

제 2 장 양식장 물 환경

1. 물의 분포

지구는 크게 수권[hydrosphere, 水圈], 기권기권 [氣圈, atmosphere], 암권 [岩圈, lithosphere]의 세 가지 형태로 나눌수 있으며, 물은 물, 수증기, 얼음으로 존재 한다.

이들은 지속적으로 그 모양이 변하는데 지구상의 물은 약 97%가 해수이고, 빙하가 2.24%, 지하수가 0.61%이며, 강, 호수, 냇물 등이 이루는 지표면의 비율은 전체의 0.02%밖에 되지 않는다.

이러한 자연조건에서 물의 형태에 따라 어류나 조류 등을 채취하여 식량 및 관상용으로 사용하여 왔으나, 수요가 늘어남에 따라 안정적인 공급체계를 구축하기 위한 방안의 하나로 양식 산업이 발달하게 되었다.

양식 산업의 발달은 체계적이고 과학적으로 운영하여 하기 위하여 기르는 방식에서 양질의 조건을 갖추는 방식으로 진보 하고 있고, 그 중심에 물 관리는 가장 핵심적인 요소이다.

2. 물의 순환(Hydrologic Cycle)

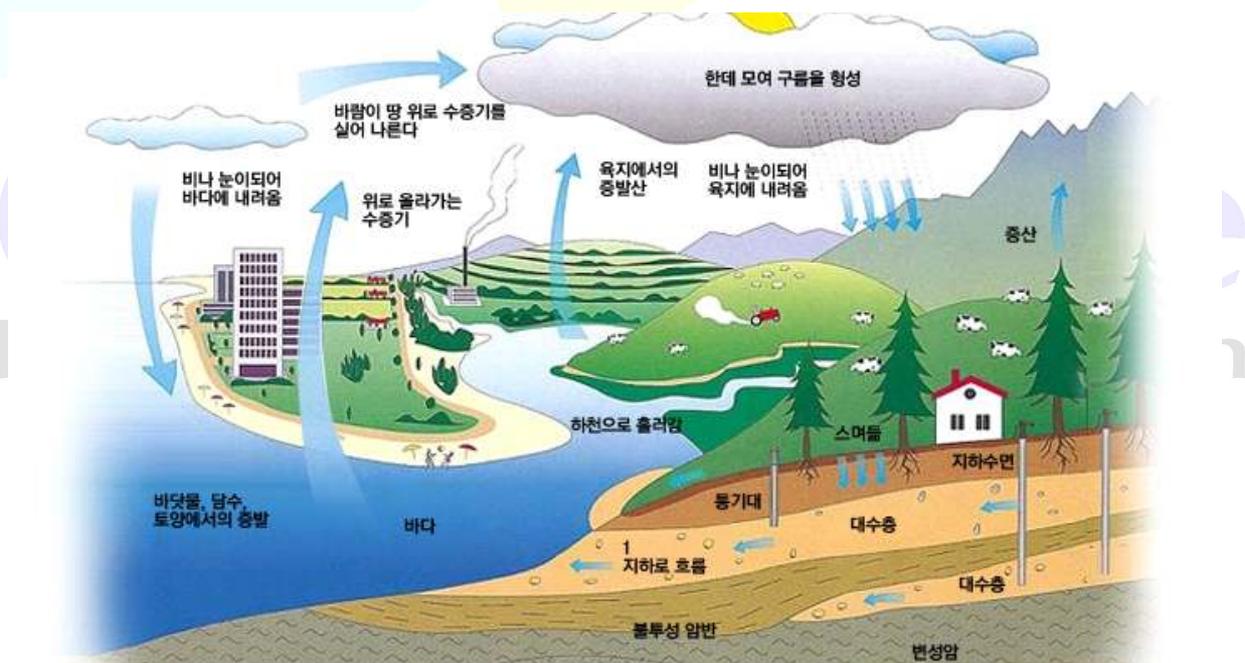


그림1. 물의 순환

물의 순환은 대양에서 물의 증발로 시작된다. 증발로 인한 수증기는 구름이 형성

되어 강수(Precipitation)의 형태로 지상에 떨어진다. 강수의 상당 부분은 토양속에 침투되어 지하수(Groundwater)로 남아 있거나, 바다로 흐른다. 또, 증발(Evaporation), 증산(Transpiration)에 의해 대기 중으로 되돌아 간다. 이러한 지구상의 과정을 물의 순환이라고 한다. 이 관계를 물수지 방정식으로 표시하면 다음과 같다

$$\text{강수량}(P) \rightleftharpoons \text{유출량}(R) + \text{증발산량}(E) + \text{침투량}(C) + \text{저유량}(S)$$

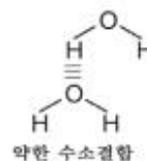
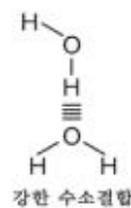
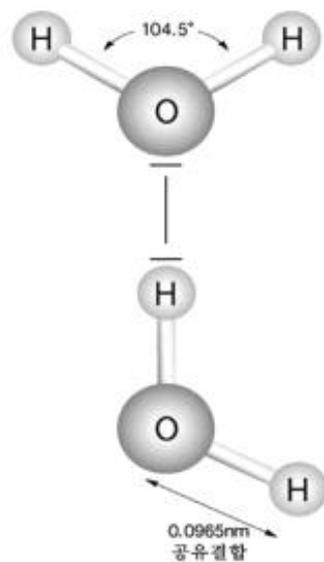
물은 바다, 호수, 하천뿐만 아니라 건조해 보이는 토양표면으로부터도 증발하고 또 식물의 표면에서도 증산한다. 대기가 수증기로 포화되면 수증기는 응축되고 눈과 비가 되어 내린다. 이들은 하천, 호수, 지하수 혹은 빙하로 되고 중력의 법칙에 따라서 바다로 유입된다, 지구상의 자연계에 있어서의 물의 순환을 도식적으로 나타낸 것이다.

3. 물의 불순물

3.1 물의 성질과 불순물

물은 수소(H) 2원자와 산소(O) 1원자로 이루어진 H₂O라고 한 분자 식을 가진 화합물로 되어 있다. 물은 H⁺와 OH⁻라고 하는 형태의 양이온(수소이온)과 음이온(수산화 이온)으로 나눌 수 있다. pH는 이 경우의 H⁺농도를 표시한 지표이다. 수중의 H⁺와 OH⁻의 농도(몰 농도)를 곱한 것이 항상 10⁻¹⁴(mol/l)²로 된다.

Engir



re
ction

그림 2 물

구조

분자의

$$[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}(\text{mol/l})^2$$

여기서 $[H^+]$, $[OH^-]$: 수소이온과 수산기 이온의 몰 농도(mol/l)

불순물의 구분 기원	현탁성성분	콜로이드성 성분	용해성 성분				
			가스체	바이온성	양이온성	음이온성	
무기 기원	무기성의 토양 및 암석	점토, 모래 그밖의 무기성 토양	점토, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MnO ₂	CO ₂		Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Zn ²⁺	HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ , OH ⁻ , HSiO ₃ ⁻ , H ₂ BO ₃ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , F ⁻
	대기			N ₂ , O ₂ , CO ₂ , SO ₂		H ⁺	HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
유기 기원	동식물의 사체 (표토)	유기성토양 (표토)	식물성색소 유기성폐물	CO ₂ , NH ₃ , O ₂ , N ₂ , H ₂ S, CH ₄ , H ₂ , 냄새성분	식물성색소 유기성폐물	Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , H ⁺	Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , OH ⁻ , HS ⁻
	동식물의 생물체	어류, 조류, 미생물	바이러스, 세균, 조류				
	화학공업제품				DDT, BHC, PCB 등의 석유화합물이 주체		

표1-1, 수중의 불순물과 그 기원

물에 여러 가지 불순물이 용해되어 실제로 우리들이 사용하는 물이 되는 것이다. 수질이라고 하는 것은 이러한 불순물의 종류와 양을 의미하고 있다.

수중의 불순물은 그 존재 상태에 의해서 고체, 액체, 가스체의 상태로 나눌수 있으나, 그 크기에 따라서 현탁질, 콜로이드질, 용해질로 대별된다.

현탁질은 보통 세공크기가 0.45 μ m(0.00045mm)라고 하고, 1.00 μ m~1.00nm정도의 크기를 가진 불순물은 콜로이드라고 한다.

수중의 콜로이드는 중성의 pH로 (-)전하를 띠고 있는 것이 많고, 점토, 유리, 분말, 실리카, 유기물, 세균 등이다.

용해성 성분이란 수중에서 단일 분자 또는 이온등과 같이 물 분자와 인접하여 크기가 비슷하게 존재하고 있는 성분이라고 할 수 있다. 용해 성분은 가스가 있는데 이는 대부분 산소(O₂), 질소(N₂), 탄산가스(CO₂)등이다.

3.2 수질기준

양식을 하는데 있어 어류의 성장뿐만 아니라, 이를 섭취하는 사람들에게도 간접 취사가 되기 때문에 양질의 물로 어류를 사육하는 것은 매우 중요한 일이다. 어류가 최적 조건으로 성장하기 위해서는 절적인 수질관리 기준(Standard)이 있어야 하고, 이에 따른 지침(Guide), 목표(Goal), 판단조건(Criteria)등으로 구분하여 관리 하여야 한다.

수질항목	항목의 의미	발생의 원인
온도	물의 기본적 상태표시	바깥기온에 의한 변화·수원의 종류
탁도	외관적장애 수처리 프로세스의 선택	강수에 의한 점토 등의 혼입 배출수에서의 헤파생 불순물의 혼입
색도	외관적 장애	천연착색수, 공장폐수의 혼입
냄새	감각적장애	조류의 발생, 공장폐수의 혼입, 염소파임
맛	감각적장애	조류의 발생, 공장폐수의 혼입, 염소파임
pH값	물의 기본적상태표시 산성·알칼리성의 정도	산, 알칼리의 혼입 등으로 변화 (강우는 보통 pH 5.7 정도)
과망간산칼륨소비량	산화되기 쉬운 물질의 양치지표	산화되기 쉬운 유기물, 환원성무기물의 존재
질산성질소	암모니아성질소 오염의 최종형태, 다량존재시 유아의 폐색모그로비 내미아병을 일으킴	단백질·암모니아등 여러 종류의 질소화합물 의 산화에서 생김
아질산성질소	분뇨, 하수 등의 폐근에 혼입여부 지표	분뇨, 하수 등에 포함된 암모니아의 산화에 의해 생김. 때로는 질산성질소의 환원에 의해 생김.
암모니아성질소	생물하수오염의 지표 기타 무해오염의 경우도 있음.	분뇨, 하수의 비교적 폐근의 혼입, 공장폐수, 암 모니아비료의 혼입, 지하수에는 질산성질소의 환원에 의해서도 생김
경도	비누가 잘 녹지 않음 보일러 스케일의 발생	지질, 공장폐수, 시설이 콘크리트, 석회에 의 한 수처리 등에서 생김
중발잔류물 분소	불순물의 총량 변상치의 출현(과잉량) 총치의 예방(0.8ppm 정도)	지질, 산업폐수의 혼입
6가크롬 염소이온	축적성독성 배수의 혼입, 공장폐수, 도시폐수 혼입의 지표	광산, 공장폐수의 혼입 지질, 배수와 공장 도시폐수의 혼입
망간	착색	지질, 광산, 공장폐수의 혼입
철	착색	철기화된 호수바닥에서의 용출 지질, 광산, 공장폐수의 혼입
동(구리)	약한독성, 살조효과	철기화된 호수바닥에서의 용출
아연	약한독성(급성독성)	광산, 공장폐수의 혼입, 살조처리를 위해 투입
비소	급성, 축적성독성	광산, 공장폐수의 혼입, 아연도금판에서의 용출 농약의 혼입, 기타 중금속을 혼재한 광산, 공 장폐수 등 혼입
셀레늄(Se)	축적성독물	광산, 공장폐수로부터의 혼입
카드뮴	축적성독물	광산, 공장폐수로부터의 혼입
연(납)	축적성독물	지질, 공장폐수의 혼입
폐놀류	염소소산염에서 극미량으로도 불쾌 한 냄새로 폐놀냄새를 발생시킴	가스공장, 화학공장폐수의 혼입, 탄광·아스팔 트도로 등에서도 혼입
시안	급성독성	광산, 공장폐수의 혼입
수은	축적성독물, 다량의 경우는 급성	광산, 공장폐수, 농약의 혼입
유기인	급성독성, 축적성독성	농약의 혼입
음이온계면활성제	생활하수 오염의 지표	공장폐수, 하수 통에서의 세제의 혼입
일반세균	물의 일반적 청정도를 가리키는 지표	
대장균군	인축의 배출물에 의한 오염의 직 접적인 지표	

표1-2 수질항목과 발생원인

3.3 물의 성질

3.3.1 밀도(Density)

단위 부피당 질량으로서 비질량(Specific Mass)이라고 한다. 어떤 물체의 질량을 m , 무게를 W , 중력가속도를 g , 체적을 V , 밀도를 ρ 라하면

$$\text{밀도}(\rho) = \text{질량}(m) / \text{부피}(V)$$

와 같이 나타 낼수 있다. 단위는 g/cm^3 , g/ml 또는 kg/m^3 으로 표기되고 기체의 경우는 g/l , kg/m^3 으로 표기한다. 표준 대기압 하에서 4°C 에서 최대이며 그 값은 순수한 물의 밀도는 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 이고 비중량은 $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ 이다.

이 의미는 물 1cm^3 , 즉 $1\text{cc}=1\text{g}$ 이라는 의미이고, 비중량이 $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ 이라고 하면 물 1m^3 의 질량이 $1,000\text{g}$ 임을 의미한다.

4°C 의 순수한 물의 밀도는 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 인데 이는 물 1cm^3 , 즉 $1\text{cc}=1\text{g}$ 이라는 의미이다. 그러나 4°C 온도를 기준으로 온도가 증가 하거나 감소함에 따라 그 밀도의 값은 감소 되며 압력이 증가 할 때 그 값은 크게 증가 된다.

<표 1-2>온도에 따른 물의 밀도와 단위중량

온도($^\circ\text{C}$)	-10	0	4	10	15	20	30	50	100
밀도(g/cm^3)	0.9979	0.9999	1.0000	0.9999	0.9991	0.9982	0.9957	0.9881	0.9583
단위중량(kg/m^3)	997.9	999.9	1000.0	999.9	999.1	998.2	995.7	988.1	958.3

온도에 따른 중량은 조금씩 차이가 난다. 우리가 양어장에서 수량을 나타내는 단위로 주로 톤의 개념을 많이 사용하고 있는데 엄밀하게 말하면 물 1m^3 은 4°C 일 때가 1톤이며 양어장의 일반적인 수온이 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 에서는 약 $2\sim 5\text{kg}$ 가벼운 998.2kg 에서 995.7kg 의 무게가 되는 것으로 보아 수량의 표기는 m^3 으로 표기 하는 것이 더 정확한 표기일 것이다.

3.3.2 단위 중량(Specific weight)

단위 체적당 무게로서 비 중량이라고도 한다. 즉, 단위중량을 γ 라고 하면,

$$= \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

이 된다. 단위중량은 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 이며, 온도의 변화와 함께 무게가 다소 현화한다.

바닷물의 단위 중량은 $1.025\text{g}/\text{cm}^3$, 수은(Hg)의 단위 중량은 $13.6\text{g}/\text{cm}^3$ 이다.

3.3.3 비중(Specific Weight)

표준물질(4℃의 순수한 물)에 대한 어떤 물질의 밀도의 비를 말한다. 예를 들어 해수의 비중이 1.026이라고 하면 순수한 물의 비중이 1.0과 비교하였

$$\begin{aligned} \text{중} \quad & \frac{\text{물체의 단위 중량}}{\text{물의 단위 중량}} = \frac{\text{물체의 밀도}}{\text{물의 밀도}} \\ & = \frac{W}{W} = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\gamma}{\gamma_0} \end{aligned}$$

을 때 같은 부피에서 약간 더 무겁다는 것을 의미한다.

즉, 비중 S는 물의 밀도 또는 단위 중량에 대한 어떤 물체의 밀도, 단위중량의 비등으로 표시된다

3.2.4 단위

(1) 액체측정단위

1ml = 1cm³ = 1cc(사방1cm, 높이 1cm 용기에 들어있는 물의 양)

1 l = 1,000cc = 1,000ml

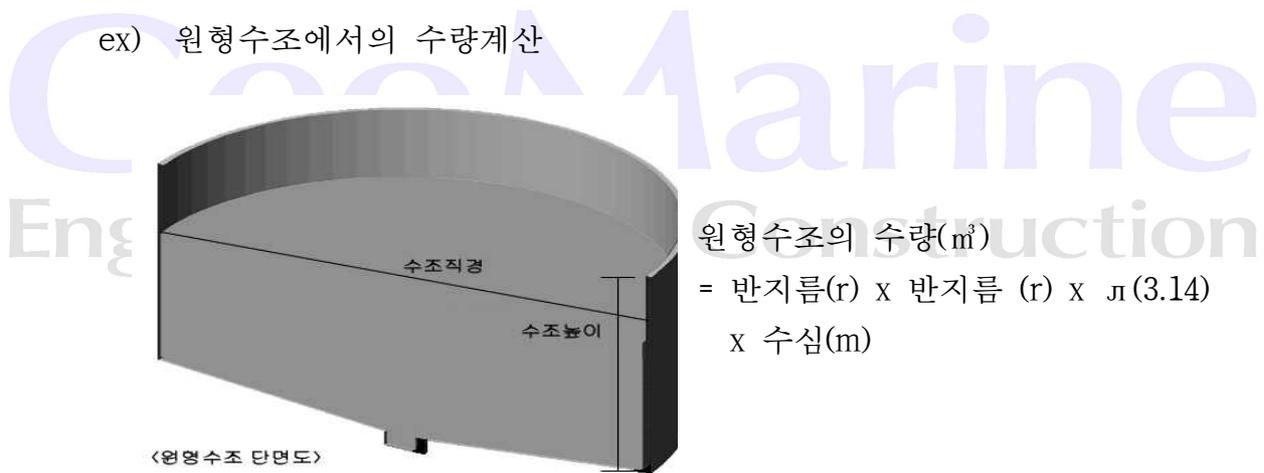
1m³ = 1,000 l(사방 1m, 높이 1m의 용기에 들어가는 액체의 양)

- 양어장에서는 물의 양을 무게 단위인 톤(ton)으로 표현을 많이 하는데 이는 순수한 물 1m³의 무게는 4℃에서 1톤(ton)의 중량이 나가기 때문이다.

1 fl oz (액체 1온스) = 29.6cc

1 Gal(겔론) = 3.78리터

ex) 원형수조에서의 수량계산



<표 1-3> 원형수조의 수량계산 예시표

※ 소수점 단위는 생략

현재 국내 양어장의 수조형태는 주로 원형이 많이 차지하고 있으며 정사

수심 \	4m	5m	6m	7m	8m	10m	12m
30cm	4	6	8	12	15	24	34
50cm	6	10	14	19	25	39	57
60cm	8	12	17	23	30	47	68
70cm	9	14	20	27	35	55	79
80cm	10	16	23	31	40	63	90
100cm	13	20	28	38	50	79	113
120cm	15	24	34	46	60	94	136
150cm	19	29	42	58	75	118	170

각에 모따기를 한 형태의 수조도 많이 사용하고 있다.

(2) 무게단위

$$1\text{Kg} = 1,000\text{g} = 35\text{oz}$$

$$1\text{g} = 1,000\text{mg}$$

$$1\text{lbs(파운드)} = 453\text{g}$$

(3) 길이단위

$$1\text{ mm} = 1,000\mu\text{m (마이크로미터)}$$

$$1\text{ cm} = 10\text{mm} = 0.0328\text{ft(피트)}$$

$$1\text{ in(인치)} = 2.54\text{cm} = 25.4\text{mm}$$

ex) 농도계산

물이 30톤 들어있는 사육조에 10ppm의 농도로 약품을 투여해야 한다면 투여되는 약품의 양은 얼마나 될 것인가 ?

- 성분의 측정단위

◦ ppm (Part per Million; 백만분율)

$$1\text{ppm} = 1/10^6 = 1\text{mg/l} = 1\text{g/m}^3$$

1톤의 물에 1g의 약품을 투여했을 때 1ppm이 된다. 10g을 투여하게 되면 10ppm이 되므로 30톤의 수량에 10ppm을 맞추려면 $10 \times 30 = 300\text{g}$ 의 계산이 성립 되므로 300g의 약품을 투여하게 된다.

◦ ppb (Part Per Billion; 십억분율)

$$1\text{ppb} = 1/10^9 = 1\mu\text{g/kg} = 1\mu\text{g/l} = 1\text{ng/m}^3$$

◦ 백분율 (% , Part per Hundered)

$$1\% = 1/100$$

◦ 천분율(% , Part per Thousand)

$$1\% = 1/1,000$$

1 ppt = 1,000ppm

이 단위 기호는 해수 1m³ 중의 염분 농도를 표기할 때 이용하는데 해수의 염분농도가 34%이라면 해수 중에 염분이 34kg 포함되어 있음을 의미한다.

3.4 수자원의 특성

3.4.1 빗물(Rainwater)

빗물은 지표면 또는 해수면의 물이 증발되어 응축된 것으로 사실상 증류수의 일종이다. 일정 증류수는 휘발성 물체를 빼고 모두 증발된 상태이기 때문에 순수한 물이라고 볼 수 있지만 빗물은 응축되는 순간부터 대기중으로 부터 불순물을 함유한다고 볼 수 있으므로 사실상 인간의 용수로 직접 사용하기는 어렵다. 일반적으로 대기중에는 이산화탄소(CO₂)가 340mg/l 존재하며 대기 중에서 물방울과 반응하게 되면 탄산(HCO₃⁻)이 된다. 이로 인하여 순수한 우수의 pH는 약 5.6를 나타내는 것이 정상이나 인간의 화석연료 사용으로 인하여 발생된 대기중의 질소 산화물, 황화물 등과 결합하여 pH 4 이하 정도로 강하게 산성화되어 지상에 내리기도 하는데 이를 산성비라 한다.

3.4.2 지표수(Surface Water)

인간의 용수 공급원으로 가장 많은 비중을 차지하는 지표수(地表水)의 성질은 유역의 특성, 계절, 강수량 등에 따라 크게 다르며, 오염원으로부터 항상 노출되어 있으며 유기물 함량이 높고 각종 미생물 등의 활동이 활발하고, 용존산소의 농도가 높으며 오염되기 쉬운 수자원 중의 하나이다.

3.4.3 지하수 (Ground Water)

지하수는 지상에 떨어진 빗물이 토양으로 스며들어 단 시간 내에 지표로 방출되지 않고 부존되어 있는 물을 말하며, 빗물이 지층을 통과 할 때 여과되어 깨끗한 상태로 존재하게 된다.

빗물이 분해성 유기물이 풍부한 토양을 통과하면서 물은 토양 미생물에 의한 유기물 분해 과정에서 생성된 이산화탄소(CO₂)를 용해하게 되고 이로 인해 산성으로 변화 된 물은 지하의 석회질과 광물질에 우수한 용매체가 되어 지표수에 비하여 경도가 높고 용해된 광물질을 많이 함유하게 된다.

강·하천 등의 물은 오염원 여부가 불투명하므로 양식수로 직접 사용하기에는

어렵고 현재 대부분의 순환여과시스템 양식장은 지하수를 주로 이용하며 그 특성은 다음과 같다.

<Table> 지하수 및 지표수의 특성비교

구 분	지 하 수	지 표 수
수 온	· 원수의 깊이에 따라 차이가 있으며 계절적 변화가 거의 없다. · 심정 지하수를 개발 했을 경우 보통 14℃ ~ 17℃를 나타낸다.	· 계절적 변화에 따른다.
탁 도	· 낮음	· 무기물 및 조류의 영향
DO	· 낮음, 1ppm이하	· 다양, 5ppm이상
CO ₂	· 높음, 0 ~ 50ppm	· 다양, 5ppm이하
pH	· 낮음, 일반적으로 7.0이하	· 6.0 ~ 8.5, 일간 변동이 크다.

○ 지하수의 특성

- ▷ 수온의 변동이 적으며 탁도가 낮다.
- ▷ 무기염류의 농도가 높고 경도가 높다.
- ▷ 미생물이 거의 없고 오염물이 적다.
- ▷ 지층, 지역에 따른 수질의 차이가 크다.
- ▷ 지표수에 비하여 이산화탄소 농도가 높다.
- ▷ 자정속도가 느리다.

3.4.4 해수(Sea Water)

지구상에 존재하는 물 중에 97% 이상을 차지하는 물이 해수이며 해수에는 소금이 해수 1리터당 34g 녹이 있다. 이는 해수에 용해된 소금을 지구 표면을 덮었을 때 30m의 높이에 달하는 막대한 양이다. 해수의 온도는 저위도에서는 고온, 고위도에서는 저온이 일반적이지만 해양 전체의 54% 이상이 해수표면 온도가 20℃ 이상이다.

지구상에 존재하는 바다는 크게 태평양, 대서양, 인도양, 북극해, 남극해의 다섯 부분으로 나눌 수 있다. 태평양이 가장 넓고 대서양, 인도양이 그 다음을 차지하며 남극 대륙의 주면을 감싸는 남극해는 태평양, 대서양, 인도양을 연결하고 북극해는 상대적으로 대양으로서의 비중이 작은 편이다.

(1) 해류(Current)

해양의 물도 강물과 같이 일정한 방향으로 이동·순환하는 것을 해류라고 한

다. 해류를 따라 어종이 다른 어장이 형성된다.

- ① 조류(Tidal Current) : 지구와 달과 태양의 인력에 의하여 발생된다.
- ② 쓰나미(Tsunami) : 해저의 화산 활동으로 인하여 발생된다.
- ③ 심해류(Deep Ocean Current) : 해수의 온도와 염분의 농도에 의한 밀도차에 의하여 형성되며 난류와 한류가 있다.
- ④ 상층류(Upwelling Current) : 바람과 해양 및 육지의 상호작용에 의하여 해수가 하층부에서 상층부로 상승하는 해류.

(2) 해수의 주요성분

해수는 Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 및 HCO_3^- 의 Holy Seven이라는 주요 성분을 비롯하여 다양한 미량 원소를 포함하고 있으며, 해수내의 용존 물질의 양은 평균 0.5ppm이다. 해양에서 질소는 대기 중으로부터 N_2 , NH_4-N , NO_x 의 형태로 흡수되어 NO_2-N 과 NO_3-N 의 형태로 약 65%정도, NH_4^+-N 의 형태로 약 35%의 유기질소로 존재한다. 해수에 존재하는 탄소원은 CO_2 의 형태로 유입되어 CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} 로 용존 한다.

3.5 수질관리 지표

3.5.1 물리적 지표

(1) 탁도

탁도(濁度 : Turbidity)는 물의 탁한 정도를 나타내는 것으로 백토 1mg이 증류수 1ℓ에 포함되어 있을때의 탁도를 1ppm이라 한다. 즉, 탁도는 빛의 통과에 대한 저항도로서 표준 단위로서는 1mg/ℓ 규사(SiO_2) 용액이 나타내는 탁한 정도를 탁도로 하기도 한다.

(2) 색도(色圖 : Colour)

색도는 색의 정도를 표시하는 것으로 백금 1mg을 포함한 색도 표준액을 증류수 1ℓ중에 용해 시켰을 때의 색상을 1도라 한다. 물은 원래 색이 없지만 수층이 깊으면 빛의 분산으로 푸른색으로 보인다. 그러므로 물의 색도가 높으면 수층이 뚜꺼운 것으로 볼 수 있다.

물의 착색의 최대 원인은 부패질에 의한 것으로 식물의 부패분해로 생기는 휴민(Humine)질이란 콜로이드로 착색 된다. 휴민질은 황갈색으로 색도 표준액도 이와 비슷한 색깔을 나타 낸다. 이와 같이 콜로이드질인 식물성 또는 유기성 압축물에서 기인되는 색도를 진색도(True Colour)라고 부르고, 철분은

때때로 휴민 철염(Humine Ferrmic Humate)으로서 높은 색도를 나타낸다. 자연색도는 원래 물 속에서 음(-)로 대전된 콜로이드 입자로서 존재하여, 보통 알루미늄, 철과 같은 3가 금속이온을 가진 염을 첨가 하는 방법으로 쉽게 응집 제거될 수 있다.

(3) 고형물(Solids)

총 고형물(total Solids)은 수중에 존재하는 용해성 고형물의 총량을 의미 하는 것으로 시료를 105 ~ 110°C에서 2시간 가열했을 때 남은 물질, 즉 물속에 함유 되어 있는 이 물질 전체를 말하며, 이를 증발 잔류물질이라고도 한다.

SS(Suspended Solids)는 무기물과 유기물을 함유하는 고형물질에서 0.1 μ 이상의 입자로 구성되고, 물의 탁도를 유발하므로 현탁 물질로도 한다. 시료를 미세한 구멍이 0.1 μ 인 여과지를 사용하여 거를 때 여과되지 않고 남는 물질이 SS다. 이 SS를 105°C에서 약 2시간 잘 건조시킨 후에 건조 질량을 측정한다. 이 건조 시킨 물질을 다시 550°C에서 약 15 ~ 20분간 태운 후에 남은 물질이 바로 작열 잔유부유물질이고, 그 감량이 휘발성 물질이다.

유기물은 고온에서 타므로 휘발성 부유물질이고, 타고 남은 잔류 물질이 무기물질이다.

(4) 침전물 산소요구량(SOD : Sediment Oxygen Demand)

저니층의 유기 퇴적층에 의한 산소요구량으로 유기물질의 분해와 저서(低底) 수중생물의 호흡 및 환원성 물질의 산화로 발생 하게 된다. 단위 저니(저질)의 단위 면적당 산소 소비량으로(g/m².day)로 나타 낸다.

3.5.2 화학적 지표

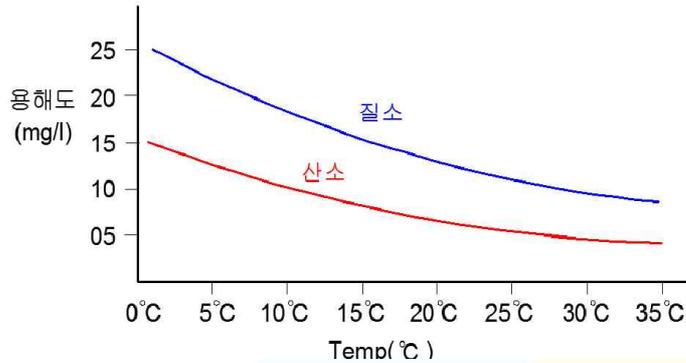
(1) 용존 산소(溶存酸素 DO : Dissolved Oxygen)

용존산소란 물속에 용해되어 있는 2가의 분자산소를 의미하며 수중의 어류를 비롯한 수중 생물들은 이 용존 산소를 이용하여 호흡하고 생존해 나가며 생물학적 여과에 관여하는 미생물 역시 이 용존산소를 이용하여 유기오염물질 및 암모니아, 아질산을 분해하는 역할을 수행하게 되므로 순환여과의 생물학적 여과과정에서 용존산소의 농도는 중요한 요소가 된다.

즉, 수중에 용존되어 있는 산소량을 말하며, 용존산소의 농도(g/l)는 평형 상대의 농도가 아니라 산소의 용해도에 의해서 제한된 상태의 농도를 나타 낸다.

① 용존산소의 발생

수중에는 대기중으로 부터 전달된 산소와 조류(Algae)의 광합성에 의한 산소, 미생물 또는 유기물 등으로 구성되어 있는 결합상태의 산소가 있다. 대기중에는 질소가 79%, 산소가 21%로 구성되어 있는데, 대기 중의 산소는 Fricks법칙에 의하여 물 속으로 분산흡수(分散吸收)된다.



<Fig> 공기로 포화된 증류수 중의 산소 및 질소의용해도

온도(°C)	염도(‰)				
	0	20	25	30	35
10	8.0	7.1	6.9	6.7	6.4
15	7.2	6.4	6.2	6.0	5.8
20	6.6	5.9	5.7	5.5	5.3
25	6.0	5.4	5.2	5.1	4.9
30	5.6	5.0	4.8	4.7	4.5

<표 1-4> 온도와 염도 사이에서의 용존산소발생농도(ppm)

물 속에 들어온 산소는 기체의 분압에 의해서 어느정도 까지 녹게 되는데, 이때 물속에 녹아있는 산소를 용존산소라 하고, 공기를 물속으로 주입시키는 것을 포기(Aeration)라 한다.

헨리(Henry)의 법칙에 의하면 기체의 용해도가 크지 않는 범위에서는 일정한 온도에서 일정량의 기체에 용해되는 기체의 중량은 그 기체의 압력(공기와 같은 혼합기체인 경우는 분압)에 비례 한다. 그러므로 산소분압을 높이면 용해되는 산소의 양은 증가 한다.

용존산소의 양은 수온이나 기압, 다른 용질의 영향을 받아 수온의 상승과 더불어 감소하며, 대기중의 산소 분압에 비례하여 증가 한다. 또한, 수온의 급격한 상승 및 조류의 번식이 심한 경우에 과포화로 될수 있으나 순수상태에서 20°C, 1기압 하에서 포화용존 산소량은 9ppm이다.

그러나 담수 또는 해수내의 용존산소의 농도는 1%도 되지 않는 4~8ppm으

로, 물과는 잘 반응하지 않는 기체라는 것을 알 수 있다.

양어장에서는 위와 같이 자연적으로 용존산소를 유지할 수는 없고 인위적으로 폭기를 하거나 액화산소를 이용하여 용존산소의 농도를 높여 주어야 한다. 산소의 포화도는 온도 및 염도에 많은 영향을 받게 된다.

(표)1-4에서 볼 수 있는 바와 같이 염도가 0%(담수)이고, 온도가 10℃인 물의 용존산소량은 8.0ppm인데 비하여, 염도는 같지만 온도가 30℃인 물의 용존산소 농도는 5.6ppm으로 많이 떨어지는 것을 알 수 있다. 온도가 20℃이고 염도가 0%인 물(담수)의 6.6ppm이고 같은 온도에서 염도가 35%인 해수의 용존산소 농도는 5.3 ppm으로 낮아짐을 볼 수 있다.

즉, 용존산소의 농도(용해도)는 온도와 염도가 낮을수록 높게 나타난다.

이외에도 기압 및 불순물의 농도, 수면의 형상 등에도 대기 중의 산소 전달율은 낮아진다. 인위적으로 물 속의 공기, 즉 산소를 공급하는 것을 폭기라 하는데 폭기가 잘 되게 하려면 공기 방울의 접촉 표면적이 커야하고 접촉 시간도 길어야 한다. 이는 공기방울의 입자가 작아야 하며 폭기 되는 위치도 낮아야 한다.

② 용존산소의 이용

용존산소는 어류가 생존하는데 있어서 없어서는 안 될 중요한 요소가 됨은 물론 순환여과식 양어장에서 생물학적 여과 과정에 중요한 요소이다. 양어장에서 용존산소의 필요량은 어류의 종류, 어류의 밀도, 탁도 등에 따라 달라지는데 보통 4ppm이하로 내려가면 어류에게 치명적이 됨은 물론 생물학적 여과도 잘 일어나지 않는다.

1) 미생물의 이용

순환 여과식 양어장에서 생물학적 여과과정에서 슬러지를 분해하는 과정 및 암모니아, 아질산을 분해하는 과정에서 용존산소를 이용하게 되는데 용존산소의 공급이 충분하지 못하게 되면 혐기성 분해가 일어나게 되므로 황화수소, 메탄가스등을 발생 시키게 되어 악취 및 독성의 원인이 되기도 한다.

실제적으로 충분히 숙성된 모래 여과기에서 상층부의 용존산소 농도는 6.48ppm을 보이고 48cm이하의 하층부에서의 용존산소 농도는 5.26ppm으로 낮아지게 되는데 반비례 하여 암모니아 농도는 238meq/l에서 140meq/l로 아질산은 183meq/l에서 112meq/l로 감소하게 되는데 이는 암모니아, 아질산을 산화시키는 과정에서 산소를 소비하고 있기 때문이다.

2) 어류의 이용

어류의 산소 소비량은 어종에 따라 다르며, 같은 어종이라도 어류의 크기, 운동량의 차이나 여러 가지 자극에 의하여 따라 다르다. 주로 산소 소비량에 영향을 주는 최대 요인은 수온이다.

단위체중당 산소소비량은 어체가 작을수록, 수온이 상승함에 따라 증가하는데 일반적으로 수온이 10℃ 상승하면 산소소비량은 2 ~ 3배 증가한다고 알려져 있다. 따라서 어류의 방양밀도를 결정짓는데 중요한 요소가 되는 용존 산소는 수온이 낮을 때 더욱 유리하지만 저 수온에서는 어류의 먹이 섭취율이 현저하게 떨어져 성장을 더디게 한다.

〈표 1-5〉 뱀장어의 사육조건하에서 산소소비량(mg/kg.hr)

어체중(g)	5	10	20	50	100	200	300
산소소비량(mg/hr)	1.07	1.72	2.86	5.43	8.87	14.6	19.3
산소소비량(mg/mg/hr)	215	172	143	109	88.7	72.9	64.3

③ 용존산소의 결핍요인

1) 사료 급이에 의한 결핍

사료 급이에 의한 산소 소비량이 증가하는 것은 섭이를 위해서 운동하고 소화 흡수에 소비된다.

2) 유기물의 증가시

유기물의 증가시 이를 분해하기 위한 호기성 박테리아의 번성으로 용존 산소 소모량 증가된다.

3) 수온의 증가시

수온의 증가시 포화용존산소 농도가 감소한다.

4) 염분도의 증가

5) 기압의 감소

6) 남조류의 번성(노지 양식장, 지수식 양어장의 경우)

표면에 scum을 형성하여 광합성이 표층 부근에서만 왕성하게 일어나고, 표층은 과포화상태, 저층은 산소가 부족한 상태를 만든다. 또한 녹조가 일어난 상황에서는 BOD가 매우 높으며 밤에는 산소가 고갈된다. 더욱이 바람이나 비에 의하여 수층의 역전현상이 일어나면 산소가 풍부한 표층은 산소가 고갈된 저층과 혼합되어 전체적으로 산소고갈 현상이 일어

나게 된다. 영양염의 고갈, CO₂의 고갈은 남조류를 격감시키게 된다.

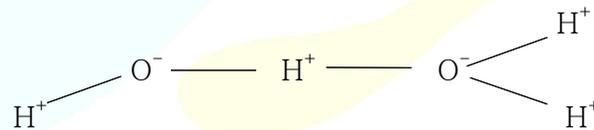
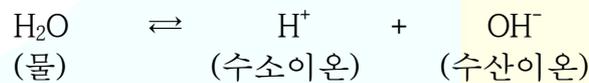
④ 용존산소의 일간변화

광합성 작용에 의하여 낮 동안에 CO₂는 소모되고 산소는 생성된다. 특히 알칼리도가 20ppm이하의 낮은 용수에서는 CO₂의 감소가 심하게 일어나고 낮 동안에 생성되는 산소의 양과 밤에 식물성플랑크톤의 호흡작용에 의하여 소모 되는 산소의 양은 거의 비슷하다.

식물성플랑크톤의 밀도가 클수록 이러한 변화폭은 더 커지게 되며 CO₂는 약산성이기 때문에 CO₂의 제거는 용수의 pH를 염기성을 띠게 만든다. 용존산소는 정오에 가장 높게 나타나며, 밤에는 산소가 생성되지 않으며 호흡작용에 의해 용존산소가 감소와 CO₂의 증가만이 일어나게 된다.

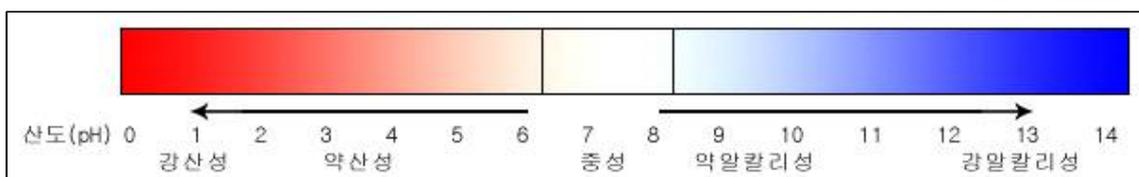
(2) pH (수소이온농도)

① 수소이온농도란?



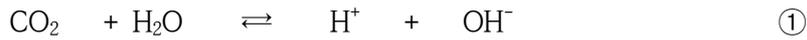
수소이온농도, 즉 pH는 물이 산성인지 알칼리성인지를 나타내는 지표로 사용 된다. 물의 분자식은 H₂O로서 수소원자 2개와 산소원자 1개로 구성되는 극성공유결합으로 이루어지는데, 이 물의 분자가 해리될 때에는 수소이온(H⁺)와 수산이온(OH⁻)으로 해리된다.

수소이온농도는 위와 같이 해리되어진 수소이온(H⁺)의 농도로 표시되는데, 더 정확하게 말하면 수소이온의 활동성 정도를 표시하는 단위이다. pH는 0에서 14까지의 15등급으로 나누어서 pH=7을 중심으로 아래쪽으로 갈수록 강산성이 되며, 위쪽으로 갈수록 강알칼리성이 된다. 양어장, 특히 순환 여과식 양어장에서의 pH농도는 상당히 중요한 요소가 되므로 pH의 기본 개념은 잘 숙지할 필요가 있다.



② 자연수계에서의 pH

자연수, 즉 지하수 · 해수 · 담수 등의 pH는 일반적으로 CO₂(이산화탄소)와 HCO₃⁻(탄산)의 구성비로 결정된다.



- pH가 5이하일 때 주로 CO₂의 형태로 존재(CO₂>HCO₃⁻), 즉 pH가 5리고 하면 ①식에서와 같이 주로 CO₂가 많이 포함된 물을 의미한다.
- pH가 5에서 9사이라면 주로 HCO₃⁻의 형태로 존재(CO₂<HCO₃⁻<CO₃²⁻), pH가 5에서 9사이라고 하면 ②식에서와 같이 주로 HCO₃⁻가 많이 포함된 물을 의미한다.
- pH가 9이상이라면 ②식에서와 같이 주로 CO₃²⁻의 형태로 존재 (HCO₃⁻>CO₃²⁻), 즉 수중에 CO₂가 많으면 산성, CO₃²⁻가 많으면 알칼리성이 됨을 의미한다.

③ 양어장 사육조내에서의 pH

양어장 사육조내, 특히 순환여과식 양어장에서의 pH는 미생물에 의한 유기 오염물질의 분해 과정에서 변화하게 된다.

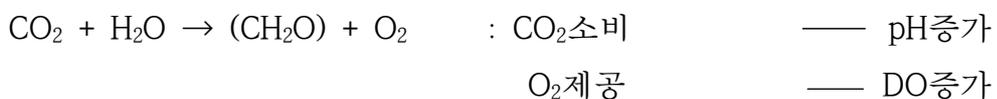
- 호기성분해 : 미생물이 오염물질을 분해하는 과정에서 산소를 이용하는 분해과정 C_xH_yO_z(유기물질) + O₂ → CO₂ + H₂O + 에너지

- 혐기성분해 : 미생물이 오염물질을 분해하는 고정에서 산소가 없는 상태에서 행해지는 분해 C_xH_yO_z(유기물질) → CO₂ + CH₄

즉, 사육조 내에 배설물, 사료찌꺼기 등의 유기물질이 미생물에 의하여 분해되면 산소를 이용한 호기성 미생물에 의한 분해는 이산화탄소와 물을 생성하고 산소가 없는 상태에서는 혐기성미생물의 작용으로 이산화탄소와 메탄가스를 형성하므로 수중에 CO₂농도가 증가하게 되어 pH가 하강하면서 산성으로 변한다.

지하수는 유리탄산을 많이 함유하므로 담수 지하수인 경우 pH 5.5 ~ 6.5 정도의 약산성을 띠게 된다.

- 주간 : 광합성



- 야간 : 호흡작용



노지 양식장의 경우 조류가 번성하면 pH변화가 생긴다. 낮에는 광합성

어나게 되는데 pH저하의 원인으로 질산화작용의 효율을 감소시키고 어류에게도 해를 주게 되므로 pH완충작용을 하기 위해서는 일정량의 알칼리도의 공급이 필요하다. 알칼리도의 공급은 탄산염이나 중탄산염등을 주입하므로써 이루어질 수 있다.

② 순환 여과식 양어장에서 알칼리도 소모율

순환 여과식 양어장에서 알칼리도의 소모율 및 첨가율은 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$NR = (F \times N_{\text{feed}})(1-F_f-F_s) \quad (1)$$

NR = 질산화율(gN/day)

F = 사료급이량(g/day)

F_{feed} = 사료중 질소함량 분율

F_f = 어체로 축적되는 질소분율

F_s = 고형물질 제거로 제거되는 질소분율

$$AD = 0.14NR, \text{ eq/day} \quad (2)$$

AD = 알카리도 소모율

$$SF = 0.14(N_{\text{feed}}) \times (1-F_f-F_s) \quad (3)$$

SF = 알카리도 첨가율

③ 알칼리도의 유지

순환여과식 양어장에서 질산화과정에서 저하되는 pH를 유지하기 위해서는 항상 일정량의 알칼리도의 공급이 필요하다. 알칼리도의 공급은 탄산염이나 중탄산염등을 주입 하므로써 이루어질 수 있으며 <표1-6>에 알카리도를 공급할 수 있는 물질들과 이 물질들의 특성을 나타내었다.

eq.) 순환여과식 양어장에서 필요한 알카리도의 계산은

◦ 순환여과 양어장 시스템의 조건

사육조 수량 : $4m^3$, 환수율 : 1%, 사료공급율 : 5Kg/day,

유입수내 알카리도 : 100mg/l as $CaCO_3$

수온 : 25°C, 사료내 질소함량 : 5%, 사료내 질소의 어체 축적율 : 50%

미섭취사료의 고형물 제거율 : 20%

일정한 pH범위를 유지하기 위해서는 알칼리도 소비율이 알칼리도 공급율과 같아야 된다. 따라서 하루 당 제거 되어 되는 질소량은 다음과 같다.

$$NR = FN_{\text{feed}}(F_f-F_s) = (5000)(0.05)(1-0.5-0.2) = 75 \text{ gN/day}$$

암모니아성 질소의 질산화시 필요한 알칼리도를 계산하면 다음과 같다.

$$[ALK]_{\text{요구량}} = NR(\text{gN/day}) \times 1\text{mol N}/14\text{N} \times 1.98\text{eq. [ALK]}/1\text{mol-N}$$

$$[ALK]_{\text{요구량}} = 75(\text{gN/day}) \times 1\text{mol}/14\text{gN} \times 1.98\text{eq. [ALK]}/1\text{mol-N}$$

$$= 10.6 \text{ eq/day}$$

주입해야할 알칼리도 물질을 순수 CaCO₃로 적용한다면 다음과 같다.

$$\text{CaCO}_3\text{요구량} = 10.6\text{eq [ALK]}/\text{day} \times 50\text{g CaCO}_3/1\text{eq}$$

$$= 530\text{gCaCO}_3/\text{day}$$

즉, 하루 당 530g의 순수한 CaCO₃가 필요하다.

이것을 공업용(함량90%)CaCO₃로 환산한다면 하루 0.5Kg이 필요하며 계산은 다음과 같다.

$$90\%\text{CaCO}_3\text{요구량} = (0.53\text{kgCaCO}_3/\text{day}) \times (1/0.9)$$

$$= 0.59\text{kg}90\%\text{CaCO}_3/\text{day}$$

화 학 식	명 칭	등가무게	용해도	용해속도
NaOH	수산화나트륨	40	높음	빠름
Na ₂ HCO ₃	소다회	53	높음	빠름
NaHCO ₃	중탄산나트륨	83	높음	높음
CaCO ₃	방해석	50	중간	중간
CaO	소석회	28	높음	중간
Ca(OH) ₂	수산화석회	37	높음	중간
CaMg(CO ₃) ₂	백운석	46	중간	느림
MgCO ₃	마그네사이트	42	중간	느림
Mg(OH) ₂	수산화마그네슘	29	중간	느림

<표 1-6> 알칼리도를 공급할 수 있는 물질의 특성

알칼리도 공급은 원칙적으로 정량공급이 최적 운영방안이고 그렇지 못할 경우 일정량씩 순환수에 풀려나갈 수 있도록 주입하면 된다. 암모니아 1mg을 제거하는 데는 약 7mg의 알칼리도를 소모한다.

(4) 경도(Hardness)

물의 세기 정도를 나타내는 용어로서 미네랄(mineral)의 다가의 금속이온의 함량을 이에 대응하는 탄산칼슘으로 환산하여 표시한 값으로 일시경도와 영구경도가 있다. 담수에서 기본 이온은 칼슘(Ca)·마그네슘(Mg)·철(Fe)·망간(Mn)등이 있다.

<표 1-7> 경도의 구분

경도(mg/ l) as CaCO ₃	구 분		
0 - 75	경 수	센 물	Hard Water
150 - 300	연 수	단 물	Soft Water

〈표〉 경도를 유발하는 주요 양이온과 이와 결합하는 음이온

경도유발 양이온	대응 음이온	경도유발 양이온	대응 음이온
Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻
Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Mn ²⁺	SiO ₃ ²⁻
Sr ²⁺	Cl ⁻		

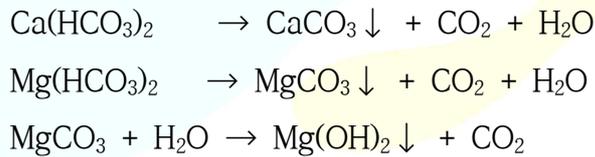
물속에 용해되어있는 Ca²⁺·Mg²⁺등의 2가의 양이온 금속에 의해 나타내며, 이에 대응하는 CaCO₃(mg/l)양(농도)로 환산하여 표시한 값이다. 물에서 비누성분()와 결합하여 거품과 세척력을 떨어뜨리며 배관과 보일러 등에 스케일의 원인이 되기도 한다.

① 탄산경도(일시경도)

Ca²⁺과 Mg²⁺이 탄산염(CO₃²⁻, HCO₃⁻)이온과 결합한 상태로 존재하면서 물을 끓였을 때 CaCO₃로 침전되어 연수화가 이루어지므로 일시경도(탄산경도)라 한다.

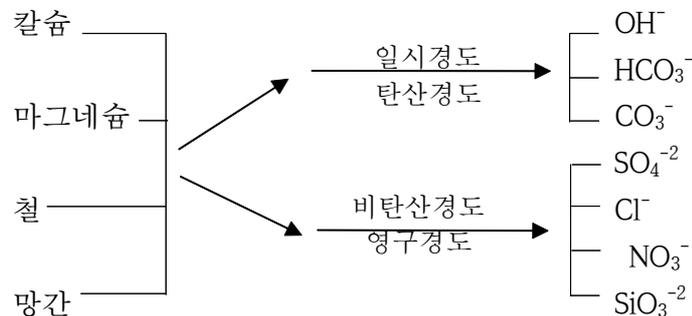
② 비탄산경도(영구경도)

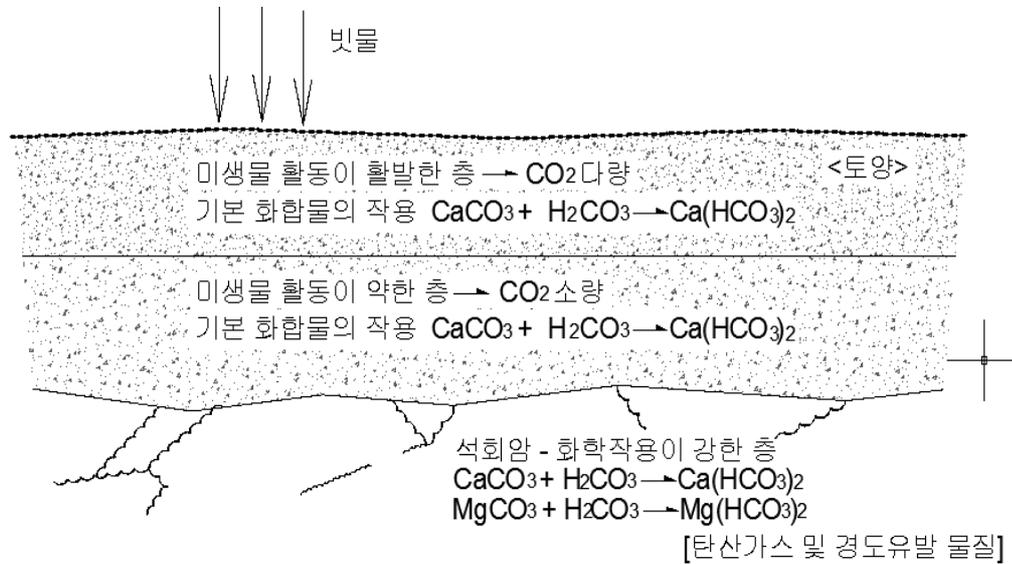
비탄산음이온 (SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻)와 결합한 형태는 제거되지 못하므로 영구 경도라 한다.



경도가 높은 물은 비누가 잘 풀리지 않으며 보일러의 스케일의 원인이 되기도 하며 양식장의 경우도 센물은 좋지않으며 특히 관상 열대어 양식에 센물은 적당하지 않다. 자연수의 경우 탄산염(CO₃²⁻·칼륨(K⁺)·마그네슘(Mg⁺)·철(Fe²⁺)과 같은 양이온과 결합한다.

총 경도는 최소 20ppm이상을 유지하고 최상의 생산성은 100ppm 이상에서 이루어진다.





<Fig 2.7> 탄산가스 및 경도유발물질

농도 (mg/l as CaCO ₃)	구 분
0 - 75	연 수
75 - 150	약 경 수
150 - 300	경 수
300이상	매우경수

<표 1-8> 경도에 따른 물의 분류

③ 환경적 영향

칼슘·마그네슘·철·망간이온의 존재가 더 독성이 큰 납·카드뮴·크롬·아연과 같은 금속이온의 독성에 영향을 준다. 일반적으로 경도가 클수록 수중생물에 대한 독성은 작아진다. 경수에서 이들 독성을 지닌 금속이온은 불 용해성의 침전 물을 형성하여 생물체가 이온화 할 수 없게 한다.

◦ 연수기(Softener) : 칼슘과 마그네슘을 제거하기 위하여 강산성 양이온 교환수지를 이용한다.

(5) 이산화탄소(CO₂)

이산화탄소(CO₂)의 용해도는 물에서 높은 기체이다. 그러나 대기 중의 이산화탄소의 농도가 낮기 때문에 깨끗한 물에서의 이산화탄소의 용해도는 20℃ 기준으로 0.64mg/l로 낮다.

양식장에서 CO₂의 발생은 어류의 호흡으로 발생되며 아주 소량은 대기중으로부터 용해되어 들어간다. 양식수에서 고농도의 CO₂농도는 어류의 호흡능력을 떨어뜨리고 산소용해도의 허용범위를 감소 시킨다. 물 속에서 고농도의

CO₂는 어류의 아가미에서 방출되는 CO₂를 줄이게 되어 어류의 혈액내에서 발생한 CO₂가 배출되지 못하므로 혈액 내에 CO₂가 증가함에 따라 호흡제한 혈증(Respiratory acidosis)을 일으키는 혈장pH 수치가 낮아진다. 만일 어류들이 이러한 조건에 놓이게 되면 헤모글로빈을 통해 운반되는 산소의 양이 줄어들게 되므로 호흡곤란을 일으키게 된다. 이때는 많은 양의 산소가 물속에 용해 되어 있어도 호흡곤란이 일어나는 Bohr-Root현상이 발생한다.

60~80mg/l의 CO₂는 어류에게 마취효과가 있어 어병 치료시 스트레스를 줄이기 위하여 간혹 사용되기도 한다. 아직 정확하게 연구된 바는 없지만 양식장에서 CO₂의 농도는 15~20mg/l를 넘기지 않는 것이 좋다.

(6) 염도 (Salinity)

염도는 물속에 녹아 있는 이온의 농도 정도를 말하는데 주로 이온은 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 칼륨, 중탄산염, 황산염 등이 있다. 주로 천 분률(ppm)로 나타내며 자연수의 염도는 주변의 온도, 토양의 상태 등 주변의 여건에 따라 달라지며 양식용 어류는 대부분 허용할 수 있는 염도의 범위는 넓지만 번식 및 성장을 위한 최적의 조건은 각 어종에 따라 다르다.

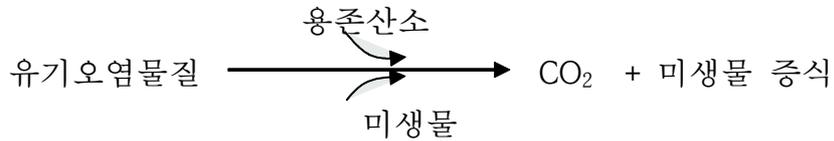
(7) 생물학적 산소요구량(BOD)

BOD(Biochemical Oxygen Demand)는 수중에 용존산소가 있는 상태(호기성상태)에서 수중에 존재하는 유기물이 미생물에 의해 분해, 안정시키는 데 소모되는 산소량으로 생화학적 산소요구량이라 한다.

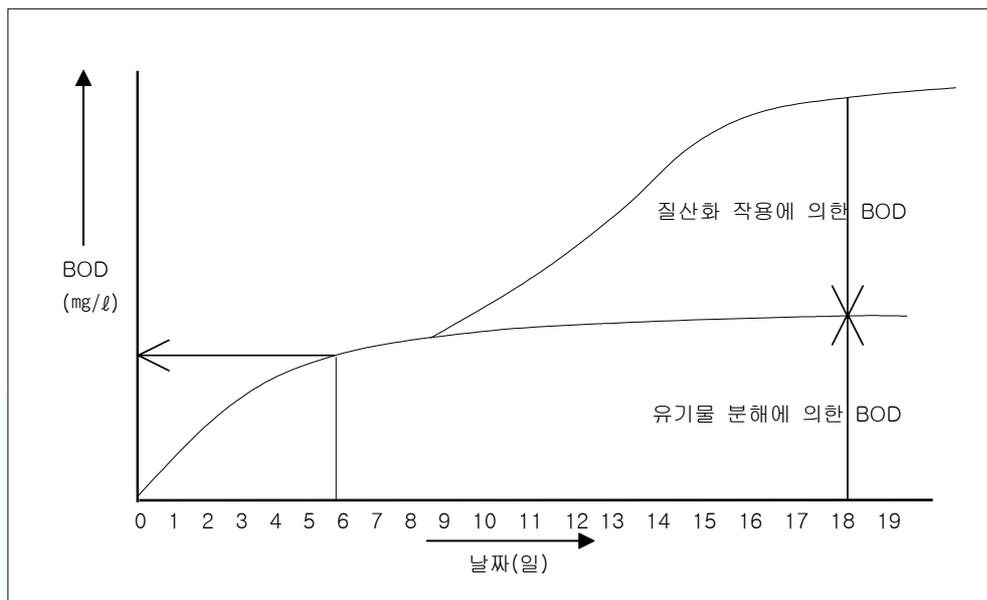
BOD는 수질의 오염정도를 나타내는 지표로서, BOD값이 클수록 수중에 분해할 유기물이 많다는 것을 의미하므로 수질이 악화되었음을 가르킨다. BOD는 수중에 존재하는 유기물을 완전 분해하는데는 오랜 시간이 소요되므로 수온 20도에서 5일간 배양시켰을 때 소모되는 산소량으로 나타내며, BOD5라고도 한다.

BOD 물의 오염도를 나타내는데 가장 많이 이용되는 방법이다. 물 속의 오염물질은 생물에 의하여 물 속의 용존산소를 소비하면서 분해시키게 되는데 오염물질이 많으면 활동하는 미생물의 양이 많아지고 필요한 용존산소의 양도 많아지게 되고 오염이 적게 되었을 때에는 반대로 필요로 하는 용존산소의 양도 적어지게 된다.

BOD는 이렇게 오염물질을 분해하는 과정에서 미생물이 필요로 하는 용존 산소를 측정하므로 얻어낸다.



주어진 시료의 BOD는 질화작용을 일으키는 암모니아와 유기질소 화합물에 의해 소모되는 용존산소량을 포함하기도 하지만 5일 동안에 나타나는 대부분의 BOD는 유기오염물질이 종속영양세균에 의해 분해 될 때 필요한 용존산소에 의한 것이다.



<그림 1-4> BOD곡선

일반적으로 암모니아와 아질산을 산화하는 질산화 세균은 종속영양세균보다 서서히 번식하여 5~7일부터 20일까지 지속된다. 시간이 경과함에 따라 BOD 값은 2단계로 구분되는데, 1단계는 주로 탄소화합물이 산화분해 될 때 산소를 소비 되는 단계이며 7~10일 경과하여 2단계로 질소화합물이 질산화반응으로 산소를 소비되는 단계 이다.

실험실에서는 관습적으로 20℃에서 5일간 배양 후 소모된 산소량을 측정하는데 이를 5일 BOD 라고 하며 통상 BOD라하면 이를 의미한다.

약 20일간 배양하였을때 대부분의 유기물이 분해되며 이때의 BOD를 최종 BOD(탄소성BOD)라고하며 질소화합물이 혼합된 경우 7~10일 후에는 질소화합물의 산화가 진행되며 이때의 BOD를 NBOD(질산성BOD) 라 한다.

4. 양식장의 사육환경 및 수질관리

양식장의 승패는 사육환경의 관리에 있다고 해도 과언이 아니다. 양식장의 오염은 외적인 오염 보다는 자체 오염이 매우 심각한 문제로 지적된다. 특히 오래 사용한 양식장 일수록 저니층에 퇴적오염물이 점진적으로 누적되어 자가오염이 점진적으로 심해질 수밖에 없는 것이 현실이다.

자가 오염의 주원인으로는 양식장의 운용기술적인 문제와 사료의 질, 영양가 배합의 불합리, 사료를 주는 방법, 시간과 주기 등의 불합리 등으로 지적할 수 있겠다.

이러한 문제는 시간이 지남에 따라 양식장의 부영양화의 진행을 촉진 시키고, 생태계의 균형을 깨뜨려, 어류의 질병발생의 원인이 되고 결과적으로 사멸 등을 일으키게 되는 주요 요인으로 작용하게 된다.

일반적으로 양식장의 수환경에 영향을 주는 요인은 물리적, 화학적, 생물학적인 요인으로 구분된다. 물리적인 요인으로는 수온, 수량, 물의 색도, 투명도 등으로 대부분 양식장의 위치에 따른 지정학적인 요인이 이에 해당 한다. 화학적인 요인으로는 수중에 녹아 있는 용존산소의 량과 수소이온농도, 염분, 경도, 대사 노폐물(암모니아, 아질산염, 질산염 등)등이 있다. 끝으로 생물학적인 요인으로는 영식지에 직 간접적으로 작용하는 각종생물들과 플랑크톤, 세균, 곤충등이 여기에 해당 된다.

여기에서는 양식장의 문제점을 파악하고 최적 상태의 양식환경을 만들어 가는데 과학적 사실을 기초로 하여 문제점을 해결하는 방안을 제시하여 최적 상태의 어류의 서식환경을 조성하는 방안을 제시 하고자 한다.

4.1 환경요소

4.1.1 수온 관리

대부분의 수산동물은 외부의 온도에 따라 몸의 온도가 변화하는 변온 동물로서, 양식생물의 대사능력(섭식, 소화, 흡수)은 수온에 따라 크게 좌우된다. 즉, 수온의 변화에 따라 성장 및 사료 계수가 크게 변화하며, 생존가능 수온내에서는 높은 수온일수록 성장 및 사료 효율이 높다. 대하의 경우는 치사한계 수온은 6℃ 이하, 34℃ 이상으로 알려져 있다. 성장 수온은 18~30℃ 이고, 활동 체적 수온은 20~26℃ 이다. 대하는 고수온에 비교적 내성이 있기 때문에 30℃ 이상의 수온에서도 폐사하는 경우는 드물다. 저수온에 대해서는 활동이 서서히 둔화하며, 습취량도 줄어든다. 6℃ 이하에서 폐사하는 경우도 있다. 또, 수온이 올라

가서 26℃ 이상에서는 습취와 성장률이 둔화 된다.

일반적으로 수온이 18~31℃ 정도를 유지해야만 최적 상태의 성장을 유지할 수가 있으나 일간 수온차가 7℃ 이상 나타나게 되면 폐사할 수가 있다. 수온의 유지를 위해서는 수심을 깊게 하고, 유수량을 적절히 조절하여 온도의 급격한 변화 등이 일어나지 않도록 해야 한다.

4.1.2 염분(Salinity)

(1) 종묘의 염분 내성

대하의 유생 akc 치하 시기의 서식처는 산란장 부근 연안이나 영양이 풍부한 내만의 조건대에 많고 수심 0.1~1.0m내외되는 곳에 떼를 지어 있다. 이러한 지역의 특징은 외해보다 염분 농도가 매우 낮고, 담수와 가까워 질겨우도 있다. 조에아(Zoea)와 미시스(Mysis)가 유생이 발견되는 최저 염분은 17.8%이며, 포스트라바(Postlarva)는 최저 0.86%에서도 발견된다.

유생이나 치하는 비중에 대한 적응성이 강하여 유생기에는 비중 1.001(염분 2.5%) 정도에서도 생존할 수 있으나, 점차 성장하면서 저비중에 대한 적응성이 약해져 치하 시기 이후에는 비중 1.006(염분 8.9%)에서 폐사하기도 한다. 그러나 이 이상의 비중으로부터 1.025의 고비중에서는 아무런 장애를 받지 않는다. 이시기에 최적 비중은 1.020정도이고, 일반적으로 자연에서 치하가 밀집되는 곳은 수온 28℃, 비중 1.019~1.020, PH 8 내외인 조건대 이다. 대하는 성장함에 따라 서서히 깊은 곳으로 이동하여 서식하는데 이는 염분과 관계가 있을 것으로 추정된다.

(2) 염분의 관리

대하는 5~40%의 넓은 범위내에서 양식 될 수 있으며, 최적은 염분은 20~32%로서, 보리 새우 보다 저염분에 아주 강하다. 대하 양식시 염분은 성장함에 따라 달리 해야 하는데 체장 7cm이하 일 때 적정 염분은 20%이며, 이상의 크기일때에는 30~32%정도가 적당하다.

4.1.3 용존 산소

새우 양식을 위해서는 용존 산소를 3.5ppm이상의 적정 수준으로 계속적으로 유지하는 것이 매우 중요하다.

(1) 용존산소의 영향

용존산소는 직접적으로 먹이 섭취와 대사에, 간접적으로 사육 조건에 영향을

미쳐 양식 생물의 성장과 생산에 커다란 영향을 주는 주요 환경요소이다. 산소의 용해도는 온도가 상승함에 따라 감소하고, 염분의 농도가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소한다.

이온화 되지 않는 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S)와 메탄(CH_4)과 같은 질소(N), 유황(S)와 탄소 대사 물질은 저농도 에서도 새우에 해가 되는데, 적절한 산소가 있으면, 미생물들은 이들 대사물을 해가 없거나, 해가 적은 형태인 질산염(NO_3), 황산염(SO_4), 이산화 탄소(CO_2)로 전환 한다.

과다한 사료의 투입으로 인하여 높은 농도의 대사물질이 생성되고 산소소비는 급격히 증가 하게 된다. 최적의 성장과 먹이전환 효율을 위해서는 용존산소가 4ppm이상으로 유지가 되어야 한다. 그러나 가장 적절한 용존산소는 6ppm이상 17ppm이하로 규정 하고 있다. 이는 너무 용존산소가 작으면 독성 대사물질이 증가로 인한 피해가 생길수가 있으며, 너무 높으면 산소과포화 상태로 어류는 가스병으로 폐사할 수 있다.

(2) 용존산소의 관리

어류의 산소 소비량은 수온, 염분, 용존산소량, 개체의 크기와 활동상태 등에 따라 달라지게 는데, 어류들이 활발하게 먹이 섭취를 하고 있을 때는 포화점(飽和點)에 달할 때 까지 용존산소량이 높을수록 소비량도 많으며, 단위 체적당 소비량은 소형개체와 활동개체에서 3배 정도 크다.

용존 산소량은 PH와도 관계가 있어 pH7.5이하일 때 산소량이 2ppm으로 되면 매우 위험하게 되어 폐사가 일어 날 수가 있다. 그러나 pH 8.0 이상이 되면 용존산소가 2ppm에서도 이상이 없다.

수중의 산소량은 일주기적인 변화를 나타 내는데 오후에 식물성 플랑크톤의 광합성 작용으로 인하여 가장 높게 나타난다. 야간에는 모든 생물들이 산소 동화작용으로 인하여 새벽에 가장 낮은 농도를 나타내게 된다. 또, 조류의 대량 발생은 수중으로 태양광선의 투과를 제한하게 되어 저층에서는 산소 결핍이 생기기 쉽다.

일반적으로 양식장의 조류의 대량 발생은 피할 수가 없는데 이를 발생 시키는 주요 원인은 사료와 어류들의 배설물이다. 이러한 것들은 결국 영양물질이므로 대량의 조류 발생을 초래 하게 되고 세균군집과 양식장 바닥에서의 대사활동의 증가를 일으키므로 많은 용존산소를 소비하게 된다.

이러한 산소불균등을 해소하기 위해서는 포기시설을 운용해야 하는데, 밤에는 양식장에 있는 모든 생물들의 호흡에 의하여 소비되는 산소를 대기중의

산소로부터 용해시키고, 낮 동안에는 식물성플랑크톤의 광합성에 의해 과포화된 용존산소를 제거하여, 용존산소의 균형을 맞춰주어야 한다. 특히 야간에는 산소의 소비가 급격히 줄어들 우려가 있으므로 액화산소 등을 공급하기도 한다.

4.1.4 수소이온농도(pH)

pH는 물속의 산성과 염기성의 지표를 나타 내는 것으로, pH에대한 어류의 치사범위는 6이하, 또는 9이상이다. 그러나 정상적인 경우 7~9범위를 벗어 나지 않으므로 pH자체는 큰 문제가 되지 않는다. 대하의 경우 최적 pH는 8.4~8.9이다.

(1) pH의 영향

pH는 어류의 대사와 다른 생리학적 과정에 영향을 미치는 중요한 요소이다. pH는 각종 용존물질과 생물의 동화 작용, 호흡작용에 의하여 변화 한다.

새우에 대한 pH의 영향에 대하여 홍다리얼룩새우의 경우를 예를 들면, pH가 24.5이하에서는 사망하며, pH 4.5~6.8에서 장기간 노출하게 되면 성장, 사료 소비 및 사료 효율이 저하 하게 된다. 최적의 사료의 효율과 성장을 위해서는 pH가 6.8~8.7로 유지되어야 한다. 또, pH가 높을 경우에도 같은 영향이 나타 나게 되는데 8.7~10.7에서 장기간 노출이 되게 되면 성정의 저해와 사료의 소비, 사료의 효율이 저하되게 되고 10.7이상에서 폐사하게 이른다.

일반적으로 모든 어류의 적정 pH는 6.8~8.7범위이다.

(2) pH의 변화

양식장 사육수의 pH변화는 주로 이산화탄소(CO₂)와 이것에 평형되는 이온에 의해서 영향을 받는다.

① 이산화탄소의 변화

pH는 DO와 같이 광합성의 강도와 관련 하여 시간대 별로 외적 요인에 의해 변동이 일어난다. 이산화탄소는 산성으로 물의 pH를 감소시키는데 낮에는 광합성에 의해 이산화탄소가 소비되어 pH가 최고치가 되며, 야간에는 호흡에 의해 이산화탄소가 축적됨으로서 해뜨기 전에 pH가 최소치가 된다. 모든 생물은 호흡을 통해 이산화탄소를 계속적으로 생산하므로 이산화탄소의 생산율은 생물의 밀도에 의해 좌우되며, 소비율은 광합성의 주체인 식물성플랑크톤의 밀도에 의해 좌우된다.

② 중탄산염(HCO₃⁻)과 탄산염(CO₃⁻²)의 변화

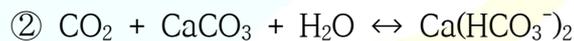
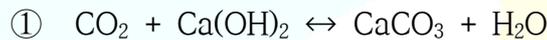
중탄산염과 탄산염은 탄소의 다른 형태로 이산화탄소(CO₂)와 평형일 때 존재한다. 중탄산염과 탄산염은 염기성으로 pH7이상에서 우세하다. 가수분해에 의해서 중탄산염과 탄산염은 수산화물(OH⁻)을 생성한다.



②의 반응은 ①의 반응보다 더 오른쪽으로 진전되어 CO₃²⁻는 더욱 염기로 된다. 광합성을 통해 이산화탄소가 사육수로부터 제거됨으로서 HCO₃⁻는 감소하고 CO₃²⁻는 증가하며 때때로 CaCO₃를 용해하여 중탄산염을 형성하는데 그것은 석회가 높은 이산화탄소 농도를 감소시키기 위해 사용되는 이유다. 이산화탄소와 용존산소의 전형적인 일주기 변동때 있어 이산화탄소는 용존산소가 최소가 될 때인 새벽 동틀 때 최대가 된다.

③ CO₂의 제거

이산화탄소(CO₂ > 100ppm)는 용존산소의 흡수를 억제하므로 이산화탄소의 제거가 필요하다. 농업용 석회(CaCO₃) 외에 소석회(수산화칼슘, Ca(OH)₂)도 이러한 목적으로 사용될 수 있다.



소석회는 생석회(산화칼슘, CaO)와 같은 이유로 신중히 사용해야 하는데, 부식성이 있고, 수온이 갑자기 증가를 일으킬 수 있으므로 사용전에 물로 혼합하여 사용하여야 한다. 소석회 사용에 있어 pH가 급속도로 증가할 수 있기 때문에 주의가 필요하다.

1.5 알칼리도(Alkalinity)와 경도

1.5.1 알칼리도

알칼리도는 수계에 산이 유입될 때 이를 중화시킬 수 있는 능력의 척도로, 일정량의 시료수를 강 산의 표준용액으로 어느 일정한 pH까지 유지하는데 필요한 산의 당량수를 말한다.

유발물질로는 수산화물, 중탄산염, 탄산염 등이 있다. 암모니아성 질소 1mg이 질산성 질소로 산화하는데 약 7mg의 알칼리도를 소모하므로 H₂CO₃를 증가시키고 pH를 소모시킨다. 탄산칼슘 50ppm이하의 알칼리도에서는 질산화가 제한되고, pH 7이하에서 질산화 효율이 저하된다. 20ppm CaCO₃ 이상의 알칼리도

가 적합하다.

1.5.2 경도(硬度)

물의 세기정도를 나타내는 것으로서, 물 속에 용존하고 있는 칼슘 (Calcium, Ca⁺²), 마그네슘(Magnesium, Mg⁺²), Mn⁺², Sr⁺²등 2가 양이온 금속의 함량을 이에 대응하는 탄산칼슘(CaCO₃)의 ppm으로 환산 표시한 값으로 일시경도와 영구경도가 있다. 탄산경도와 같이 끓여서 제거되는 경도를 일시경도라 하고, 비탄산 경도는 끓여도 제거가 되지 않는데 이를 영구 경도라고 한다.

총 알칼리도가 높고 전체경도가 낮을 경우 광합성이 강하면 pH가 너무 높게 될 수있어 어류의 성장에 영향을 받을 수 있다.

알루미늄(Aluminium, Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O)과 석고(CaSO₄ · 2H₂O)는 pH가 과도하게 높을 때 사용할 수 있다. 알루미늄은 수소이온을 방출하기 위해 가수분해를 하는 반면에 석고는 탄산칼슘의 침전으로 인해 칼슘 경도가 증가 한다. 일반적으로 전체 알칼리도와 전체 경도는 CaCO₃ 20ppm~200ppm 정도로 유지 하는 것이 좋다.

1.6 화학적산소요구량(COD)

수중의 유기물등 비산화성 물질을 산화제로 산화 했을 때 소비되는 산소량으로 수중의 유기물 등 환원성 물질의 양을 할 수 있는 척도다. 대하는 COD를 5ppm이하, 보리새우는 1.0ppm이하, 참돔, 방어 등의 경우는 2.0ppm로 유지 되어야 한다.

1.7 질소 대사물질(암모니아와 아질산염)

양식장의 암모니아의 발생은 어류의 배설물이나 사료의 찌꺼기 등과 같은 단백질의 대사의 산물이다. 질소화합물중 이온화 되지 않는 암모니아는 pH값의 증가와 수온의 상승에 따라 높아지므로, 수온이나 염분이 올라가게되면 각별한 주의가 필요하다.

암모니아는 어류의 배설물질, 사료찌꺼기, 수중 유기오염물질의 분해, 세포분해 등의 생물학적 처리과정에서 생성되어 수중으로 유출되며, 사육 밀도가 높아지면 자연계에서의 분해 속도를 초과하게 된다.

새우류의 경우 질소화합물의 대사시 아미노기(-NH₂)를 에너지 대사로 이용할 수없어, 새우의 단백질 대사물질로서 암모니아를 배설하고, 물과 저질속의 세균

은 먹이 찌꺼기, 배설물 단백질 분해시 아미노기가 암모니아로 분리되어 배출된다,

수중에 암모니아가 많이 용존되어 있으면, 양식 생물이 배설하는 암모니아가 줄어들어 체내의 암모니아 농도가 증가함으로서 성장이 둔화되고, 생식소의 성숙에 나쁜 영향을 미치며, 질병에 대한 저항력을 감소시킨다. 이온화되지 않는 암모니아($\text{NH}_3\text{-N}$)는 0.1ppm, 아질산염 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 0.1ppm, 질산염($\text{NO}_3\text{-N}$)은 200ppm이하가 적당하다.

1.7.1 질소대사물질의 발생

(1) 암모니아($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)

일반적으로 암모니아라 함은 총 암모니아로서 암모늄 이온(NH_4^+)과 비이온화 된 암모니아(NH_3)를 합한 것으로서, 분석적으로는 총 $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 결정된다.

암모니아는 이온화되지 않는 형태 (NH_3)로 혈류 또는 주변 환경으로 방출된다. pH와 수온의 증가에 따라 전체 암모니아 질소가 증가 하며, 이온화된 암모니아도 증가 한다. 그러므로 질소 화합물 중 이온화되지 않는 암모니아의 축적은 양식 새우의 치명적인 요소가 된다.

수중에 이온화 되지 않는 암모니아의 농도는 pH값의 증가와 수온의 상승에 따라 높아지며 용존산소가 높으면 감소되므로, 일일주기로 pH와 이산화탄소의 농도에 의해 이온화되지 않는 암모니아의 농도가 변동된다. 이산화탄소의 농도가 낮고 pH가 높을 때인 오후에 이온화되지 않는 암모니아는 최고치에 이르며, 이산화탄소가 높을 때인 일출직전에 최소가 된다. 특히, 암모니아는 pH가 높아지면 독성이 강해지게 되는데 pH 7을 기점으로 pH8에서 10배, pH9에서 100배로 독성이 강해진다. 그러므로 수온이 높아지거나 염분 농도가 높아지면 각별히 주의해야 한다.

새우는 0.1ppm의 이온화되지 않는 암모니아에 장기간 노출로 인해 해로운 영향이 나타날 수 가있다. 이것은 32°C에서 전체 암모니아가 pH7 일 때 0.2ppm, pH 8일 때 1.1ppm, pH 9일때 11.1ppm정도가 될수 있으므로 pH의 조절은 매우 중요하다. 암모니아가 0.6~2.0ppm정도로 높은 경우에도 견딜수는 있으나 이 농도를 넘으면 새우는 질병에 매우 민감하게 된다.

(2) 아질산염

아질산염은 암모니아가 질산염으로 되는 생물학적 산화의 중간산물로서 출현

하는 비교적 불완전한 질소 화합물로서, 암모니아가 세균 (nitrosomonas)에 의해 환원되어 아질산으로 된다.

수중에서 아질산염은 독성이 강한 아질산과 평형을 이루게 되는데, 이는 pH에 기인하게 된다. pH가 낮으면 평형은 아질산 쪽으로 이동하며 독성이 증가하게 된다. 그러나 일반적인 양식장의 경우는 pH는 주로 아질산염상태로 유지된다.

(3) 질산염

암모니아의 생물학적 산화의 산물인 질산염은 고농도의 경우에만 독성으로 나타 난다. 어류는 96시간 반수치사 농도(Medium lethal Concentration, LC₅₀)가 1,000~2,000ppm으로 알려져 있다.

수중에서 질산염은 독성이 강한 질산과 평형을 이루게 되는데, 이는 pH에 기인하게 된다. pH가 낮으면 평형은 질산 쪽으로 이동하며 독성이 증가하게 된다. 그러나 일반적인 양식장의 경우는 pH는 주로 질산염 상태로 유지된다.

1.7.2 질소 대사물질의 영향

암모니아와 아질산의 독성은 암모니아성 질소에서 2~17ppm, 아질산성 질소에서는 0.1ppm에서 영향이 있다고 알려져 있다. 이러한 물질은 양식장의 부영양화의 진행을 촉진시키는 영양물질임과 동시에 어류에 대해서도 독성을 가지고 있어, 고밀도 사육이나 환수율이 적은 경우에 주의가 필요하다.

1.7.3 양식장의 암모니아 제거

양식 기간 동안 암모니아가 독성의 수준까지 축적되지 않도록 하기 위하여 적절한 조류관리와 저층에 폭기등으로 강제 배출 시키거나, 수층에 질산화에 의한 제거 매카니즘을 강구 해야한다.

- ① 조류의 과다 발생시 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3$), PAC등의 유기응집제 등을 살포하여 제거한다.
- ② 퇴적오염 유기물을 제거한다
- ③ 암모니아의 질산화 작용을 향상시키기위한 높은 용존산소 유지.

1.8 황화수소(H_2S)

황화수소는 유기물이 많이 쌓이고, 물의 유통이 잘 안되는 양식지 바닥의 무산소 상태에서 단백질이 타가영양 세균작 대사에 의한 분해로 많이 발생 한

다. 이러한 곳은 바닥이 검게 변하고, 저질로부터 메탄가스(CH_4)와 황화수소가 기포방울 형태로 방출되어 악취를 풍긴다. 저질로부터 발생하는 황화수소는 용존산소를 소비할 뿐만 아니라 어루에도 악영향을 끼친다.

1.8.1 황화수소의 영향

황화수소는 용존산소의 존재 하에서 아황산염(SO_4^{2-})과 같은 산화된 형태로 전환되어 이온화되지 않은 황화수소는 산소가 잘 용해되어 있는 물 속에서는 일반적으로 발생하지 않는다. 대기중에는 12ppm 정도의 농도는 쉽게 될 수 있으나, 그 이상의 농도에서는 쉽게 제거할 수 없는 위험한 상태가 된다. 이온화된 황화물(HS^- 와 S^{2-})은 독성이 크지는 않다. 이온화된 황화물에 대한 이온화되지 않은 황화물의 비율은 pH와 수온에 좌우된다. 배출된 황화수소는 썩은 계란 냄새가 나는 가스로서 약간 감지 할 수 있는 0.002ppm에서도 심각하게 영향을 미칠 수 있으며, 1.0ppm에서 폐사할 수가 있다.

보리새우는 1.0~2.0ppm의 황화수소에 노출되었을 때 생리적 평형을 잃으며, 4.0ppm에서는 곧 바로 폐사한다. 대하 양식의 경우에는 황화수소가 0.1ppm 이하여야 한다.

1.8.2 황화수소의 제거

산화철(FeO)을 사용하면 황화철(FeS)로 변하게 함으로서 저질의 환원을 방지할 수 있다. 산화철제의 사용은 어루에 유해한 영향은 없으며, 체중증가 등의 생산성 향성을 가져 온다.

1.9 탁도(Turbidity)

탁도가 증가하면 어루등은 아가미에 현탁물이 쌓여 호흡에 지장을 초래하게 되고, 어루의 조직에 직접적으로 상처를 입힐 수가 있으며, 섭식이 곤란하게 되어 성장에 어려움을 겪을 수 있다.

1.9.1 탁도의 영향

물의 탁도는 수중의 햇별을 차단하는 부유물질의 양이다. 탁도는 빛의 투과를 억제하여 양식장 저층까지 식물성플랑크톤의 광합성 작용을 제한하여 수온에 의한 성층을 형성시킬 수 있다. 투명도는 3ppm 이하로 관리하면 적절한 것으로 판단된다.

1.9.2 탁도의 제거

알루미늄과 산화철(Ferric Sulfate, $Fe_2(SO_4)_3$)이 유기물을 제거하는데 매우 효과적이다. 알루미늄은 pH가 2~4로 매우 낮아 이를 적용시 pH의 측정을 같이 하면서 조절하는 것이 매우 효과적이다.

1.10 플랑크톤(Plankton)

양식장에 있어서 적절한 생태계의 유지는 플랑크톤의 향균 물질의 배출, 수질의 안정화, 투명도 감소, 동물성플랑크톤이 생물성 플랑크톤의 소비 등으로 인한 건강한 물 환경을 조성하는데 있어 매우 중요하다.

그러나 양식장의 운영으로 인한 건강한 생태계의 유지는 매우 어렵다. 이는 어류의 배설물과 사료의 찌꺼기 등의 영양물질이 플랑크톤의 과잉증식을 유발하고 이는 궁극적으로 어류의 성장환경을 저해하는 요인으로 작용한다.

1.11 양식장 저니의 퇴적물 분석

양식장의 저니의 퇴적물을 분석 하므로 서 유기물의 정도, 혐기성 세균의 활동 등을 추정할 수가 있다. 바닥 퇴적물의 COD는 20ppm이하, 황화물은 0.2ppm이하여야 한다.

GeoMarine
Engineering & Construction