rates and pathogens for the mask-covered face during the COVID-19 pandemic versus the pre-COVID era. *Dermatologic Surgery*, 47(11), 1507.
- Jemec Kokalj A, Dolar A, Drobne D, Marinšek M, Dolenc M, Škrlep L, Škapin AS (2022). Environmental hazard of polypropylene microplastics from disposable medical masks: acute toxicity towards *Daphnia magna* and current knowledge on other polypropylene microplastics. *Microplastics and nanoplastics*, 2, 1-15.
- Jiang H, Su J, Zhang Y, Bian K, Wang Z, Wang H, Wang C (2022). Insight into the microplastics release from disposable face mask: Simulated environment and removal strategy. *Chemosphere*, 309, 136748.
- Kannan K, Vimalkumar K. (2021). A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 724989.
- Ko JS, Kwak YG, Kim ES (2021). A study on the use of high density polyethylene masks to prevent respiratory infection in magnetic resonance imaging. *Journal of the Korean Society of MR Technology*, 31(1), 1-8.

- Košir T, Fric K, Filipić A, Kogovšek P (2022). Bacterial filtration efficiency of different masks. *Strojniški vestnik–Journal of Mechanical Engineering*, 68(4), 225–232.
- Köhler T, Luscher A, Falconnet L, Resch G, McBride R, Mai QA, Van Delden C (2023). Personalized aerosolised bacteriophage treatment of a chronic lung infection due to multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Nature Communications*, 14(1), 3629.
- Kunz Coyne AJ, El Ghali A, Holger D, Rebold N, Rybak MJ (2022). Therapeutic strategies for emerging multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Infectious diseases and therapy*, 11(2), 661–682.
- Liang H, Ji Y, Ge W, Wu J, Song N, Yin Z, Chai C (2022). Release kinetics of microplastics from disposable face masks into the aqueous environment. *Science of The Total Environment*, 816, 151650.
- Liao C, Huang X, Wang Q, Yao D, Lu W (2022). Virulence factors of *Pseudomonas aeruginosa* and antivirulence strategies to combat its drug resistance. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, 926758.
- Liu Q, Liu R, Zhang X, Li W, Harner T, Saini A, Abbatt JP (2023). Oxidation of commercial antioxidants is driving increasing atmospheric abundance of organophosphate esters: Implication for global regulation. *One Earth*, 6(9), 1202–1212.
- Lorusso AB, Carrara JA, Barroso CDN, Tuon FF, Faoro H (2022). Role of efflux pumps on antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15779.
- Martinez E, Crèvecoeur S, Dams L, Rabecki F, Habraken S, Haubruge E, Daube G (2022). Effect of five decontamination methods on face masks and filtering facepiece respirators contaminated with *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Access Microbiology*, 4(3).
- Mazzolini R, Rodríguez-Arce I, Fernández-Barat L, Piñero-Lambea C, Garrido V, Rebollada-Merino A, Lluch-Senar M (2023). Engineered live bacteria suppress *Pseudomonas aeruginosa* infection in mouse lung and dissolve endotracheal-tube biofilms. *Nature Biotechnology*, 1–10.
- Ng QX, Ong NY, Lee DYX, Yau CE, Lim YL, Kwa ALH, Tan BH (2023). Trends in *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) bacteremia during the COVID-19 pandemic: a systematic review. *Antibiotics*, 12(2), 409.
- Nightingale M, Mody M, Rickard A, Cassone M (2022). Bacterial contamination on used face masks in healthcare personnel. *Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology*, 2(S1), s86–s87.

- Quartinello F, Kremser K, Schoen H, Tesei D, Ploszczanski L, Nagler M, Guebitz GM (2021). Together is better: the rumen microbial community as biological toolbox for degradation of synthetic polyesters. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 500.
- Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, Catalano P, Notarstefano V, Carnevali O, Giorgini E (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment international*, 146, 106274.
- Rahman MZ, Hoque ME, Alam MR, Rouf MA, Khan SI, Xu H, Ramakrishna S (2022). Face masks to combat coronavirus (covid-19)–processing, roles, requirements, efficacy, risk and sustainability. *Polymers*, 14(7), 1296.
- Schwabl P, Köppel S, Königshofer P, Bucsecs T, Trauner M, Reiberger T, Liebmann B (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of internal medicine*, 171(7), 453–457.
- Selvakumar V, Gopalsamy P, Muthusamy K, Manivel T, Chelliah R, Sundarraj DK, Oh D (2021). Biodegradation of polypropylene by *Pseudomonas aeruginosa* isolated from wastewater associated soil; A potential method to eliminate the plastic pollution to save ecosystem.
- Shen R, Guo Y, Wang S, Tuerxun A, He J, Bian Y (2023). Biodegradable electrospun nanofiber membranes as promising candidates for the development of face masks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1306.
- Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current environmental health reports*, 5, 375–386.
- Spennemann DH (2022). Environmental decay of single use surgical face masks as an agent of plastic micro-fiber pollution. *Environments*, 9(7), 94.
- Vijayalakshmi S, Gopalsamy P, Muthusamy K, Sundarraj DK, Ramesh T, Oh DH, Karuppanan S (2022). Environmental hazard of polypropylene from disposable face masks linked to the COVID-19 pandemic and Its possible mitigation techniques through a green approach. *Journal of Chemistry*, 2022.
- Woo JH, Seo HJ, Lee JY, Lee I, Jeon K, Kim B, Lee K (2023). Polypropylene nanoplastic exposure leads to lung inflammation through p38-mediated NF- $\kappa$ B pathway due to mitochondrial damage. *Particle and Fibre Toxicology*, 20(1), 1–17.
- Wood SJ, Kuzel TM, Shafikhani SH (2023). *Pseudomonas aeruginosa*: Infections, animal modeling, and therapeutics. *Cells*, 12(1), 199.
- Xu X, Li T, Zhen J, Jiang Y, Nie X, Wang Y, Chen J (2023). Characterization

of Microplastics in Clouds over Eastern China. *Environmental Science & Technology Letters*.

Yousefimashouf M, Yousefimashouf R, Alikhani MS, Hashemi H, Karami P, Rahimi Z, Hosseini SM (2023). Evaluation of the bacterial contamination of face masks worn by personnel in a center of COVID 19 hospitalized patients: A cross-sectional study. *New Microbes and New Infections*, 52, 101090.

Yu J, del Carmen Munguía-López A, Cecon VS, Sánchez-Rivera KL, Nelson K, Wu J, Huber GW (2023). High-purity polypropylene from disposable face masks via solvent-targeted recovery and precipitation. *Green Chemistry*, 25(12), 4723-4734.



화학A

03\_메틸 살리실레이트 합성과 구조 분석에 관한  
연구



# 메틸 살리실레이트 합성과 구조 분석에 관한 연구

진서준 (안동중학교 2학년)

지도교수 : 한지훈 (국립안동대학교 화학생명공학과)

## 초록

유기합성화학은 현재까지 제약 산업에 지대한 영향을 미치고 있다. 본 연구에서는 의약품으로 널리 사용되고 있는 메틸 살리실레이트를 살리실산으로부터 합성하고자 한다. 분자 구조 모형을 만듦으로서 살리실산과 메틸 살리실레이트의 분자 구조를 이해하고 이를 바탕으로 에스터화 반응을 이해한다. 에스터화 반응을 직접 실험한 후 박층크로마토그래피(Thin layer chromatography, TLC)을 이용하여 반응과 생성을 확인한다. 칼럼 크로마토그래피(Column chromatography)를 이용하여 생성물을 정제한 후 최종적으로 핵자기공명분광법(Nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)을 통해 메틸 살리실레이트를 확인한다.

**주요용어** : 분자 모형, 에스터화, 박층크로마토그래피, 칼럼 크로마토그래피, 핵자기공명분광법

## I. 서론

### 1. 동기 및 목적

유기화학의 발전과 함께 탄생한 유기합성은 학문적인 발전해 왔을 뿐 만 아니라 제약 산업 발전에 지대한 영향을 미치고 있다. 합성의약품은 분자량이 작고 분자구조가 단순하여 분석하기 쉬우며 동일한 반응을 통해 얻을 수 있기 때문에 제조공정에 용이하다. 대표적인 예시로서 살리실산 유도체를 들 수 있다. 버드나무 껍질에 성분인 살리실산은 예로부터 해열제와 진통제로 사용되어졌다. 하지만 신맛이 나고 속이 쓰리는 부작용이 있었다. 유기화학자들은 약효는 유지하되 부작용을 없애기 위해 구조 변형된 합성의약품을 찾기 위해 노력하였다. 이로써 탄생한 합성의약품으로서 우리가 널리 사용하고 있는 살리실산소듐, 메틸 살리실레이트, 아세틸살리실산(아스피린)이다.

살리실산 유도체 합성의약품 중에서 메틸 살리실레이트는 의약품 외에도 식품 첨가제, 화장품, 청결제 등의 다양한 분야에서 활용된다(그림 1). 또한, 메틸 살리실레이트는 노루발풀(wintergreen)의 시원한 향이 나기 때문에 민트 향과 화한 향을 내기 위해 향료로도 많이 사용되고 있다. 더해서, 식품에 향을 첨가하기 위해 사용되거나, 가글의 상쾌한 향에 메틸 살리실레이트를 사용하기도 하며, 화장품에 착향하기 위해서도 사용된다. 메틸 살리실레이트가 화장품에 사용될 때에는 안전성을 위해 3% 미만의 소량이 사용된다. 메틸 살리실레이트는 피부에 빠르게 흡수되는 특징과 산성을 띠는 성질 때문에, 의료 목적으로 사용될 때는 내복약보다는 외용약으

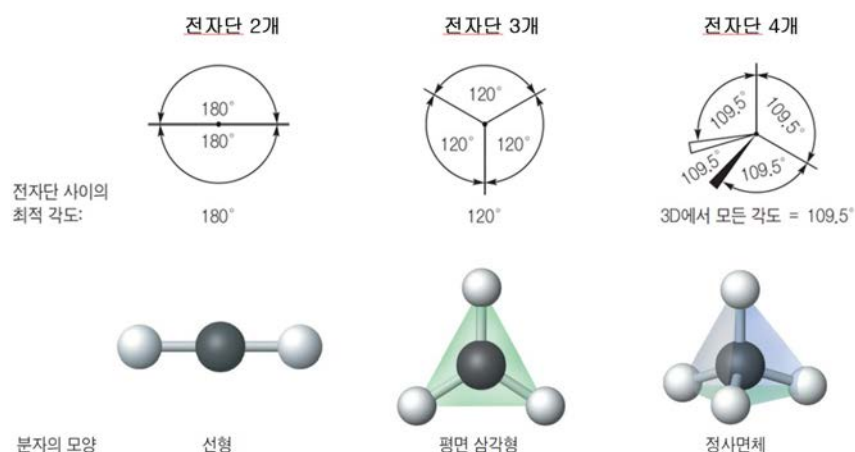
로 사용된다. 그 예로는 파스와 연고가 있다. 의약품에는 유효성을 위해 최대 20%의 메틸 살리실레이트가 첨가될 수 있다. 본 연구에서는 다양한 용도로 사용되는 메틸 살리실레이트의 구조를 확인하고, 살리실산으로부터 메틸 살리실레이트를 합성하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 2.1. 분자 모양

#### 2.1.1. 최외각 껍질 전자쌍 반발 이론(VSEPR)

3차원 구조 모양은 분자의 성질을 결정하는 데 중요하다. 분자 내 원자가 어떻게 연결되어 있는지 또한 원자에 공유되지 않은 고립전자쌍을 보여줄 수 있는 구조가 루이스구조(Lewis structure)이며, 이를 이용하고 최외각 껍질 전자쌍 반발이론[valence shell electron pair repulsion (VSEPR)]을 이용하여 분자의 3차원 배열을 예측할 수 있다. 최외각 껍질 전자쌍 반발이론은 화학에서 중심 원자의 배위수와 반발 원리를 이용하여 구조를 예측하는 방법이다(그림 2). 예를 들어, 중심 원자에 2개의 전자단이 있으면 3차원적 공간에서 전자들의 반발력이 최소화 되도록 배열할 수 있는 180°의 각도를 허용하게 됨으로 원자들의 한줄에 있는 1차원이 된다. 또한, 전자단이 3개라면 120°의 각도로 모든 원자들이 평면에 있는 2차원 공간을 형성하게 된다. 전자단이 4개일 경우에는 3차원 공간으로 109.5°로 분리된 정사면체 모양이 형성되게 된다.



[그림 2] 중심원자에 있는 전자단의 최소 반발을 기초로 한 전자단의 배열

### 2.2. 유기 반응

### 2.2.1. 작용기

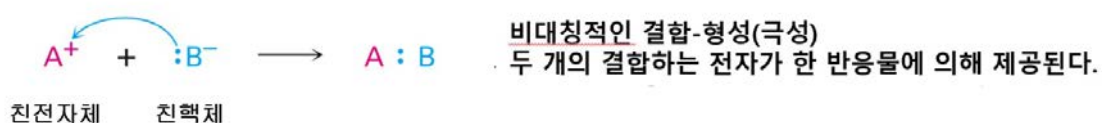
작용기란 유기 화합물에 특정한 물리적·화학적 성질을 갖는 원자나 원자단을 의미한다. 예로서 탄소-탄소 이중결합 및 삼중결합, 알코올, 에테르, 티올, 알데하이드, 케톤, 가르복실산, 에스터, 아민 등이 있다. 유기화학에서 작용기가 중요한 이유는 유기 분자의 크기나 복잡성에 무관하게 분자들의 특징적인 화학 반응이 담당하는 분자 내의 특정 치환기 또는 부분이기 때문이다. 작용기에서 일어나는 유기 반응으로 대표적으로 첨가 반응, 제거 반응, 치환 반응이 있다. 첨가 반응은 두 반응 물질이 단일 생성물을 생성하는 것이고, 제거 반응은 단일 반응물이 두 개의 생성물로 나누어지는 것이다. 치환 반응은 두 반응물이 어떤 부분을 교환하여 두 개의 생성물이 생성되는 반응이다. 유기 반응 과정을 설명한 것을 반응 메커니즘이라고 한다.

본 연구 사용되는 살리실산과 메틸 살리실레이트는 공통적으로 벤젠(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)과 알코올(ROH) 작용기들을 가지고 있다. 차이점으로는 살리실산은 카르복실산(-COOH) 작용기로 이루어져 있고 메틸 살리실레이트는 에스터(RCOOR') 작용기를 가지고 있다.

### 2.2.2. 극성 반응

극성 반응에 앞서 전기 음성도를 알아야 한다. 전기 음성도는 분자 내 공유 전자에 대한 한 원자의 인력을 측정된 값으로, 원소마다 다른 값을 지닌다. 전기 음성도가 큰 원자의 전기 음성도에서 전기 음성도가 작은 원자의 전기 음성도를 뺀 값이 0과 같거나 크고 0.5보다 작다면 전자가 비교적 균등하게 공유된 비극성 공유 결합이고, 0.5보다 크고 2보다 작다면 전자가 균등하게 공유되지 않은 극성 공유 결합이라고 한다. 즉, 전기 음성도 차이값이 높다는 말은 한 부분에 전자가 풍부하다는 말과 같다.

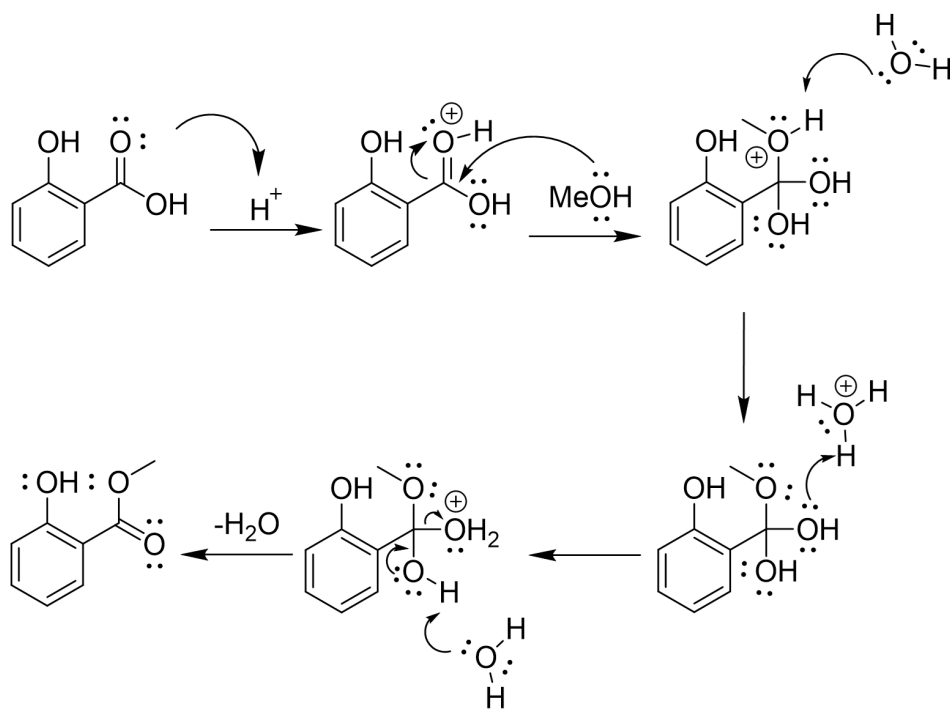
극성 반응은 분자 내의 작용기에 있는 양으로 편극된 중심과 음으로 편극된 중심 사이의 전기적인 인력에 의해 일어나게 된다(그림 3). 즉, 서로 다른 전하들은 서로 잡아당기려 하기에 전자가 풍부한 자리는 전자가 부족한 자리와 서로 반응하게 된다. 이 때 전자가 풍부한 종을 친핵체라 하며, 전자가 부족한 종을 친전자체라 하게 된다.



[그림 3] 극성 반응

### 2.2.3. 에스터화 반응

에스터화 반응은 알코올과 카르복실산과의 산 촉매 하에 축합반응으로 에스터를 생성하는 반응이다(그림 4). 본 연구의 메틸 살리실레이트가 생성되는 반응은 에스터화 반응이며, 반응물은 살리실산과 메탄올이고, 생성물은 메틸 살리실레이트와 물이 된다. 에스터화의 반응은 먼저 카보닐 산소의 양성자 첨가로 카르복실산이 활성화되고 알코올에 의한 극성반응으로 정사면체형 중간체를 형성시킨 뒤 산소 원자로부터 다른 원자로 양성자 이동으로 OH가 좋은 이탈기로 전환된 뒤 양성자를 잃음으로서 H<sub>2</sub>O가 이탈되고 에스터가 생성되게 된다. 이를 간략히 화학식으로 표현하면  $C_7H_6O_3 + CH_3OH \rightarrow C_8H_8O_3 + H_2O$ 이다. 이 식에서 알 수 있듯, 에스터화 반응은 치환 반응이다.



[그림 4] 에스터화 반응 메커니즘

## III. 연구 방법

### 1. 재료

살리실산 (salicylic acid, C<sub>7</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), 메탄올 (CH<sub>3</sub>OH), 황산 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Hexane, Ethyl acetate, 실리카 겔, 포화 탄산수소나트륨 수용액 (NaHCO<sub>3</sub>), 포화 소금물, 무수 황산마그네슘 (Anhydrous MgSO<sub>4</sub>), 바닷모래, 둥근 플라스크, 플라스크 마개, 비이커, 환류냉각기, 교반기, 스펀 바 (Stir bar), 분액 깔때기, 거름 깔때기, 파스퇴르 피펫, 저울

## 2. 실험 방법

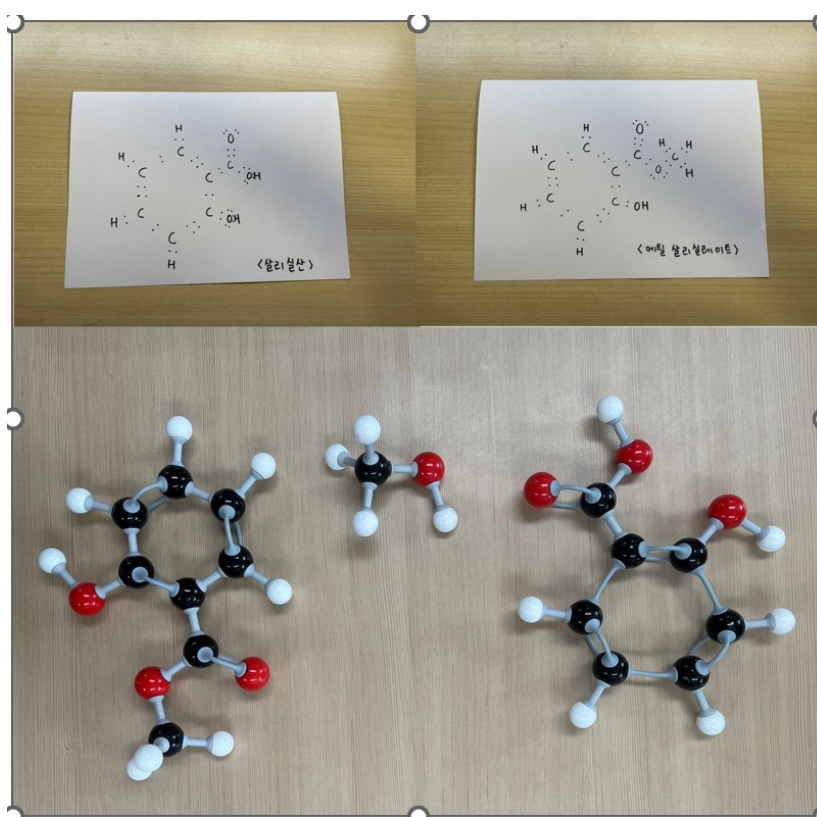
- ① 둥근 플라스크에 살리실산 2.8 g과 메탄올 16 ml, 황산 0.8 ml 또는 1.6 ml를 넣는다.
- ② 플라스크에 환류냉각기를 연결한다.
- ③ 플라스크와 환류냉각기를 교반기 위에 올리고 환류냉각기에 냉각수를 공급한다.
- ④ 교반기로 60 °C 또는 100 °C까지 가열해 준다.
- ⑤ 2시간을 반응시킨다.
- ⑥ 2시간 반응 후, ethyl acetate를 50 ml 넣고 얼음물에 식힌다.
- ⑦ 분액 깔대기에 증류수를 10ml 넣은 뒤 잘 흔든 후, 물층과 유기층이 분리되면 물층을 제거해준다. 이 과정을 2번 반복한다.
- ⑧ 깔때기에 포화 탄산수소나트륨 ( $\text{NaHCO}_3$ )을 이산화탄소가 발생하지 않을 때까지 넣는다.
- ⑨ 포화 소금물을 넣은 뒤 물층을 제거한다.
- ⑩ 유기층을 비이커로 옮기고 무수 황산마그네슘 (anhydrous  $\text{MgSO}_4$ )과 섞고 여과한다.
- ⑪ 회전 증발 농축기로 용매를 제거하면 crude ester 얻을 수 있다.
- ⑫ Crude ester를 칼럼 크로마토그래피를 사용하여 생성물을 분리한다.
- ⑬ 분리한 생성물을 NMR을 통하여 확인한다.

## IV. 연구 결과 및 결론

### 1. 살리실산과 메틸 살리실레이트의 분자 구조

탄소의 최외각 전자는 4개이고, 산소는 6개(비공유전자쌍 2개)이다. 따라서 탄소와 산소는 각각 전자 4개와 2개를 결합하면 총 최외각 전자 8개로 안정한 상태에 이른다. 실험 전 물질의 분자 모형을 사용하여 직접 살리실산과 메틸 살리실레이트의 구조를 만들어 봄으로써, 살리실산과 메틸 살리실산의 분자 모양을 알 수 있었다(그림 5). 전자쌍 사이에는 반발이 작용하고 분자 모형에서는 전자쌍의 반발을 최소화하는 형태로 배열된다. 두 물질에 공통적인 작용기인 벤젠은 탄소 6개가 서로 이중, 단일 결합이 번갈아가며 결합되어 있다. 벤젠의 탄소들은 이중결합과 단일결합으로 탄소의 전자쌍이 2차원 평면 삼각형이 이루어진 평면 육각형이 된다. 또 다른 공통 작용기인 알코올은 비공유전자쌍 2개와 2개의 수소와 공유결합한 형태가 되어 비공유

전자쌍을 포함하면 알코올은 비공유전자쌍이 포함된 3차원 정사면체가 되게 된다. 즉, 비공유전자쌍을 나타내지 않았을 때 굽은 선형 모양이 되게 된다. 살리실산의 카르복실산과 메틸 살리실레이트의 에스터의 탄소는 C=O의 전자 4개, C-O에 전자 2개, 그리고 C-C에 전자 2개로 평면 삼각형의 형태로 존재한다. 카르복실산의 OH와 에스터의 OCH<sub>3</sub>의 산소는 비공유전자쌍이 포함된 3차원 정사면체이고, 비공유전자쌍을 나타내지 않았을 때 굽은 선형 모양이 된다. 에스터의 OCH<sub>3</sub>의 탄소는 4개의 공유결합을 하고 있으므로 전자쌍 반발로 3차원 정사면체 구조를 나타냄을 알 수 있었다. 따라서 살리실산과 메틸 살리실레이트를 루이스 구조를 그리고 최외각 껍질 전자쌍 반발이론(valence shell electron pair repulsion, VSEPR)을 통해 분자들의 구조 모양을 추측할 수 있었다.



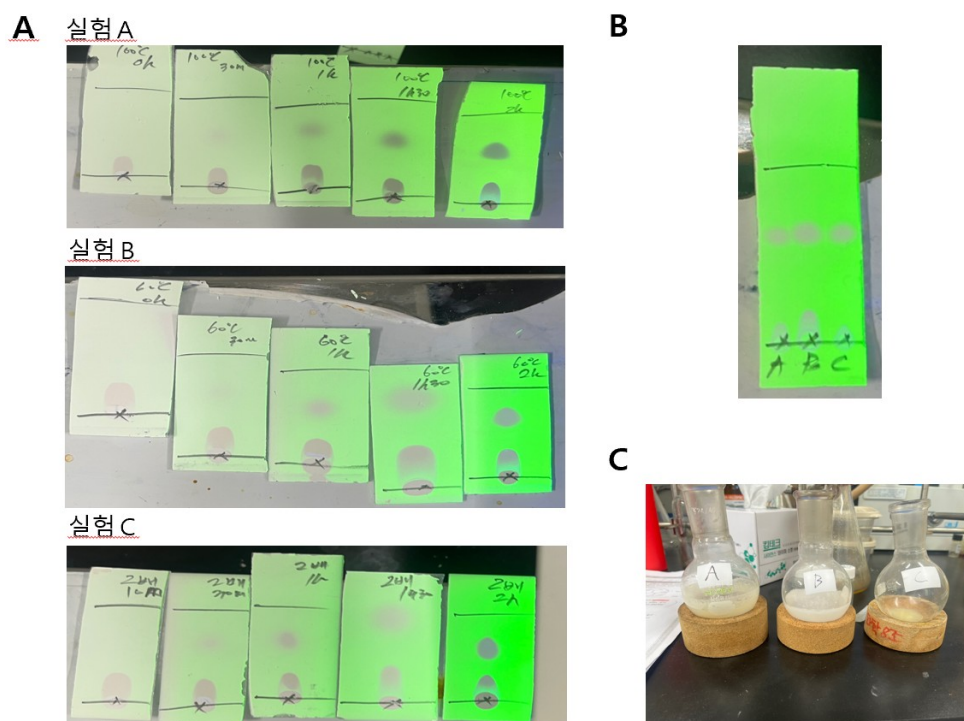
[그림 5] 살리실산과 메틸 살리실산의 루이스 구조 및 조립한 분자모형

## 2. 온도 및 촉매 양 변화에 대한 에스터화 반응

실험 A는 기존에 알려진 에스터화 반응(온도: 100 °C, 산 촉매: 0.8 ml)을 진행하였고 실험 B는 온도를 60 °C로 변화시켜 진행하였으며 실험 C는 산 촉매를 1.6 ml 첨가하여 반응을 진행하였다. 반응 전 박층크로마토그래피(thin layer chromatography, TLC)를 이용하여 살리실산이 Hexane:Ethyl acetate = 10:1의 전개용매 조건에서 R<sub>f</sub>(retention factor) 값이 0.3에서 나오는 것을 알 수 있었다. 실

험 A-C 모두 반응을 시작하고 30분 경과 후 Rf 값이 0.6에서 나오는 물질이 생성되는 것을 알 수 있었다(그림 6A). 실험 종결 후 실험 A-C의 반응물 대비 생성물을 TLC로 비교해본 결과, 실험 C에서 생성물이 가장 많이 생겼음을 알 수 있었고 실험 B에서 가장 적게 생겼음을 알 수 있었다(그림 6B). 각각의 실험 A-C의 용매를 증발시킨 후 각각의 Crude ester의 물리적 성질을 확인해 보았다(그림 6C와 표 1). 실험 A는 액체와 고체가 섞여 있었고 실험 B는 거의 고체로 존재하였으며 실험 C는 거의 액체로 존재함을 알 수 있었다. 메틸 살리실레이트는 상온에서 액체로 존재하고, 살리실산은 고체로 존재한다. 즉, TLC 결과와 동일하게 실험 C에서 메틸 살리실레이트가 가장 많이 생성되었음을 알 수 있었다.

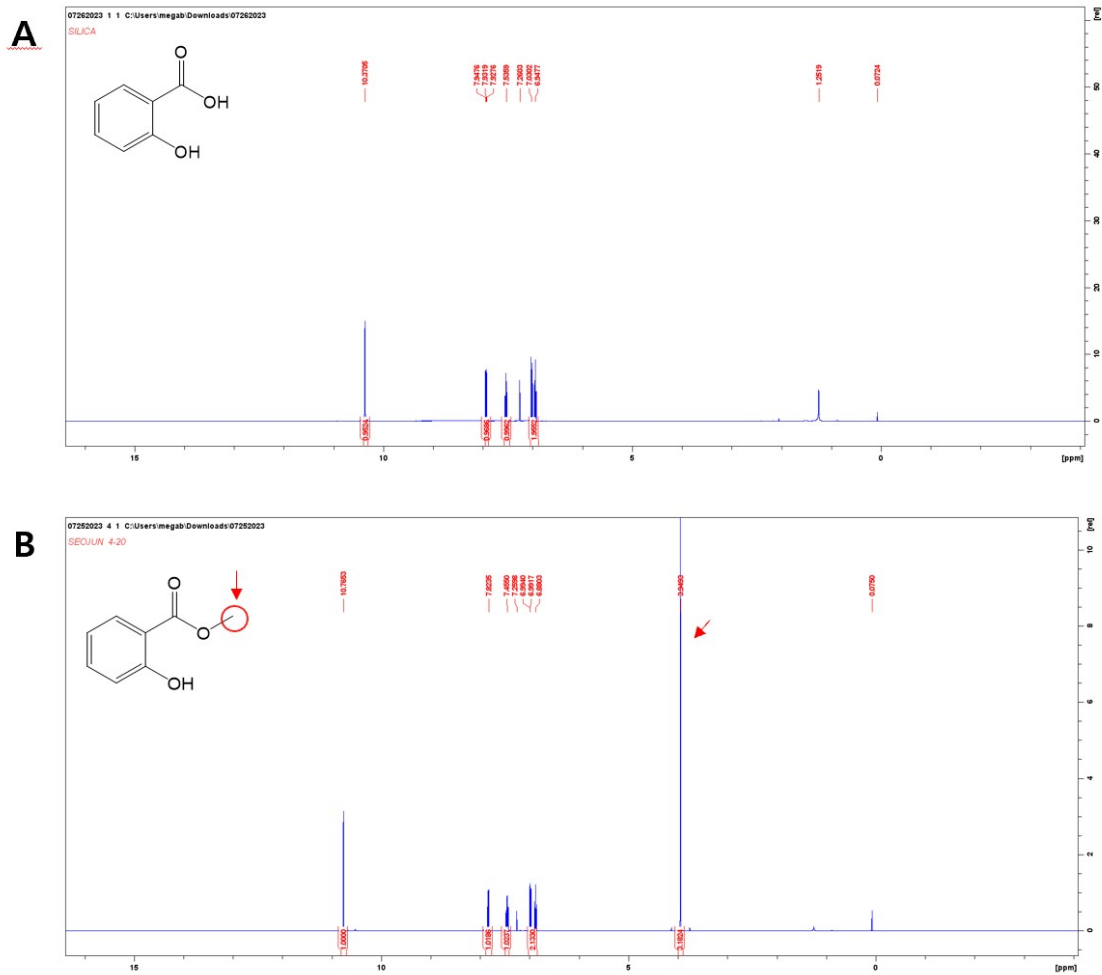
Crude ester를 정제하기 위해 칼럼 크로마토그래피를 이용하여 반응물과 생성물을 분리하였다. 분리된 물질들을 핵자기공명분광기를 이용하여 측정한 결과, Rf 값이 0.3인 물질은 살리실산임을 알 수 있었고, Rf 값이 0.6인 물질은 3.95 ppm에서 화학적 이동을 가지는 피크가 나오는 것을 확인함으로써 메틸 살리실레이트임을 알 수 있었다(그림 7). 비록 정제하는 과정에서 생성물 양을 많이 손실하였지만, 메틸 살리실레이트를 직접 합성하였으며 성공적으로 분리 및 구조 확인을 할 수 있었다.



[그림 6] 각 실험 조건에서의 Crude ester 합성 실험 결과. A. TLC를 이용한 반응 시간별 생성물 확인 B. 반응 종결 후 TLC를 이용한 생성물 확인 C. 농축 후 Crude ester를 육안으로 확인

표1. 온도와 촉매 양의 변화에 따른 생성물(Crude ester)의 물리적 성질

실험	조건		색상	상태
A	온도	100 °C	황색	액체 고체 혼합으로 존재
	추매	0.8 ml		
B	온도	60 °C	흰색	거의 고체로 존재
	추매	0.8 ml		
C	온도	100 °C	황색	거의 액체로 존재
	추매	1.6 ml		



[그림 7] 반응물과 생성물의 NMR 결과 A. 살리실산 B. 메틸 살리실레이트

## VI. 참고문헌

1. 다이아무이드 제프리스, 아스피린의 역사, 김승욱 옮김,
2. 식품의약품안전처, <http://www.foodsafetykorea.go.kr>
3. 존 맥머리, 맥머리의 유기화학 9판, 화학교재연구회 옮김 (CENGAGE, 2017)
4. 존 힐, 화학의 세계 15판, 대한화학교재연구회 옮김, (라이프사이언스, 2020)
5. 뉴스1, <https://www.news1.kr/articles/?4679928>



화학A

04\_전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에  
따른 구리의 환원에 대한 화학적 고찰



# 전기도금에서 용매와 이온의 종류 및 전압에 따른 구리의 환원에 대한 화학적 고찰

소재훈 (매천중학교 3학년)

이근우 (팔공중학교 3학년)

이정현 (고산중학교 3학년)

장윤서 (대륜중학교 3학년)

지도교수 : 민길식 (경북대학교 화학교육과)

**초록** : 산화-환원 반응은 일상생활에서 발생하는 에너지 생산, 물질 변화, 화학적 반응 등과 깊은 관련이 있어 우리 삶의 거의 모든 측면에 영향을 미치고 있다고 해도 과언이 아니다. 이 산화-환원 반응에 대하여 자세히 탐구해보기 위하여 본 연구를 진행하게 되었다. 산화-환원 반응에서 용질과 용매의 종류 및 전압은 반응 정도에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 용질과 용매의 종류 및 전압의 세기를 바꿔가며 전기도금 실험을 수행함으로써 최적의 도금 조건을 찾는다. 또한, 도금 과정 중 예상치 못한 실험 결과인 황산구리 용액에서의 도금 중 관찰된 줄무늬에 대해 수상치환 실험과 실체현미경 관찰로 그 원인을 규명하고, 외부 전극으로 인한 금속판의 전위차가 전기도금에 미치는 영향에 관해 탐구한다.

## I. 서론

### 1. 탐구 동기

화학의 산화-환원 반응 실험에 관한 책을 읽어보던 중, 산화-환원이 화학반응에 매우 많이 사용되는 것을 알 수 있었다. 이 중에서 도금이 산화-환원을 이용하는 예 중의 하나였다. 도금은 장신구와 액세서리 등의 광택을 높이는 것부터 전자기기 제조 과정, 의료 기기와 치과 용품에서까지 여러 분야에서 사용되고 있었다. 이처럼 전기도금은 실생활에서 많이 쓰이고 있으며, 도금시키는 반응에서 변수에 따라 여러 가지 결과를 얻을 수 있다는 것을 알게 되었다. 그리하여 실제 산화-환원을 통한 도금이 어떻게 일어나는지 궁금하게 되었다. 예를 들어 도금을 잘 되게 하는 방법으로 무엇이 있는지 알아보고 싶었다. 따라서, 산화-환원 반응과 관련된 여러 가지 변수를 적용하면 도금이 어떻게 이루어지는지 탐구하고자 하였다.

## 2. 탐구의 필요성

이 탐구의 필요성으로는 총 3가지가 있다. 첫째, 전기도금 실험의 결과를 통해서 여러 금속의 부식, 마모, 마찰 등을 개선하는 데 활용할 수 있기 때문이다. 둘째, 이 탐구의 주제인 전기도금은 산화-환원 반응의 일종으로서 다양한 화학 반응들과 밀접한 연계성을 지니기 때문이다. 셋째, 전기도금 실험을 직접 수행하면서 최적의 전압과 몰 농도를 찾기 위함이다.

## 3. 탐구의 목적

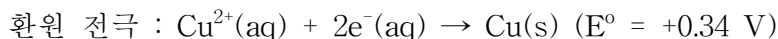
전기도금은 전기에너지를 이용하여 금속이나 비금속에 다른 금속의 피막을 입혀주는 것인데 이때, 도금에서 입자의 배열이 고르고 흡착을 잘 되게 하려면 도금할 때의 전압과 용질 및 용액의 종류가 매우 큰 영향을 끼친다. 하지만, 실제로 여러 자료에서는 전압이나 전해질의 용질 및 용액의 종류에 대해 자세한 내용이 없다. 본 사사 연구에서는 이 탐구를 통해서 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V), 용질(질산구리, 황산구리, 염화구리), 용매(물, 메탄올)에 따라서 어느 조건에서 도금이 가장 잘 되는지를 찾고, 도금 실험 중에 발생한 줄무늬의 원인에 대하여 찾고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 산화-환원 반응

산화-환원 반응을 식으로 표현하기 위해서는 산화수 외에 반쪽 반응식도 활용할 수 있지만, 두 방법 모두 공통으로 전자의 이동을 전제 조건으로 한다. 산화-환원 반응을 이용해서 만든 전지의 예로는 갈바니 전지가 있으며, 이는 구리와 아연의 산화-환원 반응을 이용해서 기전력을 만든다. 즉, 아연은 구리보다 전자를 잃기 쉬우므로 산화되기 쉽다. 따라서, 전자는 아연에서 구리로 이동하게 되고 아연금속은 음극(-)이 되며 산화 전극이 된다. 이 반응은 이온화 경향에 기인하여 자발적인 반응으로 일어난다.

갈바니 전지의 반쪽 반응식은 다음과 같다.



전체반응식은  $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$  ( $E^{\circ} = +1.1 \text{ V}$ )이다.

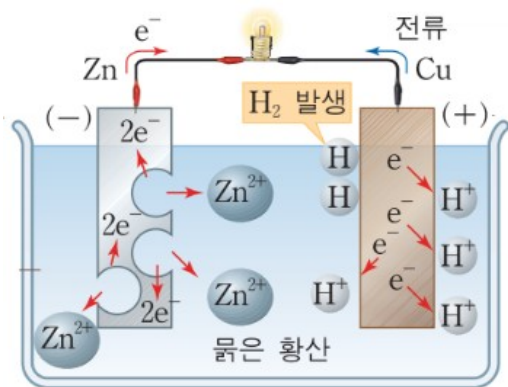


그림 1. 갈바니 전지(또는 볼타 전지)의 도식화 (출처: ZUM 학습백과)

어떤 물질이 산화되었다는 것은 전자를 빼앗겼다는 이야기이다. 그러면 전자를 빼앗아 간 물질이 있을 것이다. 전자를 내놓는 물질이 있으면 반드시 전자를 얻는 물질이 동시에 그 주변에서 일어나게 된다. 이를 산화 환원 반응의 동시성이라고 한다.

소듐 고체와 염소 기체가 만나면 NaCl 고체인, 소금이 생기는데, 이때, 엄청난 양의 빛을 내면서 소금이 생긴다. 이 과정에서, Na는 전자를 잃고, Cl은 전자를 얻어서, Na는 산화되고 Cl은 환원된다. 산화되는 반응을 산화 반쪽 반응, 환원되는 반응을 환원 반쪽 반응이라고 한다. 이 반응에서 Na를 환원제(reducing reagent)라고 한다. Cl<sub>2</sub>는 Na에서 전자를 빼앗아 와서 환원되었지만, 반개로 Na를 산화시켰으므로 산화제가 된다.

주기율표에서 왼쪽 아래쪽에 있는 금속일수록 전자를 잃기 쉬운 금속이고, 오른쪽 위로 갈수록 전자를 얻으려는 경향이 강한 비금속 물질이다. 오른쪽 위로 갈수록 산화제로 작용하기가 쉽고 왼쪽 아래로 갈수록 환원제로 작용하기가 쉽다.

## 2. 표준 환원 전위와 금속의 반응성

금속의 반응성은 금속 원자가 산화되어 양이온이 되려는 성질이다. 금속의 반응성이 커질수록 전자를 잃고 양이온이 되기 쉬우며 부식되거나 변색되기 쉽다. 다른 물질로부터 분리하는데 많은 에너지가 소모되고 환원성이 크다. 아래의 그림 2는 금속의 반응성이 큰 원소부터 나열한 표이다.

표준 환원 전위(standard reduction potential)는 표준 수소 전극과 환원이 일어나는 반쪽 전지를 결합시켜 만든 전지에서 측정된 전위를 말한다. 기호는 E°로 나타낸다. 표준 환원 전위 값이 클수록(양의 값) 표준 상태에서 수소 이온 보다 환원이 잘 되는 것을 의미하며, 이 값이 작을수록(음의 값) 표준 상태에서 수소 이온 보다 환원이 어렵다는 것을 의미한다. 그러므로, 표준 환원 전위 값이 큰 것을 양극에 연결하고 그 값이 작은 것을 음극에 연결하면 자발적으로 작동하는 전지를 구성할 수

있으며, 이때 전지의 기전력은 표준 환원 전위 값의 차가 클수록 커진다.



그림 2. 금속의 반응성을 나타낸 표

(출처: Science ORC, <http://scienceorc.net/science/study/hwahak/h08-18.html>)

이 표준 환원전위 중 본 연구에서는 구리와 아연의 표준 환원 전위를 이해하면 된다(구리의 표준 환원 전위:  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$  (표준 환원전위 :  $E^\circ = +0.34 \text{ V}$ ), 아연의 표준 환원전위:  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$  (표준 환원전위 :  $E^\circ = -0.76 \text{ V}$ )). 표준 환원전위 표는 환원이 잘 되는 순서대로 표시한 것으로 상대적으로 구리는 전자를 얻기 쉽고 아연을 전자를 잃기 쉽다는 것을 알 수 있다. 그리고 아연이 전자를 주고 구리가 받는 정도를 종합적으로  $+1.1 \text{ V}$  (=  $+0.34 \text{ V} - (-0.76 \text{ V})$ )라고 나타낼 수 있다.

화학종의 표준 환원전위( $E^\circ$ )를 이용하여 둘 이상의 산화제와 환원제를 환원되는 정도의 순서에 따라 나열할 수 있고, 많은 산화 환원 반응이 자발적인지 혹은 비자발적인지를 예상할 수 있게 된다.

표준 환원전위를 통하여 자유에너지(Free energy)를 구할 수 있다. 깁스 자유 에너지(Gibbs free energy), 즉 자유에너지는 일정한 온도와 압력에서 시스템(계)에 의해 가역적 또는 최대한으로 뽑아낼 수 있는 에너지(포텐셜)의 척도이다.  $\Delta G^\circ = -RT \ln K^\circ = -nFE^\circ$  ( $\Delta G^\circ$  = 표준 자유에너지,  $R$  = 기체상수,  $T$  = 절대온도,  $n$  = 이동한 전자의 몰 수,  $K^\circ$  = 평형상수,  $F$  = 패러데이 상수). 이 식을 통해 평형상수와 표준전압의 식을 유도할 수 있다.  $E^\circ < 0$ 인 경우에는  $\Delta G^\circ < 0$ ,  $K^\circ > 1$  이므로 정반응이 우세하게 일어나고,  $E^\circ > 0$ 인 경우에는  $\Delta G^\circ > 0$ ,  $K^\circ < 1$ 이므로 역반응이 우세하게 일어난다.

### 3. 전기도금

전기도금(Electroplating)은 전기에너지를 이용하여 금속 소재에 다른 금속의 피막을 만들어주는 방법이다. 일반적으로 도금으로 입힐 금속을 양극(+)으로, 피도금체를 음극(-)으로 하여 양극의 금속 이온을 가진 전해질을 통해서 전기를 흘려주어 양극의 금속 이온을 음극에서의 금속 표면에 전착 및 석출하게 한다. 전기도금은 전해질에서 금속 이온의 자유로운 이동을 전제로 하며, 금속의 이온화 및 석출 여

부에 따라 도금 현상 발생의 여부가 결정된다. 또한, 사용하는 전지 전위의 크기, 금속의 이온화 경향, 전해질의 농도 및 종류, 용매의 종류 등의 요인에 따라 도금의 결과가 달라질 수 있다. 전기도금은 전기분해를 이용하는 것이므로 금속의 이온화 경향의 영향이 상대적으로 적다. 이것은 전기분해는 비자발적이고 이온화 경향은 자발적으로 일어나는 것과 연관이 있다. 예를 들면, 특정 금속을 음극으로 하고 구리 금속을 양극으로 하여 전위를 걸어주면 구리 금속은 이온화가 일어나고 이 구리 이온은 음극의 금속 표면에서 석출되면서 도금이 되는 것이다. 이때, 금속 간의 전위차가 도금에 영향을 주게 되고 용액 속에 도금하려는 금속 이온 용액을 사용하면 효과적으로 도금을 할 수 있게 될 것이다. 본 연구에서는 아연판과 구리판을 사용하여 도금하였으며 그 원리는 다음과 같다.

### 1) 자발적인 도금

1. 두 금속판에 전지가 연결되지 않은 상태 1 (두 금속판을 전선으로 연결한 경우, 추가로 걸어준 전압 : 0 V)

이 경우에는 아연판의 아연 금속과 구리 수용액의 구리 이온 간의 표준 환원 전위 차이인 1.1 V로만 전자의 이동이 일어난다. 이때 구리의 표준환원전위가 아연보다 크므로 아연판은 산화하여 아연 이온( $Zn^{2+}$ )과 전자( $e^-$ )로 나뉘어 지게 되며( $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ ), 아연 이온은 수용액으로 들어가 이온화하게 되고, 전자는 전선을 통해 구리판 쪽으로 이동하게 된다. 따라서 구리판 주위의 구리 이온들이 환원되어 구리판에 석출된다. 이때, 아연판의 질량은 감소하고, 구리판의 질량은 증가한다.

아연판 쪽에서는 구리가 석출되어 도금되지 않는데, 그 이유는 아연판과 수용액 사이의 전기저항이 아연판과 구리판 사이에 연결된 전선의 전기저항보다 더 크기 때문이다. 또, 구리판의 경우는 구리로 구성되어 있으므로 구리판과 구리 수용액 사이의 전기저항은 고려하지 않아도 된다.

용매를 메탄올로 하였을 경우  $CH_3OH$ 가  $CH_3O^- + H^+$ 로 나뉘어지고 이때  $H^+$ 가 구리판에서 나오는 전자와 결합해  $H_2(g)$ 가 될 가능성은 생각하지 않아도 되는데, 표준 환원전위에 따른 반응성이 구리가 수소보다 높기 때문이다.

아연판의 질량 감소, 즉 산화는 다음 두가지 상태 중 하나가 될 때까지 지속된다.

①수용액 속 구리 이온이 모두 사용된다., ②아연판이 모두 산화되어 이온화된다.

산화되는 아연의 몰수(입자수)와 환원되는 구리 이온의 몰수(입자수)는 서로 같으며, 이는 실험에 사용되는 구리 이온은  $Cu^{2+}$ , 아연은 Zn으로 두 물질의 산화수가 서로 같기 때문이다. 다만, 원자량은 구리가 63.546, 아연이 65.38로 아연이 조금 더 크기에 불타전지의 질량은 감소한다고 보아야 한다.

2. 두 금속판에 전지가 연결되지 않은 상태 2 (두 금속판을 전선으로 연결하지 않은 경우, 추가로 걸어준 전압 : 0 V)

이 경우에는 아연판의 아연 금속과 구리 수용액의 구리 이온 간의 표준 환원 전위 차이인 1.1 V로만 전자의 이동이 일어난다. 첫 번째 경우와 마찬가지로 구리의 표준 환원전위가 아연보다 크므로 아연판은 산화하여 아연 이온( $Zn^{2+}$ )과 전자( $e^-$ )로 나뉘어 지게 되며( $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ ), 아연 이온은 수용액 속으로 들어가 이온화하게 된다. 다만 이 경우에는 두 금속판이 전선으로 연결되어있지 않은 상태이므로 아연판에서 나온 전자가 아연판 주위의 구리 이온을 환원시켜 아연판에 도금이 이루어지게 된다. 한편, 이번 경우에는 구리이온의 도금에 구리판이 아무런 영향을 주지 않기 때문에 구리판을 수용액에 담그는 것이 의미가 없다.

용매를 메탄올로 하였을 경우  $CH_3OH$ 가  $CH_3O^- + H^+$ 로 나뉘어지고 이때  $H^+$ 가 구리판에서 나오는 전자와 결합해  $H_2(g)$ 가 될 가능성은 생각하지 않아도 되는데, 표준 환원전위에 따른 반응성이 구리가 수소보다 높기 때문이다.

산화되는 아연의 몰수(입자수)와 환원되는 구리 이온의 몰수(입자수)는 서로 같으며, 이는 실험에 사용되는 구리 이온은  $Cu^{2+}$ , 아연은  $Zn$ 으로 두 물질의 산화수가 서로 같기 때문이다.

구리판의 질량 변화는 없으나 아연판의 질량은 감소하게 되는데, 원자량은 구리가 63.546, 아연이 65.38로 아연이 조금 더 크기에 산화되는 아연의 총 질량이 환원되는 구리의 총 질량보다 크기 때문이다. 따라서 전지의 전체 질량은 감소하게 된다.

도금되는  $Cu^{2+}$ 의 몰수(입자수)는 실험 1과 같으며, 그 이유는 두 실험에서 사용된 구리 이온( $Cu^{2+}$ )과 아연 이온( $Zn^{2+}$ )의 산화수가 같기 때문이다. 구리와 아연의 산화수가 서로 같다면 산화 및 환원 반응에서 전자 이동 수와 양이 서로 일치하게 되어 도금량이 같아진다.

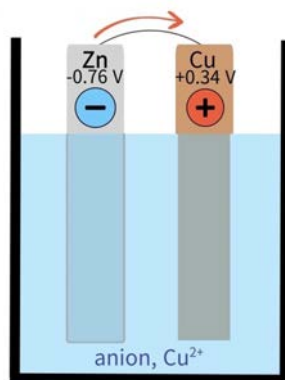


그림 3. 전선으로 연결한 경우(전자는 음극인 아연판에서 양극인 구리판으로 이동하므로 아연판이 보유한 전자의 양이 줄어들며, 즉 도금 반응 덜 활발하게 일어남)

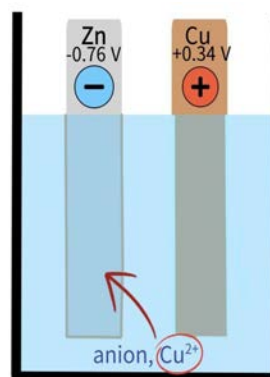


그림 4. 전선으로 연결하지 않은 경우(아연판과 구리 이온 간의 표준 환원전위 1.1 V로만 도금 반응이 일어남)

## 2) 비자발적인 도금

1. 역방향 연결(전기도금) (구리쪽을 전지의 (+)극, 아연쪽을 전지의 (-)극에 연결하여 두 금속판을 전선으로 연결해준 경우, 추가로 걸어준 전압 : -1.6 V)

도금은 반응성이 좋지 않은 금속을 이온화(비자발적인 반응)시켜 다른 금속에 코팅시켜야 하므로 외부로부터 에너지(도금에 사용하는 두 금속의 표준환원전위 차이 (1.1 V)보다 큰)의 공급이 필요하다. 이에 따라 1.6 V의 전지를 사용하였고, 이에 따라 원래 아연판의 아연 금속과 구리 이온의 표준환원전위의 차이인 1.1 V보다 큰 1.6 V가 걸리므로, 그 차이인 0.5 V 만큼의 전위 차가 만들어 지게 된다. 즉, 표준환원전위에 따라 생기는 전압보다 전지의 전압이 더 크므로, 전자는 구리판에서 아연판으로 이동하게 된다. 그 결과 아연판의 산화는 일어나지 않으며, 아연판 쪽에서 전자가 나오게 됨에 따라 아연판 주위의 구리 이온이 환원되어 아연판 표면에 도금되게 된다. 구리판의 질량은 감소하게 되는데, 연결된 전지가 표준환원전위차보다 더 큰 전위차를 만들게 되어 구리판의 산화전위를 증가시키게 되어서이다. 이로 인해 구리판은 산화되고 여기에서 나온 전자가 전선을 통해 아연판으로 이동하게 되는 것이다. 이때의 도금되는 속도는 전위 차이인 0.5 V에 비례한다고 볼 수 있다.

질량 변화를 보자면, 구리판의 질량은 감소하고, 아연판에는 도금이 되기 때문에 아연판의 질량은 증가한다. 산화된 아연은 없으며, 구리판은 산화하고, 용액에서 환원된 구리 이온은 구리판에서 산화된 구리의 수에 비례한다.

만일 1.6 V보다 전지전압이 더 큰 전지로 도금을 할 경우에는 단위시간동안 반응하는 구리이온의 양, 즉 도금속도가 빨라질 것이라고 할 수 있다. 이에 반해 표준환원전위의 차이인 1.1 V보다 더 작은 전압을 가진 전지를 이용할 경우 위와 같은 도금은 일어나지 않는다. 오히려 전자는 전지를 연결하지 않은 경우와 마찬가지로 이동하게 되는데, 구리에서의 산화는 일어나지 않게 되며, 오히려 아연의 산화가 일어나게 되는 것이다. 예를 들어, 0.5 V의 전지전위를 가지는 전지를 이용할 경우, 0.6 V 만큼의 전위차가 정방향으로 발생하게 되며, 이는 자발적인 석출과 반응속도를 제외하면 큰 차이가 없다고 할 수 있다.

본 경우에 도금시 줄무늬 모양으로 도금된 원인을 규명하자면, 물과 메탄올을 1:1의 비율로 섞어 사용한 경우,  $\text{CH}_3\text{OH}$ 가  $\text{CH}_3\text{O}^- + \text{H}^+$ 로 나뉘어지고 이때  $\text{H}^+$ 가 구리판에서 나오는 전자와 결합해  $\text{H}_2(\text{g})$ 가 아연판 표면을 긁으며 올라가 붙어있는 기포들을 일시적으로 없애서 구리 용액의 구리 이온이 환원되기 유리한 조건을 만들기 때문이며 그 부분에만 도금이 일어나기 때문이라고 할 수 있다. 이때, 반응과정에서 생성되는 메톡사이드( $\text{CH}_3\text{O}^-$ )는 물과 결합하게 된다고 예측할 수 있다.

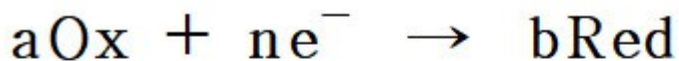
전해질에서도 기체가 생성될 것을 예측할 수 있는데, ①질산구리 3수화물 ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )의 경우에는 이산화질소가, ②염화구리 2수화물 ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )의 경우에는 염소기체가, ③황산구리 5수화물 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )의 경우에는 이산화황이 생겨날 것을 예측할 수 있는데, 이 경우에는 구리판 쪽에서 생성될 것이므로 줄무늬의

원인으로 보기는 어려워 보인다.

2. 정방향 연결(석출) (구리쪽을 전지의 (-)극, 아연쪽을 전지의 (+)극에 연결하여 원래 아연과 구리의 표준환원전위의 차이인 1.1 V에다 추가적인 전위인 1.6 V가 공급되어 총 2.7 V 만큼의 전위 차가 발생하고, 아연판의 아연 금속이 더 빠르게 산화된다. 자세히 설명하자면, 아연판 쪽에서는 아연판의 아연 금속과 구리 수용액의 구리 이온사이의 표준환원전위의 차이에 따른 1.1 V의 전위 차가 만들어 지게 되고, 여기에 전지전압인 1.6 V가 더해져서 총 2.7 V의 전위 차가 생기게 되어 실험4개 중 가장 높은 전위 차를 가지게 된다. 이에 따라 아연판에서 산화되는 속도, 구리판 주위에서 구리이온이 환원되어 구리판에 석출되는 속도가 빨라지게 됨에 따라 4가지 조건 중 반응속도가 가장 빠른 석출이 일어나게 되는 것이다. 하지만 석출되는 양을 결정하는 것은 환원에 따라 방출된 전자의 수이므로, 석출되는 양은 수용액의 양과 농도가 같다면 일정하다.

결과적으로, 구리판의 질량은 증가하고, 아연판의 질량은 감소하게 되는 것이다. 이 때, 산화되는 아연금속의 양과 환원되는 구리이온의 양은 각각 자발적인 석출의 경우에서의 것과 동일한데, 그 이유는 같은 용질, 같은 종류의 금속판을 같은 양만큼 사용하였기 때문이라고 할 수 있다.

실제 실험 결과를 보면 예상과는 다르게 구리판 쪽에서 석출된 구리금속이 거의 없음을 알 수 있는데, 이 이유는 다음과 같다. 먼저, 역방향 도금과 비교해보면, 역방향 도금의 경우는 구리판쪽에서 산화가 일어나게 된다. 이 경우에는 산화되는 구리판의 구리금속의 몰수와, 아연판쪽에서 환원되는 구리이온의 몰수가 서로 같게 된다. 즉 구리원자 하나가 이온화되면 구리이온 하나가 석출되는 것이다. 이에 반해 실험4에서는 아연판에서 아연금속이 산화하여 이온화되게 된다. 이 경우에는 이온화하는 아연의 수와 구리판쪽에서 환원되는 구리 이온의 수가 같다고 볼 수 없는데, 그 이유는 구리와 아연은 다른 금속이기 때문이다. 또, 아래의 네른스트식을 보자,



$$E = E^{\circ} - \frac{0.0591}{n} \log \frac{[\text{Red}]^b}{[\text{Ox}]^a}$$

위 식을 보면, 환원전위는 본래의 전위에서  $-0.0591/n \cdot \log[\text{Red}]^b/[\text{Ox}]^a$ 의 값을 뺀 값이라는 사실을 알 수 있는데, 아연판에서 산화가 일어남에 따라  $[\text{Red}]^b$ 값은 계속 증가하고, 구리판에서 구리이온이 환원이 일어남에 따라  $[\text{Ox}]^a$ 의 값은 계속

감소하게 되는 것이다. 위와 같은 이유로 구리판에 구리가 석출되었을 때의 경우에 석출된 구리를 확인하기는 어려울 것이다.

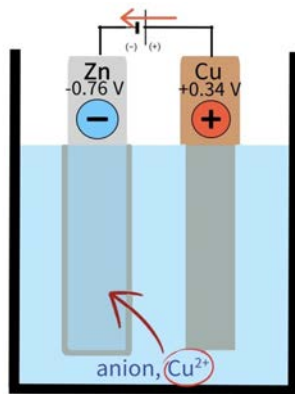


그림 6. 총 전위차 2.7 V, 정방향(추가적인 1.6 V의 전위차에 의해 구리판에서 아연판으로 다량의 전자가 이동하고 도금 반응이 활발히 진행됨)

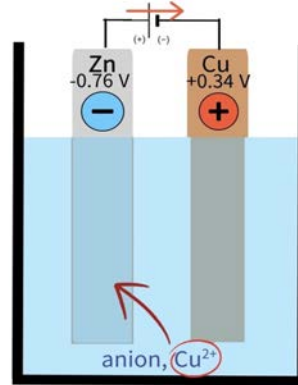


그림 7. 총 전위차 -0.5 V, 역방향(역전압이 걸리기 때문에 이동하는 전자의 양은 감소하고 전자의 이동방향이 반전되므로 도금량이 적음)

#### 4. 용매의 특성

##### 1) 극성 용매

분자에서 원자의 배열과 관련된 구조가 비대칭적일 때 극성이 생긴다. 극성은 분자의 전자적 분포가 균등하지 않기 때문에 나타나며, 극성 물질은 중성의 분자에서 부분적인 양전하( $\delta^+$ )와 부분적인 음전하( $\delta^-$ )를 띠게 된다. 이것으로 인해 분자에 쌍극자 모멘트가 생긴다. 대칭성과 원자의 종류에 따라서 극성의 크기는 다양하게 나타난다. 극성 용매는 다른 극성 용매와의 상호작용이 매우 크며, 이온성 물질과도 상호작용이 크다. 이는 이온성 물질의 극성 용매에 대한 용해도에 영향을 주며, 산화-환원 반응의 활성화 정도에도 영향을 준다.

주로 사용하는 극성을 가진 용매로는 물, DMSO, MeCN, DMF, 메탄올, 에탄올, 아세톤,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , THF,  $\text{CHCl}_3$  등이 있다. 물에서 시작하여 오른쪽으로 갈수록 유전 상수가 낮아지므로 극성이 낮아진다고 할 수 있다. 이때 유전 상수는 어떤 물질의 유전율과 진공 상태의 유전율 사이의 비율이다. 이는 전기장을 걸어 측정할 수 있고, 전기장에 영향을 많이 받으면 유전 편극이 크게 나타날수록 유전 상수의 값이 크다. 따라서, 유전 상수가 크다는 것은 유전 편극이 크다는 의미이며 이는 극성이

크다는 것을 뜻하게 된다.

## 2) 무극성 용매

분자의 구조가 완전 대칭성을 가지고 있어서 쌍극자 모멘트가 0이 되는 용매이다. 따라서 반응성이 작은 편이고, 산화-환원이 잘 일어나지 않는다. 무극성 용매는 극성이 작은 물질 또는 용매와 잘 혼합된다. 또한, 무극성 용질을 녹이는 데 사용된다. 예로는 벤젠,  $\text{CCl}_4$ 가 있다. 극성의 차이가 클수록 용매는 잘 혼합되지 않고 분리되는 층을 형성한다. 예로는 벤젠과 물,  $\text{CCl}_4$ 와 물, 클로로폼과 물, 에테르와 물 등이 있다.

## 5. 유효숫자 및 데이터 처리

### 1) 유효숫자

측정값에 유효한 데이터를 지니는 숫자를 칭하는 말로, 실험 데이터를 처리할 때 유효숫자를 몇 자리까지 인정하느냐에 따라 연구 결과의 정확성이 달라진다. 사용하는 측정 도구의 눈금 간격, 측정 단위의 SI 접두어를 고려하여 유효숫자를 정한다. 본 실험을 수행할 때 처음에는 g 단위로 측정되는 전자저울을 사용했으나, 도금 실험의 특성상 질량 변화가 매우 적은 점을 고려하여 mg 단위로 측정되는 정밀 저울을 사용했기 때문에 측정 유효숫자를 4자리로 정했다. 또한, 전압계의 눈금이 갖는 유효숫자도 측정값의 최대 자릿수인 3자리로 정했다.

### 2) 유효숫자 확인의 예

- 모든 자리의 숫자가 0이 아닌 경우 모두 유효숫자로 간주한다. 예를 들면 123.45는 다섯 개(1, 2, 3, 4, 5)의 유효숫자를 가진다.
- 0이 아닌 숫자로 둘러싸인 자리의 0은 유효숫자이다. 예를 들면 101.12는 다섯 개(1, 0, 1, 1, 2)의 유효숫자를 가진다.
- 소수점 아래의 끝자리에 있는 0은 유효숫자이다. 예를 들면 12.2300은 여섯 개(1, 2, 2, 3, 0, 0)의 유효숫자를 가진다. 120.00은 다섯 개(1, 2, 0, 0, 0)의 유효숫자를 가진다.

## 6. 수상치환

수상치환은 물속에서 기체를 포집하는 방법이다. 물을 가득 채운 용기의 입구를

아래로 향하게 하여 물에 넣고 용기 안으로 기체를 모은다. 비교적 순수한 기체를 포집할 수 있고 포집되는 기체의 양을 알 수 있다는 장점이 있지만, 수용성을 띠는 기체에는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 수상치환을 이용하여 수소, 산소, 질소 등을 포집할 수 있다.

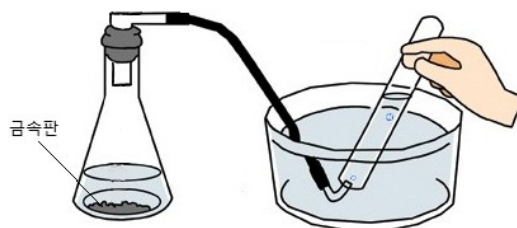


그림 8. 수상치환 장치의 일반적인 예

### Ⅲ. 연구방법

#### 1. 실험 준비

- 실험 시 온도

별도로 온도를 일정하게 유지할 방법은 없었기에 상온을 기준으로 삼아 실험이 진행되었다.

- 도금판 고정을 위한 장치 제작

박스 조각을 비커 위에 올리기 적절한 정도(약 6 cm × 8 cm)로 자른다. 박스 조각에 구리판과 아연판을 끼울 수 있도록 커터 칼로 금속판 1개의 폭에 해당하면 약 2 cm 정도의 두 개의 틈을 낸다. 이때, 두 개의 틈은 실험의 종류에 따라 서로 마주보거나 수직으로 만든다.

- 도금 실험에 사용한 금속

용매의 성질과 용질의 성질, 그 금속의 성질을 고려해 본 결과 구리판과 아연판이 가장 적절하다고 판단해 그 두 가지 종류의 금속판을 실험에 사용하기로 결정했다. 금속판의 대략적 크기 (구리판, 아연판: 약 2 cm × 10 cm)

- 도금 실험에 사용한 용매

극성이 높은 용매가 이온결합 물질을 용해하는 데 유리하므로 상대적으로 극성이 높은 용매 중 이용하기에 물리적 성질(끓는점 등)을 고려해 물(H<sub>2</sub>O)과 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)를 선택하여 사용했다. 물을 용매로 사용할 때는 용해도가 충분해서 용질

이 모두 용해되었으나 메탄올의 경우 상온에서 질산구리 3수화물( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )을 모두 녹이기 충분하지 않은 경우 물과 에탄올을 1:1로 희석해 사용하였다.

● 도금 실험에 사용한 용질

다른 금속보다 반응성이 작고, 색 변화가 선명하게 나타나 실험 과정을 관찰하기 유용한 구리 수화물을 용질로 선택했다. ① 질산구리 3수화물( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), ② 염화구리 2수화물( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ③ 황산구리 5수화물( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )을 실험에 사용하였다.

● 용액에 금속판을 담가서 도금시킬 때 담그는 정도

여러 예비 실험의 결과를 토대로 2 cm 정도가 질량 측정과 도금 정도 확인에 적절하다고 판단하여 2 cm 정도를 용액에 담그도록 정했다.

● 금속판을 사용할 때의 표시

금속판의 2 cm를 용액에 담가서 실험해야 하므로 2 cm를 표시해야 했다. 따라서 유성 네임펜을 이용하여 자로 측정한 2 cm를 표시하였다. 그런데 유성 네임펜으로 표시한 금속을 메탄올 용액으로 실험할 때, 유성 네임펜이 용액에 녹아 확산하였다. 정확한 실험을 하기 위해 네임펜으로 표시하던 것을 연필이나 샤프의 흑연으로 표시했다. 또, 그 금속판을 어떤 용액에 담가 실험했는지 쉽게 알아볼 수 있도록 그 금속판의 윗부분(담그지 않는 부분)에 표시했다. 또한, mg 단위로 질량 변화를 확인하는 도금 실험에서는 금속에 표시하는데 필요한 네임펜 잉크(또는 흑연)의 질량이 오차의 원인으로 작용할 수 있다는 점을 인지하여, 필요한 표시를 완료한 후 초기 질량을 측정했다.

● 도금 시 사용한 전압

도금할 때 3가지 경우로 나누어 전압을 걸었다. 구리판에 (+) 극, 아연판에 (-) 극을 연결하였을 때가 정방향 도금이고, 그 반대로 연결하였을 때를 역방향이므로 이를 각각 1.6 V, -1.6 V로 표시하였다. 또, 아무런 전압을 걸지 않았을 때는 0 V로 표시하였다.

● 실험할 때 기본 준비 사항

1. 흘린 용액이나 떨어진 용질 등 여러 화학물질을 흡수하거나 닦는 데 킴테크 와이퍼를 사용했다.
2. 실험하기 전 손을 보호하기 위해 보호장갑(ARsoft Nitrile Examination Gloves)을 착용했다.
3. 사용하고 남은 용액은 바이알 병에 담아 보관하거나 삼각플라스크에 파라 필름을 씌워 보관했다.

4. 용액 제조 과정에서 용질의 용해도 때문에 용질을 모두 용해시키기 어려운 경우, 초음파 세척기를 이용해 모두 용해시켰다.
5. 건전지는 배터리 홀더에 끼워서 사용하였다. 또, 하나의 전지를 여러 번 사용하는 경우에는 사용할 때마다 전압계로 전압을 측정해 약 1.6 V(오차범위  $\pm 0.1$  V)의 일정한 전압을 사용하였다.

● 실험 데이터 측정 시 주의사항

1. 금속판의 질량을 정밀 저울을 사용하여 측정할 때, 영점 조절 및 수평 조절을 필수적으로 시행해야 한다. 또한, 측정할 물체를 넣은 뒤 덮개를 꼭 닫은 채로 액정에 표시되는 질량 값이 일정하게 유지될 때까지 기다려야 한다.
2. 물과 메탄올을 섞어 만든 용액의 몰 농도를 계산해야 할 때, 물의 부피와 메탄올의 부피를 합친 값보다 물과 메탄올의 혼합물의 부피가 더 작다.
3. 측정 시 유효숫자 범위를 감안해서 정밀하게 측정해야 한다.
4. 플라스틱 약 접시나 스포이트 등을 실험에 활용할 때 메탄올이 플라스틱을 녹여 실험 결과에 영향을 줄 수 있으므로 메탄올과 플라스틱 기구가 직접 닿지 않도록 한다.

2. 사전 실험 (반응 시간, 적정 전압, 적정 용매 농도 설정)

산화-환원 반응을 확인하는 실험에 필요한 통제 변인의 적정 범위 확인 및 설정을 위해서 실험 조건을 정하기 위해 수행한다.

I. 반응시키는 시간 설정 실험

(1) 준비물: 건전지, 금속판(Cu, Zn), 증류수, 100 mL 비커, 약포지, 약순가락, 용질(질산구리 3수화물), 전자저울, 전선과 스위치, 네임펜, 커터 칼, 유리 막대, 전압계, 박스 조각, 증류수

(2) 가설설정: 전기도금을 10분 하고, 1 M로 용질 농도를 설정했을 때가 반응속도를 측정하기가 가장 적절할 것이다.

(3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경, 전지의 전압(1.6 V, 3.2 V), 사용하는 용액의 농도(0.1 M, 0.25 M), 용질의 종류(질산구리 3수화물)
- 조작변인: 전기도금을 하는 시간(1 분, 3 분, 5 분, 10 분)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

#### (4) 실험방법

- ① 부피 플라스크와 증류수를 활용하여 100 mL 1 M 수용액을 만든다.
- ② 100 mL 비커에 질산구리 3수화물 1 M 수용액을 100 mL 부은 뒤 금속판과 전지를 연결하여 전류를 흘려 도금한다.
- ③ 시간에 따라 금속이 도금되는 정도를 관찰하고 기록한다.
- ④ 도금된 금속판을 건조시킨 뒤 씻기병을 이용하여 증류수를 가해 금속 입자가 흘러나가는 정도를 확인한다. 또한 도금된 부분을 긁어 냄으로써 도금된 금속의 두께 및 양을 비교한다.
- ⑤ 반응이 일어나는 시간을 달리해 실험을 반복한다.

#### (5) 사전실험 결과:

가설과는 반대로 10 분을 도금하니 구리 금속이 불필요하게 많이 도금되어, 용질별로 1, 3, 5 분으로 반응시간을 달리해 최적의 시간을 찾고자 했다. 그 결과 3 분 동안 도금했을 때 금속 입자가 고르게 붙고 흡착력이 제일 우수하였다.

## II. 적정 전압 설정

1) 준비물: 건전지 2 개, 금속판(Cu, Zn), 증류수, 비커, 약포지, 약순가락, 용질(질산구리 3수화물), 전자저울, 전선과 스위치, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 전압계, 박스 조각

2) 가설설정: 3.2 V의 전압을 가했을 때 석출되는 구리 금속 입자가 더 많을 것이고, 1.6 V의 전압을 가했을 때 석출되는 구리 금속 입자의 양은 더 적지만 표면은 더 고르게 도금될 것이다.

#### 3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 전지의 전압(1.6 V, 3.2 V)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

#### 4) 실험과정

- ① 질산구리( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) 수용액 0.1 M, 0.25 M를 각각 100 mL씩 제조하고, 금속판 4 쌍(구리판, 아연판 1 개씩을 한 쌍으로 간주함)의 초기 질량을 측정한다.
- ② 질산구리 수용액 50 mL 씩을 계량하여 50 mL 비커에 2 개에 각각 넣는다.
- ③ 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해서 1.6 V의 추가적인 전위차를 관찰한다.

- ④ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
- ⑤ 회로에 건전지를 하나 더 직렬로 연결한 뒤 ②번부터 ③번까지의 과정을 반복한다.

5) 사전 실험결과

3.2 V보다 1.6 V에서 구리 입자가 더 적게 달라붙었지만, 입자가 더 고르게 배열되었다. 3.2 V를 사용하여 도금 실험을 했을 때 도금층이 매우 두껍게 생겼지만 약간의 자극에도 쉽게 떨어졌다. 따라서 실험할 때 사용할 최적 전극 전압은 1.6 V를 기준으로 설정하였다.

Ⅲ. 농도 실험

- (1) 준비물: 증류수, 질산구리, 약순가락, 비커, 스포이트, 약포지, 전자저울, 건전지 2 개, 종이 박스, 구리판, 아연판

※ 비커: 유리이므로 깨짐에 유의하고, 비커를 옮겨서 사용할 때 한 손으로 비커를 받친 채 다른 손으로 비커를 잡고 이동한다.

- 2) 가설설정: 전해질의 농도가 높을수록 도금되는 금속의 양이 많아져 질량 변화가 클 것이다.

3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용질의 종류(질산구리 3수화물), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 용질의 농도(질산구리 0.1 M, 0.25 M)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

4) 탐구과정

(1) 1.6 V로 도금 실험하기

- ① 도금 전 아연판의 무게를 측정한다.
- ② 구리판에 (+) 선을 연결하고, 아연판에 (-) 선을 연결한다.
- ③ 0.1 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ④ 0.25 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ⑤ 도금한 아연판을 상온에서 건조시킨 후 아연판 2 개의 무게를 측정하고 늘어난 질량을 구한다.

(2) 3.2 V로 도금 실험하기

- ① 도금전 아연판의 무게를 측정한다.

- ② 구리판에 (+) 선을 연결하고, 아연판에 (-) 선을 연결한다.
- ③ 0.1 M 수용액 100 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ④ 0.25 M 수용액 250 mL에 구리판과 아연판을 2 cm 깊이로 3 분간 담근다.
- ⑤ 도금한 아연판을 상온에서 건조시킨 후 아연판 2 개의 무게를 측정하고 늘어난 질량을 구한다.

도금 3분 후	0.1 M	0.25 M	도금 전	0.1 M	0.25 M
<b>1.6 V</b>	4266.4 mg (3.4 mg 증가)	4534.6 mg (11.3 mg 증가)	<b>1.6 V</b>	4263.0 mg	4523.3 mg
<b>3.2 V</b>	4514.5 mg (7.2 mg 증가)	4189.9 mg (35.9 mg 증가)	<b>3.2 V</b>	4507.3 mg	4154.0 mg

0.1 M 수용액에 1.6 V로 실험했을 때는 3.4 mg이 늘어났고, 0.1 M 수용액에 3.2 V로 실험했을 때는 11.3 mg이 늘어났다. 그리고 0.25 M 수용액에 1.6 V으로 실험했을 때는 7.2 mg이 늘어났다. 마지막으로 0.25 M 수용액에 3.2 V으로 실험했을 때는 35.9 mg이 늘어났다. 이를 통해서 도금 시 금속에 담그는 용액의 몰농도가 진하면 도금된 양은 늘어난다는 사실을 알게 되었다.

#### 본실험 1. 용질 종류, 전압을 달리한 도금 실험-용매가 물일 때

1) 준비물: 저울, 약포지, 약순가락, 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물, 50 mL 비커 9개, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 증류수, 씻기병, 구리판과 아연판 9 쌍, 전선, 건전지 1개, 전압계, 박스 조각

2) 가설설정: 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물 순으로 구리 금속 석출량이 많을 것이다. 도금이 잘되는 것은 이온의 개수와 크기에 관련 있을 것이다. 황산구리는 이온화 되었을 때 음이온의 개수가 1개이고, 나머지는 2 개이므로 속도가 황산구리가 가장 빠를 것이며, 염화구리와 질산구리는 음이온의 크기에 따라서 달라질 것이다.

#### 3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용매의 종류(물), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 용질의 종류(질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물), 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

#### 4) 실험과정

- ① 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물 용액 0.1 M을 각각 150 mL씩 제조한다.
- ② 종이박스 조각을 사용하여 구리판, 아연판을 모두 용액에 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60 초 후 도금 결과를 관찰한다. 각각의 용액마다 1.6 V는 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해 실험한다. 0 V는 전선을 따로 연결하지 않고, -1.6 V는 전극을 반대로 연결해 60 초동안 도금을 진행한다.
- ③ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
- ④ 건조가 종료되면 씻기병을 사용하여 금속판 위에 물을 뿌림으로써 도금 성공 여부를 확인한다.

#### 본실험 2. 용질 종류, 전압을 달리한 도금 실험-용매가 메탄올일 때

1) 준비물: 저울, 약포지, 약손가락, 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물, 50 mL 비커 9 개, 네임펜, 커터칼, 유리막대, 증류수, 메탄올, 씻기병, 부피 플라스크, 구리판과 아연판 9 쌍, 전선, 건전지 1 개, 전압계, 종이박스 조각, 증류수

2) 가설설정: 이온 전하량의 곱에 의거하여 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물 순으로 구리 금속 석출량이 많을 것이다. 예상할 수 있는 부분에서 더 첨가(극성 관련 등)하고 메탄올이 물보다 극성이 더 작아서 도금되는 정도(속도)가 느릴 것이고, 더 느리게 도금됨에 따라서 표면이 더 고르게 도금될 것이다.

#### 3) 변인통제

- 통제변인: 도금이 일어나는 주변의 환경(온습도, 바람 등), 용매의 종류(메탄올), 용액의 양(각 100 mL씩 제조, 50 mL씩 계량)
- 조작변인: 사용하는 용질의 종류(질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물, 황산구리 5수화물), 전압(1.6 V, 0 V, -1.6 V)
- 종속변인: 도금 시 아연판에 석출된 구리 금속의 흡착성, 도금된 구리 금속의 양

#### 4) 실험과정

- ① 질산구리 3수화물, 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.1 M과 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M을 150 mL 제조한다. 황산구리 5수화물의 경우 용해도를 고려하여 불가피하게 0.05 M로 제조한다.
- ② 50 mL 비커 각각에 각 용액 50 mL씩을 넣고 금속판의 초기 질량을 측정한다.
- ③ 각 비커에 종이박스 조각을 사용하여 구리판, 아연판을 모두 용액에 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60 초 후 도금 결과를 관찰한다. 각각의 용액마다 1.6 V는 구리판에 양극 전선, 아연판에 음극 전선을 연결해 실험한다. 0 V는 전선을 따로 연결하지

않고, -1.6 V는 전극을 반대로 연결해 60 초 동안 도금을 진행한다.

- ④ 도금된 아연판을 완전히 건조시킨 뒤 질량을 재어 질량 변화를 확인한다.
- ⑤ 건조가 종료되면 씻기병을 사용하여 금속판 위에 물을 뿌림으로써 도금 성공 여부를 확인한다.

## 2. 추가실험

### ❖ 줄무늬 확인 실험 (I)

- 실험목적: 줄무늬의 원인이 수소기체의 발생이라는 가설을 확인하는 것이다.

- 가설설정: 줄무늬는 산화-환원 반응으로 인해 음극에서 발생한 수소기체와 금속판의 화학반응 때문에 나타났을 것이다.

- 준비물: septum 11호, 항온조, 가지달린 삼각플라스크 300 mL, 구리판, 아연판, 황산구리 5수화물 0.1 M 수용액, 호스, 시험관, 증류수

- 실험과정

- ① 가지달린 삼각 플라스크에 황산구리 5수화물 수용액 100 mL와 구리판과 아연판 각각 3장을 잘라 넣는다.
- ② 가지달린 삼각 플라스크에 호스를 연결하고 삼각 플라스크 입구를 septum 11호로 막는다.
- ③ 항온조 안에 물을 채우고 호스와 시험관 안에 물이 들어가도록 수상치환 장치를 구성한다.
- ④ 가지달린 삼각 플라스크를 회전시켜 내용물이 잘 섞이도록 하고 septum 11호에 공기를 모은다.
- ⑤ 모은 공기를 가스점화기에 가져다 대었을 때 퍽 소리를 내며 타는지를 확인한다.

\* 주의사항: 처음 모아지는 공기들은 새로 생성된 공기가 아닌 가지달린 삼각 플라스크에 원래 들어있던 공기일 확률이 높으므로 처음 모은 공기는 버린 뒤 모은다.

### ❖ 줄무늬 확인 실험 (II)

- 실험목적: 두 금속판에 추가적인 전위차를 발생시키지 않고 전자의 이동만 자유롭게 만들어주었을 때 줄무늬 생성 여부를 확인하는 것이다.

- 준비물: 100 mL 비커, 50 mL 비커, 100 mL 눈금실린더, 부피플라스크 100 mL, 씻기병, 메탄올, 박스조각, 금속판 5 쌍, 집게전선 1 개, 증류수, 황산구리 5수화물,

염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물

- 가설설정: 아연판이 잠긴 부분의 표면에 검고 어두운 색의 세로 줄무늬가 나란하게 맨눈으로 잘 보이도록 나타날 것이다.

- 실험과정

- ① 황산구리 5수화물, 메탄올 용액 0.05 M를 100 mL 제조하고, 50 mL의 용액을 50 mL 비커에 따로 취한다.
- ② 50 mL 비커 위에 박스 조각을 사용해서 구리판과 아연판이 각각 2 cm 잠기도록 고정한다.
- ③ 두 개의 금속판을 집게전선으로 연결한다.
- ④ 금속판을 용액에 담근 뒤 1 분 동안 도금 과정을 관찰한다.
- ⑤ 도금된 아연판을 건조시키고 질량 변화를 측정 한 뒤 아연판의 무늬를 관찰한다.
- ⑥ 위 과정을 용질을 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물로 바꿔가며 실행한다. (이 때, 염화구리와, 질산구리는 농도가 낮은 경우 줄무늬가 관찰되는 지 여부를 알기 위해 0.01 M 메탄올 용액도 제조하여 위 실험을 진행함.)

#### ❖ 줄무늬 확인 실험 (III)

- 실험목적: 두 금속판에 전지를 역방향으로 연결해 도금을 하였을 때 줄무늬 생성 여부를 확인하는 것이다.

- 준비물: 황산구리 5수화물, 염화구리 2수화물, 질산구리 3수화물, 100 mL 비커, 100 mL 눈금실린더, 50 mL 비커, 100 mL 부피 플라스크, 씻기병, 메탄올, 박스 조각, 금속판 4쌍, 건전지 1 개, 건전지 홀더 1개, 여분의 전선, 집게전선 1 개, 증류수

- 가설설정: 황산구리 5수화물 메탄올 용액을 사용했을 때가 질산구리 3수화물과 염화구리 2수화물 메탄올 용액을 사용했을 때보다 줄무늬가 더 길고 선명하게 생겼을 것이다. 또한, 세 용액 모두 농도를 낮추어 실험했을 때 생성되는 줄무늬의 개수와 길이, 두께가 줄어들 것이다. 특히 질산구리는 극성 용매인 물에 용해되었을 때 다른 전해질보다 아연판 도금량이 적었기 때문에 줄무늬 역시 거의 생성되지 않을 것이다.

- 실험과정

- ① 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M 50 mL, 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.05 M을 100 mL, 질산구리 3수화물 메탄올 용액 0.05 M을 100 mL을 제조한다.
- ② 제조한 용액 각각을 50 mL씩 취해서 50 mL 비커에 넣고 금속판의 초기 질량을

측정한다.

- ③ 1.6 V 전지 회로를 구성하고, 아연판에 양극 전선, 구리판에 음극 전선을 연결해 역방향 회로를 구성한다.
- ④ 50 mL 비커에 종이 박스 조각을 사용하여 금속판 2 cm가 잠기도록 한 뒤 60 초 후 도금 결과를 확인한다.
- ⑤ 도금된 아연판을 건조시키고 질량 변화를 측정한 뒤 아연판의 무늬를 확인한다.
- ⑥ 질산구리 3수화물과 염화구리 2수화물 메탄올 용액을 0.01 M로 제조하고 ②번 부터 ⑤번까지의 과정을 실험한다.

#### IV. 연구결과

1. 용매가 물일 때, 용질 종류에 따른 전위 실험

1) 질산구리 3수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4337.2 mg	4339.0 mg	1.8 mg
<b>0 V</b>	4394.0 mg	4395.1 mg	1.1 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	4408.6 mg	4409.0 mg	0.4 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 천천히 도금되었다. 도금된 표면이 검정색이고 열었다. 표면은 고르게 도금되었다.
- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 순으로 도금이 많이 되었다.
- 건조를 마친 후 도금된 아연판 위에 물을 뿌리면 세 경우 모두 금속 입자가 쏠려나간다.

2) 염화구리 2수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4624.5 mg	4626.3 mg	1.8 mg
<b>0 V</b>	4270.8 mg	4272.7 mg	1.9 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	4246.0 mg	4246.6 mg	0.6 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 천천히 도금되었고, 도금된 표면이 검정색이고 열었다. 표면은 고르게 도금되었고 석출은 되지 않았다.

- 0 V의 경우에는 용액에 담그자마자 도금되었고, 1.6 V의 경우 서서히 도금되었다. 반면에, -1.6 V의 경우에는 중간 정도의 속도로 도금되었으나 다른 경우와 달리 건조 후 물을 뿌려도 금속 입자가 흘러나가지 않았다. 또한, 도금 결과 비커 바닥에 검은색 침전이 관찰되었다.
- 0 V 도금, 정방향 도금, 역방향 도금 순으로 도금이 많이 되었다.

3) 황산구리 5수화물 수용액 0.1 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4590.7 mg	4592.4 mg	1.7 mg
<b>0 V</b>	4261.3 mg	4262.8 mg	1.5 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	4401.8 mg	4402.9 mg	1.1 mg

- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 모두 검정색으로 진하게 도금되었고 표면이 고르게 도금되었다. 또한, 세 경우 모두 금속판을 수용액에 넣었을 때 곧바로 도금되었다.
- 1.6 V, 0 V, -1.6 V 순으로 도금이 많이 되었다.

2. 용매가 메탄올일 때, 용질 종류에 따른 전위 실험

1) 질산구리 3수화물 메탄올 용액 0.1 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4297.0 mg	4297.8 mg	0.8 mg
<b>0 V</b>	4411.7 mg	4412.0 mg	0.3 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	구리 5229.2 mg 아연 4453.8 mg	구리 5228.9 mg 아연 4454.2mg	-0.3 mg +0.4 mg

메탄올 용매에서 질산구리 3수화물을 용질로 했을 때 1.6 V에서는 0.8 mg이 증가했다. 0 V에서는 0.3 mg이 증가했고, -1.6 V에서는 0.4 mg이 증가했다.

2) 염화구리 2수화물 메탄올 용액 0.1 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4332.2 mg	4333.5 mg	1.3 mg
<b>0 V</b>	4430.8 mg	4432.1 mg	1.3 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	4519.1 mg	4521.1 mg	2.0 mg

메탄올 용매에서 염화구리 2수화물을 용질로 했을 때 1.6 V에서는 1.3 mg이 증가했다. 0 V에서는 0.3 mg이 증가했고, -1.6 V에서는 2.0 mg이 증가했다. 이 실험에서는 정방향과 0 V 도금의 도금량 차이보다 역방향 도금량 차이가 더 큰 현상이 일어났다.

3) 황산구리 5수화물 메탄올 용액 0.05 M

	전	후	차이
<b>정방향 1.6 V</b>	4461.6 mg	4462.5 mg	0.9 mg
<b>0 V</b>	4316.3 mg	4316.0 mg	-0.3 mg
<b>(역방향) -1.6 V</b>	4330.0 mg	4329.2mg	-0.8 mg

메탄올 용매에서 황산구리 5수화물을 용질로 했을 때, 1.6 V에서는 아연판은 0.9 mg만큼 질량이 증가했다. 0 V에서는 아연판 질량이 0.3 mg만큼 감소했고, -1.6 V에서는 0.8 mg이 감소했다.

### 3. 용매가 메탄올일 때 용질 종류에 따른 전위 실험

#### 추가실험 1. 줄무늬의 원인 규명 실험

호스와 시험관 끝으로 미세한 기포가 발생해 이동했으며, 시험관 끝에 모인 기체가 차지하는 공간이 많아졌다. 그러나 점화기를 가져다 대었을 때 퍽 소리가 나지는 않았다. 삼각플라스크 안에 있는 금속판은 수평으로 놓인 상태였고, 금속판 표면에는 기포가 다량 발생했다. 또한, 아연판에 검은 줄무늬 대신 검은 점 모양이 생겼다. 즉 기체의 발생과 이동이 줄무늬 생성에 기여한다는 것을 추론하였다.

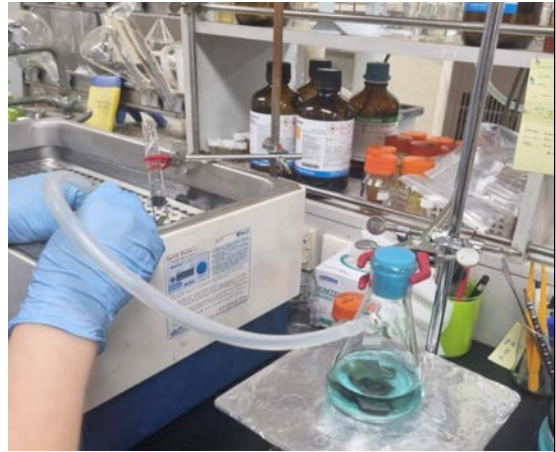


그림 8. 실험에서 사용한 수상치환 장치

#### 추가실험 2. -1.6 V에서의 염화구리, 질산구리, 황산구리 수용액의 도금 표면 관찰

##### 1) 염화구리 2수화물( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

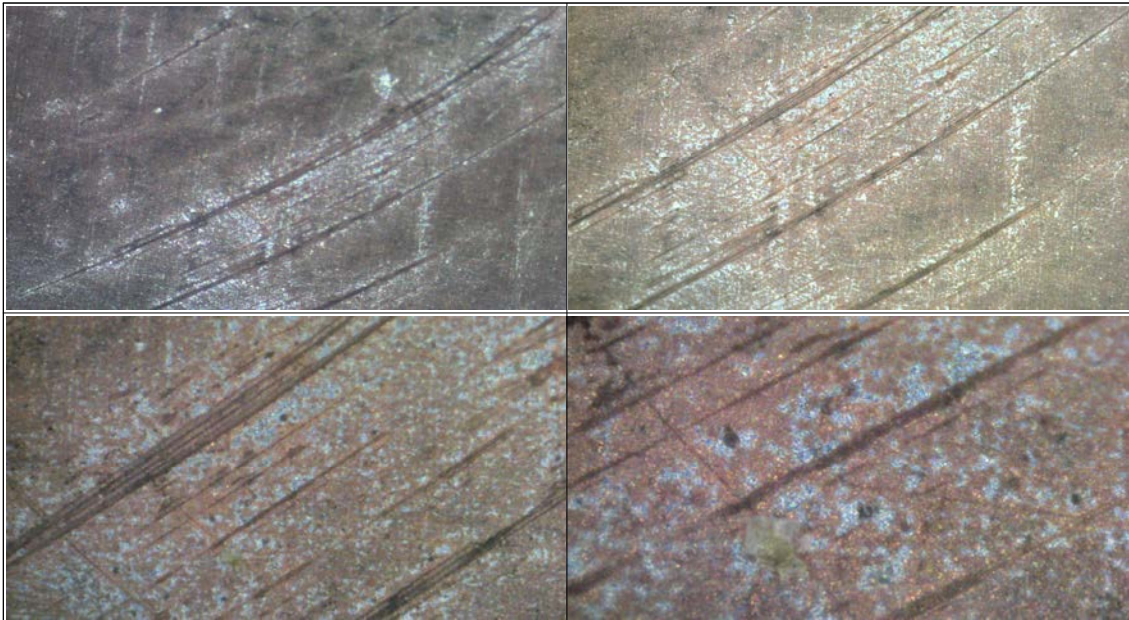


그림 9. 줄무늬의 현미경 사진(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

실험을 총 2 번(0.05 M, 0.01 M, 각 -1.6 V), 시행한 결과 첫 번째 실험에서 아연

판이 전반적으로 붉게 변했으며, 황산구리에 비해 어두운색 줄무늬가 잘 관찰되지는 않았다. 그러나 실체현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 검붉은색의 세로로 나란한 줄무늬가 관찰되었다. 염화구리 용액으로 도금을 진행할 경우 도금되는 구리 이온은 황산구리, 질산구리 용액과 달리 1가이므로 위와 같이 검붉은색을 띠다고 할 수 있다.

## 2) 질산구리 3수화물( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )

실험을 총 2번(0.05 M, 0.01 M, 각 -1.6 V) 시행한 결과 용액에 잠긴 부분이 살짝 어두워졌을 뿐 두드러지는 색 변화는 나타나지 않았다. 육안으로 관찰했을 때 줄무늬가 잘 보이지 않았지만, 실체현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 어둡고 짧고 얇은 세로방향의 나란한 줄무늬가 관찰되었다.

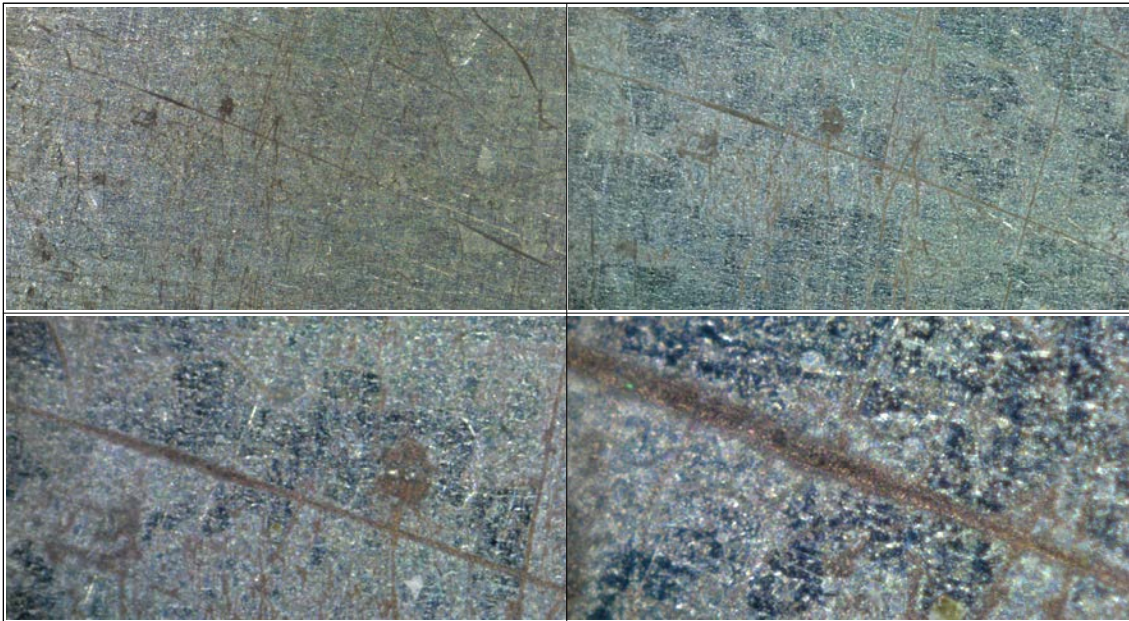


그림 10. 줄무늬의 현미경 사진(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

### 3) 황산구리 5수화물( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )

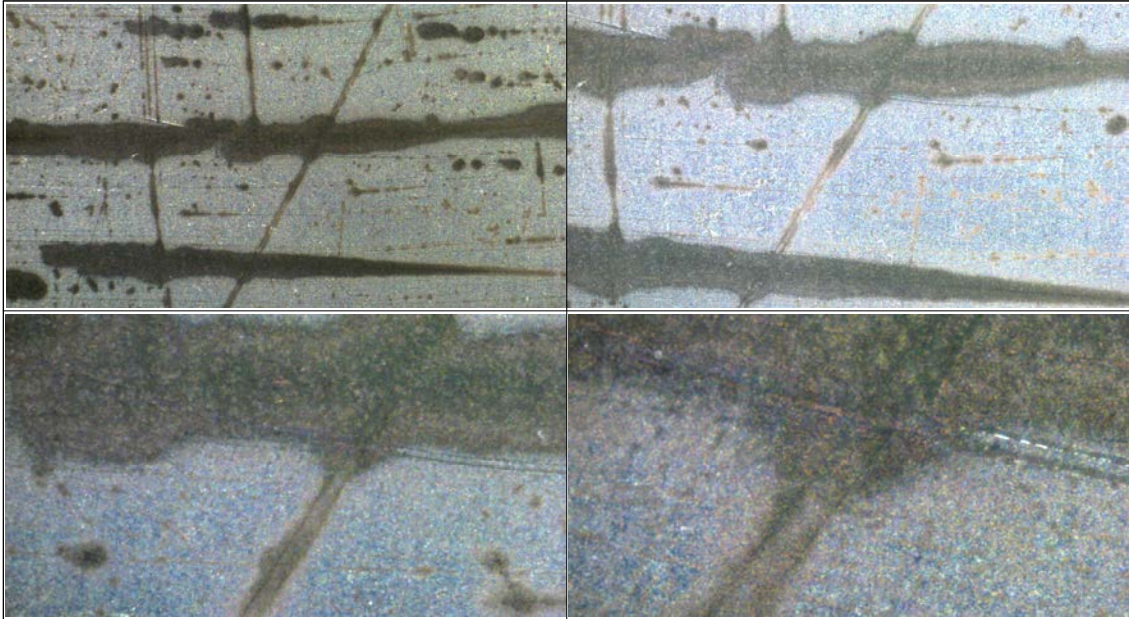


그림 11. 줄무늬의 현미경 사진(왼쪽 상단 50배, 오른쪽 상단 100배, 왼쪽 하단 400배, 오른쪽 하단 1200배 확대함)

실험을 총 2번(0.05 M, -1.6 V, 0.01 M, -1.6 V) 시행한 결과 염화구리나 질산구리에 비해 선명하게 줄무늬 모양 도금이 나타나 맨눈으로 줄무늬를 확인할 수 있었으며, 이는 이전의 같은 조건에서 실험한 경우와 결과가 같았음을 알 수 있다. 실제 현미경으로 도금된 표면을 관찰한 결과 어두운색, 길고 두꺼운 세로방향의 나란한 줄무늬가 관찰되었다.

## V. 결론 및 제언

### 1. 도금이 가장 잘 되는 조건에 관한 결론

전기도금을 진행할 때 사용한 전해질의 농도가 진할수록, 추가로 가한 순방향 전기 퍼텐셜 에너지의 값이 클수록, 아연판 위에 환원된 구리 금속의 양이 늘어났다. 하지만 석출되는 금속 입자 표면이 고르지 않고 입자 간 흡착력이 크지 않았다. 반대로 전기도금을 진행할 때 사용한 전해질의 농도가 연할수록, 추가로 가한 순방향 전기 퍼텐셜 에너지의 값이 작을수록 아연판 위에 환원된 구리 금속의 양이 줄어들었다. 그러나 예상과는 반대로 금속 입자가 고르게 도금되었고 금속 입자의 흡착력은 더 강했다. 따라서 도금을 통해 입자가 고르고 잘 벗겨지지 않는 금속 표면을

연기 위해서는 적절한 수치의 전해질 농도와 전위차를 가져야 함을 알 수 있다. 전기도금 실험에서 극성 용매와 비극성 용매를 모두 사용해 본 결과 비극성 용매를 사용했을 때보다 극성 용매를 사용했을 때 도금 반응이 뚜렷하고 빠르게 일어났다. 탐구를 통해 극성 용매는 용매 분자 자체의 쌍극자모멘트로 인해 이온결합 물질(가용성 염 및 전해질)을 쉽게 해리시키고, 이온과 전자의 이동을 촉진시켜 화학반응을 더 빨리 일으키는 것을 확인했다. 따라서 전기도금 실험을 효율적으로 진행하기 위해서는 물과 같은 극성 용매를 활용하는 것이 합리적이다.

## 2. 메탄올 용액을 활용한 도금 실험에서 아연판의 줄무늬에 대한 결론

메탄올 용액을 활용한 도금 실험을 진행하던 중 도금한 아연판 표면에 육안 또는 실체현미경(최대 배율 1200x)으로 확인할 수 있는 줄무늬를 관찰하였다. 수상치환 장치를 이용한 기체 포집 실험을 할 때 금속판을 실험대 기준 수직으로 세웠을 때는 길고 검은 줄무늬가 세로로 나타났고, 수평으로 놓았을 때는 검은 점이 나타났다. 이 현상을 통해 줄무늬가 생기는 데 부력을 받는 유체가 관여한 것을 알 수 있었고, 사용한 용매의 화학적 성상을 기반으로 수소 기체가 영향을 주었다는 결론을 도출하였다. 메탄올( $\text{CH}_3\text{OH}$ )이 메톡사이드( $\text{CH}_3\text{O}^-$ )와 수소 이온( $\text{H}^+$ )으로 분리될 수 있는데 이때, 구리 수용액에 넣으면 분리 정도가 극대화(약 100배)되어  $\text{H}^+$ 가 아연판에서 나온 자유전자와 반응해 수소기체를 생성한다. ( $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$ ). 이 수소기체가 아연판을 따라 상승하면서 아연판 표면을 산화시키고, 전자와 구리 이온이 결합해 환원된 구리 이온이 수소기체와 접촉한 부분에 구리 금속으로 도금되는 것이다. 물을 용매로 사용했을 경우에는 도금이 빠르게 되고 생성된 피막이 너무 두꺼워 줄무늬를 관찰하는 데 어려움이 있었다.

## 3. 도금실험에 사용한 전위차와 도금량에 대한 결론 및 고찰

실험 결과 데이터에 따르면 역방향 도금을 했을 때 아연판에 도금된 구리의 질량과 정방향 도금을 했을 때 도금된 구리의 질량을 비교했을 때 극적인 차이가 없었다. 이는 아연판 표면에서 갈바니 전지의 화학반응식과 동일한 자발적 환원 반응이 일어났기 때문에 상당한 양의 구리 이온이 환원되어 도금되었다고 규명할 수 있다. 또한 외부 전위차 없이 도금했을 때 1.6 V의 전압을 걸었을 때와 도금된 구리의 질량이 상당히 유사하였다. 이는 구리판과 아연판을 용액에 함께 담그었을 때 표준환원전위에 의해 약 1.1 V의 전위차가 발생하기 때문에 나타나는 현상이므로 도금실험을 할 때 자유전자의 이동은 항상 존재한다는 것을 확인했다. 마지막으로 실험에서 아연판 위에 도금된 구리 금속은 피막을 이룰 정도의 양으로, 매우 적기 때문에 도금 전후 질량의 차가 크지 않았을 것이다.

## VI. 참고문헌

1. 금속과 전자의 이동: 금속의 이온화 경향  
(<http://scienceorc.net/science/study/hwahak/h08-18.html> (scienceorc.net)).
2. 영재수업자료 - 어떻게 하면 깨끗하게 도금할 수 있을까?  
([http://new.kcsnet.or.kr/main/k\\_chemedu/pdf/37\\_01/3701038.pdf](http://new.kcsnet.or.kr/main/k_chemedu/pdf/37_01/3701038.pdf) (kcsnet.or.kr, 2010)).
3. 기본 일반화학, J. Overby, R. Chang, 14판, 사이플러스.
4. 네이버 화학백과 (대한화학회) (화학 : 네이버 지식백과 (naver.com)).
5. 물질별 유전율 표 - 주식회사 마쓰시마 메저 테크  
(<https://www.matsushima-m-tech.com/korean/technical-information/entry-1314.html>).
6. 유전상수 - 해시넷  
(<http://wiki.hash.kr/index.php/%EC%9C%A0%EC%A0%84%EC%83%81%EC%88%9>).
7. 박다정, 박채민, 강남현, 이규환(2016). 도금 전해액의 종류에 따른 수지상 구리 분말의 형상 및 표면적 특성. 한국표면공학회지: Vol. 49, No. 5, Pages 416-422.



화학A

05\_간단한 방법으로 된장 안의 나트륨과 칼륨의  
양 정량하기



# 간단한 방법으로 된장의 나트륨과 칼륨의 양 정량하기

김서울 (목포애향중학교 2학년)

박시은 (목포애향중학교 2학년)

지도교수 : 이용훈 (국립목포대학교 에너지화학공학과)

초록 : 된장은 동아시아 국가들에서 식품 첨가제이나 소스로 널리 이용되고 있는 발효 식품이다. 된장은 콩, 소금, 물을 주 재료로 만드는데, 소금이 전체 된장 무게의 10% 정도를 차지하는 만큼 된장에는 소금의 주 성분인 Na, Cl, K, Ca, Mg, S 등의 무기 원소들이 많이 포함되어 있다. 이 무기 원소들은 신경전달, 삼투압 유지 등 우리 몸에 꼭 필요한 것들이나 고혈압, 당뇨, 신장 결석 등으로 건강에 좋지 않은 영향을 미치기도 한다. 이 탐구 활동에서는 된장에 들어있는 Na와 K의 양을 학교에서 배운 불꽃반응을 이용해서 알아보려고 한다. 된장을 물에 풀고 니크롬선으로 소량을 찍어 내어 부탄가스 토치 불꽃에 넣어 Na와 K의 선스펙트럼을 관찰할 수 있었다. 또한 NaCl과 KCl을 증류수에 녹여 표준물질을 만들어 표준물질에서 관찰된 선스펙트럼의 세기를 이용하여 된장의 실험결과를 보정하여 Na와 K의 농도를 알아보았다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

된장은 한국, 중국, 일본 등 동아시아의 여러 나라에서 널리 소비되고 있는 식품이다. 된장은 콩, 소금, 물을 주 재료로 하여 발효과정을 통해 만들어지는데 콩, 소금, 물 이외에도 다양한 첨가물들이 포함되기도 한다. 된장에 들어있는 소금은 무게 퍼센트로 대략 10%를 차지하므로 된장을 통해서 소금을 많이 섭취하게 된다. 따라서 된장에는 소금의 주된 성분 원소들인 Na, Cl, K, Ca, Mg, S가 다양 포함되어 있다. 이들 무기 원소들은 신경 전달에 관여하고, 삼투압을 유지해 주는 등 우리 몸에 꼭 필요한 것들이지만, 너무 많이 섭취했을 경우 고혈압, 당뇨, 신장 결석 등으로 건강에 좋지 않은 영향을 준다. 따라서 시중에 유통되고 있는 된장 상품의 용기에는 이 무기 원소들 가운데 일부 원소들의 양이 용기에 표기되어 있는 것을 볼 수 있다.

이번 탐구활동에서는 학교에서 배운 원소의 불꽃반응의 원리를 이용하여 된장에 들어 있는 Na와 K의 선스펙트럼을 관찰하고 표준용액에서 관찰된 선스펙트럼의 세기와 비교하여 된장에 포함된 Na와 K의 양을 알아보았다. 값비싼 화학분석기기를 사용하지 않았기 때문에 분석 결과가 매우 정밀하거나 정확하지는 않지만, 학교에서 배운 원리와 간단한 실험 방법을 통해서 결과를 얻을 수 있다는 점으로부터 실용적으로 활용될 수 있는 방법임을 알 수 있었다.

## II. 이론적 배경

원자들은 불꽃 속에서 고유한 파장에서 선스펙트럼을 보인다. 이 현상을 학교에서 “원소의 불꽃반응”이라는 주제로 배우게 된다. 완벽하지는 않지만 보어의 원자 모형 을 통해서 원소의 불꽃반응의 원리를 이해할 수 있다 [1]. 원자는 그 원자의 원자번호에 해당하는 수 만큼의 전자를 가지고 있고, 이 전자들은 원자핵 주변에서 특정한 반지름을 갖는 원궤도를 따라 운동하고 있다고 하자. 어떤 물질을 불꽃 속에 넣으면 물질은 불꽃으로부터 에너지를 공급받게 되고 이 에너지는 물질을 이루는 원자들을 떼어내고, 이 원자들의 원자가 전자들을 자신의 원궤도에서 반지름이 더 큰 원궤도로 들뜨게 만든다. 이후에 들뜬 원자들은 다시 원래의 궤도 또는 반지름이 더 작은 궤도로 되돌아 오면서 빛을 방출하는데 이 빛의 에너지 또는 파장이 반지름이 서로 다른 두 원궤도의 상태들 사이의 에너지 차이에 해당하게 된다. 원자들은 그 종류에 따라서 고유한 에너지 구조를 갖기 때문에 불꽃에서 방출하는 빛의 파장 또한 원자를 마다 달라지고, 이 빛의 파장이 가시광선 영역에 해당하는 경우 우리 눈에 “불꽃색”으로 보이게 된다. 빛을 파장에 따라 분해하여 그 세기를 측정하는 분광기(分光機)를 사용하면 그 빛을 방출한 원자의 종류와 양을 알 수 있게 된다.

## III. 연구방법

불꽃 반응 실험에 쓰인 장치의 사진을 그림 1에 제시하였다. 시료 용액을 찍어 문힌 니크롬선을 집게로 고정하고, 시료가 문힌 부분에 부탄가스가 충전된 토치로 불꽃을 가해 주었다. 불꽃에서 공급되는 에너지는 먼저 물을 증발시키는데 사용되고, 고체가 된 된장을 구성하는 원자들을 원자화 시킨 후, 이 원자들의 원자가 전자들을 들뜬 원궤도로 전이시키게 된다. 이어서 방출되는 빛을 미니어처 분광기를 이용해서 파장에 따라 분해하여 그 세기를 측정하였다. 실험을 반복해서 하던 중에 결과를 보다 정밀하게 얻기 위해서는 시료 용액을 문힌 니크롬선을 항상 일정한 위치에 오도록 하는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 알게 되었다. 그래서 실험장치 한편에 카메라를 설치하여 니크롬선의 위치를 표과 함께 관찰하고 조절할 수 있도록 하였다. 그림 1의 왼편에 불꽃반응 실험장치의 전체 구성을 보여주는 사진을 제시하였고, 오른편에 실험을 수행하는 모습과 시료를 문힌 니크롬선의 위치를 표적과 함께 관찰하는 사진을 제시하였다.

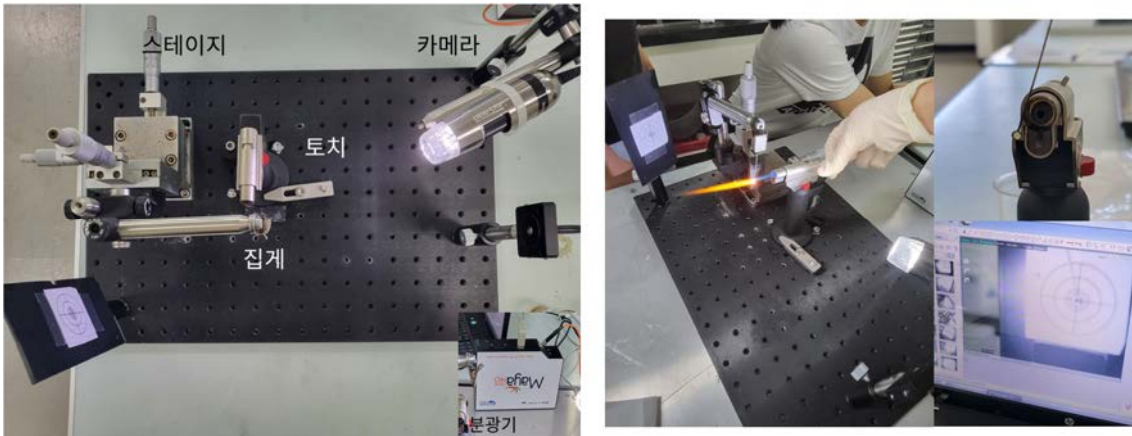


그림 1 불꽃반응 실험 장치.

된장에서 관찰된 Na와 K의 선스펙트럼 세기를 해당 원소의 농도로 환산하기 위해서는 Na와 K의 농도를 이미 알고 있는 표준용액을 이용하여 Na와 K의 선스펙트럼의 세기를 측정하여 된장에서 측정된 결과와 비교해 보아야 한다. 이 실험에서는 Na의 무게 비가 9.75, 4.64, 1.06, 0.24%가 되도록, 그리고 K의 무게 비가 0.97, 0.46, 0.11, 0.02 %가 되도록 NaCl과 KCl을 함께 증류수에 녹여 표준용액을 준비하였다. 된장 용액은 된장과 증류수의 무게 비가 1:2가 되도록 준비하였다.

#### IV. 연구결과

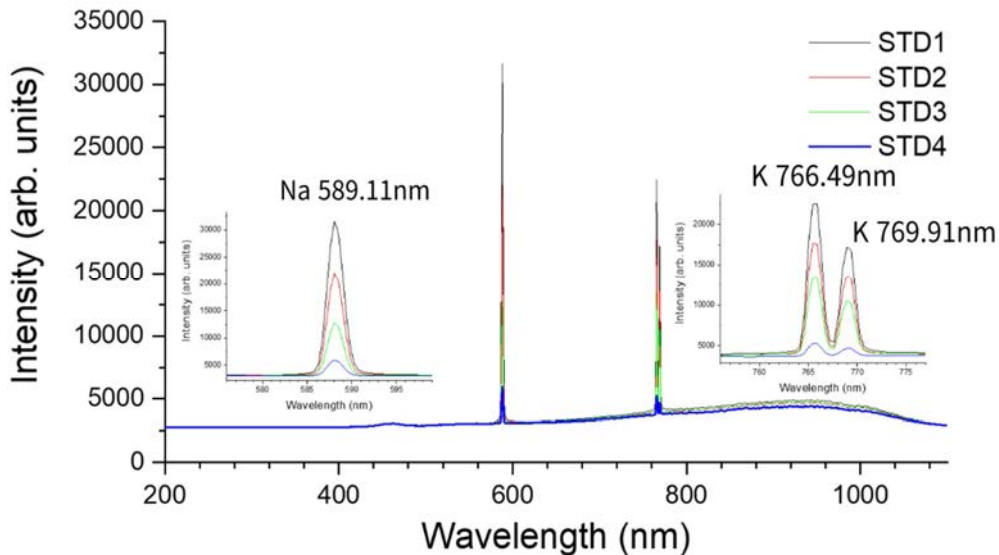


그림 2 표준용액에 대해서 관찰된 불꽃 스펙트럼.

그림 2에 표준용액에 대해서 얻은 스펙트럼을 제시하였다. 스펙트럼의 가로 축은 파장을 나타낸다. 실험에 사용한 분광기는 200 nm에서 1100 nm 범위의 파장에서

스펙트럼을 얻을 수 있다. 네 가지 표준용액의 Na와 K의 농도에 따라서 스펙트럼에 관찰된 Na와 K의 방출선 세기가 달라지는 것을 볼 수 있다. Na의 방출선은 589 nm에서 관찰되었고, K의 방출선은 766 nm, 769 nm에서 관찰되었다.

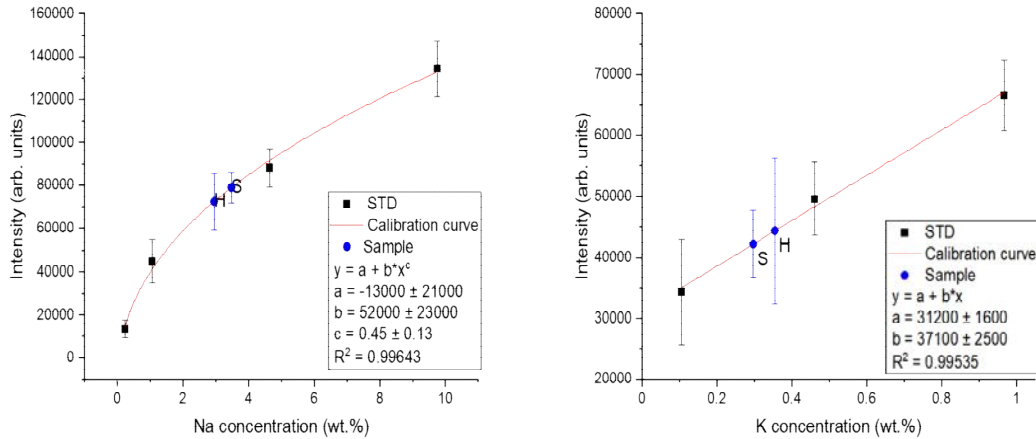


그림 3 Na와 K의 농도 검량선.

그림 3은 표준용액에서 관찰된 Na와 K의 선스펙트럼의 세기로부터 얻은 검량선이다. 그림 3의 왼편에 Na의 검량선을, 오른편에 K의 검량선을 제시하였다. K의 경우 농도가 증가함에 따라 선스펙트럼의 세기도 비례해서 증가하여  $y = a + bx$  꼴의 1차 함수로 검량선을 얻었다. 반면에 Mg는 농도가 증가함에 따라 선스펙트럼의 세기가 증가하는 정도가 감소하는 경향을 보였다. 이 결과로부터 검량선을 얻기 위해서  $y = a + bx^c$  꼴의 함수를 사용하였고, 선스펙트럼 세기의 증가 정도가 줄어드는 경향을 맞추기 위해서 파라미터  $c$ 를 1보다 작게 하였다. 실제로  $c$ 는 0.45 정도로 얻어졌고 이것은 학교에서 배운  $y = x^{1/2}$  함수와 비슷한 형태로 검량선이 나타난다는 것을 의미한다.

그림 4에 된장 시료에서 얻은 불꽃 스펙트럼을 제시하였다. 이 실험에 상품명이 각각 “해찬들”, “순창”인 두 가지 된장 시료를 구입하여 사용하였다. 표준용액에서 얻은 스펙트럼에서 관찰된 것과 같은 파장에서 선스펙트럼들이 관찰된 것으로 보아 Na와 K의 선스펙트럼이 관찰되었다는 것을 알 수 있다. 된장의 불꽃 스펙트럼에 관찰된 Na와 K의 선스펙트럼 세기를 표준용액을 이용하여 얻은 농도 검량선의  $y$  값으로 사용하여  $x$  값, 즉 농도를 얻어 보았다. 그 결과 “해찬들” 된장 시료에는 Na가 8.6 무게%, K가 1.0 무게% 포함되어 있고, “순창” 된장 시료에는 Na가 10.4 무게%, K가 0.9 무게%로 포함되어 있다는 것을 알 수 있었다.

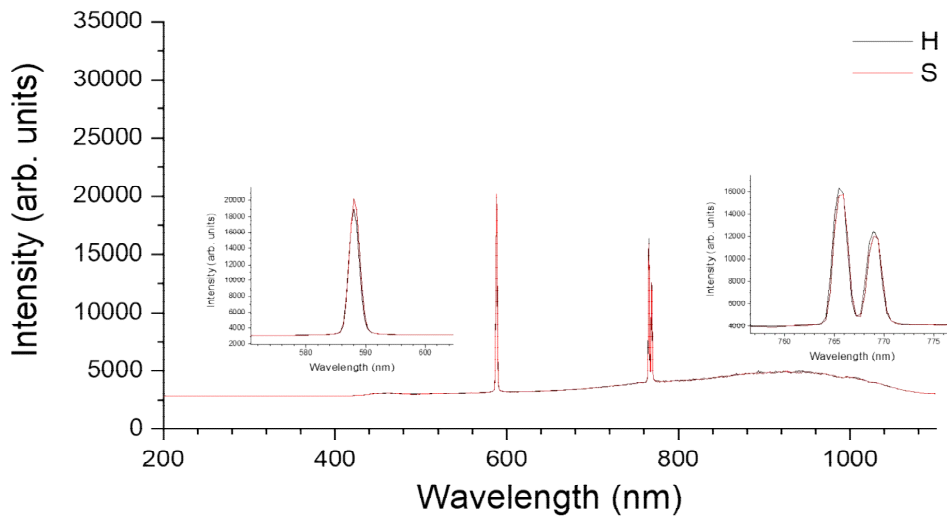


그림 4. 된장 시료에서 얻은 불꽃 스펙트럼. “H”는 “해찬들” 된장을, “S”는 “순창” 된장을 나타낸다.

## V. 결론 및 제언

이 탐구활동을 통해서 간단한 불꽃 반응 실험을 통해서 된장에 포함되어 있는 Na와 K의 양을 분석할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 시료를 원자화하고 여기시키는 에너지원으로 부탄가스 불꽃을 사용하였고, 분광기는 저렴하고 낮은 성능의 기기를 사용하였다. 또한 시료 용액은 한 방울 정도의 분량을 니크롬선으로 찍어 묻혀 사용하였다. 실험에 사용한 기기와 방법이 매우 간단하여 전문 화학 분석 기기 정도의 성능을 기대할 수는 없지만, Na와 K의 농도가 % 수준에서 변하는 시료의 경우, 이 기기와 방법을 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 보인다.

## VI. 참고문헌

- [1] Y. Lee,\* Y.-M. Jin, and Y.-G. Cho, “Learning elemental analysis using salts”, *Journal of Science Education for the Gifted*, 4 (2012) 190.



화학A

06\_치과용 임플란트 표면처리를 위한 비불소계  
성분을 활용한 Ti 금속의 양극산화



# 치과용 임플란트 표면처리를 위한 비불소계 성분을 활용한 Ti 금속의 양극산화

김보민 (광주동신여자중학교 2학년)

박채연 (호남삼육중학교 2학년)

이서진 (호남삼육중학교 2학년)

홍준혁 (문흥중학교 2학년)

지도교수: 강순형 (전남대학교 화학교육과)

**초록** 이 연구는 임플란트 소재의 골유착도를 향상시키기 위해 나노 튜브 구조의  $TiO_2$  표면 처리 방법을 탐구하였다. 양극 산화를 통해 제작된  $TiO_2$ 는 FE-SEM 분석에서 나노 튜브 구조를 확인하였고, CV 측정을 통해 최적 표면 처리 조건을 도출하였다. 실험 결과는 선행 연구와 일치하여 안정성과 신뢰성을 갖추고 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 표면 처리의 골유착도에 미치는 영향과 전해질 구성에 따른 나노 구조의 변화를 더 자세히 조사함으로써, 임플란트 소재의 안정성과 성능 향상에 대한 실질적인 기여를 기대할 수 있다.

## I. 서론

2018년 7월 이후, 대한민국에서는 임플란트 건강보험 급여 적용 연령이 65세로 확대되어 본인 부담금이 감소하면서 임플란트 시술의 증가가 지속되고 있다. 그러나 2017년 1월부터 2019년 6월까지의 소비자 불만사례 분석에 따르면, 임플란트 소재로 인한 부작용 중에서도 골 유착 문제로 인한 '탈락'이 가장 큰 비중을 차지하고 있다(47.6%). 이에 따라 우리 연구팀은 임플란트의 부작용을 최소화하고 고객 만족도를 향상시키기 위해 골 유착도를 높이는 방안에 주목하게 되었다. 특히, 생체 조직과의 접촉면적을 넓힘으로써 골 유착률을 증가시키는 방법을 탐구하고 있다. 기존의 표면 처리 기술은 마이크로미터( $\mu m$ ) 단위의 거칠기만을 구현할 수 있었지만, 본 연구에서는 양극 산화를 도입하여 나노미터(nm) 단위의 표면 구조를 확보할 수 있는 효과적인 처리 기술을 개발하였다. 이러한 연구는 임플란트 시술의 안정성과 효과성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다. 나노미터 단위의 표면 처리는 임플란트 소재의 생체 적합성을 향상시켜 환자의 안전성을 보장하며, 이로써 치과임플란트 분야에서의 혁신적인 발전을 이끌어낼 것으로 기대된다.

## II. 이론적 배경

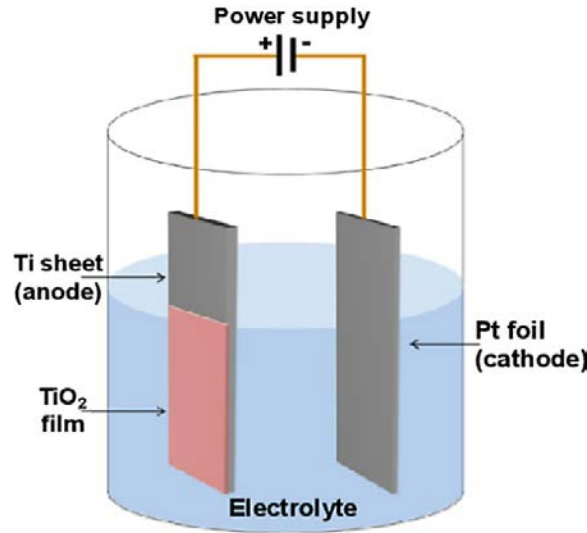
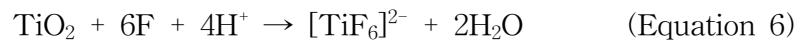
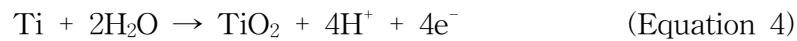


Figure 1 양극산화를 위한 전기 화학 셀의  
모식도

Figure 1에서 알 수 있듯이, 양극 산화(Anodizing)는 금속을 양극에 두고 산성 전해질에서 전해하여, 산화피막을 형성하는 반응이다. 본 연구에서는 Ti plate의 양극 산화를 진행했다. Ti plate의 산화 피막 형성 과정은 다음과 같다.



Ti plate를 양극으로 하여 전기 화학 셀에 설치한 후, 전압을 가하면 Ti의 표면에서 이온화가 발생하여 4가 양이온인 Ti 이온( $\text{Ti}^{4+}$ )이 생성된다. (Equation 2) 이  $\text{Ti}^{4+}$ 은 물에서 전기 분해를 통해 생성된 산소 이온(Equation 1)과 결합하여 Ti의 산화물인  $\text{TiO}_2$  막을 형성한다. (Equation 3) 전해질 속 성분인 Ammonium Fluoride( $\text{NH}_4\text{F}$ )는 해리된 상태로 존재하며,  $\text{TiO}_2$  산화물 속  $\text{Ti}^{4+}$ 은, 이 Fluoride 이온( $\text{F}^-$ )과 반응하여 Titanium Fluoride 이온( $[\text{TiF}_6]^{2-}$ )을 생성한다. (Equation 5) 이 이온은 물에 용해되어  $\text{TiO}_2$  산화막이 깎여 나가게 된다. (Equation 6) 깎인 Ti 소재의 표면에서 다시 산화 반응이 일어나고, 산화막은 재차  $\text{F}^-$ 와 반응하여 깎이게 된다.

다시 말해 Ti 금속의 양극산화는 Equation 1에서 6까지의 과정이 반복적으로 일어나며 나타나는 결과이다.

### III. 연구 방법

#### III-1. 전해질 제조

플라스틱 비커에 Ethylene Glycol 97 wt%와 3 wt%의 DI water, 0.3 wt%의 Ammonium Fluoride를 넣는다.

그 후, 용액이 잘 섞일 수 있도록 약 10분간 교반한다. 전해질을 구성하는 성분은 선행 연구[1]의 비율을 참고하였는데, 나노 구조를 더 잘 생성되게 하기 위해 DI water의 비율을 줄여 상대적으로 Ethylene Glycol과 Ammonium Fluoride의 비율이 높아지게 하였다.

#### III-2. 양극산화를 통한 TiO<sub>2</sub> 나노구조 제작

Ti plate 4개를 1cm × 2cm의 크기로 자르고 점점 고운 사포로 바꿔가며 문질러 Ti plate 표면의 산화막을 제거한다. 다음으로, Ti plate의 뒷면과 앞쪽 면에 절연 테이프를 붙여 반응 면적을 1cm<sup>2</sup>로 제한한다. Ti plate를 작업 전극으로 하여 3 전극 시스템을 구성하고 앞서 만들어 두었던 전해질에 담가 전압을 가하여 양극 산화시킨다. 마지막으로, 양극산화가 완료된 Ti plate를 Ethanol로 세척하고 N<sub>2</sub> gas로 불어 건조 시킨 후, 450℃에서 3시간 동안 열처리한다.

#### III-3. 양극산화에서의 전압 조건

본 연구에서는 펄스의 길이와 샘플의 나노 구조의 표면적과의 관계를 알아내기 위해 Figure 2와 같이 60V를 20분 동안 가하여 대조군(ref)을 설정한 후, 60V 3분/20V 6분(TiO<sub>2</sub>-6), 60V 3분/20V 12분(TiO<sub>2</sub>-12), 60V 3분/20V 18분(TiO<sub>2</sub>-18)의 형태로 전압을 10세트 가하여 양극산화를 진행해 실험군을 설정하였다.

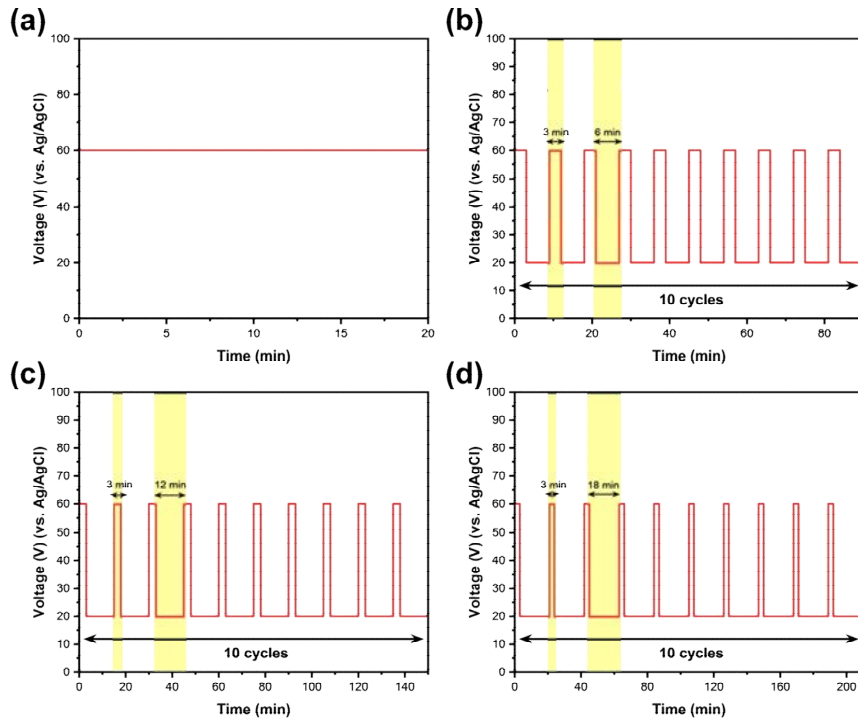


Figure 2 (a) ref, (b)  $\text{TiO}_2$ -6, (c)  $\text{TiO}_2$ -12, (d)  $\text{TiO}_2$ -16 샘플의 제작 Pulse plot

#### IV. 연구 결과

##### IV-1. UV-Vis spectrum

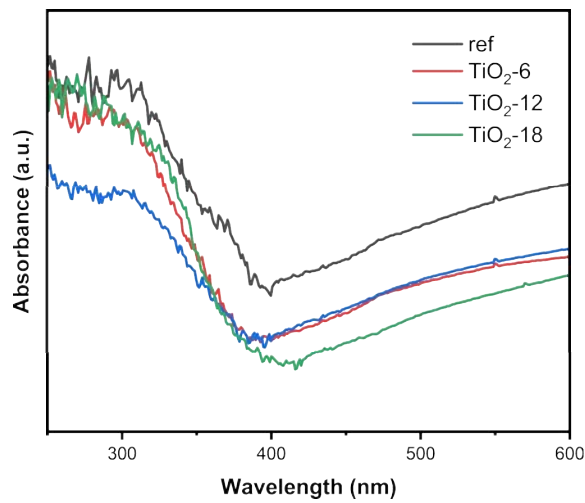


Figure 3 양극산화를 통해 생성된  $\text{TiO}_2$  샘플의 흡광도 그래프

위의 그래프에서 네 가지 샘플 모두 400nm 부근의 자외선 영역에서 빛을 흡수하

기 시작해 300nm 이하의 짧은 파장의 빛을 강하게 흡수한다. 이는  $\text{TiO}_2$ 의 흡광도 측정 결과와 일치한다[2]. 이러한 물질의 광·화학적 성질인 에너지 밴드갭에 따른 결과는 물질의 고유한 특성이라고 판단할 수 있다. 따라서 네 가지 샘플 모두  $\text{TiO}_2$ 로 이루어짐을 알 수 있었다.

## IV-2. XRD Pattern

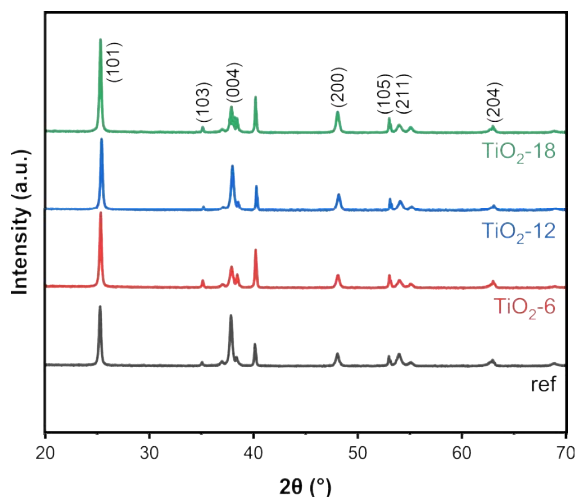


Figure 4 양극산화를 통해 생성된  $\text{TiO}_2$  샘플의 XRD 패턴

Figure 4는  $\text{TiO}_2$  샘플의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 모든 샘플의 분석 패턴에서 아나타제(Anatase)  $\text{TiO}_2$ 의 주요 피크 위치인 25.3 °과 48.1 °에서 높은 강도로 피크가 나타났고, 특히 아나타제  $\text{TiO}_2$ 의 (101) 결정 평면에서의 특성적인 반사 각도인 25.3° 에서 피크가 나타난 것으로 보아 모든 샘플이 아나타제  $\text{TiO}_2$  결정 구조를 가졌음을 확인할 수 있었다[3].

## IV-3. FE-SEM 분석 결과

Pulse를 이용한 양극산화를 통해 제작한  $\text{TiO}_2$  샘플의 형태학적 분석을 위해 FE-SEM을 이용하였다. 정면 관찰과 측면 관찰을 통해 네 가지 샘플 모두 나노 튜브 구조가 만들어짐을 확인하였다. 특히 대조군을 제외한 펄스의 형태로 양극산화를 진행한 샘플들 모두 옆면에 마디가 있는 대나무 형태의 나노구조가 성공적으로 형성됨을 확인할 수 있었다.

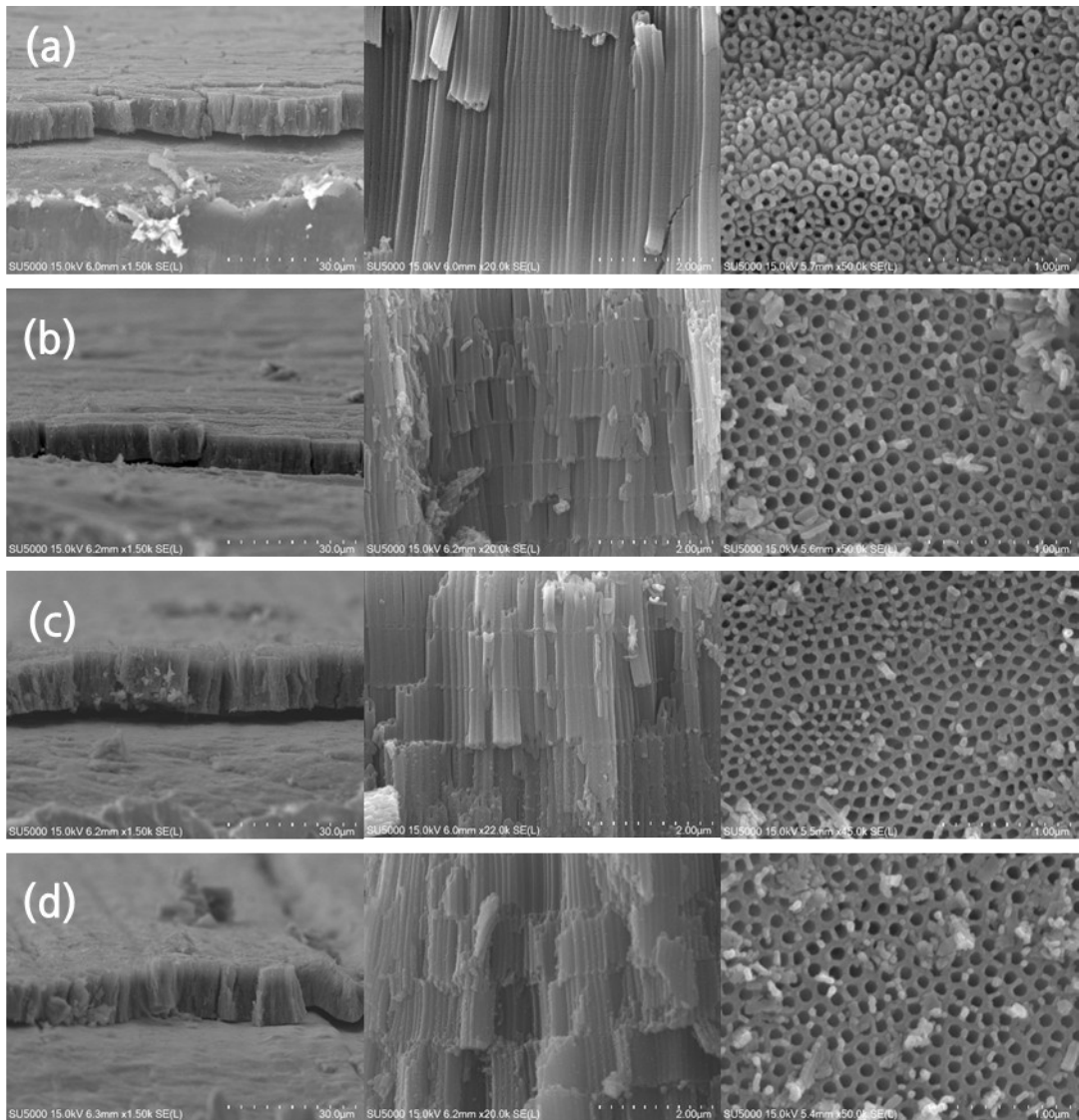


Figure 5 (a) ref, (b)  $\text{TiO}_2$ -6, (c)  $\text{TiO}_2$ -12, (d)  $\text{TiO}_2$ -16 샘플의 FE-SEM 분석 이미지

	Thickness [ $\mu\text{m}$ ]	Spacing [nm]	Pore size [nm]	Wall thickness [nm]
ref	8.47	0	52.69	49.62
$\text{TiO}_2$ -6	8.74	832.19	89.66	22.28
$\text{TiO}_2$ -12	9.89	1132	91.30	27.55
$\text{TiO}_2$ -18	12.66	1240	105.29	38.86

Table 1 FE-SEM을 통해 측정된 양극산화를 통해 생성된  $\text{TiO}_2$  샘플의  $\text{TiO}_2$  층의 두께, 마디의 길이, 기공의 크기, 나노튜브 벽의 두께

각각의 샘플에 대해 더욱 정확한 분석을 위해  $\text{TiO}_2$  층의 두께, 마디의 길이, 기공의 크기, 나노튜브 벽의 두께를 측정하였다. 분석 결과, 마디의 길이는 pulse의 길이가 길수록 길어졌으며, 이를 통해 pulse의 길이가 가장 짧은 샘플의 표면적이 가장

넓을 것이라고 예측할 수 있었다.

#### IV-4. Cyclic Voltammetry 분석 결과

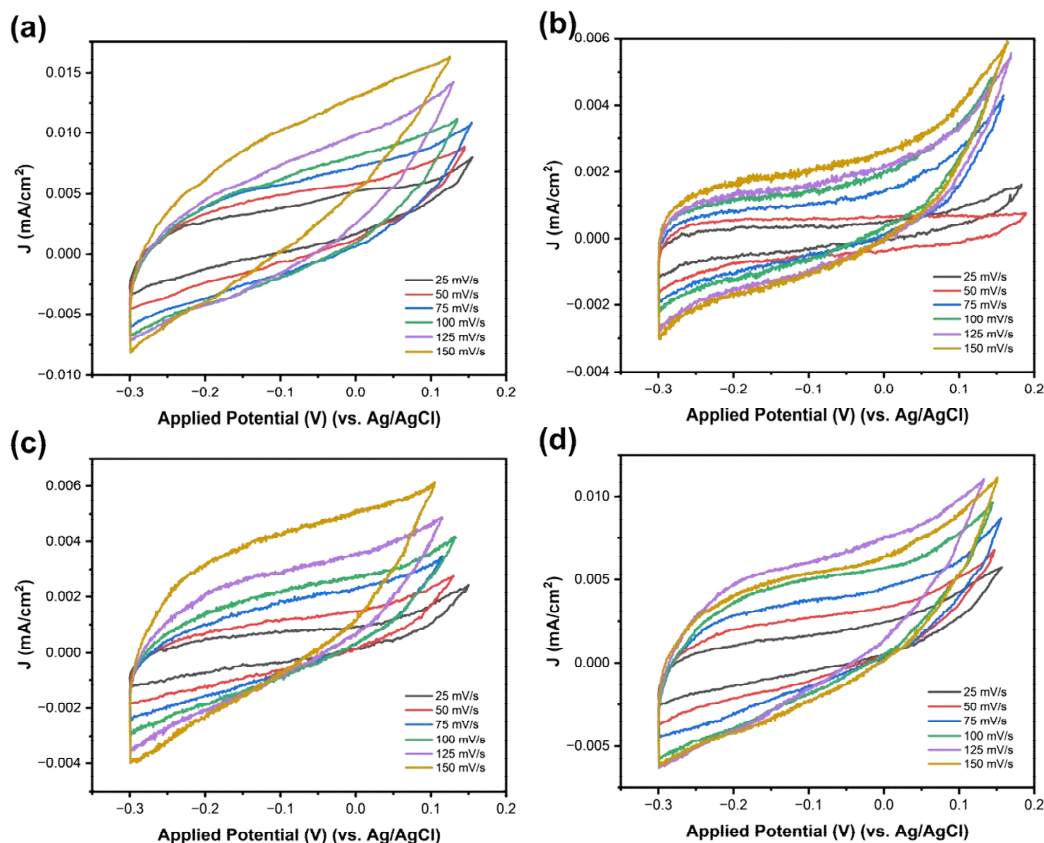


Figure 6 (a) ref, (b)  $\text{TiO}_2$ -6, (c)  $\text{TiO}_2$ -12, (d)  $\text{TiO}_2$ -16 샘플의 Cyclic Voltammetry plot

Figure 6은  $\text{TiO}_2$  샘플들의 Cyclic Voltammetry를 각각 25 mV/s, 50 mV/s, 75 mV/s, 100 mV/s, 125 mV/s, 150 mV/s 여섯가지의 scan rate로 측정하였다. 이를 통해 각 샘플의 특정 커패시턴스( $C_s$ , specific capacitance)를 계산하였으며 그 계산 식은 Equation 7과 같다. Specific capacitance(특정 커패시턴스)는 전기 커패시터의 성능을 나타내는 지표 중 하나로 특히, 단위 면적당 커패시턴스를 나타내므로 재료의 효율성을 평가하는 데에 사용된다. 다시 말해서, 얼마나 작은 공간에 많은 전하를 저장할 수 있는지를 나타내는 지표이다.

또한 Scan rate를 다르게하여 측정한 CV 결과를 이용하여 전기 이중층 커패시턴스( $C_{dl}$ )를 계산하였으며, 이는 Figure 7 (a)에 나타내었다. 계산된 ref 샘플의  $C_{dl}$ 는  $0.0088 \text{ mF/cm}^2$ 이었으며  $\text{TiO}_2$ -6,  $\text{TiO}_2$ -12,  $\text{TiO}_2$ -18 샘플은 각각 0.0202, 0.01889,  $0.01215 \text{ mF/cm}^2$ 이었다.

$$C_S = \frac{\int_{v_1}^{v_2} I(V)dv}{mS} \quad (\text{Equation 7})$$

$$ECSA = \frac{C_{dl}}{C_S} \quad (\text{Equation 8})$$

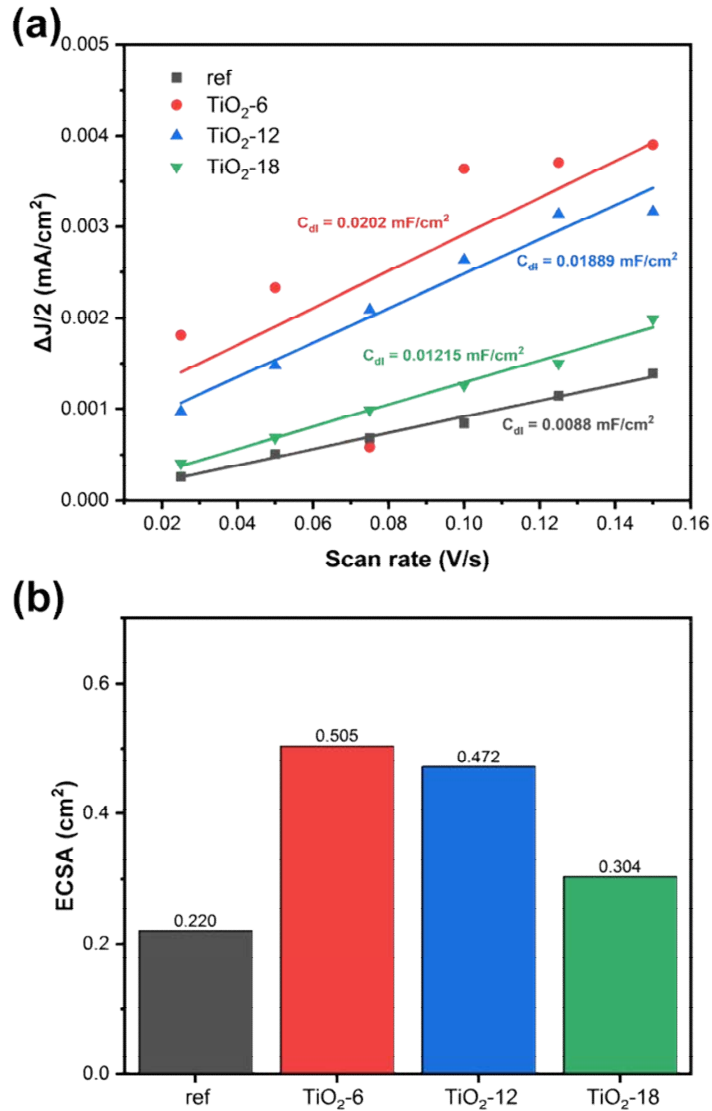


Figure 7 양극산화를 통해 생성된 TiO<sub>2</sub> 샘플의 (a) Cdl 계산 plot 및 (b) ECSA

마지막으로 물체의 전기화학적 활성 표면적(ECSA, Electrochemically Active Surface)를 계산하였으며 이는 Figure 7 (b)에 나타내었다. 계산에는 Equation 8의 식을 사용하였다. 계산된 ref 샘플의 ECSA는 0.220cm<sup>2</sup>이었으며 TiO<sub>2</sub>-6, TiO<sub>2</sub>-12,

TiO<sub>2</sub>-18 샘플은 각각 0.505, 0.472, 0.304 cm<sup>2</sup>이었다. 이를 통해 실제로 pulse의 길이가 가장 짧은 60V 3min/20V 6min 샘플의 표면적이 가장 넓다는 것을 알 수 있었다.

## V. 결론 및 제언

본 연구는 임플란트 식립 시 소재의 골유착도 문제를 해결하기 위해 임플란트 소재의 표면적을 효과적으로 증가시키는 것을 목표로 실험을 수행하였다. 높은 표면적의 나노 구조 형태의 TiO<sub>2</sub>는 양극 산화를 통해 제조되었으며, XRD Pattern 및 UV-vis spectrum을 통해 생성된 샘플이 TiO<sub>2</sub>임을 확인하였다. FE-SEM 분석 결과, Pulse 형태의 전압을 가하여 제작된 TiO<sub>2</sub> 샘플이 마디를 가진 나노 튜브 구조를 가지고 있음을 확인하였다. 또한, CV 측정을 통해 샘플의 전기화학적 활성 표면적(ECSA)을 계산하여, 가장 짧은 Pulse를 주어 제작된 샘플이 가장 높은 표면적을 갖는다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 선행 연구와 일치하므로, 결과의 신뢰성이 높음을 확인할 수 있다.

향후 연구에서는 이 표면 처리 방법을 적용했을 때의 골유착도 증가와 전해질 구성에 따른 나노 구조 변화를 조사하여 둘 사이의 관계를 더 자세히 알아보는 것이 의미있을 것으로 예상된다. 이러한 연구 결과는 임플란트 소재의 디자인과 성능 향상에 기여할 수 있을 것이며, 임상 응용에 적용될 수 있는 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

## VI. 참고문헌

1. So-Hee Lee, Hyun Sik Kim, Kwang-soon Ahn, Soon Hyung Kang (2013). Morphological Control of Anodic TiO<sub>2</sub> Nanotubes by the Modulation of Applied Potential. Chemistry Letters.
2. Mahdiar Ghadir, Mehrdad Gholami, Choon Kong Lai, Harith Ahmad (2016). Ultra-Sensitive Humidity Sensor Based on Optical Properties of Graphene Oxide and Nano-Anatase TiO<sub>2</sub>. Researchgate.
3. Xiaomeng Wu, Zhao-Hui Huang, Yangai Liu, Minghao Fang. (2012). Investigation on the Photoelectrocatalytic Activity of Well-Aligned TiO<sub>2</sub> Nanotube Arrays. Researchgate



화학A

## 07\_질량분석기를 이용한 달걀 흰자의 글리칸 분석



# 질량분석기를 이용한 달걀 흰자의 글리칸 분석

석현민 (세종중학교 2학년)

이유빈 (안골포중학교 2학년)

이창윤 (마산중앙중학교 2학년)

최서윤 (웅남중학교 2학년)

지도교수 : 임재민 (창원대학교 화학과)

## 초록

당단백질은 단백질의 미세구조 제어를 통하여 세포 내 대사조절, 신호전달, 면역과 같은 다양한 생리 활성화에 기여하고 있다. 또한 세포나 분자들이 서로 인지하여 결합할 수 있도록 도움을 주며, 미생물 감염과 악성 종양 형성 그리고 세포를 분화시키는 역할을 주로 담당하는 것으로 알려졌다. 이 당단백질은 단백질에 글리칸이 글리코실화를 통해 결합된 구조이며 글리칸의 발현 상태가 변하게 되면 기존 당단백질의 구조가 변형되어 생물학적인 기능의 변화가 유발된다. 이러한 글리칸의 변화를 분석하는데 매우 효과적인 질량분석법을 기반으로 하여 글리칸의 구조적, 정량적 변화를 빠르고 효과적으로 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 본 실험 프로젝트에서 orbitrap 질량분석기를 이용하여 달걀 흰자의 주성분이고 당단백질인 오브알부민의 글리칸의 종류와 구조에 관하여 분석하는 연구를 수행하였다. 이를 통하여 질량스펙트럼으로부터 생체분자의 증명과 구조적 해석을 유용하게 확립하는 방법을 경험하였다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

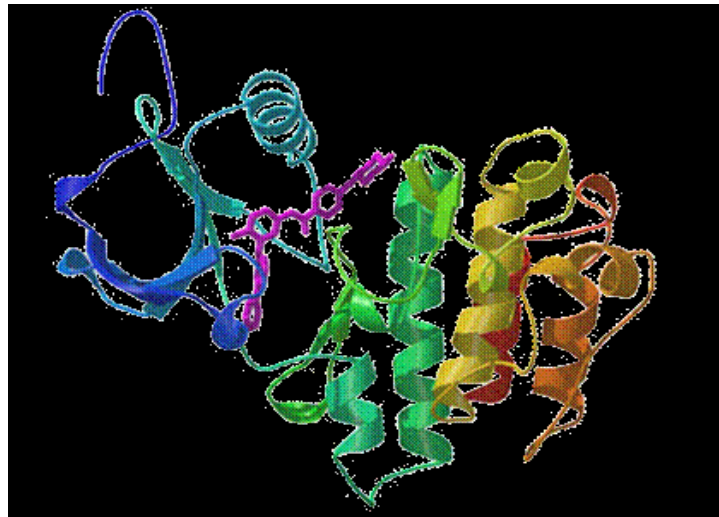
글리칸은 당단백질에서 당 성분으로 이루어진 복잡한 탄수화물의 일종으로, 생물학적 활성화와 기능을 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 달걀 흰자에서 발견되는 글리칸은 막을 형성하거나 세포 외 기질의 구성 요소로서의 기능을 수행하며, 식품 산업에서 기능성 원료로도 활용된다. 이러한 글리칸의 복잡한 구조와 다양한 기능을 연구하고 이해하기 위해서는 질량분석기를 이용한 글리칸 분석 기술이 가장 적합한 기술로 인식되고 있다. 질량분석기는 분자의 질량을 빠르고 정확하게 측정할 수 있는 고성능 분석 장비로, 복잡한 글리칸의 구조를 해석하는 데 매우 유용한 도구로 활용될 수 있다.

본 실험 논문에서는 달걀 흰자에서 주성분으로 발견되는 당단백질인 오브알부민 글리칸의 성분과 구조를 질량분석기를 이용하여 분석하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 오브알부민 글리칸의 구성과 다양성을 파악하는 경험을 함으로써, 질량의 측정에 의한 생체 물질 검출의 중요성을 인식하는 계기가 되었으며 향후 더 발전된 분석 기술의 발전을 위한 기초적인 자료로 활용될 것으로 기대된다.

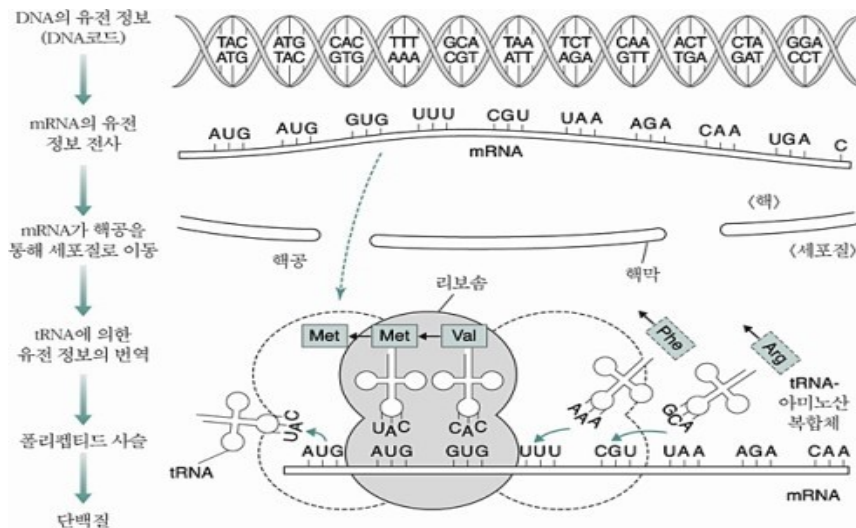
## II. 이론적 배경

### 1. 단백질과 당단백질의 합성

단백질은 탄소와 탄소 주위에 이웃한 아미노기와 카복실기를 가지는 기본적인 구조의 아미노산들이 펩타이드 결합 후 폴딩(folding) 되어있는 구조이다(그림 1). 온도가 높아지거나 pH 농도가 변화하면 폴딩 되어있던 단백질이 풀려서 기능을 하지 못한다. 생물체 내의 단백질은 그 생물의 유전자에 의해 전사와 번역을 통하여 합성이 이루어지는데, 식물이나 미생물은 필요한 단백질을 스스로 합성할 수 있으나, 동물은 그러한 능력이 없기에 음식물로 단백질을나 아미노산을 섭취해야 한다(그림 2).

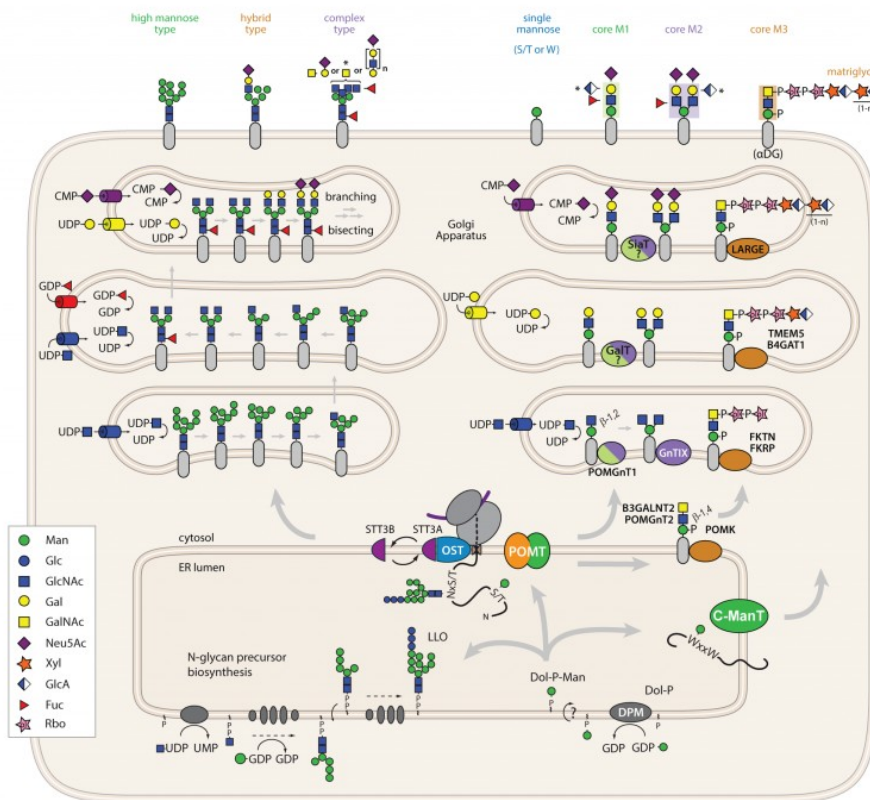


(그림 1) 단백질의 구조.



(그림 2) 단백질의 합성 과정.

단백질의 주요 기능 중 중요한 것은 화학반응의 촉매 역할을 하는 것이다. 생물의 체내에서는 각종 화학반응이 끊임없이 일어나고 있는데, 생물체를 구성하는 모든 물질을 합성하고 분해하며 생물의 활동에 필요한 에너지를 생성하는 생체 촉매 기능을 하는 단백질을 특히 효소(enzyme)라고 한다. 효소는 이 모든 화학반응을 조절하여 적절한 시기에 체내의 적합한 장소에서 반응이 이루어지도록 조절하는 역할을 한다. 또한 단백질은 모든 생체 생리작용에 가장 중요한 기능을 하며 특히 당단백질은 단백질에 탄수화물이 결합하여 특수한 생리적 기능을 담당하고 있다. 단백질과 당과의 결합은 광범위하게 일어나며 세포 외에 존재하는 단백질의 다수는 당단백질 상태로 존재한다. 단백질과 당과의 결합은 주로 소포체(endoplasmic reticulum)와 골지체에서 연속적인 글리코실 전이효소(glycosyl transferase)의 작용에 의해 일어나며 이 당단백질이 원형질막으로 이동하여 당과 결합한 부분이 세포막과 밖에 위치하게 된다. 원형질막 단백질 이외에도 분비 단백질(secretory protein)의 다수가 당단백질 형태로 존재하는 것으로 알려졌다 (그림 3).



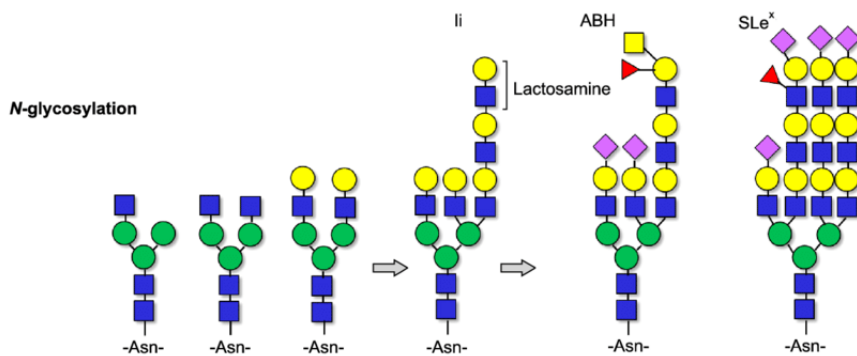
(그림 3) N-당화 구조.

## 2. 당단백질의 종류

당단백질의 글리칸은 글리코시드 결합으로 연결된 많은 수의 단당류로 구성된 화합물이다. 글리칸은 인간의 세포에서 보호, 재생 등의 세포 간 인식에 관여한다. 글리

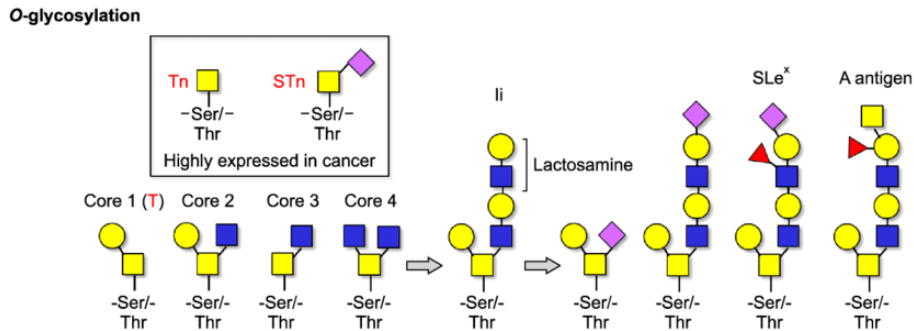
코시드 결합이란 화학 및 생화학에서 탄수화물 분자를 다른 기와 결합시키는 공유 결합의 한 유형이다. 글리코시드 결합처럼 화학반응을 하기 위해서는 효소가 필요하다. 글리코시드 결합에 필요한 효소는 글리코시드 가수분해효소(글리코시데이스)이다. 글리코시드 가수분해효소는 전형적으로 알파 글리코시드 결합 또는 베타 글리코시드 결합에 작용할 수 있다. 알파 글리코시드 결합은 결합하는 두 탄소가 동일한 입체화학을 가지고 있을 때 형성된다. 반면, 베타 글리코시드 결합은 결합하는 두 탄소가 서로 다른 입체화학을 가지고 있을 때 형성된다.

N-당화는 당이 주로 아스파라진의 잔기에 존재하는 질소(N) 분자에 결합한다. N-당화의 경우 붙는 공통 구조는 코어올리고당(core oligosaccharide)이라고 하며, 2개의 N-아세틸글루코사민(N-acetylglucosamine)과 3개의 마노스(mannose)로 구성되어 있다. N-당화의 합성 과정은 다음과 같다(그림 4). (1) 단백질 번역(translation): 유전자에 의해 전사된 mRNA가 단백질 합성 효소인 라이보솜에 결합하고 단백질 합성이 진행되어 폴리펩타이드가 합성된다. (2) 번역 후 변형(post-translational modification, PTM): 번역 후 변형 효소들이 특정 아스파라긴-x-트레오닌(asparagine-x-threonine) 또는 아스파라긴-x-세린(asparagine-x-serine) 단백질의 부분 구조에 당 분자를 결합시킨다. 이로 인해 N-연결 당화된 단백질이 생성된다. (3) 미분화 당화: 세포막에 있는 단백질의 경우 N-당화된 단백질은 당화가 미분화 되고, 다른 당 분자가 결합하는 단계가 이어진다.



(그림 4) N-당화 합성과정.

O-당화는 당이 주로 세린과 트레오닌의 산소(O) 분자에 결합한다. 이외에도 하이드록시 라이신 또는 하이드록시 프롤린의 산소(O) 분자에 결합하여 O-연결 당화를 생성한다(그림 5).



(그림 5) O-당화 합성과정.

P-당화는 당이 주로 인산화 세린의 인산기에 결합한다. C-당화는 당이 주로 트립토판의 탄소(C) 분자에 결합한다. Glypiation은 당화포스파티딜이노시톨 (glycosylphosphatidylinositol, GPI) 당지질을 단백질에 결합해 당단백질 결합을 유도한다.

### 3. 당단백질의 기능과 오브알부민

당단백질은 인체에서 가장 흔히 존재하는 당단백질은 뮤신으로, 주로 호흡기나 소화기관의 점막을 형성하여 윤활 작용과 보호 작용을 한다. 특히 뮤신은 당구조 사이에 다량의 수분을 함유하고 있어서 소화기관에서 소화효소의 작용으로부터 세포를 보호하며, 호흡기와 소화기에서 미생물의 감염에 대한 보호 작용을 하기도 한다. 또한 당단백질은 세포 간의 접착을 매개하는 것으로, 당단백질과 그에 대한 수용체 또는 렉틴(당을 인식하는 단백질)의 결합에 의해 세포와 세포, 세포와 바이러스, 세포와 박테리아, 세포와 호르몬 등의 결합을 조절한다. 특히, 미생물의 감염, 면역세포와 미생물의 상호작용, 정자와 난자의 수정, 암세포의 전이 등에서 당단백질의 기능에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Ovalbumin은 달걀 흰자의 주 단백질로, 흰자 단백질의 약 54% 차지하고 약 3% 당을 함유하고 있다. 열 응고성이 있다. 소량의 탄수화물(4% 이하의 6탄당)을 함유하여 당단백질로도 분류한다. 385개의 아미노산으로 구성되어 있으며 닭의 것은 분자량이 약 45,000 Da이다. Ovalbumin의 기능은 저장 단백질로 추정된다.

### 4. 효소의 기능

효소(enzyme)는 생물학적 반응을 촉진하거나 조절하는 단백질이다. 이러한 생물학적 반응은 생물체 내에서 발생하는 거의 모든 화학반응을 포함한다. 효소는 기본적으로 기질(substrate)과 상호작용하여 화학반응의 속도를 증가시키는 역할을 수행한다. 이를 효소 작용, 또는 효소 활성이라고 한다. 효소는 생명 활동에 있어서 중요한 역할을 맡고 있으며, 대사 작용, 소화, 근육 수축 등 다양한 생물학적 작용에 관여한다. 생명체의 생존과 기능 유지에 있어서 효소의 중요성은 크다.

본 실험에서 사용된 효소는 트립신, 카이모트립신, PNGase F이다. 트립신(trypsin)

은 이자에서 분비되는 소화 효소로 중요한 단백질 분해효소이다. 이 효소는 1874년 퀴네 라는 사람이 발견하였다. 펩타이드 아미노산 서열 중에서 아르기닌(arginine)과 라이신(lysine) 뒤를 가수분해하는 기작을 지닌다. 이자에서 트립시노겐의 형태로 분비되고, 분비 후 트립신으로 활성화되어 단백질 또는 펩타이드를 가수분해시킬 수 있다.

카이모트립신(chymotrypsin)은 포유류의 이자액에 들어있는 단백질 분해효소 중 하나이다. 카이모트립신은 췌장 액의 소화효소 성분이다. 십이지장에서 작용하여 단백질 및 폴리펩타이드 분해를 수행한다. 카이모트립신은 아마이드 결합(P1 위치)에 대한 아미노산 N-말단의 잔기가 소수성이 큰 아미노산인 펩타이드 아마이드 결합을 우선적으로 절단한다. 이 아미노산은 효소의 소수성 포켓(S1 위치)에 맞는 잔기에 방향족 고리를 포함한다. 트립신이 있으면 활성화된다. 펩타이드 기질 P1 잔기와 효소 S1 결합 공동 사이의 소수성 및 구조 상보성은 이 효소의 기질 특이성을 설명한다. 카이모트립신은 또한 펩타이드의 다른 아마이드 결합을 더 느린 속도로 가수분해한다.

PNGase F는 N-글리코시드 가수분해효소로 지칭된다. PNGase F는 분자량이 35,500 Da이고 314개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드 사슬로 구성되어 있다. 효소 활성을 위한 최적 pH는 8.6이다. PNGase F는 단백질에 결합된 N-글리코실화된 당 분자를 제거하는 작용을 한다. 이 효소는 주로 당 연결이 있는 단백질을 다루는 연구에서 사용된다. PNGase F는 N-글리코실화된 당 분자를 분해하여 아스파라진(asparagine) 잔기에 있는 N-아세틸글루코사민(N-acetylglucosamine) 단위를 노출시킨다. 이로 인해 단백질의 대상 분자에서 당 분자가 제거되어 단백질의 구조와 기능을 연구하는 데 도움이 된다. PNGase F는 단백질의 N-글리코실화된 당 분자를 제거함으로써 다양한 분야에서 활용된다. 이는 단백질 접힘(=폴딩(folding)), 분비, 인식, 상호작용 등의 연구에 중요한 역할을 한다. 당 분자의 추가 및 제거는 암세포의 표면 당화 및 세포 신호 전달에도 영향을 미치므로, 암 연구 및 약물 개발 분야에서도 사용된다.

## 5. 글리칸의 퍼메틸레이션(permethylation)과 분리 정제

### 5. 1. 글리칸의 퍼메틸레이션

글리칸의 퍼메틸레이션은 질량분석법에서 질량스펙트럼을 얻는데 중요한 과정으로 소듐의 첨가에 의한 이온화 과정의 효율을 증가시키고 층분리에 의한 글리칸의 정제에 중요한 단계이다. 메틸기(methyl)란 유기화학에서 메테인으로부터 유도된 알킬기로 1개의 탄소 원자에 3개의 수소 원자가 결합되어 있다. 메탄올에는 하나의 탄소 원자가 있어서 메틸은 1개를 뜻하고, 에탄올에는 2개의 탄소 원자가 있어서 에틸은 2개를 뜻한다. 메틸화(methylation)는 화학에서 기질에 메틸기를 첨가하거나 메틸기에 의한 원자의 치환을 말한다. 메틸화는 수소 원자를 메틸기로 치환하는 알킬화의 한 형태이다. 메틸화라는 용어는 화학, 생화학, 토양학, 생물학에서 일반적으

로 사용된다. 페메틸레이션은 화학적인 프로세스로서, 당 분자의 수많은 수소 원자를 메틸 그룹(CH<sub>3</sub>)으로 대체하는 것을 말한다. 이 과정은 주로 당 분자의 화학적 안정성을 향상시키고, 분석 및 연구 목적으로 사용된다. 페메틸레이션은 주로 당 분석 기법인 질량분석법(mass spectrometry)에서 사용된다. 메틸 그룹을 추가함으로써, 당 분자의 이온화 특성이 향상되고, 분석의 정확성과 감도가 향상된다. 또한, 페메틸레이션은 당 분자 간의 상호작용을 연구하거나, 당 분자가 차지하는 공간 구조를 이해하는 데 도움이 된다.

### 5. 2. 역상크로마토그래피(reverse phase chromatography)

크로마토그래피는 혼합물을 분리하는 실험적인 기법 중 하나이다. 정상크로마토그래피는 고정상의 극성 표면에서 일어나는 분석 물질과 극성 작용기의 상호작용을 이용하고, 역상크로마토그래피는 고정상의 비극성 표면에서 일어나는 분석 물질과 비극성 작용기의 상호작용을 말한다. 정상크로마토그래피는 고정상이 이동상보다 극성이 더 크고, 역상크로마토그래피는 이동상이 고정상보다 극성이 더 크다. 여기서 고정상은 움직이지 않는 것을 말하고, 이동상은 고정상을 통해 이동하는 것을 말한다.

역상 크로마토그래피는 화학 분석 기술 중 하나로, 화학 물질의 분리와 정량을 위해 사용되는 방법이다. 일반적으로 액체 크로마토그래피(liquid chromatography)의 한 형태로 분류된다. 역상 크로마토그래피에서는 시료를 컬럼에 주입하고, 이동상으로는 일반적으로 액체를 사용한다. 이때, 고정된 흡착체는 시료의 구성 요소들과 상호작용하며 분리를 도와준다. 이동상은 기체 또는 액체일 수 있으며, 역상 크로마토그래피에서는 액체 이동상이 주로 사용된다. 시료의 구성 요소들은 흡착체와 다른 정도로 상호작용하므로, 이동상의 속도에 따라 분리된다. 일반적으로 흡착체는 극성 또는 비극성 특성을 가지며, 시료의 구성 요소들은 이러한 특성에 따라 분리된다.

역상 크로마토그래피는 다양한 분야에서 사용되며, 약제 개발, 화학 분석, 환경 모니터링, 생화학 연구 등 다양한 응용 분야에서 유용하게 활용된다. 이 기술은 정확한 분리와 정량을 위해 표준물질과의 비교를 통해 결과를 해석하며, 정확하고 신뢰할 수 있는 분석 결과를 얻는 데에 도움을 준다.

### 5. 3. 층 분리법(layer chromatography)

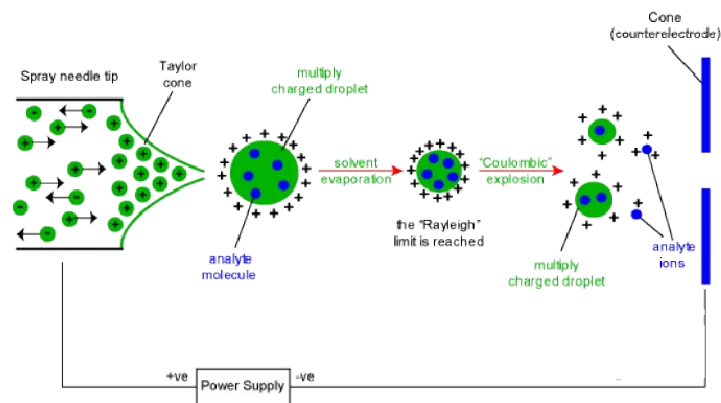
층 분리법은 화학 물질의 분리를 위해 사용되는 분석 기술 중 하나이다. 유기 화학에서 반응 후 반응 마무리(work-up) 과정 중에 유기 화합물을 분리하기 위한 대표적인 과정이다. 보통 물 층에 섞여 있는 유기 화합물이 유기 용매에 잘 녹는 성질을 이용하여 유기 용매 층으로 유기 화합물을 끌어내는 과정이다. 층 분리법에서는 일반적으로 유기용제로 채워진 플레이트 위에 시료를 떨어뜨린 후, 플레이트를 이동상에 담그는 방식으로 분석을 수행한다. 이동상으로는 일반적으로 액체를 사용하며, 역시 역상 크로마토그래피와 마찬가지로 이동상은 시료의 구성 요소에 따라 분

리된다. 층 분리법은 역상 크로마토그래피와 마찬가지로 다양한 분야에서 사용되며, 분석의 빠른 속도, 간편한 시료 처리, 저렴한 비용 등의 장점을 가지고 있다. 층 분리법은 또한 액체 크로마토그래피와 비교하여 미세한 분리 가능성이 높은 것이 특징이다.

## 6. 질량분석법

### 6. 1. 전기분무이온화(electrospray)

전기분무이온화(electrospray ionization, ESI)는 대표적인 이온화 방법의 하나로, 액체 상태의 시료를 기체 상태로 변환하여 질량분석기에서 이온화시키는 기술이다. 주로 액체 크로마토그래피와 질량분석기를 연결하여 사용되며, 생물학적 분자 및 유기 화합물의 분석에 많이 활용된다. 전기분무이온화는 먼저 시료를 용매에 용해시키고, 이를 분무기에 주입한다. 분무기에서는 시료와 용매가 미세한 분무로 분리되며, 이때 양이온화된 분자와 음이온화된 분자가 생성된다. 이후 생성된 이온들은 질량분석기로 전송되어 질량-전하비를 측정하여 분석 결과를 도출한다. 전기분무이온화는 다양한 유기 화합물의 분석이 가능하며, 단백질, 펩타이드, 당류, 약물 등 다양한 화합물의 이온화에 사용된다. 이 기술은 민감하고 정확한 분석을 제공하여 생명과학, 의약품 개발, 화학 등 다양한 분야에서 활발하게 활용되고 있다 (그림 6).

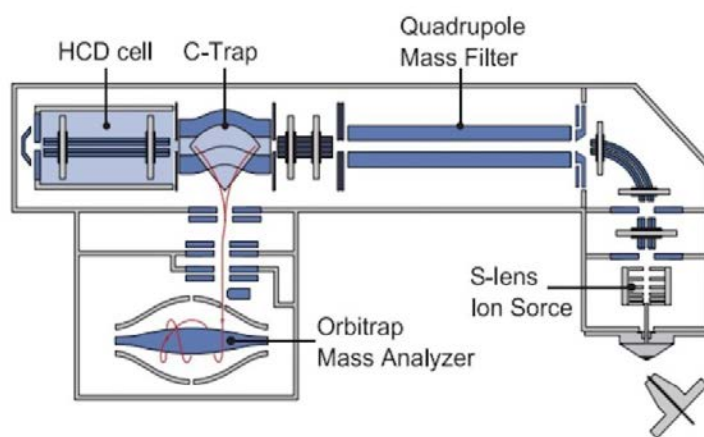


(그림 6) 전자분무이온화 원리.

### 6. 2. 질량분석기

본 실험에서는 올비트랩(orbitrap) 질량분석기를 사용하였다. 올비트랩 질량분석기는 질량 분석을 위한 고해상도 질량 분석기 중의 하나이다. 올비트랩은 질량 분석을 위해 이온이 원형 궤도로 돌아가는 질량 분석기이다. 이 궤도는 중앙에 위치한 전극을 중심으로 이온이 원형 궤도에서 진동하면서 생성하는 유도 전압의 주파수에 따른 전기신호로 전환하여 질량 분석이 이루어진다. 유도 전압의 주파수는 물질의 질량으로 전환하여 질량-전하비에 의존하는 질량 스펙트럼을 획득하고 이를 통해 화학물질의 조성과 구조 정보를 얻을 수 있다(그림 7). 또한, 올비트랩은 고해상도

를 제공하여 정확한 질량 측정이 가능하며, 민감도가 높아 작은 양의 물질도 감지할 수 있다. 올비트랩은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 예를 들어, 생명과학 분야에서 단백질, 펩타이드, 대사체 등의 분석에 활용되며, 화학 분야에서는 약물, 화학 물질, 화학 반응 등을 연구하는 데 사용된다. 또한, 환경 분야에서는 오염 물질의 감지와 분석에도 유용하게 활용된다. 올비트랩은 고해상도, 정확도, 민감도 등의 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 질량 분석에 활용되고 있으며, 연구 및 응용 분야에서 중요한 역할을 수행하고 있다.



(그림 7) 올비트랩 질량분석기의 구조.

### 6. 3. 질량분석법에 의한 글리칸의 분석

글리칸의 연구를 위해서는 글리칸의 구조를 정확히 분석하는 것이 매우 중요하다. 핵산이나 단백질의 경우 개별 단위체가 하나의 순서로 연결되는 단순한 결합을 형성하기 때문에 쉽게 서열분석이 가능하다. 하지만, 글리칸의 경우 단위체인 단당의 결합부위가 매우 다양하고, 선형의 결합보다는 다양한 가지를 가지는 복잡한 형태를 가지고 있는 경우가 대부분이기 때문에 글리칸의 분석은 핵산이나 단백질에 비해서 매우 어렵다. 글리칸의 탄수화물 결합의 특이성을 인식하는 렉틴(lectin)을 이용한 렉틴블랏팅(lectin blotting)이 많이 활용되어 왔지만, 이 방법으로는 글리칸 말단에 노출된 일부 탄수화물의 결합만을 인식할 수 있다는 단점이 있다. 따라서, 글리칸의 분석을 위해서는 고성능 액체 크로마토그래피(high-performance liquid chromatography, HPLC)와 고성능 질량분석기(mass spectrometry, MS) 등을 이용하는 것이 일반적이다. 최근에는 글리칸을 특이적으로 인식하는 다양한 렉틴이나 항체를 결합한 칩을 이용하여 글리칸 어레이(glycan array)를 사용하기도 한다. 또 동위원소나 아자이드(azide)를 공유결합시키는 등의 방법으로 표지를 붙여서 분석하기도 한다.

### Ⅲ. 연구 방법

#### 1. 오브알부민의 당펩타이드 정제

오브알부민 6 mg에 40 mM  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ (ammonium bicarbonate) 1 ml을 넣어 6 mg/ml 오브알부민 저장액을 제조한다. 개인별 1.5 ml 용기에 50  $\mu\text{l}$ (= 300  $\mu\text{g}$ )를 준비하여 오브알부민의 글리칸 분석에 활용하였다. 단백질을 분해하기 위하여 시료에 트립신(trypsin)과 카이모트립신(chymotrypsin) 각각 5  $\mu\text{g}$  처리하고 37 °C에서 18시간 반응시켰다. 당펩타이드를 얻기 위하여 역상칼럼(reverse phase  $\text{C}_{18}$  column) 카트리지에 MeOH(methanol)과 ACN(acetonitrile)으로 세척하고 5% AcOH(acetic acid)로 3회 이상 세척하여 시료를 주입할 준비를 하였다. 시료 용기에 10% AcOH를 넣어서 5% AcOH 조건이 되도록 만든 후 시료를 칼럼에 주입하였다. 이동상으로 5% AcOH 400  $\mu\text{l}$  정도를 채우고 세척하였으며 이 과정을 2번 이상 반복하였다. 이후 차례로 20% isopropanol(5% AcOH에 녹인) 400  $\mu\text{l}$ , 40% isopropanol(5% AcOH에 녹인) 400  $\mu\text{l}$ , 100% isopropanol 200  $\mu\text{l}$ 를 넣어 시료를 용출하여 8 ml 유리 용기에 담았다. 용출한 시료를 고속회전 건조기에 넣고 완전히 건조하여 당펩타이드를 얻었다.

#### 2. 오브알부민의 글리칸 정제

건조한 당펩타이드는 90 °C로 가열된 가열기에 넣어 5분간 시료를 가열하여 트립신과 카이모트립신을 비활성화하였다. 시료를 상온으로 식힌 후 준비된 1x PNGase F 반응 완충용액(buffer) 29  $\mu\text{l}$ 를 넣고 PNGase F을 1  $\mu\text{l}$ 을 넣었다. 이후 37 °C 수조에서 18시간 반응시켜 당펩타이드에서 글리칸과 펩타이드를 분리하였다. 당펩타이드로부터 분리된 글리칸은  $\text{C}_{18}$  역상 카트리지 칼럼을 이용하여 5% AcOH로 3번 용출하여 8 ml 유리 용기에 모으고 고속회전 건조기에 넣고 건조하여 글리칸을 얻었다.

#### 3. 질량분석을 위한 글리칸의 전처리

글리칸의 퍼메틸레이션을 위하여 다음과 같이 무수염기를 준비하였다. 8 ml 유리 용기에 50% NaOH(sodium hydroxide) 용액 100  $\mu\text{l}$ 를 넣고 무수 MeOH 200  $\mu\text{l}$ 를 추가하여 넣은 후 vortex로 잘 섞었다. DMSO(dimethylsulfoxide) 4 ml을 유리 용기에 넣고 섞은 후 원심 분리로 염기를 침전시켰다. 위층의 DMSO를 유리 파이펫으로 제거하고 새로운 DMSO를 추가하여 섞은 후 원심 분리로 침전시키는 과정을 5번 반복하였다. 만들어진 침전물에 DMSO 2 ml 넣고 섞은 후 무수염기를 완성하였다. 시료에 DMSO 200  $\mu\text{l}$ 를 넣고 1분 정도 초음파 처리하여 시료를 녹인 후 만들어진 무수염기를 시료에 250  $\mu\text{l}$  넣고 1분 정도 초음파로 녹였다. 주사기로 iodomethane 100  $\mu\text{l}$ 를 넣고 5분 이상 vortex로 반응시켜준 후 물 2 ml을 시료에 넣고 시료 용액이 투명하게 될 때까지 질소 가스로 버블링 해주었다. 시료에 DCM(dichloromethane) 2 ml 넣고 vortex로 잘 섞은 후 원심 분리하여 층 분리를

이루도록 한 후 물층인 위층을 파이펫으로 제거한다. 물을 추가하여 위 과정을 5회 반복하여 염을 제거하는 과정을 거쳤다. 45 °C 가열기에 넣고 DCM 용매를 질소 가스로 증발시키고 남은 물을 고속회전 건조기에서 넣어 시료를 완전히 건조하였다. 시료를 질량분석기에 주입하기 위하여 80% MeOH/water의 1 mM NaOH 용액 50 µl를 넣어 녹이는 과정으로 시료를 준비하였다.

#### 4. 질량분석기를 통한 질량스펙트럼의 획득

준비된 시료는 2.2 kV 모세관 전압, 220 °C 모세관 온도, 0.5 µl/min 주사기 유량으로 스프레이 팁(360 × 75 × 30 µm, SilicaTip™, New Objective)를 가진 Nanospray Flex™ ion source를 사용하여 Q Exactive™ Plus Orbitrap 질량 분석기에 직접 주입하여 질량스펙트럼을 획득하였다. 양이온에 대하여 프로파일 모드 FTMS 스펙트럼은 일반적으로 70,000 해상도로 기록되었으며, 3번 스캔의 평균 스펙트럼과 150 ms의 최대 주입 시간으로 400 - 2,000 Da 범위에서 30초 동안 수집되었다.

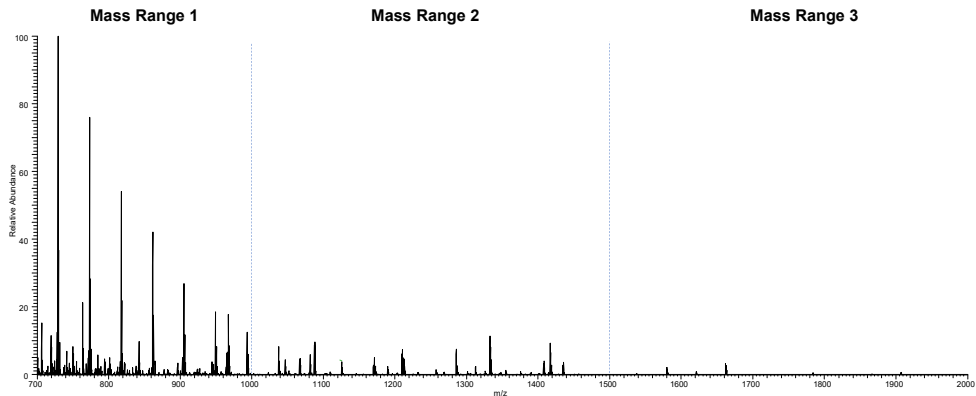
## IV. 연구 결과

글리칸은 다양한 당을 포함한 복합탄수화물이다. 다양한 당을 표현하는 방법으로 표 1과 같은 표기법을 사용하며 이들의 조합으로 글리칸의 구조를 완성할 수 있다. 이를 참고하여 오브알부민 글리칸을 질량분석법에 의해 검출로부터 해석하여 다양한 구조의 글리칸을 표현하였다.

표 1. 당류의 구조적 표기법.

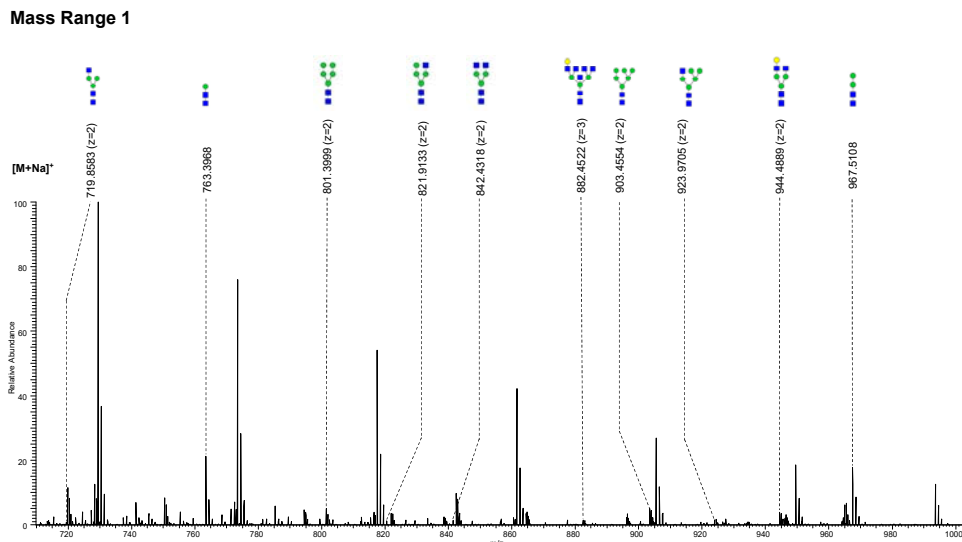
구조	당류
▲	Fucose
●	Galactose
●	Mannose
■	N-GlcNAc(N-acetylglucosamine)
◆	Sialic acid

그림 8은 준비된 오브알부민 글리칸을 질량분석기를 통해 얻은 질량스펙트럼을 보여주고 있다. 다양한 글리칸의 존재로 전체 질량스펙트럼에 모두 나타내기 어려워 질량 범위를 3개의 영역으로 나누어 나타내었다. 질량 범위는 각각 Mass Range 1 (700-1000 Da), Mass Range 2 (1000-1500 Da), Mass Range 3 (1500-2000 Da)로 나누었고, 질량에 따라 검출된 글리칸을 구조적 해석하여 그림 9, 10, 11에 나타내었다.



(그림 8) 오브알부민 글리칸의 전체 질량스펙트럼.

그림 9는 질량 범위 700에서 1000 Da의 질량스펙트럼을 나타내고 있으며 전체 10개의 글리칸을 얻을 수 있었다. 글리칸의 질량은  $[M+xNa]^{x+}$ 으로 나타나는 양이온으로 낮은 질량 영역에서 주로 2가 양이온을 얻을 수 있었다. 글리칸의 종류로 high mannose과 complex 구조의 글리칸을 얻었으며 한 단백질에 다양한 형태의 글리칸 구조를 포함하고 있음을 알 수 있었다.

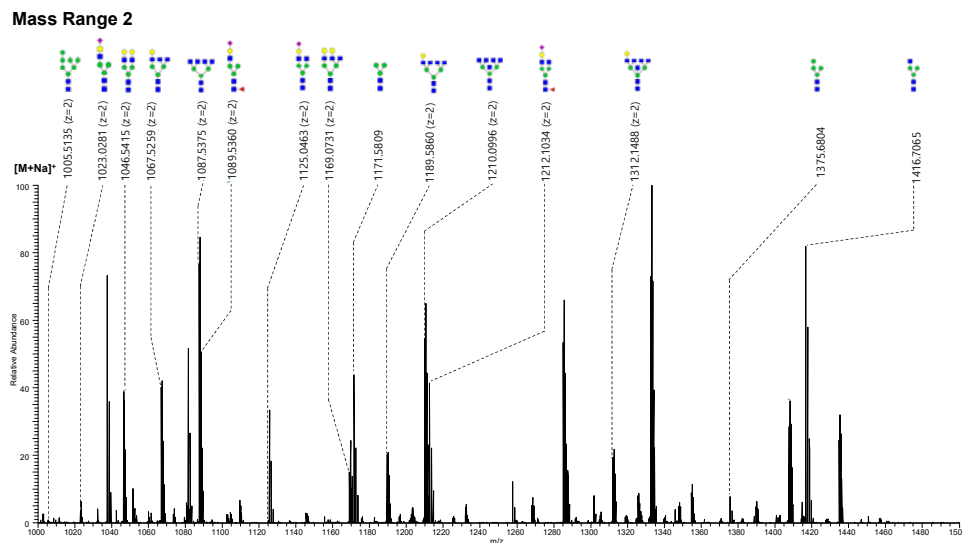


(그림 9) 오브알부민 글리칸의 질량스펙트럼.

Mass Range 1 (700 - 1000 Da).

그림 10은 질량 범위 1000에서 1500 Da의 질량스펙트럼을 나타내고 있으며 주로 2가 양이온으로 15개의 글리칸을 확인하였다. 좁은 질량 범위에 많은 종류의 글리칸을 확인할 수 있는 구간이었으며 high mannose와 complex 구조의 글리칸이 존재함을 알 수 있었다. 이 범위에서는 거의 비슷한 질량을 갖는 글리칸이 아주 다양한

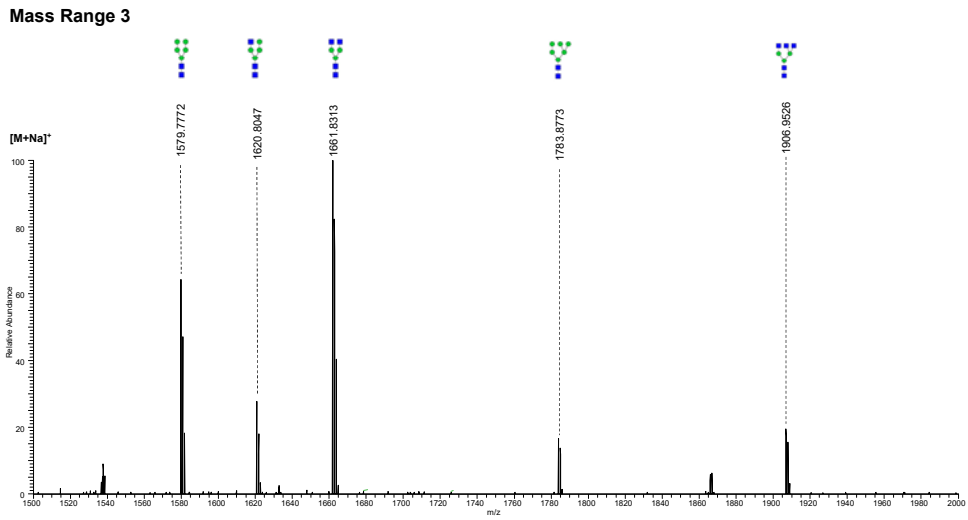
형태의 구조를 갖는 것을 확인할 수 있었으며, 이들 글리칸이 한 단백질에 결합하여 단백질의 구조적 다양성을 제공하고 생리적으로 중요한 역할을 할 것을 기대할 수 있었다.



(그림 10) 오브알부민 글리칸의 질량스펙트럼.  
Mass Range 2 (1000 - 1500 Da).

그림 11은 질량 범위 1500에서 2000 Da까지의 질량스펙트럼을 나타내고 있으며 5개의 글리칸을 확인하였다. 질량이 큰 영역에서 주로 1가 양이온이 검출되었으며 글리칸의 종류도 비교적 작은 구조로 확인되었다.

표 2는 질량스펙트럼으로부터 얻은 글리칸을 표로 정리하여 나타내었다. 전체 질량스펙트럼을 종합하여 30개의 글리칸을 한 질량스펙트럼으로부터 확인할 수 있었으며 질량분석법이 생체물질을 아주 빠르고 정확하게 분석할 수 있는 능력을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 본 연구를 수행하기에 비교적 많은 사전 지식과 실험적 경험이 필요하였지만, 잘 준비된 시료에 의한 글리칸의 분석이 질량분석법에 의해 효과적으로 분석되는 경험을 하게 되어 생명과학에서 분석적인 중요성을 인지할 수 있었다.



(그림 11) 오브알부민 글리칸의 질량스펙트럼.  
Mass Range 3 (1500 - 2000 Da).

표 2. 전체 질량스펙트럼으로부터 얻은 오브알부민 글리칸의 종류와 질량.

번호	구조	z	[M+xNa] <sup>x+</sup>		번호	구조	z	[M+xNa] <sup>x+</sup>	
			이론질량	측정질량				이론질량	측정질량
1		1	763.384	763.397	16		2	944.463	944.489
2		1	967.484	967.511	17		1	1906.963	1906.953
3		1	1171.584	1171.581	18		2	1005.486	1005.514
4		1	1375.684	1375.680	19		2	1023.000	1023.028
5		1	1416.710	1416.707	20		2	1046.513	1046.542
6		2	719.850	719.858	21		2	1067.026	1067.526
7		1	1579.784	1579.777	22		2	1087.539	1087.538
8		2	801.387	801.400	23		2	1089.531	1089.536
9		1	1620.810	1620.805	24		2	1125.045	1125.046
10		2	821.900	821.913	25		2	1169.076	1169.073
11		1	1661.837	1661.831	26		2	1189.589	1189.586
12		2	842.413	842.432	27		2	1210.103	1210.100
13		1	1783.883	1783.877	28		2	1212.094	1212.103
14		2	903.436	903.455	29		2	1312.152	1312.149
15		2	923.950	923.971	30		3	882.432	882.4552

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 질량분석법을 이용하여 달걀 흰자의 주성분인 글리칸의 구조적 특성과 기능적 역할을 탐구하였다. 달걀 흰자에서 발견되는 글리칸은 복잡한 탄수화물 그룹으로서 다양한 성분과 구성 요소를 포함하고 있음을 확인하였다. 질량분석기를 통해 얻은 정밀한 데이터로 글리칸의 구조를 상세히 해석할 수 있었다. 향후 더 많은 연구를 통해 글리칸과 관련된 더 많은 응용 분야들을 탐구할 수 있기를 기대한다.

오브알부민을 구성하는 글리칸이 비슷한 단당류로 이루어져 있지만, 결합의 순서에 따라 서로 다양한 구조를 갖는 것을 확인하였고 이 다양한 구조의 글리칸이 생리적으로 어떤 역할을 하는지 연구하는 것은 매우 중요한 생명과학의 과제로 생각되었다. 또한 질량분석법에서 질량스펙트럼으로부터 다양한 생체 물질을 확인하는 것이 과학적으로 대단히 중요하다는 것을 이해할 수 있었다.

## VI. 참고문헌

- Google Wikipedia 단백질(protein)
- [네이버 지식백과] 두산백과 단백질의 기능
- [네이버 지식백과] 두산백과 단백질의 합성
- [네이버 지식백과] 분자, 세포생물학백과 당단백질
- [네이버 지식백과] 생화학백과 글리칸(글리칸)
- Google Wikipedia O-당화
- Google Wikipedia P-당화
- Google Wikipedia C-당화
- [네이버 지식백과] 생화학백과 효소(enzyme)
- Google Wikipedia 효소의 기능
- Google Wikipedia 트립신
- Google Wikipedia 카이모트립신
- [네이버 지식백과] 생화학백과 질량분석법
- Google Wikipedia 올비트랩
- [네이버 지식백과] 화학백과 전기분무이온화
- [네이버 지식백과] 분자, 세포생물학백과 크로마토그래피
- Google Wikipedia 순상크로마토그래피
- Google Wikipedia 역상크로마토그래피
- [네이버 지식백과] 화학백과 층 분리법
- Google Wikipedia Permethylaton

[네이버 지식백과] 분자, 세포생물학백과 메틸화

Google Wikipedia 칼럼

Google Wikipedia 역상칼럼

Google Wikipedia PNGase F

Google Wikipedia ovalbumin

화학A

08\_금속 나노입자의 제조 및 빛과 나노입자의  
상호작용 탐구



# 금속 나노입자의 제조 및 빛과 나노입자의 상호작용 탐구

윤우찬 (미송중학교 3학년)  
김병현 (산곡남중학교 3학년)

지도교수 : 방지원 (인천대학교 화학과)

## 초록

금입자를 쪼개어 나노미터 크기로 줄이게 되면 금 입자의 특성을 변화시킬 수 있다. 금 나노입자의 활용 가능성이 더욱 커지며, 금 나노입자에 대해 이해하는 것은 공학적, 생체적 분야에서 중요해졌다. 그러나 금 나노입자를 다양한 분야에서 상용화시키기 위해서는 더 많은 정보가 요구되고 있다. 금 나노입자의 화학 및 물리적 성질을 이해하고, 금 나노입자의 활용 방안을 탐구하기 위하여 본 연구를 진행하게 되었다. 금 나노입자는 수용액에서 금 이온과 환원제를 넣게되면,  $Au^{3+}$ 에 전자 3개를 받아  $Au^{0+}$ 의 금 나노입자가 만들어진다. 본 실험에서는  $H AuCl_4$  용액에 Sodium Citrate와  $NaBH_4$ 의 환원제를 사용하여 금 나노입자를 합성하였으며 크기 및 모양을 전자 현미경으로 관찰하고, 빛의 흡수특성을 분석하였다. 이후 금 나노입자에  $NaCl$ 을 첨가한 후 흡수 파장의 변화를 관찰하였으며, 금 나노입자의 광열치료에서의 사용 가능성을 탐구하기 위해, 금 나노입자에 레이저를 비추는 실험을 진행하여 빛에 의해 온도가 상승하는 광열효과를 살펴보았다. 실험 결과 20 nm 크기의 금 나노입자를 성공적으로 합성하였으며 530 nm 파장의 빛을 잘 흡수하는 것을 확인하였다. 금 나노입자 용액에  $NaCl$ 을 첨가하면 금 나노입자들이 뭉치게 되면서, 금 나노입자가 주로 흡수하는 빛의 파장이 달라졌다는 것을 알 수 있었다. 또한 금 나노입자에 레이저 빛을 비추는 뒤, 플라즈몬 에너지에 의해 열이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 연구를 통해 금 나노입자의 분석과 광열치료 활용법에 응용이 가능한 것으로 알 수 있게 되었다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

금 나노입자는 환원 전위가 높아 몸에서 쉽게 환원되지 않으며 나노입자 접합체가 세포 내부로 들어갈 수 있다는 점 때문에 공학적, 생체적 분야에서 중요한 역할을 수행할 수 있다. 또한 로마의 공예품, 스테인드글라스 등 과학뿐만 아닌 다양한 분야에서 사용되어왔다(그림1). 현재 금 나노입자에 대한 연구는 그 무궁무진한 활용

가능성 덕분에 활발히 진행되고 있지만, 아직 금 나노입자에 관한 정보는 금 나노입자를 상용화하기엔 부족한 실정이다. 본 연구를 통하여 금 나노입자와 전자기파 사이의 관계를 이해하고 이를 사용한 다양한 활용 방안을 탐구해보기 위하여 실험을 진행하게 되었다.



그림1. 금 나노입자를 응용한 공예품 에너지가 열에너지의 형태로 방출할 것이고, 이 과정에서 금 나노입자에 열이 발생할 것이다.'이다.

연구가설은 '금 나노입자에 빛을 비추주었을 때, 금 나노입자 내부의 자유전자의 운동 에너지인 플라즈몬 에너지가 증가하고 안정화하는 과정에서 플라즈몬 에너지가 열에너지의 형태로 방출할 것이고, 이 과정에서 금 나노입자에 열이 발생할 것이다.'이다.

## II. 이론적 배경

금 나노입자는 금 입자 중에서도 크기가 나노미터 (1~100nm)의 크기를 가지는 것을 의미한다. 입자의 크기가 매우 작아 육안이나 광학현미경으로는 관찰이 어려우며, 투과전자현미경(TEM)이나 암시야 현미경 등을 사용하여 관찰할 수 있다. 입자의 크기에 따라 흡수하는 파장이 달라지며 특정 파장을 흡수하는 금 나노입자는 흡수한 파장의 빛의 보색을 띠게 된다. 금 나노입자의 크기와 모양에 따라서 흡수하는 빛의 파장이 달라져 눈에 보이는 금 나노입자의 색도 달라진다(그림2).

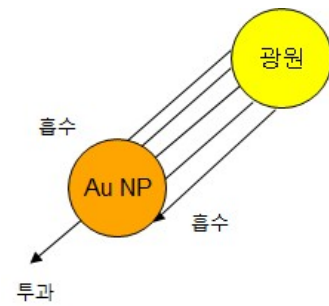
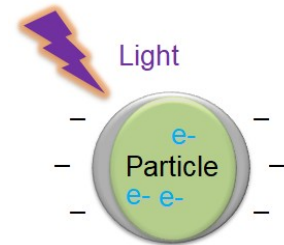


그림2. 금 나노입자의 색이 보이는 원리

금속 내부에는 자유 전자들이 존재하여, 빛을 받으면 금속 내부의 자유전자들이 진동하고, 이러한 현상은 주로 표면에서 발생한다. 표면 플라즈몬 공명이란 특정 파장의 빛이 나노 크기의 금속 표면 위와 아래에서 특정한 입사각을 가지고 입사될 때 금속 내부 자유전자들의 진동 공명현상으로 열에너지로 전환될 수 있다(그림3).



실험에 사용된 Sodium Citrate(SC)는  $C_6H_5O_7 \cdot 3Na$ 의 화학식을 가지며 상온에서 고체로 존재한다. 또한 본 실험에서는 리간드와 금 나노입자에 전자를 제공하는 환원제로 작용하였다(그림4).  $HAuCl_4$ 는 상온에서 고체로 존재하며 물과 같이 산소를 포함하는 용매에 잘 용해된다. 본 실험에서는 금 이온( $Au^{3+}$ )을 제공하여 SC에게 전

자를 얻어 금 나노입자가 형성된다(그림5).  $\text{NaBH}_4$ 는 상온에서 고체로 존재하며, 본 실험에서는 금 나노입자에 전자를 제공하는 환원제로 사용되었다(그림6).

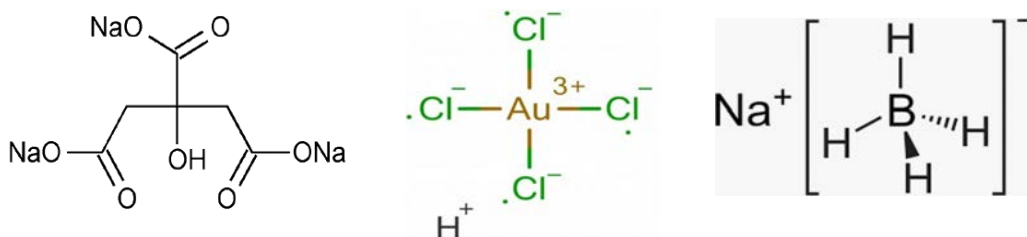


그림4. Sodium Citrate 분자구조    그림5.  $\text{HAuCl}_4$  분자구조    그림6.  $\text{NaBH}_4$  분자구조

SC에게 전자를 받은  $\text{HAuCl}_4$ 는 환원되어 금 나노입자의 pH 농도가 12~13으로 변하게 하고 멍치게 하여 짙은 빨간색을 띠게 한다. 일정 크기까지 멍쳤을 때 금 나노입자 표면을 둘러싸는 SC 리간드로 인해 더 이상 멍치지 않게 된다. 금 나노입자는 빛을 흡수하여 입자 내부의 전자가 진동하며, 입자의 크기가 작을수록 더 단파장의 빛을 흡수한다.

금 나노입자에  $\text{NaCl}$ 을 넣게 되면 음전하를 띠는 금 나노입자의 표면에 물에 녹아 이온화된  $\text{NaCl}$ 의  $\text{Na}^+$  이온과 붙게 된다. 이 때문에 금 나노입자가 전기적으로 중성을 띠게 되고 금 나노입자 간에 작용하던 정전기적 척력이 사라져 금 나노입자 간의 간격이 사라지게 된다. 비교적 멍치게 된 금 나노입자는 이전과 다른 파장의 빛을 흡수하며 눈에 보이는 색도 달라진다.

### III. 연구 방법

연구를 진행하며, 금 나노입자를 합성하는 실험을 진행하였고 첫 번째 실험 결과, 리간드의 양이 충분하지 않아 금 나노입자의 크기가 불균일하고 멍쳐있는 경우가 많았다. 이후 진행된 실험에선 더욱 양질의 금 나노입자를 얻기 위해 투입 물질의 투입량을 다르게 하여 실험을 진행하였다.

첫 번째 실험 과정은 다음과 같다.

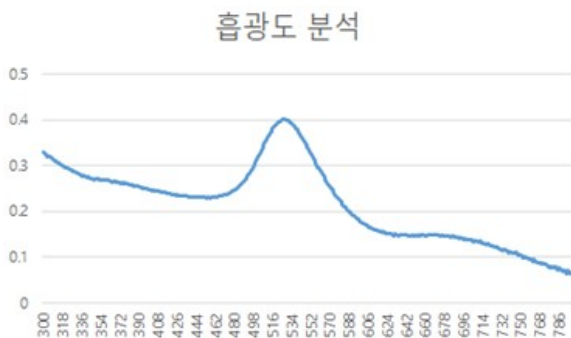
1.  $\text{HAuCl}_4$  98.4 mg을 증류수 150 mL에 녹여 250 mL 유리 삼각플라스크에 넣는다.
2. 300 rpm에서 105 °C까지 가열한다.
3. 75 mg의 Sodium Citrate를 15 mL의 증류수에 가한 뒤 105 °C까지 가열된  $\text{HAuCl}_4$  용액에 Sodium Citrate 용액을 넣는다.
4. 시료를 식힌 뒤 UV-vis spectrophotometer을 사용하여 흡광 스펙트럼을 측정한다.

두 번째 실험 과정은 다음과 같다.

1.  $\text{HAuCl}_4$  147.6 mg을 증류수 150 mL에 녹여 250 mL 유리 삼각플라스크에 넣는다.
2. 300 rpm에서 115 °C까지 가열시킨다.
3. 112.5 mg의 Sodium Citrate를 증류수 22.5 mL에 가한 뒤 가열된  $\text{HAuCl}_4$  용액에 Sodium Citrate 용액을 넣는다.
4. 시료를 식힌 뒤 UV-vis spectrophotometer을 사용하여 흡광 스펙트럼을 측정한다.

세 번째 실험 과정은 다음과 같다.

1.  $\text{HAuCl}_4$  147.6 mg을 증류수 150 mL에 녹여 250 mL 유리 삼각플라스크에 넣는다.
2. 300 rpm에서 115 °C까지 가열시킨다.
3. 168.75 mg의 Sodium Citrate를 증류수 22.5 mL에 가한 뒤 가열된  $\text{HAuCl}_4$  용액에 Sodium Citrate 용액을 넣는다.
4. 시료를 식힌 뒤, UV-vis spectrophotometer을 사용하여 흡광 스펙트럼을 측정한다.



그래프1. Sodium Citrate를 사용해 합성한 금 나노입자의 흡광 스펙트럼

세 번째 실험을 통해 합성한 금 나노입자의 흡광 스펙트럼이며(그래프1), 투입량에 따라 흡광 스펙트럼의 뚜렷한 정도가 달라진다는 것을 알 수 있다.

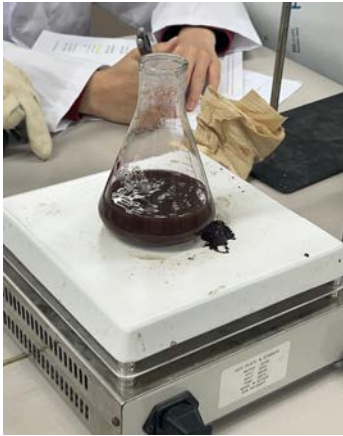


그림7. Sodium Citrate를 사용해 합성한 금 나노입자

세 번째 실험 이후에는 TEM을 사용하여 금 나노입자의 사진을 찍어 관찰하였다. 합성한 금 나노입자의 특성을 파악하기 위하여 리간드를 사용하지 않고 환원제만 사용하여 금 나노입자를 합성하는 실험도 진행하였다.

그 실험 과정은 다음과 같다.

1.  $\text{HAuCl}_4$  5 mg을 비커에 담고 메탄올에 녹인다.
2. 금 당량의 15배만큼  $\text{NaBH}_4$  를 넣고 섞는다.
3. 젓개로 저어주며 끓을 때까지 가열하고 색 변화가 일어나면 용액 부분을 따라 버리고 침전물을 얻는다.
4. 금 나노입자의 색을 확인하고 UV-vis spectrophotometer을 사용하여 흡광 스펙트럼을 측정한다.

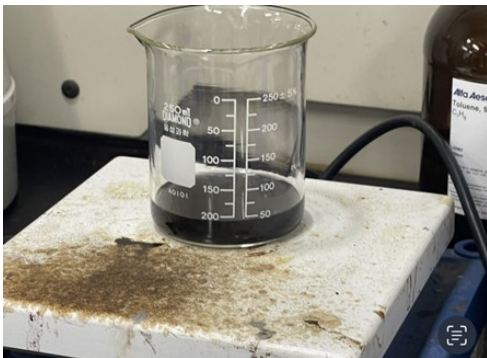
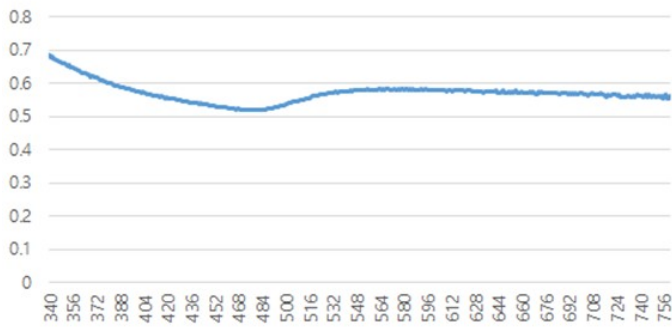


그림8.  $\text{NaBH}_4$ 를 사용하여 합성한 금 나노입자



그래프2. NaBH<sub>4</sub>를 사용하여 합성한 금 나노입자의 흡광 스펙트럼

NaBH<sub>4</sub>를 사용하여 합성한 금 나노입자는 리간드 역할을 하는 물질이 존재하지 않아 흡광 스펙트럼이 뚜렷하지 않았다(그래프2).

금 나노입자의 특성을 알아보기 위하여 금 나노입자 용액에 NaCl을 넣는 실험도 진행하였다. 금 나노입자 용액에 순서대로 100 μL, 200 μL, 300 μL, 400 μL, 500 μL, 1000 μL의 NaCl 용액을 투입한 뒤 UV-vis spectrophotometer을 사용하여 흡광 스펙트럼을 측정하였다.



그림9. NaCl 투입 전 금 나노입자



그림10. NaCl 투입 후 금 나노입자

NaCl을 투입한 후 금 나노입자의 모양과 크기가 변하여 색이 변하였다(그림9, 그림10).

금 나노입자의 발열 정도를 확인하는 실험을 진행하였다.

실험 과정은 다음과 같다.

1. 10 mW의 세기를 가진 레이저를 금 나노입자에 지속적으로 비추는 동안 온도 변화를 측정한다. 실내 온도는 24 °C였으며, NaCl 1000 μL를 첨가한 금 나노입자 용액과 NaCl을 첨가하지 않은 금 나노입자가 가장 잘 흡수하는 파장의 빛을 각각

비춰주었다(그림11).

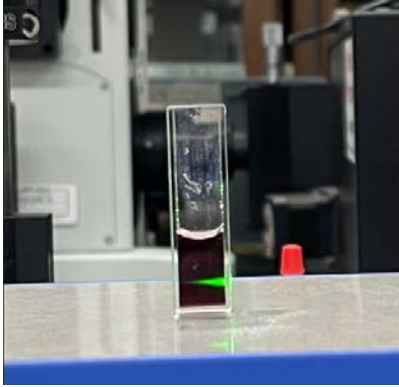


그림11. 광열효과 확인 실험

#### IV. 연구 결과

금 나노입자의 TEM 결과, 금 나노입자가 정상적으로 합성되었다는 것을 확인할 수 있었다. Sodium Citrate를 사용하여 합성한 금 나노입자의 경우, 용액의 색이 와인색을 띠며, 약 20 nm의 크기를 가지는 금 나노입자가 합성되었다(그림7).  $\text{NaBH}_4$ 를 사용하여 합성한 금 나노입자 용액의 경우, 용액의 색이 푸른색을 띠었다(그림 8).

Sodium Citrate를 사용하여 합성한 금 나노입자와  $\text{NaBH}_4$ 를 사용하여 합성한 금 나노입자의 TEM 이미지를 비교하였다. Sodium Citrate를 사용하여 합성한 금 나노입자의 경우, 불규칙한 구형의 모양으로 입자들이 뭉치지 않고 균일하게 떨어져 있는 것을 볼 수 있었다(그림12). 반면에  $\text{NaBH}_4$ 를 사용하여 합성한 금 나노입자의 경우, 크기가 불균일하며, 입자들이 서로 뭉쳐져 있는 것을 확인할 수 있다(그림13). 이는 금 나노입자 합성 실험 과정에서 Sodium Citrate는 환원제인 동시에 금 나노입자 간의 간격을 유지시키는 리간드로서의 역할도 수행하였지만,  $\text{NaBH}_4$ 는 환원제로서의 역할만 수행하고 리간드의 역할은 수행하지 못했기 때문이다.

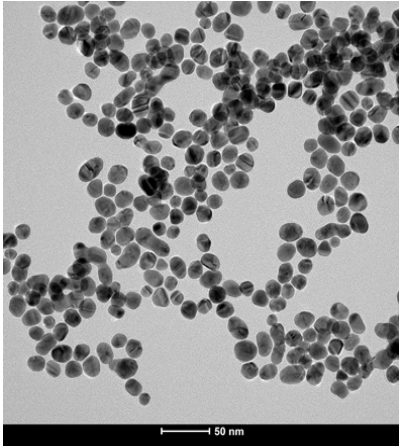


그림12. Sodium Citrate를 사용해 합성한 금 나노입자의 TEM 이미지

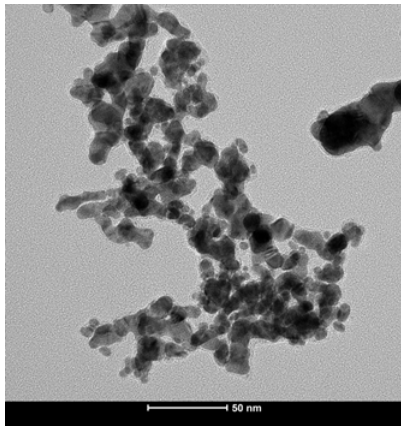


그림13. NaBH<sub>4</sub>를 사용해 합성한 금 나노입자의 TEM 이미지

금 나노입자에 NaCl을 첨가하였을 때 나타나는 변화를 알아보기 위하여 금 나노입자에 NaCl 수용액을 순서대로 100  $\mu$ L, 200  $\mu$ L, 300  $\mu$ L, 400  $\mu$ L, 500  $\mu$ L, 1000  $\mu$ L의 NaCl을 주입하였고, NaCl을 첨가할 때마다 색변화를 확인하고 흡광 스펙트럼을 측정하였다(그래프3-8). 그 결과 전기적으로 음성을 띠는 금 나노입자 표면에 물에 녹아 이온이 된 Na<sup>+</sup>가 만나 전기적으로 중성이 되고 금 나노입자가 뭉치게 되었다. 아래 그림과 그래프는 각각 금 나노입자 용액에 NaCl을 투입하였을 때 나타날 것으로 예상되는 변화의 모식도와 NaCl 첨가 후 흡광 스펙트럼의 변화를 나타낸 것이다(그림14, 그래프9).

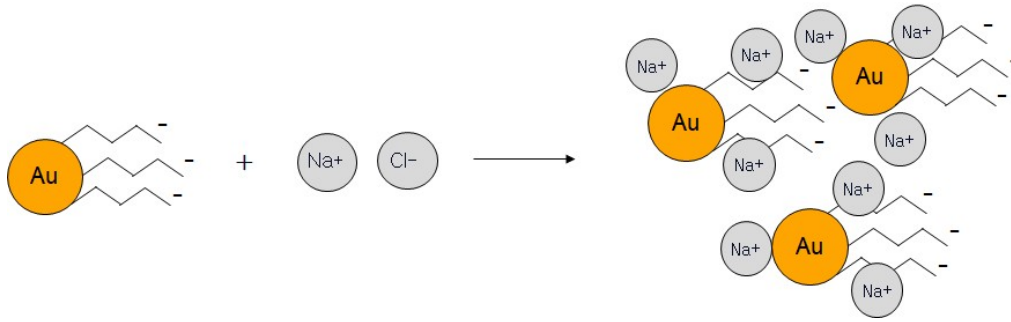
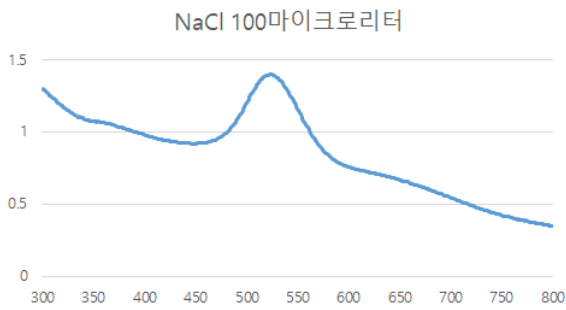
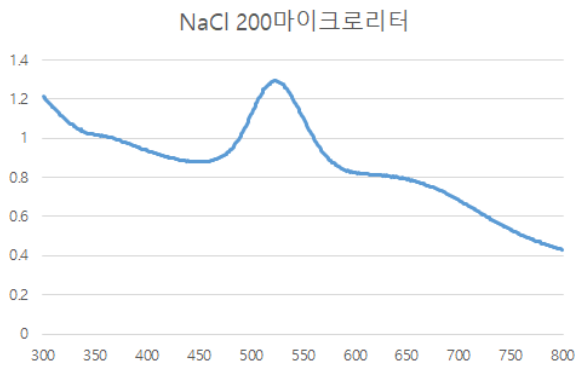


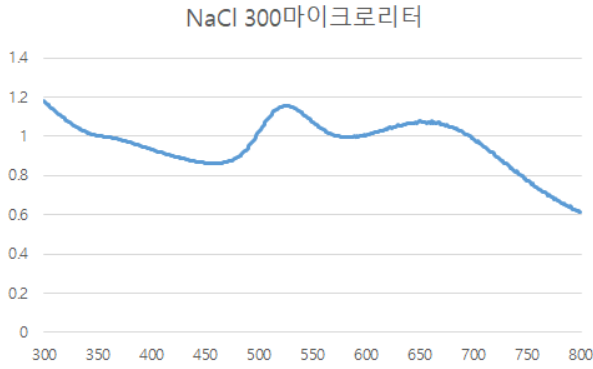
그림14. 금 나노입자에 NaCl 첨가 후 나타나는 변화 모식도



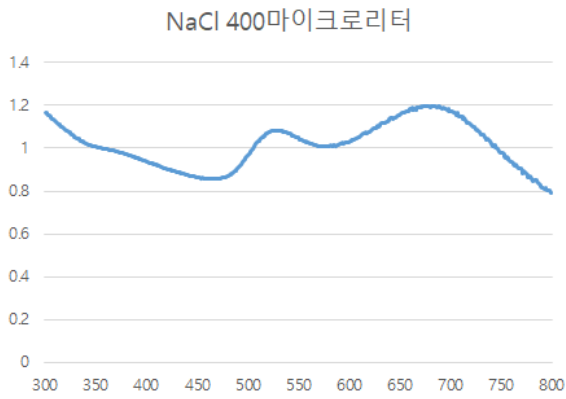
그래프3. NaCl 수용액 100 μL 투입 후 흡광 스펙트럼



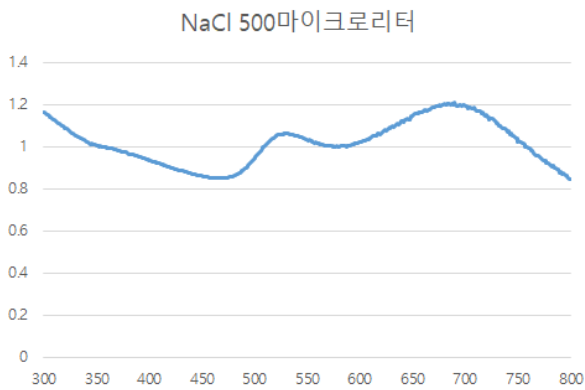
그래프4. NaCl 수용액 200 μL 투입 후 흡광 스펙트럼



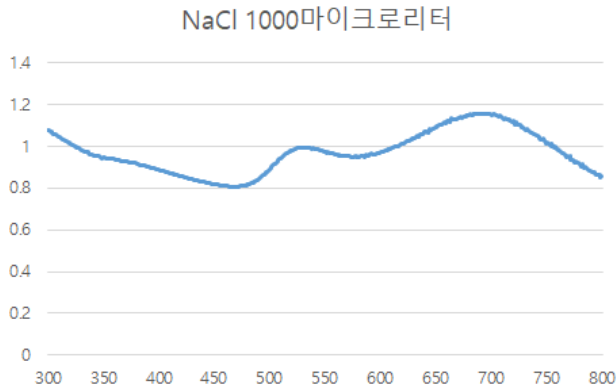
그래프5. NaCl 수용액 300  $\mu$ L 투입 후 흡광 스펙트럼



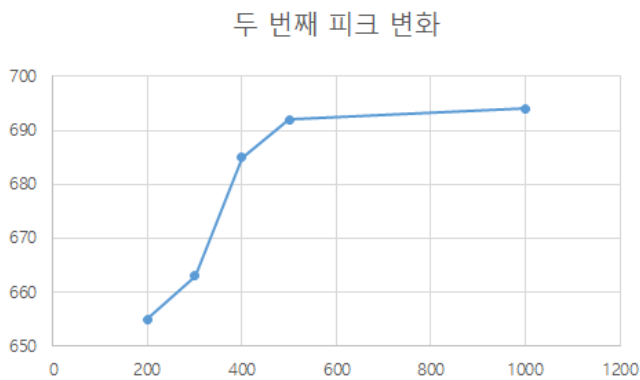
그래프6. NaCl 수용액 400  $\mu$ L 투입 후 흡광 스펙트럼



그래프7. NaCl 수용액 500  $\mu$ L 투입 후 흡광 스펙트럼

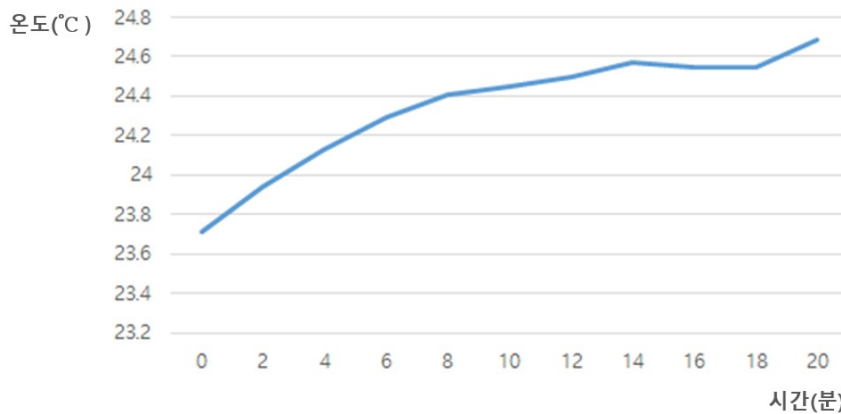


그래프8. NaCl 수용액 1000  $\mu$ L 투입 후 흡광 스펙트럼



그래프9. NaCl 첨가 후 새로 생겨난 피크의 이동

금 나노입자의 특성을 파악한 후, 광열 치료에 사용 가능한 수준의 온도 변화를 만들 수 있는지 확인하기 위하여 금 나노입자의 흡광도 측정 결과를 바탕으로 금 나노입자가 가장 잘 흡수하는 파장의 빛을 비춰주었다. 약 20분가량 레이저를 비춰준 결과, 온도가 약 1°C 정도 증가하였고, 빛 에너지가 금 나노입자를 통해 열에너지로 바뀌어 용매인 물의 온도를 증가시킨다는 것을 알 수 있었다(그래프10). 실험에서는 금 나노입자가 포함된 용액을 외부와 완전히 차단하지 못하여 금 나노입자에서 발생한 열이 외부로 방출되어 온도 증가가 크지 않게 관찰되었지만, 실험 환경을 개선하여 금 나노입자 외부로 방출되는 열을 차단하면 온도 증가 폭이 더 클 것으로 기대한다.



그래프10. 금 나노입자에 빛을 비취주었을 때 온도 변화 측정 결과

## V. 결론 및 제언

리간드이자 환원제 역할을 하는 Sodium Citrate를 사용하여 20 nm의 크기를 가지는 금 나노입자를 성공적으로 합성하였다. 합성된 금 나노입자는 입자들끼리 서로 뭉치지 않고 균일하게 떨어져 있지만, 환원제의 역할만 하는 NaBH<sub>4</sub>를 사용하여 합성하였을 때, 입자가 서로 뭉치고 불균일하게 만들어 지는 것을 통해 리간드의 역할을 확인할 수 있었다. 또한 금 나노입자에 빛을 비취주면 금 나노입자 표면의 자유전자의 운동 에너지인 플라즈몬 에너지가 열에너지로 전환되어 방출된다는 것을 알게 되었다. 그리고 나노입자의 크기에 따라 입자의 색이 변화하며, 주로 흡수하는 대역의 파장이 달라진다는 것을 알게 되었다. 이를 활용하여 체내에 금 나노입자를 주입한 뒤 암세포를 제거하는 광열 치료에 대한 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 금 나노입자는 광열 치료뿐만 아니라 환원 속도를 증가시키는 광열 촉매로도 사용할 수 있으며 금 나노입자는 열 흡수도 가능해 의학 분야 외의 다른 분야에서도 혁신적인 연구방법을 제공할 것으로 기대된다.

## VI. 참고문헌

<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchTotal.do>

[http://www.nanotrio.com/sub03/sub02\\_view.php](http://www.nanotrio.com/sub03/sub02_view.php)

이진기, 정청우, 강용태. 이성분 나노유체 (NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O + 나노입자)의 열전달 및 흡수 성능 촉진실험, 대한기계학회논문집. B, (2008). 32(9), 669-675.

문해주, 김영훈. 금 나노 입자와 온도 감응성 고분자를 이용한 액상 광열 촉매 반응, 한국공업화학회 연구논문 초록집, (2021), 169-169.

인천대학교 과학영재교육원, 나노와 바이오의 세상.



화학A

09\_스마트폰 앱(color meter)을 이용한  
RGB코드와 용액의 농도 관계



# 스마트폰 앱을 이용한 RGB코드와 용액의 농도 관계

조인성 (효자중학교 3학년)

차유나 (중평중학교 3학년)

지도교수 : 채원석 (대진대학교 바이오헬스케어학부 에코응용화학전공)

## 초록

본 연구는 식물이 초록색으로 보이는 이유에 대하여 빛의 흡수, 반사를 통해 입증하고자 각각 빨강, 파랑, 초록색의 용액을 가지고 농도에 따라 빛의 흡수를 알아보며 식물이 광합성을 진행할 때 어떤 빛으로 하는지 알아보기 위한 연구이다. RGB 코드와 용액의 농도의 관계를 통해 식물이 붉은 빛과 푸른 빛으로 광합성을 한다는 사실을 확인하고 연구를 진행하며 용액의 농도 분석에 RGB 코드를 이용할 수 있다는 점을 알 수 있었다. 본 연구는 스마트폰과 분광광도계를 비교하며 농도분석을 진행하였으며 그 결과 스마트폰으로 용액의 농도 분석을 간편하게 할 수 있다는 점을 확인할 수 있었던 연구가 되었다.

### I. 서론

빛이 경로를 이동할 때 화합물의 특성에 따라 빛의 투과 및 흡수가 발생한다. 이때 화합물의 농도에 따라 빛의 흡수가 많이 일어나며 투과하는 양이 적어진다. 이때 사물의 색은 흡수되는 빛의 파장과 보색이 되는 색을 나타내게 된다. 식물의 잎과 줄기는 초록색을 띄고 있는데 이는 초록색 외에 빛을 흡수하기 때문에 초록색 파장의 빛만 반사되어 사람의 눈에는 초록색만 보이게 될 것이라 생각했다.

이를 알아보기 위해서 보통 분광광도계(spectroscopy)를 통해 실험을 진행할 수 있을 것이다. 다만 RGB코드에 초록색이 포함되어 있기에 RGB 코드를 스마트폰 앱(color meter)을 이용하여 용액의 RGB 코드를 구해보고자 한다. 이번 연구를 통해 용액의 농도와 색의 상관관계를 알아보고 스마트폰 앱으로 실험을 진행하고 신뢰성을 판단하기 위해 분광광도계로 실험한 후, 두 방법을 비교해보고자 한다.

### II. 이론적 배경

#### 1. 물흡광계수

물질에는 빛을 흡수하는 성질이 있어 단백질이나 형광물질에는 용매 중 1M의 물질이 특정 파장을 흡수하는 정수 물 흡광계수( $\epsilon$ )가 있다. 물 흡광 계수는 광로 1cm 당 1M 용액의 광학 농도로서 정의되어 있으며, 최대 흡수 파장에 대해서 흡광도를

측정하며 농도를 확인할 수 있다.

## 2. 분광광도법(spectrophotometry)

분광광도법(spectrophotometry)은 빛을 이용하여 물질의 정보를 알아내는 분석법이다. 광원을 통해 용액에 빛을 쬐어주면 용액은 특정 파장의 빛을 흡수하게 된다. 분광광도법은 비어-람버트 법칙을 이용한 분석방법으로 흡광도와 물질의 몰농도 사이의 관계를 나타내는 비어의 법칙과 빛이 물질을 통과하는 길이에 따라 흡광도가 달라지는 램버트 법칙을 합쳐 비어-람버트 법칙이라 한다.



Fig. 1. 비어의 법칙 - 농도에 따른 흡광도 차이

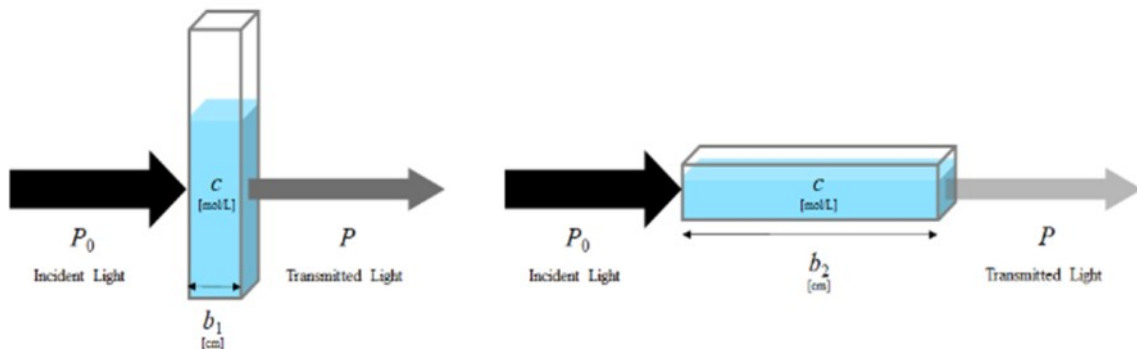


Fig. 2. 램버트 법칙 - 광로의 길이에 따른 흡광도 차이

위 법칙들을 이용해 만든 것이 분광광도계이다. 분광광도계는 광원, 프리즘, 샘플, 검출기로 이루어져 있다. 프리즘을 통해 빛을 분산시켜주고 분산된 빛이 샘플을 지날 때 어떤 파장의 빛이 많이 흡수되는지 검출기를 통해 확인할 수 있다.

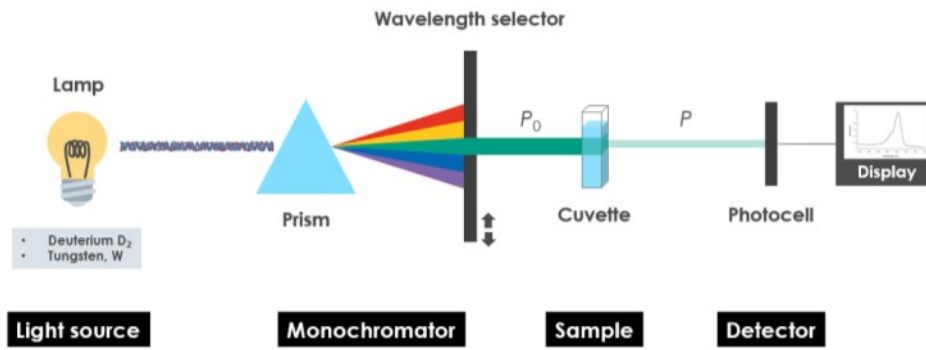


Fig. 3. 분광광도계의 구조

### 3. RGB코드

RGB 색 모형은 빛의 삼원색을 이용하여 색을 표현하는 방식이다. 빨강(RED), 초록(GREEN), 파랑(BLUE) 세 종류의 광원을 이용하여 색을 혼합하며 색을 섞을수록 밝아지기 때문에 빛의 삼원색이라 한다. 헥스코드는 RGB 방식 색상 코드 표기법이다. #과 뒤에 붙는 여섯 자리의 숫자로 색상을 표기하는 방식이다. 여섯 자리인 경우는 두 자리씩 끊어서 각각 Red, Green, Blue의 강도를 256(=162)단계에 걸쳐 나타낸 것이며, 각 두 자리수는 16진수이므로 00(=010)일 때 가장 어둡고 FF(=255)일 때 가장 밝다.

### 4. 보색

보색은 색상 대비를 이루는 한 쌍의 색상을 말하며 물질이 흡수하는 빛의 색은 사람에게 보이지 않으며 반대로 흡수하는 빛의 색의 보색이 되는 색이 사람의 눈에 보이게 된다.



Fig. 4. 색상 대비표

### III. 연구방법

실험은 최대한 빛의 삼원색과 맞추기 위하여 빨강, 파랑, 초록색들 띄는 용액을 사용하였으며 용액의 RGB헥사코드는 스마트폰 무료 앱인 vistech.project사의 ColorMeter Free라는 프로그램을 통해 데이터를 수집하였으며, 광로의 길이를 맞추

기 위해 1cm의 셀에 용액을 담아 측정하였으며, 동일한 장소와 조명을 유지시켜주며 실험을 진행했다.

### 1. Stock solution 제조

물 흡광계수를 고려하여 과망간산칼륨(SAMCHUN, 99.3%), 황산구리(SAMCHUN, 99.0%) 염화나트륨(SAMCHUN, 99.5%) 용액으로 만든 황산구리 저장용액을 만든다.

### 2. 용액의 농도에 따른 컬러코드 확인

저장용액을 Fig. 5 와 같이 시험관에 희석한 하였다. 광로의 길이를 맞추고 동일한 장소와 조명을 유지시켜주기 위해 Fig. 6 과 같이 스티로폼 상자 안에서 동일한 조명을 사용하며 용액을 셀에 담아 실험을 진행하였다.

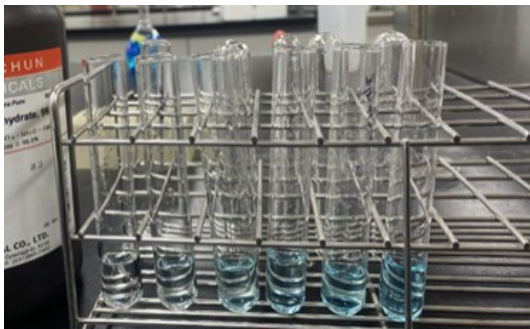


Fig. 5. 저장용액 희석

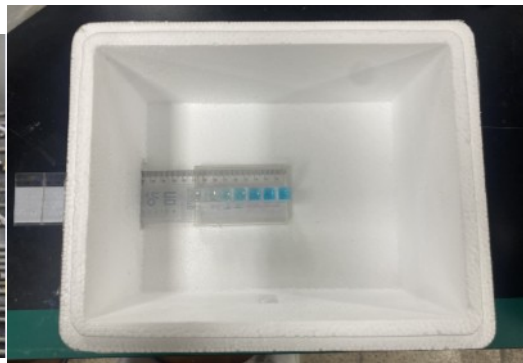


Fig. 6. 스티로폼 장치

용액을 셀에 담고 스마트폰 앱(ColorMeter FREE, vistech.projects)을 이용하여 각 용액의 농도별로 데이터를 수집하고, Origin pro9.0을 통해 데이터 분석을 진행했다.

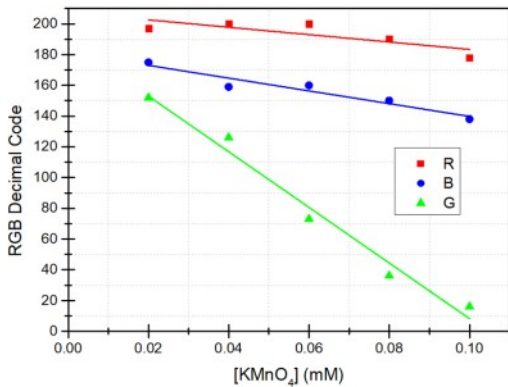


Fig. 7. 스마트폰 앱을 이용한 데이터 수집

#### IV. 연구결과

##### 1. 과망간산칼륨 RGB코드 측정

첫 번째로 과망간산칼륨 수용액을 희석하며 RGB코드를 측정했다. 과망간산은 붉은 색과 비슷한 자주색을 띄고 있으며 그의 보색과 가까 녹색 값의 GREEN 코드의 수치가 점점 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 과망간산칼륨의 농도가 진해질수록 녹색계열의 빛을 흡수하는 것을 확인할 수 있었다. 비록 결과가 분광광도계와 비교했을 때 그리 정확하진 않지만 단순히 농도만 추정이 가능할 정도의 오차 범위가 나타났다.

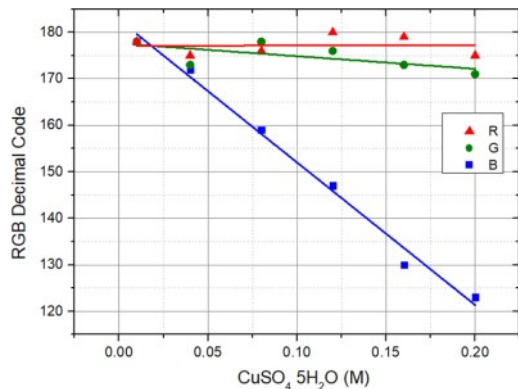


KMnO <sub>4</sub>	RED	GREEN	BLUE
R <sup>2</sup>	0.54943	0.97261	0.89927
Slope	-240	-1810	-415

Fig. 8, table. 1. 과망간산칼륨 수용액 측정결과

##### 2. 황산구리 수용액 RGB 측정 결과

두 번째로 다음 황산구리 수용액 희석하며 RGB 코드를 측정했다. 황산구리 수용액은 파란색을 띄고있으며, 그 결과 BLUE의 값의 변화는 상대적으로 RED에 비해 상대적으로 낮았으며 보색이 역시 RED에 가깝기 때문에 RED의 빛이 많이 흡수되는 만큼 RED의 코드 값이 급격하게 줄어드는 것을 확인 할 수 있으며, 앞 결과와 마찬가지로 정확성이 높지 않다.



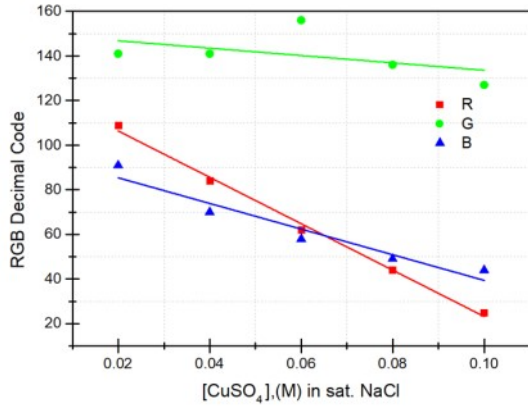
CuSO <sub>4</sub>	RED	GREEN	BLUE
R <sup>2</sup>	-0.00971	0.96444	0.96329
Slope	25	-167.5	-347.5

Fig. 9, table. 2. 황산구리 수용액의 측정결과

##### 3. 염화나트륨과 황산구리 혼합물의 측정결과 RGB 측정 결과

황산구리 용액에 염화나트륨을 과량 섞어주면 반응이 일어나며 초록 물질이 생기

며 색이 변하게 된다. 이때 생성물은 염화구리이며 염소이온이 부족할수록 파란색을 띄기 때문에 과포화 상태의 염화나트륨 용액의 상등액만 취하여 혼합물을 만들었다. 혼합물의 경우 초록색을 띄고있으며, 그 결과 초록색의 보색과 가까운 RED의 코드값이 급격하게 낮아지면서 농도가 진할수록 RED의 빛을 많이 흡수하는 것을 확인할 수 있었다.



CuSO <sub>4</sub> in NaCl	RED	GREEN	BLUE
R2	0.99374	-0.00542	0.91443
Slope	-1040	-165	-57.5

Fig. 10, table. 3. 염화나트륨과 황산구리 혼합물의 측정결과

#### 4. 물 흡광계수와 RGB코드 기울기의 관계

Fig. 11는 각 용액별로 기울기가 가장 높은 RGB 코드를 한 그래프에 그린 것이다. RGB 코드의 기울기는 각 물질의 물 흡광계수에 따라 달랐으며 예상대로 물흡광계수가 가장 높은 KMnO<sub>4</sub>의 기울기가 가장 크게 나타났다.

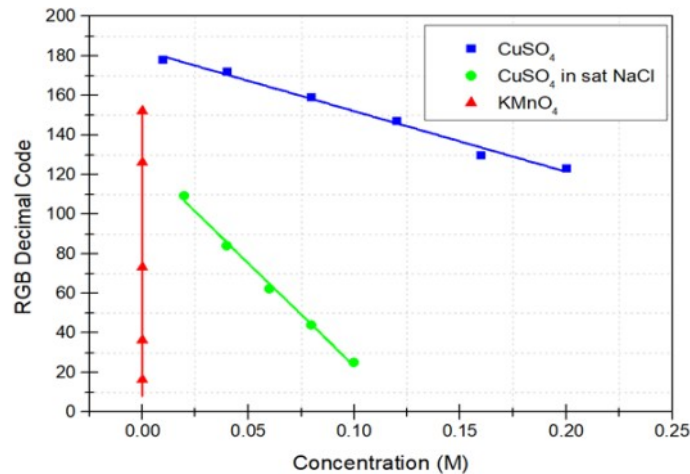


Fig. 11. 각 용액의 최대 기울기 RGB 코드

#### 5. 분광광도계와 스마트폰 앱의 신뢰성 비교

분광광도계와 스마트폰 앱을 비교를 위해 KMnO<sub>4</sub> 를 농도별로 측정하였다. KMnO<sub>4</sub> 의 최대 흡수파장526nm으로 Fig. 12 (B)와(C)는 각각의 방법으로 검정곡선을 만든 것이다. 두 실험의 정확성을 비교한 결과 스마트폰 앱의 R-Square 값이 0.97261로 분광광도계에 비해 정확하지 않다는 것을 확인했다. 분광광도계의 경우 용액을 통과한 빛이 검출기로 통하지만 제작한 기구는 용액의 농도가

뭉을수록 뒤 스티로폼 박스의 배경이 비쳐 코드 값에 영향을 주는 것이 큰 문제점으로 생각된다.

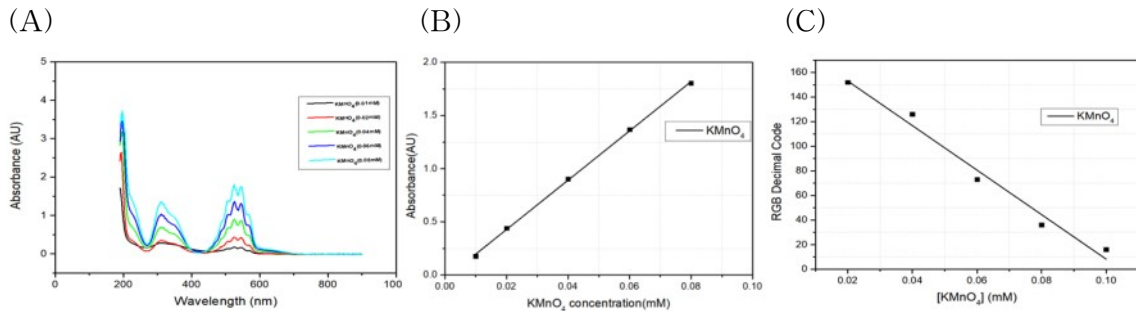


Fig. 5 분광광도계와 앱 비교 (A) KMnO<sub>4</sub> 스펙트럼, (B) 분광광도계 검정곡선 (C) 스마트폰 앱 검정곡선

## V. 결론 및 제언

처음에는 식물이 빛의 어떤 파장을 흡수하여 광합성 하는지 알아보기 위해 시작한 실험으로 식물은 붉은 파장과 파란 파장의 빛을 흡수하여 초록색으로 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 이번 연구를 진행하며 RGB 코드를 이용해 용액의 농도를 확인 할 수 있다는 사실을 알게 되었다. 고가의 장비와 비교했을 때 정확하지 않지만 어디서든 간편히 농도를 측정할 수 있다는 장점이 있다. 용액의 농도와 RGB code의 상관관계를 통해 화합물의 종류에 따라 빛 흡수량과 흡수 파장이 다르다는 것을 실험을 통해 입증하였다.

본 연구는 디자이너 전용 앱을 사용함에도 불구하고 스마트폰으로 농도 측정이 가능하다는 것을 확인하였으며, 시간상 여러 종류의 스마트폰, RGB코드 측정 앱을 통해 비교해보지 못한 점이 아쉬운 점으로 남아있다. 하지만 앞서 말한 부족한 점을 추가로 연구하며 스마트폰과 소프트웨어의 발전이 함께 이루어진다면 스마트폰을 분석장비로써 사용할 수 있을 것이다.

## VI. 참고문헌

1. Penner, M.H. (2017). Basic Principles of Spectroscopy. In: Nielsen, S.S. (eds) Food Analysis. Food Science Text Series. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_6)

2. Ingle, Jr, J D, and Crouch, S R. Spectrochemical analysis. United States: N. p., 1988. Web.

3. Martin S. Silberberg / Patricia G. Amateis/ Chemistry The Molecular Nature of Matter and change



화학A

10\_버려지는 폐 마스크를 이용한 수질 정화 장치  
제작



# 버려지는 폐마스크를 이용한 수질 정화장치 제작

박지유 (서울대도초등학교 6학년)

지도교수 : 주은정(서울교육대학교 과학교육학과)

## 초록

본 연구에서는 폐마스크를 이용한 정수장치를 제작하고 수질 정화 효과를 확인함으로써 버려지는 폐마스크의 재활용 방안에 대한 가능성을 제시해보고자 한다. 폐마스크는 하루에 약 2,000만개 이상 발생하고 매립, 소각으로만 처리되고 있다. 이런 폐마스크의 필터구조를 이용해 제작한 정수 장치로 양재천의 물의 여과 전, 여과 후 DO, COD, SS를 측정하였다. 그 결과 유의미한 정수 효과가 나타났으며, 하천의 정수 공정에서 재활용한 폐마스크의 사용 가능성을 확인할 수 있었다.

## I. 서론

### 1. 필요성 및 목적

코로나 19가 유행하며 매년 많은 양의 마스크가 사용되면서, 폐마스크 처리에 따른 환경오염 문제가 최근 해결해야 할 과제로 주목받고 있다. 작년 국민권익위원회가 조사한 결과에 따르면 우리나라 국민은 2.3일당 일회용 마스크 하나를 사용하는 것으로 나타났으며, 1일 기준으로 환산 시 하루에 전국에서 약 2000만 개의 폐마스크가 발생한다. 이러한 폐마스크의 처리는 일반 쓰레기로 버려지고 있으며 대부분 소각되거나 매립되는데, 폐마스크의 주성분인 폴리프로필렌을 소각 및 매립하게 되면 심각한 환경오염이 발생하게 된다. 마스크의 사용량이 많아진 만큼, 사용된 마스크를 처리하는 대안을 찾지 못한다면 큰 사회적 문제가 발생할 수 있다.

마스크는 기본적으로 겉감, 필터, 안감 삼중 구조로 이루어지며, 내부의 필터 섬유를 교차시켜 미세입자들을 부착시켜 제거한다. 따라서 마스크가 공기뿐만 아니라 하천 등 오염된 물을 정화하는 필터로도 사용할 수 있지 않을까 하는 생각이 들었다. 이를 확인해보기 위해서 폐마스크를 이용한 다양한 종류의 마스크를 재활용한 정수 장치를 제작해보고, 양재천에서 채취한 물을 정화할 수 있는지를 확인하여 폐마스크 쓰레기 문제에 대한 새로운 해결책을 제시하고자 한다.

## 2. 연구문제

- 1) 마스크를 이용한 정수 장치의 정화 능력을 어떻게 평가할 수 있을까?
- 2) 마스크의 종류에 따라 수질 정화 능력이 달라질까?
- 3) 활성탄, 제올라이트로 정화 능력을 증가시킬 수 있을까?

## II. 이론적 배경

### 1. 수질 오염 지표

#### (1) DO

물속에 녹아 있는 산소량을 의미하며, 깨끗한 물일수록 물속에 산소가 많다. 20도의 물에는 약 9ppm 정도 용해되어 있다. 염류농도가 높을수록 감소하고 수온이 낮을수록, 또는 기압이 높을수록 증가한다.

#### (2) BOD

물속에 미생물이 유기물을 분해하는데 필요한 산소 소모량이다. 깨끗한 물일수록 BOD가 낮다. (초기 DO) - (최종 DO) 값으로 구할 수 있다. BOD가 너무 높으면 혐기성 분해가 일어나 CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 등이 생성되어 악취가 난다.

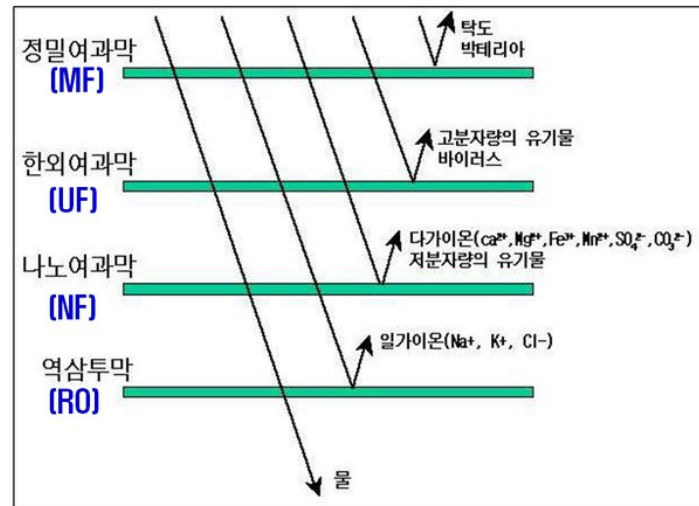
#### (3) COD

화학적으로 산화될 수 있는 양이다. 수중의 오염물이 화학적인 산화제에 의해 분해될 때 소비되는 산소량을 ppm(mg/l)으로 표시한 것이며, 산화제의 소비량을 산소량으로 환산하여 계산한다. 깨끗한 물일수록 COD가 낮다.

#### (4) SS

물속에 함유된 부유물질의 양이다. 깨끗한 물일수록 SS가 낮다. <sup>1)2)</sup>

## 2. 여과막



[그림 II-1] 여과막의 분류

일반적으로 정밀여과는  $0.1\sim 10\mu\text{m}$ , 한외 여과는  $10\sim 100\text{nm}$ , 나노 여과는  $1\sim 10\text{nm}$ , 역삼투는  $1\text{nm}$  이하를 의미한다.

## 3. 활성탄

활성탄은 목재류, 갈탄, 무연탄, 유연탄 등의 탄소 질을 원료로 하여 약  $500^{\circ}\text{C}\rightarrow 700^{\circ}\text{C}$  내외 온도의 탄화와 약  $900^{\circ}\text{C}$  내외 온도의 활성화 과정을 통해 분자 크기 정도의 미세세공(미세공, 중간세공, 대세공)을 발달시킨 흡착제로서  $1\text{g}$ 당  $1,000\text{m}^2$  이상의 큰 내부 표면적을 갖는다.

활성탄은 표면에 산화기와 무기 불순물이 약간 존재하는 대신 수산화기가 없어서 물을 싫어하는 비극성, 즉 소수성이다. 활성탄은 다양한 종류의 유기화합물을 흡착하므로 정수처리, 하수의 고도처리뿐 아니라 음식료품 공정 등에서도 광범위하게 사용되고 있다. 하수의 활성탄처리는 생물학적 처리를 거친 물의 최종처리 공정으로서 잔류하는 용존유기물을 제거하는 데 그 목적이 있다. 흡착이란 흡착제(adsorbent)를 사용하여 용액으로부터 오염물을 제거하는 것으로서 흡착장치는 회분식, 칼럼식(고정상과 역류이동) 또는 유동층흡착조 등이 있으며 하수처리에서 사용되는 활성탄은 과립형태의 입상 활성탄을 대부분 사용하고 있다.<sup>3)</sup>

## 4. 제올라이트

제올라이트 또는 비석은 알루미늄 산화물과 규산 산화물의 결합으로 생겨난 음이온을 알칼리 금속 및 알칼리 토금속이 결합되어 있는 광물을 총칭하는 말이다. 즉

결정질 알루미늄 규산염 광물을 의미한다.

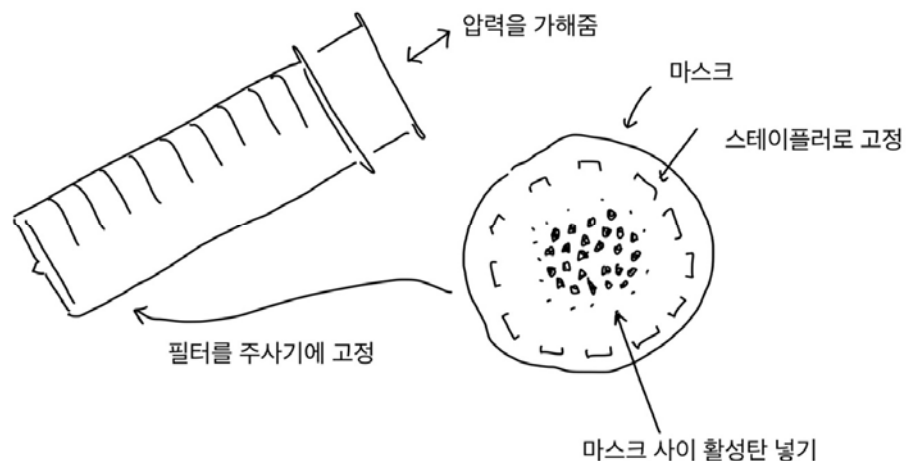
주로 알칼리 금속 또는 알칼리토류 금속을 함유하는 함수 알루미늄 규산염 광물의 일종으로(Si, Al) O4의 사면체가 입체 망상으로 결합하고 있는 구조로 중앙부에 큰 틈이 존재하는 것이 특징이다. 틈의 직경이 0.6mm를 넘는 것도 있다. 조성은 장석류 또는 준장석류와 유사하지만, 장석은 석영 SiO<sub>2</sub>, 다이아몬드형 사면체 구조가 무한으로 연결한 삼차원 망상구조 중의 Si의 일부가 Al에 의해서 치환된 것이지만, 제올라이트는 이 망상구조가 올바른 규칙이 깨어져 골격에 빈틈이 있다. 이 빈틈에 의해 분자체 기능을 가지면서 동시에 제올라이트는 다량의 물을 흡착할 수가 있다.

### III. 연구 방법

#### 1. 1차 정수 장치

##### 1) 1차 정수 장치 계획

여러 종류의 마스크가 수질 정화를 할 수 있다는 것을 검증하기 위한 구조물을 계획하였다. 먼저 덴탈 마스크와 KF94 마스크를 이용해 정수할 수 있는 필터 부분을 제작하기로 하였다. 이 필터를 이용해 물을 정수하는 방법으로 주사기의 압력을 이용하기로 하였다. 따라서 주사기에 마스크를 이용해 만든 필터를 넣고, 흙탕물을 여과하여 정수 능력을 측정하기로 하였다.



[그림 III-1] 1차 정수 장치 설계

## 2) 1차 정수 장치 제작



[그림 III-2] 1차 정수 장치의 마스크 필터



[그림 III-3] 완성된 1차 정수 장치

1차 정수 장치를 제작하며 500mL 주사기를 사용하였다. 마스크의 경우 덴탈 마스크와 KF 94 마스크를 사용하였다. 이때, 덴탈 마스크와 KF94 마스크의 경우 여러 겹 중 가운데 위치한 정전 필터 부분을 분리하여 주사기 크기에 맞는 필터를 제작하였다. 분리한 필터를 5장 겹쳐 수질 정화 필터를 제작하였으며, 정전 필터 사이에 활성탄가루를 넣고 스테이플러를 이용해 마스크 + 활성탄 필터도 제작하였다. 이를 500mL 주사기에 글루건을 이용해 고정해 장치를 완성하였다.

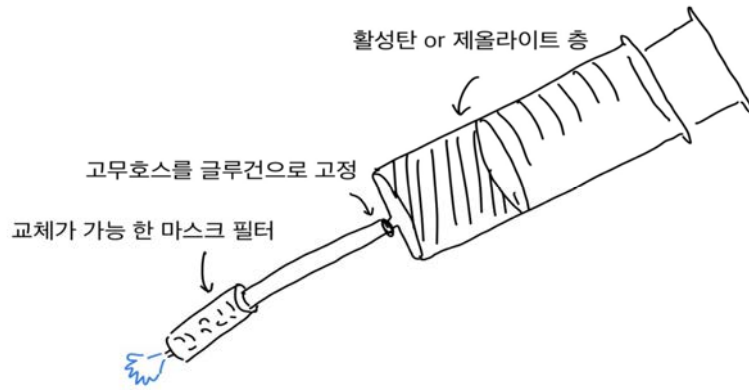
### 3) 실험 방법

- ① 마스크에서 분리한 필터를 이용해 수질 정화 장치를 제작한다.
- ② 양재천에서 얻은 물의 DO, COD test를 진행한다.
- ③ 양재천에서 얻은 물 300mL를 장치를 이용해 정수한다.
- ④ 정수 후 필터를 건조하고 무게를 측정하여 걸러진 오염물의 무게를 측정 한다.
- ⑤ DO, COD test를 진행하여 정수 후 결과를 확인한다.

## 2. 2차 정수 장치

### 1) 2차 정수 장치 계획

1차 정수 장치를 이용한 실험 결과 여러 문제점이 발견되었다. 먼저 마스크는 비말을 차단하기 위해 사용되기 때문에 방수 처리가 되어 있다. 따라서 마스크 필터에 물을 통과시키기 위해 물을 세게 밀어주었을 때, 물이 새는 경우가 발생하였다. 이를 보완한 2차 정수 장치를 계획해보고 제작하였다. 주사기에 고무호스를 연결해 물이 새지 않도록 고정하고, 물이 필터를 완전히 통과할 수 있도록 교체 가능한 필터 구조물을 설계해 보았다.



[그림 III-4] 2차 정수 장치 설계

## 2) 2차 정수 장치 제작



[그림 III-5] 고무호스



[그림 III-6] 필터 구조물



[그림 III-7] 2차 정수 장치

마스크 필터구조는 다O소에서 구매한 샤워기 필터 부분의 플라스틱 구조를 이용하여 제작하였다. 덴탈 마스크, KF 마스크 각각 3개 분량의 필터를 물이 통과할 수 있도록 넣어 필터를 제작하였으며, 이를 고무호스를 이용하여 500mL 주사기와 연결하였다. 주사기에는 크기가 큰 부유물을 흡착할 수 있도록 주사기에 망에 넣은 활성탄, 제올라이트를 넣어주었다.



[그림 III-8] 망에 넣은 활성탄



[그림 III-9] 2차 정수장치 최종

\ 3) 실험 방법

- ① 활성탄과 제올라이트를 망에 넣은 뒤 주사기에 넣어준다.
- ② 양재천에서 채취한 물 시료의 DO, COD test를 진행한다.
- ③ 양재천에서 얻은 물 300mL를 장치를 이용해 정수한다.
- ④ 정수 후 필터를 건조하고 무게를 측정하여 걸러진 오염물의 무게를 측정 한다.
- ⑤ DO, COD test를 진행하여 정수 후 결과를 확인한다.

## IV. 연구 결과

### 1. 1차 정수 장치 실험 결과

#### 1) SS 측정

SS 측정은 여과 전 필터의 무게를 측정하고, 여과 후 필터 무게를 측정한 뒤 그 차이를 계산해주었다. 필터의 무게가 증가한 만큼 물질이 여과되었다고 판단하였다.

<표 IV-1> 1차 정수 장치 실험 SS 결과

	여과 전 필터 무게	여과 후 필터 무게	정화량
덴탈 마스크 필터	1g	3g	2g
덴탈 마스크 + 활성탄 필터	12g	15g	3g
KF 94 마스크 필터	1g	4g	3g
KF 94 마스크 + 활성탄 필터	12g	15g	3g



[그림 IV-1] 흙탕물 시료



[그림 IV-2] 여과 후 덴탈 마스크 필터



[그림 IV-3] 여과 후 KF 94 마스크+활성탄 필터

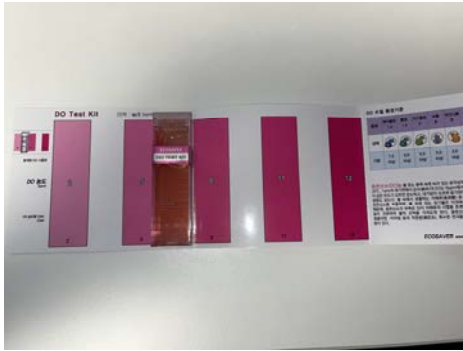
모든 필터에서 정화 후 부유물질의 양이 감소하는 것이 확인되었다. 흙탕물에 있던 부유물의 양이 감소한 것으로 보아 마스크 필터가 부유물을 제거하는 능력이 있다는 것이 검증되었다.

### 2) DO 측정

양재천에서 채취한 시료의 DO값을 먼저 측정하였다. 여과 후 나온 물의 DO를 각각 DO test kit를 이용하여 측정하고 기록하였다. DO 값이 증가하였다면 물이 잘 정수된 것으로 판단하였다.

<표 IV-2> 1차 정수 장치 실험 DO 결과

	여과 전 DO	여과 후 DO	DO 변화
덴탈 마스크 필터	5ppm	6ppm	+1ppm
덴탈 마스크 + 활성탄 필터		8ppm	+3ppm
KF 94 마스크 필터		7ppm	+2ppm
KF 94 마스크 + 활성탄 필터		8ppm	+3ppm



[그림 IV-4] DO 측정-1



[그림 IV-5] DO 측정-2

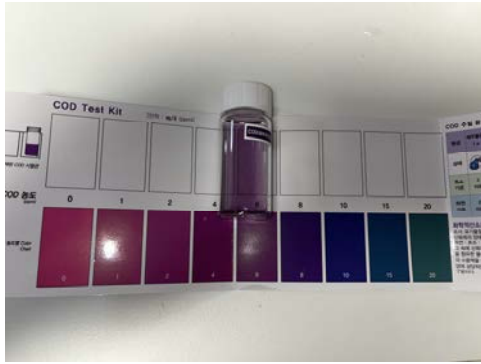
전체적으로 DO 값이 증가한 것이 확인되어 물이 잘 정수되었다고 판단하였다.

### 3) COD 측정

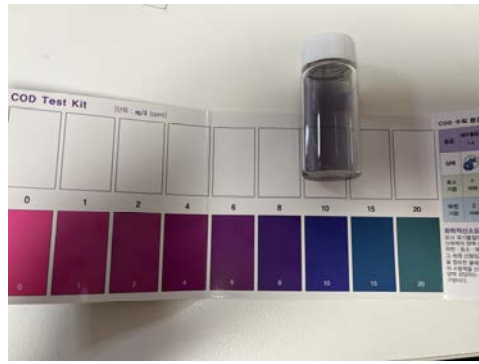
양재천에서 채취한 시료의 COD 값을 먼저 측정하였다. 여과 후 나온 물의 COD를 각각 COD test kit를 이용하여 측정하고 기록하였다. COD 값이 감소하였다면 물이 잘 정수된 것으로 판단하였다.

<표 IV-3> 1차 정수 장치 실험 COD 결과

	여과 전 COD	여과 후 COD	COD 변화
덴탈 마스크 필터	6ppm	5ppm	-1ppm
덴탈 마스크 + 활성탄 필터		10ppm	+4ppm
KF 94 마스크 필터		5ppm	-1ppm
KF 94 마스크 + 활성탄 필터		10ppm	+4ppm



[그림 IV-6] COD 측정-1



[그림 IV-7] COD 측정 2

덴탈 마스크 필터와 KF94 마스크 필터에서는 COD 값이 감소하여 물이 잘 정수된 것으로 판단되었으나 활성탄이 추가된 필터에서는 COD 값이 증가하였다. 이는 활성탄이 알칼리성을 띠고 있기 때문으로 추측되었다. 따라서 이후 실험을 진행할 때 활성탄을 세척하여 사용하기로 하였다.

## 2. 2차 정수 장치 실험 결과

### 1) SS 측정

1차 실험과 마찬가지로 여과 전 필터의 무게를 측정하고 여과 후 필터의 무게를 측정하였다.

<표 IV-4> 2차 정수 장치 실험 SS 결과

	여과 전 필터 무게	여과 후 필터 무게	정화량
세척 활성탄	1g	2g	1g
제올라이트	1g	2g	1g



[그림 IV-8] 흙탕물  
시료



[그림 IV-9] 필터  
구조물



[그림 IV-10] 필터 건조  
과정

세척 활성탄과 제올라이트 모두에서 여과 후 필터 무게가 증가하였다.

2) DO 측정

1차 실험과 마찬가지로 여과 전 DO를 측정하고 여과 후 DO를 각각 측정하였다.

<표 IV-5> 2차 정수 장치 실험 DO 결과

	여과 전 DO	여과 후 DO	DO 변화
세척 활성탄	7ppm	8ppm	+1ppm
제올라이트		7ppm	0ppm

세척 활성탄의 경우 DO가 1ppm 증가했고 제올라이트는 변화가 없었다.



[그림 IV-11] 활성탄 정수 물



[그림 IV-12] 제올라이트 여과 후 DO

3) COD 측정

1차 실험과 마찬가지로 여과 전 COD를 측정하고 여과 후 COD를 각각 측정하였다.

<표 IV-6> 2차 정수 장치 실험 COD 결과

	여과 전 COD	여과 후 COD	COD 변화
세척 활성탄	15ppm	18ppm	+3ppm
제올라이트		12ppm	-3ppm

세척 활성탄의 경우 COD가 3ppm 증가하였고, 제올라이트의 경우 COD가 3ppm 감소하였다.



[그림 IV-13] 활성탄 정수 후 COD



[그림 IV-14] 제올라이트 정수 후 COD

## V. 결론

1차 실험 결과 양재천 물을 여과 후 육안으로 관찰했을 때 확연히 물의 색깔이 밝아졌다. 또한 여과 후 필터 무게가 덴탈마스크 필터는 2g, 덴탈마스크+활성탄 필터, KF 94 마스크 필터, KF 94 마스크+활성탄 필터는 3g 증가하였으며, 이를 통해 부유물, 흙 등이 성공적으로 걸러진 것을 확인하였다. 여과 후 물의 DO 수치는 전체적으로 증가하였다. 이는 필터를 통과하는 과정에서 불순물이 걸러졌고, 여과 과정에서 공기 중을 통과하며 DO가 증가했을 것으로 예상된다. 마스크 필터는 COD 값이 낮아졌으며 불순물이 걸러졌다고 판단되나, 활성탄이 추가된 필터의 경우 오히려 COD 값이 증가하였다. 이는 활성탄 성분의 문제로 생각되었다.

1차 장치의 문제점을 보완하여 2차 장치를 이용해 실험을 진행한 결과 1차 실험과 마찬가지로 육안으로 관찰했을 때 물의 색깔이 밝아진 것이 확인되었다. 또한, 여과 후 필터 무게가 1g씩 증가하였는데, 이는 일차적으로 활성탄, 제올라이트층에서 부유물이 걸러졌기 때문에 1차 실험 때보다 더 적게 증가한 것으로 생각된다. DO 값은 여과 전 7ppm과 크게 차이가 없었다. 1차 실험에서는 양재천에서 시료를 채취하기 전에 비가 크게 와서 DO 값이 낮아 뚜렷한 차이가 나타났지만, 이번에는 1기압, 상온에서 최대 DO 값인 10에 가까웠기 때문에 큰 차이가 없었던 것으로 보인다. COD의 경우 여과 전 15ppm에서 활성탄의 경우 18ppm으로 3ppm이 증가했고, 제올라이트는 12ppm으로 3ppm이 감소했다. 활성탄을 세척했어도 COD를 증가시키는 물질이 충분히 제거되지 않았던 것으로 보이며, 제올라이트의 경우 그런 문제가 발생하지 않고, COD 값을 감소시키는 흡착 능력을 보여주었다. 이를 통해 제올라이트와 같이 화학적으로 오염물질을 제거하는 구조와 마스크 필터구조를 이용해 정수 장치를 제작할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

결과적으로 폐마스크를 필터로 사용하여 하천수의 부유물질의 양과 COD 수치를 감소시킬 수 있었으며, 제올라이트와 같이 실제 하천의 정수에 사용되는 물질을 이용하면 더 높은 정수 성능을 갖는 수질 정화 장치를 제작할 수 있었다. 이를 통해 실제 정수 과정에서 폐마스크를 재활용한 필터구조가 적용 가능하다는 가능성을 확인할 수 있었다.

## VI. 참고문헌

1. 이O준, 2018, “미세먼지 필터 구조탐구를 통한 효율적인 필터 검증 방법에 관한 연구”, 분당중앙고 Annual Journal
2. 울산 강남고, 2013, “울산 태화강 식물을 이용한 정수기 필터로의 적용 가능성 연구”, STEAM R&E 연구결과 보고서
3. 환경부, “환경백서”2000a.

# 화학B

01. 은 나노입자 합성 .....	163
02. 양이온계 색소인 Methylene Blue가 흡착제거 되는 상황에서 음이온계 색소가 미치는 영향에 대한 탐구 .....	171
03. 대장암 세포주 HT-29에 대한 천연생물자원 추출물의 항암활성 탐색 .....	183
04. 전기도금으로 만든 전극의 물 분해 효율 비교 .....	193
05. 전산과학을 이용한 다공성 물질 흡착반응 .....	203
06. 분자 오비탈로 이해하는 지시약의 색 변화 .....	211
07. 산화철 나노입자의 광촉매적 특성 비교 연구 .....	221
08. 천연 살충제 주요 성분인 피레트린의 유기합성 연구 .....	229
09. 폐식용유를 활용한 에너지원(바이오디젤 합성) .....	241
10. 구리(Cu)와 질산 은(AgNO <sub>3</sub> ) 수용액 산화 환원 반응에서 은 수지상결정(Ag dendrite) 관찰 .....	247



화학B

## 01\_은 나노입자 합성



# 은 나노입자 합성

김민영 (군산중학교 3학년)

박상현 (진포중학교 3학년)

신유성 (동산중학교 3학년)

지도교수 : 최한규 (군산대학교 화학과)

## 초록

이 연구는 플라즈모닉스 특성을 가지는 은 나노입자를 합성하여, 빛과 금속 안에 존재하는 자유전자간 상호작용을 분광학적 방법을 통해 규명한 실험이다. 귀금속에 해당하는 은 나노입자 안에 존재하는 자유전자는 크기와 모양에 따라 빛과 상호작용하는 경향이 달라지는데, 이 실험에서는 정육면체, 구형, 막대형의 모양과 구형 은 나노입자의 크기에 따른 자외선-가시광선 흡수 스펙트럼의 차이를 관찰하였다. 구형 은 나노입자의 크기가 커질수록 피크의 위치가 점점 적색편이를 보이고, 막대형 및 정육면체 은 나노입자의 경우 피크가 넓어지고 피크의 개수가 3개로 증가함을 알 수 있었다.

## I. 서론

금속 내부에 존재하는 자유전자들은 빛과 상호작용하여 흡수, 반사, 굴절 등의 현상이 일어나며, 이러한 현상들은 플라즈몬(Plasmon)이라고 불리는 금속 내의 자유전자가 빛과 상호작용하여 위아래로 진동하는 현상에 의해 결정된다 (Juan et al., 2011; Willets & Van Duyne, 2007). 이러한 플라즈몬은 특정한 빛의 파장에 신호가 매우 증폭되는 공명이라는 특성을 가지며, 이를 통해 빛의 특정 파장 범위에서 강력한 광학적 효과를 나타낼 수 있다. 플라즈모닉스(Plasmonics)는 이러한 플라즈몬의 특성을 연구함으로써 다양한 분야에 응용할 수 있다(Haes et al., 2004; Whitney et al., 2005). 예를 들어, 광센서, 광통신, 광전자소자, 표면 촉매 등의 분야에서 응용이 가능하다. 또한, 나노구조물의 설계와 제어를 통해 광과장의 조절이나 광학적인 특성의 개선을 이룰 수 있는 연구 분야로도 각광받고 있다.

그런데 특정 나노입자 또는 나노구조물의 표면에서 발생하는 플라즈몬을 국부적 표면 플라즈몬 공명(Localized surface plasmon resonance)이라고 부른다(Juan et al., 2011; Willets & Van Duyne, 2007). 주로 금 또는 은과 같은 귀금속이 대표적인 금속 나노입자로 사용되며, 그 중에서 은은 가격이 저렴하며 촉매활성이 뛰어나고 반응성이 높아 항균 소독제, 태양광 전지, 의료용품 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 국부적 표면 플라즈몬 공명은 금속 나노입자의 크기, 모양, 그리고 주변 환경에 따라서 특성이 달라진다. 이를 활용하여 플라즈모닉스 연구에서는 나노입자의 크기와 모양을 조절하여 원하는 파장에서 국부적 표면 플라즈몬 공명을 조절하고,

이를 통해 다양한 분야에 접목시키는 노력을 진행하고 있다. 예를 들어, 화학 센서, 생체 센서, 표면 촉매, 광통신 등 다양한 분야에서의 센싱, 감지, 측정 등에 이용된다.

따라서 본 연구에서는 은나노입자의 합성을 다양한 조건에서 진행하고, 생성된 나노입자의 분광학적 특성을 분석하여 국부적 표면 플라즈몬 공명이 어떻게 개념적으로 실험 결과와 연결되는지 알아보는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 은 나노입자의 크기와 모양을 조절하고, 이 입자들의 광학적 특성을 자외선-가시광선 분광법을 통해 증명하려고 한다. 학생들은 중학교 교과과정에서 다루기 어려운 최첨단 연구 주제에 대해 탐구하고 실험을 진행함으로써 과학적 사고와 실험 기술을 실제로 체험해 볼 수 있는 기회를 가진다. 또한 최첨단 나노기술에 대한 학생들의 접근은 흥미 유발과 미래 성장 가능성을 탐구하는 중요한 기회로 간주된다.

## II. 연구 방법

### 1. 시약 및 기기

Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ , 99.8%), Ethylene glycol ( $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , 99.5%)는 Samchun에서 구매하였으며, Polyvinylpyrrolidone (PVP,  $M_w \sim 55,000$ )은 Aldrich에서 구매하여 별도의 정제 없이 사용하였다. 분광학적 특성을 파악하기 위해 자외선-가시광선 (UV-Vis) 분광기 (UV-2600i, Shinmadzu)를 사용하였고, 입자의 크기와 모양을 측정하기 위해 전계방사형 전자주사현미경 (FE-SEM, S-4800, Hitachi, Japan)을 사용하였다.

### 2. 은 나노입자 합성

은나노입자의 합성은 폴리올 공정을 따라서 하였다 (Li et al., 2012). Polyvinylpyrrolidone(PVP) 0.5 g을 Ethylene glycol(EG) 15 mL에 녹이고 이 비커를 가열 교반기 위에 올려 교반 하에 140도 또는 180도까지 약 20분 또는 30분 동안 가열한 뒤, 교반기의 온도를 낮춰 용액의 온도가 140도가 되도록 약 6분간 식힌다. 140도에 도달한 후  $\text{AgNO}_3$  0.1 g을 EG 5 mL에 녹인 용액을 주사기에 채워 1 mL/분의 속도로 5분간 방울방울 첨가한다. 그 후 140 또는 180도 조건하에서 10, 20, 30분간 추가로 교반하면서 반응을 시킨다. 각 반응의 반응 조건은 아래의 표에 정리하였다 (표1). 반응이 다 끝난 후, 상온에서 반응 용액을 천천히 냉각시킨 다음 아세톤 40mL를 첨가하여 잘 섞어준다. 그리고 남아있는 과량의 PVP와 EG를 제거하기 위해 10,000 rpm, 10분 동안 원심분리를 한다. 그 후에 탄올을 사용하여 추가로 3회 반복 원심분리 후 증류수 3 mL에 분산한다. 마지막으로, 생성된 실험 결과물을 UV-Vis 분광법 및 SEM 측정을 통해서 분석한다.

No.	AgNO <sub>3</sub> (g)	1 <sup>st</sup> Temp(°C)	1 <sup>st</sup> Time(분)	2 <sup>nd</sup> Temp(°C)	2 <sup>nd</sup> Time(분)
1	0.10	140	20	140	10
2	0.10	140	30	140	10
3	0.10	140	30	140	20
4	0.10	180	30	140	20
5	0.10	180	30	180	20
6	0.10	180	30	180	30

### 표1. 은나노합성에 대한 실험 조건

\* 1<sup>st</sup>Temp, Time : PVP를 녹인 EG용액의 반응 온도 및 시간, 2<sup>nd</sup>Temp, Time : AgNO<sub>3</sub> 첨가 후 반응 온도 및 시간

### III. 연구 결과

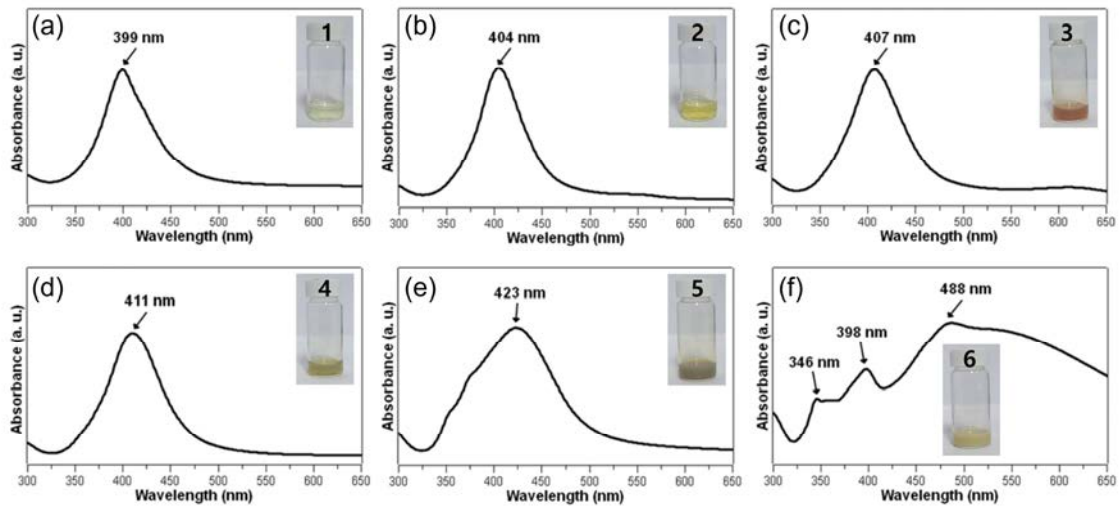
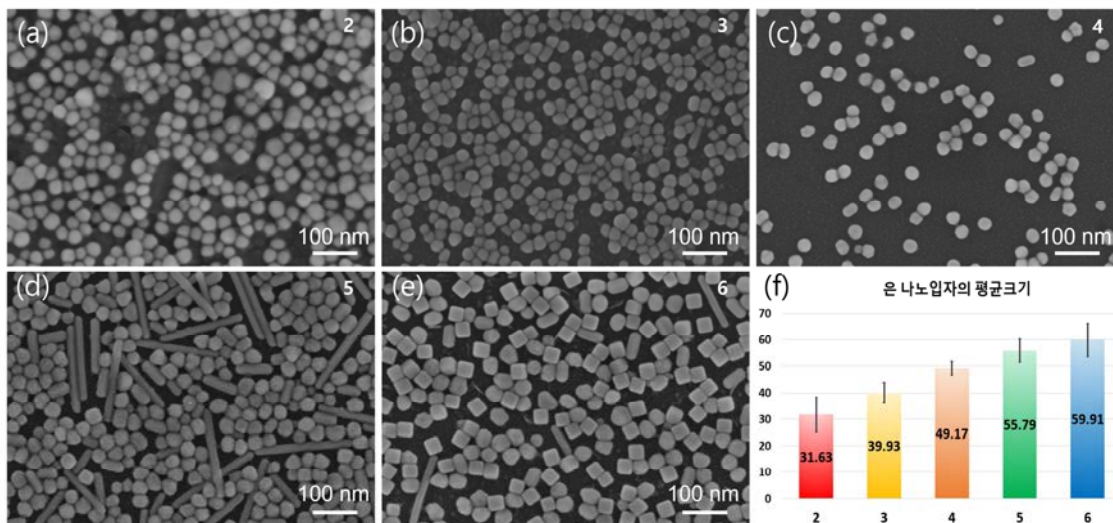


그림 1. 합성된 은 나노입자들의 UV-Vis 스펙트럼. 스펙트럼 안쪽에 삽입된 이미지는 생성된 나노입자들의 색이다.

표1에 제시된 각 조건에 따라 합성된 은 나노입자들은 전체적으로 반응 시간과 온도가 낮을수록 농도가 연해지며 노란색에 가깝게 나타났고, 높을수록 농도가 진해지며 진한 녹색에 가까운 색을 나타냈다. 합성된 나노입자를 기준으로 색은 크게 노란색-갈색-녹색으로 나뉘었다.

UV-Vis분석 결과 UV 스펙트럼은 나노입자 용액의 농도가 가장 연했던 샘플(1) 부터 가장 진했던 샘플(5) 사이에서 각각의 최대 흡수 피크가 399, 404, 407, 411, 423 nm를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 샘플(6)의 경우 346, 398, 488 nm에서 3개의 피크가 관찰되는 것을 볼 때, 구형의 은 나노입자가 아닌 다른 형태의 나노입자가 만들어진 것으로 생각된다.

결과적으로 UV-Vis 분광 분석 결과를 통해 입자 크기와 형태에 따라 스펙트럼의 피크 위치가 다르게 나타났고, 나노입자의 크기가 커질수록 흡수하는 파장의 영역이 증가하면서 최대흡수파장이 적색편이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.



**그림 2.** (a–e) 은 나노입자들의 FE-SEM 사진. 그림 안에 축척막대는 하얀색 실선으로 표시되어 있으며 100 nm에 해당한다. (f) 은나노입자의 평균 크기 (a)에서 (e) 까지 표현되어 있는 SEM 사진으로부터 각나노입자의 크기를 측정하여 표시하고 표준편차 기입하였다.

표1에 제시된 각 조건에 따라 합성된 은 나노입자들의 크기 및 형태를 확인하기 위해서 FE-SEM 분석을 진행하였다 (그림 2). 표1에서 제안한 샘플 (1)의 조건은 생성된 샘플의 농도가 너무 연하여 측정할 수 없었고, 그림 2(a)에서 (e)는 샘플(2)에서 샘플(6)의 FE-SEM 이미지를 정리한 것이다. 그림 2(a)에서 (c)에 제시된 이미지를 통해 은나노입자의 모양이 구형으로 잘 만들어진 것을 알 수 있었다. 또한 그림2(d)와 (e)결과를 통해 막대 모양과 정육면체 모양의 은나노입자도 만들어진 것을 알 수 있었다. 이 결과는 UV-Vis 분광 분석 결과에서 예상했던 경향성과 일치하고, 은나노입자의 평균 크기는 약 31.6에서 59.9 nm의 균일한 크기의 은 나노입자가 생성되었음을 확인할 수 있었다. 위의 결과를 통해 반응 시간과 온도가 증가할수록 크기가 큰 입자들이 생성되었음을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

폴리올 공정에서 조작 변인인 반응 온도와 시간을 조절하여 약 27 nm에서 60 nm에 해당하는 구형 은나노입자와 막대형 및 정육면체 모양의 은나노입자도 합성하였다. 또한 합성된 은 나노입자를 자외선-가시광선 분광법 및 주사전자현미경 측정을 통해 크기와 모양에 따른 국소적 표면 플라즈몬 공명

피크의 차이를 확인하였다. 은나노입자의 크기가 커질수록 국소적 표면 플라즈몬 공명 피크는 적색 편이를 보이고 막대형 및 정육면체 형태를 띠면 피크의 개수 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 은나노입자 합성에서는 반응 시간과 온도를 증가시켰을 용액의 농도가 진해지고 나노입자의 크기가 커지는 경향을 보였다. 즉 반응 시간 및 온도와 나노입자의 농도 및 크기는 비례하는 경향을 보였다. 하지만 반응 시간을 너무 짧게 하거나 (1번 샘플) 온도를 너무 높게 설정한 경우 (6번 샘플)는 예상했던 결과가 나오지 않았다. 결과적으로 나노입자의 형태와 크기, 분산성에는 여러 변수들이 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

## V. 참고문헌

- Haes, A. J., Zou, S., Schatz, G. C., & Van Duyne, R. P. (2004). A Nanoscale Optical Biosensor: The Long Range Distance Dependence of the Localized Surface Plasmon Resonance of Noble Metal Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry B*, *108*(1), 109–116. <https://doi.org/10.1021/jp0361327>
- Juan, M. L., Righini, M., & Quidant, R. (2011). Plasmon nano-optical tweezers. *Nature Photonics*, *5*(6), 349–356. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2011.56>
- Li, L., Sun, J., Li, X., Zhang, Y., Wang, Z., Wang, C., Dai, J., & Wang, Q. (2012). Controllable synthesis of monodispersed silver nanoparticles as standards for quantitative assessment of their cytotoxicity. *Biomaterials*, *33*(6), 1714–1721. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2011.11.030>
- Whitney, A. V., Elam, J. W., Zou, S., Zinovev, A. V., Stair, P. C., Schatz, G. C., & Van Duyne, R. P. (2005). Localized Surface Plasmon Resonance Nanosensor: A High-Resolution Distance-Dependence Study Using Atomic Layer Deposition. *The Journal of Physical Chemistry B*, *109*(43), 20522–20528. <https://doi.org/10.1021/jp0540656>
- Willems, K. A., & Van Duyne, R. P. (2007). Localized Surface Plasmon Resonance Spectroscopy and Sensing. *Annual Review of Physical Chemistry*, *58*(1), 267–297. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.58.032806.104607>



화학B

02\_양이온계 색소인 Methylene Blue가 흡착제거  
되는 상황에서 음이온계 색소가 미치는 영향에 대한 탐구



# 양이온계 색소인 Methylene Blue가 흡착제거 되는 조건에서 음이온계 색소가 미치는 영향에 대한 탐구

구하연 (OO중학교 3학년)

노정연 (OO중학교 3학년)

오민지 (OO중학교 3학년)

장한영 (OO중학교 3학년)

채서현 (OO중학교 3학년)

황윤환 (OO중학교 3학년)

지도교수 : 박종욱 (청주교육대학교 과학교육학과)

## 초 록

Sodium Polycrylate(SPA)는 아기 기저귀 등 다양한 곳에서 흡수제로 SPA겔은 금속이온과 염료 등을 제거하는 데 널리 이용되고 있다. SPA겔은 음전하를 띠어 양이온계 색소와 정전기적 상호작용을 일으켜 흡착시킨다. 하지만 앞선 선행연구에서 양이온계 색소인 메틸렌블루와 음이온계 색소인 amaranth, taetrazine을 각각 혼합한 용액의 일정 비율에서 양이온계 색소가 SPA겔에 흡착되지 않고 탈착되는 흡착방해 현상이 관찰되었다. 본 실험에서는 이러한 흡착방해 현상이 다른 음이온계 색소에서도 일어나는 지 알아보려고 하였다. 음이온계 색소로는 Acid red 17(Amaranth), Allura red, methyl orange, congo red를 사용하였다. 실험결과 메틸렌블루: Amaranth는 1:7의 비율에서, 그리고 메틸렌 블루 : allura red는 1:15의 비율에서 흡착방해 현상이 나타났으며, 메틸 오렌지와 콩고 레드 는 혼합비율을 달리하여도 메틸렌 블루의 흡착 방해현상을 야기시키지 못했다. 그리고 이와 연계하여 흡착 원리가 유사한 음이온계 계면활성제(SDS) 거품 발생 실험을 진행하였다. 음이온계 계면활성제도 마찬가지로 양이온계 색소와 상호작용을 통하여 거품 표면에 흡착되어 제거될 수 있는데, 음이온계 계면활성제에서 SPA와 같은 현상이 일어나는 지 알아보려고 하였다. 실험 결과 음이온계 계면활성제에서 양이온계 색소와 음이온계 색소의 혼합 비율과 상관없이 MB가 흡착제거됨을 확인할 수 있었다. 즉 흡착방해 현상이 나타나지 않았다. 이는 음이온계 계면활성제가 SPA겔 보다 메틸렌 블루와의 정전기적 상호작용이 강하기 때문인 것으로 보인다.

## I. 서론

SPA(Sodium polyacrylate)는 아기 기저귀에 자주 이용되는 물질로 알려져있다. 물을 200~300배 정도로 흡수할 수 있는 성질을 띠 뿐 아니라 구리 같은 금속이나 중금속 물질을 흡수하여 제거할 수 있다[1]. 특히 SPA는 메틸렌블루 등의 양이온계 색소와 결합하는 성질을 띠어 음이온계 색소와 양이온계 색소가 결합한 용액 속에서 양이온계 색소를 제거할 수 있다. 이렇게 양이온계 색소만을 제거하는 성질을 이용하면 폐수를 정화시키는 데에도 사용할 수 있다[1].

이러한 성질은 음이온계 계면활성제에서도 발견할 수가 있는데, 양이온계 색소와 음

이온계 색소가 섞여있는 용액에서 음이온계 계면활성제를 이용하여 양이온계 색소만을 흡착제거할 수 있다.

선행 연구 논문에 따르면, SPA의 경우 메틸렌블루와 적색 2호의 혼합용액에서 두 색소의 혼합 비율에 따라 메틸렌블루의 흡착 여부가 결정되었다. 특히 SPA에 흡착되어있던 메틸렌블루의 경우, 적색 2호(amaranth)의 농도가 메틸렌블루의 농도보다 높을 때에 메틸렌블루가 SPA로부터 탈착되었다. 적색 2호 뿐 아니라 황색 5호(Tartrazine)에서도 유사한 결과가 도출되었다[3].

SPA를 이용하여 메틸렌블루 등의 양이온계 색소가 흡착제거시킬 때, 다른 음이온계 색소가 SPA와 메틸렌블루 사이의 상호작용을 약화시키는지 궁금해져 여러 음이온계 색소를 사용해 알아보려고 하였다. SPA와 같이 음이온을 띠는 음이온계 계면활성제도 양이온계 색소와 음이온계 색소를 혼합한 용액에서 SPA와 같이 혼합 비율에 따라 반응을 나타내는지 알아보려고 본 실험을 진행하게 되었다.

## II. 연구 방법

### 1) 실험에 적합한 시약 농도 결정

PASCO 가시광선 분광기를 이용하여 여러 가지 색소의 흡광도를 측정하였다. 실험 시약의 원액과 실험 진행 후 변형된 시약의 흡광도를 모두 측정하기 적당한 농도를 찾았다. 이때, 메틸렌블루의 알맞은 농도를 찾기 위하여 농도별 용액을 제작하였고, 수용액의 일부를 큐벳에 담아 분광기로 측정하였을 때 측정하여 관측하기 용이한 농도를 탐색하였다. 그외에 amaranth, Methyl Orange, Acid Red 17, Congo red, Methyl orange 등 음이온계 색소도 동일한 과정을 거쳤다.

### 2) 포화 SPA 겔 제작 및 최대 흡착량 측정

실험에서 이용하는 Hydrogel화가 된 SPA 겔을 만들기 위해서 포화 SPA 겔을 제작해야 한다. [1] 그리고 최대 흡착량을 측정하기 위하여 포화 SPA 겔(SPA 가루 1g + 물 115g) 5g을 넣은 플라스틱 컵에  $10^{-5}$  M 메틸렌블루 수용액을 5ml, 10ml, 15ml, 25ml, 35ml, 50ml, 75ml, 100ml를 씩 넣는다. 교반기로 일정 시간 이상 저어준 다음 겔에 의해 걸러진 용액의 색을 비교해본다. 그 결과, 50ml 이하부터 용액이 투명해지는 것을 보였다. 따라서 포화 SPA 겔이 1g당 10ml의  $10^{-5}$  M 메틸렌블루를 흡착시킨다는 것을 알 수 있었다.

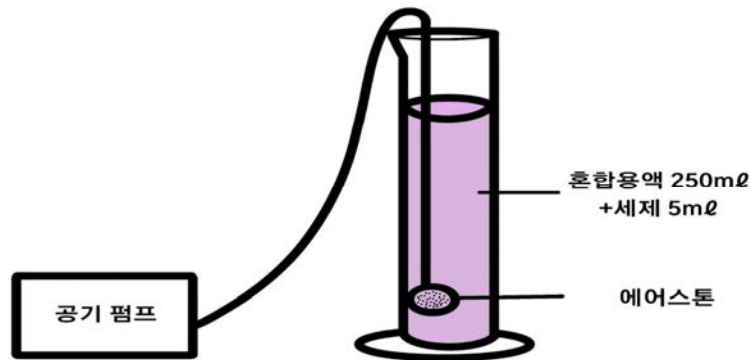
### 3) 식용색소에 의한 메틸렌블루의 최대 탈착 몰수비 연구

포화 SPA 겔에 흡착되어 있는 메틸렌블루가 여러 색소에 대해 상호작용을 하는지 그 여부와 상호작용을 한다면 그 상호작용이 최대화되는 몰수비를 찾기 위해 다음과 같은 실험을 진행하였다. 먼저 실험군과 대조군을 제작한다. 대조군은  $10^{-5}$  M 메틸렌블루 100ml이고, 실험군은 대조군에 포화 SPA 겔 10g을 넣은 것이다. 실험군

과 대조군에 각각  $10^{-4}M$  Amaranth를 1ml씩 넣는다. 실험군과 대조군의 메틸렌블루 흡수 스펙트럼이 같아질 때까지 물수비를 달리하여 위 실험을 반복하여 진행한다. 위와 같은 방법으로  $10^{-3}M$ 의 Allura Red, Congo red, methyl orange 용액을 사용해서도 추가 실험을 진행하여 메틸렌블루와의 탈착효과 발생 여부와 탈착효과가 최대로 일어나는 물수비를 찾아낸다. 실험군에서 메틸렌블루 스펙트럼이 관측되는지 그 여부로 탈착효과 여부를 알 수 있고, 실험군과 대조군의 메틸렌블루 스펙트럼이 같아졌을 때를 탈착효과가 최대로 일어났다고 간주한다.

#### 4)음이온계 계면활성제 흡착 실험

거품 부상법 실험방법은 아래와 같이 색소혼합용액에 음이온계 계면활성제인 SDS(Sodium Dodecyl Sulfonate)가 포함된 주방정리세제를 넣어 공기를 불어넣는 거품 부상법을 이용하여 색소혼합물을 분리하기 위해 <그림1>와 같이 실험하였다[2].



<그림1> 거품 발생실험 장치

메틸렌블루와 음이온계 색소의 혼합 용액 250mL를 준비한다. 실험에 따라 혼합 색소의 비율을 달리한다. 혼합 색소 용액에 주방용 세제 5mL를 첨가한 후 250mL 눈금실린더에 넣는다. 공기펌프와 연결한 에어스톤을 눈금실린더의 바닥에 위치하게 한 후 펌프를 작동시켜 분당 56mL의 속도로 거품을 발생하게 한다. 세제의 양이 많거나 거품발생 속도를 빠르게 하면 혼합용액이 거품으로 소실되는 것이 많기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있는 조건을 찾아 실험하였다. 10분 간격으로 눈금 실린더에 남아있는 용액의 일부를 채취하여 가시광선 분광계로 혼합색소의 흡수도의 변화를 측정한다.



<그림2> 거품 실험 과정

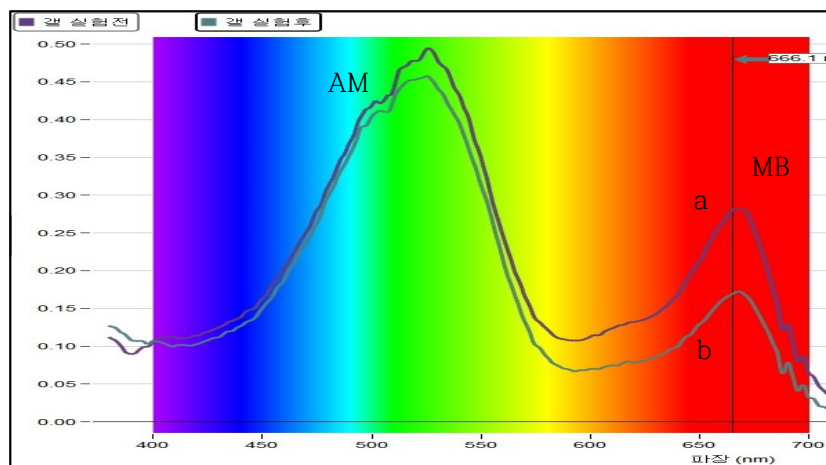
### III. 연구 결과

#### 1. SPA 고분자 겔에서 음이온계 색소의 메틸렌블루에 대한 흡착방해 효과

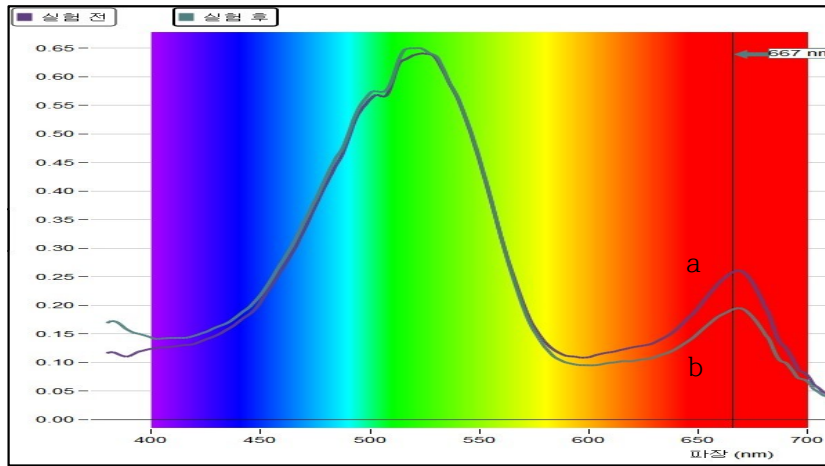
양이온계 색소인 Methylene Blue와 amaranth와 Tartrazine 과 같은 음이온계 색소 혼합용액에서 음전하를 띠고 있는 SPA겔에 양이온계 색소들이 흡착제거되지 않는, 즉, 음이온계 색소들의 흡착방해 현상이 다른 음이온계 색소에서도 공통적으로 일어나는 현상인지 알아보기 위하여 여러 가지 음이온계 색소를 이용하여 실험을 수행하였다.

#### 1) Amaranth(AM)

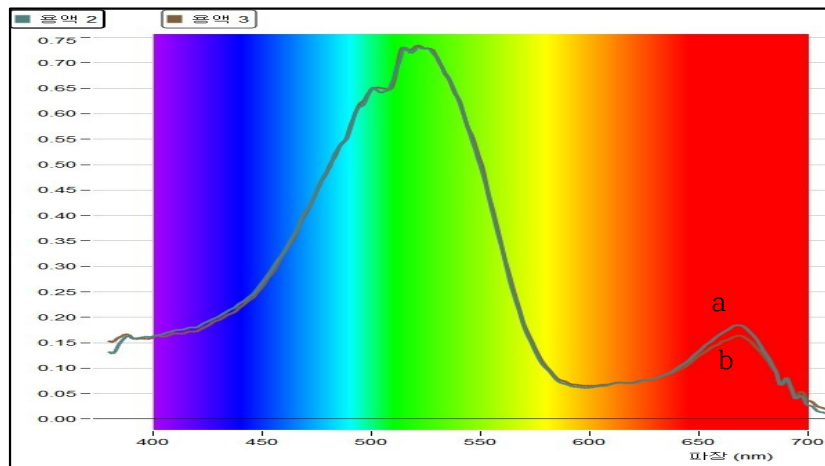
메틸렌 블루와 AM의 혼합비율을 1:3, 1:5, 1:7로 바꾸어가면서 SPA 겔로 혼합한 후 충분한 시간이 지난 후 용액을 추출하여 가시광선 분광기로 혼합용액을 분석하였다. 실험결과에서 알 수 있듯이, MB와 AM의 혼합비율에 따라 MB의 흡착이 점점 더 방해받고 있다는 것을 알 수 있으며, 1:7의 혼합비율에서 MB는 SPA와 상호작용을 전혀 하지 않는다는 것을 알 수 있다.



<그림3> MB:AM=1:3 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후



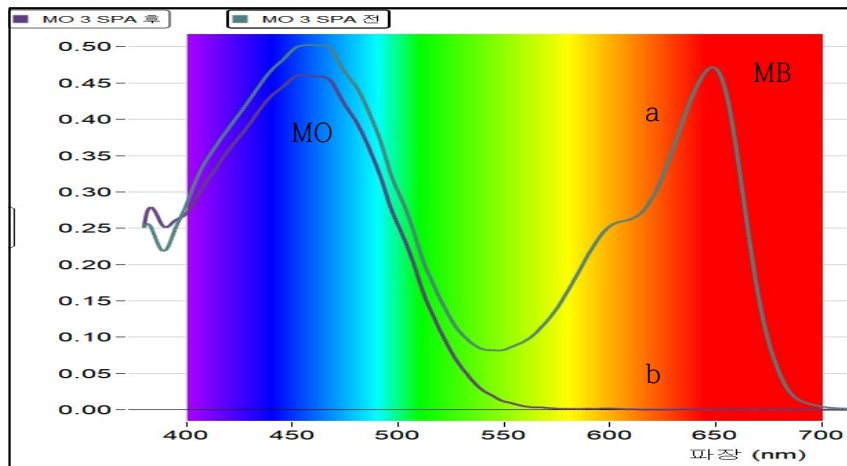
<그림4> MB:AM=1:5 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후



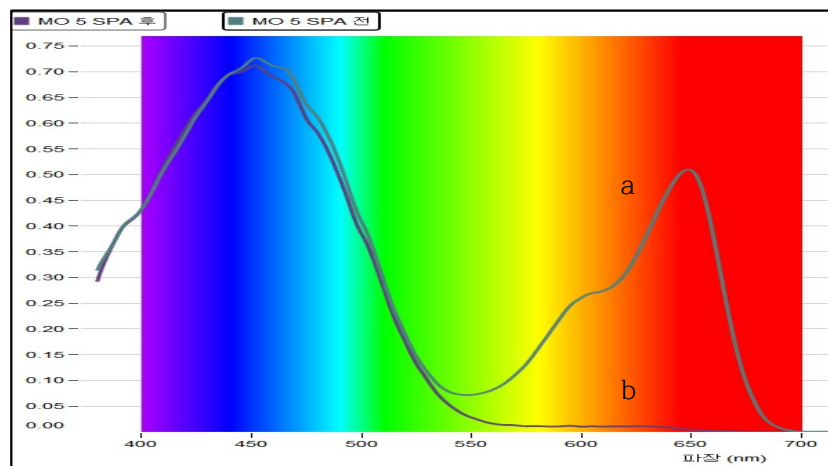
<그림5> MB:AM=1:7 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후

## 2) Methyl Orange(MO)와 Congo red(CR)

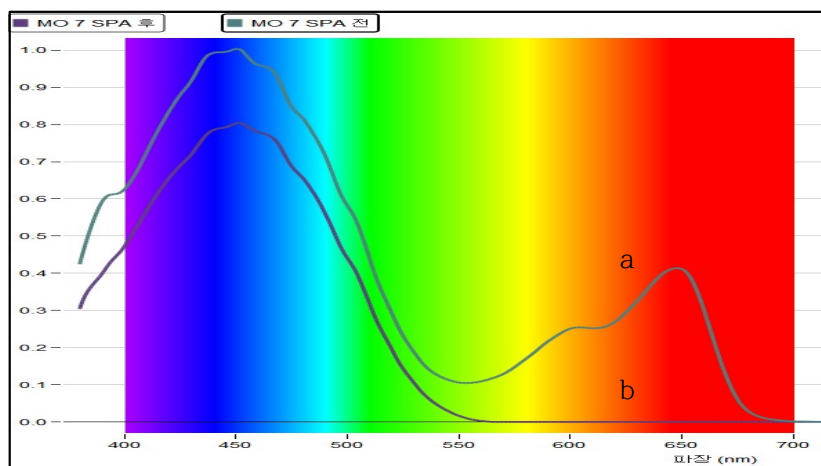
메틸렌 블루와 MO의 혼합비율을 달리해가며 AR와 마찬가지로 방법으로 MO의 흡착 방해효과가 나타나는지 실험하였다. 실험결과에서 볼 수 있듯이 MO의 혼합비율에 무관하게 메틸렌블루는 SPA 겔에 흡착되어 제거됨을 알 수 있었다. 이를 통해 모든 음이온계 색소가 SPA 겔에서 메틸렌블루와 같은 양이온계 색소의 흡착을 방해하지 않는다는 사실을 알 수 있다.



<그림6> MB:MO=1:3 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후

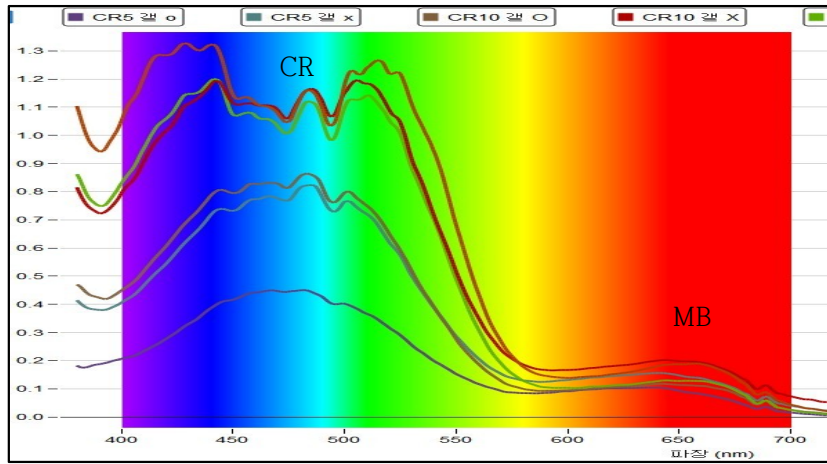


<그림7> MB:MO=1:5 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후



<그림8> MB:MO=1:7 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후

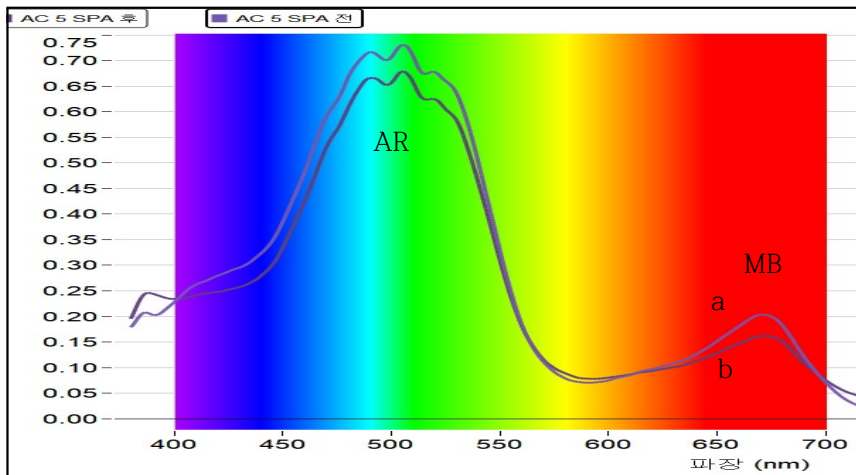
Congo red 의 경우에도 <그림 9>에서 볼 수 있는 바와 같이 메틸렌 블루에 대한 흡착 방해 효과가 나타나지 않았다.



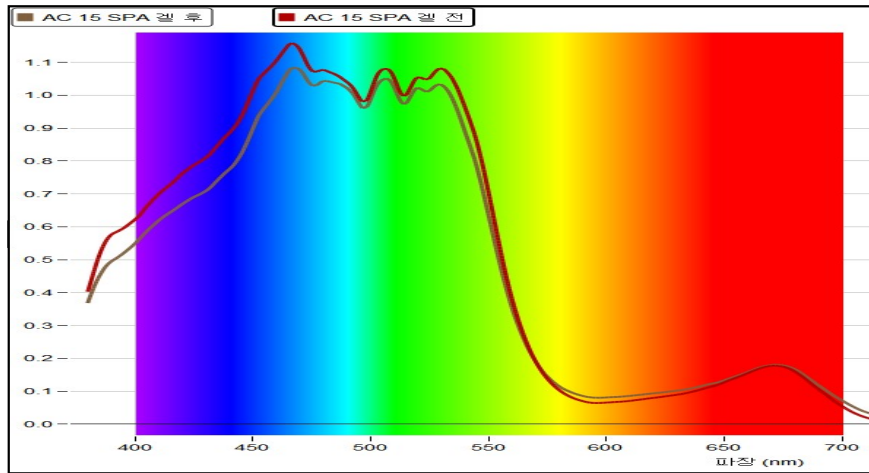
<그림9> MB와 CR 혼합 용액 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화

#### 4) Allura Red(AR)

<그림 10>과 <그림 11>에서 알 수 있듯이 메틸렌블루와 AR의 혼합비율이 1:5 인 경우 메틸렌 블루가 포화 SPA 겔로부터 탈착되어 나오며, 1:15인 경우 메틸렌 블루가 SPA 겔에 전혀 흡착되지 않음을 알 수 있다.



<그림10> MB:AR=1:5 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후

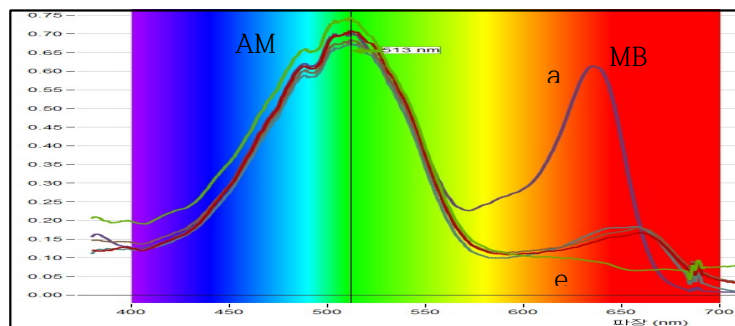


<그림11> MB:AR=1:15 흡수 시펙트럼 실험 전 후 변화  
(a) 실험 전 , (b) 실험 후

## 2. SPA대신 음이온계 세제에서의 흡착 방해 효과

일반적으로 주방세제에 포함되어 있는 SDS(Sodium Dodecyl Sulfate) 또한 SPA와 마찬가지로 메틸렌 블루와 정전기적 상호작용이 일어난다. 따라서 거품 부상법을 이용하여 메틸렌 블루를 제거할 때 SPA에서 관찰된 음이온계 색소의 흡착 방해 효과가 일어나는 지 알아보고자 하였다.

<그림 12>는 거품 부상법을 이용하여 MB와 AM의 혼합비율이 1: 7일 때, 즉 SPA에서 AM의 흡착방해 효과가 관찰된 조건에서 실험한 결과이다. SPA에서와는 다르게 거품이 발생함에 따라 MB의 양이 점점 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이는 AM의 MB에 대한 흡착방해 효과가 전혀 없음을 알 수 있다. 즉, SPA 에서와는 달리 음이온계 주방세제에 의해 메틸렌 블루가 흡착되어 제거되며, AM에 의한 메틸렌 블루의 흡착 방해효과가 나타나지 않았다. AM의 농도를 증가시켜도 메틸렌 블루의 흡착 방해효과는 역시 나타나지 않았다. 이는 음이온계 주방세제와 메틸렌 블루의 상호작용이 SPA와 메틸렌 블루의 상호작용보다 더 강하다는 것을 의미한다고 해석하였다. MO를 이용한 실험에서는 SPA와 마찬가지로 MO에 의한 흡착방해 효과가 나타나지 않았다.



<그림12> MB:AM=1:7 흡수 스펙트럼 실험 전 후 변화  
a: 실험 전, b: 10분 후, c: 20분 후, d: 40분 후, e: 55분 후

#### IV. 결론 및 제언

지난 연구를 통해 SPA 겔은 메틸렌 블루와 같은 양이온계 색소를 흡착 제거할 수 있는 능력이 있지만, 음이온계 색소에 의해 흡착이 방해받을 수 있다는 사실을 발견하였다. 우리는 모든 음이온계 색소가 이러한 효과를 나타내는 지 알아보기 위하여 여러 종류의 음이온계 색소를 이용하여 메틸렌 블루의 흡착 방해 효과를 알아보고자 하였다. 실험결과 amaranth 이외에도 allura red와 같은 색소가 흡착 방해 효과가 있음을 알 수 있었고, Congo red와 methyl orange 같은 색소는 전혀 그러한 효과를 나타내지 않음을 알 수 있었다. 흡착방해효과를 나타낸 음이온계 색소는 종류에 따라 그러한 효과를 나타내는 비율이 모두 다를 수 있었다. 음이온계 색소의 종류에 따라 왜 이러한 차이가 나타나는 지에 대해서는 후속 연구가 필요하다.

SPA겔 실험과 연계하여 진행한 음이온계 계면활성제를 이용한 거품 실험에서는 SPA겔 실험에서 탈착 효과가 가장 명확하게 나타난 amaranth를 이용하여 실험을 진행하였다. SPA겔과는 다르게 음이온계 계면활성제인 SDS에서는 음이온계 색소의 흡착 방해 효과가 나타나지 않았다. 이는 SPA와 SDS에서 메틸렌 블루와의 정전기적 상호작용의 세기가 다르다는 것을 의미하며 SDS에서 메틸렌 블루와의 상호작용이 더 강하게 작용하는 것으로 해석하였다.

#### V. 참고문헌

1. J.F. Yaung.; Y.H. Chen. Coloring a Superabsorbent Polymer with Metal Ions, J. Chem. Ed. 2009, 86(3), 347.
2. T.Rappon.; J.A. Sylvestre.; M. Rappon. Flotation of Mineral and Dyes: A Laboratory Experiment for Separation Method Molecular Hitchhikers. J. Che. Ed. 2016, 93, 708-712.
3. 한정현; 정하권; 이연우; 안용제. 기저귀 고분자 겔(SPA Gel)에서 관찰한 양이온 색소와 음이온 색소 사이의 상호작용에 관한 연구. 대학부설 과학영재 교육원



화학B

03\_대장암 세포주 HT-29에 대한 천연생물자원  
추출물의 항암활성 탐색



# 대장암 세포주 HT-29에 대한 천연생물자원 추출물의 항암활성 탐색

김건우 (진남초등학교 6학년)

김다솔 (고운초등학교 6학년)

김리안 (대우초등학교 6학년)

엄수하 (관동초등학교 6학년)

천아영 (대우초등학교 6학년)

지도교수 : 박해룡 (경남대 제약공학과)

주요 암 중에서 대장암은 대장에서 발생하는 악성종양으로 체중 감소, 구토 등의 증상으로 사망에 이를 수 있다. 대장암의 치료에 사용되는 항암 화학요법제는 여러 부작용이 있으며, 이를 해결하기 위해 천연물의 추출물을 활용한 치료제의 개발이 필요하다. 본 연구는 임상에서 사용하고 있는 천연물로부터 인간 유래 대장암 세포주인 HT-29에 대한 세포독성을 가지는 천연 추출물을 탐색하는 것이다. MTT reduction assay를 실시하여 천연물 추출물 중 민들레 추출물을 최종적으로 선별하였다. 우리는 현미경 관찰, hoechst 33342 staining 및 LDH release assay를 실시하여 항 약하지만 민들레 추출물의 항암활성을 확인하였다. 이러한 결과로부터 천연물 추출물이 대장암 치료에 효과적인 소재로 사용될 수 있는 가능성을 제시하였다.

## I. 서론

현대사회의 의학기술 발달로 인간의 평균수명이 연장되었지만 주위 환경 및 생활 양식의 변화로 과거에 비해 질병의 발생 구조가 크게 변화하고 있다. 우리나라의 주요 사망원인에는 심장질환, 폐렴, 뇌혈관 질환 등이 있으며 그중에서 암이 1위를 차지하고 있다.<sup>1)</sup> 암이란 여러 원인으로 인하여 세포들의 증식과 억제가 조절되지 않는 질병이다. 따라서 이런 암을 치료하기 위해서는 새로운 유형의 항암제 개발이 필요하다. 본 연구에서는 부작용이 적고 안전성 및 안정성이 높은 천연물 추출물로부터 항암활성을 가지는 물질을 탐색하고자 하였다.

## II. 이론적 배경

전 세계 암 발병률은 증가하는 추세를 보이고 있으며, 대장암의 발생률은 전 세계를 통틀어 우리나라가 1위를 차지하고 있다. 최근에는 서구화된 식습관으로 인해 2, 30대의 젊은 층에서도 증가하고 있다.<sup>2)</sup> 대장암은 직장 또는 결장에서 발생하는 악성종양으로 체중 감소, 심한 피로감, 식욕 부진, 구토 등의 증상이 나타난다.<sup>3)</sup> 치료 방법으로는 수술보다 방사선 요법 및 항암 화학요법 치료가 생존율을 향상시키고 있지만 여러 부작용이 동반된다고 알려져 있다.<sup>4)</sup> 따라서 본 연구팀은 부작용을 최소화할 수 있는 천연물을 이용하여 새로운 항암제를 탐색하는 연구를 실시하고자

하였다. 천연물은 동물, 식물, 미생물 등의 생물에 존재하는 2차 대사산물이며, 식물에 존재하는 phytochemical은 외부의 환경으로부터 자신을 지키기 위해 만들어지는 물질로 항산화, 항암, 면역력 향상 등 여러 생리활성을 나타낸다고 보고되었다.<sup>5)</sup>

본 연구팀은 일상에서 널리 사용되고 있는 레몬, 민들레, 히비스커스, 작약, 쑥, 양파 등 6종의 천연물을 선택하여 ethanol로 추출하여 항암제를 탐색하는 연구를 구축하였다. 천연물 추출물 중 MTT reduction assay를 통하여 세포독성이 가장 높은 민들레를 선별하였고 추가적으로 microscopy assay, hoechst 33342 staining, LDH release assay를 통하여 대장암 세포주 HT-29에 대한 항암활성 효과를 조사하여 민들레 추출물로부터 새로운 생리활성을 탐색하는 연구를 진행하였다.

### III. 연구방법

#### 1. 실험 재료

본 연구에 사용한 천연물 6종 (레몬, 민들레, 히비스커스, 작약, 쑥, 양파)은 창원시에 위치한 마트에서 구입하였다. 천연물 추출물은 각 시료 5 g에 100 mL ethanol을 첨가한 뒤 상온에서 3일간 정치시켜 추출하였다. 그 후 Whatman No. 1 filter paper (Advantec, Tokyo)를 사용하여 여과하고 회전감압농축기 (EYELA, New York)로 추출물을 제조하여 4°C에 보관하여 실험 시 꺼내어 사용하였다.

#### 2. 세포주 배양

본 실험에 사용된 인간 유래 대장암 세포주 HT-29는 한국세포주은행 (KCLB, Seoul)으로부터 분양받아 사용하였다. 대장암 세포주 HT-29는 RPMI medium에 10% fetal bovine serum와 1% penicillin-streptomycin을 첨가하여 사용하였으며, 습도가 95%가 유지되도록 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator(SANYO, Osaka)에서 배양하였다.

#### 3. MTT reduction assay

HT-29에 대한 천연물 추출물의 세포독성 효과를 알아보기 위해 MTT reduction assay를 실시하였다. HT-29 세포주를  $1 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 96-well plate의 각 well에 100  $\mu$ L씩 분주하고 습도가 95%로 유지되는 37°C, 5%의 CO<sub>2</sub> incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 이후 시료를 농축하여 희석하고 최종 처리농도가 50, 100  $\mu$ g/mL이 되도록 세포에 처리하여 incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 이후 각 well에 MTT (5 mg/ml) 용액을 10  $\mu$ L를 분주하고 1시간 동안 incubator에서 배양하였다. 이후 배지를 제거하고 100  $\mu$ L의 DMSO를 분주하여 formazan을 녹이고 ELISA reader (BioRad, USA)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 천연물 추출물을 처리하지 않은 대조군을 100%로 하였을 때, 상대적인 세포생존율을 측정하였다.

#### 4. 형태학적 변화 관찰

민들레 추출물이 HT-29에 대하여 형태학적 변화를 일으키는지 알아보기 위해

morphological analysis를 실시하였다. HT-29 세포주를  $2 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 6-well plate의 각 well에 2 mL씩 분주하고 습도가 95%로 유지되는 37°C, 5%의 CO<sub>2</sub> incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 이후 민들레 추출물 최종 처리농도가 50, 100 µg/mL이 되도록 세포에 처리하여 incubator에서 24시간 동안 배양하였다. Phase-contrast microscope (Nikon, Japan)를 이용하여 HT-29 세포주의 형태학적 변화를 관찰했으며 100배의 비율로 사진을 촬영하였다.

## 5. LDH release assay

HT-29에 대한 민들레 추출물의 세포독성을 LDH release assay를 실시하였다. HT-29 세포주를  $1 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 96-well plate의 각 well에 100 µL씩 분주하고 습도가 95%로 유지되는 37°C, 5%의 CO<sub>2</sub> incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 이후 민들레 추출물의 최종 처리농도가 50, 100 µg/mL이 되도록 세포에 처리하여 incubator에서 24시간 동안 배양하였다. Control에 lysis buffer 10 µL 첨가하여 30분 동안 배양 후, 각 well에 working solution 100 µL를 첨가하여 암실에서 5분간 반응시켰다. 이후 각 well에 stop solution을 50 µL를 첨가하고 microplate reader (BioRad, USA)를 이용하여 490nm에서 흡광도를 측정하였다.

## 6. Hoechst 33342 staining

대장암 세포주 HT-29에 처리 시 apoptotic cell을 확인하기 위하여 hoechst 33342 staining을 실시하였다. HT-29를  $2 \times 10^5$  cells/well로 plating하고 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator에서 24시간 배양하였다. 이후 민들레 추출물의 최종 처리농도가 50, 100 µg/mL이 되도록 세포에 처리하여 incubator에서 24시간 동안 배양하였다. 그 다음 PBS buffer를 이용하여 2회 세척하고 10% formalin 용액으로 2시간 고정시켰다. 1×PBS에 녹인 hoechst 33342 (Sigma-Aldrich, St Louis)용액을 처리한 후 30분 동안 암실에서 세포핵을 염색하도록 반응시켰다. PBS buffer로 2회 세척하고 1×PBS 1 mL를 각 well에 분주하여 형광 현미경으로 세포를 관찰하고 200배의 배율로 사진 촬영하였다.

## IV. 연구결과

### (1) 천연물 추출물의 항암활성 효과

대장암에 대한 천연물 추출물의 항암활성을 확인하기 위해 인간 유래 대장암 세포주 HT-29 (Fig. 1)을 한국세포주은행으로부터 분양받아 사용하였다.

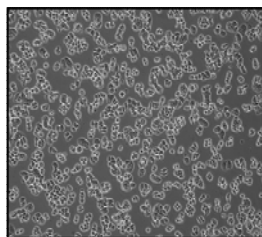
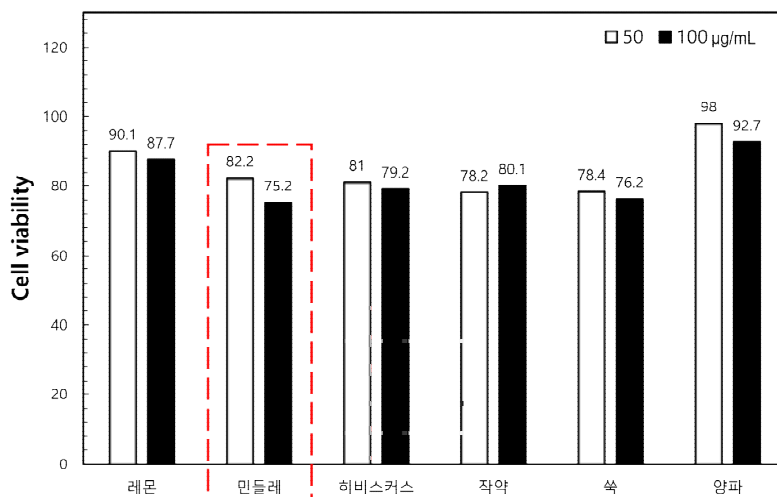


Fig. 1. 인간 유래 대장암 세포주 HT-29

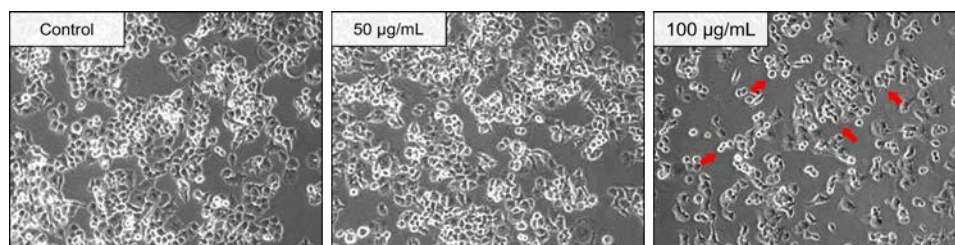
대장암 세포주 HT-29에 대한 천연물 추출물의 항암활성을 측정하기 위하여 MTT reduction assay를 진행하였다. 실험 결과 민들레, 쑥, 히비스커스, 작약, 레몬, 양파 추출물 순으로 HT-29 세포의 증식을 억제하였으며(Fig. 2), 가장 강한 활성을 나타내었던 민들레 추출물로 추후 실험을 진행하였다.



**Fig. 2. 천연물 ethanol 추출물의 항암활성.** HT-29 세포주에 아무것도 처리하지 않은 control과 천연물 추출물을 50 µg/mL, 100 µg/mL의 농도별로 처리하여 24 시간 후에 MTT reduction assay를 통하여 측정하였다.

## (2) 민들레 추출물의 형태학적 변화 관찰

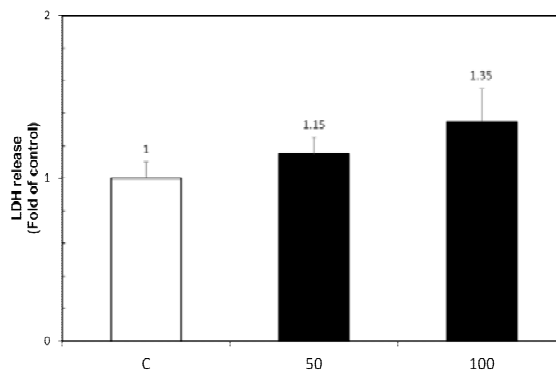
HT-29의 형태학적 변화를 관찰하기 위하여 Morphological analysis를 진행하였다. 민들레 추출물을 처리하지 않은 control은 세포가 정상적으로 성장하였지만 민들레 추출물을 농도별로 처리할수록 세포가 응축하고 수가 감소되며, 부유하는 세포 수가 많아지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3).



**Fig. 3. HT-29에 민들레 추출물을 처리하여 형태학적 변화를 통해 세포독성 확인.** HT-29 세포주에 아무것도 처리하지 않은 control과 민들레 추출물을 농도별로 처리하여 현미경 관찰을 통해 형태학적 변화를 관찰하였다. (control, 50 µg/mL, 100 µg/mL)

### (3) 민들레 추출물의 LDH release assay

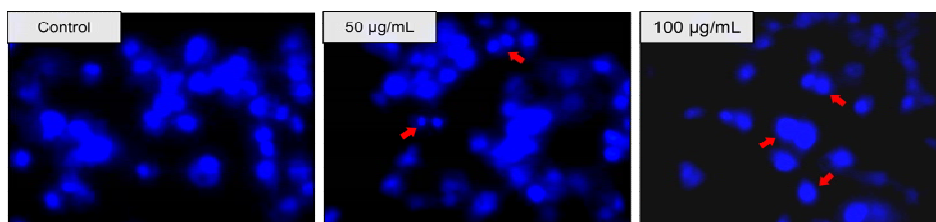
대장암 세포주인 HT-29에 민들레 추출물의 세포독성을 확인하기 위해 민들레 추출물을 처리하지 않은 대조군과 비교하여 대장암 세포주에 대한 세포독성 효과를 LDH release assay를 통해 확인하였다. LDH release assay 결과 아무것도 처리하지 않은 control (1)과 , 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  (1.15), 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  (1.35)의 농도를 비교했을 때, LDH 방출량의 유의미한 증가로부터 민들레 추출물의 약한 세포독성을 확인할 수 있었다 (Fig. 4).



**Fig. 4.** 민들레 추출물의 항암활성. HT-29 세포주에 아무것도 처리하지 않은 control과 천연물 추출물을 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도별로 처리하여 24시간 후에 LDH release assay를 통하여 측정하였다.

### (4) 민들레 추출물의 Hoechst 염색

민들레 추출물을 처리하였을 때 HT-29의 apoptotic cell을 확인하기 위하여 Hoechst 33342 staining을 실시하였다. Hoechst 33342 시약은 핵의 DNA에 존재하는 아데닌과 티민에 특이적으로 결합하여 형광을 띠게 되며, 이는 apoptosis가 유도된 세포에서 관찰된다. 민들레 추출물을 처리하지 않은 control에서는 apoptotic body가 관찰되지 않았지만 민들레 추출물을 농도별로 처리할수록 apoptotic body가 많이 형성된 것을 확인할 수 있다(Fig. 5). 따라서 민들레 추출물이 HT-29 세포의 apoptosis를 유발하는 것을 확인하였다.



**Fig. 5. HT-29에 민들레 추출물을 처리하여 세포자멸사 확인.** HT-29 세포주에 아무것도 처리하지 않은 control과 민들레 추출물을 농도별로 처리하고 hoechst 33342 염색을 통하여 형광 현미경으로 사진 촬영하였다. (control, 50 µg/mL, 100 µg/mL)

## V. 결론 및 제언

천연물은 부작용이 적고 안전성 및 안정성이 높으며 자연계에서 얻어지는 식물, 동물, 미생물 및 광물과 이들의 대사산물이다. 파이토케미컬(phytochemical)은 건강에 도움을 주는 생리활성을 가지고 있는 식물성 화학물질로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 식물 추출물로부터 항암활성을 가지는 물질을 찾고자 하였으며, 천연물 6종을 구입하여 주재료로 사용하였다. 먼저 항암활성을 측정하기 위하여 MTT reduction assay를 실시한 결과 천연물 6종 중 민들레 추출물에서 항암활성을 확인하였다. 계속해서 민들레 추출물의 항암활성을 검증하기 위하여 형태학적 변화 관찰, LDH release assay를 통해 민들레 추출물의 항암활성을 확인할 수 있었다. 추가적으로 apoptotic cell을 확인하기 위하여 민들레 추출물처리하고 hoechst 33342 staining을 진행한 결과 민들레 추출물 control, 50 µg/mL, 100 µg/mL에서 control과 비교하였을 때 청색 발광을 나타내었다.

이와 같은 결과로부터 본 연구는 민들레 추출물이 항암활성 효과를 나타내는 것을 확인 할 수 있었으며 대장암을 예방 또는 치료할 수 있는 천연물 의약품의 새로운 치료제로서의 가능성을 제시하는 바이다.

## VI. 참고문헌

- (1) Kang, M. J., Won, Y. J., Lee, J. J., Jung, K. W., Kim, H. J., Kong, H. J., Im, J. S., Seo, H. G., & Community of Population-Based Regional Cancer Registries (2022). Cancer Statistics in Korea: Incidence, Mortality, Survival, and Prevalence in 2019. *Cancer research and treatment*, 54(2), 330 - 344.
- (2) Elena M. Stoffel, Caitlin C. Murphy, *Epidemiology and Mechanisms of the Increasing Incidence of Colon and Rectal Cancers in Young Adults*, *Gastroenterology*, Volume 158, Issue 2, 2020, Pages 341-353
- (3) F T McDermott, E S R Hughes, E Pihl, B J Milne, A B Price, *Prognosis in relation to symptom duration in colon cancer*, *British Journal of Surgery*, Volume 68, Issue 12, December 1981, Pages 846 - 849
- (4) Thierry Andre, Corrado Boni, Lamia Mounedji-Boudiaf, Matilde Navarro, Josep Taberner, Tamas Hickish, Clare Topham, Marta Zaninelli, Philip Clingan,

John Bridgewater, Isabelle Tabah-Fisch, and Aimery de Gramont, Oxaliplatin, Fluorouracil, and Leucovorin as Adjuvant Treatment for Colon Cancer, June 3, 2004, *The New England Journal of Medicine*, 350:23

(5) Javed Iqbal, Banzeer Ahsan Abbasi, Tariq Mahmood, Sobia Kanwal, Barkat Ali, Sayed Afzal Shah, Ali Talha Khalil, Plant-derived anticancer agents: A green anticancer approach, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, Volume 7, Issue 12, 2017, Pages 1129–1150



화학B

## 04\_전기도금으로 만든 전극의 물 분해 효율 비교



# 전기도금으로 만든 전극의 물 분해 효율 비교

김지성 (인지중학교 2학년)

박예완 (센텀중학교 2학년)

박지원 (일광중학교 2학년)

방승현 (부곡중학교 2학년)

임승우 (센텀중학교 2학년)

지도교수 : 남기민 (부산대학교 화학과)

조교 : 조현범 (부산대학교 화학과)

## 초록

본 연구는 전기도금을 이용해 만든 금속 기반 전극을 이용해, 4차 산업혁명의 중심이 되는 수소를 효율적으로 생성하는 금속 기반 전극을 확인하기 위해 진행했다. 이를 위해 전기화학적 도금(Electrodeposition)방법으로 전도성 유리전극(FTO)에 각각 Au, Ag, Cu, Co, Ni, Pt를 도금해서 전극을 만들고, 만든 전극으로 물 분해 반응을 보내 수소를 생성해 보았다. 이를 통해 Co가 가장 수소를 많이 생성하고, 다음으로 Ni - Pt - Au - Ag - Cu 순으로 수소를 많이 생성함을 알 수 있었다. 이 연구는 수소 생성에 효율적인 금속을 제시한다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

4차 산업혁명의 중심에는 '에너지 전환기술'이 있다. 특히, 청정에너지와 수소연료전지 등에 필수적인, '물 분해를 통한 수소 생산 기술'에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구는 수소 생산에 초점을 맞춘다. 전기도금(Electrodeposition)한 금속 기반 전극을 이용해 물 분해를 했을 때 Au, Ag, Cu, Co, Ni, Pt 중에서 가장 효율적으로 수소를 발생시키는 금속이 무엇인지 알아내고, 산화 환원의 관점에서 고찰하기 위해 이 실험을 진행하게 되었다.

또한 실험을 진행하던 도중 전류가 잘 흐르는 물질이라면 금속을 표면에 전착시킬 수 있다는 것을 알게 되었고, 우리가 많이 쓰는 연필심(탄소)에도 금속이 전착될지 궁금증이 생겨 이를 이용한 실험도 진행해 보았다.

## II. 이론적 배경

### 1. 산화와 환원 (Oxidation and Reduction)

전자를 잃는 과정을 '산화', 전자를 얻는 과정을 '환원'이라 한다. 전기화학적 관점에서는, 산화는 화합물에서 전극으로 전자가 이동하는 반응을, 환원은 전극에서 전자가 방출되어 화합물로 이동하는 반응을 말한다.

### 2. 전기 도금 (Electrodeposition)

금속 이온이 포함된 수용액 속에 전자를 공급하면 금속 이온이 금속 원자가 된다. 이때 산화 전극에 연결된 금속은 산화가 되고, 환원 전극에 연결된 금속은 환원된다. 전기도금은 금속 이온을 함유하는 수용액에서 전기화학적으로 전류를 흘려 전도성 재료 표면(환원 전극)에 금속을 환원 석출시키는 방법이다.

### 3. 전기 분해 (Electrolysis)

전해질 용융액이나 수용액에 전기 에너지를 가해 비자발적인 산화 환원 반응이 일어나게 하여 화합물을 분해하는 과정을 전기분해라고 한다. 전기도금한 전극을 전해질 용액에 담근 후, 전기 에너지를 가해주면 환원전극에서는 수소가, 산화전극에서는 산소가 발생한다. 이때 수소 대 산소의 발생량은 2:1이다. ( $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ )

#### 4. 실험 도구

##### (1) Power supply

파워 서플라이(Power Supply)는 전기를 제공하여 전자 장치나 컴퓨터 시스템과 같은 기기가 작동할 수 있도록 하는 장치나 시스템을 말한다. 본 실험에 쓰인 장치는 전압과 전류를 조절하여 연결된 기기에 안정적인 전력을 공급하는 데에 사용되었다.

##### (2) H-type cell

전기화학적 반응을 분석하는 데 사용하는, H형으로 되어 있는 셀이다.

##### (3) 전도성 유리전극(FTO)

Fluorine-doped Tin Oxide(FTO)는 주석(Sn)과 산화물(Oxide)로 이루어진 물질로, 플루오린(Fluorine) 원소가 도핑(doping)되어 있는 것을 나타낸다. 주로 투명 전극 소재로 사용되며 전기 전도성이 높은 소재 중 하나이다.

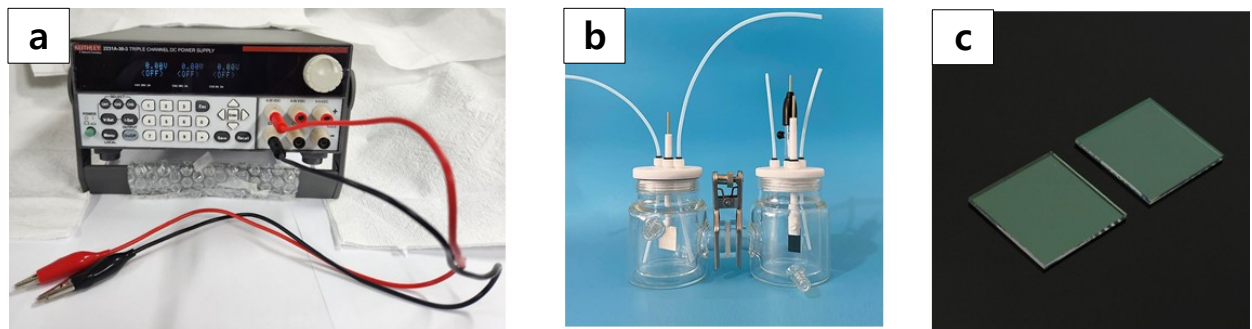


그림 1. 전기화학 측정에 쓰이는 장치. (a) Power supply, (b) H-type cell, (c) FTO

### III. 연구 방법

#### 1. 전기 도금 (Electrodeposition)

전기도금을 진행할 금속은 Au, Ag, Cu, Co, Ni, Pt이다. 실험에 필요한 전구체와 전해질을 아래 표 1에 나타내었다. 전구체는 0.005 M H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub>, 0.1 M AgNO<sub>3</sub>, 0.1 M Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.1 M Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.1 M Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0.001 M H<sub>2</sub>Pt(OH)<sub>6</sub>을 사용하였고 전해질은 0.1 M KNO<sub>3</sub> (for Au, Ag), 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 0.5 M H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (for Cu, Co, Ni), 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (for Pt)를 사용했다. 이를 이용하여 각 금속을 FTO(1×1 cm)에 전착하였다.

	Au <sup>3+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Pt <sup>4+</sup>
전구체	0.005 M H <sub>2</sub> AuCl <sub>4</sub>	0.1 M AgNO <sub>3</sub>	0.1 M Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.1 M Ni(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.1 M Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.001 M H <sub>2</sub> Pt(OH) <sub>6</sub>
전해질	0.1 M KNO <sub>3</sub>	0.1 M KNO <sub>3</sub>	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0.5 M H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0.5 M H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1 M Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 0.5 M H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

표 1. 전기 도금할 금속별 전구체와 전해질 조건. <sup>1-5</sup>

##### (1) 실험 준비

H-type cell 한쪽에 전기도금 하고자 하는 금속에 해당하는 전구체 용액 6 mL와 전해질 용액을 6 mL씩 넣고, 다른 쪽에는 같은 전해질 용액 6 mL, H<sub>2</sub>O를 6 mL를 넣는다. 전해질 용액과 H<sub>2</sub>O를 넣은 곳에는 백금 코일을 담근 뒤에 (+)을 연결하고, 전해질 용액과 전구체 용액을 넣은 곳에는 FTO(1×1 cm)를 담근 상태로 (-)극과 연결한다.

## (2) 금속 도금

Power supply로 전압(1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 8 V)을 차례로 걸어준 뒤에 FTO 표면의 변화를 관찰한다.

## 2. 물 분해 반응 (Water splitting reaction)

물 분해 반응 실험에서의 금속 기반 전극은 Au/FTO, Ag/FTO, Cu/FTO, Co/FTO, Ni/FTO, Pt/FTO를 사용하고 전해질 용액은 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용한다.

### (1) 실험 준비

H-cell 양쪽에 전해질(1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 12 mL씩 넣고 한쪽에는 금속 기반 전극을 담근 뒤 (-)극을 연결하고 다른 한쪽에는 백금 코일을 담근 뒤에 (+)극을 연결한다.

### (2) 물 분해 반응

Power supply로 전압(1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 8 V)을 차례로 걸어준 뒤에 FTO 표면에서의 기포 양의 변화와 이때의 전류변화를 관찰한다.

## 3. 추가실험

### 3-1. 전기 도금

전기도금을 진행할 금속은 Au, Pt이다. FTO 기질에서와 마찬가지로, 전구체는 각각 0.005 M HAuCl<sub>4</sub>, 0.001 M H<sub>2</sub>Pt(OH)<sub>6</sub>를 사용하였고 전해질은 0.1 M KNO<sub>3</sub> (for Au), 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (for Pt)를 사용하였다. 금속 모두 연필심(탄소)에 전착하였다.

#### (1) 실험 준비

마찬가지로, H-type cell 한쪽에 전기도금 하고자 하는 금속에 해당하는 전구체 용액 6 mL와 전해질 용액을 6 mL씩 넣고, 다른 쪽에는 같은 전해질 용액 6 mL, H<sub>2</sub>O를 6 mL를 넣는다. 전해질 용액과 H<sub>2</sub>O를 넣은 곳에는 백금 코일을 담근 뒤에 (+)을 연결하고, 전해질 용액과 전구체 용액을 넣은 곳에는 연필심(탄소)를 담근 상태로 (-)극과 연결한다.

#### (2) 금속 도금

Power supply로 전압(1 V, 4 V, 8 V, 12 V)을 차례로 걸어준 뒤에 연필심(탄소) 표면의 변화를 관찰한다.

### 3-2. 물 분해 반응

물 분해 반응 실험에서의 금속 기반 전극은 Au/연필심, Pt/연필심을 사용하고 전해질 용액은 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용한다.

#### (1) 실험 준비

H-cell 양쪽에 1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>을 12 mL씩 넣고 한쪽에는 금속 기반 연필심 전극을 담근 뒤 (-)극을 연결하고 다른 한쪽에는 백금 코일을 담근 뒤에 (+)극을 연결한다.

#### (2) 물 분해 반응

Power supply로 전압(1 V, 4 V, 8 V, 12 V)을 차례로 걸어준 뒤에 연필심 표면에서의 기포 양의 변화와 이때의 전류변화를 관찰한다.

## IV. 연구결과

Ⅲ. 연구방법-1에서 전기화학적 도금(금속의 전기 도금)을 통해 Power supply로 가해주는 전압을 1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 8 V 차례로 높여가며 FTO 전극에 Au, Ag, Cu, Ni, Co, Pt를 각각 도금하여 6가지 금속 기반 전극을 만들었다. (그림 2)

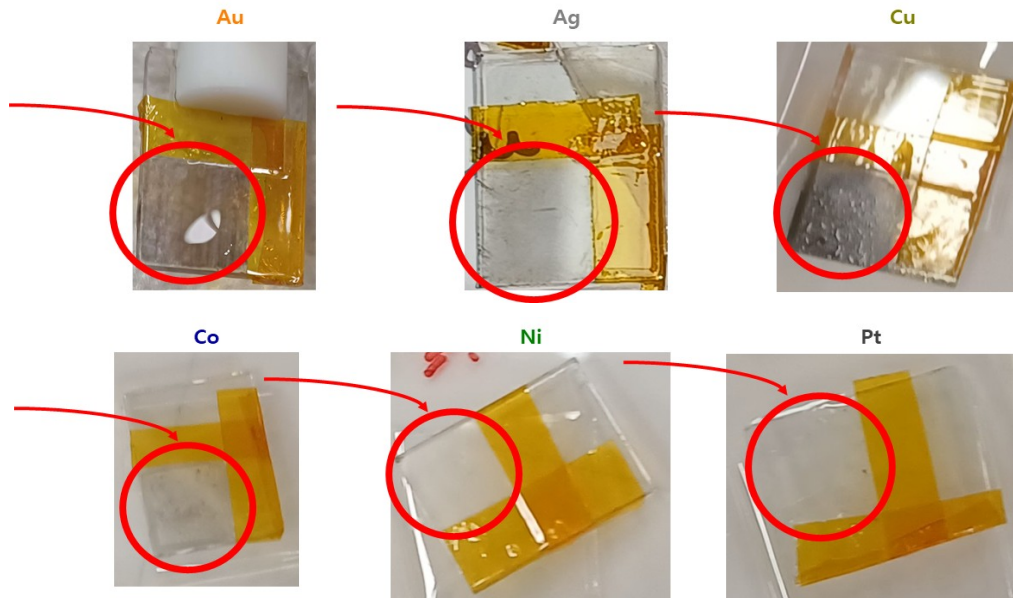


그림 2. 각 금속을 도금한 6가지 금속 기반 전극.

금속 전극 중 Ag, Pt 전극은 맨눈으로 금속이 붙었는지 확인하기 어려움이 있었다. 그래서 Scanning electron microscope (SEM)을 이용하여 전극들에 금속이 붙었는지 그 여부를 확인해 보았다. 결과는 아래에 그림 3을 통해 알 수 있다.

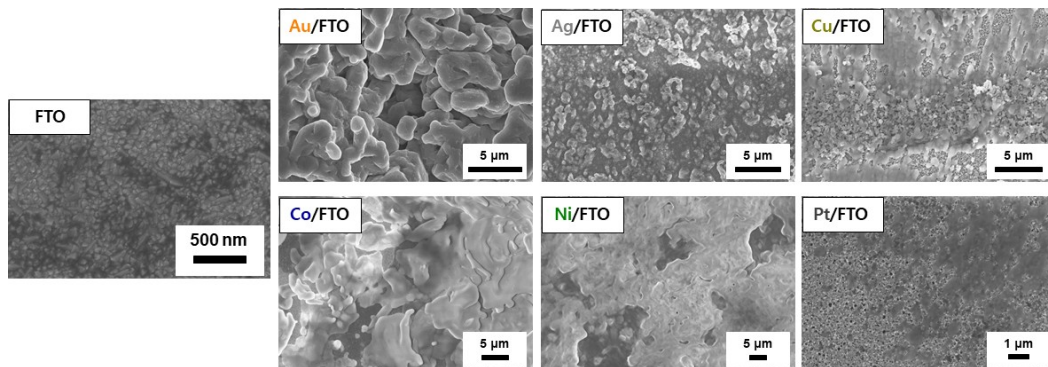


그림 3. 6가지 금속 기반 전극과 FTO를 SEM으로 촬영한 사진.

그림 3을 통해 모든 금속 기반 전극에 금속이 도금되었음을 알 수 있었다. 이후, **Ⅲ. 연구 방법-2**에서 금속 기반 전극들을 이용해 물 분해를 진행했다. 물 분해 반응은 그림 4와 같이 이루어진다. 전극 표면에서 물 분해를 통해 수소가 기체 형태로 생성되고, 수소 기체는 우리가 기포로 관찰할 수 있다.

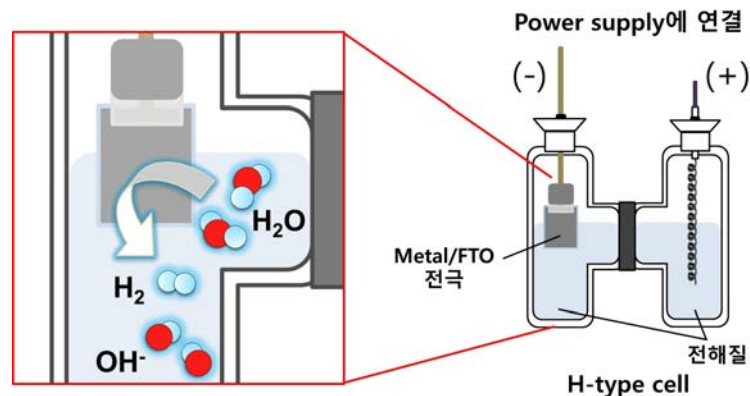


그림 4. 금속 기반 전극을 이용한 물 분해 반응의 모식도

각 금속 기반 전극의 물 분해 효율을 비교하기 위해 수소 발생 수와 측정된 전류량을 그래프로 나타내었다. (그림 5, 그림 6) 금속 기반 전극의 물 분해 반응을 관찰했을 때, 수소 발생량은 Ni/FTO 전극에서 가장 높게 관찰되었다. 하지만 흐르는 전류량까지 고려했을 때는 결과가 달랐다. 금속 기반 전극에 흐르는 전류의 양은 금속 기반 전극이 물을 분해하는 속도와 비례한다. 즉, 전류가 많이 흐를수록 수소가 빠르게 발생한다. 그림 5에서 전류량이 Co/FTO에서 가장 높았기 때문에, Co 기반 전극이 가장 수소가 빠르게 생성함을 알 수 있고, 그림 6까지 확인해 보았을 때 Co, Ni, Pt, Au, Ag, Cu 기반 전극 순으로 수소가 빠르게 생성됨을 알 수 있다.

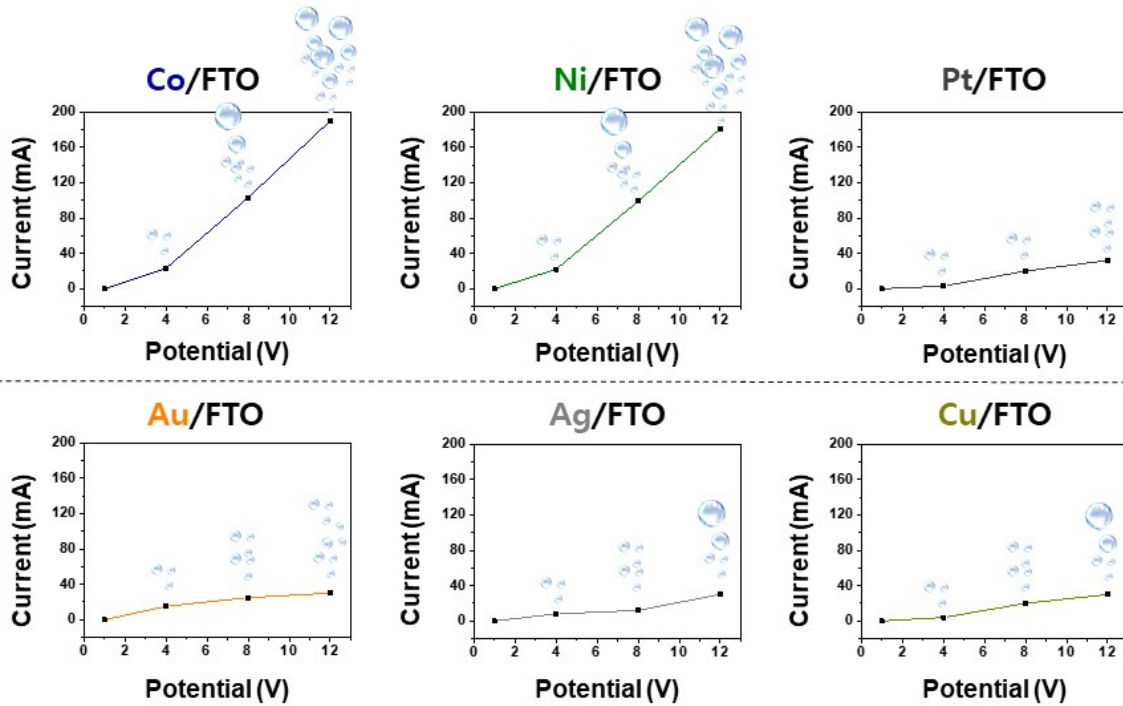


그림 5. 금속 기반 전극을 이용한 물 분해 반응 시, 각 전극에서 전압에 따른 전류의 양.

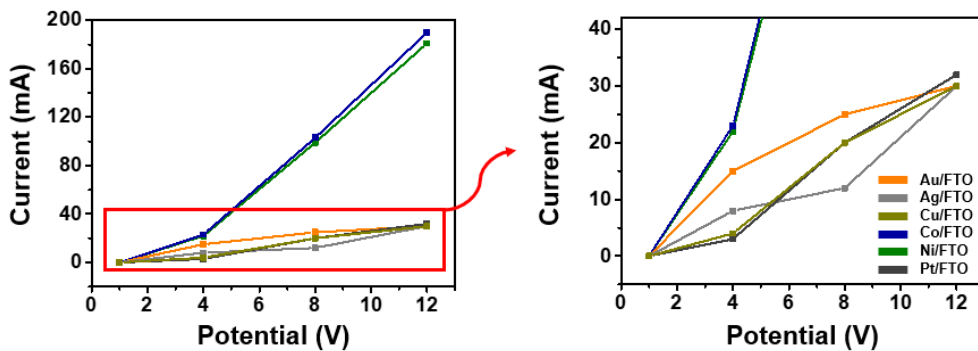


그림 6. 6개의 금속 기반 전극의 물 분해 효율 비교 (왼쪽). Au, Ag, Cu, Pt 금속 기반 전극 비교를 위해 10-40 mA 범위에서 확대한 그래프 (오른쪽).

이어서 **III. 연구방법-3**에서 우리의 궁금증을 해결하기 위해 추가실험으로 진행한, 연필심을 전기도금한 결과는 다음과 같다. Au와 Pt를 전기도금 했을 때, Au는 그림 7처럼 전기도금된 것을 눈으로 볼 수 있었지만, Pt의 경우는 눈으로 확인이 어려웠다. 연필심의 경우 SEM 분석이 어려워 물 분해 반응을 통해 도금이 되었는지 확인해보기로 하였다.



그림 7. Au를 도금한 연필심.

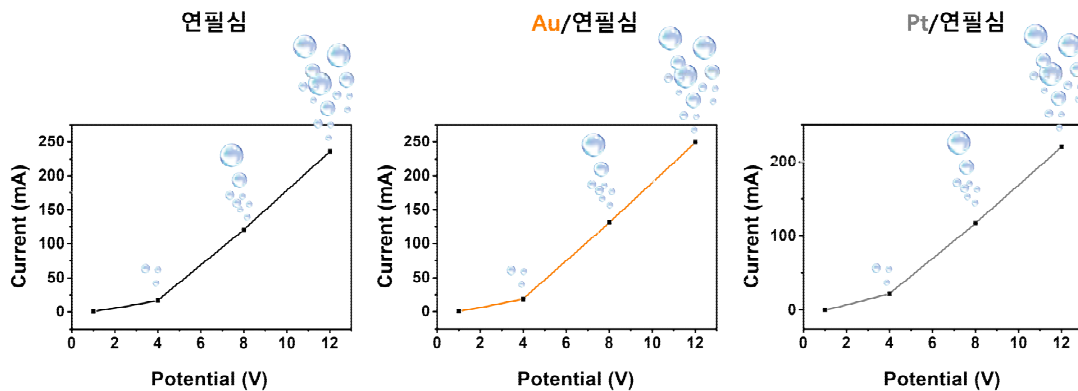


그림 8. 연필심 전극을 이용한 물 분해 반응 시, 각 전극에서 전압에 따른 전류의 양.

그림 8에서 전기도금을 통해 만든 연필심 전극을 아무것도 도금하지 않은 연필심 비교해 보았을 때, 가장 물 분해 반응에서 생성되는 전류는 Au/연필심에서 가장 높았다. 기본적으로 연필심(탄소) 전극에서 높은 전류가 나타나고, Au를 전기도금 했을 경우 FTO 기질에서 처럼 약간의 전류 향상 효과를 확인할 수 있는 것을 알 수 있었다.

Pt의 경우 기존에 수소 생성에 효과적인 금속 촉매로 알려져 있으나, 본 실험에서는 일관적으로 다른 금속에 비해 도금이 잘되지 않아 보였고, 이 때문에 전류가 높게 나타나지 않은 것으로 보였다. Pt가 정말 수소 생성에 효과적인지 확인해 보기 위해 상용 Co, Ni, Au, Pt, Carbon 전극을 비교해 보았는데, Pt가 실제로 Co나 다른 금속들에 비해 효과적으로 수소를 생산하는 것을 확인할 수 있었다. (표 2)

	Ni foil (1x1 cm)	Co foil (1x1 cm)	Au plate (1x1 cm)	Glassy carbon (1x1 cm)
50 mA 달성에 필요한 potential	4.84 V	4.94 V	5.08 V	5.32 V
	Co foil (0.3x0.8 cm)		Pt foil (0.3x0.8 cm)	
50 mA 달성에 필요한 potential	5.15 V		5.03 V	

표 2. 상용 전극의 수소 생산 효율 비교.

## V. 결론 및 제언

금속 기반 전극의 물 분해 반응을 보았을 때, Ni의 수소 발생 정도가 눈으로 보기에는 가장 높은 것으로 관찰되었다. 하지만, 수소 발생 정도와 흐른 전류의 양을 모두 고려하였을 때는 Co 기반 전극에서 흐르는 전류가 가장 높고 반응 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 수소 발생을 위해서는 Co를 사용하는 것이 가장 효율적임을 알 수 있다. 이를 바탕으로 생각해보면, 물 분해를 기반으로 한 청정에너지나 및 수소연료전지 개발에 Co, Ni을 기반으로 한 촉매를 사용한다면 더욱 효율적인 수소 생산을 통한 기술 발전을 기대해 볼 수 있을 것이다. 그러나 수많은 표준환원전위 연구와 실제 수소 발생 장치들에서는 대부분 Pt를 촉매로 사용하고 있었고, 본 연구에서는 Pt의 수소 발생량이 상대적으로 낮다는 것을 알 수 있다. 이는 FTO에 Pt를 전착시켰을 때 Pt가 제대로 전착이 되지 않았거나, Pt 전구체의 농도가 다른 용액보다 작았기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 실험한 FTO들은 모두 동일한 시간과 전극 조건으로 실험을 진행했으므로, Pt의 electrodeposition이 다른 금속보다 어렵다는 것도 알 수 있었다.

## VI. 참고문헌

1. *J. Electroanal. Chem.* **2012**, *664*, 46-52. "Gold nanoparticles electrodeposited on glassy carbon using cyclic voltammetry: Application to Hg(II) trace analysis."
2. *Sens. Actuators B: Chem.* **2015**, *213*, 92-101. "A facile formation of silver dendrites on indium tin oxide surfaces using electrodeposition and amperometric sensing of hydrazine."
3. *Mater. Chem. Phys.* **2009**, *115*, 1, 385-390. "Electrochemical nucleation and growth of copper deposition onto FTO and n-Si(100) electrodes."
4. *Electrochim. Acta* **2016**, *220*, 405-416. "Morphology-controlled synthesis of cobalt nanostructures by facile electrodeposition: transition from hexagonal nanoplatelets to nanoflakes"
5. *Chem. Mater.* **2022**, *1*, 3, 88-92. "The Effect of Deposition Potential on the Electrodeposition of Platinum Nanoparticles for Ethanol Electrooxidation."



화학B

## 05\_전산과학을 이용한 다공성 물질 흡착반응



# 전산과학을 이용한 다공성 물질 흡착반응

박지후 (목포옥암중학교 2학년)

윤태석 (목포덕인중학교 2학년)

서지훈 (무안중학교 2학년)

지도교수 : 유충열 (국립목포대학교 화학과)

**초록:** 제올라이트는 대표적인 다공성 물질이며 자연적으로도 생산되지만, 상업적으로도 대량 생산되며 탈취제, 탈수제, 이온 교환제, 합성세제, 촉매제 등에 다양하게 응용됩니다. 이번 연구에서는 포자사이트 제올라이트의 흡착반응 특성을 양자역학적 방법인 밀도 범함수 이론을 적용하여 연구하였습니다. 실험결과로부터 포자사이트 제올라이트 구조에 위치하는 +1 양이온의 안정한 순서는 소듐, 칼륨, 세슘, 루비듐, 리튬 순임을 확인하였습니다. 가장 안정한 구조를 갖는 소듐이 포함된 포자사이트 제올라이트는 이산화탄소를 흡착하면 안정화되기 때문에 이산화탄소 흡착제로 응용 가능합니다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

다공성 물질은 움직이지 않는 고체 물질 사이에 기체, 액체가 흐를 수 있는 아주 미세한 기공(빈공간)이 존재하는 물질이다. 다공성 물질은 기공의 크기가 2 nm와 50 nm 사이인 메조 다공성 물질, 기공의 크기가 2 nm보다 작은 미세 다공성 물질로 나뉩니다.

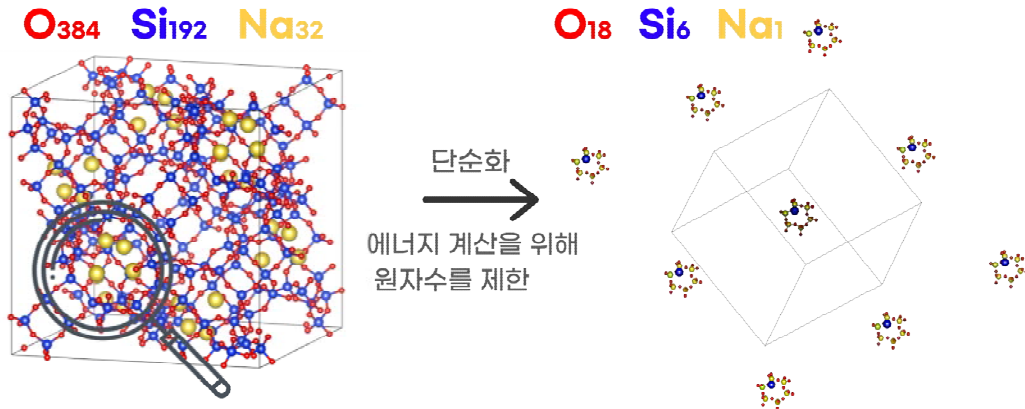
제올라이트는 대표적인 다공성 물질이며 자연적으로도 생산되지만, 상업적으로도 대량 생산됩니다. 제올라이트의 활용은 탈취제, 탈수제, 이온 교환제, 합성세제, 촉매제 등에 다양하게 응용됩니다. 제올라이트의 미세 기공이 여름에는 습기를 빨아들이고 겨울에는 공기를 머금어서 실내 온도를 유지해주는 특성을 이용해 건축자재로도 활용됩니다. 또한 연수 및 정수 시스템의 이온 필터, 석유 공정의 속도를 높이기 때문에 산업적으로도 중요하게 쓰입니다. 또한 유기물질을 붙여 화학반응을 빨리 일어나게 하는 촉매로도 쓰인다.

이번 연구에서는 다공성물질인 제올라이트의 흡착반응 특성을 양자역학적 방법인 밀도 범함수 이론을 통하여 연구하였습니다. 이를 통하여 제올라이트의 양이온에 따른 제올라이트 에너지 변화 및 흡착반응 특성을 연구하였다.

## II. 이론적 배경

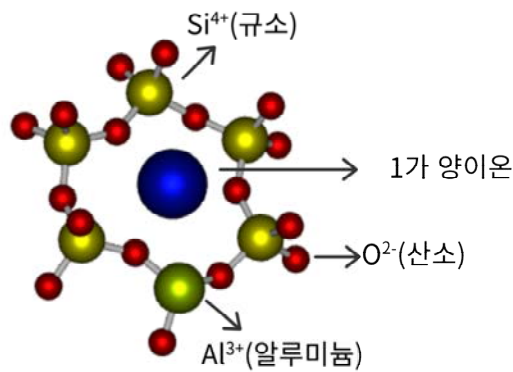
밀도범함수이론(Density functional theory, DFT) 계산은 분자내 전자를 파동함수로 나타내고 파동함수의 형태 및 에너지를 양자역학적으로 계산하는 방법입니다. 원자





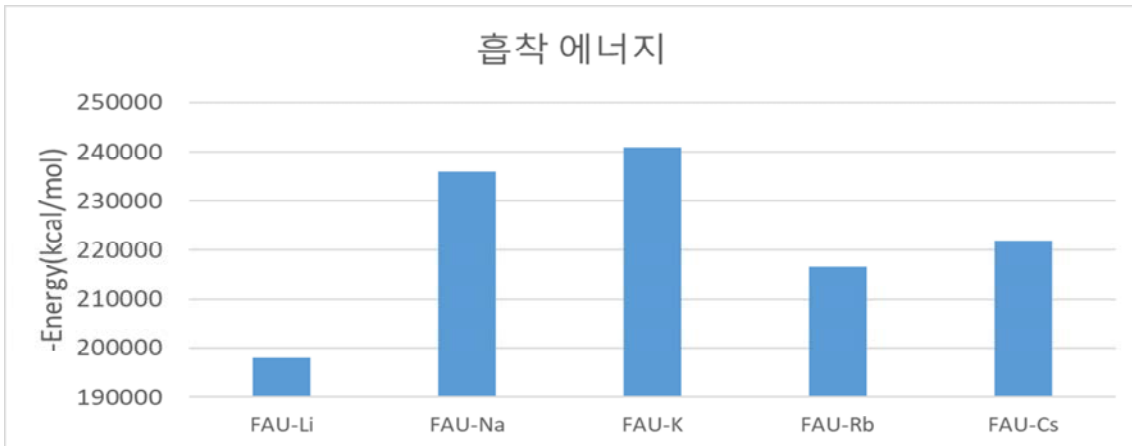
<그림 2 포자사이트 제올라이트의 단위세포(왼쪽) 및 대표구조(오른쪽)>

실제 존재하는 포자사이트의 구조에서는 일부 Si가 Al로 치환되어 존재한다. 따라서 Si의 산화수는 4+이고 Al은 3+이므로 1개의 양전하가 남는데 그것을 양이온을 기공에 존재시켜 구조를 안정화한다. 그림 3과 같은 실제 제올라이트 구조를 DFT계산에 사용하였다.



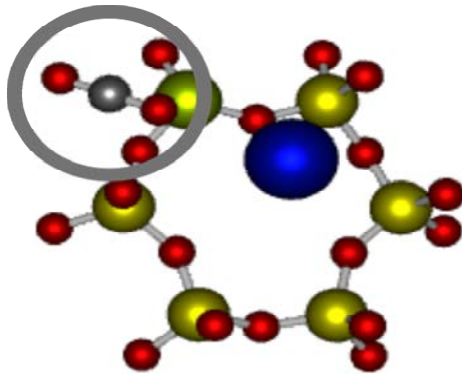
<그림 3 포자사이트 제올라이트의 실제구조>

그림 3에서 보듯이 1가 양이온으로는 알칼리 금속 전부가 치환 가능합니다. 따라서 +1의 산화수를 갖는 리튬, 소듐, 칼륨, 루비듐, 세슘을 치환하여 제올라이트 구조의 구조 에너지를 계산하여 가장 안정한 구조를 도출하였습니다. 그림 4에서 보시는 것처럼 소듐이 가장 안정한 구조를 갖는 것을 확인할 수 있었고, 그다음 순서대로 칼륨, 세슘, 루비듐, 리튬 순으로 흡착이 안정하다는 것을 확인하였습니다.

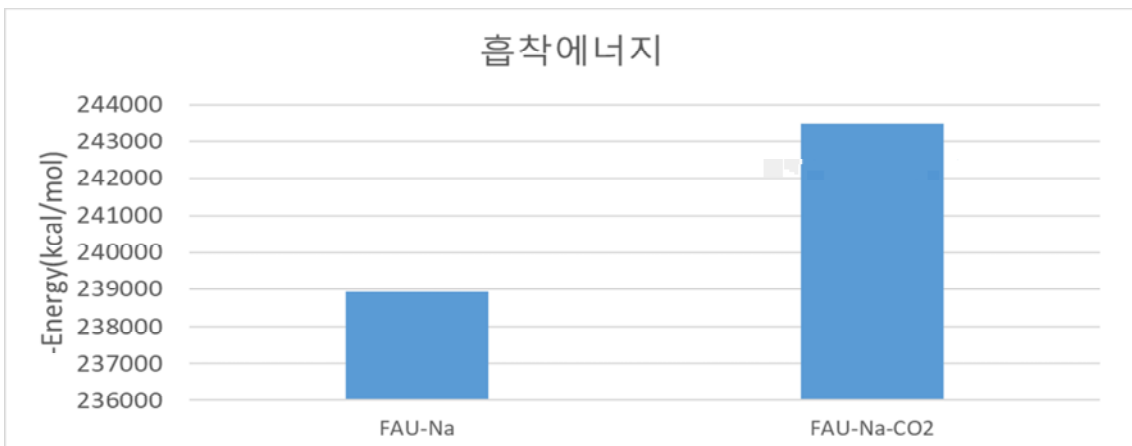


<그림 4 포자사이트 제올라이트의 양이온에 따른 구조에너지 결과>

그림 3에서 도출한 가장 안정한 소듐이 포함된 제올라이트 구조에 이산화탄소를 흡착시켜 (그림 4) 흡착에너지를 계산한 결과 이산화탄소를 흡착한 경우가 더 안정한 에너지를 보임을 확인하였습니다. 따라서 소듐이 포함된 제올라이트의 경우는 이산화탄소 흡착을 위한 흡착제로 적용 가능합니다.



<그림 5 소듐이 포함된 포자사이트 제올라이트에 흡착된 이산화탄소>



<그림 6 소듐이 포함된 포자사이트 제올라이트의 이산화탄소흡착에 따른 에너지>

## V. 결론 및 제언

이번 연구에서 얻은 결과를 요약하면 아래와 같다

1. 포자사이트 제올라이트 구조를 단순화시켜 밀도범함수이론계산을 통한 구조 및 흡착에너지를 계산하였다.
2. 포자사이트 제올라이트 구조에 위치하는 +1 양이온의 안정한 순서는 소듐, 칼륨, 세슘, 루비듐, 리튬 순이다.
3. 소듐이 포함된 제올라이트는 이산화탄소를 흡착하면 안정화되기 때문에 이산화탄소 흡착제로 응용가능하다.

## VI. 참고문헌

- [1] Database of Zeolite Structures: <http://www.iza-structure.org/databases/>
- [2] K. Momma and F. Izumi, "VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data," J. Appl. Crystallogr., 44, 1272-1276 (2011).



화학B

## 06\_분자 오비탈로 이해하는 지시약의 색 변화



# 분자 오비탈로 이해하는 지시약의 색 변화

서의빈 (성덕중학교 2학년)

송문겸 (전남중학교 2학년)

이재효 (광주호남삼육중학교 2학년)

주강준 (월계중학교 2학년)

허윤재 (운리중학교 2학년)

허정원 (일신중학교 2학년)

지도교수 : 고경철 (전남대학교 화학교육과)

## 초록

산-염기 지시약은 색 변화를 통해 용액의 pH 정도를 판단하는데에 자주 사용된다. 그러나 지시약 색변화의 원인에 대해서 이론적으로 명확히 설명된 문헌자료들은 찾기 힘들다. 이에 따라 본 연구에서는 계산 화학을 통해 지시약의 색 변화 원인을 구체적으로 탐구해보고자 하였다. 탐구에 사용된 지시약은 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB이다. 산에서 염기 조건으로 바뀔 때 네 지시약에서 공통적으로 일어나는 Ring-opening 반응이 지시약의 색 변화와 관련이 있을 것이라는 가설을 바탕으로, 이 반응이 지시약의 분자 구조와 전자 구조에 어떠한 변화를 일으켜서 색 변화가 일어나는지를 계산 화학을 활용해서 알아보았다. 본 연구팀은 양자 계산을 통해 지시약의 색 변화 원인이 Ring-opening 반응으로 분자의 Conjugation의 길이가 늘어나 분자 오비탈이 넓게 퍼지게 되어 일어난 현상이라는 점을 확인하였다.

## I. 서론

### 1.1 연구 동기

2022년 전남대학교 영재교육원 중등 심화 과정의 자율 탐구에서 ‘어떤 식물을 지시약으로 사용할 수 있을까?’라는 주제로 탐구를 진행했다. 그 과정에서 색 변화가 안토시아닌과 페놀 등의 화학적 구조에 의해 일어난다는 사실을 알게 되었고, 그 원인이 정확히 무엇인지 궁금해졌다. 이후 중등과학 지도교수인 고경철 교수님과 면담을 하는 과정에서 이를 분자 오비탈과 관련해 계산 화학을 활용해 탐구할 수 있다는 것에 흥미가 생겨 본 주제로 탐구를 진행하였다. 지시약으로는 산-염기 조건 하에 색 변화가 명확한 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB를 선택했다.

## 1.2 연구의 필요성 및 목적

산-염기 지시약은 용액의 pH 정도를 색 변화를 통해 알려주는 시약으로, 중학교 교과서 등 교육적인 목적에서 쓰일 뿐만 아니라 산업적인 목적으로도 자주 사용된다. 안토시아닌 등의 화학적 구조에 의해 색 변화가 일어난다는 것이 알려져 있으나 그 화학적 구조가 정확히 어떤 작용을 통해 용액의 색을 변하게 하는지는 구체적으로 설명된 바가 없다. 따라서 본 연구팀은 계산 화학을 통해 얻은 오비탈 모양, 에너지 준위, HOMO-LUMO gap, UV-VIS spectrum 그래프를 분석하여 지시약 색 변화의 원리를 구체적으로 설명하고자 하였다. 또한, 실제 실험과 양자계산 결과를 비교하여 그 오차를 비교해보고자 한다.

본 연구는 1) 계산 화학적으로 지시약의 색 변화 원리를 탐구하고, 2) 실제 지시약 색 변화 실험을 진행하여 계산을 통해 얻은 결과가 실제와 일치하는지를 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 1.3 연구 가설

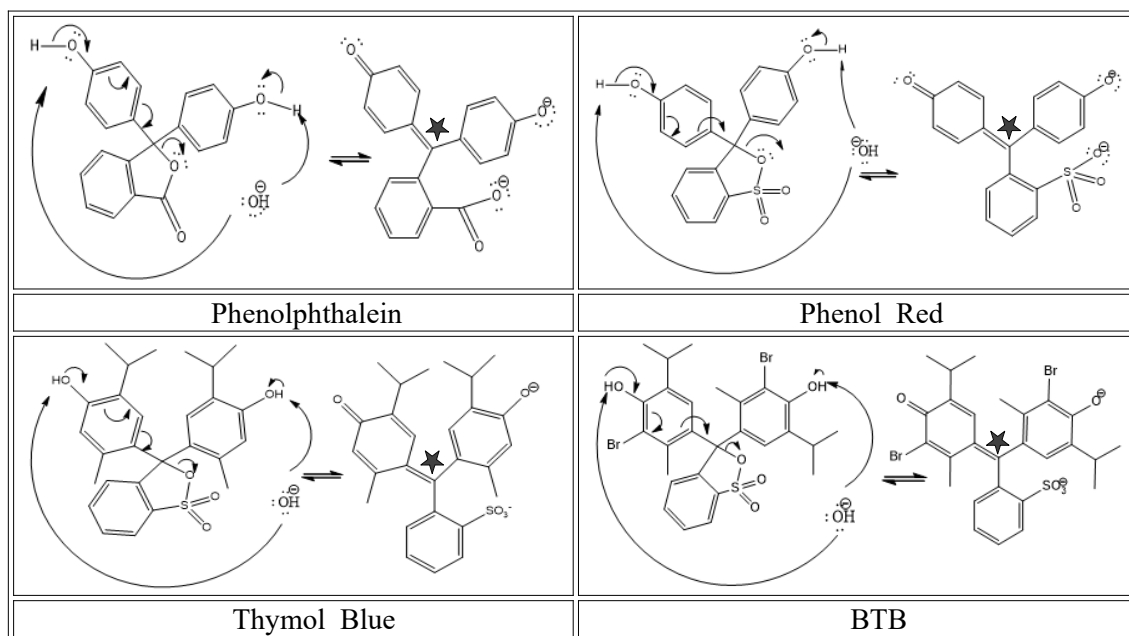


그림 1. 산성 조건과 염기성 조건일 때 지시약의 구조식.

Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB 모두 산성 조건에서 염기성 조건으로 변할 때 수산화 이온( $\text{OH}^-$ )으로 인해 양쪽의 양성자( $\text{H}^+$ )가 떨어진다. 이때, 전자가 연쇄적으로 이동하면서 오각형의 고리가 열리는 반응이 공통적으로 일어난다. 그림 1의 지시약 분자의 구조식처럼 모두 산성에서 염기성 조건으로 바뀔 때, 오각형 고리가 열리는 반응이 일어나는 점을 알 수 있다.<sup>1</sup> 대표적으로

Phenol Red는 산에서 염기 조건으로 바뀔 때, 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)이 양 쪽의 양성자(H<sup>+</sup>)를 떼어낸다. 그 후 차례대로 전자들이 이동하는데, 이 때 가운데 정사면체 구조의 탄소(★로 표기됨)에서 단일 결합 하나가 깨지고 이중결합이 생기며 산소가 포함되어 있는 오각형의 고리가 열리게 된다. 이러한 Ring-opening 반응은 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB에서 공통적으로 일어난다.

따라서 네 가지 지시약들의 색이 변하는 이유는 전자의 이동으로 인해 오각형의 고리가 열리게 된 것, 즉 Ring-opening과 연관 있을 것이라는 가설을 세웠다. 본 연구팀은 4가지 산·염기 지시약의 pH에 따른 색 변화 원리를 Ring-opening에 따른 분자 오비탈의 변화를 통해 탐구하기 위해 계산 화학을 활용하였다.

## II. 이론적 배경

### 2.1 산-염기 지시약

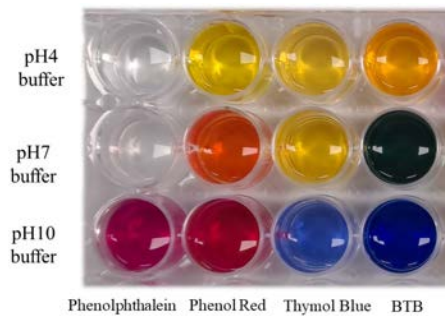


그림 2. pH에 따른 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB 지시약의 색 변화.

산-염기 지시약은 미지의 용액이 산성인지, 중성인지 또는 염기성인지 구분할 수 있게 해주는 용액이다. 본 연구에서는 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB에 대해 탐구해 보았다. (그림 2)

### 2.2 공명 구조

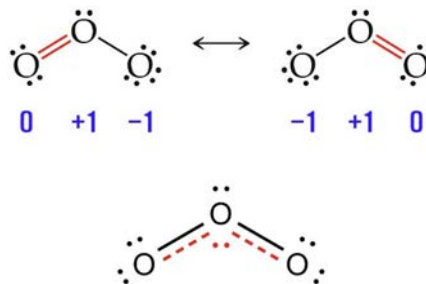


그림 3. 오존(O<sub>3</sub>)분자의 공명구조

분자 구조를 하나의 루이스 구조식으로 나타낼 수 없을 때, 분자가 갖는 2가지 이상의 구조를 공명 구조라고 한다. 그림 3에서 2개의 오존 분자는 동등한 구조를 가지며 공명 혼성 구조로 나타낼 수 있다.

### 2.3 계산 화학

계산 화학(Computational Chemistry)은 물리화학 분야에 속하는 이론물리화학의 한 분야이다. 이론 모형을 반으로 개발된 컴퓨터 프로그램을 연구 대상인 분자에 적용하여 모사실험을 수행한 후, 그 결과를 분석하는 것이 계산 화학 분야 연구의 주요 내용이다. 이는 가상공간에서 수행하는 가상 실험 연구라고도 불린다.<sup>2</sup> 현재 양자 역학, 분자 역학을 기반으로 다양한 계산화학 프로그램이 개발되어있으며 본 연구에서는 Gaussian 프로그램을 사용하였다.<sup>3</sup>

## III. 연구 방법

### 3.1. Computational Chemistry

Chemdraw와 GaussView 프로그램을 이용하여 2차원, 3차원의 지시약 분자 구조를 디자인하였다. 그 후, 디자인한 분자 구조의 가장 안정한 구조를 찾기 위해 Gaussian 프로그램의 B3LYP/6-31G\* 계산 레벨을 택하여 구조 최적화를 진행했다. 최적화가 완료된 분자 구조를 사용하여 TD-DFT 계산을 진행하고, GaussView와 Avogadro 프로그램을 이용해 UV-Vis spectrum과 분자 오비탈의 에너지, 모양을 관찰하고 결과를 분석하였다.

### 3.2 UV-Vis spectrophotometer

#### (1) 실험 시약

pH 4 buffer solution, pH 10 buffer solution, Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB

#### (2) 실험 기구

UV-Vis spectrophotometer, 10 ml 바이알, 플라스틱 큐벳, 스포이드

10 ml 바이알에 pH 4, pH 10 buffer solution을 채우고 지시약을 3~4 방울 떨어뜨려 색을 확인한다. 이를 시료 용액으로 사용하였다. 플라스틱 큐벳을 사용하여 320 nm부터 750 nm까지의 구간에서 1 nm 간격으로 흡광도를 측정해 UV-Vis spectrum을 얻었다. 이 때, 바탕용액은 산성과 염기성 조건에서 각각 pH 4, pH 10 buffer solution을 사용하였다.

## IV. 연구 결과

### 4.2 양자계산 결과

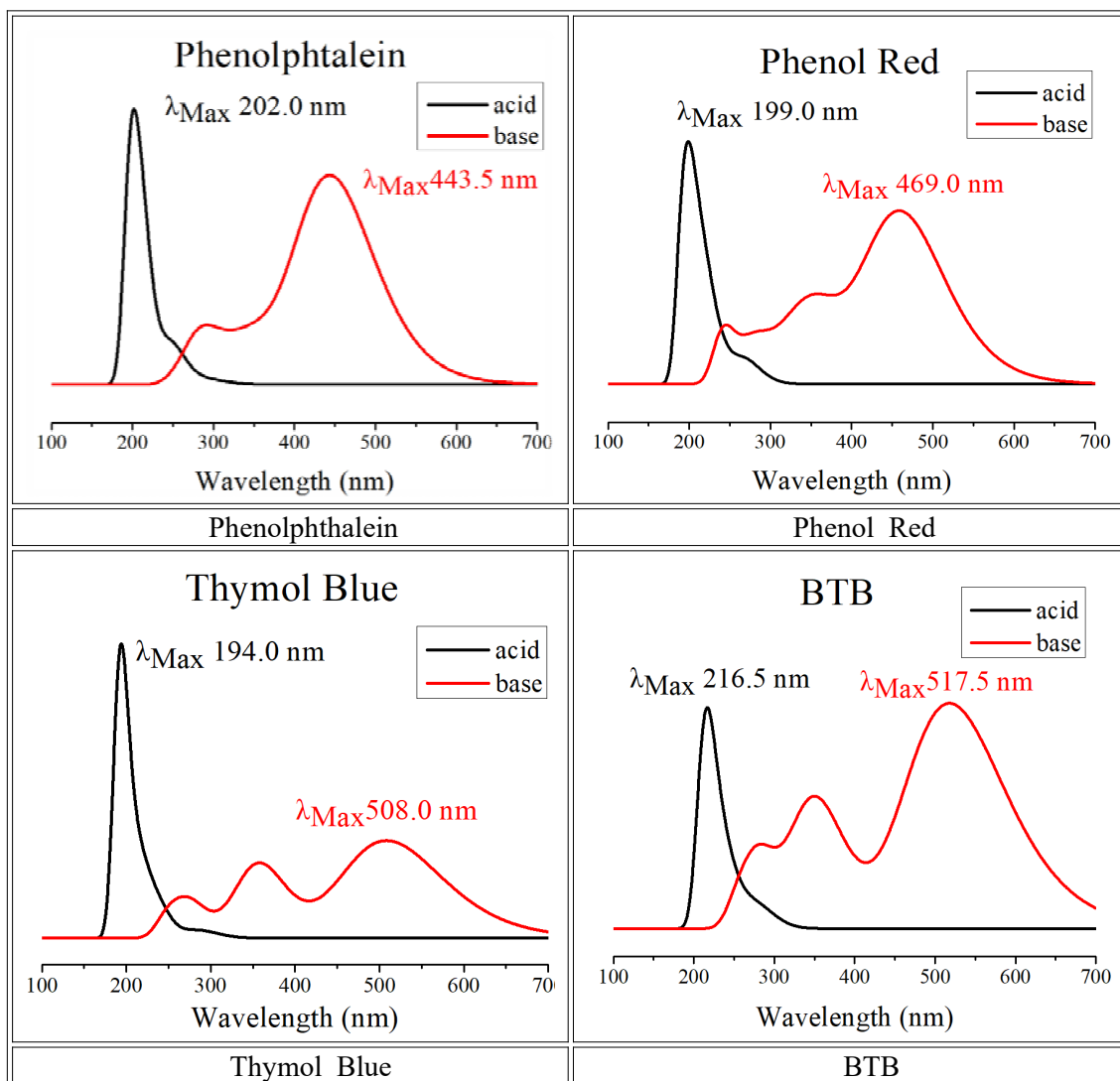


그림 4. 양자 계산 B3LYP/6-31G\* 레벨로 얻은 Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB의 산성, 염기성 조건에서의 UV-vis spectrum.

양자 계산으로 산성과 염기성 조건에서의 UV-vis spectrum 그래프를 얻었다. (그림 4) x-축은 파장, y-축은 빛의 흡수 세기이다. 4개의 지시약 분자 모두 산성에서 염기성 조건으로 바뀔 때 그래프의 전체적인 모양이 우편향되었으며, 분자가 빛을 가장 많이 흡수하는 파장인 Max peak( $\lambda_{Max}$ )의 값 또한 증가한 것을 확인할 수 있다. 빛의 에너지와 파장은 반비례하기 때문에 파장이 길어진다는 것은 분자가 흡수하는 빛의 에너지가 감소함을 의미한다.

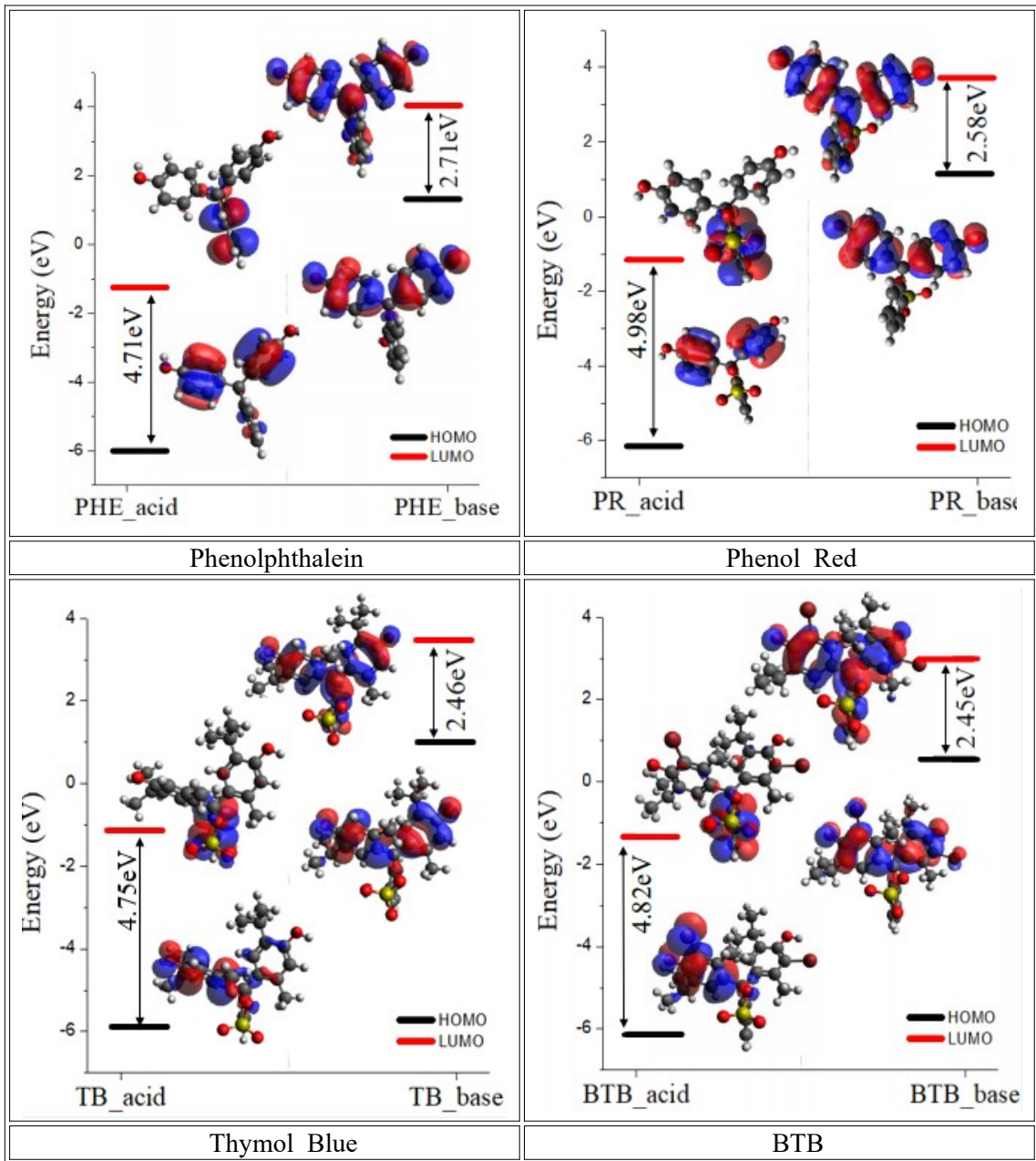


그림 5. Phenolphthalein, Phenol Red, Thymol Blue, BTB의 산성 조건과 염기성 조건에서의 HOMO-LUMO 오비탈 모양과 에너지.

본 연구팀은 지시약 분자가 흡수하는 빛 에너지의 감소를 정량적으로 관찰하기 위해서 전자 전이에 영향을 미치는 HOMO-LUMO gap을 그래프로 나타냈다. (그림 5) 4 가지 지시약 분자 모두 산성에서 염기성 조건으로 바뀔 때, 에너지 준위는 전체적으로 올라가지만, HOMO-LUMO gap은 감소한다는 것을 알 수 있다. 이는 UV-vis spectrum에서 확인할 수 있었던 분자가 흡수하는 빛 에너지의 감소와 같은 경향성을 보인다.

위와 같은 분자 오비탈의 에너지 준위 변화의 원인을 규명하기 위해 그림 1의 분자 구조 변화를 면밀히 살펴보았다. 염기성 조건에서는 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)에 의해 양성자(H<sup>+</sup>)가 떨어지게 되고, 그 후 차례대로 전자들이 이동해서 분자 한 가운데의 4개의 단일 결합을 이루고 있던 탄소(그림 1에서 ★로 표기됨)가 하나의 이중 결합과 두 개의 단일 결합을 이루게 되며 Ring-opening이 일어난다. 이때 새로 생기는 이중 결합으로 인해 Conjugation이 길어지는 것을 확인하였다. 여기서 Conjugation이란 단일 결합과 이중 결합이 번갈아가며 연결된 분자 구조를 뜻한다.<sup>4</sup>

본 연구팀은 양자 계산 결과에서 관찰된 에너지 감소의 원인이 Ring-opening에 따라 발생한 Conjugation과 관련 있을 것이라 생각하고, 이를 확인하기 위해 분자 오비탈 모양을 분석하였다. Conjugation이 생기면 오비탈이 비편재화되므로, 오비탈의 퍼짐이 관찰될 것이라 예측했다. 실제로 그림 5와 같이 네 지시약 모두 Ring-opening을 통해 고리가 열려 Conjugation이 생길 때, 오비탈이 한 쪽에 모여 있다가 퍼지게 되는 경향성을 보였다. 이로써 지시약의 색 변화는 분자 구조 변화에 따른 Conjugation 길이 차이로 기인하였음을 계산 화학적으로 확인했다.

#### 4.3 양자 계산 결과와 UV-Vis Spectrophotometer 실험값 비교

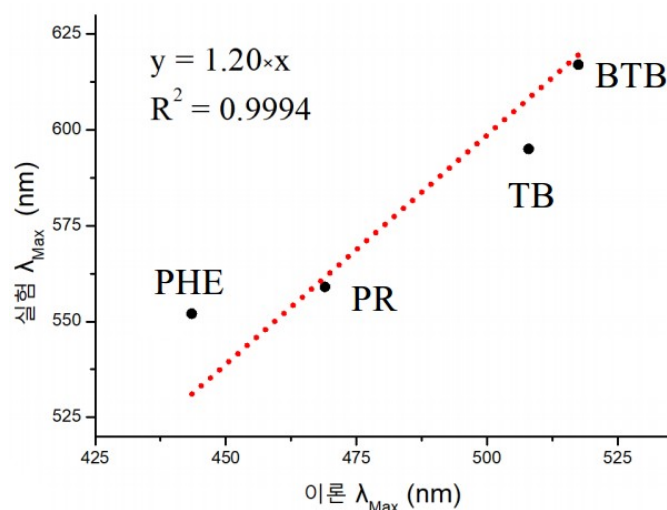


그림 6. 염기성 조건에서의 이론값과 실험값의  $\lambda_{Max}$ .

끝으로 양자 계산 결과가 신뢰할 값인지 판단하기 위해, 양자 계산으로 얻은 이론값과 분광기를 이용해 측정된 실험값의 UV-Vis spectrum max peak의 파장( $\lambda_{Max}$ )을 비교했다. (그림 6) 전체적으로 양자 계산의 파장이 작게 계산되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 이론값에 보정치 1.20을 곱해줄 경우 실험값과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. R-sqaure값은 0.9994로, 양자 계산 결과와 실제 실험 데이터 간의 높은 상관관계를 보여준다.

## V. 결론 및 제언

본 연구 팀은 계산 화학을 통해 지시약의 색 변화 원인을 탐구하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 산성에서 염기성 조건으로 바뀔 때, 산-염기 지시약의 색이 변하는 원인은 지시약 분자가 흡수할 수 있는 빛 에너지의 감소로 인한 결과임을 확인할 수 있었다. 이는 분광학을 이용한 선행 연구에서 밝힌 사실과 일치한다.<sup>1</sup>

둘째, 양자 계산을 통해 지시약 분자들은 산성 조건에서 염기성 조건으로 변화하며 HOMO-LUMO gap이 줄어들었다.

셋째, 지시약 분자의 분자 구조와 양자 계산으로 얻은 분자 오비탈의 모양을 관찰하여, Conjugation이 길어져 발생하는 분자 오비탈의 비편재화를 확인했다.

따라서 지시약 분자의 색 변화 원인은 Ring-opening 반응으로 인해 분자의 Conjugation의 길이가 늘어나 분자 오비탈이 넓게 퍼지게 되어 일어난 현상이라는 것을 입증하였다.

탐구의 한계 또한 존재했다. 양자 계산에서는 산성 조건에서 자외선을 흡수하여 색을 띠지 않을 것이라 예측된 Phenol Red, Thymol Blue, BTB가 실제로는 노란 색을 띠는 부분이다. 이는 이론 계산의 한계로, 양자 계산으로 얻은 이론값이 실험값보다 빛의 흡수 에너지가 높게 계산되어 발생한 오차이다. 계산 레벨을 다르게 하거나, 수용액 옵션을 추가할 시 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 거라 판단된다.

후속 연구로 이번 연구에서 다루지 않았던 중성 조건에서의 색 변화 원리에 대해 더 탐구해 볼 필요가 있다.

## VI. 참고문헌

- [1] 강예현 외 3명. (2021). 분광학으로 확인한 pH에 따른 지시약의 색 변화. 2021 대학부설 과학영재교육원 사사과정 연구성과 발표대회 논문집. 169-180p.
- [2] 백경구. (2018). 계산화학개론. 북스힐. 서울.
- [3] Gaussian 16, Revision C.01, M. J. Frisch et al, Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2016.
- [4] David R. Klein. (2020) Organic Chemistry 4<sup>th</sup> Edition

화학B

## 07\_산화철 나노입자의 광촉매적 특성 비교 연구



# 산화철 나노입자의 광촉매적 특성 비교

황지윤 (원주대성중학교 2학년)

지도교수 : 강명중 (강릉원주대학교 화학신소재학과)

## I. 연구의 필요성 및 목적

최근 심각한 수질오염으로 인해 환경 화학에 관심이 생겨 수질오염이나 환경오염 등에 관심을 가져 수질오염을 해결할 수 있는 연구의 필요성을 느꼈다. 메틸 오렌지는 염색폐수의 중요성분 중의 하나인데 제거 특성을 규명하기 위해서 실험을 진행하였다. 광촉매가 UV 분광광도계에서 빛을 받았을 때 메틸오렌지를 분해한다는 사실을 알게 되어 광촉매가 빛을 받아 무언가를 분해한다는 생각을 환경 쪽으로 돌려 환경오염, 특히 수질오염을 해결할 수 있다는 생각을 하게 되었다. 수질에서의 여러 유기물을 광촉매를 활용하여 분해하여, 수질을 깨끗하게 만들 수 있는 것이다. 이러한 광촉매의 효과를 높이는 것은 표면구조이다. 산화철 나노입자는 여러 가지 표면구조를 띤다. 그중 광촉매의 분해가 더 효율적으로 일어나는 표면의 원자 배열이 있을 것이다. 그러면 이러한 표면구조를 바꾸면 광분해의 효율이 달라질 수 있기 때문에 여러 가지 표면의 원자 배열을 관측해서 비교하여 더 좋은 광분해 효율을 가진 산화철 나노입자를 찾는 것을 실험의 목적으로 삼았다. 따라서 이번 실험에서는 산화철의 입자와 조촉매에 따라 메틸오렌지의 분해 효율을 확인하고 산화철의 각각 다른 표면입자를 합성하여 어떤 표면구조의 입자가 가장 효율이 좋은지 확인하는 것을 주제로 삼았다.

## II. 이론적 배경

촉매 - 반응과정에서 소모되지 않으면서 반응속도를 변화시키는 물질을 말한다. 촉매는 소량만 있어도 반응 속도에 영향을 미칠 수 있다.

광촉매 - 빛을 받으면 촉매반응을 일으키는 물질로, 광촉매가 빛을 받으면 오존과 같은 강력한 산화력이 발생하며, 이의 작용으로 유해 유기화학 물질을 물과 탄산가스로 변환하여 무독, 무취의 물질로 분해하는 원리이다. 수처리나, 공기에서의 화학 물질을 분해하여 무해하고 냄새가없고, 무균화로 변환시키는 것으로, 오염물질의 분

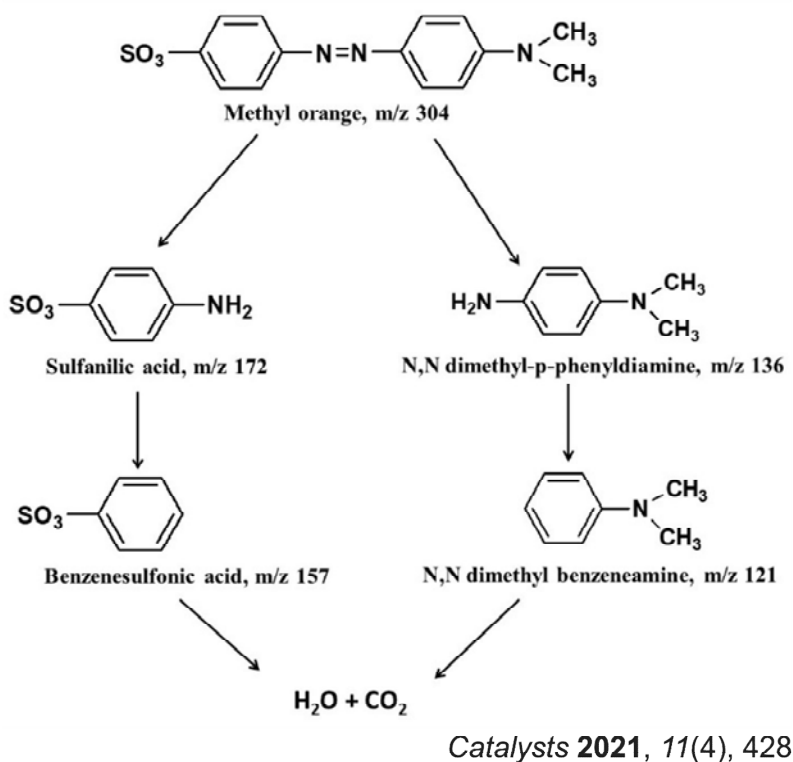
해와 자정작용이 있도록 하는 등의 기능이 있는 기술로서 유해한 화학물질에 대한 강력한 분해력으로 환경분야 뿐 아니라 많은 분야에 널리 사용되고 있다.

원자가 띠 - 온도 최저점에서 전자가 존재하는 가장 높은 전자 에너지 범위를 가리킨다. 반도체와 부도체에서는 원자가띠 위에 띠간격(band gap)이 존재하고, 그 위에 전도띠(conduction band)가 존재한다. 금속에서는 전도띠가 원자가띠이다. 이후에 나오는 원자가띠란, 반도체와 부도체에서의 원자가띠를 뜻한다.

띠간격 - band gap은 반도체, 절연체의 띠구조에서 전자에 점유된 원자가 띠의 맨 위부터 가장 낮은 공간띠의 바닥까지 사이의 에너지 준위나 그 에너지 차이를 말한다. 넓은 의미로는 결정의 띠구조에 대하여 전자가 존재할 수 없는 영역 전체를 가리킨다.

양공 - 전자들이 모여있는 데서 몇개가 빠져서 생긴 '구멍'을 양전하를 가진 입자로 취급하여 이르는 것이다. 빛이나 열로써 원자가띠가 전도띠 측에 전이되어서 원자가띠의 전자가 부족한 상태가 된다.

광촉매의 원리- 광촉매는 빛을 흡수하여 높은 에너지의 상태로 되고, 이 에너지가 반응 물질에서 화학반응을 하는데 기여할 수 있는 물질로 된다. 광촉매를 이용하는 것은 반도체나 금속 교란으로 되는 것이다. 광촉매 중에서 가장 많이 사용되는 것은 산화티타늄으로 이는 내산성, 내알카리성 등이 좋으며, 인체에 무해하기 때문에 이의 연마 가루나 화장품, 식품 첨가물에 사용할 정도로 안전성과 무독성 그리고 값싼 내구성이 우수한 물질이다.



### III. 연구방법

먼저 주사위 모양의 산화철 나노 입자 특정 모양을 보고 메틸오렌지 분해 효율을 관찰하는 실험을 진행하였다. Iron(III) chloride hexahydrate( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 98%)를 0.2M 50mL를 만들어준 후 0.4M NaOH 50mL를 만든 후 두 용액을 충분히 교반시켜준 뒤 0.2M 10mL  $\text{FeCl}_3$ 용액에 0.4M NaOH 10mL를 천천히 떨어뜨려준다. 그런 다음 혼합한 용액을 테프론 통에 넣은 후 수열합성기에 넣어 150도 1시간을 반응시켜준다. 메틸오렌지 0.0012g에 증류수 150mL를 혼합하여 메틸오렌지 수용액을 만들어준다. 메틸오렌지 수용액 75mL에 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ )를 1.5mL를 넣고 혼합시킨다. 그런 후 과산화수소를 넣은 용액과 넣지 않은 용액을 UV-vis 스펙트럼을 이용해서 비교하였다.

타원형 모양의 산화철 촉매 나노입자 실험은 2.1M  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  용액 70mL를 만들어준 후 충분히 교반시켜 시료를 증류수에 잘 녹여준다. 잘 녹인 수용액에 암모니아수 3.6mL를 넣어주면 갈색 침전물이 생기는데 혼합용액을 테프론통에 각각 19mL씩 넣어준다. 그 후 수열합성기에 넣어 180도 12시간 반응을 돌려준다. 반응이 끝나면 용액을 코니칼 튜브에 넣고 원심분리기를 통해 8000rpm 15분 25도 2번 세척을 진행하였다. 세척이 다 끝났으면 침전물을 얻어내서 오븐에 100도 1시간 건조시켜서 파우더 형태로 시료를 얻었다.

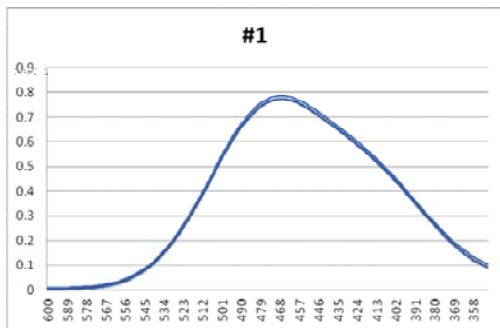
메틸오렌지 0.0012g과 증류수 150mL에 녹여주고 75mL 메틸 오렌지 수용액에 과산화수소 1.5mL와 위에서 합성된 파우더 형태의 산화철 30mg을 넣어주고 30분 동안 교반시켜준다. 다른 75mL 메틸오렌지 수용액과 비교하여 광분해실험 UV-vis 스펙트럼을 이용하여 15분 간격으로 실험을 진행하여 차이점을 관찰한다.

1. 주사위모양 산화철 촉매 나노입자

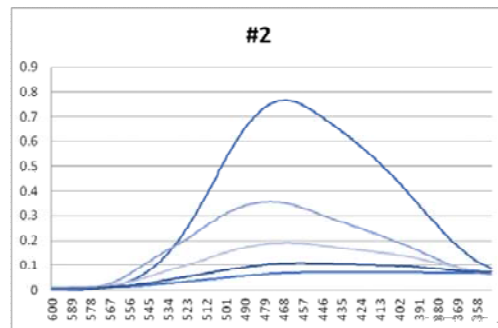
( H.G. Cha, H. S. Noh, M. J. Kang and Y. S. Kang (2013) “Photocatalysis: progress using manganese-doped hematite nanocrystals” *New J. Chem*, 37, 4004.) //

2. 타원면 모양 산화철 촉매 나노입자 (M. Tadic, D. Trpkov, L. Kopanja, S.Vojnovic, M. Panjan (2019) “Hydrothermal synthesis of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticle forms: Synthesis conditions, structure, particle shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties” *J. Alloys Compd.* 792(5), 599.)

IV. 연구결과



광촉매를 넣지 않은 용액의 분해도



광촉매를 넣은 용액의 분해도

광촉매를 넣지 않은 용액은 메틸오렌지를 거의 분해되지 않았고, 광촉매를 넣은 용액은 시간이 갈수록 메틸오렌지를 분해하였다. 그러므로 광촉매인 산화철이 UV분광도계의 불빛에 의해 메틸오렌지를 분해하였다는 것으로 결과가 나왔다.

V. 결론 및 제언

주사위 모양의 나노입자와 타원형 모양의 나노입자가 각각 메틸오렌지를 분해하는 정도가 주사위 모양이 더 높게 나타났다. 그러므로 주사위 모양 나노입자의 산화철이 타원형 모양 나노입자의 산화철보다 더 분해를 잘 한다.

산화철엔 여러가지 나노입자가 존재한다. 이러한 주사위 모양의 나노입자보다 더욱 광촉매의 효율이 좋은 나노입자가 있을수도 있다. 그러므로 앞으로의 연구로 더욱 광촉매의 효율이 좋은 나노입자를 찾을수 있기에 더 연구가 필요하다.

## VI. 참고문헌

- [1] ( H.G. Cha, H. S. Noh, M. J. Kang and Y. S. Kang (2013) “Photocatalysis: progress using manganese-doped hematite nanocrystals” *New J. Chem*, 37, 4004.) //
- [2] Panjan (2019) “Hydrothermal synthesis of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticle forms: Synthesis conditions, structure, particle<sup>≡</sup> shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties” *J, Alloys Compd.* 792(5), 599.)



화학B

08\_천연 살충제 주요 성분인 피레트린의 유기합성  
연구



# 피레트린의 유기합성 연구

이유나 (상지여자중학교 2학년)  
홍성민 (봄내중학교 2학년)  
양하윤 (퇴계중학교 3학년)  
이지호 (춘천중학교 3학년)

지도교수 : 이원철 (강원대학교 화학학과)

## 초록

우리 주변의 거의 대부분의 물질은 유기화합물이다. 다양한 유기화합물 중 우리가 연구하고자 하는 살충제에는 천연적인 재료로 만든 피레트린이 있다. 우리는 이 피레트린을 인공적으로 합성하거나 피레트린과 유사한 구조를 갖는 인공물질을 합성하고자 연구를 시작하게 되었다. 피레스로이드계 합성 살충제와 이번 실험에 대한 피레트린의 적합성에 대하여 조사하였고, 보다 효과적이고 인체에 무해한 살충제를 만들고자 시판 살충제의 피레트린 함유량을 알아보았고, 이를 토대로 하여 직접 새로운 살충 성분 4가지를 합성해냈다.

아직 인체에 유해한지 독성평가를 진행하지 못하였고, 해충에 대한 살충효과를 생물학적으로 테스트하지 못했지만 추가적으로 관련 연구를 진행해 보고자 하는 바이다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

많은 사람들은 일상생활 속에서 여러 곤충과 벌레들로 인해 불편함을 겪는다. 이러한 불편함을 해결하기 위해 살충제를 사용할 때 혹여 화학성분이 너무 과하지는 않을까 걱정하는 사람들도 적지 않게 찾아볼 수 있다.

이에 따라 우리는 인체에 해가 되지 않도록 하는 천연 살충제에 대하여 연구해보기로 결정하였으며, 천연물인 피레트린을 인공적으로 합성하거나, 피레트린과 유사한 구조를 갖는 인공물질을 합성하는 것을 이번 연구를 통해 시도해 보고자 하였다.

## II. 이론적 배경

### 1) 유기화합물

이번 연구의 주요 주제인 살충제를 포함한 유기화합물의 사전적 의미로는 탄소의 산화물이나 금속의 탄산염 따위를 제외한 모든 탄소 화합물을 통틀어 이르는 말이다.

유기화합물은 의약품이나 농약품, 화장품 등 다양한데 그중 농약품에는 대표적으로 사람과 가축, 농작물에 해가 되는 벌레를 방제하는 살충제와, 작물 재배 중 발생하는 해충으로부터 농작물을 보호하고 농작물의 생육을 촉진·억제시키는 작물 보호제, 해충이 싫어하는 화학물질을 이용하여 해충의 접근을 막는 해충 기피제, 해충이 좋아하는 화학물질을 이용하여 해충을 유인해 방제하는 해충 유인제 등이 있다.

## 2) 천연 살충제

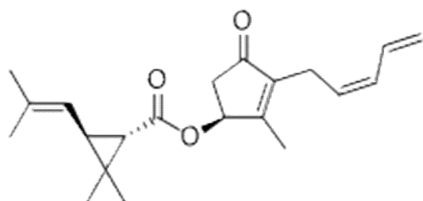
생명체는 자신을 방어하거나 다른 생명체를 죽일 수 있는 유기 화합물을 만들어 내기도 하는데, 이 유기 화합물 중 살충 효과를 가진 성분을 이용하여 살충제로 사용한 제품을 천연 살충제라고 하며 대표적인 천연 살충제에는 피레트린제가 있다.

피레트린이란 호주의 타스마니아 섬에서 재배되는 꽃이나 케냐의 피레트린 데이지와 같은 국화꽃 계열의 제충국 꽃에 포함되어 있는 살충 성분으로, 곤충의 신경계에 작용하여 살충 효과를 일으키며, 신경계의 수용체에 달라붙어 소뿔 채널을 계속 열려있는 상태로 만듦으로써 곤충을 마비시키고 죽음에 이르게 한다. 합성 살충제 중 피레트린 유사체인 피레스로이드계 살충제를 만드는 데 사용되는 살충성분이다.

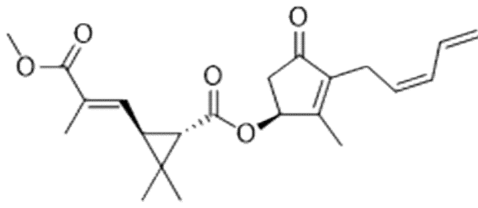
## 3) 합성 살충제

천연 살충제와 같은 유기화합물을 합성하여 만든 살충제를 합성 살충제라고 하며, 피레스로이드계 합성 살충제에는 사이퍼메트린제, 비펜트린제, 페메트린제 등이 있다.

사이퍼메트린제는 광범위한 해충에 효과적이며 곤충의 중추신경계를 자극해 호흡 곤란을 이끌어내는 효과를 내며, 비펜트린제는 곤충의 신경계를 파괴해 곤충에게 마비를 일으킨다. 인체에 대한 영향으로는 피부 접촉 시에 중독 위험이 있지만 경미한 증상만 발현되고, 체내에서 빠르게 배설되며, 사용이 금지되지는 않았으나 미국 환경보호청(EPA)에서는 발암물질로 분류한다. 페메트린제는 곤충의 신경계에 침입하여 비가역적인 신경계 손상을 일으킴으로서 곤충을 죽이는 효과를 가졌으며, 세계보건기구(WHO), 미국 환경보호청(EPA), 국제암연구소(IARC)에서는 발암 가능 물질로 간주하고 있다.



<피레트린의 구조 1>



<피레트린의 구조 2>

#### 4) 피레트린의 역사

피레트린을 추출하는 제충국 꽃들, 즉 국화 속 또는 쑥국화 속 식물의 살충 효과는 이미 중세 이전부터 중국이나 페르시아, 크로아티아 서남부 달마티아 지역 등 세계 여러 곳에 알려져 있었으며, 이 중 특히 살충 효과가 강했던 식물이 제충국 꽃으로, 이 꽃의 꽃잎을 말린 가루에서 얻어지는 성분으로 피레트린이라는 살충제를 만들 수 있었다. 이후 19세기 중엽부터 제충국의 수요는 유럽과 미국, 일본을 중심으로 급격히 증가해 일본, 케냐, 르완다 등의 기후환경이 적합한 세계 각지에서 본격적인 재배가 시작되었고, 1938년에는 일본에서만 전 세계의 공급량의 약 70%에 해당되는 13,000톤가량의 피레트린이 생산되었다. 그러나 말린 제충국 꽃잎의 분말로부터는 약 1.5%의 아주 적은 양의 유효성분만을 얻을 수 있었기 때문에 1965년 피레트린으로 만든 피레스로이드계 합성 유사체가 시장에 나온 후에야 생산량이 10,000톤 규모로 감소하였다. 현대 2000년대에 들어서는 케냐, 우간다, 호주 등의 나라가 피레트린을 생산하고 있지만 케냐가 전 세계 피레트린 공급량의 약 70%를 생산하고 있다.

#### 5) 이번 연구에 관한 피레트린의 적합성

- 제충국 꽃의 꽃잎에서 살충 성분을 얻어내는 천연적인 살충제이다.
- 다른 합성 살충제들의 주요 살충 성분으로 사용된다.
- 다른 합성 살충제들에 비해 노출될 시 발현되는 증상이 매우 경미하다.
- 자연환경 조건에서 쉽게 분해된다.
- 체내 흡수 시 쉽게 대사 되어 배출된다.

### Ⅲ. 연구방법

#### <실험 1 : 시판 살충제의 피레트린 함유량 분석>

- 컬럼크로마토그래피 : 실험을 주도하는 혼합물 분리 기술로, 컬럼에 고정상을 채운 후 그곳에 이동상을 지나가게 하면 흡착제로 구성된 컬럼 내부의 고정상에 결합한 혼합물이 용매를 따라 이동하는 속도 차이를 이용한 크로마토그래피

## 1) 실험 준비물

컬럼관, 솜, 실리카, 전개용매, 코르크, 씨샌드, 시료, 파이펫, 테스트튜브, TLC, UV lamp, 둥근바닥 플라스크

## 2) 실험 방법

### <패킹>

1. 컬럼관 끝을 솜으로 막아준다.
2. 실리카를 전개 용매에 잘 개어준 후 컬럼관 내부에 넣어준다.  
(이때 전개 용매는 EA : HX = 1 : 10)
3. 코르크로 컬럼관을 살살 두드린 뒤 씨샌드를 넣어준다.
4. 용매를 실리카 층이 파이지 않게 컬럼관 아래로 용매가 나오지 않을 때까지 기다린다.

### <로딩>

1. 시료가 들어있는 바이알의 내부를 최소한의 전개 용매를 사용하여 씻어준다.
2. 파이펫을 사용하여 시료를 컬럼과 내부에 넣어준다.
3. 컬럼과 아래로 용매가 나오지 않을 때까지 기다린다.
4. 1-3의 과정을 2번 반복한다.
5. 전개 용매를 컬럼관 내부의 씨샌드가 파이지 않도록 넣어준다.

### <컬럼>

1. 테스트튜브에 적당히 받아준 후 TLC를 찍어본다.
2. UV lamp를 사용해 TLC를 확인한다.
3. 둥근바닥 플라스크의 무게를 잰다.
4. Product가 있는 테스트튜브의 용액을 둥근바닥 플라스크에 모은다.
5. 둥근바닥 플라스크에 모은 용액을 rotary evaporator를 사용해 용매를 제거한다.
6. Product만 남은 둥근바닥 플라스크의 무게를 잰다.



<그림 1>



<그림 2>



<그림 3>

## <실험 2 : 살충 성분 합성 실험>

### 1) 실험 준비물

반응물 A, B, 용매,  $\text{SOCl}_2$ , 탄산수소나트륨 수용액, MC,  $\text{MgSO}_2$ , 둥근바닥 플라스크, 컬럼관, 솜, 실리카, 전개용매, 코르크, 씨샌드, 파이펫, 테스트튜브, TLC, UV lamp

### 2) 실험 방법

1. 반응물 A, 반응물 B, 용매,  $\text{SOCl}_2$ 를 각각 일정량 둥근바닥 플라스크에 넣고 합성한다.
2.  $60^\circ\text{C}$ 에서 2시간 동안 환류한다.
3. 반응이 끝나면 실온에서 식힌다.
4. 탄산수소나트륨 수용액으로 반응을 종결시킨다.
5. MC로 수용액층과 유기층 중 유기층을 3번 추출한다.
6.  $\text{MgSO}_2$ 로 수분을 제거한다.
7. 용액을 모두 날린 후 컬럼크로마토그래피를 수행한다.



<그림 4>



<그림 5>

## IV. 연구결과

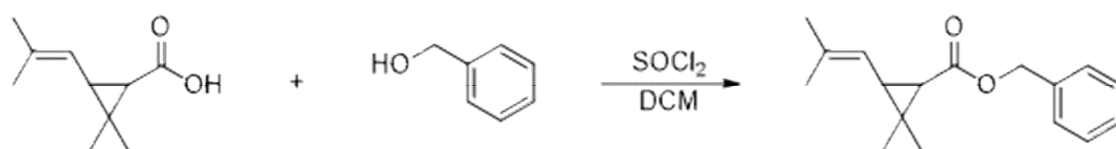
### <실험 1 : 시판 살충제의 피레트린 함유량 분석>

시판 살충제의 컬럼크로마토그래피 진행을 한 결과, 피레트린 함유량이 1.9% 임을 확인할 수 있었다.

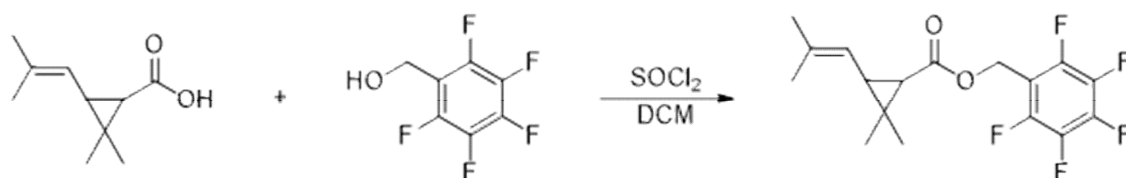
<실험 2 : 살충 성분 합성 실험>

피레스로이드계 살충제에서 중추적인 역할을 하는 반응물 A와, 다른 의약품이나 다른 계열의 살충제에서의 부분적으로 역할을 하는 각 반응물 B를 전개 용매, 반응을 돕는 시약인  $\text{SOCl}_2$ 와 합성하여 새로운 살충 성분 1, 2, 3, 4를 합성하였다. 살충 성분 1은 12%의 수득률로 합성하였고, 살충 성분 2는 66%, 살충 성분 3은 10%, 살충 성분 4는 12%의 수득률로 합성하였다.

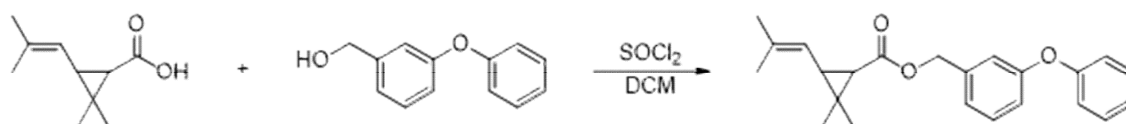
-반응 과정 :



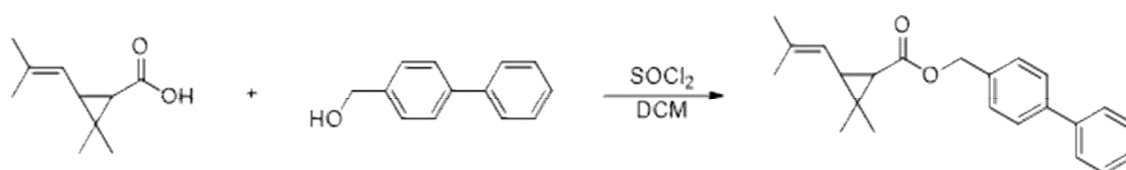
<살충 성분 1>



<살충 성분 2>



<살충 성분 3>

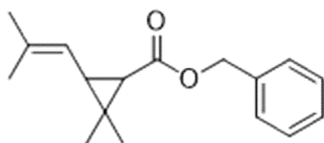


<살충 성분 4>

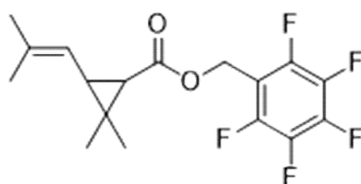
## V. 결론 및 제언

새로운 살충 성분을 합성하기 위해 컬럼크로마토그래피로 시판 살충제의 피레트린 함유량을 구하는 실험을 진행하였고, 피레트린이 1.9% 함유되어 있음을 확인하였다. 살충제에 더 많은 살충 성분이 함유되어 있을수록 살충 효과가 증대되는데 이와 반대로 시판 살충제의 살충 성분 함유량이 낮은 이유는 살충제가 묽을수록 인체에 대한 유해성이 낮아지기 때문이다. 따라서 우리는 살충 성분 함유량이 적음에도 불구하고 살충 효과가 높은 살충제를 개발할 수 있도록 심층적인 연구를 진행하여야 한다.

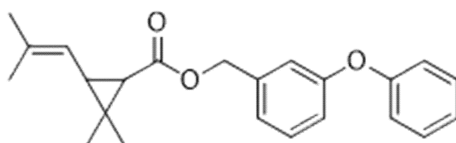
새로운 살충 성분이 있는 화합물을 만들기 위해 실험을 진행하였으며, 합성 살충제 및 합성 작물보호제 성분으로 화합물 1, 2, 3, 4를 각각 12%, 66%, 10%, 12%의 수득률로 합성하여 새로운 살충 성분을 만들어냈다.



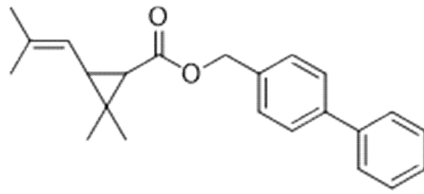
<살충 성분 1>



<살충 성분 2>



<살충 성분 3>



<살충 성분 4>

연구를 진행하면서 새로운 살충 성분을 합성하는 성과를 내긴 했지만 이 살충 성분이 우리 인체에 유해한 영향을 끼치는지에 대한 독성 평가를 진행하지 못했다. 이번 연구의 주요 목적인 인체에 해가 되지 않는 살충제를 만들기 위해서는 인체 유해 여부를 확인하기 위한 독성 평가가 이루어져야 한다.

또한 합성한 살충 성분이 실제로 해충을 방제하는 데에 효과가 있는지에 관한 살충효과까지는 확인하지 못했다. 따라서 곤충학 전문가와 함께 이와 관련된 실험을 진행하여 어느 정도까지의 살충효과를 낼 수 있는지 확인하는 생물학적인 테스트를 거쳐야 한다.

## VI. 참고문헌

- [네이버 어학사전] 무기화합물, 유기화합물
- [한국농업 대표기업/팜한농] 작물보호제란?
- [네이버 지식백과] 살충제 [insecticides] (식물학백과)
  - 파이리쓰린 [pyrethrin] (화학백과)
  - 피레트린 [pyrethrin] (화학대사전, 2001. 5. 20, 세화 편집부)
  - 사이퍼메트린 [cypermethrin] (두산백과 두피디아, 두산백과)
  - 비펜트린 [Bifenthrin] (환경 경제용어사전)
- 살충제, 모기 잡으려다 사람 잡는다고?! (KISTI의 과학향기 칼럼)



화학B

09\_ 폐식용유를 활용한 에너지원(바이오디젤 합성)



# 폐식용유를 활용한 에너지원 (바이오디젤 합성)

김대현 (목암중학교 2학년)

이도윤 (양오중학교 2학년)

정찬훈 (녹양중학교 2학년)

지도교수 : 박성호 (대진대학교 화학과)

## 초록

에너지 수요의 급증으로 인해 대기 중 이산화탄소 농도 상승과 환경 문제가 더욱 심각해지고 있는 가운데, 화석 연료 사용의 환경 부담으로부터 벗어나기 위해 대체 연료의 개발이 필요한 시점에 있다. 특히, 폐식용유의 재활용은 친환경적이면서도 재생가능한 에너지 소스로서 큰 관심을 받고 있다. 본 연구는 폐식용유를 이용하여 바이오디젤을 합성하는 과정에서 촉매의 역할에 주목하고, 다양한 산가의 폐식용유를 활용하여 바이오디젤의 합성 효율을 조사하였다. 실험 결과에 따르면, 폐식용유 대비 메탄올의 양이 1:3.5일 때 바이오디젤 합성이 가장 효율적임을 확인하였다. 또한, 폐식용유의 산가가 증가할수록 바이오디젤의 수율이 감소하는 경향을 보였다. 이 연구 결과는 폐식용유의 재활용이 환경친화적인 에너지 생산 방법으로 활용될 수 있음을 강조하며, 다양한 산가의 폐식용유를 효과적으로 활용함으로써 유지폐기물 처리 문제를 완화하고 동시에 신재생 에너지의 생성에 기여할 수 있음을 시사한다. 현재 이러한 바이오디젤은 항공 및 선박 등 다양한 분야에서 사용되며, 상용화가 계속 확대되고 있다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

전 세계적으로 에너지 수요가 증가하면서 대기 중 이산화탄소 농도가 상승하고 환경 문제가 심각해지고 있다. 화석 연료 사용은 이러한 환경 문제에 기여하고 있으며, 대체 연료의 개발이 필요한 시점에 와 있다. 바이오디젤은 환경 친화적이며 재생 가능한 에너지원으로 각광을 받고 있다. 특히 폐식용유는 식품 산업에서 발생하는 폐기물 중 하나로, 이를 이용한 바이오디젤 생산은 자원 재활용 측면에서 중요하다. 바이오디젤 합성 과정에서 촉매의 선택은 반응의 속도 및 수율에 큰 영향을 미친다. 그러나 폐식용유를 이용한 바이오디젤 합성에서 어떤 종류의 촉매가 최적인지에 대한 연구는 아직 미흡한 상태이다. 본 연구의 목적은 폐식용유를 활용하여 바이오디젤을 합성하는 과정에서 촉매의 역할에 주목하고,

촉매의 종류에 따른 수율 변화를 조사하는 것이다. 또한 환경보호 및 신재생 에너지 개발에 기여하며, 바이오디젤 생산의 효율성을 높일 수 있는 방법을 찾는다. 폐식용유를 활용한 바이오디젤 합성에 대한 새로운 통찰력을 제공함으로써 친환경적이고 효율적인 생산 방법의 발전에 기여할 것이다. 또한, 촉매의 종류에 따른 수율 변화를 조사함으로써 촉매 선택의 중요성을 강조할 것이다.

## II. 이론적 배경

폐식용유 중의 유리지방산 함량을 조사하여 대두식용유(해표식용유)에 대표 지방산인 Oleic acid를 혼합하고 유리지방산 에스테르화 실험용 합성 폐식용유를 산가 별로 제조하였다. 바이오디젤의 합성 과정은 다음 모식도(그림 1)와 같다.

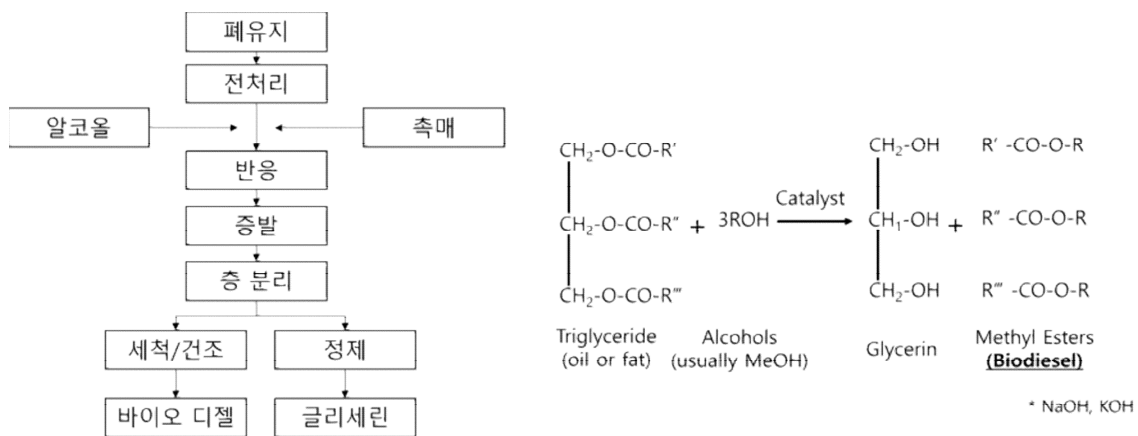


그림 1. 바이오디젤의 합성 과정

## III. 연구 방법

폐식용유 100g을 3구 둥근 바닥 플라스크에 담고 65°C로 가열한다. 메탄올 22.43g을 별도의 비이커에 담고, 촉매(KOH 또는 NaOH)를 준비된 메탄올에 투입하고 용해한다. 3구 둥근 바닥 플라스크에 마그네틱 바를 넣고, 한쪽에는 냉각수가 흐르는 콘덴서를 장착한다. 다른 쪽에는 온도계를 설치하고 다른 한쪽은 고무 마개로 막는다(그림 2). 65°C로 가열하며 300rpm으로 1시간 동안 교반을 진행한다. 반응이 완료되면 분액 깔때기를 이용하여 바이오디젤층과 글리세린층을 분리한다(그림 3). 바이오디젤층을 확보한 후, 약 50°C의 따뜻한 증류수를 투입하여 세정하고 정치시켜 바이오디젤층의 수용성 불순물을 제거한다. 이러한 세정 과정을 2회 반복한다. 회전증발농축기를 사용하여 남아있는 수분을 증발시키고 바이오디젤의 순도를 증가시킨다. 만들어진 고순도의 바이오디젤의 질량을 측정하고 다음의 식 (1)을 이용하여 수율을 계산하였다.

$$\text{바이오디젤 수율} = \frac{\text{바이오디젤의 질량 (g)}}{\text{폐식용유의 질량 (g)}} \times 100(\%) \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

또한 바이오디젤의 연료 특성을 확인하기 위해, 열기관 엔진(그림 4)을 통해

바이오디젤의 연소 특성을 확인해보았다.

#### IV. 연구 결과

메탄올의 함유량에 따라 바이오디젤을 합성하고 만들어진 바이오디젤의 수율변화를 관찰하였을 때, 1 : 3.5 (폐식용유 : MeOH)일 때 부터 기울기 변화가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다(표1, 그래프1).

폐식용유		MeOH		BD Yield (%)	(폐식용유:MeOH)
mol	g	mol	g		
0.1	100	0.05	1.60	54.61	1 : 0.5
		0.10	3.20	60.92	1 : 1.0
		0.15	4.81	64.03	1 : 1.5
		0.20	6.41	68.57	1 : 2.0
		0.25	8.01	71.44	1 : 2.5
		0.30	9.61	75.90	1 : 3.0
		0.35	11.21	79.67	1 : 3.5
		0.40	12.82	80.84	1 : 4.0
		0.45	14.42	80.86	1 : 4.5
		0.50	16.02	81.04	1 : 5.0
		0.55	17.62	81.43	1 : 5.5
0.60	19.22	81.46	1 : 6.0		

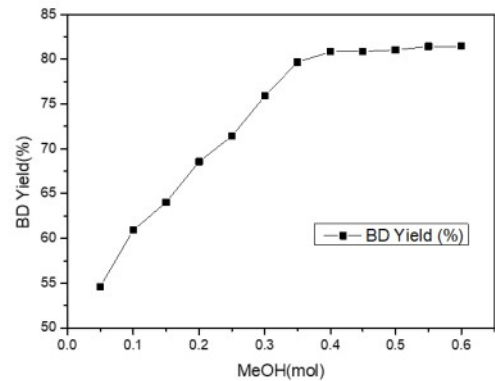


표1, 그래프1. 메탄올 함량에 따른 바이오디젤의 수율변화

또한, 폐식용유의 산가에 따라 각 촉매를 사용하였을 때, 만들어진 바이오디젤의 수율을 평가하였다(표2, 그래프2).

폐식용유의 산가	촉매 종류에 따른 바이오디젤 수율 (%)	
	KOH	NaOH
2	85.46	81.04
3	84.03	80.46
4	81.90	84.84
5	80.30	71.61
6	79.30	65.03

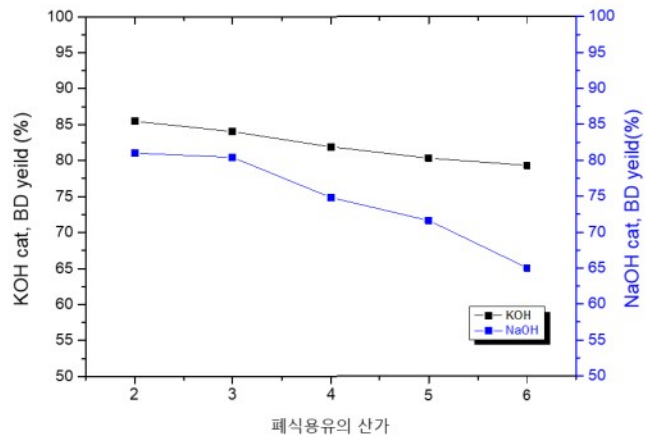


표2, 그래프2. 폐식용유의 산가별 촉매의 종류에 따른 바이오디젤의 수율표와 그래프

#### V. 결론 및 제언

바이오디젤 합성의 최적 조건은 폐식용유와 메탄올의 비율이 1:3.5일 때 가장 효과적이었다. 또한, 폐식용유의 산가가 증가하면 바이오디젤의 수율이 감소하는데, 이 감소 폭이 적은 KOH가 이 과정에 적합한 촉매로 확인되었다. 환경적 측면에서는 폐식용유의 재활용이 친환경적인 에너지 생산 방법으로 이어질 수 있으며, 다양한 산가의

폐식용유를 효과적으로 활용함으로써 유지폐기물 처리 문제를 완화하고 동시에 신재생 에너지의 생성에 기여할 수 있다. 또한 현재, 바이오디젤은 전세계적으로 항공유 및 선박용 중유로 상용화되어 활용 범위가 지속적으로 확대되고 있다.

## VI. 참고문헌

- Adams, C., Peters, J.F., Rand, M.C., Schroer, B.J., Ziemke, M.C., 1983. Investigation of soybean oil as a diesel fuel extender: Endurance tests. *JAOCS* 60, 1574±1579.
- Alencar, J.W., Alves, P.B., Craveiro, A.A., 1983. Pyrolysis of tropical vegetable oils. *J. Agric. Food Chem.* 31, 1268±1270.
- Ali, Y., 1995. Beef tallow as a biodiesel fuel. PhD dissertation. Biological Systems Engineering, University of Nebraska±Lincoln.
- Allen, H.D., Rock, G., Kline, W.A., 1945. Process for treating fats and fatty oils. US Patent 2, 383±579.
- Anon., 1982. Filtered used frying fat powers diesel fuel. *JAOCS*, 59, 780A±781A.
- ASAE., 1982. Vegetable oil fuels. Proceedings of the international conference on plant and vegetable oils as fuels. Leslie Backers, editor. ASAE, St Joseph, MI.
- Bartholomew, D., 1981. Vegetable oil fuel. *JAOCS* 58, 286A±288A.
- Billaud, F., Dominguez, V., Broutin, P., Busson, C., 1995. Production of hydrocarbons by pyrolysis of methyl esters from rapeseed oil. *JAOCS* 72, 1149±1154.
- Bradshaw, G.B., Meuly, W.C., 1944. Preparation of detergents. US Patent 2, 360±844.
- Calvin, M., 1985. Fuel oils from higher plants. *Ann. Proc. Phytochem. Soc. Eur.* 26, 147±160.

화학B

10\_구리(Cu)와 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액 산화  
환원 반응에서 은 수지상결정(Ag dendrite) 관찰



# 구리(Cu)와 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액 산화 환원 반응에서 은 수지상결정(Ag dendrite) 관찰

김서로 (태랑중학교 2학년)

노한아 (도곡중학교 2학년)

안세준 (휘문중학교 2학년)

임유진 (방배중학교 2학년)

지도교교 : 이다은 (서울대학교 화학교육과)

지도교수 : 정대홍 (서울대학교 화학교육과)

**초록:** 구리(Cu)와 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 용액을 반응시키면 금속의 이온화 경향성 차이에 의해 구리는 전자를 잃어 구리 이온(Cu<sup>2+</sup>)으로 산화되고 은 이온(Ag<sup>+</sup>)은 전자를 얻어 은(Ag)으로 환원된다. 이 산화 환원 반응에서 구리의 모양이나 질산 은의 농도, 용매 등 실험 조건에 따라 생성되는 은의 형태가 다양하다. 본 실험에서는 질산 은 수용액의 농도와 반응시간 경과에 따라 환원되는 은의 형태를 관찰하였다. 그 결과 질산 은 수용액 농도가 낮고 구리와 반응시간이 짧을수록 환원된 은이 검은색으로 보이는데, 이는 은이 수지상결정(dendrite) 형태로 생성되었기 때문이다. 은 수지상결정은 디지털 현미경으로 직접 관찰하였고, 관찰 결과를 바탕으로 산화 환원 반응이 적게 진행되어 은 수지상결정 사이의 간격이 넓으면 그 사이에서 난반사가 일어나 검은색으로 보인다고 추론하였다.

## I. 서론

2015 개정 교육과정 고등학교 통합과학 ‘화학 변화의 다양성’ 단원에서 산소 또는 전자의 이동으로 산화 환원 반응을 학습한다. 이중 구리(Cu)와 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액의 산화 환원 반응 실험은 반응이 즉각적이고 결과가 눈으로 보이기 때문에 중학교 과학 교과 ‘화학 반응의 규칙과 에너지 변화’ 단원에서 화학 변화의 예로 소개하기도 한다.



그림 1. 크기가 다른 구리(Cu)판 조각을 0.1 M 질산 은(AgNO<sub>3</sub>) 수용액에 30분 동안 담가 두었을 때 구리판 표면 사진

산화 환원 반응 실험에 흥미를 느껴 구리와 질산 은 수용액 반응을 관찰하던 중, 은(Ag)이 환원되면 광택 있는 회색(은색)으로 보일 것이라는 예상과 다르게 구리 위에 검은색 물질이 생성된 것을 확인하였다. 은이 공기 중의 산소에 의해 산화되어 검은색 산화 은(Ag<sub>2</sub>O)이 되었을 가능성도 제기되었으나, 검은색이었던 부분도 반응시간이 길어질수록 은색이 되는 것을 확인하여 산화 은이 아니라 금속 은이라고 판단하였다. 이에 따라 ‘구리와 질산 은 수용액 산화 환원 반응에서 은의 형태’를 탐구하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 산화 환원 반응

금속은 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향성을 갖고 이러한 경향성을 이온화 경향이라고 한다. 이온화 경향은 산화되기 쉬운 정도이므로 이온화 경향이 큰 금속은 더 쉽게 산화되고 이온화 경향이 작은 금속은 산화가 잘 일어나지 않는다.

이온화 경향에 따라 구리(Cu)가 은(Ag)보다 쉽게 산화되기 때문에 구리와 질산 은 용액 반응에서 금속 구리는 전자를 잃어 산화되고 은 이온은 전자를 얻어 환원된다. 이를 알짜이온반응식으로 나타내면 다음과 같다.



### 2. 수지상결정(dendrite)

수지상결정은 나뭇가지 모양을 이루면서 쌓이는 결정체를 뜻한다. 눈(snow)을 확대했을 때 보이는 나뭇가지 모양도 수지상결정의 예시이다.

금속과 금속 이온의 산화 환원 과정에서 수지상결정이 생성되는 원리는 다음과 같다. 금속 표면에서 금속 이온이 환원되어 결정이 성장할 때, 처음에는 핵을 이루어 구형으로 자라다가 결정의 크기가 커지면 불안정성이 커지기 때문에 나뭇가지 모양으로 자란다. 불안정성의 원인은 크게 두 가지인데, 첫 번째는 성장하는 금속 결정이 완전한 대칭이 아니기 때문이고, 두 번째는 구형으로 자라나는 금속 입자 간 거리가 일정하지 않기 때문이다.

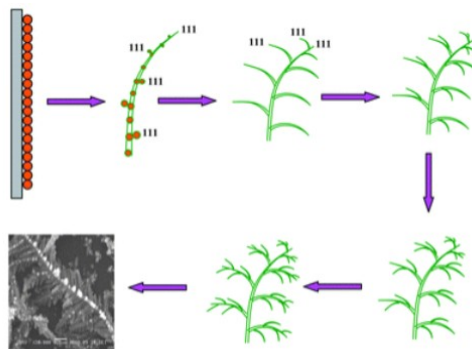


그림 2. 은 수지상결정 성장 모식도

### 3. 난반사

거울같이 매끄러운 평면에 입사한 빛은 빛의 반사 법칙에 따라 일정한 방향으로만 반사되지만, 거친 표면에서는 반사한 빛이 여러 방향으로 흩어지는데 이를 난반사라고 한다. 난반사가 일어날 때도 표면 위의 각 지점에서는 반사의 법칙이 적용되어 입사각과 같은 크기의 반사각으로 빛이 반사되지만, 위치마다 입사각이 달라지기 때문에 여러 각도로 빛이 반사되는 것이다.

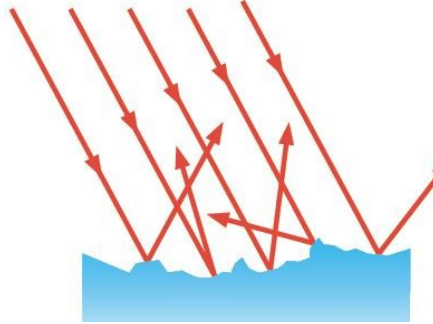


그림 3. 난반사 모식도

### 4. 디지털 현미경

산화 환원 반응 결과를 확인하기 위해 컴퓨터에 연결하여 사용하는 디지털 현미경을 사용했다. 디지털 현미경은 일반 광학 현미경과 같이 빛이 모으는 역할을 하는 대물렌즈는 있지만, 접안렌즈가 없고 대신 이미지 센서가 있다.



그림 4. 디지털 현미경

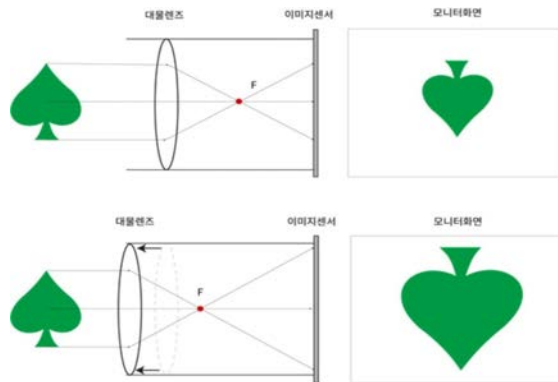


그림 5. 디지털 현미경 원리

디지털 현미경에서 이미지 센서와 대물렌즈 사이의 거리가 멀어질수록 관측 시야가 작아지면서 좁은 면적을 비추게 되어 배율이 높아진다. 대부분의 디지털 현미경에서 이미지 센서 위치가 고정되어 있고 경통 속 대물렌즈 위치를 수동으로 조절한다. 즉, 디지털 현미경 조작에서 배율을 높이면 대물렌즈와 이미지 센서 사이의 거리가 멀어지면서 더 좁은 면적을 더 많이 확대된 이미지로 보여준다.

### Ⅲ. 연구방법

구리(Cu)와 질산 은( $\text{AgNO}_3$ ) 수용액 산화 환원 반응에서 구리의 모양, 질산 은 수용액 농도 등 서로 다른 실험 조건에서 다양한 형태의 은(Ag)을 관찰하였다. 그러나 항상 은이 생성되는 초기에는 검은색 또는 탁한 회색을 띠다가 서서히 은색으로 바뀌는 것을 발견하여, 은이 예상보다 어둡고 탁한 색으로 관찰되는 이유에 집중하여 더 탐구해보기로 했다.

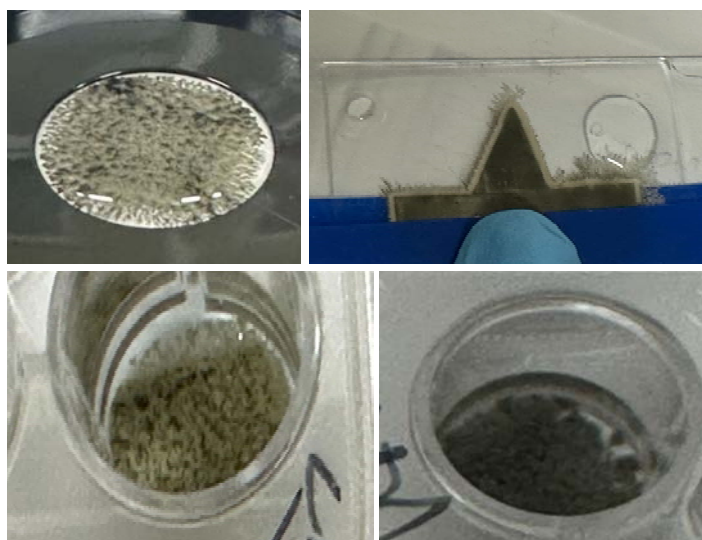




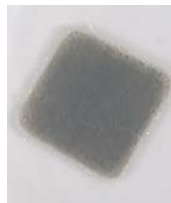












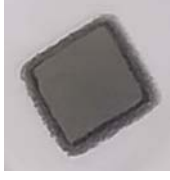









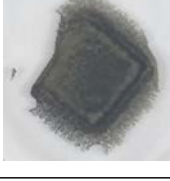




그림 6. 실험 조건에 따라 다양한 형태의 은(Ag)

#### 1. 실험방법

앞서 다양한 조건에서 구리와 질산 은 용액 산화 환원 실험을 수행한 결과 질산 은 수용액 농도와 반응시간이 환원된 은의 색에 영향을 준다고 판단하여 두 가지를 변인으로 하여 실험하였다.

- 구리판과 구리테이프 실험 결과가 크게 다르지 않았기 때문에 실험 용이성을 위해 구리테이프로 실험했다. 구리테이프는 10 x 10 mm 크기로 잘라 35 x 10 mm 페트리 접시 가운데 붙였다.
- 농도별 질산 은 수용액은 증류수에 질산 은 가루를 넣어 제조하였다. 각 농도의 질산 은 수용액 3 mL를 페트리 접시에 넣어 구리테이프가 완전히 잠긴 상태에서 반응시켰다.

## 2. 실험 결과

반응시간 (분)	질산 은 수용액 농도 (M)				
	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
5					
10					
15					
20					
25					
30					

### (1) 관찰 결과

구리테이프 윗면과 그 주변으로 검은색, 광택이 없는 탁한 회색, 은색(광택 있는 회색) 3가지 색의 은이 관찰된다. 질산 은 수용액의 농도가 높아질수록, 반응시간이 길어질수록 검은색에서 은색으로 관찰되고 나뭇가지 모양으로 뻗어나가는 길이가 점점 길어진다.

## (2) 현미경 관찰

은이 광택 없는 회색, 검은색 등 다양한 색으로 나타나는 이유를 알아보기 위해 은이 검은색으로 보이는 구리테이프 표면을 디지털 현미경으로 600배 확대해서 보았다. 그러자 눈으로 보았던 검은색이나 탁한 회색이 아니라 광택이 있는 회색, 즉 은색으로 보였다. 또한 표면이 금속 은으로 매끈하게 덮여있는 것이 아니라 나뭇가지 모양의 결정들이 표면에 균일하지 않게 뭉쳐져 있는 것을 관찰했다.



그림 7. 0.02 M 질산 은 수용액에서 30분 반응시킨 구리테이프 표면

## IV. 연구 결과

본 탐구 조건의 구리(Cu)와 질산 은( $\text{AgNO}_3$ ) 수용액 산화 환원 반응에서 은(Ag)이 구리 표면 위에 무질서한 수지상결정으로 성장했다. 질산 은 수용액 농도가 낮고, 반응시간이 짧은 산화 환원 반응 초기일수록 수지상결정 가지 부분이 적고 줄기와 가지가 얇아서 결정 사이에 간격이 존재하며 표면이 거칠고 날카롭게 보였다.

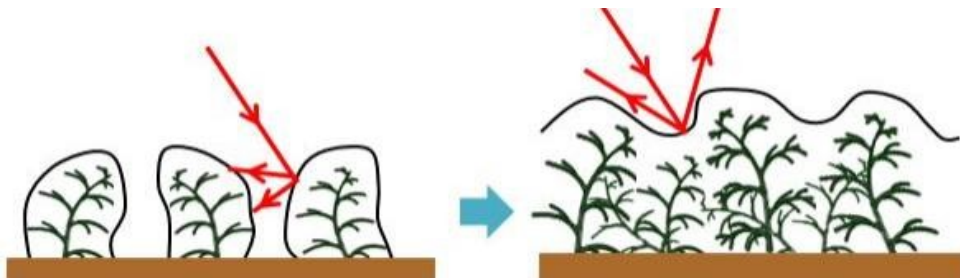


그림 8. 구리테이프 위 은 수지상결정에서 빛 반사 모식도

이런 조건에서 구리 표면에 환원된 은을 육안으로 관찰하면 검은색으로 보이는데, 디지털 현미경으로 관찰하면 은색으로 보였다. 이는 입사한 빛이 수지상결정 사이 간격에서 연속적으로 난반사하기 때문에, 눈으로 관찰할 수 있는 위치까지 빛이 도달하지 못하기 때문이라고 해석했다. 질산 은 수용액 농도가 높거나 낮은 농도이더라도 반응시간이 충분하면, 구리 표면에 수지상결정이 많이 성장하여 줄기와 가지 부분이 굵어지고 서로 겹치고 뭉치면서 쌓이기 때문에 은 표면이 상대적으로 균일

하고 매끈해진다. 그러면 빛은 난반사하지만 눈이 있는 위치까지 일부 도달할 수 있어 회색으로 관찰된다.

## V. 결론 및 제언

구리(Cu)와 질산 은( $\text{AgNO}_3$ ) 수용액 산화 환원 반응에서 질산 은 수용액 농도가 낮고, 반응시간이 짧을수록 환원된 은(Ag)이 검은색으로 보인다. 이는 수용액 내에서 은이 환원되는 과정에서 은 입자들이 수지상결정(dendrite)을 이루기 때문이다. 빛은 거친 은 수지상결정 표면에서 연속적으로 난반사되다가 눈이 있는 위치까지 도달하지 못하기 때문에 검은색으로 관찰된다. 검은색으로 보이는 표면도 현미경을 이용해 표면에 가까운 위치에서 빛을 모아 관찰하면 광택이 있는 회색(은색)으로 관찰할 수 있다는 점이 이런 해석을 뒷받침한다.

본 실험에서는 구리와 질산 은 용액의 산화 환원에 반응에서 질산 은 수용액 농도가 낮고 반응시간이 짧을수록 수지상결정 크기와 수지상결정 사이의 간격에 의해 은이 검은색으로 보인다는 것을 정성적으로 확인했다. 질산 은 수용액 농도가 낮을 때 산화 환원 반응이 느리게 진행되는 것은 이온 활동도 영향이라고 생각된다. 은 이온 농도가 낮을수록 용매에 의해 이온의 활동이 제한되어 구리와 반응할 수 있는 가능성이 줄어든다. 보다 정량적인 탐구를 위해서는 질산 은 수용액 농도별 이온 활동도 계산, 반응 전후 질량 변화 측정, 더 높은 분해능을 가진 전자현미경으로 반응물 관찰 등의 방법이 있을 것이다.

구리와 질산 은 수용액 산화 환원 반응에서 의도적으로 사이즈가 작고 간격이 넓은 은 수지상결정을 만들고 싶다면, 질산 은 수용액 농도는 낮게, 반응시간을 짧게 반응시키면 된다. 이러한 간단한 방법으로 나노 단위의 은 수지상 결정을 얻을 수 있고, 은 수지상 결정 사이의 좁은 틈은 표면 증강 라만(Surface Enhanced Raman Spectroscopy, SERS) 등에 활용되어 다양한 분야의 연구에 도움을 줄 수 있다.

## VI. 참고문헌

1. 심규철. (2021). 「고등학교 통합과학」. 비상교재.
2. M. V. Mandke , S. H. Han and H. M. Pathan. (2012). Growth of silver dendritic nanostructures via electrochemical route. CrysEngComm, 14, 86-89.
3. Chen, J. Davies, J. J; Goodfellow, A. S. Hall, S. M. D. Lancaster, H. G. Liu, X. Rhodes, C. J. Zhou, W. (2021). Growth mechanisms of Ag and Cu nanodendrites vis galvanic replacement reactions. Prog.Nat.Sci.:Mater.Int, 31, 141-151.
4. Daniel C. Harris. (2017). 「Quantitative Chemical Analysis 9th」. 자유아카데미.



# 화학C

01. 섬유의 종류에 따른 착향 연구 .....	259
02. 포도덩굴손 추출물의 항산화 및 항염증 효능 .....	269
03. 항산화활성 및 신경세포를 보호하는 천연물의 탐색 .....	281
04. 물의 어는점 탐구 .....	293
05. 칼슘 알지네이트를 이용한 구리의 흡착 및 탈착 .....	301
06. 골드-팔라듐 나노입자 합성과 촉매를 통한 에탄올 분해 반응 .....	311
07. 중금속 이온 확인을 위한 화학비색센서 개발 및 탐구 .....	327
08. 반도체성 탄소나노튜브 소자를 이용한 고이동도 TFT의 특성 비교 연구 .....	341
09. 일상 생활 물질들의 생명체에 대한 영향 .....	363



화학C

## 01\_섬유의 종류에 따른 착향 연구



# 섬유의 종류에 따른 착향 연구

홍은수 (한솔중학교 2학년)

신연우 (천안중학교 2학년)

문시연 (탄방중학교 2학년)

박선우 (도담중학교 2학년)

김가현 (전민중학교 2학년)

지도교수 : 김현정, 봉성율 (공주대학교 화학교육과)

본 연구에서는 악취와 섬유의 연관성을 알아보려고 실험을 통해 폴리에스터, 레이온, 린넨, 실크 4가지 섬유의 악취 지속성을 측정 한 후, 섬유별 특성에 대해 조사했습니다. 실험 결과, 폴리에스터와 레이온은 악취가 오래 지속된 반면 실크와 린넨은 악취가 오래 지속되지 않았는데, 이러한 결과는 섬유별 특성에 의해 나타나는 것임을 알 수 있었습니다. 이러한 섬유 특성은 스포츠 웨어나 의료용 작업복 등 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 예측되며, 향후 더 다양한 섬유와 냄새에 대한 연구가 필요합니다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

대부분의 남학생들에게 학교의 점심시간은 운동시간이나 다름없다. 점심시간이 끝나고 수업이 시작될 때면 운동장에 나갔던 아이들은 땀에 젖어 급하게 교실로 뛰어 들어온다. 그런데, 수업이 시작되면 다른 아이들은 곤욕을 치른다. 땀 냄새가 교실에 배기 때문이다. 불쾌한 냄새는 좀처럼 사라지지 않는다. 하지만 같은 사람이라도 그 날 입고 온 옷에 따라 땀 냄새가 나는 정도가 다르게 느껴졌다.

이 연구는 “왜 옷감의 종류에 따라 냄새가 다르게 나는 것일까?” 라는 궁금증에서 착안하여 일상생활에서 발생하는 다양한 냄새가 옷감에 따라 어떠한 특성을 나타내는지에 대한 것으로 발전하게 되었다. 또한, 다양한 향과 냄새에 따라 적절한 옷감의 천 재질을 확인할 수 있을 것으로 예측하였다. 그리고 실험을 통해 천에 따른 악취의 지속성, 섬유와 향, 악취의 연관성을 알아보고 일상생활에 적용하는 것을 목표로 하였다.



섬유와  
연관성



악취의  
지속성



일상생활  
적용

## II. 이론적 배경

### Odor in textiles: A review of evaluation methods, fabric characteristics, and odor control technologies(McQueen & Vaezafshar, 2020).

이 논문에서 악취의 지속 시간과 연관 있는 부분을 참고하였다. 그 과정에서 폴리에스터와 면으로 악취 관련 실험을 진행하였을 때, 비교적 폴리에스터가 면보다 악취 지속 시간이 길었다. 또한 이런 악취에 관여하는 여러 가지 요인들을 찾을 수 있었다. 그 중 향균성, 수분의 양, 천의 두께와 표면적이 가장 큰 요인 중 하나였다. 먼저 향균성이 높을수록 땀냄새가 적게 검출이 되었다. 이 원인으로는 박테리아가 땀 성분을 분해하여 악취가 나게 되는 과정에서 박테리아를 줄임으로서 땀 냄새가 적게 검출되었다고 예측하고 있다. 그리고 수분의 양이 많을수록 땀 냄새가 많이 났는데 이것은 냄새의 원인인 이소발레르산과 암모니아 등이 수용성이기 때문인 것으로 예측된다. 마지막으로 두께와 표면적이 클수록 악취의 지속이 높아지는 것이 서술되어 있었다. 이것은 암모니아 등의 악취 유발 분자들이 천에 더 오랜 시간 붙어있을 수 있는 공간이 있기 때문으로 추측된다.

### Measuring textile adsorption of body odor compounds using proton-transfer-reaction mass spectrometry(Yao et al., 2015)

본 논문에서는 양성자-전이-반응 질량분석법(PTR-MS)을 이용하여 3가지 종류의 원사/섬유(면, 폴리에스테르, 울)에 의한 체취화합물의 차등흡착을 결정하는 방법을 설명한다. 휘발성 유기 화합물(VOCs)의 흡착을 연구하는 가장 일반적인 분석 방법은 화염 이온화 검출기(FID), 질량 분석기(MS) 또는 후각 포트에 결합된 기체 크로마토그래피분석법(GCMS)이고, 이 중 GCMS는 담배 연기에 노출된 다양한 직물/섬유(면, 린넨, 실크, 폴리에스테르, 레이온, 폴리염화비닐(PVC), 실크, 아세테이트, 울)에서 VOCs의 방출을 연구하는 데 사용되었다.

의류에서 일반적으로 사용되는 세 가지 섬유 유형을 나타내는 원사는 면, 폴리에스터, 및 울이 테스트 재료로 사용되었다. 직물은 세척 및 건조에 의해 사전 처리되었지만, 일반적인 섬유 제품의 일상적인 사용과 일치하도록 다른 표면 세척은 수행되지 않았다. 건조 후 직물을 200 mm 200 mm 시편으로 절단하였다.

또한 개인의 체취의 강도 및 성격은 식습관, 질병, 약물, 생활습관 등 많은 요인과 관련이 있는데, 카르복실산, 알코올, 알데히드, 에스테르, 케톤, 티오/티오에스테르/설폰, 지방족/방향족, 할로젠화 중, 헤테로고리, 황화물, 아미드/아민, 요소 및 호르몬 등 800종 이상의 휘발성 화합물이 인체 냄새와 관련이 있는 것으로 보고되었다. 이 화합물 중 선택된 6개의 화합물은 에탄티올(Aldrich), 에틸벤젠(Sigma), 페놀(Aldrich), 사이클로헥사논(Aldrich), 부타논산, 메틸 에스테르(Nu-Chek) 및 데카날(Sigma-Aldrich)이었다.

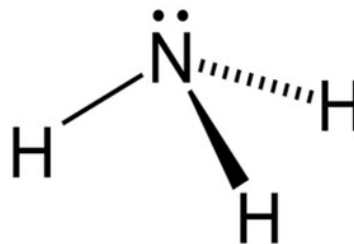
또한 실험 온도는 33°C로 설정하여 사람이 열 중립 상태에 있을 때 인간 피부의 온도를 시뮬레이션 했다.

### Ⅲ. 연구방법

#### 1. 주요 준비물

(1) 암모니아 : 암모니아(NH<sub>3</sub>)는 땀의 주성분 중 하나로, 무색이며 특유의 자극적인 향이 난다. 또한 가벼워 이 연구에서 진행한 방식인 챔버 속에 넣어 기체 중 물질을 측정하는 실험에 유리하다.

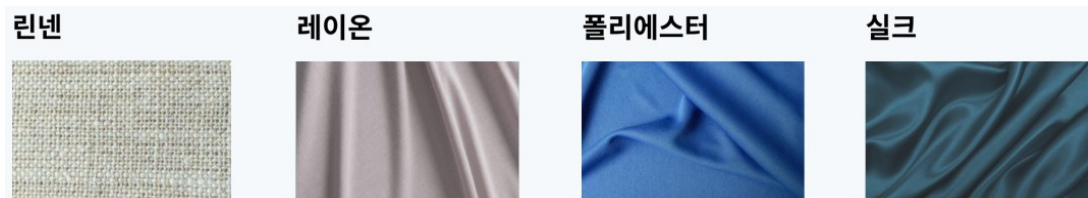
본 실험을 하기 이전에 검지관으로 측정 가능함과 동시에 실험 진행에 가장 적합한 암모니아수의 농도를 찾기 위하여 0.1M, 0.3M, 0.5M 농도의 암모니아 용액을 제작해 예비 실험을 진행하였다. 이 결과로 0.5M 농도의 용액이 가장 수치 측정에 용이하다고 판단되어 암모니아 0.5M 용액 50ml를 제작해 실험에 사용하였다.



<암모니아 구조식>


(2) 천 : 린넨, 레이온, 폴리에스터, 실크 4가지 종류의 천을 실험에 사용하였다. 천은 모두 10cm\*10cm 크기로 잘라 실험에 사용하였으며, 실험의 정확성을 위해 각각의 천은 1회만 사용하였다.

이 실험에 사용한 천의 종류 중 하나인 린넨은 식물성 섬유로, 통풍성, 열전도율, 흡수성, 내구성 모두 우수하다. 반면 동물성 섬유인 실크는 흡습성이 우수하지만 내열성이 약하다는 특징이 있다. 레이온과 폴리에스터는 각각 재생섬유, 합성섬유로, 재생섬유인 레이온은 흡습성과 내열성이 우수하다. 하지만 합성섬유인 폴리에스터는 흡습성이 낮은 특징이 있다.



## 2. 실험 방법

### (1) 실험 설계

실험 설계		
실험 중 환기 단계	측정 방식	
<p>일상 생활에서는 아크릴 챔버처럼 닫힌 공간이 아니라 열린 공간에서 생활하므로 이를 반영하기 위해 실험 중 5분씩 환기를 진행함.</p> <p>환기 없이 진행하면, 초반에 암모니아가 빠르게 날아가 이후의 값 측정이 힘들.</p>	<p>냄새 측정기인 Odor Meter를 사용하려 했으나 복합적인 이유로 검지관식 기체 측정기를 사용하게 됨.</p> <p>검지관식 기체 측정기는 일정 부피의 기체를 빨아들여 검지관과 반응시킴으로서 기체의 양을 측정함. (Gastec 흡입기 제품을 사용함.)</p>	

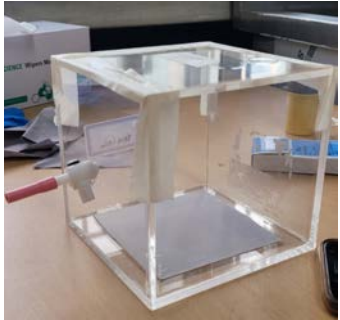

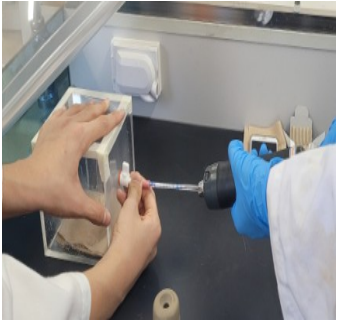
### (2) 실험 방법

#### 1) 암모니아 수치 측정

먼저, 아크릴 챔버 속에 섬유를 넣고 0.5M의 암모니아수를 천 위에 스프레이로 3번 뿌린다. 이후, 뚜껑을 닫고 입구를 종이 테이프로 밀봉 후, 5분 대기한다. 일상생활에서 악취가 날아가는 상황을 반영하기 위해 5분 동안 창가에서 챔버 입구를 열고, 환기하며 대기한다. 5분 뒤, 암모니아 수치 재측정을 위해 입구를 닫고 5분 동안 챔버를 밀봉한 채 대기한다.

이 과정을 거친 후, 검지관과 측정기를 사용하여 수치를 측정한다. 이때 입구를 완전히 밀봉하고 측정기 손잡이를 5번 당겨 측정하며, 이후 나온 값을 당긴 횟수로 나누어 값을 기록한다. 수치가 0이 나올 때까지 실험 중 환기 및 측정 준비 과정 및 측정 과정을 반복한다.

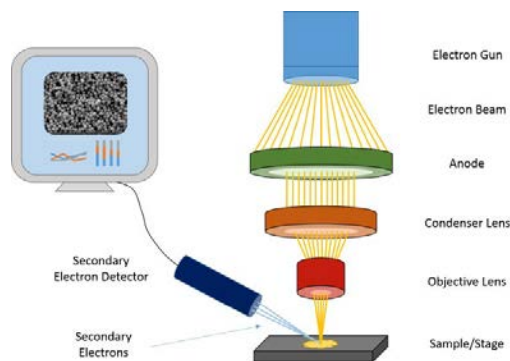
<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 아크릴 챔버 준비</li> <li>(2) 암모니아수 0.5M 제작</li> <li>(3) 아크릴 챔버에 실크, 린넨, 레이온, 큐프라, 면, 마 투입</li> <li>(4) NH<sub>3</sub> 계열 Gastec 검지관을 흡입기에 장착</li> <li>(5) (2)에서 제작한 암모니아수를 (3)에 정확히 "3번" 분사한 후 (1)에서 준비한 아크릴 챔버의 뚜껑을 닫기</li> <li>(6) 뚜껑 밀봉 후 5분 대기</li> <li>(7) (4)에서 준비한 흡입기와 검지관으로 측정(뚜껑 개봉 X)</li> <li>(8) 수치 기록</li> <li>(9) 뚜껑 개봉 및 5분 동안 환기</li> <li>(10) (3)으로 복귀</li> </ol>
--

실험 방법		
섬유를 교체하며 전체 과정을 반복함		
1. 섬유에 암모니아 뿌리기	2. 환기 및 측정 준비	3. 측정
		
아크릴 챔버 속에 섬유를 넣고 암모니아수 0.5M을 3번 뿌린다. 뚜껑을 닫고 입구를 밀봉한 후, 5분 대기한다.	일상생활 조건을 반영하기 위해 5분 동안 환기 후 다시 닫아 5분 동안 대기한다.	5분 후 검지관과 측정기를 사용하여 측정한다. 이때 입구를 완전히 밀봉하고 5분 당겨서 측정하며, 이후 나온 값을 당긴 횟수로 나눈다.
<b>2번, 3번 과정을 수치가 측정되지 않을 때까지 반복한다.</b>		

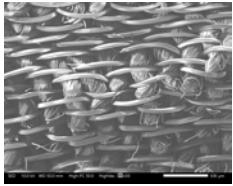
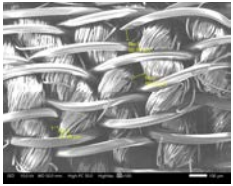
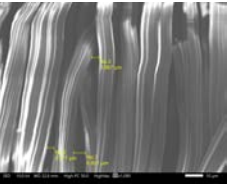

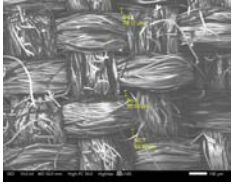
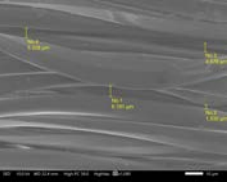
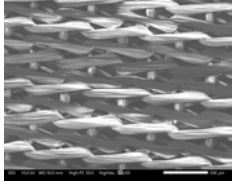
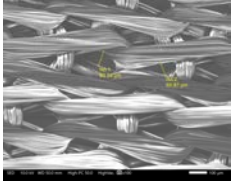
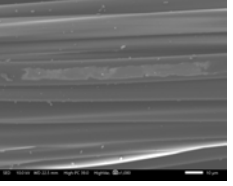
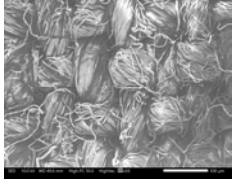

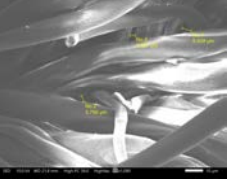
## 2) SEM(Scanning Electron Microscope : 주사전자현미경)

전자 현미경의 한 종류로, 집속된 전자빔을 시료표면에 주사하면서 전자빔과 시료와의 상호작용에 의해 발생하는 이차전자(Secondary Electron, SE) 혹은 후방산란전자(Back Scattered Electron, BSE)를 이용해 시료 표면을 관찰하는 장비이다.

이 기기를 이용하여 4가지 섬유(폴리에스터, 레이온, 실크, 린넨)의 표면을 관찰했다.



#### IV. 연구결과

	50배율	100배율	1000배율	특징
레이온				- 여러 개의 가는 실이 모인 복잡한 구조
폴리에스터				- 체크무늬와 유사한 형태 - 빈 공간이 적고 촘촘함
실크				- 빈 공간 多 - 매끄러운 표면
린넨				- 빈 공간 多 - 촘촘함

##### ■ 레이온

굵은 실과 얇은 실이 섞여 있는 형태를 띠며, 여러 개의 가는 실들이 모여 복잡한 구조로 짜여있다. 이로 인해 비표면적이 높아 약취 분자가 더 많이 붙어 있을 수 있게 되어 약취 수치는 폴리에스터보다 낮음에도 약취의 지속 시간이 가장 길게 나온 것으로 예측된다.

##### ■ 폴리에스터

체크무늬와 유사한 형태로 많은 실들이 거의 빈 공간이 없게 촘촘하게 짜여진 구조로 인해 비표면적이 상대적으로 낮아 약취 분자가 붙어있는 시간이 적고, 빠르게 제거 되면서 약취의 수치가 가장 높게 기록된 것으로 예측된다.

##### ■ 실크

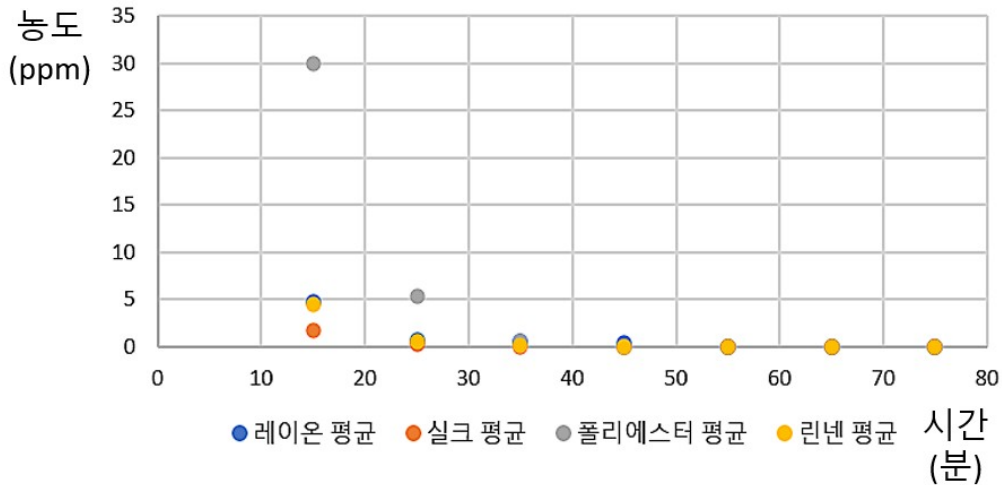
다른 천들에 비해 실 사이사이에 비어있는 공간이 많고, 실의 표면이 매끈해 보인다. 비표면적은 상대적으로 높아 보이지만 약취 분자가 달라붙기 힘든 구조로 인해 약취의 수치가 가장 적게 기록이 되었고, 가장 빠르게 없어지는 결과가 나오는 것으로 예측된다.

##### ■ 린넨

폴리에스터, 레이온보다 실 사이의 빈 공간이 크다. 이로 인해 비표면적이 실크보다 커, 약취 분자가 더 많이 붙어 있을 수 있었기 때문에 실크보다 약취 수치가 높았고, 섬유가 촘촘하게 짜여있는 편이기에 레이온보다 약취의 지속시간이 짧게 결과가 나온 것으로 예측된다.

	레이온	실크	폴리에스터	린넨
15분	4.75	1.7	30	4.5
25분	0.75	0.3	5.4	0.6
35분	0.5	0	0.6	0.1
45분	0.4	0	0	0
55분	0	0	0	0
65분	0	0	0	0
75분	0	0	0	0

\* 각 섬유마다 실험을 2번씩 진행함 \* 단위(ppm)



실험 결과 폴리에스터, 레이온, 린넨, 실크 순으로 악취의 지속성이 높았다. 폴리에스터는 방수 천으로 실험을 진행하여 실험 초반에 암모니아 수가 흡수되지 않고 천 위에 방울져 있었다. 이로 인해 폴리에스터의 악취 농도가 높았을 것으로 예상된다. 또한 폴리에스터의 악취 농도는 35분에서 급감하는 것으로 보여진다. 실크는 가장 빠르게 악취가 제거되었다. 다른 천은 35분에서 악취가 측정된 것에 반해, 실크는 25분을 끝으로 악취의 농도가 측정되지 않았다. 린넨은 레이온과 실크의 사이의 악취 지속성, 중간 정도의 악취 수치를 띄었다. 마지막으로 레이온은 방수 천인 폴리에스터를 제외하면 가장 높은 암모니아 농도를 띄고 있고, 유일하게 45분까지 악취가 지속된 천이다. 이것을 바탕으로 레이온은 악취 지속성이 높아 악취를 빠르게 제거하는 능력은 부족하다고 판단된다. 결론적으로 폴리에스터와 레이온은 악취 지속성이 높아 냄새 제거 능력이 부족하고, 실크와 린넨은 악취 지속성이 낮아 냄새 제거 능력이 뛰어나다고 할 수 있다.

그래프 해석과 천의 특성			
악취의 지속력 : 폴리에스터 > 레이온 > 린넨 > 실크			
폴리에스터	레이온	린넨	실크
- 방수천 - 암모니아 농도가 가장 높음 (방수 원인 추정) - 35분에 수치 급감	- 암모니아 농도 두 번째로 높음 - 악취 지속 시간이 가장 뛰어남	- 암모니아의 농도가 세 번째로 높음 - 악취 지속 시간 중간	- 암모니아 농도 가장 낮음 - 악취 지속 시간이 가장 낮음

## V. 결론 및 제언

향의 지속성이 섬유마다 각각 다르다는 것을 활용해 다양한 옷 제작 과정이나 산업 등에 활용될 수 있을 것이라 예상된다.

본 연구에서 주로 연구한 악취 지속성이 낮은 섬유의 경우, 스포츠 웨어를 만들거나 유독한 물질으로 공정 하는 곳 또는 위생이 중요한 의료 시설에서의 작업복을 만들 수 있다.

활용점		
향	악취	
냄새 지속 높아야 함	냄새 지속 낮아야 함	
옷	스포츠 웨어	유독 물질 제거
냄새의 지속성이 높은 천으로 옷을 만들어 향수 등의 향이 더 오래 지속되게 함	땀을 많이 흘리는 운동을 할 때 입는 스포츠 웨어를 악취 지속성이 낮은 천으로 만들어 금방 냄새가 날아갈 수 있도록 함	유독한 물질을 사용하는 산업 분야 혹은 청결한 위생이 요구되는 의료 복지 시설 등에 악취 지속력이 낮은 천이 활용될 수 있음

본 연구에서는 4가지 섬유(폴리에스터, 레이온, 린넨, 실크)로 암모니아 1가지 악취로 실험을 진행하였으므로, 한계가 있을 수 밖에 없다.

따라서 향후 과제로는 다양한 분석 기기를 활용해 실험의 정확도를 올리고, 많은 냄새와 더 많은 천을 대상으로 실험을 진행하여 냄새 별로 최적의 섬유가 무엇인지를 알아내는 등의 연구가 필요하다.

## VI. 참고문헌

- (1) McQueen, R. H., & Vaezafshar, S. (2020). Odor in textiles: A review of evaluation methods, fabric characteristics, and odor control technologies. *Textile Research Journal*, 90(9-10), 1157-1173.
- (2) Yao, L., Laing, R. M., Bremer, P. J., Silcock, P. J., & Leus, M. J. (2015). Measuring textile adsorption of body odor compounds using proton-transfer-reaction mass spectrometry. *Textile Research Journal*, 85(17), 1817-1826.

화학C

## 02\_포도덩굴손 추출물의 항산화 및 항염증 효능



# 포도덩굴손 추출물의 항산화 및 항염증 효능

김시준 (유성중학교 2학년)

두진현 (대전탄방중학교 2학년)

서제나 (대전세미래중학교 2학년)

지도교수 : 김기광 (충남대학교 생화학과)

## 초록

천연물 중 항산화 및 항염 효과를 가지고 있는 것들이 많다. 포도나무가 지탱할 수 있도록 도와주는 포도 덩굴손은 악조건 속에서도 포도나무를 지탱해야 한다. 그래서 악조건 속에서도 기능을 유지하기 위한 항산화나 항염과 관련된 물질을 확인하기 위해 본 연구를 진행하였다. 또한 포도덩굴손의 건조 유무와 농도에 따른 차이도 확인하고 싶어서 포도덩굴손 생물과 건조 포도덩굴손, 500 µg/ml과 1000 µg/ml을 실험해보았다. 항산화 효능을 확인하기 위해서 ABTS assay를 시행했고, 항염 효능을 확인하기 위해서 qPCR과 western blot를 통해 알아보았다. 또한 세포 생존률을 알아보기 위해서 MTS assay를 통해 알아보았다. 그 결과, 포도덩굴손은 항산화 효과와 항염 효과가 있으며, 건조된 포도덩굴손이고, 고농도일수록 그 효과가 크다는 것을 알게 되었다. 또한 세포 생존률을 보아 포도덩굴손은 세포에 악영향을 끼치지 않는다는 것을 알게 되었다. 이러한 연구 결과들은 포도덩굴손이 건강에 도움이 된다는 사실을 알려준다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

우리나라는 2022년 기준 65세 이상의 고령 인구는 전체 인구의 17.5%로, 현재 고령화가 진행 중이다. 이러한 고령화 사회에서 사람들은 노화 방지를 위해 다양한 일들을 한다. 특히 피부 노화 방지를 위해 화장품을 사용하거나 영양제를 섭취하는 방법이 대표적인데, 이들은 대체로 항산화 작용이 풍부한 물질로 이루어진다. 이 때 항산화 작용이란 산화를 억제한다는 뜻으로, 피부 노화는 산화로부터 비롯된다. 산화는 세포 호흡을 위해 흡입된 산소 중 일부가 불안정한 상태인 ‘활성산소’로 전환되는 과정을 말하는데, 이러한 활성산소가 주변 세포에 손상을 주면서 피부 노화가 진행되는 것이다. 따라서 화장품이나 영양제 제조회사에서는 비타민 C, 카로티노이드류, 플라보노이드류 등 다양한 항산화 물질을 활용해 피부 노화 방지 물질로 사용하고 있다. 하지만 최근에는 우리 인간의 건강뿐만 아니라 환경까지 모두에게 좋은, 항산화 물질이 풍부한 천연물질 사용이 증가하고 있다. 대표적으로 블루베리, 사과, 브로콜리, 양배추 등이 있다. 그러나 이러한 식품은 항산화 물질뿐만 아니라 당류와 같은 다른 성분을 포함하고 있어 노화 방지에 방해 요소가 될 수 있기 때문에 항산화 작용이 활발한 천연물질을 조사하다가, 포도덩굴손에 대해 알게 되었다. 따라서 우리 팀은 포도덩굴손이 항산화 효능과 항염증 효능이 높을 것이라고 판단하여 연구를 진행하고자 하였다.

## II. 이론적 배경

실험 과정에 사용되는 실험 기구 중 Centrifuge는 원심력을 이용해서 혼합물 속 물질들을 분리하는 기기이다. CO<sub>2</sub> incubator는 세포가 자랄 수 있도록 이산화탄소의 농도와 온도를 조절하는 기기이다. Hemocytometer는 격자를 이용해 세포의 농도를 측정하는 기기이며, pipet은 유체를 일정량 덜기 위해서 사용하는 기기이다. Clean bench는 여러 변인을 통제하기 위해 외부의 이물질이 들어가지 않도록 하는 실험대이다. 연구 과정에 사용된 MTS assay는 cell viability 실험 중 하나로, tetrazolium salt의 한 종류인 MTS를 이용하여 세포 내 미토콘드리아의 활성도를 측정하는 실험이다. 살아있는 세포 내에서는 미토콘드리아가 동작하고 미토콘드리아 내부에 있는 reductase에 의해 환원되어서 보라색을 띠는 formazan이라는 결정체를 생성한다. MTS를 처리한 세포 샘플의 흡광도를 490nm 파장대에서 측정하면, 세포의 생존률을 알 수 있다. qPCR (quantitative PCR)은 원래 DNA나 RNA의 양을 정량한 뒤, PCR를 진행하는 기법이다. 먼저 정량한 DNA를 고온으로 가열해서 DNA의 이중 나선 구조를 풀어준 뒤에, DNA 구조의 프라이머를 결합시킨다. 그 다음 효소의 작용 온도를 맞추어 주어 중합효소를 작동시켜 DNA의 각 가닥에서 새로운 DNA가 생성되게 한다. ABTS assay는 물질의 항산화 정도를 측정하는 실험으로, 활성산소 (Free Radical)에 의해 청록색을 띠게 되는 ABTS를 항산화 물질과 반응시켜 색의 농도에 따라 항산화 정도를 알 수 있다. 실험에 사용되는 ABTS (2,2-azino-bis(3-ethyl-benthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt)는 과황산 칼륨 (Potassium persulfate)과 1:1 비율로 혼합하고 실온의 암실에서 12시간에서 16시간 가량 보관을 하면 둘 사이의 반응으로 인해 ABTS와 radical이 생성된다. 과황산칼륨에 의해 ABTS는 전자를 잃어 짙은 청록색을 띠는데, 항산화 물질의 활성산소 전자를 공여해 불활성화시키는 전자공여능 과정으로 인해 항산화 물질이 많을수록 색이 옅어진다. 이를 이용해 시료의 농도를 조절하며 탈색 (decolorization)을 하면 시료에 농도에 따라 색의 진하기가 달라진다. 이 때 음성 대조군은 PBS (phosphate buffer saline)를 사용하며, 탈색된 시료와 ABTS의 흡광도를 측정한다. 흡광도는 734nm에서 측정을 하고, ABTS 라디칼 (radical) 소거의 퍼센티지는 1에서 시료와 ABTS 샘플의 ABS를 대조군의 ABS로 나눠 뺀 수에 100을 곱해 계산한다. ABTS assay는 주로 pH에 의한 영향이 적어 pH에 따른 항산화 활성 변화를 측정할 때 사용된다. Western Blot 실험은 샘플에서 특정 단백질을 검출해 단백질의 유무 또는 양을 확인하는 데 사용되는 분석 방법이다. Western blot 실험은 단백질과 단백질 사이의 상호작용을 기반으로 하며, 항원-항체 (Antigen-Antibody) 반응으로 특정 단백질을 검출한다는 특징이 있다. 실험을 할 때 샘플 내의 단백질을 분리한 후 각 단백질의 양과 농도를 구한다. 단백질은 SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis)를 통해 단백질을 질량 차이에 따라 분리되는데, 이는 서로 다른 전하를 가지고 있는 아미

노산이 pH에 따라 전하값이 달라져 전하강도도 함께 달라지며 두 개의 gel이 pH의 차이로 단백질을 분리하는 원리이다. 이 때 SDS-PAGE에 있는 단백질은 (-)전하를 띠고 있으므로 gel은 (-)전하를, membrane은 (+)전하를 띠게 하여 단백질을 여과막 (filter membrane)으로 이동시키는 blotting 과정을 수행한다. 표적 단백질이 결합된 여과막을 1차 항체와 반응시켜 1차 항체가 표적 단백질에 결합하게 한 후 2차 항체를 1차 항체에 또 다시 결합시키면 2차 항체에 결합된 물질에서 항체를 검출하면 결론적으로 원하던 단백질을 검출할 수 있다. 우리가 진행한 실험에서 western blot은 염증성 단백질을 찾기 위한 목적으로 사용되었다. 실험에 필요한 RAW 264.7 세포는 세포 조직이나 이물질, 미생물, 암세포 등 건강한 몸에 존재하는 단백질이 아닌 것을 흡수하고 소화시키는 식세포 작용을 하는 백혈구의 한 유형인 대식세포의 한 종류이다. RAW 264.7 cell은 LPS (lipopolysaccharide)에 의해 자극을 쉽게 받아 실험에서 자주 사용하는 세포 중 하나이다. 주로 염증이나 면역 반응할 때 많이 사용된다. 이 밖에도 여러 실험시약이 사용되었는데, DMEM (Dulbecco's modified Eagle's medium)은 동물세포를 키울 수 있는 배지로, 장기간 배양에 유리하다. 세포가 자랄 수 있게 돕는 영양분 역할을 하는 FBS (Fetal Bovine Serum)는 성장에 관여하는 호르몬을 제공하여 세포의 성장 및 유지에 도움을 준다.

P/S (penicillin-streptomycin)는 감염방지를 위한 항생제로, 세균 오염을 방해한다. 트립신 (trypsin)은 펩티드 결합을 끊고 결합단백질을 분해시켜 단백질이 부착되지 못하도록 분해시키는 시약이다. EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid)은 항응고 역할을 하는 물질로, 단백질 분해작용을 도와준다. 마지막으로, PBS는 세포배양에 사용될 물질을 희석시키며 무기이온 제공, 삼투압 평형 유지, pH 유지, 혈청성분이나 트립신 등의 특정 성분을 제거하는 등 세포배양을 안정적이게 해준다.

### III. 연구방법

#### 1. Cell Culture

- 1) 배양할 cell에 PBS를 첨가하여 세척한다.
- 2) Trypsin-EDTA 2 ml를 첨가한 후 37°C 인큐베이터에 2분 동안 보관한다.
- 3) DMEM 10 ml를 첨가한 후 15 ml tube로 옮긴다.
- 4) 1500rpm으로 3분간 원심분리한다. (12ml의 증류수와 함께 원심분리해서 균형 유지한다.)
- 5) 거품 제거 후 상층액을 제거한다.
- 6) DMEM 2 ml 첨가한 후, pippetting으로 pellet을 풀어준다.
- 7) DMEM(+) 2.5 ml를 첨가한 후 culture dish 위에 적당한 양의 새로운 media를 넣어주고, 세포 이름, 날짜 등을 기록해 보관한다.

## 2. ABTS assay

### 1) ABTS 시약 (ABTS Stock solution) 제조

1-1) 7.4 mM 2,2-azino-bis(3-ethylbenzthiaoline-6-sulfonicacid) 계량, DW에 용해시킨다.

1-2) 2.6 mM Potassium persulfate을 계량하고 DW에 용해시킨다.

1-3) 1-1과 1-2를 1:1로 섞는다.

1-4) 실온에서 차광한 상태로 24시간 반응시킨다.

2) ABTS 시약을 DW에 희석하였을 때 Control 부분의 흡광도 O.D값을 찾아 필요한 양만큼 희석한다.

3) ABTS 시약과 positive control은 호일로 차광을 한다. (그림 III-1, 2, 3 참고)

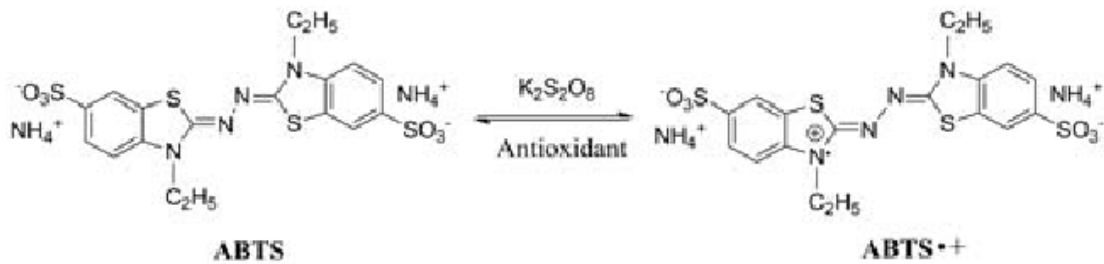


그림 III-1. ABTS 시약

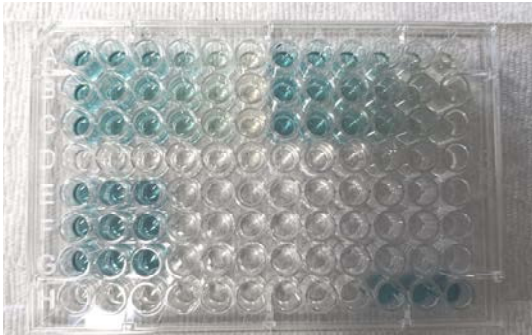


그림 III-2. ABTS 시약 넣은 후 변화



그림 III-3. 항산화 효능 측정

## 3. MTS assay

1) 96well plate에 세포를 5x10<sup>3</sup> cells/well로 seeding한다. 총 8열을 seeding하며, 각 열마다 순차적으로 1mg/ml, 0.5mg/ml, 0.25mg/ml, 0.125mg/ml, 0.0625mg/ml, 0mg/ml의 포도당쿨손 treatment를 처리한다.

2) 모든 well에 20ul의 MTS 시약을 넣어준다. (그림 III-4 참고)

3) 490nm에서의 흡광도를 측정한다.

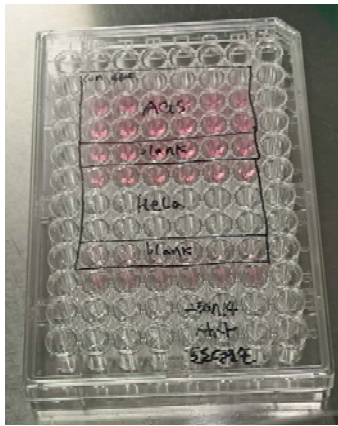


그림 III-4. MTS assay

#### 4. qPCR

##### 1) cell seeding

1-1) 6 well plate에 세포를  $1 \times 10^5$  cells/well로 seeding한다.

##### 2) 포도당굴손 treatment

2-1) 100 mg/ml 포도당굴손 treatment를 500  $\mu$ g/ml, 1000  $\mu$ g/ml로 희석한다.

2-2) 500  $\mu$ g/ml, 1000  $\mu$ g/ml의 포도당굴손을 6 well plate에 처리한다.

2-3) 건조 포도당굴손에 대해서도 같은 작업을 해준다.

##### 3) RNA 추출

3-1) 세포 배양액을 aspiration한다.

3-2) PBS로 6 well plate 내부의 세포를 씻어준다.

3-3) 6 well plate에 RiboEX를 넣고, ep-tube에 옮겨준다.

##### 4) RNA 정량 및 cDNA 합성

###### 4-1) RNA 정량

4-2) cDNA 합성 프리믹스 조성을 위해 DEPC 3  $\mu$ l, 5X버퍼 4  $\mu$ l, dNTP 1  $\mu$ l, RTase 1  $\mu$ l, RNase inhibitor 1  $\mu$ l를 첨가해준다.

4-3) cDNA 합성이 완료되면 DW 80  $\mu$ l씩 넣어주면서 희석해준다.

##### 5) 프라이머 (그림 III-5 참고)

Gene		Primer sequence (5' to 3')	Product size (bp)
IL-1b	Forward	AGG TCA AAG GTT TGG AAG CA	129
	Reverse	TGA AGC AGC TAT GGC AAC TG	
TNF-a	Forward	AGG GTC TGG GCC ATA GAA CT	103
	Reverse	CCA CCA CGC TCT TCT GTC TAC	
IL-6	Forward	GTC CTT CAG AGA GAT ACA GAA ACT	113
	Reverse	AGC TTA TCT GTT AGG AGA GCA TTG	

그림 III-5. 프라이머 서열

## 5. Western Blot

### 1) 샘플버퍼 만들기

### 2) 단백질 정량

2-1) Reagent A와 reagent B를 50:1로 섞어서 reagent를 만든다.

2-2) 단백질 샘플 1  $\mu$ l와 스탠다드 용액 5  $\mu$ l를 각각의 tube에 첨가한다.

2-3) reagent 용액 250  $\mu$ l를 각각의 well(96 well plate)에 첨가한다.

2-4) 37°C 인큐베이터에 30분간 둔다.

2-5) ELISA reader로 측정한다.

### 3) 젤 만들기 (그림 III-6 참고)

#### 3-1) 러닝버퍼 만들기

#### 3-2) stacking gel 만들기



그림 III-6. Gel 제조

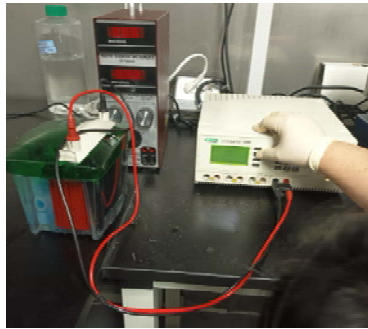


그림 III-7. Transfer

### 4) 단백질 heating

4-1) 원하는 농도에 맞춰서 각각의 튜브에 단백질액을 담는다.

4-2) 샘플을 95~100°C에서 3분동안 가열한 후 얼음에 식혀준다.

4-3) centrifuge로 5분동안 식힌다. (12000rpm, 4°C)

### 5) Electrophoresis

5-1) 각각의 well에 표시를 한다.

5-2) 빗살을 양손으로 잡고 위로 밀어서 뽑아올린 후 증류수로 살살 씻는다.

5-3) 1x 러닝버퍼로 채운다.

5-4) loading하는 샘플과 부피가 같도록 loading을 한다.

5-5) electrophoresis

### 6) Transfer한다. (그림 III-7 참고)

### 7) Blocking (그림 III-8 참고)



그림 III-8. blocking

## 8) Antibody binding

- 8-1) TBST로 10분 동안 4번 wash 한다.
- 8-2) 1차 antibody 넣고 1시간동안 반응시킨다.
- 8-3) TBST로 10분 동안 4번 wash 한다.
- 8-4) 2차 antibody 넣고 1시간동안 반응시킨다.
- 8-5) TBST로 10분 동안 4번 wash 한다.

## 9) Detection

### IV. 연구결과

ABTS assay를 진행한 결과, 물질에 건조되지 않은 포도덩굴손을 첨가하면 농도가 0.25mg/ml일 때 항산화능이 약 10%, 농도가 0.5mg/ml일 때는 약 20%, 농도 1mg/ml일 때 약 40%, 농도 2mg/ml에서 약 60%, 4mg/ml의 농도에서는 약 80%의 항산화능을 보이는 것으로 나타났다. 마찬가지로 동일한 농도로 건조된 포도덩굴손 추출물을 첨가하였을 때 물질의 항산화능은 같은 농도에서 건조하지 않은 포도덩굴손 추출물과 비슷한 수치를 보였다. 위 실험 결과를 통해 포도덩굴손 추출물의 첨가 농도가 높을수록 물질의 항산화 능력이 높아진다는 것을 알 수 있다. (그림 IV-1 참고)

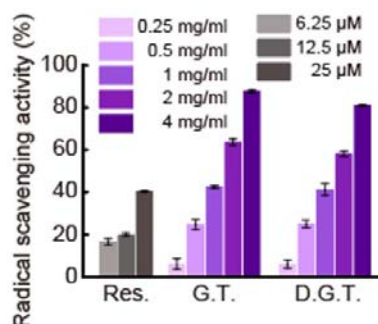


그림 IV-1. ABTS assay

MTS assay를 통해 포도덩굴손 추출물의 농도에 따른 위암세포주인 AGS 세포의 세포 생존율을 측정하였을 때 건조되지 않은 포도덩굴손 추출물의 농도가 62.5 μg/ml부터 2배씩 진해질수록 세포 생존율이 감소하는 그래프를 보였으나 생존율 수치는 약 140%부터 약 80%까지 분포하며 건조되지 않은 포도덩굴손 추출물이 세포 생존에 해가 되지 않는 것을 알 수 있었다. 위와 같은 농도로 건조된 포도덩굴손을 첨가하였을 때 물질의 세포생존율은 62.5μg/ml 이후 120%를 유지하며 감소하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 포도덩굴손 추출물은 세포생존율에 큰 피해를 주지 않으며 독성이 없는 것으로 확인되었다. (그림 IV-2 참고)

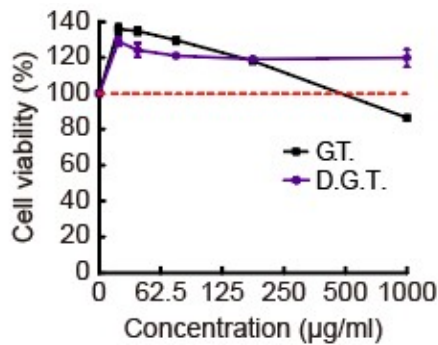


그림 IV-2. MTS assay

이후 LPS (염증유도물질)을 첨가하였을 때 포도덩굴손 추출물 농도에 따른 염증인자 농도를 측정하였는데, TNF- $\alpha$ 라는 염증인자는 포도덩굴손 추출물을 첨가하지 않았을 때 TNF- $\alpha$ 의 mRNA 발현양이 약 40 (fold)로 나타났으나, 건조되지 않은 포도덩굴손의 농도가 500 $\mu$ g/ml일 때 mRNA 발현양은 약 30, 농도 1000 $\mu$ g/ml일 때는 약 20으로 보였으며, 건조된 포도덩굴손의 첨가농도가 500 $\mu$ g/ml, 1000 $\mu$ g/ml일 때는 mRNA 발현양이 각각 약 20, 약 10으로 나타났다. 마찬가지로 LPS 단독처리군에서 IL-6와 IL-1 $\beta$ 의 mRNA 발현양은 각각 약 1600, 약 2000이었지만, 포도덩굴손 추출물의 농도가 높아질수록 염증인자의 mRNA 발현양이 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 건조되지 않은 포도덩굴손보다 건조된 포도덩굴손을 첨가했을 때 항염능력이 높아지는 것을 알 수 있었다. (그림 IV-3 참고)

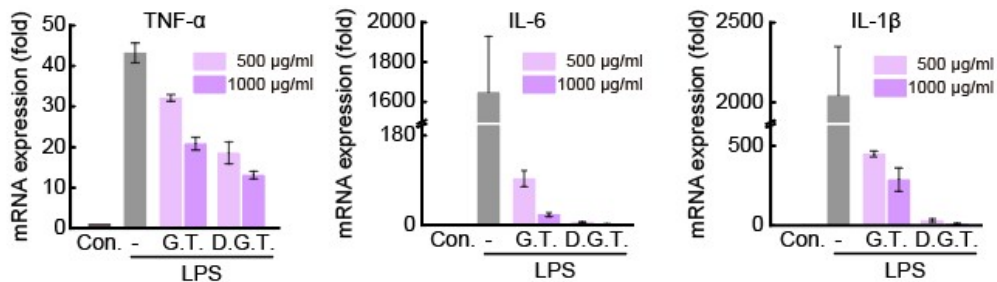


그림 IV-3. Cytikine 발현량 변화

또한 포도덩굴손 처리 후 Western blot을 진행한 결과, Western blot을 RAW264.7에 대해 대조군과 LPS (염증 유발 물질)을 처리한 대조군, 그리고 LPS와 GT(grape tendril, 포도 덩굴손) 500 $\mu$ g/ml과 1000 $\mu$ g/ml, DGT (Dehydrated grape tendril, 건조 포도 덩굴손) 500 $\mu$ g/ml과 1000 $\mu$ g/ml에서 시행하였다. 그 결과 p-Ik $\beta$  단백질 농도가 LPS를 처리한 대조군에서 높게 측정되었지만, 포도덩굴손을 처리한 샘플에서는 낮은 농도로 검출되었다. 건조 포도덩굴손 1000  $\mu$ g/ml에서는 Relative Intensity(상대량)이 1.4 500 $\mu$ g/ml에서는 2.9로 측정되었으며, 포도덩굴손 1000 $\mu$ g/ml에서는 3.1, 500 $\mu$ g/ml에서는 3.3으로 p-Ik $\beta$  단백질 농도가 측정되었다. 또한 Ik $\beta$  단백질에서도 비슷한

경향을 보인다. 저농도보다는 고농도, 비건조보다는 건조된 샘플에서 더욱 높은 항염 효과를 볼 수 있었으며, 건조된 포도 넝쿨손 1000 $\mu\text{g/ml}$ 가 가장 항염 효과가 뛰어났다. (그림 IV-4 참고)

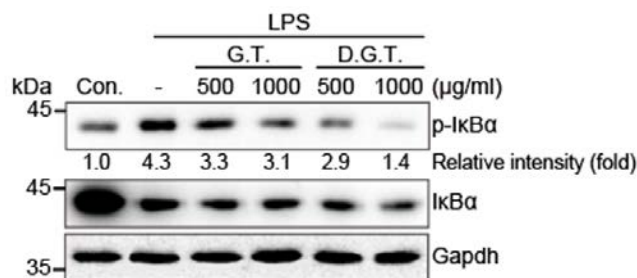


그림 IV-4. Western Blot

## V. 결론 및 제언

포도넝쿨손은 기존에 건강식품으로 논의되지 않은 자연물이었다. 본 연구에서는 포도넝쿨손이 인체에 어떤 긍정적인 영향을 끼치는지에 대해 알아보았다. ABTS assay를 통해 포도넝쿨손과 건조 포도넝쿨손, 500  $\mu\text{g/ml}$ 과 1000  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 항산화능을 알아본 결과, 건조 유무는 별 차이가 없었지만, 고농도의 포도넝쿨손일수록 높은 항산화 효과를 기대할 수 있었다. qPCR과 western blot를 통해서 항염 효과를 조사했을 때에는 건조 포도넝쿨손이 높은 항염 효과를 보여주었다. 이러한 연구 결과들은 포도넝쿨손이 인체 건강에 도움을 줄 수 있는 물질로서의 가능성을 제시한다.

## VI. 참고문헌

1. Korea Research Institute for Human Settlements, (<https://www.krihs.re.kr/publica/bbsView.es?pageIndex=2&num=970&serlno=1>)
2. RAW 264.7 세포에서 레드비트의 항산화 및 항염증 등의 생리활성 연구 (<https://db.koreascholar.com/Article/Detail/407114>)
3. A practical approach to RT-qPCR-publishing data that conform to the MIQE guidelines (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1046202310000204>)
4. 포도껍질 발효추출물의 항산화 효과 (<https://kmbase.medric.or.kr/KMID/1140120090140010077>)
5. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0891584998003153>)
6. The Design of a Quantitative Western Blot Experiment (<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/361590/>)



화학C

03\_항산화활성 및 신경세포를 보호하는 천연물의  
탐색



# 항산화활성 및 신경세포를 보호하는 천연물의 탐색

강다겸 (내서중학교 2학년)  
곽도예 (웅남중학교 2학년)  
김윤성 (호암중학교 2학년)  
김태윤 (호암중학교 2학년)  
이채원 (반림중학교 2학년)

지도교수 : 박해룡 (경남대학교 제약공학과)

과학·의학기술의 발달로 수명이 연장되면서 노화로 인한 노인성 질환 발병률이 증가하고 있다. 그중 치매는 명확한 치료제가 없으면 매해 5만 명씩 환자가 증가하는 3대 노인성 질환 중 하나이다. 이에 따라 본 연구에서는 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 천연물 중 치매 예방에 도움을 주는 천연물을 탐색하고자 하였다. 먼저 천연물 추출물 4종의 항산화활성을 측정하기 위해 DPPH radical assay 및 TPC를 실시하였다. 그 후 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유발된 스트레스로부터 신경세포주 PC-12에 대한 보호 효과를 탐색하였다. 신경세포 보호 효과가 높은 녹차 MeOH 추출물로 후속 실험인 LDH release assay와 morphological analysis를 실시한 결과 농도 의존적으로 신경세포를 보호하는 것을 알 수 있었다. 이상의 실험 결과로 녹차 MeOH 추출물이 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유발된 스트레스로부터 신경세포 보호 효과를 가지며, 이는 녹차 MeOH 추출물의 잠재적인 기능을 시사하는 바이다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

과학기술과 의학기술의 발달로 인간의 수명이 연장되면서 사회는 고령화 사회로 진입하였다(2). 현대사회에서의 노인 사망률은 낮아졌지만, 노화로 인한 노인성 질환의 발병률은 증가하고 있다. 노인성 질환으로는 감정 및 행동장애, 치매, 뇌혈관 질환, 파킨슨병, 알츠하이머병 등이 있으며(1), 그중 치매는 해마다 5만 명씩 환자가 증가하는 3대 노인성 질환 중 하나이다. 치매란 뇌의 인지 기능 장애로 인해 일상생활을 스스로 유지하지 못하는 상태 혹은 그러한 질병을 의미한다. 치매의 경우 병의 치료가 아닌 진행 수준을 늦추거나 악화를 막는 것이 최선이기 때문에 사전 예방이 중요한 질병이다. 본 연구에서는 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 천연물 중 치매 예방에 도움이 되는 천연물을 탐색하고자 하였다.

## II. 이론적 배경

대한민국은 저출산 고령화 사회로 0~14세 미만 아동의 수보다 65세 이상 노인의 수가 400만 명 정도 많다. 전체 인구 비율 중 노인 인구의 비율은 18.4%를 차지하며, 노인 인구 비율은 해마다 증가하고 있다. 고령화 사회로 빠르게 진입함에 따라

치매 환자의 수는 급속히 증가하고 있다(3). 중앙치매센터의 통계에 따르면 65세 이상 치매 환자의 경우 해마다 5만 명씩 증가하고 있다. 전 세계적으로 약 3천만 명의 노인들이 치매를 앓고 있으며, 2050년에는 치매를 앓은 노인의 수가 4배로 증가하여 의료 시스템에 부담을 안겨줄 것으로 예상된다(5). 미국과 유럽 등 여러 나라에서 치매 치료제 연구를 진행 중이지만, 현재까지 나온 치료제는 병의 치료가 아닌 진행을 늦추는 수준이기에 사실상 치료가 불가능한 질병이다. 또한, 치매의 치료에 사용되는 약은 메스꺼움과 설사와 같은 위장 문제, 수면 장애, 행동 변화 등의 부작용을 동반한다.

본 창의와 사사 연구팀은 부작용을 최소화할 수 있는 천연물을 이용하여 새로운 치매 치료제를 탐색하는 연구를 진행하고자 한다.

### III. 연구 방법

#### 1. 실험 재료

본 연구에 이용된 천연물 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스)은 시판되는 것을 구입하였다. 실험에 사용된 Folin & Ciocalteu's phenl reagent, Gallic acid, DPPH(2-2-Diphenyl-1-picrylhdrazil), dimethyl sulfoxide (DMSO)는 igma Chemical Co. (St Louis, Mo, USA)로부터 구입하였고 LDH kit는 Dojindo Molecular Technologies, Inc. (Japan)로부터 구입하였다. MTT (3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyl tetrazolium bromide)는 Sigma-Aldrich, (St Louis, Mo, USA)로부터 구입하였다.

세포주 배양에 필요한 Dullbecco's modified Eagles's medium (DMEM), fetal bovin serum (FBS), 0.25% trypsin-EDTA, penicillin streptomycin, horse serum은 Gibco-BRL (Grand Island, NY, USA)로부터 구입하였다.

#### 2. 천연물 추출물 제조 및 농축

천연물 시료 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스)으로 MeOH 추출과 아임계수 추출을 진행하였다. MeOH 추출은 각 시료 5 g에 100 mL methanol을 첨가한 뒤 상온에서 24시간 동안 정치시켜 추출하였다. 추출물을 여과지 (Advantec quantitative filter paper 5C 125mm, Advantec Toyo Kaisha, LTD, Uchisaiwaicho. Japan)에 여과한 후 4°C에 보관하였다.

아임계수 추출은 각 시료 0.1 g와 10 mL 증류수를 스테인리스관(14×1 cm<sup>2</sup>)에 넣고 뚜껑을 막은 후 200°C 고온 가마 (Daeil Engineering, Seoul Korea)에서 15분간 추출하였다. 추출 후에 스테인리스관을 꺼내 실온에서 30분 냉각 후 여과지 (Advantec quantitative filter paper 5C 125mm, Advantec Toyo Kaisha, LTD, Uchisaiwaicho. Japan)에 여과한 후 4°C에 보관하였다.

천연물 추출물의 세포독성 및 신경세포 보호 효과를 확인하기 위해 각 추출물의 농축을 진행하였다. MeOH 추출물과 아임계수 추출물을 각기 다른 25 mL 농축 플라스크에 담아 회전진공농축기 (Rotary vacuum evaporator N-1110, EYELA Worl

d, New York, USA)를 이용하였다. 농축한 추출물은 DMSO (Dimethyl sulfoxide)에 50 mg/mL 농도로 제조하여 4°C에 보관하였다.

### 3. DPPH radical assay

천연물 추출물 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스)의 항산화활성을 측정하기 위해 DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical assay를 실시하였다. Sample은 천연물 4종의 MeOH, 아임계수 추출물 (1 mg/mL) 20  $\mu$ L에 0.2 mM 농도로 제조한 DPPH 용액 80  $\mu$ L를 첨가하였고 blank는 추출물 대신 천연물 추출에 사용한 용매 (증류수, methanol) 20  $\mu$ L를 사용하였다. 대조군으로는 대표적인 항산화제 물질인 ascorbic acid (1 mg/mL) 20  $\mu$ L를 사용하였다. 이후 암실에서 10분간 반응시킨 다음 100  $\mu$ L를 취하여 96-well plate에 분주한 후 Microplate reader (Model 680 Microplate reader, Bio-Rad Lab., California, USA)를 이용하여 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 4. Total Phenolic Content (TPC)

TPC는 시료의 항산화활성을 측정하는 방법은 아니지만, 시료에 함유된 페놀 화합물의 양을 측정함으로써 항산화활성을 예측하는 방법이다(4). Folin-Denis법에 따라 천연물 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스)의 페놀 화합물의 양을 측정하였다. Sample에는 MeOH, 아임계수 추출물 200  $\mu$ L, 멸균수 200  $\mu$ L, 1N Folin 시약 400  $\mu$ L를 혼합하여 3분간 암실에서 반응시킨 후 뒤 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  시약 400  $\mu$ L를 분주하였다. blank는 추출물과 1N Folin 시약 대신 멸균수 600  $\mu$ L를 분주하였다. 암실에서 1시간 반응시킨 뒤 원심분리(3000 rpm, 2분) 후 200  $\mu$ L를 취한 다음 96-well plate에 분주하여 Microplate reader (Model 680 Microplate reader, Bio-Rad Lab., California, USA)를 이용하여 690 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid (10~40  $\mu$ g/mL)를 표준물질로 사용하여 표준검량곡선을 작성하였으며, 페놀 함량은 mg GAE (gallic acid equivalent)/mL로 표시하였다.

### 5. 세포주 배양

이 연구에서 사용한 집쥐의 부신 피질에 발생한 크롬친화세포종에서 유래된 세포주 PC-12는 한국세포은행(KCLB, Seoul)로부터 구입하였다. PC-12는 Dullbecco's modified Eagles's medium (DMEM)에 10% fetal bovine serum (FBS), 5% horse serum (HS), 1% penicillin-streptomycin을 첨가하여 세포 배양에 사용하였다. 37°C, 5%의  $\text{CO}_2$  incubator (MCO-18AIC, SANYO, Osaka, Japan)에서 배양하였다.

### 6. MTT reduction assay

PC-12에 대한 천연물 추출물 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스)의 신경세포

보호 효과를 알아보기 위해 MTT reduction assay를 실시하였다. PC-12를  $1.5 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 96-well plate에 plating 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator (MCO-18AIC, SANYO, Osaka, Japan)에서 24시간 배양하였다. MeOH, 아임계수 추출물의 최종처리농도가 50, 100, 250, 500 µg/mL가 되도록 Sample well에 처리한 뒤 30분 배양하고 스트레스 물질인 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5 mM)을 control을 제외한 모든 well에 10 µL씩 처리 후 1시간 배양하였다. PBS 완충용액에 녹인 MTT (5 mg/mL) 용액을 모든 well에 10 µL씩 분주하여 1시간 동안 반응시켰다. 이후 media를 완전히 제거하고 모든 well에 DMSO 100 µL를 첨가하고 Microplate reader (Model 680 Microplate reader, Bio-Rad Lab., California, USA)를 사용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 천연물 추출물을 처리하지 않은 control을 100%라고 하였을 때 상대적인 세포 생존율을 측정하였다.

## 7. 형태학적 변화 관찰

녹차 MeOH 추출물이 PC-12에 대한 형태학적 변화를 관찰하기 위해 morphological analysis를 실시하였다. PC-12를  $1.5 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 6-well plate에 2 mL씩 plating 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator (MCO-18AIC, SANYO, Osaka, Japan)에서 24시간 배양하였다. 녹차 MeOH 추출물의 최종처리농도가 50, 100, 250, 500 µg/mL가 되도록 Sample well에 처리한 뒤 30분 배양하고 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5 mM)을 control을 제외한 모든 well에 20 µL씩 처리 후 1시간 배양하였다. Phase-contrast microscope (Nikon, Tokyo, Japan)를 이용하여 PC-12의 형태학적 변화를 관찰하였으며, 100배의 비율로 사진을 촬영하였다.

## 8. LDH release assay

PC-12에 대한 녹차 MeOH 추출물의 신경세포 보호 효과를 알아보기 위해 LDH release assay를 실시하였다. PC-12를  $1.5 \times 10^5$  cells/mL의 농도로 96-well plate에 100 µL씩 plating 후 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator (MCO-18AIC, SANYO, Osaka, Japan)에서 24시간 배양하였다. 녹차 MeOH 추출물의 최종처리농도가 50, 100, 250, 500 µg/mL가 되도록 Sample well에 처리한 뒤 30분 배양하고 stress control과 Sample well에 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5 mM) 10 µL 처리 후 30분 배양하였다. Lysis control에 lysis buffer 10 µL를 첨가하여 30분 동안 배양 후 모든 well에 working solution 100 µL를 첨가하여 암실에서 5분간 반응시켰다. 이후 모든 well에 stop solution을 50 µL를 첨가하고 Microplate reader (Model 680 Microplate reader, Bio-Rad Lab., California, USA)를 사용하여 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

#### IV. 연구 결과

##### (1) 천연물 MeOH, 아임계수 추출물의 항산화활성

50 mg/mL로 제조한 천연물 4종(녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스) MeOH, 아임계수 추출물의 항산화활성을 알아보기 위해 DPPH radical assay를 실시하였다. 그 결과 멘틸콩 추출물을 제외하고 항산화활성이 있음을 확인하였다. 루이보스 MeOH 추출물이 가장 높은 활성 (52.2%)을 나타냈으며, 멘틸콩 MeOH 추출물이 가장 낮은 활성 (4.1%)을 나타내었다. 녹차 추출물과 캐모마일 추출물은 비슷한 수치의 항산화활성을 가진 것으로 확인되었다(Table 1).

**Table 1.** 천연물 추출물 4종의 항산화활성. 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스 MeOH, 아임계수 추출물 (1 mg/mL)로 DPPH radical assay를 진행하였다. 대조군으로는 vit c (1 mg/mL)를 사용하였다.

천연물 추출물 (1 mg/mL)	Survival (%)	
	MeOH	아임계수
녹차	33.2	27.9
멘틸콩	4.1	19.6
캐모마일	29.8	34.3
루이보스	52.2	34.4
vit c	75.2	

##### (2) 총 페놀 함량 측정

페놀 화합물은 식물에 많이 존재하며 항산화활성을 나타낸다고 알려져 천연물 추출물 4종의 총 페놀 함량을 측정하였다. methanol과 아임계수로 추출한 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스의 총 페놀 함량을 Table 2에 나타냈다. 녹차 아임계수 추출물이 다른 시료의 추출물보다 높은 페놀 함량을 나타내었다. 녹차 아임계수 추출물이 가장 높은 페놀 함량 (2.2077 mg GAE/mL)을, 녹차 MeOH 추출물이 가장 낮은 페놀 함량 (0.7859 mg GAE/mL)을 나타내었다. 다른 시료의 추출물은 서로 비슷한 페놀 함량을 가지고 있는 것으로 확인되었다.

**Table 2.** 천연물 추출물 4종의 총 페놀 함량. 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스 MeOH, 아임계수 추출물 원액을 이용하여 Total Phenolic Content (TPC)를 진행하였다.

TPC	Content (mg GAE/mL)	
	MeOH	아임계수
녹차	0.7859	2.2077
멘틸콩	0.1056	0.2956
캐모마일	1.0302	1.0217
루이보스	1.6313	1.5113

### (3) PC-12에 대한 천연물 MeOH, 아임계수 추출물의 세포 보호 효과

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로부터 유도된 스트레스로부터 신경세포 보호 효과를 알아보기 위해 천연물 추출물 4종을 최종처리농도 50, 100, 250, 500 µg/mL로 PC-12 세포에 처리하여 배양한 후 MTT reduction assay를 실시하고 formazan 형성량을 통해 세포 생존율을 측정하였다(Table 3). MTT 결과 천연물 추출물을 처리하지 않은 것을 control 100%라 할 때 녹차 MeOH 추출물이 농도 의존적으로 신경세포 보호 효과가 나타났다. 또한 녹차 MeOH 추출물을 제외한 모든 추출물의 농도에서 유의미한 차이가 없음을 알 수 있었다. 이는 신경세포 보호 효과가 없음을 나타낸다. 이를 토대로 녹차 MeOH 추출물을 후속 연구에 사용하였다(Fig 1, Fig 2).

**Table 3. PC-12에 대한 천연물 추출물 4종의 보호 효과.** 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스 (a) MeOH (b) 아임계수 추출물을 PC-12에 처리하고 24시간 후 MTT reduction assay를 진행하였다.

(a)

MeOH 추출물 (µg/mL)	Survival (%)			
	50	100	250	500
녹차	30.1	30.6	41.9	57.7
멘틸콩	21.5	22.7	24.5	21.5
캐모마일	28.2	22.8	29.3	26.3
루이보스	26.3	27.3	27.6	28.7

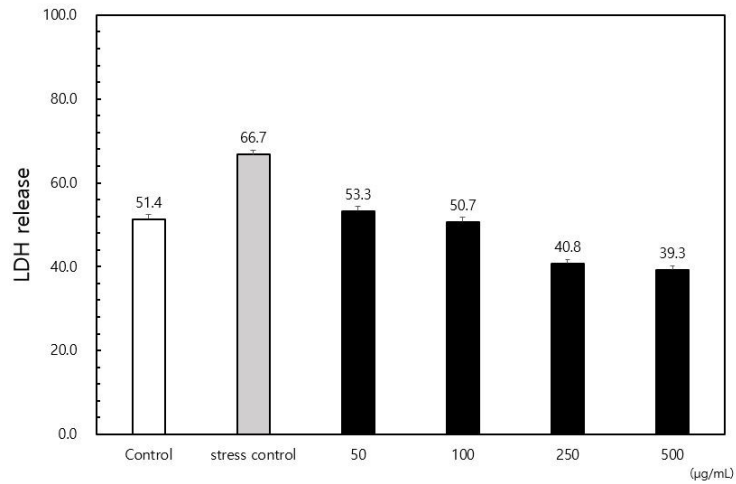
(b)

아임계수 추출물 (µg/mL)	Survival (%)			
	50	100	250	500
녹차	29.8	26.3	29.9	28.5
멘틸콩	22.4	23.9	27.2	27.6
캐모마일	20.7	26.2	25.9	28.6
루이보스	24.6	26.9	28.7	29.0

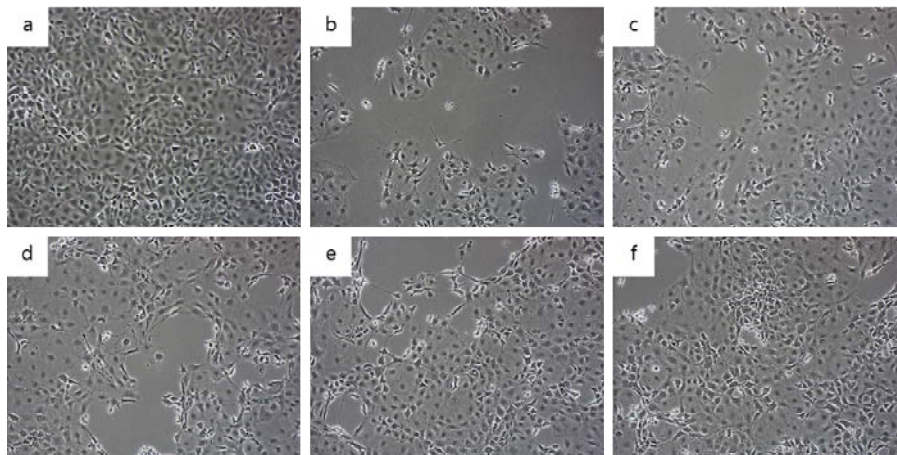
### (4) PC-12에 대한 녹차 MeOH 추출물의 세포 보호 효과

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로부터 유도된 스트레스로부터 신경세포 보호 효과를 알아보기 위해 녹차 MeOH 추출물을 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (5 mM)만 처리한 stress control과 비교하여 PC-12에 대한 신경세포 보호 효과를 LDH release assay와 morphological analysis를 통해 확인하였다(Fig 1, Fig 2). LDH 결과 stress control (66.7%)과 녹차 MeOH 추출물 50 µg/mL (53.3%), 100 µg/mL (50.7%), 250 µg/mL (40.8%), 500 µg/mL (39.3%)의 농도를 비교하였을 때 농도 의존적으로 신경세포를 보호함을 확인하였다(Fig 1). Morphological analysis를 통해 형태학적 변화를 관찰한 결과 stress control과 비교

하였을 때 농도 의존적으로 세포 응축이 감소하는 것을 확인하였다(Fig 2).



**Fig 1.** PC-12에 녹차 MeOH 추출물을 처리하여 LDH release assay를 통해 세포 보호 효과 확인. 아무것도 처리하지 않은 control과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM만 처리한 stress control, 녹차 MeOH 추출물 최종처리농도 50, 100, 250, 500 µg/mL를 처리하여 24시간 후 LDH release assay를 통하여 측정하였다.



**Fig 2.** PC-12에 녹차 MeOH 추출물을 처리하여 형태학적 변화를 통해 신경 세포 보호 효과 확인. PC-12 세포주에 아무것도 처리하지 않은 control과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM만 처리한 stress control, 녹차 MeOH 추출물 최종처리농도 50, 100, 250, 500 µg/mL로 처리하여 24시간 후에 현미경 관찰을 통해 형태학적 변화를 관찰하였다. (a: control, b: stress control (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM), c: 녹차 50 µg/mL+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM, d: 녹차 100 µg/mL+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM, e: 녹차 250 µg/mL+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM, f: 녹차 500 µg/mL+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 5 mM.)

## V. 결론 및 제언

천연물은 부작용이 적고 안전성 및 안정성이 높으며, 식물, 동물, 미생물 및 광물과 이들의 대사산물을 의미한다. 본 연구에서는 천연물 추출물에서 항산화 활성을 가지는 물질을 찾고자 하였으며, 천연물 4종은 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스를 사용하였다. 본 연구에서는 녹차, 멘틸콩, 캐모마일, 루이보스를 각각 MeOH 추출과 아임계수 추출을 한 후 항산화 활성, 페놀 함량, 신경세포 보호효과 등의 생리활성을 탐색하였다.

항산화 활성 측정을 위해 DPPH radical assay, Total Phenolic Content (TPC)를 실시하였다. DPPH 결과 멘틸콩 추출물을 제외한 추출물에서 항산화 효과가 있음을 확인하였다. MeOH 추출물에서는 루이보스가 가장 높은 활성 (52.2%)을 나타냈으며, 아임계수 추출물에서는 캐모마일과 루이보스가 가장 높은 활성 (34.3%, 34.4%)을 나타내었다. 아임계수 추출물과 MeOH 추출물을 비교했을 때 MeOH 추출물의 항산화 활성이 더 높음을 알 수 있다(Table 1). TPC 결과 MeOH 추출물에서는 루이보스 추출물이 가장 높은 페놀 함량 (1.6313mg GAE/mL)을 나타내었고, 아임계수 추출물에서는 녹차 추출물이 가장 높은 페놀 함량 (2.2077 mg GAE/mL)을 나타내었다(Table 2).

천연물 추출물 4종의 신경세포 보호 효과를 확인하기 위해 MTT reduction assay를 실시하였다. MTT 결과 아임계수 추출물에서는 신경세포주 PC-12에 대한 신경세포 보호 효과가 없음을 확인하였다. MeOH 추출물에서는 녹차 추출물이 농도 의존적으로 신경세포 보호 효과를 나타냈으며, 이를 토대로 후속 연구에 녹차 MeOH 추출물을 사용하였다(Table 3). 녹차 MeOH 추출물의 신경세포 보호 효과를 확인하기 위해 LDH release assay와 형태학적 변화를 관찰하였다. LDH 결과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유도된 스트레스로부터 녹차 MeOH 추출물이 신경세포주 PC-12를 농도 의존적으로 보호하는 것을 알 수 있었다(Fig 1). 형태학적 변화 관찰 결과 Fig 2와 같이 신경세포주 PC-12에서 아무것도 처리하지 않은 대조군의 세포는 정상적으로 성장하며, 녹차 MeOH 추출물이 처리된 세포주에서 농도 의존적으로 세포 응축이 감소되는 것을 관찰하였다.

이와 같은 결과를 통해 녹차 MeOH 추출물이 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유발된 스트레스로부터 신경세포 보호 효과를 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 녹차 MeOH 추출물의 잠재적인 기능을 이용하여 치매 치료제의 가능성을 제시하는 바이다.

## VI. 참고문헌

- (1) Chul Hong Kim, Bokyung Sung, Kyung Jin Jung, and Hae young Chung (2004), 노화와 노인성 질환, 대한한방내과학회지.
- (2) Gahee Ryu, Choong Je Ma (2021), Neuroprotective Activity of *Spirulina maxima* Hot Ethanol Extract, Kor. J. Pharmacogn, 52(3), 149-156.

(3) Un-Je Park (2017), Trends Analysis of Characteristics in Patient with Dementia, *Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society*, 18(1), 202-209.

(4) Min-Jung Kim & Eunju Park (2011), Feature analysis of different *In vitro* antioxidant capacity assays and their application to fruit and vegetable samples, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 40(7), 1053-1062.

(5) Azher Arafah, Saima Khatoon, Iyman Rasool, Andleeb Khan, Mashoq Ahmad Rather, Khaled Abdullah Abujabal, Yazid Abdullilah Hassan Faqih, Hina Rashid, Shahzada Mudasir Rashid, Sheikh Bilal Ahmad, Athanasios Alexiou and Muneeb U. Rehman (2023), The Future of Precision Medicine in the Cure of Alzheimer's Disease, *Biomedicines*, 11(2), 335.



화학C

## 04\_물의 어는점 탐구



# 물의 어는점 탐구

박영재 (순천연향중학교 2학년)

지도교수 : 최원호 (순천대학교 화학교육학과)

## 초록

겨울철 쌓인 눈이 얼지 않게 하기 위해 염화칼슘을 뿌린다. 염화칼슘을 뿌리면 눈이 얼지 않는 이유는 무엇일까.

우선 어는점은 물체가 액체에서 고체로 상태변화하는 동안 일정하게 유지되는 온도를 말한다. 부피를 달리하여 물의 어는점을 측정하는 실험을 통해 물의 어는점은 부피에 관계없이 항상 일정하다는 것을 알았다. 그렇다면 물에 포도당과 설탕, 염화나트륨을 넣어 수용액을 만들어 그 어는점을 측정해보면 겨울철 염화칼슘을 뿌렸을 때 얼음이 생기지 않는 이유를 알 수 있다.

포도당과 설탕수용액의 어는점은 순수한 물의 어는점보다 낮다. 용질의 입자가 용매의 인력을 방해하기 때문에 얼리기 위해 더 낮은 온도가 필요하기 때문이다. 염화나트륨은 포도당과 설탕보다 어는점이 더 낮다. 비전해질 물질인 포도당과 설탕과 달리 염화나트륨은 전해질 물질로 수용액이 되면 이온으로 나뉘진다. 분해된 입자들이 물 분자사이의 인력을 방해한다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

겨울철 눈이 쌓였을 때 염화칼슘을 뿌려 눈을 녹게 하는 걸 본 적이 있다. 눈에다가 염화칼슘을 뿌리면 단순히 눈을 녹이는 것만이 아니라 눈이 다시 얼지 못하게 한다는 사실을 듣고 신기했던 경험이 있다. 이처럼 물에 다른 물질을 섞어 어는점을 바꾸는 경우가 있다. 그렇다면 과연 어는점은 물의 특성일까? 다른 물질을 섞었을 때 어는점은 어떻게 변화하는가? 라는 질문을 통해 이번 연구를 시작하게 되었다.

가설1. 물의 어는점은 물의 특성일 것이다.

가설2. 물에 다른 물질을 섞으면 어는점이 내려갈 것이다.

## II. 이론적 배경

어는점은 물체가 액체에서 고체로 상태가 변화하는 동안 일정하게 유지되는 온도<sup>1)</sup>를 말하며, 물질의 특성이란 다른 물질과 구별되는 그 물질만이 가지는 고유한 성질<sup>2)</sup>을 뜻한다. 어는점이 물의 특성이라면 물의 부피가 변함에 따라 어는점이 바뀌지 않아야 한다. 열평형 상태는 온도가 다른 두 물체를 접촉시켰을 때 두 물체의 온도가 같아져서 더 이상 열의 이동이 일어나지 않는 상태를 뜻하는데, 이때 고온의 물체가 잃은 열량만큼이 저온의 물체가 얻은 열량이 되고, 이를 이용하여 흡열작용이 일으키면 물체를 차갑게 만들 수 있다.<sup>3)</sup>

또한, 비휘발성 용질인 포도당과 설탕 등을 섞었을 때는 용질 입자가 용매 입자의 인력을 방해하므로 용액을 열리기 위해서는 순수한 용매보다 더 낮은 온도가 필요하게 되고, 이로서 어는점이 낮아진다.<sup>4)</sup> 총괄성이란 용액에 녹아있는 용질의 종류가 아닌 용질의 입자수에 의해서만 결정되는 용액의 성질을 말하며, 예시로는 어는점 내림이 있다. 순수한 용매에 용질을 첨가하여 용액을 만들면, 용액의 어는점이 용매의 어는점보다 낮아지는데, 이 현상을 어는점내림이라고 한다.<sup>5)</sup>

## III. 연구방법

- 1) 20, 30, 40ml가 들어있는 시험관 3개를 준비한다.
- 2) 시험관에 온도 센서, 인터페이스, 노트북을 연결하고, 온도 센서가 물의 중간쯤 잠기게 한다.
- 3) MBL 프로그램 메뉴의 실험>데이터 수집 메뉴를 선택하여 모드를 시간기반 모드로, 수집 시간을 각각 물을 30분 ( 1800초 ), 수집 간격을 1샘플/초로 설정한다
- 4) 묽은 소금과 얼음이 든 1000mL 비커를 준비한다. 이때, 얼음과 소금의 비율은 3 : 1로 한다.
- 5) 한제가 담긴 통에 용액이 든 시험관을 꽂고, 온도계가 시험관의 벽면에 닿지 않도록 하여 어는점을 측정 후 각각 표에 기록한다.
- 6) 표에 기록된 값을 어는점 내림값과 그래프로 정리한다.
- 7) 몰랄 농도를 다르게 한 포도당 수용액 여러개를 준비한다.
- 8) 각 몰랄 농도당 3개의 시험관에 각각 30ml의 수용액을 넣는다.
- 9) 과정 2부터 과정 6까지를 반복한다.
- 10) 몰랄 농도를 다르게 한 설탕 수용액 여러개를 준비한다.

1) <https://ko.m.wikipedia.org/wiki/녹는점> / 홍훈기 외 6, 고등학교 화학 II, 교학사(2015 개정), 103

2) <http://study.zum.com/book/14371> / 일반화학교재편찬위원회, 일반 화학, 북스힐(2013) 496-503

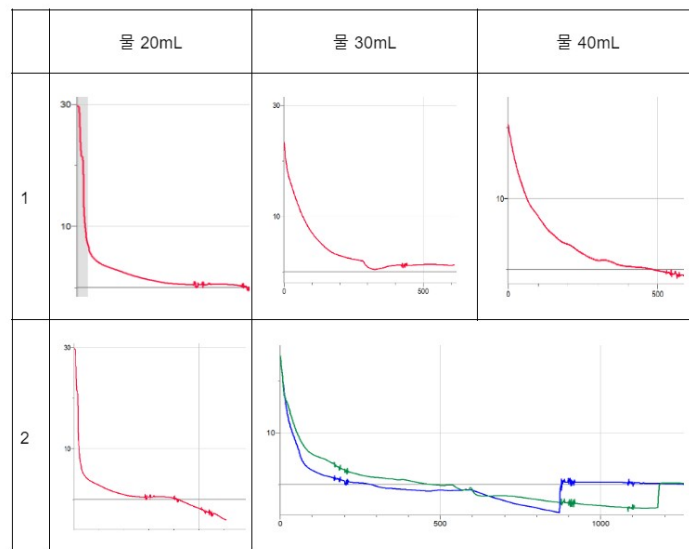
3) <http://study.zum.com/book/12105> / 김성진 외 15, 중학교 과학 II, 미래엔(2015개정), 274

4) <http://study.zum.com/book/14371> / 일반화학교재편찬위원회, 일반 화학, 북스힐(2013) 496-503

5) [.ko.wikipedia.org/wiki/총괄성#끓는점\\_오름과\\_어는점\\_내림](https://ko.wikipedia.org/wiki/총괄성#끓는점_오름과_어는점_내림) / 위키피디아(2022)

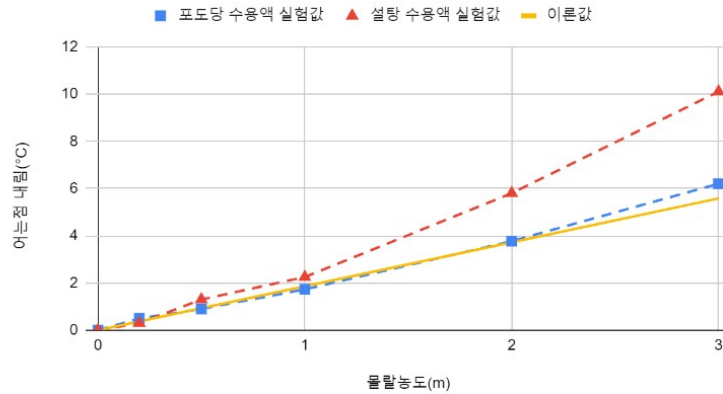
- 11) 각 몰랄 농도당 3개의 시험관에 각각 30mL의 수용액을 넣는다.
- 12) 과정 2부터 과정 6까지를 반복한다.
- 13) 이론값과 포도당 수용액의 어는점내림값, 설탕 수용액의 어는점내림값을 정리하여 비교한다.
- 14) 몰랄 농도를 다르게 한 NaCl 수용액을 통해 똑같은 실험을 반복한다.
- 15) NaCl 수용액 어는점내림값, NaCl 이론값, 포도당 수용액 어는점내림값, 설탕 수용액 어는점내림값, 포도당과 설탕 이론값을 각각 그래프에 그려 비교한다.

#### IV. 연구결과



물이 20ml 일때, 30ml 일때, 40ml 일때 모두 비슷한 형태의 그래프가 나타난다. 물이 담긴 시험관을 한제가 담긴 비커에 꽂고 온도계로 온도 측정을 시작하면 물의 온도가 급격히 떨어지기 시작해 온도가 낮아지는 속도가 서서히 느려지다가 약 60초가량 일정하게 유지되는 구간이 생긴다. 일정하게 유지되는 구간이 어는점 이다. 실험1에서 각각 양을 달리한 물의 온도가 0.4°C 인채로 유지됐다. 실험2에서도 마찬가지로 물의 온도가 0.4°C 인채로 유지 됐다. (실험2 그래프 - 파란색 30ml 초록색 40ml)

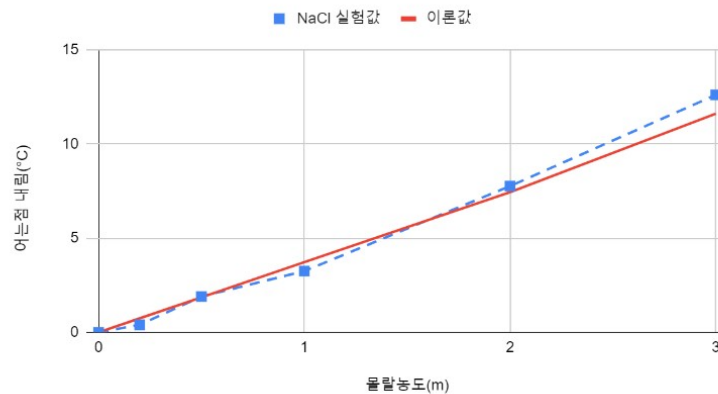
포도당 수용액 실험값, 설탕 수용액 실험값, 이론값



포도당 수용액과 설탕 수용액의 몰랄농도를 변화시키면서 어는점을 측정한 결과, 0 몰랄농도에서는 모두 0.2°C, 0.5 몰랄농도에서는 각각 -0.7, -1.1°C, 2몰랄농도에 서는 -3.57, -5.6°C로 농도가 짊어질수록 어는점이 낮아지는 추세를 보였다.

일반적으로 묽은 용액에서는 용질 입자와 용매 입자 간의 상호작용이 없어서 용질 의 종류에 관계없이 용매의 어는점 내림값은 항상 같지만, 이 실험의 짊은 용액에 서는 용질-용매 상호작용이 발생해 용액의 몰랄농도 이론값과 다르게 나왔다. 특히 포도당에 비해 분자의 크기가 큰 설탕은 그 상호작용이 더 활발하게 일어나 어는점 내림 값의 차이가 크게 났다.

NaCl 실험값과 이론값 비교



NaCl 또한 농도가 짊어질수록 어는점 내림이 커졌다. NaCl은 전해질이며, 전해질 은 물에 녹으면 이온으로 분해되어 이온 수만큼 어는점 내림이 영향을 받는다.

## V. 결론 및 제언

물의 어는점은 물질의 특성이다. 다른 부피의 물이어도 어는점이 모두 0.4도로 같 게 측정됐기 때문이다. 겉보기 성질과 끓는점, 녹는점과 같은 세기 성질은 물질의

특성이 된다. 따라서 물의 어는점은 물질의 특성 중 세기 성질로서 물질의 특성이 될 수 있다.

물에 다른 물질을 섞으면 어는점 내림이 커진다. 용질 입자는 용매 입자의 인력을 방해한다. 용액이 언다는 것은 용매 입자 간에 인력이 작용해 서로 모인다는 것인데, 용액의 농도가 더 짙을수록 수용액에 들어있는 용질 (포도당, 설탕) 입자가 많기 때문에 많은 양의 용질 입자가 용매 입자의 인력을 방해한다. 그러므로 용액을 얼리기 위해서는 순수한 용매보다 더 낮은 온도가 필요하고, 어는점이 낮아진다. 극성 분자 간에는 상호작용이 존재한다. 물 분자와 포도당, 설탕 모두 극성 분자이다. 따라서 수용액을 냉각할 때 용매인 물 분자와 용질이 상호작용하여 냉각을 방해해 어는점이 낮아진다.

또 비전해질 물질보다 전해질 물질로 만든 수용액의 어는점 내림이 더 크다. 전해질은 수용액 상태에서 이온으로 쪼개져 전류가 흐르는 물질이다. 전해질은 용해되면 물질은 양이온과 음이온으로 분리되어 용매 전체에 균일하게 분산된다. 분해된 입자들이 물 분자사이의 인력을 방해한다.

## VI. 참고문헌

<https://ko.m.wikipedia.org/wiki/녹는점> / 홍훈기 외 6, 고등학교 화학 II, 교학사(2015 개정)

<http://study.zum.com/book/12105> / 김성진 외 15, 중학교 과학 II, 미래엔(2015개정)

<http://study.zum.com/book/12105> / 김성진 외 15, 중학교 과학 II, 미래엔(2015개정)

<http://study.zum.com/book/14371> / 일반화학교재편찬위원회, 일반 화학, 북스힐(2013) 496-5033)

[.ko.wikipedia.org/wiki/총괄성#끓는점\\_오름과\\_어는점\\_내림](https://ko.wikipedia.org/wiki/총괄성#끓는점_오름과_어는점_내림) / 위키피디아(2022)

2022 영재원 어는점 연구 최종보고서



화학C

05\_칼슘 알지네이트를 이용한 구리의 흡착 및  
탈착



# 칼슘 알지네이트를 이용한 구리의 흡착 및 탈착

손재민 (약사중학교 2학년)  
이가인 (울산중학교 2학년)  
이동건 (상안중학교 3학년)  
이예준 (남외중학교 2학년)

지도교수 : 이학성 (울산대학교 화학공학과)

## 초록(300-500자)

중금속의 경우 인간의 생활에 따른 환경오염 때문에 지속적으로 발생하고 있으며, 체내에 흡수되면 분해가 잘 되지 않고 축적성이 높다. 또한 체내에 흡수된 중금속은 미량으로도 발열, 두통, 구토 등의 장애가 발생할 수 있으며, 장기간 축적되는 경우 뼈와 신장의 손상 등을 일으킬 수 있어 큰 문제가 되고 있다.

본 연구에서는 중금속을 처리하는 방법 중 생물학적 흡착을 이용하는 방법으로 갈색 해조류의 일종인 다시마에 포함된 흡착제인 알긴산을 추출한 알긴산나트륨으로부터 칼슘 알지네이트 비드를 제조하였으며, 칼슘 알지네이트 비드를 사용하여 구리용액의 흡착 및 탈착 실험을 수행하였다. 흡착반응 시간에 따라 비드의 색이 변하는 것을 확인하였으며, 일정 시간격으로 시료를 채취 및 분석하여 구리 이온의 농도 및 pH 변화를 측정하였다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

산업화 및 도시화가 활발하게 진행됨에 따라 중금속은 수질오염, 폐기물 처리 등 사회적인 이슈가 되고 있다. 특히 도금 산업, 금속 제련 공업 등에서 배출되는 각종 폐기물에 들어있는 중금속인 구리, 카드뮴, 납 등은 플랑크톤이나 조류의 체내에 들어가 중금속이 2차 소비자인 물고기에게 옮겨지게 되고 최종적으로는 인간에게 전해지게 되어 인체에도 심각한 영향을 미치게 된다. 이 폐기물 안에 들어있는 중금속을 추출하기 위해 여러 가지 방법을 사용하고 있지만 오염을 완전히 처리하기는 어렵다.

이러한 중금속을 처리하는 방법으로는 이온 교환법, 전기분해법, 침전법 등이 있지만 모두 고가의 가격이나 2차 공해 등의 문제로 비경제적이다. 하지만 생물학적 흡착을 이용하여 폐수 중에 함유되어 있는 중금속을 제거하는 방법은 기술개발의 잠재력이 높아 향후 중금속 공정기술로 이용할 가능성이 높다. 이 기술의 장점으로 중금속의 선택적인 제거가 가능하며, 다른 공정보다 중금속 제거 속도가 빠르다. 생물학적 흡착제로는 균류나 박테리아, 조류 등이 있는데 그 중 조류를 이용한 방법이 가장 경제적이고 효율이 높은 것으로 알려져 있다.

해조류는 총 3가지로 나뉘는데 홍조류, 갈조류, 녹조류로 나뉜다. 해조류의 소화율은 낮은 편이지만 비타민 A와 칼슘, 철, 인 등의 무기질을 다량 함유하고 있다.

갈색해조류는 그 흡착 특성이 가장 효율적인 것으로 알려져 있으며, 미역과 *Ascophyllum nodosum*의 흡착량이 바이오매스 건조무게의 30% 이상까지 흡착하는 것으로 알려져 있다. 우리가 자주 섭취하는 갈색해조류인 다시마(*Laminaria japonica*)나 미역에는 알긴산이 다량 함유되어 있으며, 다시마나 미역에 있는 칼슘은 식물성 칼슘이기 때문에 동물성 칼슘보다 흡수율이 더 높다.

알긴산(Alginic acid)은 카르복시기(-COOH)가 대부분 칼륨, 나트륨, 칼슘과 결합하여 존재한다. 1가 금속인 나트륨, 칼륨과 결합된 알긴산은 물에서 잘 용해된다. 하지만 2가 금속인 칼슘과 마그네슘과 결합된 알긴산은 물에 용해되지 않는다. 알긴산은 흡착반응이 활발하고 스트론튬과 같은 방사성물질과도 반응하고 카드뮴, 바륨, 구리, 망간등의 중금속까지 반응한다.

따라서 본 연구에서는 갈색해조류의 일종인 다시마에 포함된 알긴산을 이용하여 칼슘-알지네이트(Calcium alginate) 구슬을 만들어 구리의 흡착량 및 칼슘의 탈착량과 pH 변화를 조사하였다.

## II. 이론적 배경

알긴산은 우리가 자주 섭취하는 미역이나 다시마 등 갈조류에 많이 포함하고 있으며, 알긴산의 카르복시기이 칼슘, 나트륨, 칼륨 등과 결합하여 존재한다. 알긴산 칼륨이 우리 몸 속에 들어가게 되면 위장의 작용으로 칼슘이 떨어져 나가게 된다. 이로 인해 약알칼리성을 띄게 되어 장 내의 다른 무기물과 결합하는데, 주로 나트륨과 많이 결합되며 결합된 알긴산 나트륨은 소화되지 않고 변과 함께 배출된다. 또한 떨어져 나간 칼륨은 장 내에 흡수되어 혈액의 나트륨과 치환되어 혈압강하 작용으로 혈압을 낮추게 된다[1]. 알긴산은 선형의 공중합체로 글리코사이드 결합으로 연결된 D-만누론산과 L-글루론산으로 이루어져 있다. 자연에서는 주로 알긴산 형태보다는 금속 염 형태인 알지네이트 구조로 발견되며, 알칼리 금속인 나트륨, 칼륨, 그리고 알칼리 토금속인 칼슘으로부터 형성된 알긴산 염들이 빈도 높게 사용된다[2].

알지네이트는 물을 빠르게 흡수하는 성질을 가진다. 때문에 건조 식품의 수분복원성을 우수하게 만드는 식품 첨가제로 사용되거나 음료, 아이스크림, 젤리등의 식품 점도 증강을 위해 첨가된다. 또한 다양한 의약품 제조에도 사용되는데, 예를 들어 속 쓰림과 위산 역류를 치료하는 의약품의 주성분으로 이용된다. 알지네이트의 높은 수분 흡수력은 알지네이트 하이드로젤 형성을 유도한다. 형성된 하이드로젤은 뇌 조직 재생 및 골격 재생 등의 재생 의학 연구에 사용되어, 전 세계적으로 알지네이트 응용연구가 활발히 진행되고 있다[3],[4].

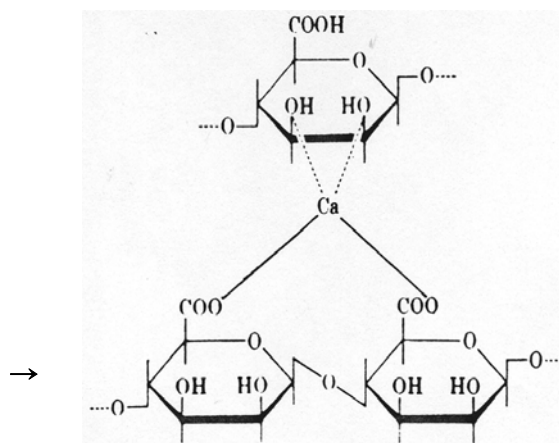
중금속(Heavy metal)은 화학자들 사이에서 일반적으로 받아들여지는 정의에 따르면, 중금속은 주기율표에서 구리와 납 사이에 있는 원자 질량이 63.546에서 200.59 사이이고, 비중이 4.5보다 큰 원소 집합을 말한다. 대표적으로 수은, 납, 카

드륨, 비소, 크롬 등이 있다. 이러한 중금속들은 인체에 노출되면 건강에 해로울 수 있으며, 지구 환경에도 영향을 미칠 수 있다. 중금속이 인체에 노출될 경우, 호흡기, 신장, 심혈관계, 중추신경계 등에 영향을 미칠 수 있다. 또한 중금속의 장기간 노출은 암, 뇌손상, 피부손상 등을 일으킬 수 있다[5]. 납, 카드뮴, 수은, 크롬, 비소 등과 같은 중금속은 주로 인간의 생활환경 오염 때문에 발생되며, 체내 축적성이 높아 공중보건학적으로 커다란 문제로 대두되고 있다. 체내에 흡수된 중금속은 혈액을 통하여 머리카락과 체내 각 장기조직에 축적된다. 또한 중금속류의 체내 체류 시간도 혈액이나 오줌 속에서는 비교적 짧지만, 머리카락의 경우에는 비교적 장시간 지속된다[6].

### III. 연구 방법

#### ▪ 칼슘 알지네이트 구슬 제조

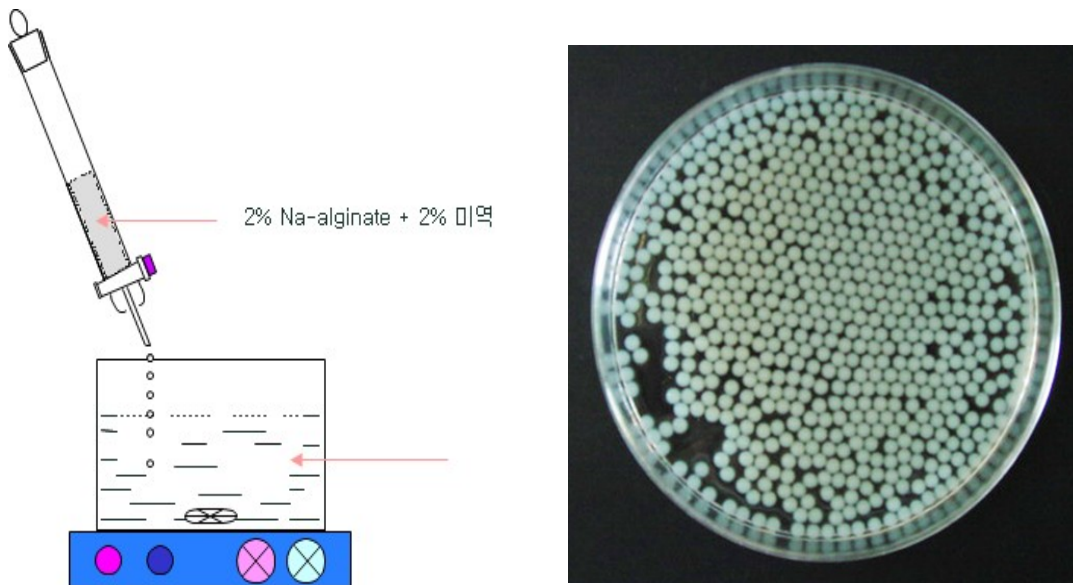
시중에 판매되는 알긴산은 나트륨 알지네이트 형태로 되어 있으므로 L-글루론산의 카르복실기가 1가 양이온과 결합되어 상온에서 약 4%의 수용액으로 용해된다. 1가인 나트륨 이온이 2가의 칼슘 이온과 치환반응을 일어나면 경화가 진행되어 하이드로젤을 형성한다. 이때 알긴산의 고분자 구조가 2가 양이온을 감싸고 있는 형태인 “egg-box” 구조를 형성하게 된다. 따라서 알긴산 수용액에는 이온 가교로부터 생성된 하이드로젤이 칼슘 알지네이트 구슬 형태로 존재하게 된다([그림 3-1] 참조).



[그림 3-1] 나트륨 알지네이트 및 칼슘 알지네이트의 기본 구조

본 실험에서는 2%의 나트륨 알지네이트(DUKSAN PURE CHEMICAL사 99% 순도의 특급시약)을 3차 증류수에 용해시켜 수용액으로 제조한 후, 이 용액을 2% CaCl<sub>2</sub> (대정화금(주) 99% 순도의 특급시약) 용액 400 mL 속으로 한 방울씩 떨어뜨리면서 magnetic bar로 교반시키면, 나트륨 알지네이트 방울의 표면에서부터 Na 이온과 Ca 이온이 치환되면서 Ca-alginate 구슬이 형성되었고, 약 40℃에서

건조기로 24시간 건조시켜 흡착 및 탈착 반응에 사용하였다([그림 3-2] 참조).



[그림 3-2] 알긴산 칼슘(Ca-alginate) 구슬 생성 과정

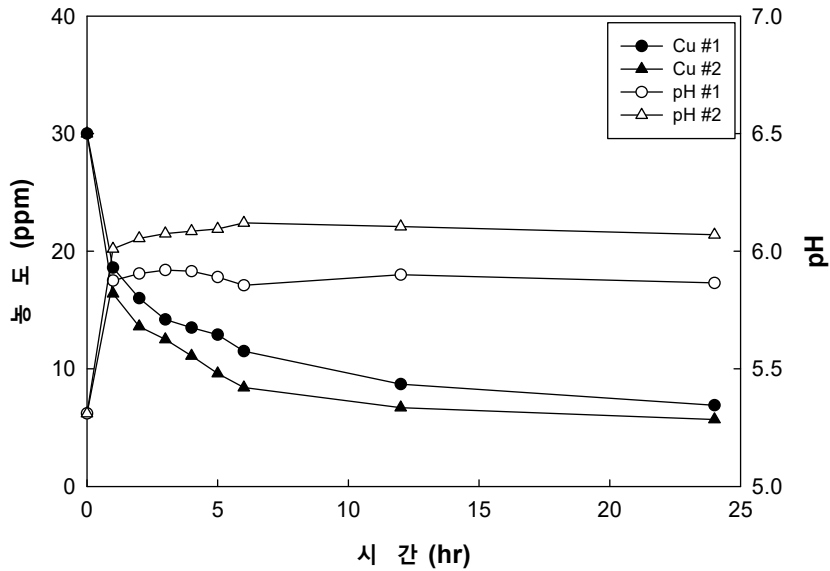
#### ■ 흡착 및 탈착 실험

본 연구는 구리이온의 흡착 및 탈착 실험을 진행하였다. 흡착 실험은 제조하여 건조된 Ca-alginate를 각각 1g, 2g을 질산구리 용액에 넣고 교반하며, 24시간 동안 시료 채취와 pH 농도를 측정하였다. 탈착 실험은 흡착 실험에서 구리를 흡착한 Ca-alginate 구슬을 각각 질산 용액에 넣고 교반하며, 4시간 동안 30분 간격으로 시료 채취와 구리농도 및 pH를 측정하였다. 흡착 실험 및 탈착 실험에서 채취한 시료는 유도 결합 플라즈마 질량 분석법(ICP-MS)으로 용액시료 내 구리 이온의 농도를 분석하였다.

### IV. 연구 결과

#### ■ 칼슘 알지네이트의 구리 흡착

칼슘 알지네이트의 구리 흡착능을 확인하기 위해 0.5 mM의 질산구리 용액(대정 화금(주) 99% 순도의 특급시약, 구리 이온 농도 : 31.8 ppm)에 칼슘 알지네이트를 각각 1g(#1), 2g(#2)을 넣어 100 rpm으로 교반하며, 진행한 흡착실험의 결과를 [그림 4-1]에 나타내었다. [그림 4-1] 그래프의 Y축(좌)은 시간에 따른 질산구리 용액 내 구리 이온의 농도를 나타내며, Y축(우)은 수소 이온 농도(pH)를 나타낸다. 시간에 따른 구리 이온의 농도는 유도 결합 플라즈마 질량분석법(ICP-MS)으로 분석한 결과를 사용하였으며, pH는 pH 미터를 이용하여 측정하였다.



[그림 4-1] 흡착시간에 따른 구리 이온 농도 및 pH 변화

실험 초기에 칼슘 알지네이트 2g을 넣은 경우, 흡착에 따른 질산구리 용액 내 구리 이온의 농도 변화량이 크지만, 시간에 따라 그 차이가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 #2에서 초기 활발한 구리 이온의 흡착이 진행되어, 6시간 이후 질산구리 용액과 칼슘 알지네이트 사이의 구리 이온 농도 차의 감소로 인한 영향으로 판단된다. 또한 질산구리 용액의 구리 이온과 칼슘 알지네이트의 칼슘 이온의 이온 교환이 진행되면서 1시간에서 pH가 급격히 증가하였고, 그 이후로 수렴하는 경향을 확인하였다.

■ 구리가 흡착된 칼슘 알지네이트의 탈착

흡착 실험에서 구리 이온이 흡착된 알지네이트를 0.1M 질산 용액에서 100 rpm으로 교반하며 탈착 실험을 진행하였고 그 결과를 [그림 4-2]에 나타내었다. 질산 용액 내 수소 이온과 구리 이온이 흡착된 알지네이트 사이의 이온 교환으로 시간에 따라 질산 용액 내 구리 이온의 농도가 증가하는 것을 확인하였고, 구리 이온의 농도 변화가 흡착 실험과 비슷한 경향을 보였다. [그림 4-3]에는 흡착된 구리 이온의 양을 탈착 실험의 결과로부터 다음에 나타낸 식으로 계산된 값을 나타내었다.

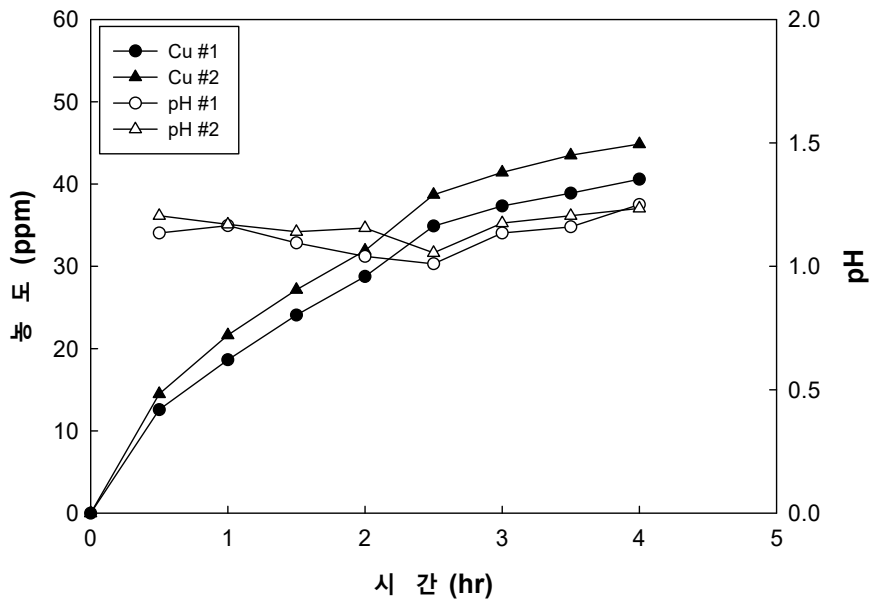
$$q \text{ (mmol/g)} = V * C_f / M \tag{1}$$

q : 알지네이트의 단위 질량당 흡착량 (mmol/g)

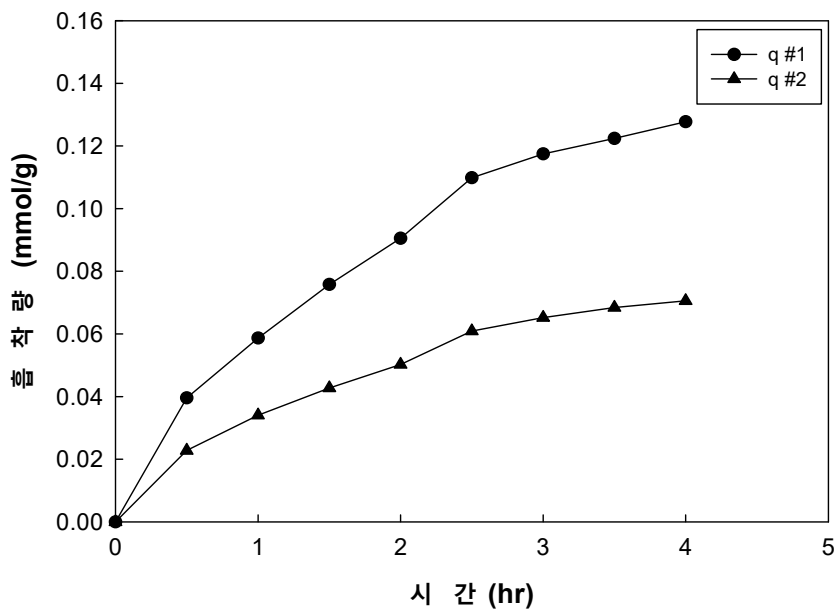
C<sub>f</sub> : 최종 탈착용액의 농도 (mM)

V : 탈착용액의 부피 (L)

M : 흡착실험에 사용된 알지네이트의 최초 무게 (g)



[그림 4-2] 탈착시간에 따른 구리 이온 농도 및 pH 변화



[그림 4-3] 탈착시간에 따른 칼슘 알지네이트 단위 질량 당 흡착량

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 중금속 흡착 능력이 우수하다고 알려진 갈색해조류의 일종인 다시마에 포함된 알긴산을 추출하여 제조된 알긴산 나트륨으로부터 칼슘 알지네이트 구슬을 구리의 흡착 및 탈착 실험에 사용하였으며, 칼슘 알지네이트에 의한 구리 이온의 흡착 및 탈착은 알지네이트의 친화력 세기를 이용한 칼슘 및 수소 이온과의 이온교환 현상을 의미한다. 본 실험으로부터 칼슘 알지네이트 구슬 1 g 당 구리의 흡착량은 약 8.3 mg으로 시중에 판매되는 이온교환수지(10 mg/g) 보다는 조금 낮지만, pH 변화를 활용하여 흡착량을 높일 가능성은 존재하고 있다.

본 연구에서 합성한 칼슘 알지네이트를 이용하여 수용액에 존재하는 구리 이온뿐만 아니라 낮은 농도의 다양한 중금속 이온의 흡착·제거에 활용될 수 있으며, 흡착 및 탈착 용액의 농도, pH의 변화를 이용하여 중금속 제거에 응용될 수 있다.

또한, 생활 주변에서 얻을 수 있는 biomass를 활용하여 공업용수 및 정수기의 필터에 사용하여 중금속이 제거된 수자원 확보에 사용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

## VI. 참고문헌

- [1] “생활 속의 화학 - 해조류와 미네랄”, 울산대학교 영재교육원 중학화학 강의자료, 2022
- [2] 용동희, 송민경, 윤희현, “소듐 알지네이트 농도에 따른 감 갈슘 알지네이트 비드의 물리적 및 관능적 특성”, KOREAN J. FOOD COOKERY SCI, Vol.27, No.5, October, 2011
- [3] 전충, 최석순, “알긴산을 이용한 중금속 제거에 관한 연구”, J. KORRA, Vol.15, No.4, 2007
- [4] 이순홍, 김광국, 이상훈, “화학적으로 개질된 알긴산의 중금속 제거능”, Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 21, No. 6, 569-574, 2005
- [5] “중금속”, 위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/중금속>, 2023.04.02.
- [6] “중금속 오염”, 한국대기환경학회, <http://www.kosae.or.kr/temp/2014/2/09-20140317.pdf>, 1-4, 2011



화학C

06\_골드-팔라듐 나노입자 합성과 촉매를 통한  
에탄올 분해 반응



# 골드-팔라듐 나노입자의 합성과 촉매를 통한 에탄올 분해 반응

강민석 (진주중학교 2학년)

노재홍 (문산중학교 2학년)

이수빈 (문산중학교 2학년)

최라운 (선인국제중학교 2학년)

지도교수 : 이영욱 (경상국립대학교 화학교육과)

## 요약(초록)

현대 기술에 있어 나노 기술은 주목 받고 있는 기술이다. 나노입자가 형성 되면 다양한 광학적, 전기화학적, 촉매적 특성을 지니고 있으며, 나노입자의 구조체 형성에 따라서 합금, 코어-셸 구조 등 형성되는 입자의 구조체에 따라서도 특성이 틀리기 때문에 우주, 반도체, 의학, 에너지, 바이오 기술, 광학 분야 등 다양한 분야에 이용되고 있다. 이 중에서도 지구온난화로 인해 그린에너지를 생산하는 기술이 주목 받고 있으며, 수소나 알콜 분해로 에너지를 얻게 되며 물로 분해되는데 이 반응을 진행하기 위해서는 촉매가 필요하다. 특히 많이 이용되는 촉매는 백금이나 팔라듐 촉매인데 그 중에서 에탄올 분해 반응에는 팔라듐 촉매가 많이 이용되지만, 팔라듐 나노입자의 촉매의 활성은 뛰어난 것에 비해 안정성이 약해 안정성이 많은 금을 많이 도입하고 있다. 따라서 우리는 팔라듐-골드 나노입자를 쉽게 합성하고, 이 입자를 전기화학반응을 통해 에탄올을 분해하는 촉매를 이용하여 촉매의 활성과 안정성을 알아보고자 하였다. 나노입자를 합성하기 위해서는 금속 이온, 환원제, 보호제가 필요하다. 특히 강한환원제와 약한 환원제에 따라서 합금과 코어-셸 구조가 형성되는데 우리는 쉽게 합성하기 위해서 계면활성제가 보호제와 환원제를 동시에 역할을 있는 방법을 택했으며, 특히 이러한 경우 환원제의 역할이 약함으로 인해 코어-셸이 형성될 것이라 예상하였다. 팔라듐, 금, 팔라듐-금 코어-셸 나노입자의 합성은 일상적으로 쉽게 구할 수 있는 계면활성제(보호제)인 주방세제인 아침보리를 이용하고, 보호제는 상온에서는 환원역할이 없기 때문에 오븐을 이용하여 90°C 고온에서 약한 환원제 역할을 할 수 있는 조건을 만들어 주어서 간단하고 쉬운 나노입자 합성법을 개발하였다. 합성한 나노 입자의 구조적 및 나노입자는 색을 띠기 때문에 광학적 특성은 UV-vis 분광법에 의해 관찰하였으며, 크기와 구조를 분석하기 위해서 투과전자현미경 (TEM)을 측정하였으며, 전기화학을 이용하여 촉매의 응용성인 나노입자의 전기화학적 산화 환원 반응과 에탄올 분해 반응을 측정한 결과 Au5@Pd5인 나노입자가 활성과 안정성이 뛰어났다. 따라서 이러한 나노입자를 이용하여 휴대용 기계의 에너지 생산에 이용될 것으로 생각한다.

## I. 서론

인터넷, TV등 언론매체를 통해 나노 기술이라는 단어는 일상생활 속에서 쉽게 듣는 용어이지만, 정확한 개념과 어떠한 기술이며, 다양한 응용성을 가지고 있는지에 대해서는 대답하라고 하면 쉽지 않다. 우리는 일상 속에서 쉽게 듣는 이 과학 분야에 대한 것을 알아보려고 하였다. “ 과연 나노 기술이 무엇이며, 다양한 응용성을 알아보고 우리도 한 번 만들어 보고 응용해 보면 어떨까?”라는 의문점에서 관심을 가지고 이번 연구를 진행하였다. 대표적인 나노입자의 금 나노입자는 다양한 광학적 특성을 있다. 일반적으로 금은 금색이지만, 크기와 모양이 다른 금 나노입자는 노란색, 붉은색, 보라색, 푸른색 등 다양한 광학적 특성이 있으며, 안정성이 뛰어난 장점을 지니고 있다 (a-d), <그림1>.

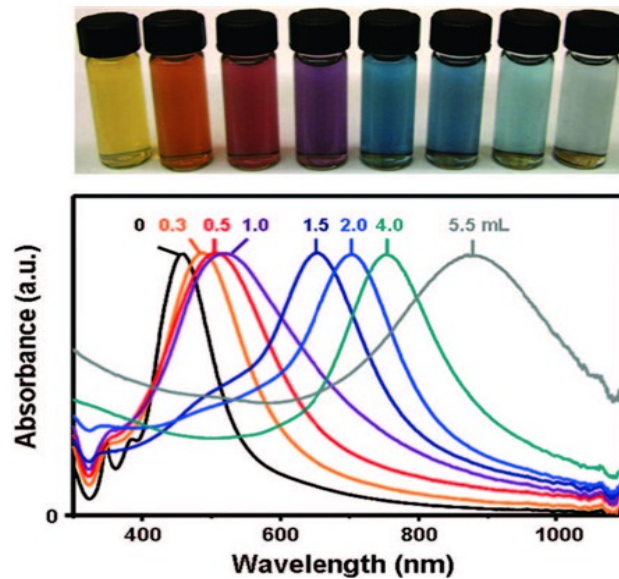


그림 1 . 다양한 광학적 특성을 지닌 금 나노입자

요즘 이슈가 되는 친환경 에너지를 생산하는 촉매로 이용되는 나노입자는 팔라듐, 백금 나노입자가 있다. 이 중에서 팔라듐 나노입자는 알콜 분해 반응을 통해서 에너지를 생산할 수 있으며, 또한 수소 저장이나 유기 반응에 합성 촉매로 많이 이용되고 있고 있다 (e-h). 하지만 이 나노 입자는 산화반응이나 일산화탄소에 강한 흡착력을 지니고 있어 촉매의 안정성이 약한 단점을 지니고 있다. 우리는 이 두 금속의 조합을 하여 나노입자의 촉매의 활성과 안정성을 동시에 향상시키고자 하는 연구를 진행하였다.

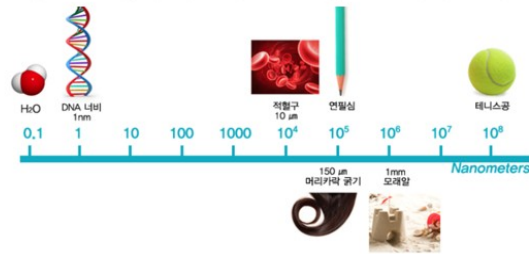
또한, 나노입자의 합성은 일반적으로 어렵게 느껴질 수도 있지만, 나노입자는 보호제인 계면활성제와 환원제와 금속이온만 있으면 쉽게 합성 할 수 있다 (i, j). 이에 우리는 일상 속에서 구할 수 있는 계면활성제와 환원제를 이용하여 쉽게 나노입자를 합성하는 실험을 실시하였다. 환원제는 금속이온에 전자를 주어서 금속이 환원되면서 금속 나노입자가 형성되며, 계면활성제는 나노입자의 보호제 역할을 하게 된다. 일반적으로 나노입자의 표면은 불안정하기 때문에 이것을 막기 위해 보호제를 넣어주게 된다. 우리는 계면활성제는 주방세제인 아침보리를 환원제와 계면활성제를 이용함으로 인해 쉽고 간단한 나노입자 합성을 하였으며, 이 나노입자를 전기화학적 특성을 통해 촉매의 활성과 안정성을 측정하였다.

## II. 이론적 배경

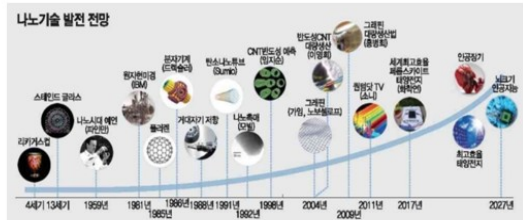
나노 입자란 여러 원자들이 모여 천만분의 1 미터 이하인 입자를 뜻한다. 우리가 크기를 아는 물질과 나노입자는 크기를 비교해 보자면, 머리카락, 벼룩, 박테리아, 전자소자, 바이러스나 DNA보다도 작은 크기를 가지고 있으며, 아주 작은 크기이기 때문에 눈으로는 관찰이 힘들며 전자현미경을 통해서만 관찰을 할 수 있다. 나노입자의 역사를 살펴보면, 고대 시대인 13세기 로마 제국의 스테인드글라스에 이용이 되어 왔으며, 고대시대에는 이것이 나노입자인지 확인이 되지 않았으며, 금 나노입자의 광학적 특성을 이용하여 붉은색의 효과를 낼 수 있었다. 1950년경 나노 학문이 발전되면서 스테인드글라스를 분석한 결과 이것이 나노입자인 것을 알았으며, 최근까지 나노 기술은 발전하고 있다. 나노기술의 응용성은 탄소나노튜브를 비롯하여, 인공 장기와 초고효율 태양전지, 청정에너지, 반도체, 우주항공, 정보기술, 촉매, 광학적 센서, 다양한 색상의 필름, 수소를 발생할 수 있는 광-촉매, 광전자, 암세포를 치료할 수 있는 바이오 소재 등으로 다양한 응용성을 지니고 있다 (k-m), <그림2>.

### -나노 기술의 정의

:나노 입자(10억분의1인크기)를 조작하는 기술

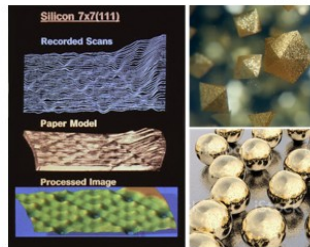
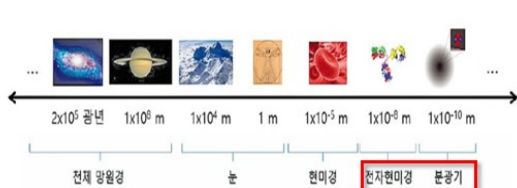


### -나노 기술의 발전사



1. 나노 기술 자체는 고대부터 존재했으나 나노 기술인지 알지 못했으며, 1950년 되어서 나노 기술임을 증명함.  
2. 고대에는 리쿠르고스 컵, 스테인드 글라스 등에 나노 다양한 분야에 이용되고 있음

### -나노 입자를 측정하는 현미경

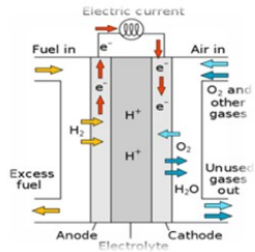


실리콘 나노 표면, 다양한 모양의 금 나노입자

그림 2 .나노입자의 정의 및 크기 측정과 발전사

특히 여러 금속들 중에서 금 나노입자의 경우 안정성이 뛰어나기 때문에 바이오 분야에 많이 응용되며, 팔라듐 나노입자는 유기합성, 연료전지 촉매 등으로 이용되고 있으며, 요즘 이슈가 되고 있는 친환경 에너지의 촉매로 각광받고 있다. 팔라듐 나노 입자는 수소자동차의 수소 연료전지로 사용하기도 하고, 팔라듐 촉매의 에탄을 분해 과정에서 발생된 전기로 휴대폰을 충전하거나, 노트북을 사용하거나, 휴대용 선풍기, 군사용전지를 이용할 수 있는 에너지 분야와 바이오 물질을 합성할 때 사용되는 의료용 촉매 분야, 군사/항공용 정밀 기계장치의 재료로 이용되고 있으며, 일상생활 제품에도 응용하기 위해서 연구 되고 있다 (n-p), <그림3>. 다양하게 이용되는 나노입자의 합성은 금속이온, 환원제, 계면활성제에 의해 합성되며, 나노입자의 구조체를 조절하는 합성은 시간이 많이 걸리거나 과정이 복잡하다. 이러한 단점들을 보완하기 위해서 시간이 절약하고 스텝과정 없이 나노입자를 합성하는 기술 방법들을 개발하고 있는 중이다. 합성된 나노입자의 모양과 크기에 따라 촉매

의 영향이 다르기 때문에 이것을 조절하기 위해서 많은 연구가 되고 있다. 우리는 팔라듐 나노입자와 골드 나노입자를 선택하여 일상생활에서 실험적 측면에서 비교적 안정성이 취약한 팔라듐 입자의 약점을 보완하고, 촉매의 이용성 가치가 뛰어난 팔라듐 나노입자를 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 계면활성제를 이용하여 합성하고, 그 나노입자를 전기화학적 특성을 통해 나노입자의 이용성에 대해 연구해 보았다.

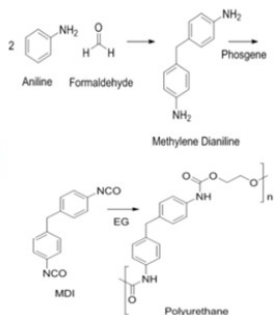


나노 입자를 이용한 신개념 배터리, 알코올 분해 연료전지 등 다양한 에너지원으로 사용

에너지 분야

백신 개발 등에 필요한 염기서열 분석을 빠르게 진행

의료적 분야



군사적 분야

전투기/군함의 정밀 기계장치 및 사격통제장치 등에 이용

항공우주 분야

열에 내성을 가지고 잘 마모되지 않는 성질로 기계 장치 및 우주선 재료로 이용

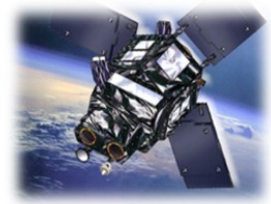


그림 3. 팔라듐 나노입자의 응용성

### III. 연구방법

#### 3.1 실험 방법

실험 준비물: 비타민C, 주방세제 (아침보리), 팔라듐 시약, 골드 시약, 증류수, 저울, UV-vis분광기, 전기 화학 측정기, 바이알 병, 원심분리기, 초음파 세척기

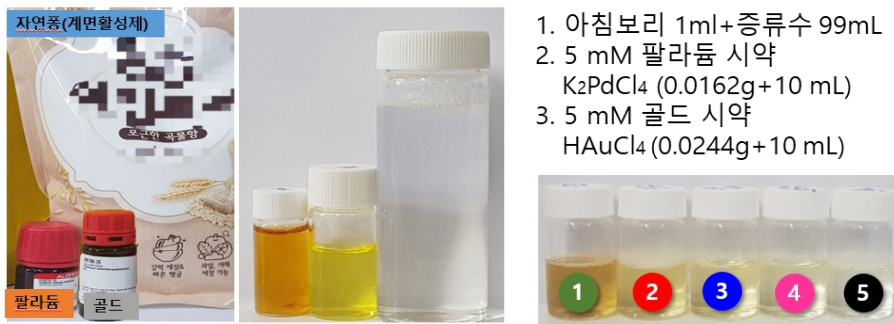
#### 3.2 시약 제조

1. 증류수 99mL에 세제 1mL를 넣어 계면활성제 수용액을 만든다.
2.  $K_2PdCl_4$  0.016g을 증류수 10mL와 합성하여 팔라듐 용액 5mM을 만든다.
3.  $HAuCl_4$  0.0244g과 증류수 10mL를 합성하여 골드시약 5mM을 만든다.

(주의: 금 시약은 반응성이 뛰어나기 때문에 테프론 테잎을 시약수정에 감은 다음 시약을 저울에 측정하였다.)

#### 3.3 실험 용액 제조 <그림4>

1. 바이알 병에 주방세제 5mL와 팔라듐 용액 1mL를 섞고 90°C 오븐에 넣고 2시간 동안 반응한다.
2. 바이알 병에 주방세제 5mL와 팔라듐 용액 0.3mL와 골드 용액 0.7mL를 섞고 90°C 오븐에 넣고 2시간 동안 반응한다.
3. 바이알 병에 주방세제 5mL와 팔라듐 용액 0.5mL와 골드 용액 0.5mL를 섞고 90°C 오븐에 넣고 2시간 동안 반응한다.
4. 바이알 병에 주방세제 5mL와 팔라듐 용액 0.7mL와 골드 용액 0.3 mL를 섞고 90°C 오븐에 넣고 2시간 동안 반응한다.
5. 바이알 병에 주방세제 5mL와 골드 용액 1mL를 섞고 90°C 오븐에 넣고 2시간 동안 반응한다.



1. 자연종 5 mL + 팔라듐 용액 1 mL - 90 °C 오븐

2. 자연종 5 mL + 팔라듐 용액 0.3 mL + 골드 용액 0.7 mL - 90 °C 오븐

3. 자연종 5 mL + 팔라듐 용액 0.5 mL + 골드 용액 0.5 mL - 90 °C 오븐

4. 자연종 5 mL + 팔라듐 용액 0.7 mL + 골드 용액 0.3 mL - 90 °C 오븐

5. 자연종 5 mL + 골드 용액 1 mL - 90 °C 오븐

그림 4. 골드-팔라듐 나노입자의 실험 방법

### 3.4 투과전자현미경(TEM) 측정방법

TEM을 측정하기 위해서 5개의 합성된 골드-팔라듐 나노입자 용액을 마이크로 피펫을 이용해 마이크로 튜브에 1mL씩 넣고 원심분리기(10000rpm)으로 분리하여 3번 증류수로 세척했다. 이렇게 계면활성제를 제거하는 이유는 TEM 측정 시 전자빔이 계면활성제와 같은 기포에 반응(산란)하기에 측정이 어렵기 때문에 에 작은 한 방울을 떨어뜨려 샘플을 만들었다 <그림5>. 투과전자현미경 (TEM)을 측정할 수 있는 그리드의 경우 얇은 막으로 구성되어 있기 때문에 피펫으로 잡을 때 주의를 기울여야 했다. 투과전자현미경은 고가의 장비에 주의를 기울여 운영해야 했기 때문에 우리가 직접 할 수 없었으며, TEM 운영자를 통해 측정을 하였다.

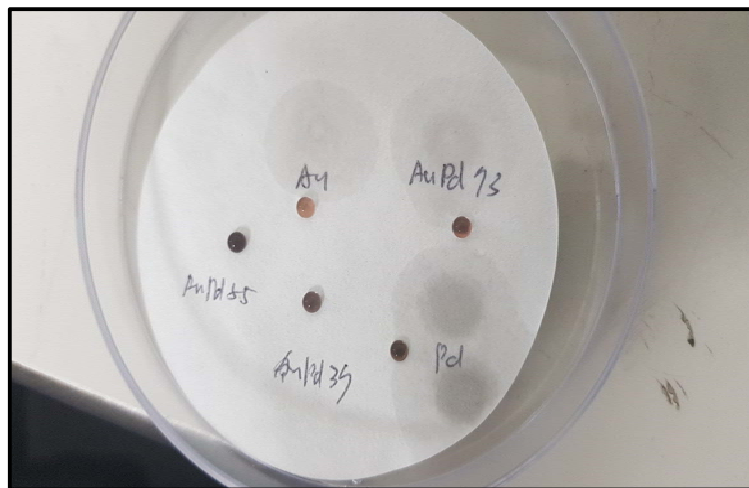


그림 5 . TEM 그리드에 샘플링한 이미지

### 3.4 UV-vis 분광기 측정 방법

나노입자의 광학적 특성을 알기 위해서 UV-vis 분광기를 이용하여 측정을 하였다. 측정할 때 석영 셀을 처음에 바탕용액인 물을 레퍼런스로 기준을 잡은 다음 샘플을 측정하였다 <그림6>. 석영 셀에 각각 반응 전 용액들 시약 3개와 반응 전 후의 5개의 골드-팔라듐 나노입자 용액을 넣은 후 측정하게 되는데 이때 한 개 씩 측정할 때 주의할 점은 측정한 후 석영 셀을 증류수로 세척해준 후 다음 샘플을 측정해야하며 석영 셀에 물기가 있



그림 6. UV-vis 분광기와 석영셀

으면 산란이 일어나 정확한 흡광도를 보기 어렵기 때문에 물기가 제거하고 측정해야한다는 것이다.

### 3.5 전기화학측정방법

전기화학 측정을 위해 전해질은 0.1M KOH를 사용했으며, 에탄올 분해 반응을 측정하기 위해서 0.5M 에탄올을 사용하였다. 전기화학을 측정할 수 있는 전극은 기준전극, 워킹전극, 카운터 전극. 이 세 가지 전극을 이용하여 측정할 수 있으며, 전기화학 반응 전에 용해되어 있는 산소를 제거하기 위해서 질소 버블링을 하였다 <그림7>. 산소가 있으며 금속과 산화 반응을 잘 하기 때문에 전기화학 측정시 방해가 되기 때문에 제거해 주었다.



그림7. 전기화학 측정 전극 및 측정기기와 질소 버블링

### 3.6 기타 측정 기기

골드-팔라듐 나노입자의 합성에서 90°C 조건 환경을 위해서 오븐, 계면활성제를 제거하기 위해 원심분리기를 사용하였으며, 나노입자의 분산을 위해 초음파 세척기를 이용하고, 물체의 정확한 무게를 측정하기 위한 전자저울 측정기기를 사용하였다 <그림8>.



그림 8. 오븐, 초음파 세척기, 원심분리기, 저울 이미지

## IV. 연구결과

### 4.1 UV-vis 분광기 데이터

주방세제인 아침보리와 골드, 팔라듐 용액을 가지고 측정한 데이터를 보면 250–350 nm 사이에 흡광도를 띄게 되는 것을 볼 수 있으며, 색은 갈색, 노란색, 흰색의 광학적 특성을 지니고 있다. 주방세제에 금속시약을 주사한 용액의 색을 보게 되면, 갈색부터 골드의 양이 증가함으로 인해 색이 점점 옅은 노란색 되는 것을 관찰할 수 있다. 우리는 금속 이온을 환원시키기 위해서 90°C 오븐에서 환경 조건으로 반응하였으며, 반응 후의 광학적인 특성은 진한 갈색과 보라색 계통과 분홍색을 띄는 것을 볼 수 있었다. 이것을 흡광도로 보면 반응 전에는 300nm 부근에 흡광도가 크고, 반응 후에는 500nm에서 650nm 사이에 흡광도가 큰 것을 볼 수 있었으며, 반응 전 후가 변화가 일어났기 때문에 환원이 잘 되었으며, 나노입자가 잘 형성되었다는 것을 예상할 수 있었다 <그림9>.

#### 금-팔라듐 나노입자의 UV-vis 분광기 데이터

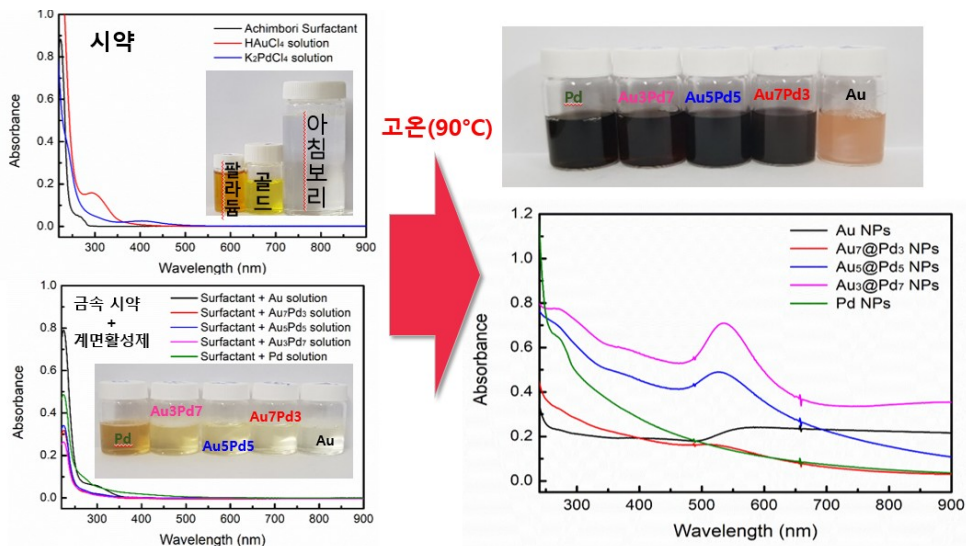


그림 9. 금-팔라듐 나노입자의 UV-vis 분광기의 광학적 특성 데이터

## 4.2 골드-팔라듐 나노입자의 TEM 이미지

합성한 나노입자의 크기와 모양 구조를 알기 위해서 전자현미경을 측정하였다. 비교적 골드입자는 다른 나노입자에 비해  $950 \pm 220 \text{ nm}$ 로 가장 크고, 팔라듐입자는 다른 나노입자에 비해  $5.2 \pm 1.2 \text{ nm}$ 로 가장 작다. 또한, 골드와 팔라듐이 혼합된 용액은 골드의 증가함으로 인하여 나노입자의 크기가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 나노입자의 평균적인 크기는  $18.5 \pm 5.3 \text{ nm}$  ( $\text{Au}_3\text{@Pd}_7$ ),  $27.3 \pm 4.3 \text{ nm}$  ( $\text{Au}_5\text{@Pd}_5$ ),  $47.3 \pm 9.5 \text{ nm}$  ( $\text{Au}_7\text{@Pd}_3$ )로 관찰 되었다. 나노입자의 구조를 분석하기 위해서 투과전자현미경에 있는 원소분석기인 EDS를 통해서 금속 구조체의 구조를 분석한 결과를 보면 금속의 안쪽(Core)부분은 금으로 되어 있으며 바깥부분(Shell)부분으로 되어 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 Au@Pd core-shell 구조를 이루고 있었으며, 이 이유는 금의 표준환원전위가 팔라듐보다 높기 때문에 금이 먼저 환원되어 골드 나노입자가 먼저 형성되며, 그 중심인 금 나노 입자의 바깥에 팔라듐이 감싸는 구조로 형성된 것을 볼 수 있었다 <그림10>.

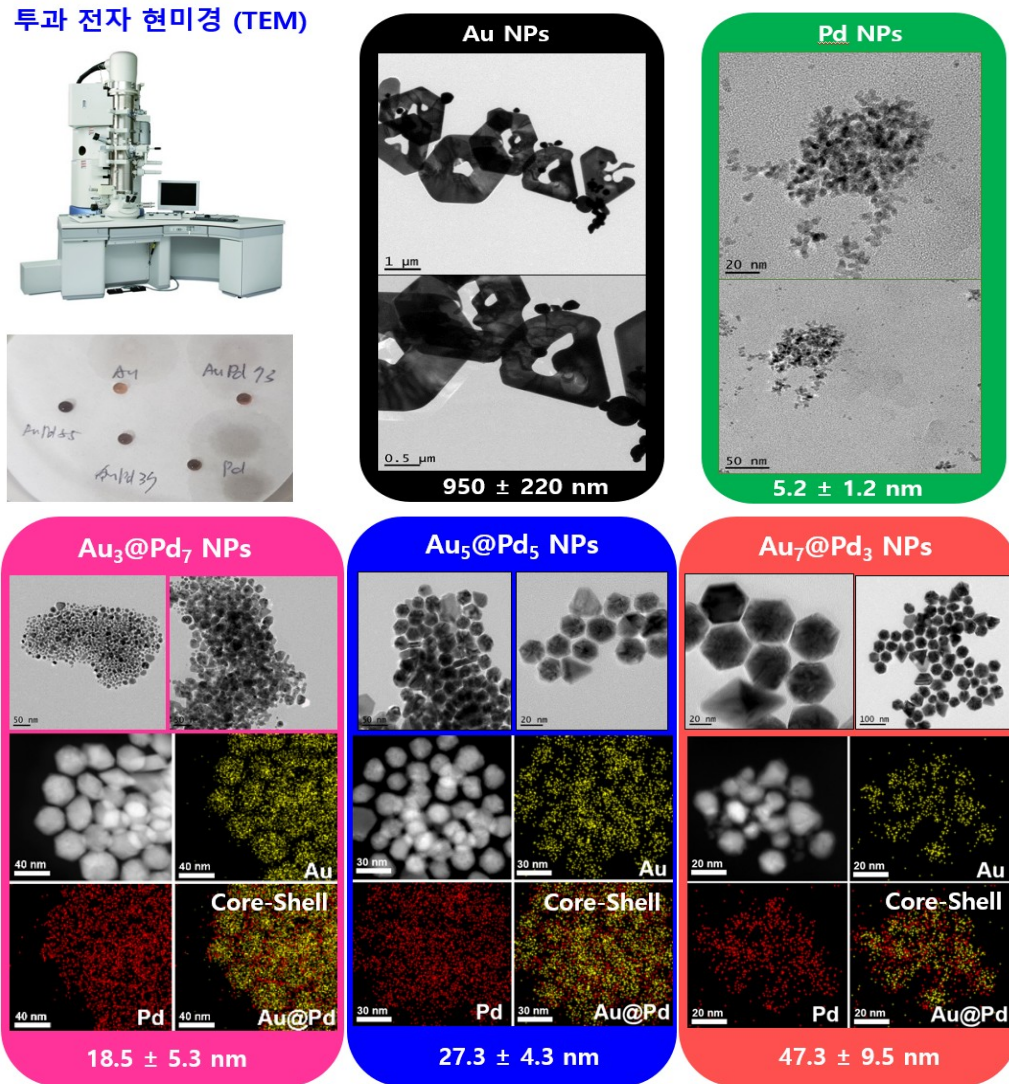


그림 10. 금-팔라듐 나노입자의 투과전자현미경 (TEM) 이미지

### 4.3 전기화학데이터분석

골드-팔라듐 합성한 나노입자를 가지고 전기화학 실험을 실시하였다. 전기화학 측정 시에는 3전극을 이용하여 측정하였으며, Ag/AgCl 기준전극과 Pt 카운터 전극 탄소 워킹 전극에 나노입자의 샘플을 올려 측정하였다. 산소를 제거하기 위해서 질소 버블링을 하였으며, 에탄올의 분해반응을 간단히 설명하면, 알콜 분해 반응이라고 볼 수 있다. 알콜이 분해되면서 전자를 얻음으로 전기를 생산하게 되며, 이산화탄소와 물이 형성되게 된다. 이 반응을 간단히 설명해보자면, 양극에서는 에탄올과 물이 반응하여 수소이온과 전자를 생성시킨다. 음극에서는 산소와 수소이온, 전자가 결합하여 물을 생성시키는데 이 과정에서 전기가 발생하게 되는 것이다 <그림11>.

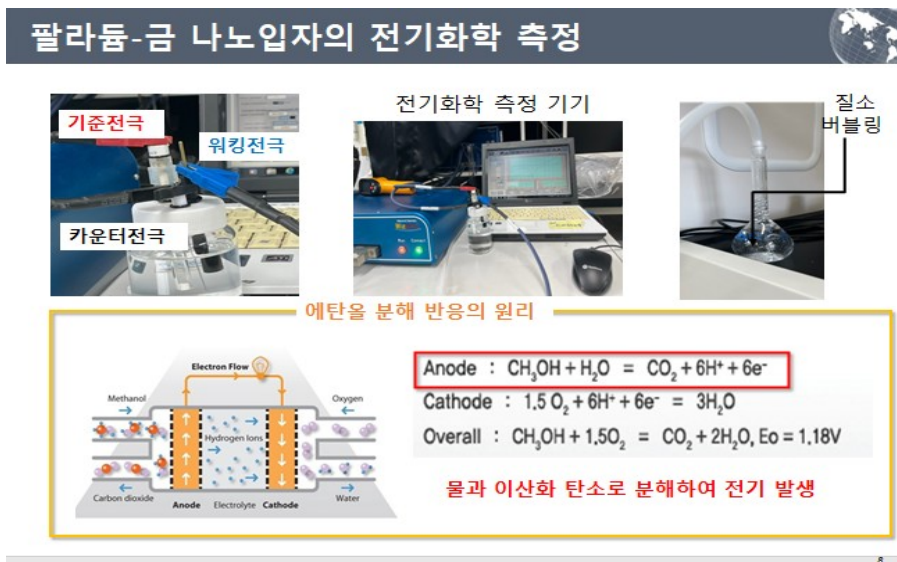


그림 11. 전기화학 측정 장치 및 에탄올 반응의 원리

0.1M KOH 조건에서 나노입자의 전기화학적 특성을 살펴보면, 팔라듐을 표면으로 가지는 나노입자는 -0.35V에서 환원피크를 가지는 것과 금을 표면으로 가지는 나노입자는 0.1V에서 환원피크를 가지는 것을 알 수 있었다. 0.1M KOH 전해질에 0.5M 에탄올을 추가하여 진행한 에탄올 분해 반응 그래프를 확인한 결과 파란색인 그래프가 전류가 가장 높게 흐르는 것을 볼 수 있다. Au5@Pd5 비율을 가지는 나노입자가 촉매의 활성이 가장 뛰어난 것을 볼 수 있었으며, 나노입자의 안정성을 테스트하기 위해서 0.1M KOH 전해질에 0.5M 에탄올에서 -0.1V 전압을 걸어주어서 안정성을 테스트 해본 결과 역시 파란색 그래프인 Au5@Pd5의 나노입자가 전류가 가장 많이 흐르며, 감소하는 그래프가 천천히 감소하는 것으로 보아서 안정하다는 것을 확인할 수 있다 <그림12>.

## 팔라듐-금 나노입자의 전기화학 데이터 분석

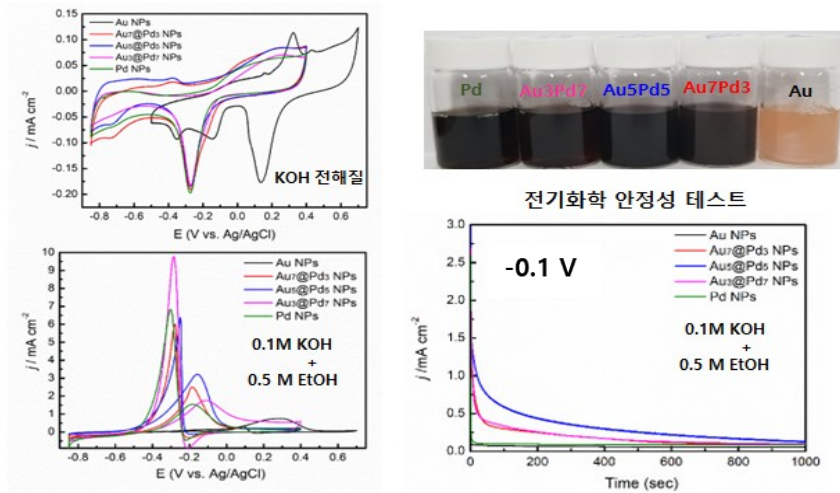


그림 12. 금-팔라듐 나노입자의 전기화학 특성 및 안정성 테스트

## V. 결론 및 제언

팔라듐, 금의 양을 조절해가며 여러 비율의 나노입자를 합성해볼 수 있었으며, 나노 입자 관찰을 광학적 특성을 알기 위해서 UV-vis 분광기를 사용하였으며, 크기와 구조를 분석하기 위해서 투과 전자 현미경을 사용하였다. 투과 전자현미경을 관찰해 보면서, 나노입자의 크기와 구조를 알 수 있었으며, 작동원리를 파악함에 동시에 파악 할 수 있었다. 합성한 나노입자의 응용성을 알기 위해서 전기화학을 측정해보았고, 그에 따른 촉매의 활성과 안정성에 관한 전기화학 데이터를 분석할 수 있었다. 따라서 **촉매의 활성이 뛰어난 팔라듐과 안정성이 좋은 골드 금속을 이용하여, 활성과 안정성이 뛰어난 나노 구조체를 합성 할 수 있었으며, 전기화학 분석 결과 이 입자가 가장 촉매 활성과 안정성이 뛰어나다는 것을 알 수 있었다 <그림13>**.

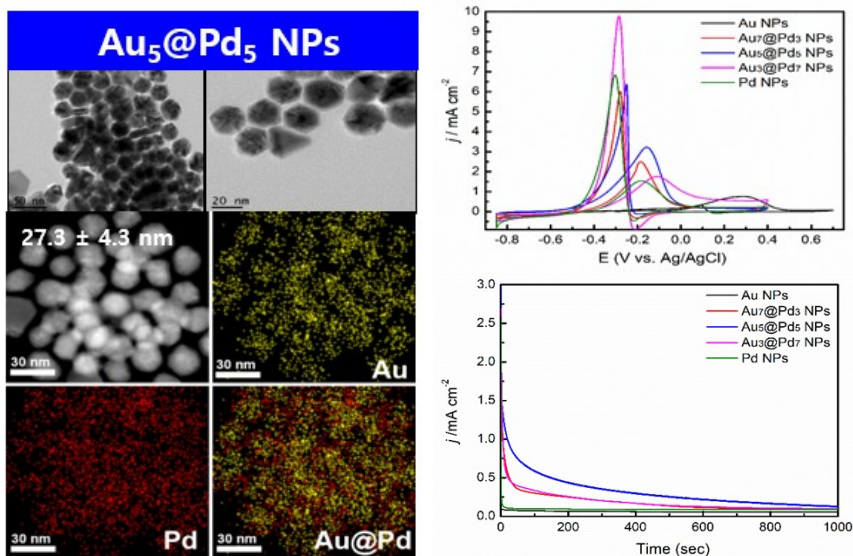


그림 13. Au5@Pd5의 TEM 이미지와 전기화학 데이터

## VI. 참고문헌

- a. Zhang, Q., Xie, J., Yang, J., & Lee, J. Y. (2009). Monodisperse icosahedral Ag, Au, and Pd nanoparticles: size control strategy and superlattice formation. *ACS nano*, 3(1), 139-148.
- b. Hamzat, A. K., Omisanya, M. I., Sahin, A. Z., Oyetunji, O. R., & Olaitan, N. A. (2022). Application of nanofluid in solar energy harvesting devices: A comprehensive review. *Energy Conversion and Management*, 266, 115790.
- c. Neal, R. D., Hughes, R. A., Sapkota, P., Ptasinska, S., & Neretina, S. (2020). Effect of nanoparticle ligands on 4-nitrophenol reduction: Reaction rate, induction time, and ligand desorption. *ACS Catalysis*, 10(17), 10040-10050.
- d. Lee, S. J., Lee, H., Begildayeva, T., Yu, Y., Theerthagiri, J., Kim, Y., Lee, Y. W., & Choi, M. Y. (2022). Nanogap-tailored Au nanoparticles fabricated by pulsed laser ablation for surface-enhanced Raman scattering. *Biosensors and Bioelectronics*, 197, 113766.
- e. Savara, A., Chan-Thaw, C. E., Rossetti, I., Villa, A., & Prati, L. (2014). Benzyl alcohol oxidation on carbon-supported Pd nanoparticles: Elucidating the reaction mechanism. *ChemCatChem*, 6(12), 3464-3473.
- f. Rikkinen, E., Santasalo-Aarnio, A., Airaksinen, S., Borghei, M., Viitanen, V., Sainio, J., ... & Krause, A. O. I. (2011). Atomic layer deposition preparation of Pd nanoparticles on a porous carbon support for alcohol oxidation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 115(46), 23067-23073.
- g. Wang, M., Li, D., Tian, Y., Zhao, J., Yue, Z., Wang, X., ... & Wu, H. S. (2021). Pd Nanoparticles Coupled to NiMoO<sub>4</sub>-C Nanorods for Enhanced Electrocatalytic Ethanol Oxidation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(45), 53777-53786.
- h. Li, S., Guan, A., Wang, H., Yan, Y., Huang, H., Jing, C., ... & Zheng, G. (2022). Hybrid palladium nanoparticles and nickel single atom catalysts for efficient electrocatalytic ethanol oxidation. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(11), 6129-6133.
- i. Ealia, S. A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017, November). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 263, No. 3, p. 032019). IOP Publishing.
- j. Hasan, S. (2015). A review on nanoparticles: their synthesis and types. *Res. J. Recent Sci*, 2277, 2502.
- k. Ali Mansoori, G., Bastami, T. R., Ahmadpour, A., & Eshaghi, Z. (2008). Environmental application of nanotechnology. *Annual review of nano research*, 439-493.

- l. Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K., & Rather, I. A. (2017). Application of nanotechnology in food science: perception and overview. *Frontiers in microbiology*, 8, 1501.
- m. He, X., Deng, H., & Hwang, H. M. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of food and drug analysis*, 27(1), 1-21.
- n. Xu, L., Wu, X. C., & Zhu, J. J. (2008). Green preparation and catalytic application of Pd nanoparticles. *Nanotechnology*, 19(30), 305603.
- o. Mastalir, Á., Király, Z., Patzko, A., Dékány, I., & L'Argentiere, P. (2008). Synthesis and catalytic application of Pd nanoparticles in graphite oxide. *Carbon*, 46(13), 1631-1637.
- p. De Marchi, S., Núñez-Sánchez, S., Bodelón, G., Pérez-Juste, J., & Pastoriza-Santos, I. (2020). Pd nanoparticles as a plasmonic material: synthesis, optical properties and applications. *Nanoscale*, 12(46), 23424-23443.



화학C

07\_중금속 이온 확인을 위한 화학비색센서 개발  
및 탐구



# 중금속 이온 확인을 위한 화학비색센서 개발 및 탐구

이창민 (원주중학교 1학년)

지도교수 : 이은지 (강릉원주대학교 화학신소재학과)

**초록 :** 중금속 이온의 유무를 맨눈으로 확인할 수 있는 거대고리형 화학비색센서의 합성과 특정 중금속 이온에 대한 선택성에 대해 보고한다. 질소, 산소, 황 원자를 갖는 거대고리 분자에 발색단인 테트라시아노에틸렌이 달려있는 화학비색센서를 합성하였다. 아세토니트릴 용액에 녹인 센서는 분홍색을 가지며 수은을 넣어준 용액만 노란색으로 변하였고, 다른 금속이온을 넣어준 용액은 변화가 없었다. 실제 수돗물에는 수은 이온이 존재하지 않는다는 것을 확인하였고, 여기에 수은 이온을 임의로 넣어주었을 때 미량의 수은 이온을 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다. 결론적으로 제시한 화학비색센서는 수은 이온을 선택적으로 검출할 수 있는 우수한 센서임을 확인하였다. 본 연구결과를 바탕으로 미량의 중금속을 신속하게 검출하여 사람들의 건강관리에 도움이 됨을 기대할 수 있다.

## I. 연구의 필요성 및 목적

허쉬초코우유를 자주 먹는 나는 작년 인터넷의 한 기사 내용을 보고 매우 놀랐다. 미국 소비자잡지가 실시한 허쉬다크초콜릿의 중금속 함량 검사에서 중금속이 기준치를 초과하여 검출되었다는 것이다. 카카오나무가 토양으로부터 영양분을 흡수할 때 토양에 오염된 카드뮴이 나무에 축적되었고, 카카오열매 수확 후 건조, 가공, 유통 과정에서 납 오염도 발생했다고 하였다. 중금속은 공장과 같이 특수한 환경조건에서 노출될 것으로 생각할 수 있지만, 실제로는 식품용기, 포장지, 페인트, 전지, 합금, 볼트, 너트, 철강, 이차전지, 반도체, 온도계, 강화제, 화재경보기처럼 우리가 생활하는 모든 일상에 존재하고 있다.

우리나라는 인구밀도가 높기 때문에 오염원에 인접해있는 주거 지역이 중금속이 오염된 토양에 대해 노출될 가능성이 크다. 중금속은 눈에 보이거나 바로 알아챌 수 없기 때문에 오염된 땅에서 재배된 음식, 화장품, 세제, 등의 화학제품이나 환경(황사나 미세먼지)을 통해서 나도 모르는 상태에서 중금속에 중독될 수도 있다. 사람의 몸 속으로 들어온 중금속은 쉽게 몸 밖으로 배출되지 않고 안에 쌓이기

때문에 건강을 해롭게 하는 원인이 된다. 면역체계를 무너트리며 갖은 질환을 일으키는 중금속에 대한 정확한 이해가 필요하다.

중금속 중독의 대표적인 사례로 일본에서 발생한 미나마타병이 있다. 이는 수은 중독에 의해 발생하는 병으로써 다양한 신경계 장애를 일으키는 증후군이다. 1956년에 일본 구마모토현의 미나마타시의 주민들이 메틸수은이 포함된 어패류를 섭취하여 집단 신경 장애가 발생하면서 사회적으로 큰 문제를 일으켰다. 이때의 메틸수은은 미나마타시 인근에 있는 화학 공장에서 이를 바다에 방류한 걸로 밝혀졌으며, 그 후 2001년까지 2,265명이 미나마타병에 걸린 것으로 확인되었다. 1965년에는 일본의 니가타현에서도 주민들이 대규모로 수은 중독에 걸린 것으로 확인되었다.

그리고 이타이이타이 병은 일본어로 "아파아파"라는 의미를 가지는 말에서 유래된 것으로, 1912년에 일본의 도야마현이 있는 진즈 강 하류에서 대량의 카드뮴이 발생하여 사람의 뼈에 축적되어 생기는 공해병을 의미한다. 일본정부는 이타이이타이병이 카드뮴에 의해서 뼈 속의 칼슘분이 녹아 생기는 신장 장애와 골연화증이라 발표하면서 공해병으로 인정하게 되었다. 이 병의 원인은 일본 미쓰이 금속주식회사의 광업소에서 버린 폐광석에 포함된 카드뮴이 몸 속에 농축된 것으로 밝혀졌으며, 이는 칼슘부족으로 인해 골절이나 골연화증을 일으킨다.

최근 우리나라의 중금속 문제를 다룬 보도기사 세 개를 찾아 요약하였다.

① [대전/충남]장항제련소 주변 중금속 오염 '비상'(동아일보, 2009.09.26.)<sup>[1]</sup>

## [대전/충남]장항제련소 주변 중금속 오염 '비상'

입력 2007-07-09 06:33 | 업데이트 2009-09-26 23:52

충남 서천군 장항읍 장항리 옛 장항제련소 주변 흙이 중금속으로 크게 오염된 것으로 나타났다. 이는 옛 제련소 터의 환경오염 때문에 각종 질환에 시달리고 있다는 주민들의 주장을 뒷받침하는 것이어서 주목된다.

서천군은 충남도 보건환경연구원에 의뢰해 이 지역의 중금속 오염도를 조사한 결과 비소는 기준치의 31배나 검출됐으며 납(16배), 구리(7배), 카드뮴(5배) 등도 기준치를 크게 초과한 것으로 나타났다고 8일 밝혔다.

보건환경연구원 관계자는 "이번에 검출된 중금속은 폐광 주변 농경지보다 훨씬 높은 수준"이라며 "인체에 누적되면 피해를 줄 수 있다"고 말했다.

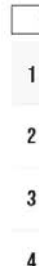
이와 관련해 이 지역 주민들은 "주변 마을의 토양 및 지하수 오염 실태 파악을 위해 전수 조사를 벌여야 한다"는 반응을 보였다.

서천군은 충남도와 함께 이 지역 주민들의 암 발병률과 건강상태, 농산물 오염 수준 등을 파악한 뒤 중앙 정부에 역학조사 등을 요청할 계획이다.

장항리 토양 주요 중금속 측정치 (단위: mg/kg)				
조사 항목	구리(Cu)	납(Pb)	카드뮴(Cd)	비소(As)
기준치	50.0	100	1.5	6.0
측정치(장항리 토양)	321.900	1569.50	5.040	187.500

자료: 충남보건환경연구원

지명훈 기자 mhjee@donga.com



② [인천/경기]인천 토양 중금속 오염 심각(동아일보, 2009.10.08.)<sup>[2]</sup>



중금속 이온을 검출하는 일반적인 방법으로는 외부 조건에 대한 높은 요구 조건들을 가지고 있다. 현재 사용되고 있는 중금속 검출기는 유지관리 및 기기 구입 가격이 높아 다양한 생활환경에서 노출되고 있는 중금속을 빠르게 검출하기에 어려움이 있다. 또한, 중금속을 확인하거나 검출하는 방법은 많은 양의 시료가 필요하며 분석을 위한 전처리 과정이 필요하므로 실제 미량의 중금속을 검출하는데 어려움이 있다. 이러한 상황에 의해 현실적으로 도움이 될 수 있는 중금속을 빠르고 민감하게 검출할 수 있는 간단한 방법을 개발하는 것이 중요한 과제가 되고 있다.

따라서 이 연구에서는 중금속을 간편히 검출하는 방법으로 미량의 중금속을 손쉽게 확인할 수 있는 화학비색센서를 개발하는 것을 목표로 하여 향후 우리들의 건강관리에 도움이 되고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 가. 중금속

중금속은  $3.5-7 \text{ g/cm}^3$  범위에 속하는 원소들로서 대표적인 원소로는 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 철, 니켈, 비소 수은 등이 있다. 중금속은 난분해성 물질이기 때문에 높은 농도가 환경에 축적되게 되면 동식물의 생장을 저해시키고, 중금속에 오염된 물과 작물을 사람이 섭취하게 된다. 이를 장기간 섭취하여 높은 중금속의 양이 인간의 체내에 축적되면 다양한 신경 장애와 같은 신체 변화를 보이게 된다. 납은 빈혈 증상과 식욕부진, 소화불량, 손저림, 마비, 기억력과 집중력 저하 고혈압, 신장질환 등을 초래할 수 있고, 수은은 정신과민증으로 인해 과도한 불안감과 불안정감을 가지게 되고, 자극에 민감해지며, 우울증의 증상과 치은염, 치아침식증이 있고 사지감각이상, 청력장애, 근육경직, 지능 장애가 나타날 수 있다. 망간은 과다흡분, 과민성, 망상, 파킨슨양 증후군으로서 느리고 단조로운 말, 떨림, 걸음이상, 운동실조 등이 나타난다. 카드뮴은 효소노와 단백노, 폐섬유화와 폐기종, 고혈압 등이 유발하고, 6가 크롬은 피부 궤양, 알레르기성 접촉성 피부염, 천식 등이 나타난다.

### 나. 거대고리 분자

자연계에는 거대고리 형태의 분자가 존재하고 있으며, 이들은 특정적인 금속이온과 선택적으로 반응하게 되면서 중요한 기능을 수행하게 된다. 예를 들어 헤모글로빈은 철 이온을 선택적으로 인식하고 산소 분자와 결합하면서 산소를 수송하고, 조직에서는 산소를 제공함으로써 생명체의 생존에 기여하는 중요한 역할을 수행한다. 이 외에도 세포막에 존재하는 단백질 분자도 거대고리 구조로 되어 있으며 특정 금속이온을 운반하는 기능을 한다.

이러한 자연계에서의 현상에서 영감을 받아 1960년대 인공합성 거대고리 분자를 제조하기 시작하였다. 대표적인 예로 알칼리금속을 선택적으로 잡는 크라운에테르가 있다.<sup>[4]</sup> 거대고리 분자는 고리 내의 산소, 질소, 황과 같은 원자와 다양한 치환기를 붙임에 따라 여러 가지 다양한 금속이온과 선택적인 반응을 하는 특징으로 인하여 많은 연구가 진행되고 있다 [그림 1].

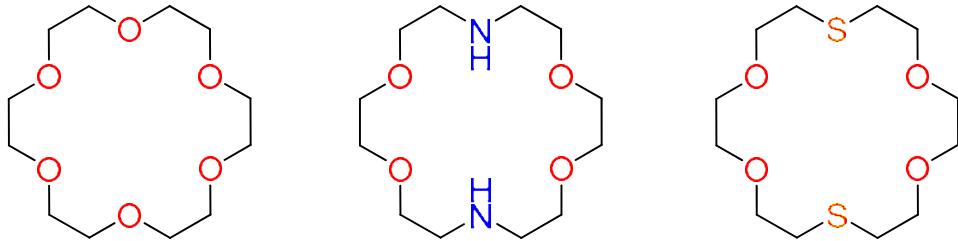


그림 1. 산소, 질소, 황 원자를 다양하게 조합이 가능한 거대고리 분자들.

#### 다. 화학센서

센서는 특정 물질이나 에너지의 유무를 알려줄 수 있는 장치로써 가정의 화재경보기가 대표적인 예이다. 그 중 화학센서는 감응물질과 분석물 사이의 화학적 반응을 통해서 분석물을 선택적으로 검출할 수 있어 특정분석물질을 실시간으로 분석할 수 있는 기술을 말한다. 분석하고자 하는 물질을 검출하는 방법에는 형광변화, 색변화, 전기화학적 분석방법 등이 있다.<sup>[5]</sup> 최근 화학센서의 연구는 환경적으로 중요한 분자 이온이나 금속이온을 검출하는 데 있어 아주 필요시되어 높은 관심을 보이는 분야이다. 가장 많이 사용하는 방법으로는 분석하고자 하는 분자이온이나 금속이온이 센서의 인식 단위와 결합하면 신호를 나타내는 단위가 형광변화나 색변화를 보이게 되면서 분석하고자 하는 분자나 금속이온의 유무 또는 농도를 알아내는 방법이다.<sup>[6]</sup>

화학센서는 일반적으로 분석물을 인식하는 분자인식단위와 신호발생단위를 갖는데, 본 연구에서는 그림 2에서 보는 것과 같이 금속이온을 인식할 수 있는 거대고리 분자를 금속인식단위로 사용하고 신호발생단위로 발색을 갖는 분자를 사용하고자 한다. 발색신호는 형광신호보다는 감도가 낮지만, 맨눈으로 식별할 수 있는 장점이 있다.

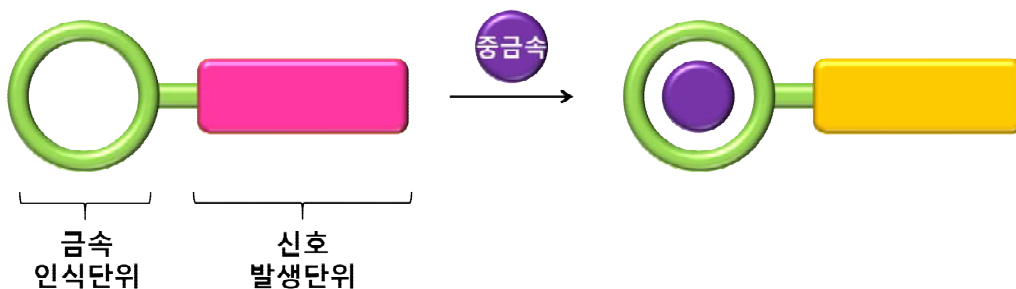


그림 2. 금속인식단위와 신호발생단위를 갖는 화학센서의 모식도.

본 연구에서는 중금속을 검출할 수 있는 비색센서를 만들기 위해 중금속 이온과 선택적으로 반응할 수 있는 거대고리 분자를 설계하였다. 이를 위해 거대고리 분자에 황 원자 2개, 산소 원자 3개를 도입하였다. 그리고 두 개의 황 원자의 가운데에는 발색단 분자를 결합하기 위해서 한 개의 질소 원자를 도입하였다. 발색단 분자로 사용된 테트라시아노에틸렌(Tetracyanoethylene)은 더 적은 전자를 가진 물질로부터 전자를 받아들이면서 색을 변화시키므로 금속이온 검출을 시각적으로 추적하거나 감지하는 데 사용된다.

### III. 연구방법

#### 가. 화학비색센서 (L)의 합성

본 연구에서 사용되는 화학비색센서 (L)은 그림 3과 같은 방법으로 합성하였다.

#### 그림 3. 화학비색센서 (L)의 합성 과정.

100 mL 둥근바닥플라스크에 화합물 4(0.4154 g)와 발색단 화합물인 테트라시아노에틸렌 5(0.2135 g)를 다이메틸폼아마이드(DMF) 용매 40 mL에 넣어 준 후, 60 °C에서 90분 동안 교반시켰다. 그런 다음 회전증발기를 이용하여 DMF를 제거하고, 5% 아세톤/다이클로로메탄 조건에서 실리카겔을 이용한 컬럼 크로마토그래피를 진행하였고 보라색의 고체로 화학비색센서 L을 얻었다 (수율: 87.6%).

#### 나. 중금속 이온 확인 방법

화학비색센서에 대한 중금속 이온 확인은 자외선-가시선(UV-vis) 분자흡수분광법 측정을 통해 확인하였다. 화학비색센서는 아세토니트릴(CH<sub>3</sub>CN) 용매를 이용하여 농도 2x10<sup>-5</sup>M을 만들어 2 mL를 사용하였고, 포타슘(K<sup>+</sup>), 소듐(Na<sup>+</sup>), 은(Ag<sup>+</sup>), 수은(Hg<sup>2+</sup>), 구리(Cu<sup>2+</sup>), 코발트(Co<sup>2+</sup>), 카드뮴(Cd<sup>2+</sup>), 니켈(Ni<sup>2+</sup>), 납(Pb<sup>2+</sup>), 아연(Zn<sup>2+</sup>)의 금속이온은 농도 2x10<sup>-3</sup>M을 만들어 0.1 mL씩을 사용하였다.

#### IV. 연구결과

##### 가. 화학비색센서의 금속이온에 대한 선택성 확인

화학비색센서(L)가 어느 금속이온에 선택적으로 반응하는지 확인하기 위해 포타슘( $K^+$ ), 소듐( $Na^+$ ), 은( $Ag^+$ ), 수은( $Hg^{2+}$ ), 구리( $Cu^{2+}$ ), 코발트( $Co^{2+}$ ), 카드뮴( $Cd^{2+}$ ), 니켈( $Ni^{2+}$ ), 납( $Pb^{2+}$ ), 아연( $Zn^{2+}$ )을 사용하여 실험을 진행하였다. 아세토니트릴( $CH_3CN$ )에 화학비색센서 (농도:  $2 \times 10^{-5}M$ )와 5 당량의 금속이온을 넣어 반응시켰다. 그 결과, 용액은 수은 이온을 넣어준 용액에서만 분홍색에서 노란색으로 색 변화가 일어난 것을 알 수 있었다. 실제 색 변화에 대한 분석을 위해 자외선-가시선(UV-Vis) 분자흡수분광법을 통해 스펙트럼을 확인하였다. 그 결과, 센서의 최대 흡수파장은 519 nm에서 나타났고 수은 이온을 제외한 나머지 금속들은 센서와 비슷한 스펙트럼을 보였다. 수은 이온의 스펙트럼은 최대 흡수파장이 456 nm에서 나타났으며 0.245의 낮은 흡광도를 보였다. 이를 통해 화학비색센서는 수은 이온에 대해 높은 선택성을 갖는다는 것을 의미한다 [그림 4].

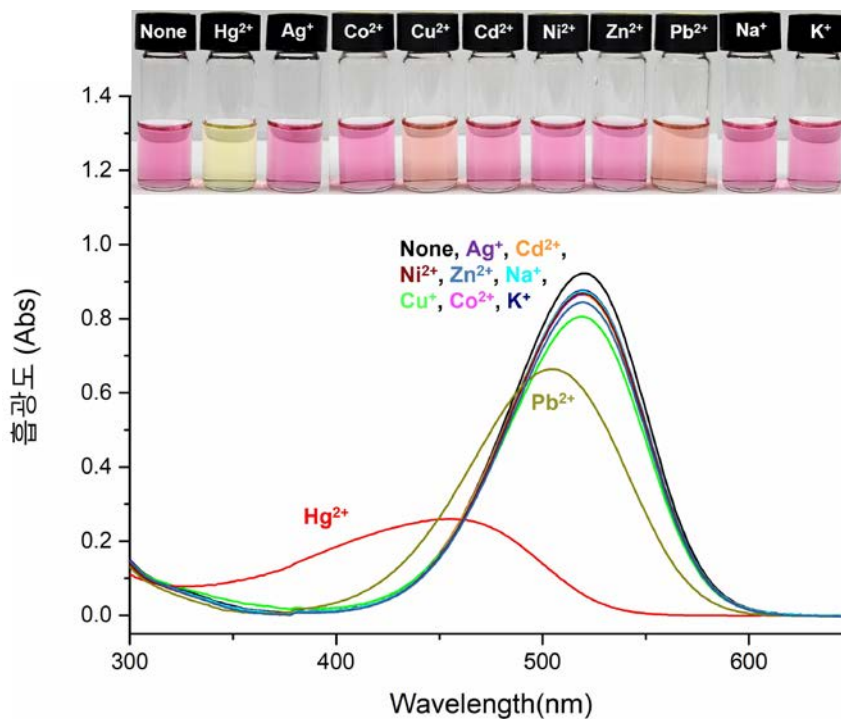


그림 4. 아세토니트릴에서 화학비색센서 L에 다양한 금속이온을 넣어주었을 때의 자외선-가시선(UV-Vis) 스펙트럼과 용액의 색 변화 사진.

##### 나. 다른 금속이온 존재하에서의 수은 선택성 확인

다른 금속이온들이 함께 존재할 때에도 수은 이온을 선택적으로 검출할 수 있는지 확인하기 위하여 아세토니트릴( $CH_3CN$ )에 화학비색센서 (농도:  $2 \times 10^{-5}M$ )와 5 당량의 금속이온과 수은 이온을 함께 넣어 반응시켰다. 그 결과, 용액의 색은 수은 이온이 전부 들어가 있기 때문에 전부 노란색으로 변하는 것을 관찰할 수

있었다. 실제 UV-Vis 분자흡수분광법의 스펙트럼에서도 센서 **L**의 최대 흡수파장은 519 nm에서 나타났지만 각 금속 이온에 수은 이온을 넣어준 용액들은 456 nm 파장에서 최대흡수파장을 나타내었다. 이는 화학비색센가는 다른 금속이온이 존재하더라도 선택적으로 수은 이온만을 검출할 수 있다는 것을 의미한다 [그림 5].

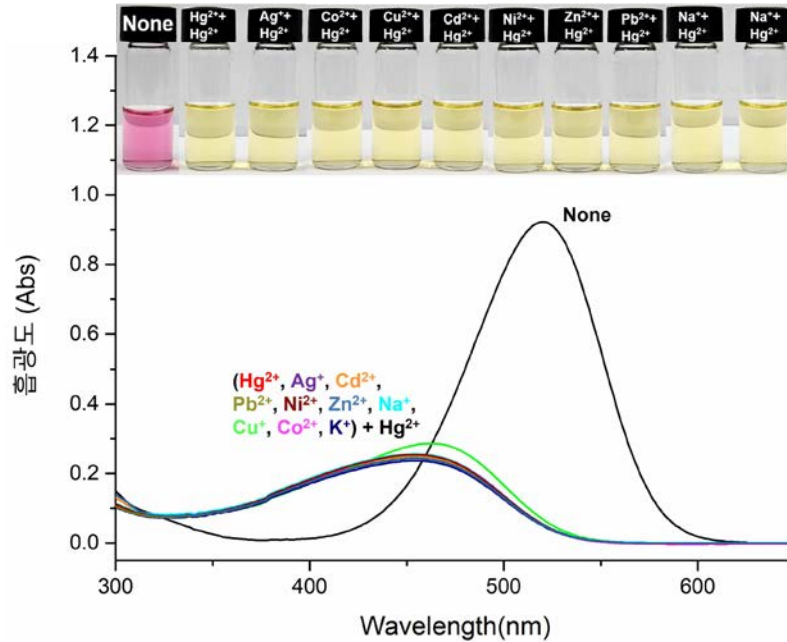


그림 5. 아세토니트릴에서 화학비색센서 **L**에 수은 이온과 각 금속이온을 함께 넣어주었을 때의 UV-Vis 스펙트럼과 용액의 색 변화를 보여주는 사진.

#### 다. 화학비색센서의 수은 이온 선택성에 대한 막대그래프 비교

다음 그림 6에서는 그림 4와 그림 5에서 확인한 519 nm 파장에서의 스펙트럼의 변화를 막대그래프로 나타내었다. 519 nm에서는 화학비색센서가 최대흡광도를 나타내었으며, 센서와 금속이온을 넣어주었을 때는 수은 이온에 대해서만 변화가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 반면 센서와 수은이온과 다른 금속이온이 포함된 경우에는 모두 흡광도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

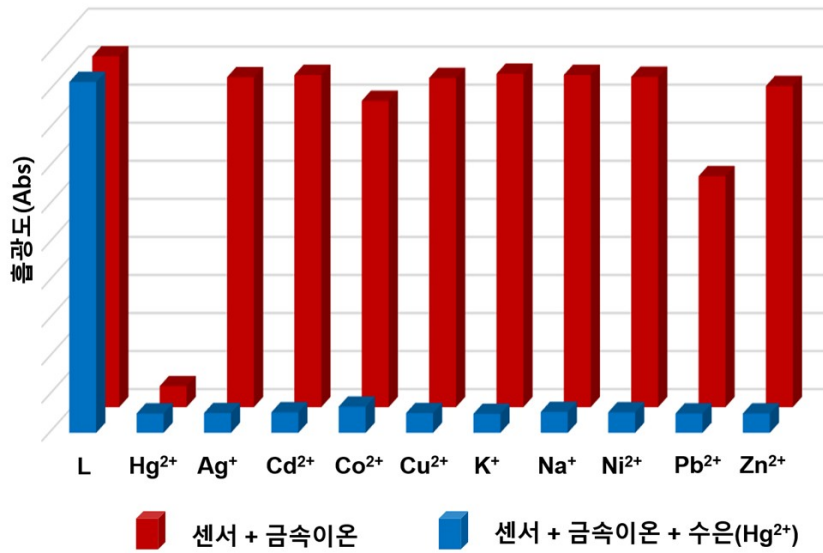


그림 6. 수은을 선택적으로 검출하는 화학비색센서에 대한 특정 파장에서의 흡광도비교 막대그래프.

#### 라. 수돗물에서의 수은 이온 검출 확인

실생활에서도 수은 이온을 검출할 수 있는지를 알아보기 위해 강릉원주대학교 연구실의 수돗물에 화학비색센서 용액을 첨가해보았다. 그림 7a에서 보는 바와 같이 일반 수돗물은 무색을 나타내고 있는데, 여기에 센서 용액을 넣어주었더니 분홍색을 나타냄으로써 수돗물에 수은이 존재하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 수돗물에 화학비색센서로 작용이 가능한지 한번 더 확인하기 위해 수돗물에 소량의 수은 이온이 포함된 수용액을 넣어준 다음 센서 용액을 첨가하였더니 노란색으로 변하였다 [그림 7b]. 이를 통해 실생활에서도 수은 이온을 검출할 수 있는 화학비색센서임을 확인할 수 있었다.





(b)

그림 7. (a) 수돗물에 센서용액을 첨가했을 때의 색변화와 (b) 수돗물에 수은이온을 넣어준 다음 센서용액을 첨가했을 때의 색변화.

## V. 결론 및 제언

1. 금속을 인식할 수 있는 단위인 거대고리에 신호발생단위인 발색단을 매달아 새로운 화학비색센서 **L**을 합성하였다.
2. 센서 **L**은 수은 이온에 대해 분홍색에서 노란색으로 색 변화를 보였으므로, 수은 이온을 선택적으로 검출할 수 있는 화학비색센서임을 확인하였다.
3. 센서**L**은 다른 금속이온과 수은 이온이 함께 있더라도 수은(II)의 존재를 확인할 수 있는 화학비색센서임을 확인하였다.
4. 실제 수돗물에는 수은 이온이 존재하지 않는다는 것을 확인하였고, 여기에 수은 이온을 임의로 넣어주었을 때 미량의 수은 이온을 효과적으로 검출할 수 있음을 확인하였다.
5. 본 연구결과를 바탕으로 미량의 중금속을 신속하게 검출하여 사람들의 건강관리에 도움이 됨을 기대할 수 있다.

## VI. 참고문헌

- [1] 지명훈, [대전/충남]장항제련소 주변 중금속 오염 '비상', 동아일보, 2009년 9월 7일, <https://www.donga.com/news/article/all/20070709/8464181/1>
- [2] 차준호, [인천/경기]인천 토양 중금속 오염 심각, 동아일보, 2005년 10월 6일, <https://n.news.naver.com/mnews/article/020/0000318460?sid=102>
- [3] 김은경, 낙동강 중금속 오염실태 심각, 한국농정신문, 2016년 8월 13일, <https://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=26587>
- [4] G. W. Gokel, W. Matthew Leevy, M. E. Weber, Crown Ethers: Sensors for Ions and Molecular Scaffolds for Materials and Biological Models. *Chem. Rev.* **2004**, *104*, 2723–2750.
- [5] (a) J. Krämer, R. Kang, L. M. Grimm, L. De Cola, P. Picchetti, F. Biedermann, Molecular Probes, Chemosensors, and Nanosensors for Optical Detection of Biorelevant Molecules and

- Ions in Aqueous Media and Biofluids. *Chem. Rev.* **2022**, *122*, 3459–3636. (b) D. Wu, A. C. Sedgwick, T. Gunnlaugsson, E. U. Akkaya, J. Yoon, T. D. James, Fluorescent chemosensors: the past, present and future. *Chem. Soc. Rev.* **2017**, *46*, 7105-7123.
- [6] (a) K. P. Carter, A. M. Young, A. E. Palmer, Fluorescent Sensors for Measuring Metal Ions in Living Systems. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 4564-4601. (b) M. Formica, V. Fusi, L. Giorgi, M. Micheloni, New fluorescent chemosensors for metal ions in solution. *Coord. Chem. Rev.* **2012**, *256*, 170-192. (c) B. Kaur, N. Kaur, S. Kumar, Colorimetric metal ion sensors – A comprehensive review of the years 2011–2016. *Coord. Chem. Rev.* **2018**, *358*, 13-69.



화학C

08\_반도체성 탄소나노튜브 소자를 이용한  
고이동도 TFT의 특성 비교 연구



# 반도체성 탄소나노튜브(CNT) 소재를 이용한 고이동도 TFT 소자의 특성 비교 연구

김민아 (와우중학교 2학년)

김연서 (비전중학교 2학년)

서정우 (석천중학교 2학년)

지도교수 : 이태권 (아주대학교 화학과)

**초록 :** OLED, 태양전지, 차세대디스플레이나 기능성 센서 등의 주재료로 사용되는 반도체 물질의 중요도는 나날이 높아지고 있다. 현재 반도체 산업의 발전과 필요성에 비해 실리콘 외의 반도체 소재에 대한 연구는 아직 미흡한 수준이다. 이에 따라 본 연구는 미래 발전 가능성과 이용 가치가 있는 CNT(탄소나노튜브)의 반도체 역할에 주목하여 진행되었다. CNT 반도체 성질은 입증되었지만, 이를 실용화하기까지 아직 많은 단계가 남아있다. 반도체의 특성을 가지고 있는 CNT를 얻는 방법에는 여러 방법이 있지만, 그중 가장 저렴하고 쉬운 방법인 공액 고분자를 이용한 랩핑을 시도하였다. 반도체성 CNT를 랩핑하기 위해 세 종류의 고분자를 사용하였고, 성능 확인을 위해 박막 TFT 소자를 제작하여 이동도(mobility)와 점멸비(on/off ratio)를 비교하여 평가하는 연구를 진행하였다. 실험 결과 세 고분자(PFDD, P3DDT, PDPP)중 PFDD/CNT의 전하 이동도가 가장 높았고, on/off 비율도 상대적으로 준수한 성능을 보였다. 스핀 코팅 방법으로 TFT를 제작한 결과 PFDD/RN220 CNT 소재의 이동도가 24.28, on/off 비율이  $10^3$ 으로 가장 좋았지만, on/off 비율은 여전히 낮은 편이었다. 따라서 이동도를 높게 유지하며 on/off 비율도 높이는 것을 목적으로 고분자에 CNT를 첨가하거나 역으로 CNT에 고분자 비율을 달리하여 추가하는 연구를 진행했으나 이동도나 점멸비가 개선되지 않고 오히려 성능이 저하되었다. 이를 보완하기 위한 추가 연구로 반도체성 CNT의 순도를 더욱 높이는 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

# I. 서론

## 1.1. 연구배경

4차 산업 혁명 시대를 맞이하면서 고성능 컴퓨터와 차세대 디스플레이의 필요성이 높아지면서 TFT용 반도체 소재 기술이 주목받고 있다. 특히 삼성의 AMOLED 스마트폰, LG의 OLED TV 등의 첨단 디스플레이와 신재생에너지인 태양전지의 주재료로 사용되는 반도체 소재의 중요성이 부각되고 있다. 현재는 a-Si:H(무정형 실리콘), LPTS(저온 다결정 실리콘), a-oxide(무정형 산화물반도체) organic(유기물 반도체) 등과 같은 소재들이 활발히 연구가 진행되고 디스플레이에도 적용되고 있다. 현재 이용되고 있는 반도체 소재들 중 가장 성능이 좋은 LPTS는 고해상도를 필요로 하는 디스플레이에 이용되며 전자 이동도가 100에 이르지만 대형화에는 단점이 있다. 이를 극복하면서도 향후 플렉서블 디스플레이, 스트레처블 소자에 적용 가능하면서도 상대적으로 연구가 덜 진행된 반도체성 고이동도 CNT(탄소나노튜브) 반도체 소재 관련 연구가 최근 학계에서 주목을 받고 있다.

	a-Si:H	LPTS	a-Oxide	Organic
mobility	0.5~1	~100	10~50	1~10
uniformity	○	X	○	○
stability	X	◎	○	X
process temp	150~300	350~450	150~400	~200
cost	low	high	low	low
possible display	LCD, e-paper	LCD, OLED	LCD, OLED, e-paper	LCD, OLED, e-paper
scalability	> Gen.8	< Gen.5.5	> Gen.8	> Gen.8
merits	high uniformity	high stability high reliability	low off current	low process temp

그림1. 디스플레이용 반도체 소재들의 특성 비교

CNT는 탄소나노튜브의 약자이며 그래핀, 풀러렌과 같은 탄소 동소체의 종류 중 하나이다. 하나의 탄소가 다른 탄소 원자와 육각형 벌집무늬로 결합되어 튜브 형태를 이루고 있는 구조이고, 전기전도도가 구리와 비슷하며, 강도 또한 철강보다 10배-100배 정도 더 뛰어나다는 특성이 있다. 이러한 CNT와 반도체의 특성을 접목시킨다면, 열전도율은 높으며 강도는 세고 연성과 전성이 강한 TFT를 제작할 수 있고 좀 더 기술이 발전된다면 실제 제품에도 적용하여 상용화에도 이를 수 있을 것이라 기대된다. 특히 CNT는 다른 여러 종류의 반도체보다 가늘고 작게 만들 수 있다. 기존의 반도체(실리콘)는 집적도가 10 nm 이하가 되면 누설 전류가 발생하여, 제조 공정에서 추가 비용이 나올 뿐만 아니라 더 많은 전력을 소비하게 한다. 하지만 CNT는 10 nm의 집적도보다 더 작은 크기를 가지고 있다. 따라서 CNT를 이용하면 하나의 전자 부품에 실리콘보다 많은 전자 소자를 넣을 수 있고, 이에 따라 더 적은 전력으로 좋은 효율을 낼 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 CNT의 잘 휘어지

는 성질은 미래의 기술이라고 주목받고 있는 웨어러블 디스플레이, 폴더블 디스플레이에도 적용될 수 있을 것이다. CNT 소재의 높은 전하 이동도는 여러 전자 기기의 주요 성능을 높여줄 수 있으므로 고성능 반도체 소재를 사용하기 위한 다양한 연구 분야에 적용가능한 충분한 가치를 지니고 있다.

본 연구에서는 우수한 반도체의 성질을 지니고 있지만, 효율적인 측면에서 아직 연구개발이 많이 진행되지 않은 CNT를 반도체 연구 소재로 선택하였다. 금속성-반도체성이 혼합된 CNT 원재료를 고순도로 반도체성 소재만 선택적으로 분리하는 방법으로는 DGU(Density Gradient Ultracentrifugation) 방법, Sephacryl 특수 겔을 이용한 크로마토그래피, DNA 래핑법, 그리고 공액고분자를 이용하여 선택적으로 래핑하는 분산법 등이 있다. 이 중에서도 공액고분자를 이용한 래핑법은 다른 경쟁 기술에 비해 저비용/고순도로 쉽게 분리할 수 있어 대량 생산이 가능하고, 절연 특성이 있는 계면활성제를 사용하지 않아 전자소자 응용에 매우 적합한 분리법이다. CNT 종류 중에서도 전기적 특성이 좋은 SWCNT(단일벽탄소나노튜브) 반도체성 소재를 고순도를 분리하는 고분자 래핑부터 시작해서, 반도체로서의 특성을 가장 잘 확인할 수 있는 ‘트랜지스터(TFT, thin film transistor)’ 소자를 제작하고 평가하는 것까지 연구를 수행하였다. 또한 CNT뿐만 아니라 그래핀, 고분자 등 다른 반도체성 전자 소재를 이용하여 박막 TFT 소자를 제작하고 이동도(mobility)와 점멸비(on/off ratio) 성능을 비교하여 평가하는 연구를 진행하였다.

## 1.2. 연구목적

현재 반도체성 CNT를 얻는 과정이 복잡하며, 재현성도 부족하다. 따라서 이번 연구는 이러한 변인들을 통제해 성능이 좋은 반도체성 CNT 소재를 만드는 방법에 초점을 두었다. 연구의 주목적은 여러 조작 변인을 설정해 실험한 후 가장 성능이 좋은 CNT를 선별하는 것이다. 당장 전자기기에 적용되기는 어렵겠지만, 이를 활용할 수 있는 미래 연구의 발전에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 가장 뛰어난 성능을 낼 수 있는 소재의 조합을 찾고, 이후 이를 기반으로 고이동도의 TFT 결과를 얻는 것이 연구의 최종 목적이다. 특히 반도체성 CNT로 TFT를 제작하여 실제 소자에도 쓰일 수 있을지 평가하고, 반도체로서의 CNT의 성능을 개선하기 위한 실험을 진행하고자 하였다.

## 1.3. 연구범위

SWCNT(단일벽탄소나노튜브) 반도체성 소재를 고순도를 분리하는 고분자 래핑부터 반도체로서의 특성을 확인할 수 있는 ‘트랜지스터(TFT, thin film transistor)’ 소자를 제작하고 평가하는 연구를 수행하였다. 현재 실험실 수준에서 완벽한 고순도의 반도체성 CNT 소재와 정교한 트랜지스터 소자를 만드는 것은 불가능하다. 본 연구에서는 Si 웨이퍼 기반의 트랜지스터를 제작하여 CNT 소재의 성능을 평가하였다. 특히 고분자 종류에 따른 반도체성 SWCNT 소재들의 비교 연구를 수행하였다.

## II. 이론적 배경

### 2.1. CNT(탄소나노튜브)

연구 수행을 할 때 중점적으로 이용된 물질은 CNT와 고분자이다. CNT는 탄소 나노튜브로 원기둥 모양의 나노 구조를 이루는 탄소 동소체이다. 탄소가 육각형으로 배열되어 평면을 이루는 그래핀과는 달리 그래핀을 3차원 구조로 옮긴 구조가 CNT이다. 열전도율, 전자 이동도, 강도 등이 높아 나노기술, 전기공학, 광학 등에 널리 이용되고 연구되고 있다. CNT의 전기적 특성은 전기 전도도가 상당히 높은 구리와 비슷하다. 도체인 구리와 달리 구조에 따라 반도체성 성질을 보이기도 한다. CNT의 열적 성질에 있어서는 자연계에서 가장 뛰어난 열전도율을 보여주며 고온에서 잘 견딜 수 있다. 기계적 성질에서는 철강보다 10-100배 정도 뛰어나다는 장점이 있다. 세상에서 제일 뛰어난 인장 강도를 가지고 있는 물질이기도 하다. 탄소 함유는 1%만 변형시켜도 끊어지지만, 탄소나노튜브는 15%까지 변형이 가능한 탄성이 존재해 실생활에서 아직 많이 개발되지 않은 구부러지거나 신축성이 필요한 디스플레이에도 사용될 수 있다.

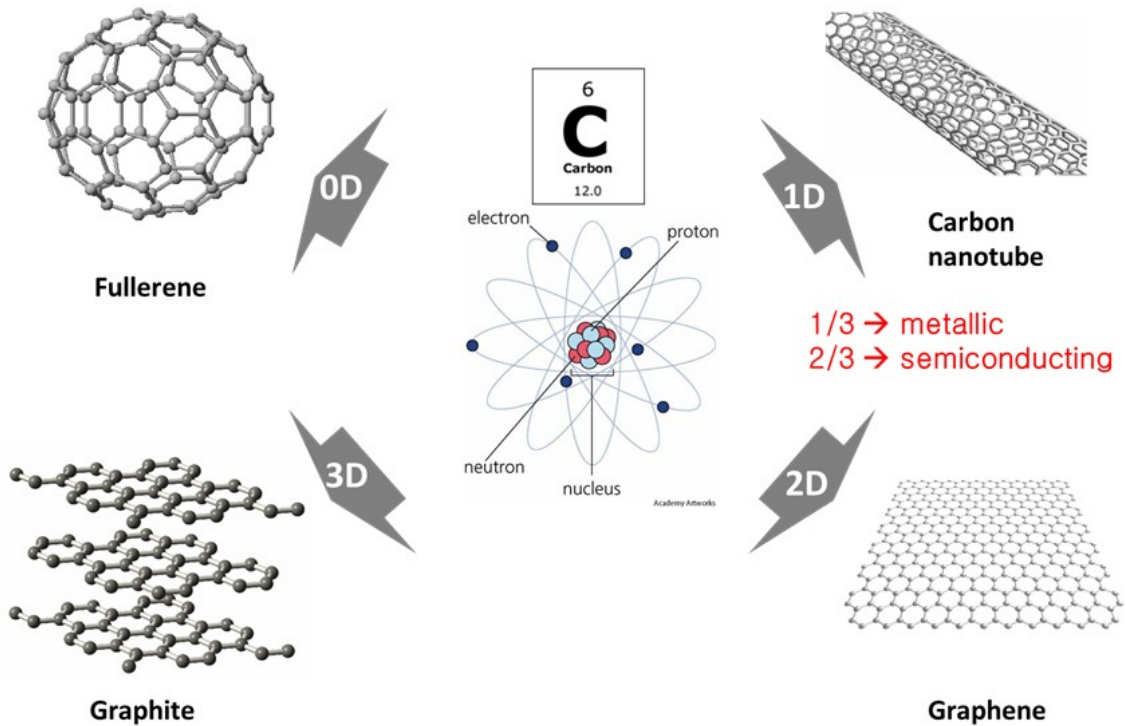


그림2. 탄소 동소체

CNT에는 두 가지 종류가 있다. SWCNT와 MWCNT는 모두 CNT이지만 흑연 면의 개수에 있어 차이가 있다. SWCNT는 흑연 면이 하나로써 MWCNT보다 전기적, 기계적 특성이 모두 우수하다. 하지만 대량 합성이 어렵고 가격대가 MWCNT보다 높다. 그에 비해 MWCNT는 여러 겹의 벽을 가지고 있는 CNT로 SWCNT보다 합성이 쉬워 먼저 상용화되었다. SWCNT보다 전기적, 기계적 특성은 떨어지지만 대량 합성에 용이하다. 따라서 저가의 응용분야에 유리하고, CNT가 상용화가 된다면 SWCNT의 쉽고 저렴한 합성법이 나오지 않는 한 MWCNT의 사용이 많을 것으로 판단된다.

<p><b>Single-wall Nanotube</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흑연면이 하나의 벽을 이루고 있는 탄소나노튜브</li> <li>· 기본 물성이 MWNT 보다 우수한 점이 많고, 응용제품 적용에도 유리</li> <li>· 대량합성이 어렵고, 가격이 높은 점이 산업화의 걸림돌</li> <li>· Long Term Application 에서는 SWNT 가 MWNT 보다 유리</li> </ul>
<p><b>Multi-wall Nanotube</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 흑연면이 두개 이상의 벽을 이루고 있는 탄소나노튜브</li> <li>· MWNT 가 SWNT 보다 먼저 상용화</li> <li>· SWNT 보다 물성을 떨어지나, 대량합성이 용이</li> <li>· 저가를 요하는 응용분야 상품에 유리</li> </ul>

그림3. SWCNT와 MWCNT 특성 비교

또한 CNT는 전기적 특성에 따라 반도체성(semiconductor) CNT와 금속성(metallic) CNT로 나누어져 있다. CNT는 원통형 구조로 생겼으며 주위에 탄소 원자가 나선 모양으로 배열되어 있다. Chiral vector(카이랄 벡터)는 탄소 원자가 어떤 방향으로 나선을 그리는지 나타낸다. 즉, 카이랄 벡터는 CNT의 구조를 정의하며 (n,m) 인덱스 형태의 두 가지 정수로 표현되며, 이는 CNT의 카이랄 벡터를 보여준다. n=m일 때의 경우에는 armchair 구조를 가진다. 이때는 특별한 전자적 특성을 가지는데 금속성과 제자리 회전 대칭성(CNT를 일정한 각도로 회전시켜도 성질이 유지되는 안정적인 상태), 고전도성의 밴드 구조를 갖는다.

Chiral vector가  $n \neq m$ 일 때는 chiral 상태가 된다. Armchair보다 흔한 경우로 CNT가 가지고 있는 나선형 구조를 말한다. 길이와 지름 또한 변할 수 있다. 초기 상태의 카이랄 상태는 금속성을 지니고 있다. Chiral vector가  $n \neq m$ 일 때는 반도체 성질을 지닐 수 있게 된다. Chiral vector가  $n-m$ 이 3의 배수이면 CNT는 금속성을 지닌다. 다르게 말하면  $n-m$ 을 3으로 나누었을 때 나머지가 0이 아니라면 반도체성을 지닌다. 이렇게 CNT를 금속성과 반도체성으로 나눌 수 있다.

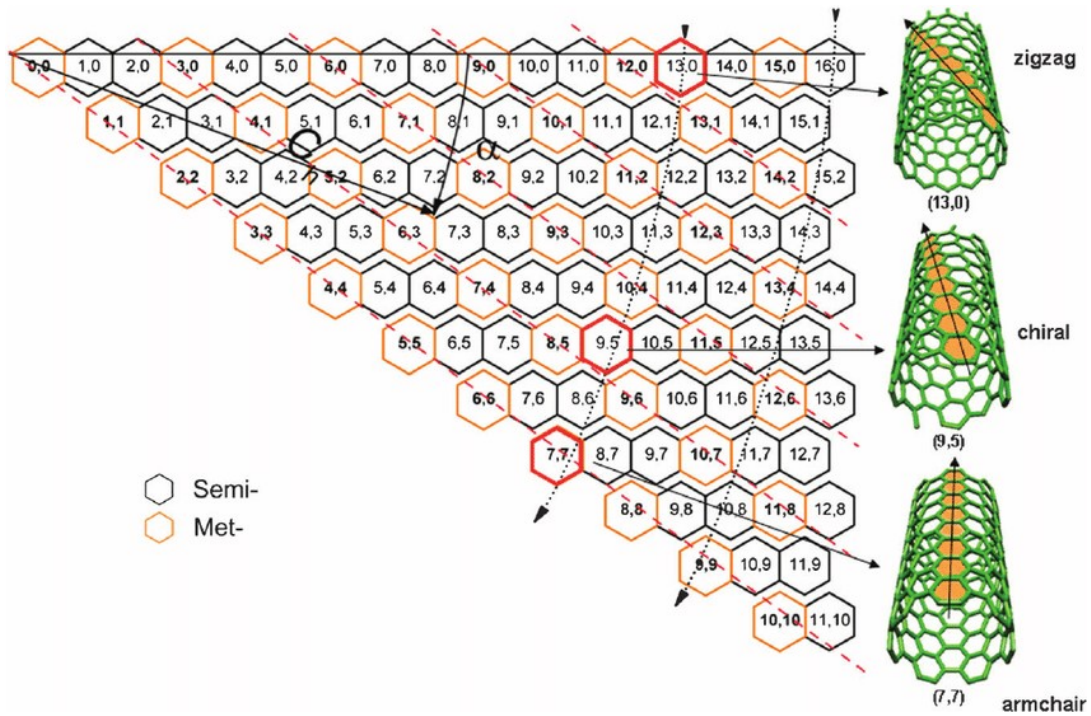


그림4. CNT의 인덱스에 따른 카이랄 반도체성 CNT, 금속성 CNT의 예

공액 고분자를 이용하면 SWCNT를 랩핑하여 반도체성 CNT를 선택적으로 분리할 수 있다. 이때 CNT의 반도체 에너지 밴드갭에 적절한 에너지 수준을 가진 고분자를 사용하여 분리한다. 특정 고분자를 선택해 CNT의 표면에 랩핑시키는데, 이때 반도체성 CNT와의 강력한 파이-파이 결합이 필요하다. 공액 고분자 중에서는 알킬 체인을 이용하여 안정화 작업을 쉽게 하고, 랩핑의 효율성, 수율 비교, 소재의 TFT 성능 비교를 위해 PFDD, P3DDT, PDPP 세가지를 선정하였다. 아래 꼬리처럼 붙어 있는 구조가 알킬 체인이며 랩핑할 때 CNT 지름에 맞게 적합한 길이를 사용해야 한다. 본 연구에서 적용된 플라즈마법으로 합성된 RN-220 SWCNT를 랩핑하기 위해서는 C12의 알킬 체인을 채택하였다.

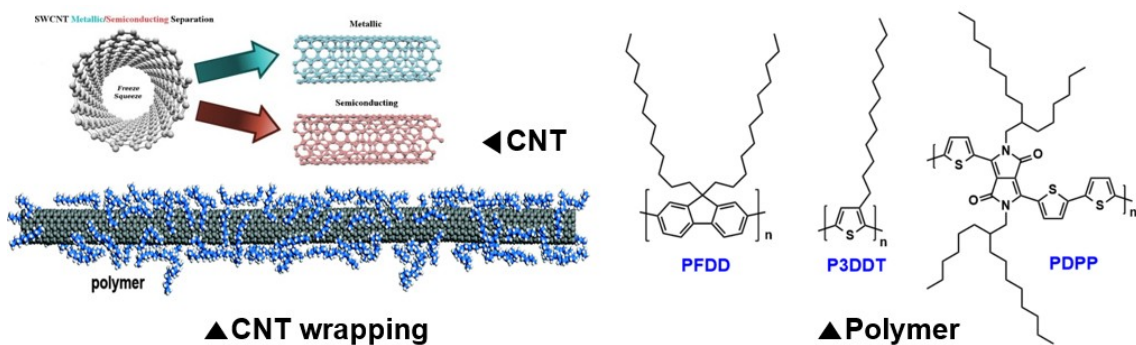


그림5. 공액 고분자의 종류 및 고분자 랩핑법을 이용한 반도체성 CNT의 분리

## 2.2. Transistor (트랜지스터)

트랜지스터는 전류의 전압의 흐름을 조절하여 증폭하거나 스위치 역할을 하는 반도체 소자로, 박막트랜지스터(TFT)는 박막(약  $1\mu\text{m}$  이하의 막)으로 이루어진 트랜지스터이다. 트랜지스터는 현대 전자기기의 기본 구성요소를 이루는 소자로 우리가 사용하는 스마트폰, 태블릿PC, 노트북 등에도 사용되며 큰 역할을 하고 있다. 따라서 다양한 공액고분자로 랩핑한 반도체성 CNT 소재의 특성을 비교 평가하기 위해 반도체 소자로 가장 잘 알려진 트랜지스터를 선정하였다. 특히 TFT는 박막 트랜지스터로 픽셀의 밝기를 조절하는 스위치 역할의 반도체 소자를 뜻한다. 기본적으로 gate에 인가되는 전압으로 source와 drain 전극에 흐르는 전류의 양을 조절한다. 이때 트랜지스터 소자의 절연막 위에 CNT를 반도체 층으로 코팅하면 소자 특성을 구현할 수 있다.

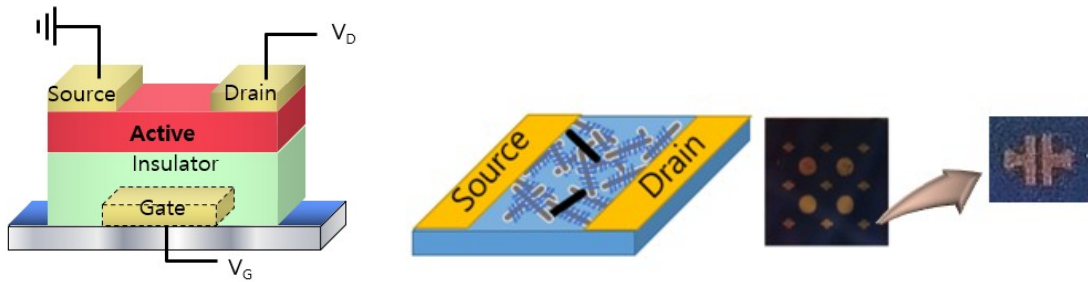


그림6. TFT(박막트랜지스터)의 구조와 연구에 사용된 Si 웨이퍼 TFT의 구조

TFT의 전하 이동도(mobility)는 전하(정공, 전자)가 박막 소자 내에서 얼마나 빨리 움직이는지를 나타내는 정도이다. 전하 이동도가 높을수록 고성능, 고해상도 소자에 적용된다. 점멸비(on/off ratio)는 전류가 가장 높을 때(TFT on)와 전류가 가장 낮을 때(TFT off)의 비율로 스위치 역할을 의미한다. 이동도와 점멸비가 높을수록 반도체의 기능성이 높아진다. 반도체성 CNT가 코팅된 트랜지스터의 성능은 반도체 특성 분석기와 probe sation으로 평가한다. 이때 사용되는 그래프와 이동도 측정 공식을 그림 7에 나타내었다. 여기서  $\mu$ 는 전자 이동도, L은 source와 drain 전극 사이의 거리, W는 source와 drain의 거리와 수직인 변의 길이이다. 이 공식을 이용해 코팅된 트랜지스터들의 성능을 비교할 수 있었다. 엑셀을 이용하여 전하 이동도와 점멸비를 추출하였고, 이를 기반으로 소재들의 성능을 비교하였다.

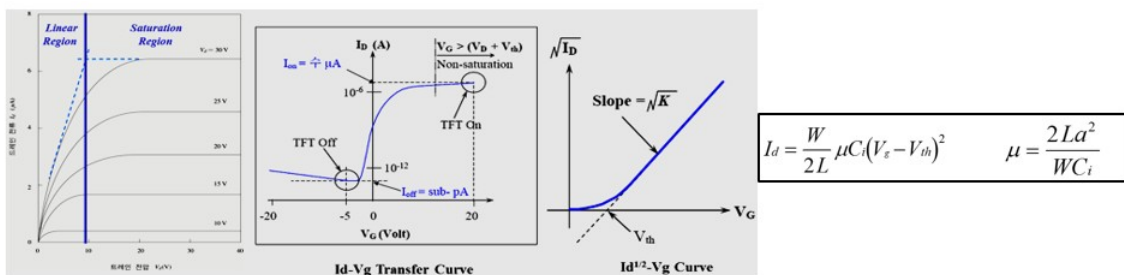


그림7. TFT(박막트랜지스터)의 일반적인 특성 그래프 및 이동도 계산 공식

### III. 연구방법

#### 3.1. 연구에 사용된 물질들

1. SWCNT 소재 (RN220 제품)
2. 공액 고분자 (PFDD, P3DDT, PDPP)
3. S/D 전극이 증착된 TFT 소자 (BGBC 구조)
4. 고분자를 녹이고 반도체성 CNT 소재를 추출하기 위한 용매 (Toluene)

주요 실험 과정	실험 도구
CNT의 고분자 랩핑(wrapping)	전자저울
	Tip Sonicator
반도체성 CNT의 분리	거름종이
	Membrane filter
	원심분리기
CNT Coating 및 TFT 소자 제작	Spin coater
	다이아몬드 칼
	Hot plate
TFT 성능 평가	반도체 특성 측정기기
	Probe station

#### 3.2. 연구 과정(1)

연구 과정(1)에서는 PFDD, P3DDT, PDPP 세 종류 고분자의 반도체성 SWCNT 랩핑과 얻어진 소재들의 TFT 성능 차이를 보기 위해서 실행된 실험이다.

##### 3.2.1. 고분자의 CNT 랩핑

CNT가 semiconductor CNT와 metallic CNT로 나누어지기 위해서는 고분자 랩핑 과정이 필요하다. 이 과정을 거치면서 혼합된 CNT에서 두 성질의 CNT로 각각을 분리할 수 있고, 이 연구에서 필요한 반도체성 CNT만을 고순도로 추출할 수 있다. 다음은 고분자 랩핑을 하기 위한 실험 과정이다.

- 1) PFDD 고분자를 20 mg 저울로 측정하여 50 ml 바이알에 담는다.
- 2) Toluene 20 ml를 고분자가 들어있는 바이알 병에 담는다.
- 3) Bath sonicator를 이용해 고분자가 toluene에 잘 녹도록 한다.
- 4) CNT(RN-220)를 20 mg 측정하여 고분자가 용해된 바이알병에 넣는다.
- 5) CNT와 고분자 랩핑을 위해 tip sonicator를 1시간, 20도의 조건에서 돌려준다.
- 6) 랩핑된 CNT 혼합물에서 반도체성 CNT만 추출하기 위해 원심분리기를 21,000 g, 1 h, 10도의 조건에서 실행한다.
- 7) 위의 과정을 고분자를 바꿔가면서(PFDD, P3DDT, PDPP) 실행한다.

이와 같은 과정을 따라 실험을 진행하면 바이알 병 안에서 반도체성 CNT와 금속성 CNT로 분리된 것을 관찰할 수 있다.

### 3.2.2. 소재의 반도체 특성 확인 (UV-Vis 분광 특성)

1. UV SPECTRONIC 기기를 이용하여 톨루엔만을 측정한다. (배경)
2. 위 실험에서 얻어진 톨루엔 용액을 분광셀에 넣고 UV SPECTRONIC으로 측정한다. (600-800 nm 영역에 흡수가 없다면 반도체 순도가 좋음)

### 3.2.3. 반도체성 CNT 소재만 분리하기

- 1) 새로운 바이알 병 위에 깔때기, 거름종이 순으로 올려놓는다.
- 2) 거름종이 위에 혼합된 CNT 용액을 넣는다.
- 3) (2)의 과정을 거치면 금속성 CNT를 제외한 반도체성 CNT 용액이 들어간다.
- 4) 과량의 고분자를 제거하기 위해 삼각 플라스크(진공관이 연결된), 금속으로 만들어진 구멍이 있는 판, 멤브레인 필터, 긴 유리원통, 금속판과 멤브레인 필터와 원통을 고정해 줄 수 있는 집게 순서로 배치한다.
- 5) 긴 유리 원통 안에 (3)의 용액을 넣어준다.
- 6) 고분자가 빠져나간 반도체성 CNT를 얻을 수 있다. (멤브레인 필터에 필름 형태)
- 7) 멤브레인 필터에 붙은 반도체성 CNT를 추출하기 위해 멤브레인필터-CNT를 새로운 바이알 병에 넣은 후 아세톤을 적당히 넣어준다.
- 8) 아세톤에 멤브레인 필터가 녹으면, 남은 반도체성 CNT 필름을 얻을 수 있다.
- 9) 고분자를 바꿔가면서 실행한다.

### 3.2.4. 반도체성 CNT 소재 잉크 만들기

반도체성 CNT를 추출하면 이를 다시 잉크 형태로 만들어 TFT 소자에 코팅시켜야 한다. 다음과 같은 과정으로 TFT에 CNT를 용액공정으로 코팅한다.

- 1) PFDD/P3DDT/PDPP CNT 필터를 잘라서 질량을 잰 후 1:10의 비율로 톨루엔 용액을 넣어준다. PFDD(1.1mg 중 0.7mg), P3DDT(1.3mg 중 0.7mg), PDPP(5.6mg 중 1.1mg)
- 2) Bath 소니케이터를 이용해 필터를 분산시켜준다.  
-> 분산 잘 되는 순서 (pdpp -> pfdd -> p3ddt)

### 3.2.5. TFT 소자 만들기 (스핀 코팅)

- 1) TFT 소자의 먼지를 질소 건으로 제거한다.
- 2) TFT를 spin coater에 올려놓은 후 toluene에 녹은 반도체성 CNT를 소자가 덮일 정도로 2~3방울 떨어뜨린다.
- 3) 스핀코터로 500 rpm으로 5초, 3000 rpm으로 30초 돌린다.
- 4) 스핀코터가 멈추면 toluene을 기화시키기 위해 핫플레이트 100도에 5분 올려놓는다.
- 5) 그 후 200도의 핫플레이트로 옮겨 10분/1시간 동안 anealing을 한다.

6) Annealing이 완료된 TFT를 다이아몬드 칼로 긁어 gate 전극을 노출시킨다.

### 3.2.6. TFT 소자 만들기 (딤코팅)

- 1) 각 병에 TFT소자를 넣고 피펫으로 3 ml씩 각각 PFDD/P3DDT/PDPP CNT 용액을 넣어준다.
- 2) 상온에서 3시간 동안 기다린다.

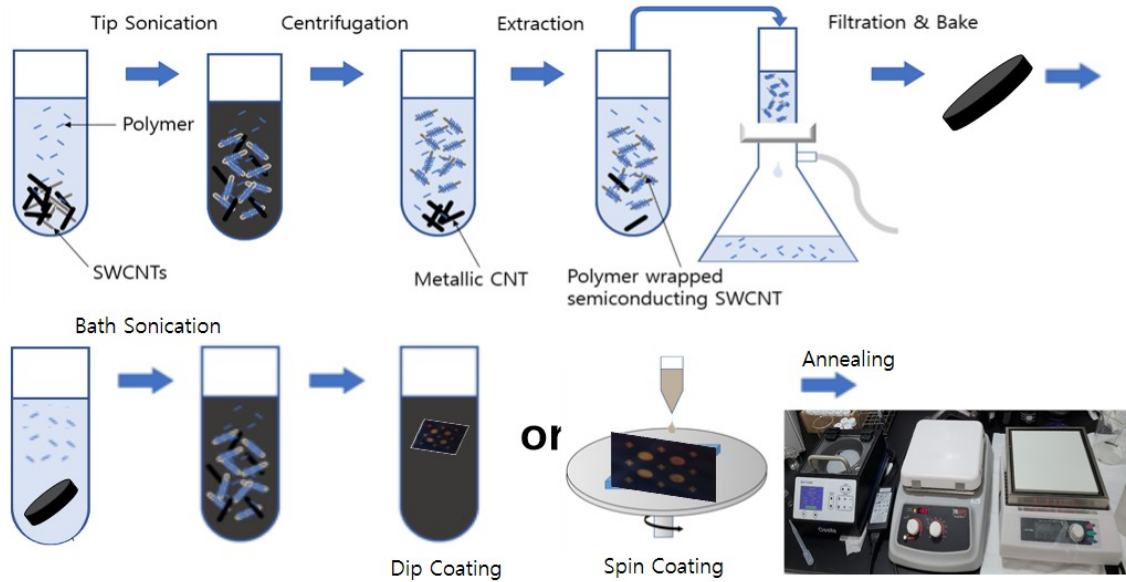


그림8. 반도체성 CNT 소재 분산, 분리 과정 및 TFT 소자 제작 과정

### 3.2.7. p-Type TFT 소자 측정

- 1) probe station으로 각 탐침을 세 개의 전극에 각각 연결한다.
- 2) 반도체 특성 측정기에 연결된 프로그램에 게이트는 40V ~ -40V, 스텝 레벨은 -1V로 설정해준다.
- 3) 드레인 전극은 -20V로 설정한다.
- 4) 트랜스퍼 커브를 측정하고 엑셀식을 이용하여 이동도와 점멸비를 계산한다.



그림9. TFT 소자 특성 평가 장비 및 측정 과정

### 3.3. 연구과정 (2)

연구(1)의 결과를 바탕으로 보았을 때 이동도는 좋았으나 점멸비가 좋지 않았고, 이를 개선하기 위한 추가 실험을 실시하였다. 순수한 공액고분자에 CNT를 소량 첨가하여 소자를 제작하였다. 그리고 기존 1:1 비율이었던 CNT:고분자를 1:0.5 비율로 조정하였다. 또한 코팅 방식을 스핀 코팅 외에 드랍 코팅, 딥 코팅으로 바꾸어서도 실험을 진행했다. 이때 드랍 코팅은 CNT 용액을 핫플레이트 위의 TFT에 한방울씩 떨어뜨리는 방식이다.

#### 3.3.1. 고분자에 CNT 첨가실험

- 1) PFDD 고분자 10 mg을  $\text{CHCl}_3$  2 ml에 녹여 5 mg/ml의 용액을 만든다
- 2) 위 용액 1 ml에  $\text{CHCl}_3$  4 ml를 넣어 1 mg/ml 용액을 만든다
- 3) PFDD/RN-220 CNT를 정해진 농도(0%, 5%, 10%, 20%, 50%)에 맞추어 2번 용액에 넣어준다.
- 4) 스핀코팅(500rpm 5초, 3000rpm 30초)을 해주고 어닐링(100°C 핫플레이트에서 5분, 200°C에서 1시간)을 진행한다.
- 5) TFT 소자 특성을 측정한다.

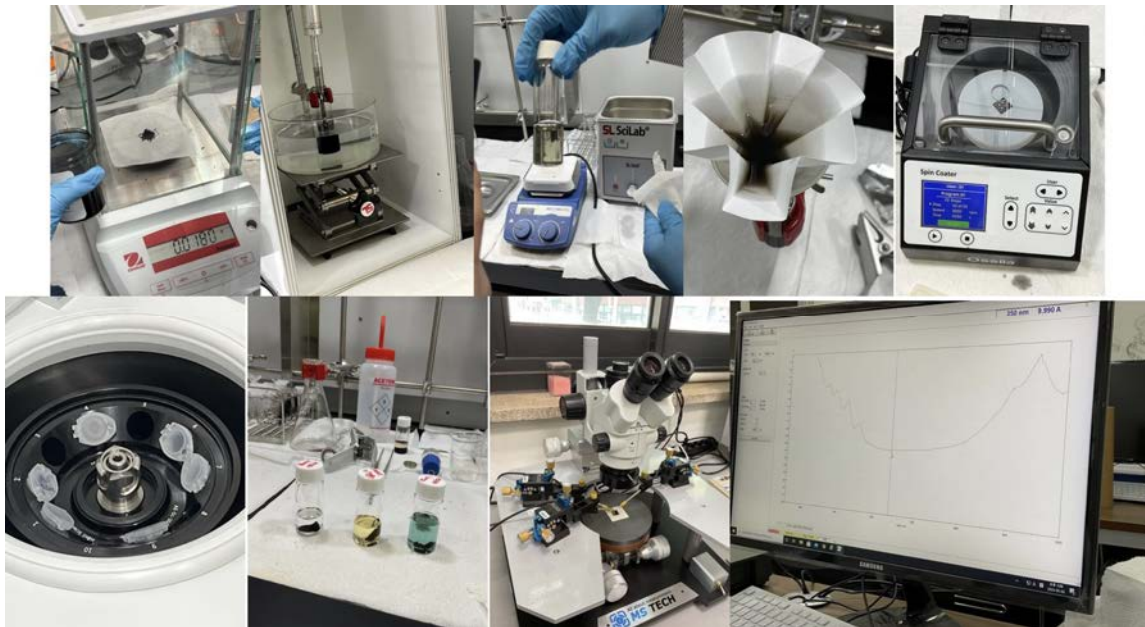


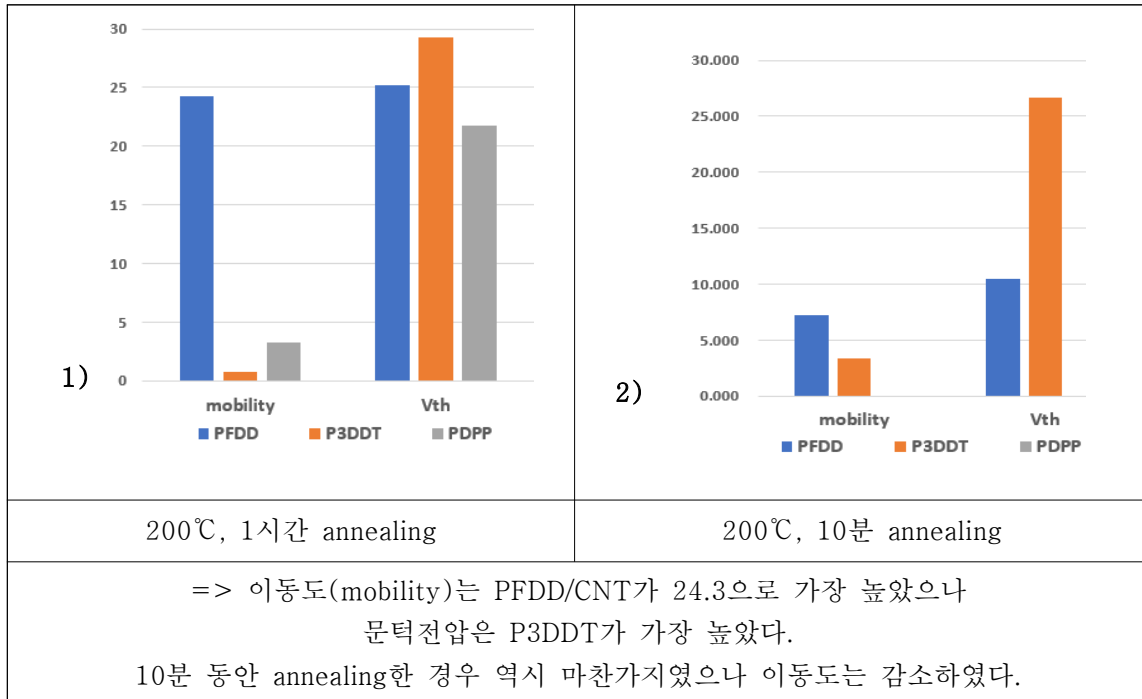
그림10. 실험 진행 과정 A to Z

## IV. 연구 결과

### 4.1. 랩핑 공액 고분자의 종류에 따른 CNT TFT 소자의 이동도 특성 비교

가설1: 분자 내 알킬 사슬이 가장 적은 고분자로 랩핑된 P3DDT/CNT TFT의 이동도가 가장 클 것이다. (P3DDT>PFDD>PDPP)

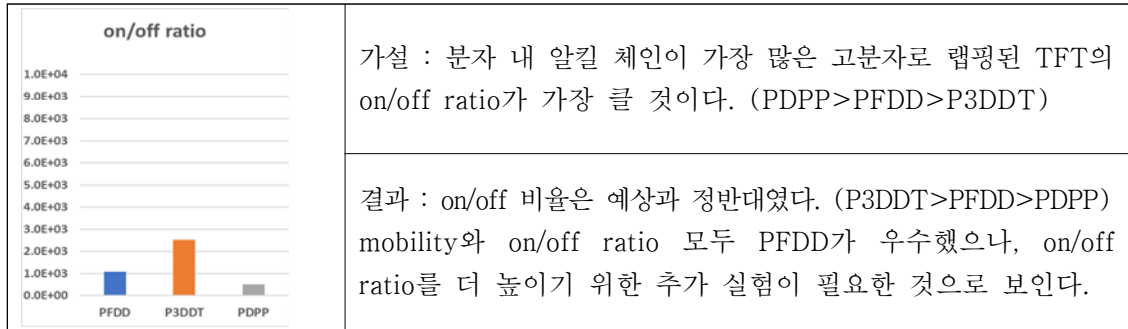
결과1: 가설과는 다르게 PFDD/CNT 이동도가 가장 높았다.



결과값(그래프)에 의하면 PFDD로 랩핑된 CNT의 전자 이동도가 가장 좋았다. 그 다음으로는 PDPP, P3DDT 순으로 전자 이동도가 좋았다. 전자 이동도는 TFT에서 전자가 이동하는 속도와 활동량을 뜻한다. 따라서 전자 이동도가 가장 좋은 PFDD가 반도체로써의 역할을 잘 수행할 수 있음을 알 수 있다. 또한 1번 그래프에서 vth(문턱전압)을 보면 P3DDT가 가장 높고 그다음 PFDD, PDPP 순으로 높음을 알 수 있다. 문턱전압을 TFT가 사용될 때 넘어야 하는 전압을 뜻한다. 문턱전압이 높으면 높을수록 더 많은 전력을 소모해야 한다. 문턱전압은 낮을수록 반도체 소재로 이용할 가치가 높아 PDPP가 반도체로써 효과적인 성능을 낼 수 있다.

1번과 2번 실험의 조건 중 다른 점은 annealing 시간이다. Annealing은 TFT의 성능을 좋게 해주기 위해 하는 열처리 작업이다. 두 결과를 비교하면 annealing을 1시간 했을 때가 10분 했을 때보다 더 나은 성능이 나왔다.

#### 4.2. 공액 고분자 종류에 따른 CNT TFT 소자의 점멸비(on/off) 특성 비교



위 결과(그래프)를 보면 on/off 비율은 P3DDT, PFDD, PDPP/CNT 순으로 높다는 것을 알 수 있다. On/off 비율(점멸비)은 반도체의 역할 중 가장 중요한 스위칭과 연결되어 있다. TFT는 전압에 따라 전류의 세기가 달라져야 한다. 전압을 가했을 때 전류가 가장 약하게 흐를 때와 강하게 흐를 때의 비율을 점멸비라고 한다. 반도체의 스위칭이 잘 되려면 점멸비가 커야 한다. P3DDT의 점멸비는 세 개의 고분자 중에서는 가장 높았지만, 기본적으로 사용되는 TFT의 점멸비보다는 한참 낮았다. 점멸비가 10의 5승을 최소로 가지고 있는 선행 연구들의 TFT와 비교하면 10의 3승의 점멸비(P3DDT로 coating된 TFT)는 스위칭 역할을 수행할 때 문제가 있을 것이다. 전류가 가장 강하게 흐를 때의 수치는 준수하지만 가장 약하게 흐를 때의 전류는 TFT off 상태라고 할 수 없을 정도로 많은 전류가 흐른다. 따라서 off 전류를 더 낮추기 위해 변인을 조작하여 두 번째 실험을 진행하였다.

#### 4.3. PFDD/CNT TFT의 on/off ratio를 높이기 위한 추가 실험

실험 조건에서 변경 가능한 것은 고분자와 polymer의 비율, 용매, 코팅 방법, CNT의 농도 등이 있다. 이 요인들 중 우리는 원래 공액 고분자에 CNT를 소량 첨가하여 비율을 조정해보는 실험과, 코팅 방법을 dip coating, drop casting으로 바꾸어 진행하였다.

##### 4.3.1. PFDD 고분자에 CNT 첨가 실험

- 실험 결과: 예상과 달리 전하 이동도와 on/off 비율 모두 전에 비해 낮게 나왔다.

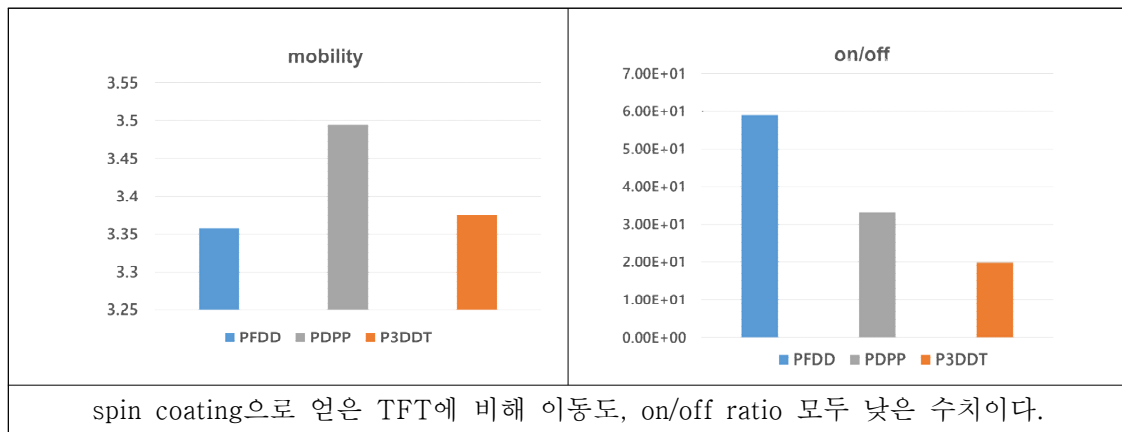
고분자에 CNT 첨가 실험(on, off 비율 높이기 위한 목적)								
		CHCl3	CP conct	CP conct				
	mg	ml	mg/ml	mg/ml				
	10	2	5	1				
					CP(ml)	CP(mg)	CNT wt%	CNT (mg)
1	P3DDT		5		2	0	0	0.00
2	PDPP		5		2	0	0	0.00
3	PFDD		5		2	0	0	0.00
4	PFDD			1	0.5	0.5	0%	0.00
5	PFDD			1	0.5	0.5	5%	0.03
6	PFDD			1	0.5	0.5	10%	0.05
7	PFDD			1	0.5	0.5	20%	0.10
8	PFDD			1	0.5	0.5	50%	0.25

#### 4.3.2. CNT에 PFDD 고분자 첨가 실험

- 실험 결과: 예상과 달리 전하 이동도와 on/off 비율 모두 전에 비해 낮게 나왔다.

CNT에 PFDD 고분자 첨가 실험 (on/off 비율 개선 실험)						
PFDD/RN220	toluene	CNT conct		PFDD		
mg	ml	mg/ml		mg/ml		
1	10	0.1		5mg/5ml	1	
	PFDD wt%	CNT (mg)	CNT (ml)	PFDD (mg)	PFDD (ml)	PFDD (ul)
1	0%	0.1	1	0	0	0
2	5%	0.1	0.5	0.0025	0.0025	2.5
3	10%	0.1	0.5	0.005	0.005	5
4	25%	0.1	0.5	0.0125	0.0125	12.5
5	50%	0.1	0.5	0.025	0.025	25
6	100%	0.1	0.5	0.05	0.05	50

#### 4.3.2. dip coating의 이동도, on/off ratio 비교



전하 이동도는 앞선 실험과는 다르게 PDPP/CNT가 가장 우수했고, 이어서 PFDD, P3DDT 순서이다. 비록 이동도는 PDPP가 가장 우수했지만 앞선 실험의 PFDD에 비해 개선된 부분이 없었다. 이동도가 원래 24 가까이 나왔지만, 추가 실험을 했을 때는 3.5도 안 되는 저조한 수치를 보여주었다. 또한 개선되어야 하는 점멸비 부분도 10의 1승으로 더 감소했다. 앞선 실험에서 잘 나오지 않았던 점멸비를 높이고자 진행한 실험은 전하 이동도가 심하게 낮아진 것뿐만 아니라 점멸비 수치가 개선되지 않았다.

따라서 고속 원심분리기를 사용하여 회전을 더 강하게 하거나, 원심분리를 2-3번 반복하는 것, 고분자와 CNT 농도를 조절하여 반도체성의 순도를 높이는 등의 아이디어를 후속 연구를 통해 수행해보고자 한다.

#### 4.4. 실험 결과 해석

위의 두 실험을 통해 TFT에 이용할 수 있는 가장 좋은 CNT의 조건을 알아낼 수 있었다. 우선 코팅 방법에 따른 결과 값의 차이를 통해 한 가지의 조건을 알아낼 수 있었다. 처음 실험에 이용한 코팅 방법은 spin coating으로 여러 코팅 방법 중 수작업이 거의 필요하지 않고 빠르게 진행할 수 있었다. 또한 수작업의 차이로 인한 결과 차이가 작게 나타난다. 그 이유는 spin coating 방법 중 수작업이 필요한 단계는 spin coater 위에 올려놓은 TFT에 스포이드로 CNT 용액의 액체를 떨어뜨리는 것인데, 이는 spin coater가 돌아가면서 균등하게 코팅된다. 그에 비해 딥코팅은 CNT의 정확한 농도, 넣는 각도와 방법 등과 같은 많은 수작업에 변수가 발생하고, 시간이 오래 걸린다. 위 결과와 이러한 사항들을 고려해보면 spin coating과 dip coating을 비교했을 때는 spin coating이 시간, 난이도, 균일성, 전자 이동도, 점멸비 등에서 우수한 성능을 보여줄 수 있다.

TFT의 성능을 높이기 위해 annealing 과정을 거쳤는데 이때 annealing을 1시간 했을 때와 10분 했을 때의 성능을 비교했다. Annealing을 1시간 했을 때의 성능이 10분 했을 때의 성능보다 월등히 높았으며 각 고분자의 상대적인 차이 또한 동일하였다.(수치의 차이가 아닌 성능의 순위)

CNT를 랩핑할 때 3가지의 고분자를 이용했다. PFDD, P3DDT, PDPP 세 가지의 고분자를 이용해 TFT의 성능을 알아본 결과 전하 이동도는 PFDD가 월등히 높았다. 다른 고분자보다 고이동도의 TFT를 제작할 수 있었다. 문턱전압은 PDPP가 가장 낮았고 점멸비는 P3DDT가 가장 높았다. 하지만 각 성능에 중요도를 따진다면 전하 이동도가 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 우리 실험의 PFDD는 다른 고분자를 넘어 선행 연구의 전자 이동도 결과보다 높게 나왔으므로 가장 사용하기 좋은 소재라고 판단 할 수 있었다. 또한 문턱전압과 점멸비는 고분자 간의 차이가 크게 나지 않을뿐더러 선행 연구와 TFT가 반도체 소자로 이용될 수 있는 최소한의 수치가 나오지 않았으므로 PFDD/CNT를 가장 우수한 소재라고 볼 수 있다.

알킬 체인은 실험에서 사용된 세 개의 고분자에 연결된 꼬리처럼 생긴 구조이다. 이 알킬 체인은 CNT를 랩핑할 때 같이 감싸는 부분으로 매우 중요하지만, 랩핑된 CNT에 전류가 흐를 때 알킬 체인이 많은 상태이면 전자 이동에 방해가 될 것으로 예상했다. 따라서 알킬 체인이 가장 적어 전자 이동에 방해가 주지 않을 P3DDT의 전자 이동도가 가장 높을 것으로 가설을 세웠는데 실제 결과는 가장 낮게 나왔다. 또한 가장 낮게 나올 것이라고 예상되었던 PDPP도 두 번째로 높게 나왔다. 그리고 별다른 특이 사항이 없었던 PFDD가 P3DDT와 PDPP의 이동도를 합쳐도 부족한 큰 이동도를 보여줬다. 이를 통해 알 수 있는 사실을 정리하면 다음과 같다.

- 알킬 체인의 TFT 전자 이동에 미치는 영향은 미미하다.
- 알킬 체인이 TFT 전자 이동에 방해하는 것보다 CNT 랩핑의 완성도에 더 큰 영향을 미치며 랩핑의 완성도에 따라 성능의 변화가 크다.

이외에도 PFDD의 성능이 극도로 높게 나온 점에 대해서는 이를 규명하기 위한 추가 실험이 필요할 것으로 보인다. 일단 알킬 체인이 전자 흐름에 방해하는 수준은 미미하므로 성능에 영향을 조금 미쳤을 것으로 추측된다. 이동도의 측면에서는 PFDD의 성능이 우수한 반면 점멸비는 P3DDT, PFDD, PDPP 순으로 좋았다. 점멸비는 반도체의 역할을 수행할 때 중요한 수치이므로 P3DDT의 성능이 우수하다고 볼 수 있다. 하지만 세 개의 고분자의 점멸비 수치 차이가 크지 않으며 선행 연구와 기본적으로 나오는 점멸비(10의 6승 이상)에는 미치지 못하여 세 개의 고분자 모두 좋은 결과를 보여주지 못했다고 볼 수 있다.

## V. 결론 및 제언

다양한 공액 고분자로 랩핑된 CNT를 TFT 소자에 적용하며 CNT의 반도체로서의 특성과 성능을 확인하였다. 가설과는 반대로 알킬 체인의 개수가 가장 적어서 표면적이 넓을 것으로 예측한 P3DDT/CNT의 전하 이동도가 가장 낮았고, 오히려 PFDD/CNT의 전하 이동도가  $24.3 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 으로 가장 높았다. 이는 P3DDT의 적은 알킬 체인 개수 때문에 CNT의 표면적이 많이 노출되는 장점이 단점으로 작용하여 분산이 잘되지 않았기 때문으로 보인다. TFT 소자의 전극 사이에 CNT들이 고르게 분포하지 못하여 전하가 잘 이동하기 어려웠을 것으로 보인다. 세 가지 고분자 중에서 PFDD로 랩핑한 CNT의 반도체 성능(전하 이동도, on/off 비율)이 가장 좋았는데, 이를 통해 알킬 체인이 CNT간의 모종의 변수보다 TFT 성능에 큰 영향을 미치지 않는다는 결론을 도출할 수 있었다. 이 연구의 목표인 반도체성 CNT를 실제 차세대 디스플레이 제품에 적용하기 위해서는 코팅의 균일성, 소자 특성의 재현성, on/off 비율을 높이는 등의 추가적인 실험이 진행되어야 할 것이다.

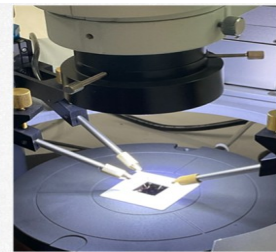
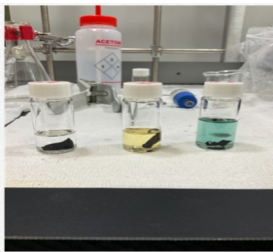
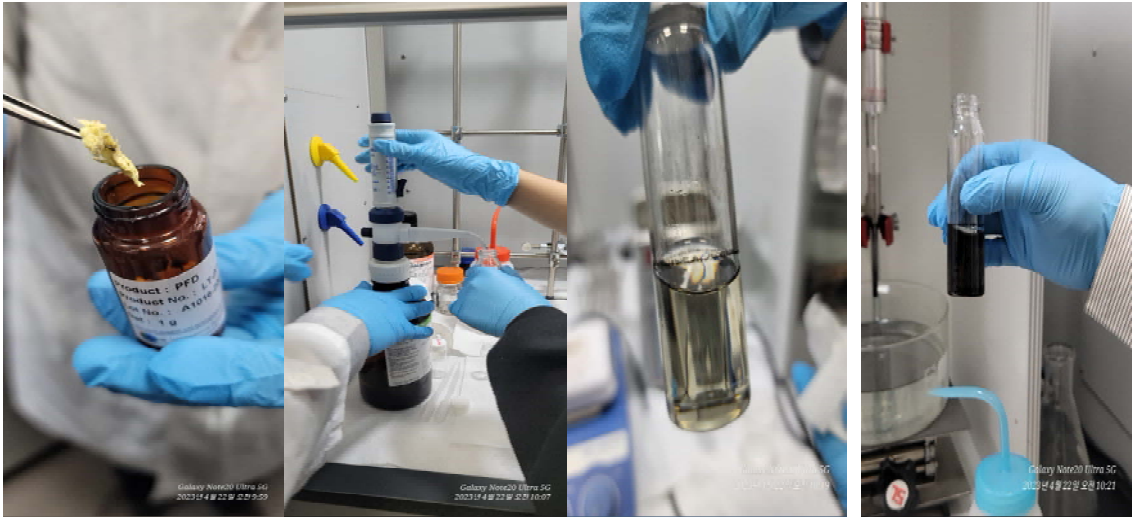
또한 고분자들끼리 알킬 체인의 개수만 다른 것이 아니라 중심 구조가 달랐기 때문에 이에 따른 영향도 연구의 주제가 될 것이다. 따라서 단순히 알킬기의 영향만으로 전하이동도, on/off비율과의 관계를 정확히 확인할 수 없다는 연구의 한계가 있었다. 이는 같은 중심구조에 알킬기를 변형할 수 있는 고분자 합성과 같이 연구가 진행된다면 명확하게 결론지을 수 있을 것이다. 또한 같은 실험을 여러 번 수행한 것이 아니기 때문에 실험 결과가 정확하지 않을 수 있다는 점도 후속 연구를 통해 규명해야 할 부분으로 보인다.

## VI. 참고문헌

1. M. S. Arnold, A. A. Green, J. F. Hulvat, S.I. Stupp, M. C. Hersam, *Nat. Nanotechnol.*, **2006**, *1*, 60 - 65.
2. V. K. Sangwan, R. P. Ortiz, J. M. P. Alaboson, J.D. Emery, M. J. Bedzyk, L. J. Lauhon, T. J. Marks, M. C. Hersam, *ACS Nano*, **2012**, *6*, 7480 - 7488.
3. H. Liu, D. Nishide, T. Tanaka, H. Kataura, *Nat. Commun.*, 2011, *2*, 309.
4. G. S. Tulevski, A. D. Franklin, A. Afzali, *ACS Nano*, **2013**, *7*, 2971 - 2976.
5. M. Zheng, A. Jagota, M. S. Strano, A. P. Santos, P. Barone, S. G. Chou, B. A. Diner, M. S. Dresselhaus, R. S. Mclean, G. B. Onoa, G. G. Samsonidze, E. D. Semke, M. Usrey, D. J. Walls, *Science*, **2003**, *302*, 1545 - 1548.
6. X. Tu, S. Manohar, A. Jagota, M. Zheng, *Nature*, **2009**, *460*, 250 - 253
7. A. Nish, J. -Y. Hwang, J. Doig, R. J. Nicholas, *Nat. Nanotechnol.*, **2007**, *2*, 640 - 646.
8. S. K. Samanta, M. Fritsch, U. Scherf, W. Gomulya, S. Z. Bisri, M. A. Loi, *Acc. Chem. Res.*, **2014**, *47*, 2446 - 2456.
9. T. Lei, X. Chen, G. Pitner, H. -S. Philip Wong, Z. Bao, *J. Am. Chem. Soc.*, **2016**, *138*, 802 - 805.

## VII. 부록

### - 실험 과정 이미지





화학C

## 09\_일상 생활 물질들의 생명체에 대한 영향



# 일상 생활 물질들의 생명체에 대한 영향

이서경 (신원중학교 2학년)

곽동은 (풍동중학교 2학년)

곽시환 (고양중학교 2학년)

황성준 (호곡중학교 2학년)

지도교수 : 이재영 (동국대학교 생명과학과)

## <초록>

일상 생활에서 쉽게 접할 수 있는 화학물질은 출시되기 전 임상 단계를 거치며 안정성을 확보한 뒤 출시되기 때문에 안심하고 사용하고 있다. 하지만 제품의 안전성이 확보되어 있다는 믿음은 다양한 화학물질의 오남용으로 인한 사고 사례로 이어질 수 있다. 제품의 안정성을 확인하기 위해 독성 검사는 필수적 절차이기 때문에 본 연구는 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 화학물질들의 특징과 독성과약을 위해 물벼룩의 심장 박동수 변화를 측정하였다. 이후 심박수 변화의 원인이 되는 성분 물질을 조사 및 유효 성분 검증을 진행하였다. 그 결과 각 물질들이 인체에 미칠 수 있는 영향들을 알 수 있었으며, 오용과 남용으로 인해 발생할 수 있는 부작용을 확인하였다.

## I. 서론 (또는 연구의 필요성 및 목적)

일상 생활은 화학물질의 연속이라고 할 수 있을 정도로 다양한 화학물질을 접하게 된다. 이러한 물질들은 역할과 특징에 따라 여러 가지로 분류되어 있으며, 각 분류에 따라 인체에 다양한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어 졸음을 쫓기 위해 각성제로 분류되는 물질이 다량 함유된 커피 또는 졸음방지 음료를 마신다. 하지만 오남용으로 인해 과도한 심박수 증가, 간손상 등의 부작용이 발생할 수 있다. 이처럼 일상 생활에 밀접한 관계가 있는 화학물질들은 개발단계의 임상 단계에서 안정성을 확보하는 것이 가장 중요하다. 개발 완료 이후에도 시장에 출고되는 물질들은 불특정 다수가 사용함에도 안전 사고가 발생하지 않을 수 있을 농도로 성분 함량을 조정해야 하며 이에 대한 법규 또한 제정되어있다. 특히, 의약품의 경우 인체에 무해하나 병원체를 박멸시킬 수 있는 농도로 조정하는 것이 필수적이며 이를 알 수 있는 단계가 임상 단계에 포함되어있다. 이와 같은 안정성 확보 단계 덕분에 안심하고 사용하고 있지만 인체에 미치는 정확한 원인과 각 물질의 특성, 오남용시 발생할 수 있는 부작용을 정확히 인지하지 못하고 사용하고 있다.

이를 토대로 본 연구진은 주변에서 쉽게 접할 수 있는 물질들의 특성과 독성 평가를 수행하고자 한다. 본 연구는 물을 매개로 화학물질을 간접 투여하는 수서생물독성실험을 응용해 진행하였으며, 수서생태독성실험표지종인 물벼룩을 실험체로 선정하였다. 또한 실험 물질에 의약품군이 포함되어 있기 때문에 질병을 유발할 수 있는 박테리아를 추가 실험종으로 선정하였다. 이들은 생활사가 짧으며, 외부 환경에

민감하게 반응하고 관찰이 용이한 생물 특성을 가지고 있기 때문에 물질 처리 후 물벼룩의 심박수 변화와 박테리아의 성장률 변화를 이용해 물질의 독성을 확인하고자 하였다. 처리 물질들은 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있는 물질을 선정하였고, 심박수와 성장률에 변화를 준 경우를 독성이 있는 물질로 생각하였다.

## II. 이론적 배경

독성 검사는 어떤 물질이 인체에 미칠 수 있는 영향 및 안정성을 파악하기 위해 동물 모델을 사용하여 진행하는 실험을 말한다. 실험에 사용되는 시약의 종류와 목적, 사용 방식, 사용하는 생물모델의 종류 등에 따라 면역독성시험, 일반독성시험, 유전독성시험, 약물독성동태시험, 수서생물독성실험 등으로 분류된다. 이 중 수서생물 독성실험은 물을 매개로 하여 환경 변화 또는 간접적 노출의 독성을 평가하기 위한 실험으로, 짧은 생활사, 높은 번식률과 민감성, 투명성, 측정 가능한 생활 패턴 등의 특징을 가진 생물 모델을 사용하는 것이 적합하다.

## III. 연구 방법

### 1. 실험 방법의 구체화

물벼룩의 심박수 변화를 측정하기에 앞서 세부 실험 조건을 정립하기 위해 아드레날린을 이용한 실험을 진행하였다. 첫 번째로, 물질 처리 시간에 대한 실험을 진행하였다. 물질을 처리한 시간별 심박수는 대체로 비슷한 양상이 나타났으나 물질 처리 직후 측정한 3회의 반복 측정에서 큰 편차를 보여주었다. 또한 물질을 처리한 뒤 2분이 넘어간 후에도 큰 편차가 나타났다. 위와 같은 오차를 줄이기 위해 물질 처리 시간을 1분으로 설정하였다 (표 1).

물질 처리 시간	심박수 (횟수/10초)					백분율 (%)
	대조군	1차	2차	3차	평균	
처리 직후	63	63	66	68	65.7	104.3
1분	57	62	63	63	62.7	110
2분	61	70	67	65	67.3	110.3

[표 1] 처리 시간 별 물벼룩의 심박수 변화

두 번째로, 심박수 측정 시간에 대한 실험을 진행하였다. 물질 처리 후 1분이 지난 후부터 심박수를 측정하였으며, 측정하는 시간을 달리하여 심박수를 측정했다. 실험 결과 대체로 비슷한 양상을 보여 주었으나 측정 시간이 20초를 넘어간 후 심박수의 편차가 커지는 것을 확인하였기 때문에 심박수 측정 시간은 10초로 설정하였다 (표 2).

측정 시간	대조군	1차	2차	3차	평균	백분율 (%)

10초	58	63	64	63	63.3	109.1
20초	112	121	125	126	124	110.7
30초	178	188	191	185	188	105.6

[표 2] 측정 시간 별 물벼룩의 심박수 변화

마지막으로, 물질 처리 농도에 대한 실험을 진행하였다. 아드레날린을 원액으로 사용하는 경우 측정 도중 물벼룩이 사망하여 심박수를 측정할 수 없는 경우가 발생하였다. 따라서 시약을 다양한 농도로 희석하여 실험에 적용하여 측정 가능한 시약 농도를 확인 하였다 (표 3).

물질 처리 농도	대조군	1차	2차	3차	평균	백분율 (%)
1 X	58	65	-	-	-	-
0.5 X	61	62	64	64	63.3	103.8
0.1 X	56	57	59	57	57.7	103.0

[표 3] 처리 농도 별 물벼룩의 심박수 변화

## 2. 처리 물질 선정

본 연구에 사용된 물질의 선정 기준은 아래 표와 같다 (표 4).

1) 일상생활에서 쉽게 접할 수 있다.
2) 불특정 다수가 사용하고 있다.
3) 물(중류수)에 녹을 수 있는 물질이다.
4) 투명하거나 물벼룩의 심박수 관찰을 방해하지 않을 정도로 불투명해야 한다.

[표 4] 물질 선정 기준

위의 기준에 따라 음료류(이온 음료, 커피)와 의약품류(손소독제, 타이레놀, 카나마이신, 아스피린)를 선정하여 실험을 진행했다.

물질의 처리 농도는 1 X의 설정을 가장 중시했으며 1 X를 기준으로 아래 표와 같이 연쇄 희석을 진행해 사용하였다 (표 5). 액체의 경우 제품 그대로를 1 X로 설정하였고, 고체류의 경우 1회 복용 용량에 맞춰 중류수에 녹여 1 X로 설정하였다.

농도	1 X	0.8 X	0.6 X	0.4 X	0.2 X	0 X
시약	1 ml	800 ul	750 ul	600 ul	500 ul	0 ml
중류수	0 ml	200 ul	250 ul	300 ul	500 ul	1 ml
총 부피	1 ml	1 ml	1 ml	900 ul	1 ml	1 ml
잔량	200 ul	250 ul	400 ul	400 ul	1 ml	1 ml

[표 5] 처리 물질의 연쇄 희석

## 3. 물벼룩의 심박수 측정

각 물질의 처리 용량은 20  $\mu$ l로 설정하였다. 연쇄 희석에 사용된 용매가 중류수기 때문에 대조군에 사용될 시약은 중류수로 설정하였다. 전체적인 실험 과정은 아래

표와 같다 (표 6).

물벼룩의 심박수 측정
1) 파스퇴르 파이펫을 이용해 물벼룩을 슬라이드 글라스로 옮긴다.
2) 현미경을 이용해 물벼룩의 심장 위치를 확인한다.
3) 여과지를 이용해 물기를 최대한 제거한다.
4) 증류수를 떨어뜨린 뒤 1분 후 물기를 최대한 제거한다.
5) 타이머와 카운터를 이용해 10초간 심박수를 측정한다.
6) 처리하고자 하는 물질을 떨어뜨린 뒤 1분 후 시약을 최대한 제거한다.
7) 타이머와 카운터를 이용해 10초간 심박수를 3회 기록한다.
8) 실험군의 평균 심박수와 대조군의 심박수를 이용해 백분율을 구한다.

[표 6] 물벼룩의 심박수 측정 과정

#### 4. 박테리아의 성장률 측정

배지 속 박테리아 수와 흡광도는 비례하기 때문에 박테리아의 성장률 측정은 흡광도 측정을 통해 진행되었다. 해당 과정은 액체 배지에서 진행되었으며, 각 물질은 처리 과정에서 배지와 희석되기 때문에 원하는 처리 농도의 1,000 X로 제작하였다. 이후 세포가 자란 배지 1ml당 원하는 물질 1 $\mu$ l을 처리함으로써 1 X의 농도로 처리되었다. 전체적인 실험 과정은 아래 표와 같다 (표 7).

박테리아의 성장률 측정
1) LB 배지에 E.coli를 접종한 뒤 37 $^{\circ}$ C에서 2시간 배양한다.
2) 배양액을 1.5ml ep-tube에 999 $\mu$ l씩 소분한다.
3) 원하는 1,000 X 물질을 1 $\mu$ l 첨가한다.
4) 2시간 동안 30분에 한 번씩 600 nm 파장에서 배지의 흡광도를 측정한다.
5) 3번의 반복 실험을 진행한다.
6) 실험군의 평균 흡광도와 대조군의 흡광도를 이용해 성장 곡선을 그린다.

[표 7] 박테리아의 성장률 측정 과정

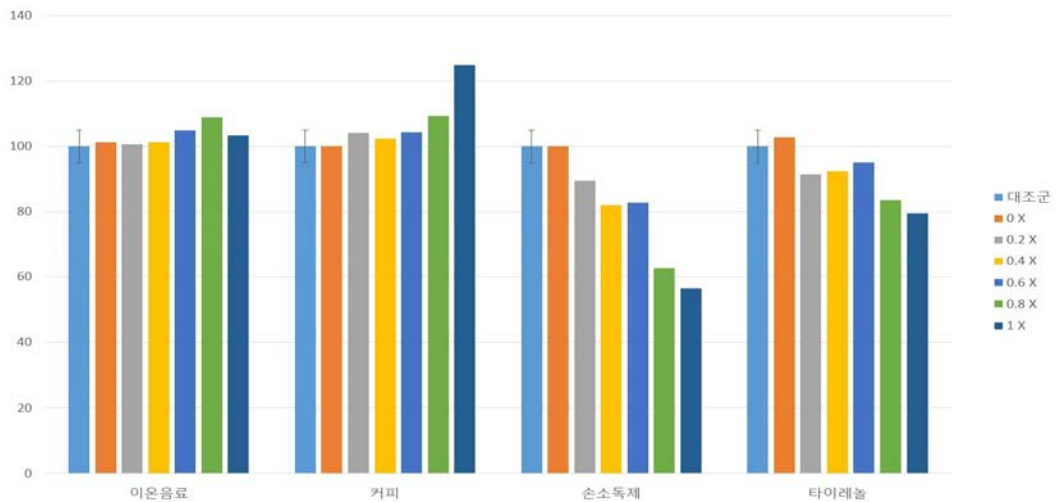
## IV. 연구 결과

### 1. 선정 물질에 의한 물벼룩의 심박수 변화

최대 농도와 최저 농도의 차이는 손소독제, 타이레놀, 커피, 이온 음료 순으로 크게 나타났다 (표 8, 그림 1).

처리 물질		심박수 (횟수/ 10초)					백분율 (%)
		대조군	1차	2차	3차	평균	
이온 음료	1 X	51	48	54	56	52.7	103.3
	0.8 X	53	56	56	61	57.7	108.8
	0.6 X	55	57	55	61	57.7	104.8
	0.4 X	53	52	55	54	53.7	101.3
	0.2 X	50	49	51	51	50.3	100.7
	0 X	55	53	57	57	55.7	101.2
커피	1 X	47	58	60	58	58.7	124.8
	0.8 X	50	54	55	55	54.7	109.3
	0.6 X	55	59	56	57	57.3	104.2
	0.4 X	56	56	58	58	57.3	102.4
	0.2 X	49	49	51	53	51.0	104.1
	0 X	56	54	57	57	56.0	100.0
손소독제	1 X	56	48	40	7	31.7	56.5
	0.8 X	65	39	42	41	40.7	62.6
	0.6 X	54	46	46	42	44.7	82.7
	0.4 X	63	52	53	50	51.7	82.0
	0.2 X	60	56	55	50	53.7	89.4
	0 X	64	62	65	65	64.0	100.0
타이레놀	1 X	52	42	40	42	41.3	79.5
	0.8 X	55	49	46	43	46.0	83.6
	0.6 X	48	45	46	46	45.7	95.1
	0.4 X	57	54	50	54	52.7	92.4
	0.2 X	58	49	56	54	53.0	91.4
	0 X	48	52	47	49	49.3	102.8

[표 8] 물질 처리 시 물벼룩의 심박수 변화



[그림 1] 처리 물질 시 물벼룩의 심박수 백분율

실험 결과 이온 음료의 경우 심박수 변화 폭이 5%이내이기 때문에 물질 처리에 의한 영향이 아닌 개체의 차이 또는 측정값의 오차이며, 심박수에 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 커피의 경우 낮은 농도에서 심박수에 영향을 주지 않았으나 높은 농도에서 심박수를 증가시키는 것으로 확인 되었다. 이와 반대로 손소독제와 타이레놀의 경우 심박수를 감소시키는 것으로 확인 되었다.

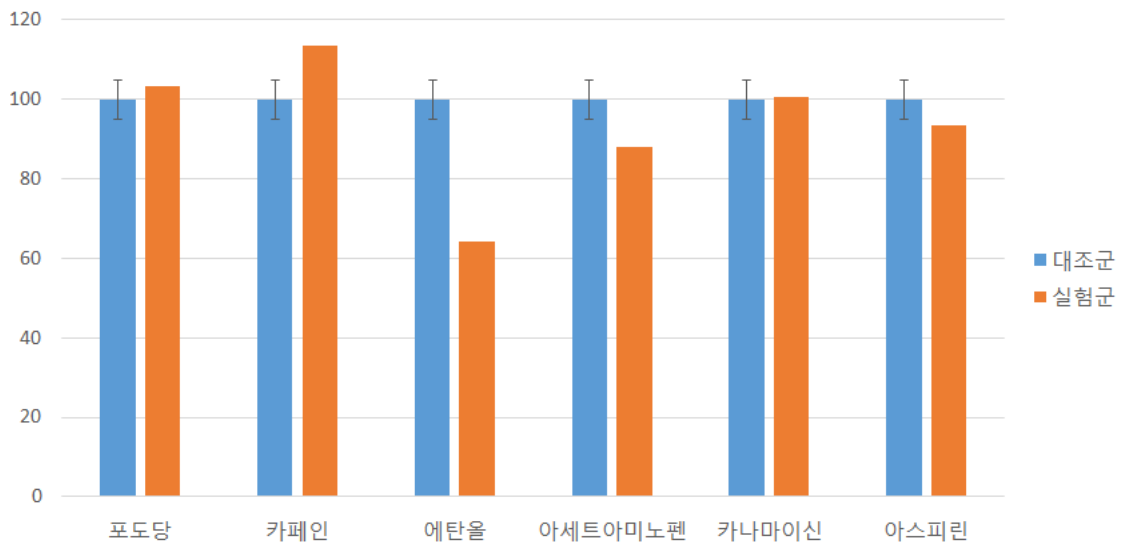
## 2. 성분물질의 검증

선정된 물질들이 위와 같은 현상을 발생시키는 원인이 될 것이라고 예상되는 성분을 유효성분으로 지정하고, 단일 성분을 이용한 심박수 변화를 측정하였다. 이온음료, 커피, 손소독제, 타이레놀의 유효성분을 각각 포도당, 카페인, 에탄올, 아세트아미노펜으로 설정하였고, 이 외에도 단일성분으로 자주 사용되는 항생제인 카나마이신과 해열진통제인 아스피린에 대한 유효성분 검증을 진행하였다 (표 9).

유효성분 검증 진행 결과 표 8에서 확인한 심박수 변화와 동일한 양상을 보이며, 유효성분이 심박수를 변화의 원인임을 확인하였다 (표 9, 그림 2).

처리 물질	심박수 (회수/ 10초)					백분율 (%)
	대조군	1차	2차	3차	평균	
포도당	40	41	40	43	41.3	103.3
카페인	54	60	61	63	61.33	113.6
에탄올	58	38	37	37	37.3	64.3
아세트아미노펜	42	40	37	34	37	88.1
카나마이신	43	42	44	44	43.3	100.7
아스피린	42	40	40	38	39.3	93.6

[표 9] 물질 처리 시 물벼룩의 심박수 변화



[그림 2] 유효 성분에 의한 물벼룩의 심박수 백분율

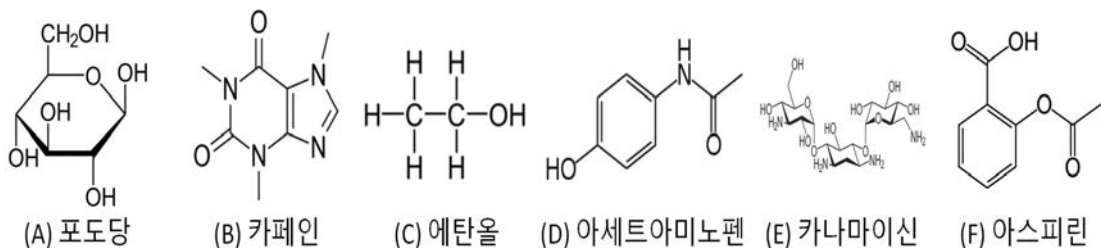
단맛을 내며 생물 내에서 에너지원으로 사용되는 포도당과 세균의 리보솜 30s 단위체에 작용하여 단백질 합성을 막아 항생 효과를 내는 카나마이신은 물벼룩의 심박수에 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다 (그림 3. A, 3. E). 심박수에는 영향을 주지 않음을 확인했으나, 과복용 시 포도당에 의한 혈당 증가, 탈수증 등의 부작용을 유발할 수 있고, 카나마이신에 의한 이명, 어지러움, 난청 등의 부작용을 발생시킬 수 있음이 확인되었다.

심박수를 증가시킨 카페인은 커피, 카카오, 과라나 등의 식물에서 발견되는 물질로 아데노신의 경쟁적 억제제로 작용한다 (그림 3. B). 아데노신은 뇌에 직접 작용하며 졸음을 유발하는데 카페인이 이를 억제하여 뇌의 각성을 유지시켜 졸음을 방지할 수 있다. 카페인을 과복용할 경우 속쓰림과 소화불량, 심박수 증가, 일시적인 배뇨장애, 근육 떨림 등의 부작용을 유발할 수 있다.

반대로 심박수를 감소시킨 에탄올은 공업용과 식용으로 나뉘며, 공업의 경우 석유에서 정제시킨 에틸렌을 이용해 제조하고 식용의 경우 곡물이나 과일을 발효시켜 제조한다 (그림 3. C). 에탄올은 병원균의 단백질을 변형시키고, 세포 외막을 녹여 터뜨림으로써 살균 효과를 낼 수 있지만, 병원균뿐 아니라 인체에서도 동일한 작용을 할 수 있으므로 과한 사용시 피부 손상을 유발할 수 있고 과복용시 근육 이완, 혼란과 착란, 인사불성, 심하면 사망에 이르는 등의 부작용을 유발할 수 있다.

에탄올과 마찬가지로 심박수를 감소시키는 아세트아미노펜은 이전에 진통제로 사용되던 아세트아닐라이드의 대사 산물로 진통 효과를 보여주는 물질이다 (그림 3. D). 내성이 생기지 않으며 다른 진통제들에 비해 부작용이 적지만 과복용시 간 독성이 강한 물질이기에 간 기능 상실, 황달, 심부전 등의 부작용이 발생할 수 있다.

마찬가지로 심박수를 감소시킨 아스피린은 버드나무 껍질에서 추출된 살리신을 변형시켜 제조하는 물질로 해열, 진통 효과가 있다 (그림 3. F). 아스피린을 오남용할 경우 출혈이 멈추지 않거나, 신장의 산성도 변화로 인한 통풍이 발생할 수 있고 유아에게 투여 시 뇌 손상과 간 손상이 동반되는 라이 증후군 등의 부작용이 발생할 수 있다.

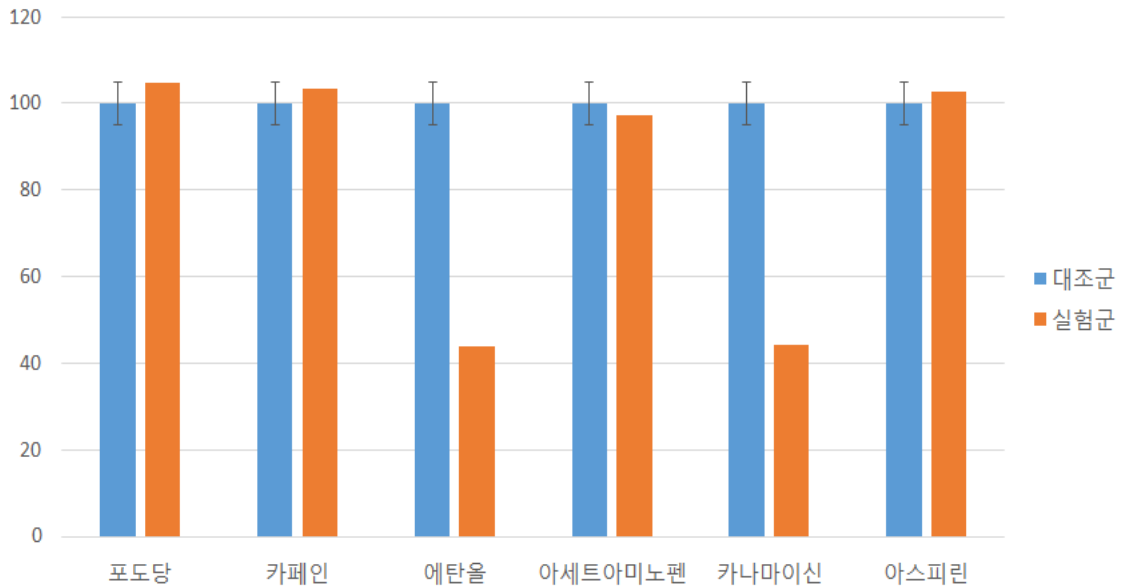


[그림 3] 유효성분 물질의 화학식

### 3. 박테리아의 성장률 변화

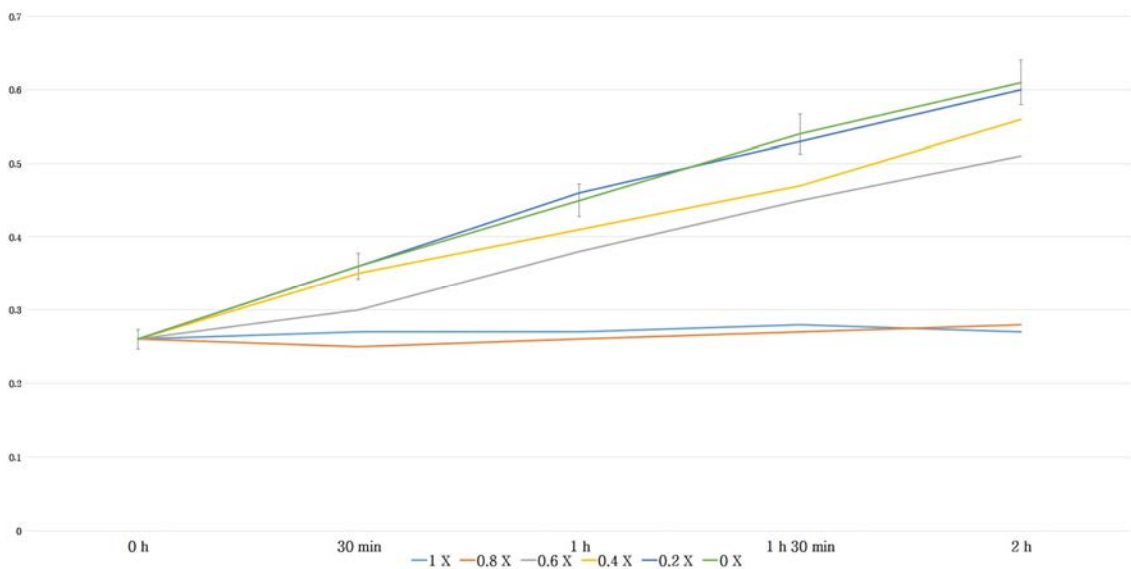
사용된 물질의 대부분이 질병 치료 또는 소독에 사용되는 의약품류이기 때문에 병원균이 될 수 있는 박테리아에서 어떤 양상을 보이는지 확인하기 위해 발테리아에 대한 독성실험을 진행하였다. 실험 결과 카나마이신과 에탄올에서 박테리아의 성장

저해를 확인하였고, 다른 물질들은 성장에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다 (그림 4).



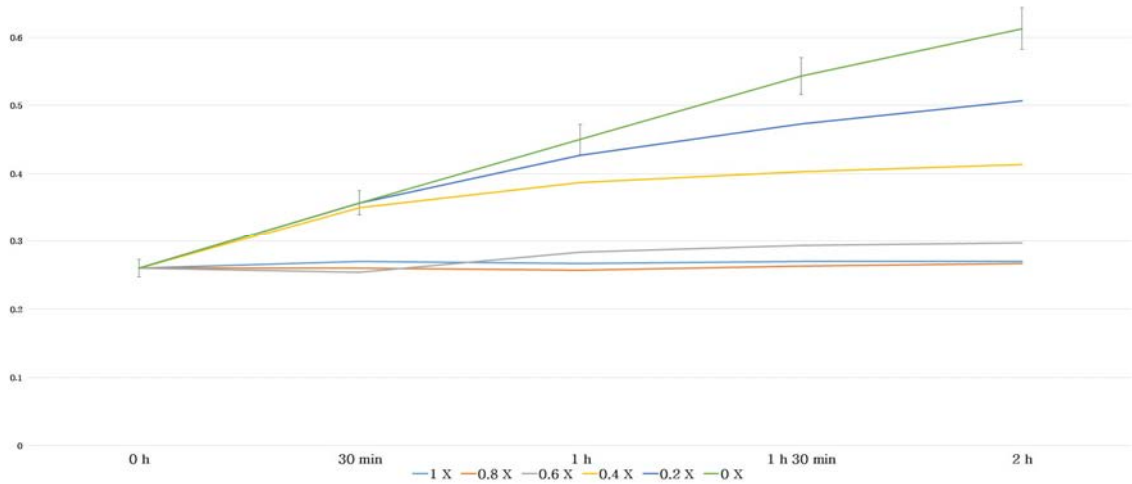
[그림 4] 유효성분에 의한 *E.coli*의 흡광도 백분율

박테리아의 성장에 저해를 불러온 에탄올의 경우 1 X 및 0.8 X에서 성장이 전혀 일어나지 않았으며, 0.6 X, 0.4 X에서 어느 정도의 성장 저해를 확인하였다. 0.2 X에서는 성장 저해가 전혀 발생하지 않음을 확인하였다 (그림 5).



[그림 4] 에탄올에 의한 *E.coli*의 시간별 흡광도 변화

카나마이신의 경우 1 X, 0.8 X에서 박테리아가 전혀 성장하지 않음을 확인하였으며, 0.6 X에서 0 X로 농도가 낮아질수록 성장 저해율도 낮아짐을 확인하였다 (그림 5).



[그림 5] 카나마이신에 의한 *E.coli*의 시간별 흡광도 변화

박테리아의 성장에 저하를 불러온 두 물질 중 물벼룩 실험과 상이한 결과를 보인 물질은 카나마이신이다. 이는 항생 작용을 위해 카나마이신을 투여할 경우, 적정 농도로 사용하면 인체에 무해하게 사용할 수 있는 약물임을 시사한다. 성장 저해를 불러오지 않은 물질들의 경우 박테리아에 작용하는 항생 물질이 아니고 증상 약화를 위한 약물이기 때문에 박테리아의 성장에 직접적인 영향을 주지 못한 것으로 사료된다.

## V. 결론 및 제언

일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 다양한 화학물질들은 제품 출시 전 임상시험 및 안정성 평가를 마친 뒤 출시하기 때문에 안심하고 사용할 수 있다. 하지만 안정성이 확보된 물질이라도 오남용으로 인한 부작용이 발생할 수 있다. 본 연구는 물벼룩의 심박수 변화를 통해 이와 같은 물질들의 특성과 독성을 확인하였고, 단일 성분 물질 실험을 통해 원인이 되는 물질을 확인하였다. 이후 박테리아에 적용하여 항생 작용을 할 수 있는 물질들이 있는지 확인하였다.

외부 환경의 변화에 따른 개체의 변화를 보는 관찰 실험의 특성상 개체에 따른 다양한 변수가 존재하며, 개체마다 동일한 결과를 보여주지는 않았다. 하지만 개체의 심박수와 성장의 차이는 대체로 동일한 양상을 보인다. 농도에 따라 심박수가 증가 또는 감소하는 경향성을 보여주고 있다. 이들은 주로 질병 치료 또는 피로에 저항하기 위해 복용하는 물질들이다. 하지만 심각한 부작용으로 인해 목적과는 다른 악영향을 가지고 올 수 있음을 확인하였다.

본 실험 결과를 바탕으로 임상 단계를 거치고 출고된 제품들이라도 잘못된 사용 및 복용으로 인한 문제가 발생할 수 있기 때문에 사용 시 큰 주의 및 절제가 필요하다.

## VI. 참고문헌

이찬원 ( Chan Won Lee ), 김인경 ( In Kyung Kim ), and 전홍표 ( Hong PyoJeon ). "물벼룩의 심장박동을 이용한 독성실험." 한국환경과학회지 16.4 (2007): 425-432.

이건형외 16인. 벤슨의미생물학 실험. 2015. 동화기술, p. 217-238.

홍문화. "약의 남용과 오용." 학교보건 14.-(1985): 42-44.