

과산화수소 함유 알지네이트 비드를 활용한 불광천의 녹조 현상 해결 방안

황다인 · 이서윤

하나고등학교

Solution of Alginate Beads with Hydrogen Peroxide for Algae Bloom in Bulgwangcheon Stream

Da-In Hwang · Seo-Yun Lee

Hana Academy Seoul

Abstract Algal blooms and cyanobacteria are major causes of water pollution, necessitating the development of cost effective and eco friendly technologies to address this issue. This study aimed to identify the optimal concentration and conditions for hydrogen peroxide-infused alginate beads, confirming that the highest removal efficiency was achieved with a 0.30% hydrogen peroxide concentration, 250 beads, and 30mL of algal solution. Based on these findings, an Excel model was developed to calculate the optimized hydrogen peroxide and bead usage under varying COD and pH conditions, providing a practical solution for river management including Bulgwang stream.

Key words: Algal removal, Alginate beads, Hydrogen peroxide, Water purification technology

1. 서론

본 연구에서 다루는 불광천은 은평구, 서대문구, 마포구 3 개구 13 개동을 관류하는 하천으로 도시의 생활 공간으로 공간 활용이 잘 이루어진 명소이다. 하지만 불광천은 타 하천보다 폭이 좁고 바로 옆에 건물들이 밀집되어 있어 여러 환경 문제가 나타나곤 한다. 특히 불광천은 녹조 문제가 심각하게 나타나는 것으로 알려져 있지만 좁은 폭의 하천으로 흐름 유발 장치와 같은 수처리 기술이 사용되기에 무리가 있어 새로운 해결 방법을 강구하고 있다.

녹조는 부영양화 호수 혹은 유속이 느린 하천, 강 등에서 식물 플랑크톤이 많이 증식하여 물이 녹색으로 변하는 현상으로 인간, 물 속 생물들에게 환경, 건강 등의 측면에서 부정적인 영향을 끼치고 있다. 녹조 현상을 일으키는 원인은 크게 남조류와 녹조류 등의 미세조류라고 할 수 있는데, 남조류는 독소를 생산하여 주변의 생물은 물론 생태계를 파괴한다. 또한 남조류가 과도하게 번식하면 저산소 상태가 되며 지오스민과 같은 화합물을 분비하여 물에 흠냄새는 썩은 냄새를 유발한다. 그리고 녹조류는 급격히 증식하게 되면 물의 투명도가 떨어져 빛이 하층으로 도달하지 못해 수중 생태계의

광합성 활동을 저해할 수 있다.

본 연구는 주로 남조류 제거에 주로 활용되는 과산화수소가 녹조류에 미치는 영향에 대해 알아보고 결과적으로 과산화수소를 함유한 알지네이트 비드가 녹조 현상의 해결책으로서 가지는 효율성을 탐구하고자 한다. 특히, 과산화수소를 알지네이트 비드를 통해 물 속에 첨가한다는 것과 제거하고자 하는 대상이 녹조류라는 것을 고려하여 알지네이트 비드의 과산화수소의 농도와 사용되는 비드의 개수를 최적화시키고자 한다. 이러한 연구는 여러 가지 녹조 현상의 해결 방안 중 과산화수소를 활용하는 방안에서 알지네이트 비드를 활용하였을 때 필요한 용량 최적화에 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 실험을 통해 도출한 최적화된 데이터를 바탕으로 환경적 요소를 고려하여 최적화 비드 개수 도출 엑셀을 설계함으로써 실제 불광천에서 적용할 수 있는 방법을 제공할 것으로 생각된다.

2. 이론적 배경

2.1. 녹조 현상

녹조 현상이란 식물플랑크톤이 많이 증식하여 호수의 물이 녹색으로 변하는 현상을 지칭하는 용어이다. 녹조 현상은 주로 남조류와 같은 특정 수생 조류의 대량 발생과 연관되어 있으며 이는 고온 및 영양염류 질소 및 인의 농도가 증가하는 환경 조건에서 주로 발생한다.(김희찬, 2024) 이는 인이 조류의 성장에 필수적인 제한영양소로 작용하기 때문이다.

녹조 현상은 수중생태계에 심각한 위협을 준다. 조류의 과잉 번성은 호수에서 산소 고갈을 초래하며, 특히 조류가 광합성을 하면서 표면 산소가 과포화되어 대기로 확산되어 나가는 동시에, 조류가 침강하면서 심층의 산소가 고갈되는 문제가 발생한다. 이러한 현상은 호수 내 생태계에 치명적인 영향을 미치며, 어류의 폐사와 같은 심각한 결과를 초래할 수 있다. 또한, 녹조로 인한 조류의 과잉 번성은 수온의 상승과 함께 알칼리성 독성을 유발할 수 있다. 이는 민감한 수생생물에게 스트레스를 유발하고, 일부 어류는 급성독성을 나타내 어생태계의 다양성을 감소시킨다. 또한, 남조류가 생성하는 독소는 동물에게 심각한 위협을 초래할 수 있다. 특히 마이크로시스틴이라는 독소는 간을 손상시키고, 가축이나 인간에게 중독 증상을 유발할 수 있다. 이러한 독소는 수돗물 처리 과정에서 완전히 제거되지 않으며, 먹이 사슬을 통해 수중동물에게 전파 될 수 있다. (김범철, 2017)

2.1.1 남조류

남조류는 chlorophyll-a 를 가지고 광합성을 통해 산소를 만드는 세균이며,(Schmetterer G, 1994) 2-MIB 와 흙냄새 등과 같은 맛, 냄새 물질을 발생시킨다. 남조류는 선캄브리아시대부터 대기중 산소공급에 중요한 역할을 한 광합성 원핵생물로 생태계 내에서 중요한 1 차 생산자 역할을 하며 극지, 사막에 이르기까지 다양한 육상 및 수생 환경에서 서식하고 있다.(Bae EH, 2020)

2.1.2 녹조류

녹조류는 주요 광합성 색소로 chlorophyll a 와 b 를 포함하며, 보조 색소로 카로티노이드를 포함한다.

세포벽은 주로 셀룰로오스로 구성되어 있고, 저장물질로 전분을 형성한다. 광합성을 통해 생성된 에너지는 엽록체에서 전분 형태로 저장되며, 이는 육상식물의 전분 축적 방식과 유사하다(Bowman et al., 2007).

녹조류 중에는 클로렐라가 있다. 클로렐라(*Chlorella*)는 담수, 해수, 공기, 토양 등 다양한 생태계에서 생존하며, 엽록소 (Chlorophyll)가 있어 햇빛으로부터 광합성에 필요한 에너지를 얻고 이산화탄소와 같은 무기물로부터 탄소원을 얻어 독립적으로 성장이 가능한 생물이다(Gabriel, 1993). 녹조류인 클로렐라는 형태적으로 직경 10 μm 이하의 구형의 단세포 조류로 현미경을 통해 관찰할 수 있다. 클로렐라 세포내에 엽록 색소인 Chlorophyll a, b 를 다량 함유하고 있어 광합성을 통해 독립적으로 생활할 수 있으며, 무성생식을 하기 때문에 증식속도가 빨라 체 내에 2 개 이상의 낭세포를 생성하고 매 10~30 시간에 1 회씩 4 개의 낭세포로 분열할 수 있어 1 일 4~16 배로 증식할 수 있다(Takeda, 1991)

2.2. 과산화수소 (H_2O_2)

과산화수소(H_2O_2)는 활성산소종(Reactive Oxygen Species, ROS)으로 강력한 산화제이다. 이는 분해 시에 물과 산소가 발생하여 친환경적으로 분해되지만, 분해 과정에서 발생하는 산소가 산화 스트레스를 유발하기에 때문에 주변 생물의 세포에 손상을 입힐 수 있다. 따라서 녹조 제거제로 활용했을 때 과산화수소의 분해로 인한 산화 스트레스로 인해 남조류의 엽록소가 파괴되어 남조류를 제거할 수 있다(Piel et al., 2019). 또한 과산화수소를 하천수에 투입하고 12 시간 뒤 모든 과산화수소가 물과 산소로 분해되기 때문에 환경친화적인 살조제이다(배병욱 외, 2016).

2.3. 알지네이트 비드

알지네이트(alginate)는 갈조류와 해조류의 세포벽의 주요 구성성분으로 존재하는 다당류(polysaccharide)이며 gulironic(G) unit 과 mannuronic(M) unit 으로 이루어져 있다. 자연 상태에서는 나트륨 등과 결합한 형태로 주로 존재한다. 일반적으로 알지네이트 비드는 알지네이트 겔을 다가 양이온과 결합하는 이온 겔화법을 사용하여 제조한다. 알지네이트의 G unit 에서 카르복실기와 다가 양이온이 만나면 이온 교환 후 가교 반응을 일으켜 수불용성 비드를 형성한다(곽채은, 2023). 이때 형성되는 비드 안에 약물이나 다당 등 여러 물질을 함유할 수 있다. 알지네이트 비드는 환경 친화적이며 생물에게 무해하기 때문에 증균속 이온 흡착, 약물 전달, 환경 응용 분야 등에서 광범위하게 연구되고 있다.

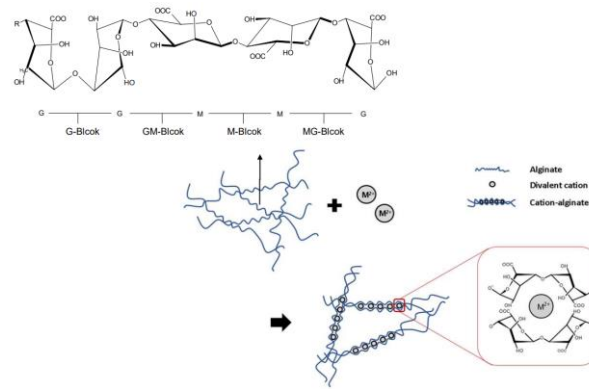


Fig.1 Ionic gelation process of alginate and divalent cations (곽채은, 2023)

3. 연구 방법 및 절차

3.1. 연구 방법

3.1.1 과산화수소 함유 알지네이트 비드 최적화

기존에 녹조 현상을 일으키는 원인 중 하나인 남조류의 제거를 위해 과산화수소를 활용하는 방안과 관련하여 과산화수소가 녹조 현상을 일으키는 다른 원인인 녹조류에 대한 제거 성능은 없는지 탐구하고자 다음과 같은 연구 방법을 설계하였다. 먼저 과산화수소를 하천 또는 강과 같은 녹조 발생 지역에 살포한 경우 그 즉시 주변 생물에게 영향을 줄 수 있기 때문에 직접 살포하는 방식 대신 몇 시간에 걸쳐 방출되는 알지네이트 비드를 활용하였다. 알지네이트 비드의 제조는 알긴산 나트륨 용액을 제조한 뒤 과산화수소를 첨가하고, 이를 뷰렛을 이용하여 가교 용액에 떨어뜨리는 방식으로 최대한 구형에 가까운 과산화수소 함유 알지네이트 비드를 제작하였다.

알지네이트 비드의 과산화수소 농도를 최적화하기 위해 여러 농도에서 실험한 뒤 점차 급간을 좁혀 나가며 최적의 농도를 찾고자 하였다. 동일한 비드 개수와 녹조량에서 과산화 수소 농도에 일정한 급간차를 두고 여러 농도에서 실험을 2 번 진행하여 농도에 대한 최적화를 진행하였다. 과산화수소가 녹조류의 엽록소를 파괴하여 제거하는 메커니즘을 가지기 때문에 각 용액의 색 변화에 따라 녹조가 제거된 정도를 비교하여 최적의 과산화수소 농도를 도출하였다. 용액의 초록색이 옅어져 무색의 투명한 용액일수록 남은 녹조류의 양이 적은 것으로 분석하였다.

일정량의 녹조 제거에 필요한 알지네이트 비드의 개수를 최적화하기 위해 앞선 실험에서 얻은 최적의 농도를 바탕으로 동일한 녹조량과 알지네이트 비드의 과산화수소 농도에서 사용되는 비드의 개수만을 일정한 급간차를 두고 비드 개수에만 변화를 주어 일정량의 녹조 제거에 필요한 최적의 비드 개수를 구하였다. 위의 방법과 마찬가지로 녹조가 제거되는 정도는 각 용액의 색 변화를 통해 비교하였다.

이후 실험을 통해 도출한 최적화된 데이터를 바탕으로 실제 불광천에서 적용할 수 있는 최적화 비드 개수 도출 엑셀을 설계하였다. 실험을 통해 구한 결과 뿐만 아니라 실제 환경의 영향 또한 고려하고자 pH, COD의 값 함수로 지정하여 계산하였다.

3.2. 연구 절차

3.2.1 과산화수소 함유 알지네이트 비드 최적화

과산화수소 함유 알지네이트를 제작하는 과정은 먼저 2% 알긴산 나트륨 수용액에 과산화수소를 마이크로피펫을 사용하여 원하는 과산화수소 농도로 맞추었다. 가교 용액으로는 1% CaCl_2 용액을 제작하였다. 이후 뷰렛에 알지네이트 용액을 옮겨담은 뒤 뷰렛의 꼭지를 열어 가교 용액의 표면과 가까운 거리에서 일정한 속도로 떨어지게 하여 구형에 가까운 비드를 만들고자 하였다. 비드의 장경과 단경은 각각 약 5mm 씩이었다. 가교 용액에서 마지막 비드가 생성되고 5 분이 지난 후에 비드를 건져내어 녹조류가 담긴 비커에 넣었다.

알지네이트 비드의 과산화수소 농도 최적화를 위해 실험을 2 번 진행하였다. 1 차 실험에서는 과산화수소의 농도를 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%로 설정하여 알지네이트 비드를 제작하였다. 농도 최적화 실험에서는 비드의 개수를 모두 동일하게 200 개, 녹조류의 양은 30ml 로 설정하고, 비드 첨가 후 3 일 뒤 경과를 관찰하였다. 2 차 실험에서는 1 차 실험의 결과를 바탕으로 0%, 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%로 설정하여 알지네이트 비드를 각각 200 개씩 제작한 뒤 20ml 녹조에 넣어 3 일 뒤에 경과를 관찰하였다.



Fig.2 Sodium alginate solution with H_2O_2

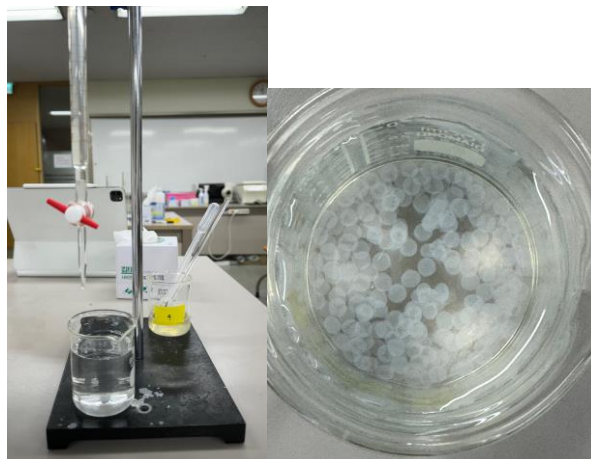


Fig.3,4 Using a burette to make alginate beads

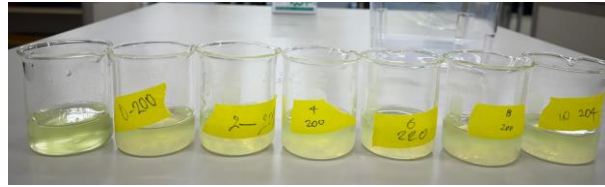


Fig.5 Alginate beads with different H₂O₂ concentration in 30ml green algae(1st experiment)

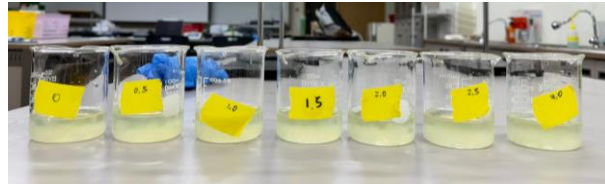


Fig.6 Alginate beads with different H₂O₂ concentration in 20ml green algae(2nd experiment)

최적 농도에서 알지네이트 비드의 개수 최적화를 위해 앞선 실험에서 최적화한 과산화수소 농도의 알지네이트 비드를 0 개, 50 개, 100 개, 150 개, 200 개, 250 개로 설정하여 비드를 제작하였다. 개수별로 각각 30ml 녹조에 넣은 뒤 2 일 뒤에 경과를 관찰하였다.

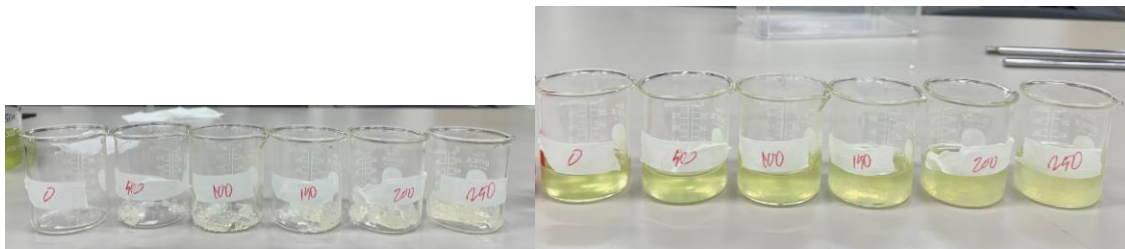


Fig.7,8 Alginate beads in 30ml green algae(2nd experiment)

3.2.2 시뮬레이션

위 실험을 바탕으로 불광천 녹조 해결에 필요한 필요한 최적화된 알지네이트 비드 개수를 계산할 수 있는 엑셀을 제작하였다. 먼저 입력 데이터에는 녹조 부피(vlgae volume(ml)), COD(물 속 유기물 농도 지표) input, pH input 으로 설정하였다. 자동 계산하는 요소로는 COD factor, pH factor 로 설정하였다. COD 값이 클수록 물에 포함된 유기물이 많아 과산화수소의 반응이 더 많이 필요하기 때문에 임의로 상수를 지정하여 특정 환경의 COD 를 고려할 수 있도록 설계하였다.

- COD input $\leq 5 \Rightarrow 0.8$
- $5 < \text{COD input} \leq 10 \Rightarrow 1.2$
- COD input $> 10 \Rightarrow 1.5$

과산화 수소는 산성에서 분해 속도가 느려 라디칼 생성이 지속적이고 균형적으로 이루어지기 때문에 효율적으로 작동할 수 있다. 이 특성을 고려하고자 아래와 같이 임의로 상수를 지정하여 비드 개수를 계산하였다.

- pH input < 7 => 0.9
- 7 ≤ pH input ≤ 7.5 => 0.9
- pH input > 7.5 => 1.1

또한 실험에서 도출한 데이터인 최적화된 과산화수소의 농도(H₂O₂ concentration), 30ml 기준 알지네이트 비드 개수(Beads per 30ml)를 각각 0.3, 250 으로 고정하였다. 추가적으로 H₂O₂ density(과산화수소의 밀도) 또한 엑셀에 기재하였다.

앞에 기재한 Algae Volume, COD input, pH input, COD factor, pH factor 데이터를 이용해 다음과 같은 식을 통해 H₂O₂ 요구량과 알지네이트 비드 요구량을 계산하였다. 이때 H₂O₂ 요구량과 알지네이트 비드 요구량 모두 녹조부피와 COD, pH 보정 값을 반영하여 비드 양을 계산하고자 했다.

-H₂O₂ 요구량 계산식(H₂O₂ Required)

$$\text{H}_2\text{O}_2 \text{ Required(g)} = \text{Algae Volume(mL)} \times \text{COD Factor} \times \text{pH Factor} \times \text{H}_2\text{O}_2 \text{ concentration(\%)} / 100 \times \text{H}_2\text{O}_2 \text{ Density}$$

-알지네이트 비드 요구량 계산식(Beads Required)

$$\text{Beads Required} = \text{Beads per 30mL} / 30 \times \text{Algae Volume(mL)} \times \text{COD Factor}$$

만약 녹조 부피가 20ml 이고 그 강 부분의 COD 가 4, pH 가 6.5 였다면, COD Factor 는 자동적으로 0.8, pH Factor 은 자동적으로 0.9 상수로 변환되어 식에 계산되게 된다. 따라서 해당 경우는 120 개의 비드가 필요하다는 것을 도출할 수 있다.

Fig.9 Example Excel Input Screen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Algae Volume (mL)	COD Input	pH Input	COD Factor	pH Factor	H2O2 Concentration (%)	H2O2 Density (g/mL)	Beads per 30mL	H2O2 Required (g)	Beads Required
2	20	4	6.5	0.8	0.9	0.3	1.11	250	0.047952	120

COD Factor, pH Factor, H₂O₂ 요구량 계산, 알지네이트 비드 요구량 계산 엑셀 적용 수식은 다음과 같다.

1) Factor 변환 수식

$$\text{fx} = \text{IF}(B2 < 5, 0.8, \text{IF}(B2 <= 10, 1.2, 1.5)) \quad \text{fx} = \text{IF}(C2 < 7, 0.9, \text{IF}(C2 <= 7.5, 1, 1.1))$$

2) 결과 도출 수식

$$\text{fx} = A2 * D2 * E2 * 0.3 / 100 * 1.11 \quad \text{fx} = (250 / 30) * A2 * D2 * E2$$

4. 연구 결과




알지네이트 비드의 과산화수소 농도 최적화를 위해 진행한 1 차 실험에서 각 용액의 농도에 따른

녹조류 용액의 색 변화는 다음과 같았다. 표 2 는 각 용액의 대략적인 색이다.



Fig.10,11 Color change of algae solution based on H_2O_2 concentration(1st experiment)

Table.1 Color of Each Solution According to Alginate Bead's H_2O_2 concentraion (1st experiment)

	0.00%	0.20%	0.40%
color			

1 차 실험에서 가장 낮은 과산화수소 농도인 0.20%일 때에도 녹조류가 거의 다 제거된 것을 바탕으로 2 차 실험에서는 0.00%부터 급간을 0.05%로 설정하여 0.30%까지 총 7 개 용액의 농도에 따른 녹조류 용액의 색변화를 관찰하였으며 그 결과는 다음과 같다.

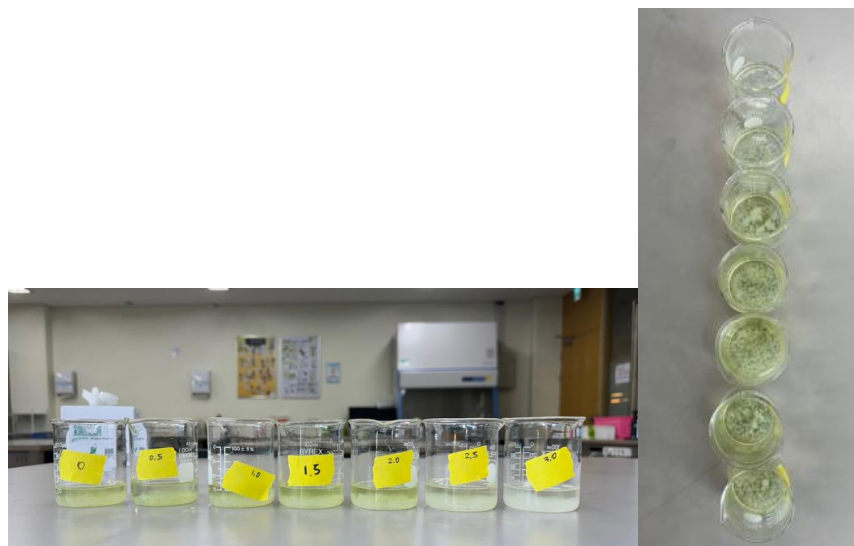


Fig.12,13 Color of algae solution based on H_2O_2 concentration(2nd experiment)

2 차 실험에서는 과산화수소의 농도가 0.25%부터 녹조 용액이 점점 색이 투명해지며 초록색이 없어지는 것으로 나타났으며 0.30%일 때는 용액이 아예 투명한 색으로 나타났다. 이에 따라 0.30%를 최적의 농도로 설정하고 이를 바탕으로 개수 최적화를 진행하였다.

Table.2 Color of Each Solution According to Alginate Bead's H_2O_2 concentraion(2nd experiment)

	0.00%	0.05%	0.10%
color			

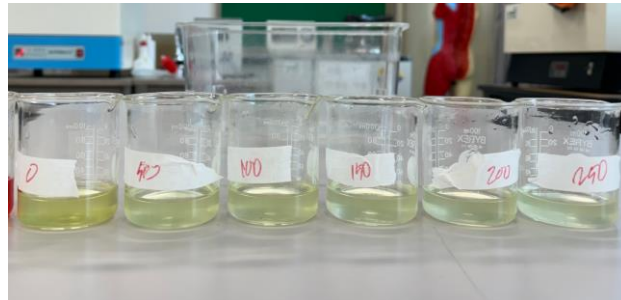





Fig.14 Color change of algae solution based on the number of beads

Table.3 Color of Each Solution According to the number of beads

	0	50	100
color			

0 개부터 250 개까지 50 개 단위로 급간을 두어 비드 개수를 다르게 하여 진행한 개수 최적화 실험의 결과는 위와 같았다. 비드의 개수가 많을 수록 용액의 색 또한 점점 옅어지며 투명해지는 경향을 보였다. 가장 비드 개수가 많은 250 개 용액에서도 완전히 투명해지지는 않았지만 가장 색이 옅고 투명했기 때문에 250 개를 최적의 개수로 도출하였다.

알지네이트 비드의 최적화된 과산화 수소 농도가 0.30%이고 녹조 용액이 30ml 일 때 비드 250 개가 최적이라는 점을 활용해 불광천 녹조 해결에 필요한 필요한 최적화된 알지네이트 비드 개수를 계산할 수 있는 엑셀을 제작하였다. 환경 실천 연합회의 자료 중 불광천은 구간별 7.0~7.5 사이의 pH 농도가 측정되었으며 일부 유속이 느리고 탁도가 관찰되었던 구간에서는 COD 수치가 5 이하로 측정되었다는 자료를 통해 불광천 환경에서의 최적화된 알지네이트 비드 개수를 도출해 보았다. 계산은 녹조가 10mL 일때를 기준으로 진행하였다.

Fig.15 Excel Input Screen(Bulgwangcheon)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Algae Volume (mL)	COD Input	pH Input	COD Factor	pH Factor	H2O2 Concentration (%)	H2O2 Density (g/mL)	Beads per 30mL	H2O2 Required (g)	Beads Required
2	10	5	7	0.8	1	0.3	1.11	250	0.02664	66.6666667

이를 통해 불광천의 해당 환경에서는 약 66~67 개의 비드를 넣는 것이 가장 효과적이라는 결론을 도출할 수 있다.

5. 결론 및 논의

본 연구를 통해 남조류 제거에 주로 사용되는 과산화수소를 알지네이트 비드 속에 첨가하여 녹조류를 제거하는 데에도 활용할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 녹조류 제거에 활용하기 위한 과산화수소를 함유한 알지네이트 비드 최적화의 결과로 알지네이트 비드의 과산화수소 농도가 0.30%이고 녹조 용액 30ml 일 때 비드 250 개를 최적의 조건으로 얻을 수 있었다. 다만 이를 녹조류와 남조류를 모두 제거하기 위한 방안으로 쓰기 위해서는 최적화한 알지네이트 비드의 과산화수소 농도가 일반적으로 남조류 제거를 위해 살포하는 과산화수소 농도인 2~3ppm 에(안경환, 2015) 비해 높기 때문에 이가 주변 환경에 미칠 수 있는 영향에 대해 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상된다. 또한 알지네이트 비드의 특성을 더 활용하기 위해서는 비드 속 과산화수소의 방출 속도 제어, 크기 최적화 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 예상된다.

또한 본 연구는 COD 와 pH 조건에 따라 최적화된 과산화수소 및 비드 사용량을 산출할 수 있는 엑셀 모델을 개발하였다. 이는 환경 조건에 따른 보정 상수를 기반으로 현장 조건에 최적화된 처리 방법을 제안할 수 있으며 실제 하천 관리에서 비용 효율적인 대안을 제시할 수 있다. 하지만 이는 실제 하천의 복잡한 환경 조건을 모두 반영하지 못하기에 온도, 유속, 금속 이온 농도 등 환경적 변수를 모델에 추가하여 보다 정밀한 계산식 개발이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 불광천의 녹조 문제를 해결하기 위해 과산화수소와 알지네이트 비드를 활용한 경제적이고 환경 친화적인 방안을 제공하며 향후, 다양한 현장 조건을 반영한 추가 연구와 모델 고도화를 통해 실제로 하천 관리와 지속 가능한 수질 개선에 실질적인 기여를 할 것으로 기대된다.

참고문헌

곽채은. (2023). 칼슘-알지네이트 겔 비드를 이용한 가스상 톨루엔 제거: 흡수와 생분해. 서울과학기술대학교.

김범철. (2017). *녹조 현상의 원인과 대책* (Vol. 50, Issue 6). 한국수자원학회.

김희찬, 주종우. (2024). 녹조와 수생식물 분류를 위한 스펙트럼 기법의 효율성 - HSV 를 활용한 적외선과 가시광선의 분석연구. *현대사진영상학회 논문집*, 27(2), 33-69.

배병욱, 장아은 & 장근혁 (2016). 과산화수소의 살조효과 평가. *대한환경공학회 학술발표논문집*, 98-99.

송원현. (2002). 부유특성을 갖는 알지네이트 비드를 이용한 위에서의 약물방출. *한국생물공학회 2002년도 생물공학의 동향*, (5), 139-144.

신은우, 유익근. (2007). 알지네이트 비드와 캡슐에서의 납 이온의 흡착거동. *화학공학*, 45(2), 166-171.

안경환. (2015, 8, 30). 연못 녹조라떼, 과산화수소 섞으니 95% 제거 효과. *경기신문*.

윤두수, 이용재. (2018). 편백정유를 함유한 알지네이트 비드의 제조 및 방출 특성. *한국산학기술학회논문지*, 19(4), 557-562.

정진아, 김혜주, 이은희. (2004). 직강화 하천구간과 자연형 하천복원구간의 식물상 및 출현빈도 비교-불광천을 사례로-. *한국환경생태학회지*, 18(1), 61-74.

황성주, 이계주 & 조항범 (1993). Alginate Bead 를 이용한 고분자 약물의 제어방출형 약물수송체. *藥劑學會誌*, 23(1), 19-26.

Bae EH, Kang JS, Park CS (2020) New report on cyanophyte in Korea, *Microseira wollei* (Farlow ex Gomont) G.B.McGregor and Sendall ex Kennis (Oscillatoriaceae). *Journal of Species Research* 9(3): 210-217. doi: 10.12651/JSR.2020.9.3.210

Gabriel, B. 1996. *Wastewater Microbiology*, John Wiley & Son, N.Y. pp. 68-75.

Piel, T., Sandrini, G., White, E., Xu, T., Schuurmans, J. M., Huisman, J., & Visser, P. M. (2019). Suppressing Cyanobacteria with Hydrogen Peroxide Is More Effective at High Light

Intensities. *Toxins*, 12(1), 18.

Schmetterer G., "Cyanobacterial respiration," In : Bryant DA (ed.) the molecular biology of cyanobacteria, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, pp. 409~435(1994).

Takeda, H. 1991. Sugar composition of the cell wall and the taxonomy of *Chlorella* (Chlorophyceae). *J. Phycol.* 27: 224-232.