

바다물고기사육을 위한 지하염수의 수질개선

현 동 수

해안지역의 지하염수는 바다물로부터 기원되었으며 따라서 지하염수의 화학조성은 바다물과 거의 일치한다. 다만 바다물에 비하여 염도가 높고 유기물함량과 중금속함량이 높은것이 특징이다. 지금까지 지하염수를 리용하여 생물체를 사육하기 위한 시도로는 새우양식을 들수 있다.[1, 2, 4] 그러나 지하염수를 리용하여 바다동물들을 사육하기 위한 연구는 광범히 진행되지 못하였다.

우리는 7지구 지하염수의 수질을 개선하여 바다물고기를 사육하기 위한 연구를 하였다.

1. 7지구 지하염수의 특성

7 지구는 대동강의 영향을 심하게 받는 만으로서 바다물의 순환이 다른 수역들에 비하여 활발하지 못하다.

시료는 7 지구 1, 6구역의 약 15m 깊이에서 채취하였다. 채취한 시료들의 수질분석결과는 표 1과 같다.

표 1. 채취한 시료들의 수질분석결과

No.	지 표	1구역	1구역	1구역	6구역	6구역
		바다물	지하염수	우물	바다물	지하염수
1	pH	7.45	6.63	7.43	7.04	6.76
2	산도/점	1.11	1.67	0.89	1.78	2.56
3	알카리도/(mg·L ⁻¹)	267.4	324.7	324.7	324.7	515.7
4	Cl ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	18 000	19 500	660	12 500	14 000
5	SO ₄ ²⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	1 550	1 550	25	1 100	650
6	NH ₄ ⁺ 함량/(mg·L ⁻¹)	—	—	—	—	—
7	NO ₂ ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	—	—	0.001 1	—	—
8	NO ₃ ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	0.089	0.059	0.340	0.040	0.055
9	Fe 함량/(mg·L ⁻¹)	0.02	0.78	0.02	0.02	0.38
10	F 함량/(mg·L ⁻¹)	4.4	6.0	0.44	2.2	6.0
11	총경도/(mg·L ⁻¹)	4 620	4 620	528	4 950	5 610
12	Ca ²⁺ 함량/(mg·L ⁻¹)	308	308	33	308	528
13	Mg ²⁺ 함량/(mg·L ⁻¹)	924	924	68.64	1 003.2	1 029.6
14	Na ⁺ + K ⁺ 함량/(mg·L ⁻¹)	11 312.9	11 342.9	456.6	7 065.98	7 658.1
15	CO ₂ 함량/(mg·L ⁻¹)	17.50	26.26	14.01	28.01	40.27
16	HCO ₃ ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	326.2	396.1	396.1	396.1	629.15

No.	지 표	1구역	1구역	1구역	6구역	6구역
		바다물	지하염수	우물	바다물	지하염수
17	Pb함량/(mg·L ⁻¹)	0.05이하	0.05이하	0.01이하	0.05이하	0.05이하
18	As함량/(mg·L ⁻¹)	0.05이하	0.05이하	0.01이하	0.05이하	0.05이하
19	Hg함량/(mg·L ⁻¹)	0.005이하	0.005이하	0.001이하	0.005이하	0.005이하
20	총이온함량/(mg·L ⁻¹)	32 425.9	32 528.1	16 41.4	22 375.7	24 501.5
21	총세균수/(개·mL ⁻¹)	—	—	484	—	—
22	대장균수/(개·mL ⁻¹)	—	—	—	—	—
23	COD/(mg·L ⁻¹)	7.88	6.8	3.7	7.3	7.3
24	Cu함량/(mg·L ⁻¹)	—	—	—	—	—
25	Cr함량/(mg·L ⁻¹)	—	—	—	—	—
26	Zn함량/(mg·L ⁻¹)	0.18	0.76	0.05	0.18	0.28
27	NaCl함량/(mg·L ⁻¹)	29 700	29 700		20 625	23 100

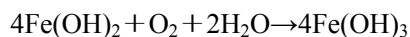
표 1에서 보는바와 같이 지하염수의 pH는 6.63~6.76이고 바다물의 pH는 7.04~7.45이다. pH값은 물속의 탄산기(CO₃²⁻, HCO₃⁻, 유리CO₂)함량에 관계되는데 일반적으로 CO₂함량이 높을수록 pH값이 작다. 지하염수의 알카리도는 324.7~515.7mg/L, CO₂함량은 26.26~40.27mg/L, HCO₃⁻함량은 396.1~629.15mg/L로서 바다물에 비하여 높다. 즉 지하염수는 약산성을 띠며 바다물은 약알카리성을 띤다.

표 1에서 보는바와 같이 지하염수는 Na-Cl형물로서 바다물로부터 기원되었다.

지하염수에서 Fe함량은 0.38~0.78mg/L, Zn함량은 0.28~0.76mg/L로서 바다물에서보다 높으며 COD가 6.8~7.3이다.

지하염수의 색은 채수할 당시에는 무색이지만 일정한 기간 대기중에 놓아두면 연황색 또는 진황색을 띤다. 이것은 지하염수에 들어있는 철이 환원성분위기로부터 대기조건에서 산화되어 수산화물로 넘어간 결과이다.

즉 다음과 같은 반응에 따라 철이 산화되어 수산화물을 만든다.



Fe(OH)₃은 콜로이드상의 Fe(OH)₃·nH₂O로 넘어가면서 응결되어 앙금을 형성한다.

실험에 의하면 1m³짜리 실험탱크에 방치해둔 지하염수는 10일간 지나서는 침전물이 생기면서 황갈색으로 변하고 30일간 지나서는 암갈색을 나타낸다. 이것은 환원성분위기에 있던 철이 대기조건에서 산화되어 수산화물로 넘어가기 때문이다.

배태암의 물질성분들은 지하염수의 화학조성 특히 양이온함량에 영향을 미친다. 지하염수에서 원소들의 이동은 원소들의 원자구조와 pH, 산화환원조건의 영향을 받는다. 일반적으로 해안조석평원의 퇴적물들에는 니질물질과 유기물질, 미생물들이 많이 함유되어있다. 지하염수의 생성과정에 바다물은 조석평원으로 들어와 매몰되면서 증발작용과 함께 물리화학적작용, 콜로이드응집작용, 생화학적작용을 받는다. 높은 압력과 산소부족으로 배태암속의 유기물질들이 분해되어 풀러나오며 철과 망간을 비롯한 중금속원소들이 용해되어 지하염수속에 포함된다.

2. 지하염수의 수질개선방법

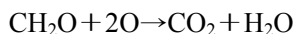
실험탱크의 길이는 2.1m, 너비는 1.265m, 물높이는 0.31m이다. 실험에 리용한 지하염수의 체적은 $2.1 \times 1.265 \times 0.31 = 0.82\text{m}^3$ 이다.

지하염수의 수질을 산화공정과 려과공정을 통하여 개선하였다.

산화공정 오존발생기에서 발생하는 오존을 지하염수에 주입하는 공정으로서 염수에 포함된 유기물질들과 중금속원소들을 산화시킨다.

1.15g/h능력의 오존발생장치의 주입관입구에 끓음돌을 끼우고 탱크에 넣고 장치를 가동시킨다. 0.82m^3 의 지하염수속에 들어있는 유기물질과 중금속원소들을 산화시키는데 필요한 시간은 16~17h이다. 지하염수를 완전히 산화시키는데 필요한 오존량은 $10 \sim 15\text{g/m}^3$ 이다.

지하염수속의 유기물질은 다음과 같이 산화된다.



산화공정에서 유기물질의 분해에 의하여 생성된 CO_2 이 대기중으로 빠져나가면서 pH가 6.67로부터 7.5~8.0까지 높아진다.

려과공정 려과능력이 2 100L/h인 려과뿔프를 리용한다. 려과재료로는 규조토와 산호조각을 리용하는데 먼저 $2\mu\text{m}$ 크기의 규조토를 려과통의 밑바닥에 깔고 그우에 산호조각을 놓으며 려과뿔프의 려과관을 얇은 천으로 싸서 규조토와 산호조각사이에 묻는다.

산화공정을 거친 지하염수를 규조토로 려과하여 염수속에 들어있는 용해철, 페놀성유기물질들을 제거한다. 려과시간은 48h정도이다. 이때 필요한 규조토량은 50g/m^3 이다. 려과 과정에 지하염수속의 유기물질과 중금속들이 제거된다.

산화공정과 려과공정을 거친 지하염수의 수질분석자료는 표 2와 같다.

표 2. 지하염수의 수질분석자료

No.	지표	처리전	처리후	No.	지표	처리전	처리후
1	염도/‰	30	30	9	산화도/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7.3	3.6
2	pH	6.67	7.5~8.0	10	총경도/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5 610	5 610
3	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	7 658.1	7 658.1	11	Fe함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.78	0~0.02
4	Ca^{2+} 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	528	528	12	Zn함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.33	0.01이하
5	Mg^{2+} 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 029	1 029	13	Al함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.04	0.02
6	NH_4^+ 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	4.83	0.12	14	총세균수/(개· mL^{-1})	0	0
7	NO_2^- 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.05	0.01	15	대장균수/(개· mL^{-1})	0	0
8	NO_3^- 함량/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.3	5.7				

이와 같이 산화 및 려과단계를 거치면 지하염수는 바다물고기사육에 알맞는 수질로 개선될수 있다.

3. 바다물고기의 사육실험

꿍등어사육에 필요한 바다물원수수질기준은 표 3과 같다.[3]

표 3. 고평어사육용바다물원수의 수질기준

No.	지표	기준	No.	지표	기준
1	염도/‰	28~32	11	K함량/(mg·L ⁻¹)	300~320
2	pH	7.8~8.4	12	류산이온함량/(mg·L ⁻¹)	2 000~2 200
3	용존산소함량/(mg·L ⁻¹)	5이상	13	Al함량/(mg·L ⁻¹)	0.3이하
4	COD/(mg·L ⁻¹)	5이하	14	Zn함량/(mg·L ⁻¹)	0.3이하
5	BOD/(mg·L ⁻¹)	5이하	15	시안이온함량/(mg·L ⁻¹)	0.02이하
6	NH ₄ ⁺ 함량/(mg·L ⁻¹)	0.2이하	16	중금속이온함량/(mg·L ⁻¹)	0.01이하
7	NO ₂ ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	0.05이하	17	총세균수/(개·mL ⁻¹)	300이하
8	NO ₃ ⁻ 함량/(mg·L ⁻¹)	5이하	18	대장균수/(개·mL ⁻¹)	100이하
9	Ca함량/(mg·L ⁻¹)	300~400	19	총경도/(mg·L ⁻¹)	8~10
10	Mg함량/(mg·L ⁻¹)	900~1 200			

수질이 개선된 지하염수에서의 바다물고기사육실험에는 수질환경에 예민한 조선동해의 줄돌도미를 리용하였다. 줄돌도미 3마리를 산화 및 려과처리한 지하염수 0.82m³에 넣었다. 이때 염도와 온도를 같게 해준다. 물고기의 체중은 400~500g정도이며 몸길이는 20~23cm정도이다. 몸색깔은 검은갈색 또는 흰 줄무늬가 엇바뀐 색깔이며 물고기모양은 가재미처럼 납작하면서도 뚱뚱한 모양을 가진다. 먹이사료로는 청어사료를 매일 50~100g 리용하였다.

실험탱크에서 15일동안 수질환경에 대한 물고기의 반응정도를 관찰한 생체실험결과는 표 4와 같다.

표 4. 생체실험결과

관찰일수	온도/℃	염도/‰	pH	색갈	호흡수/(회·min ⁻¹)	사료반응성	활동성
1	23.8	29.5	7.7	색이 진함	120	아주 좋음	없음
2	23.4	29.5	7.7	색이 진함	110	아주 좋음	없음
3	23.6	29.5	7.7	색이 진함	120	아주 좋음	없음
4	23.2	29.5	7.7	색이 진함	100	아주 좋음	약함
5	22.7	29.5	7.7	채색됨	100	아주 좋음	약함
6	22.7	29.5	7.7	색이 연합	100	아주 좋음	좋음
7	23.3	29.5	7.7	색이 연합	96	아주 좋음	좋음
8	23.5	29.5	7.7	색이 연합	98	아주 좋음	아주 좋음
9	23.3	29.5	7.7	색이 연합	100	아주 좋음	아주 좋음
10	22.9	30	7.8	색이 연합	110	아주 좋음	아주 좋음
11	23.2	30	7.8	색이 연합	100	아주 좋음	아주 좋음
12	23.2	30	7.8	색이 연합	99	아주 좋음	아주 좋음
13	23.2	30	7.8	색이 연합	100	아주 좋음	아주 좋음
14	23.2	30	7.8	색이 연합	100	아주 좋음	아주 좋음
15	23.2	30	7.8	색이 연합	100	아주 좋음	아주 좋음

표 4에서 보는바와 같이 실험탱크에 들어간 물고기는 생태환경이 달라진것과 관련하여 매우 놀란 상태에 있으며 호흡수가 빠르고 활동을 하지 않는다. 그리고 색깔이 진하고

체중이 줄어든다. 그러나 시간이 흐를수록 호흡수가 안정되고 색깔이 연해지며 큰 활동성을 가진다. 시간이 흐를수록 염도와 pH가 약간 높아지는것은 물의 증발과 관련된다. 그리고 물속에서 먹이사료와 배설물의 영향으로 암모니아와 아질산함량이 높아진다. 관찰 전 기간 먹이사료에 대한 물고기의 반응성에는 변화가 없이 아주 좋다.

맺 는 말

지하염수를 바다물고기사육에 리용하자면 반드시 수질을 개선하여야 하는데 수질개선은 산화공정과 려과공정을 거쳐 실현된다. 실험결과는 지하염수의 수질을 개선하면 바다물고기사육에 리용할수 있다는것을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 62, 9, 96, 주체105(2016).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 63, 5, 90, 주체106(2017).
- [3] Roy Chester et al.; Marine Geochemistry, Springer, 235~246, 2012.
- [4] W. M. White; Geochemistry, Wiley—Blackwell, 297~345, 2013.

주체107(2018)년 4월 5일 원고접수

Improvement of Water Quality of Underground Brine for Feeding Marine Fishes

Hyon Tong Su

If the underground brine is used in feeding marine fishes, the quality of water must be improved through oxidation and filtration process. The experiment result shows that the quality of water improved can be used in feeding marine fishes.

Key words: underground brine, marine fishes, filtration