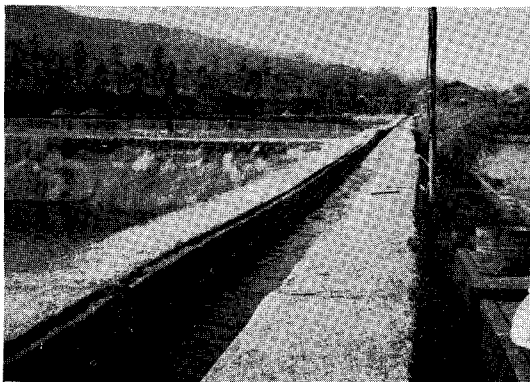


## 魚類養殖과 水質管理

田世圭\*

어류를 양식하기 위해서는 풍부한 물이 있어야된다. 유수식 사육방법에 따르면 1kg의 성장(增肉)을 위해서 무지개송어는 80~190ton, 은어는 10~50ton, 잉어, 뱀장어, 틸라피아는 80~190ton을 사용하는 것이 표준으로 되어있으나, 실제로는 이것보다 많이 4~5 배의 수량을 사용하고 있다. 사육지를 만들어 어류를 양식하는 방식은 다음과 같다.



반유수식양어장

- 어류양식
- 유수식(잉어, 송어류, 은어, 잉어)
  - 반유수식(뱀장어, 잉어, 틸라피아)
  - 止水式(잉어, 뱀장어, 금붕어, 붕어, (온수가온식) 초어, 백련어, 틸라피아)
  - 순환여과식(잉어, 은어, 틸라피아, 뱀장어, 돔, 넙치)
  - 가두리식(잉어, 은어, 금붕어, 붕어, 방어, 돔, 넙치, 송어, 연어)

유수식이나 반유수식에 있어서는 대량의 수량이 필요하므로 하천수나 호수에서 유입되는 수량을 이용하게된다. 때로는 용천수를 이용하여 연어나 송어를 양식하는 곳도 있으나 극히 제한된 지역에서만 시행된다. 하천수를 이용하게 되면 농약과 중금속 등 유독, 유해물질이 함유되므로 안심하고 이용할 수 없는 실정이다. 따라서 현재 시행되고 있는 대부분의 내수면어류양식은 지하수나 伏流水를 이용한 止水池 사육방식을 취하고 있다. 또한 수량을 절약하기 위해서는 순환여과식 사육도 성행되고있다. 어류를 양식함에 있어 필요로 하는 수산환경수질기준을 보면 pH 7.2~8.0, DO(溶存酸素) 6~7 ppm, 암모니아(NH<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N)가 없고, 황화수소(H<sub>2</sub>S)도 없고, 철분(Fe)은 0~0.05ppm, 수온은 13~30℃가 되어야한다. 하천수, 湖沼水, 해수 다같이 BOD(생물화학적 산소요구량), N(질소), P(인), DO(용존산소), pH(수소ion농도), SS(부유물질량), 수온, 유독물질을 다 달리하므로 어류양식에 앞서 수질조사는 반드시 실시하여야 된다. 이중에서도 유독물질이 함유되면 사용할 수 없는 것은 다 알고있지만, DO와 pH의 변화에 따르는 정확한 판단이 서지 않으면 양어할 수 있는 자격이 없다.수중에 용해되는 산소의 양은 제한된다.수중에 따라 산소가스와 질소가스의 포화용존량이 다르다.

\*釜山水産大學 魚病學 教室

표 1. 순수한 물에 대한 각 수온에 따르는 공기, 산소가스, 질소가스의 포화용존량

수온 (°C)	공기 (ml/l)	산소가스(O <sub>2</sub> )		질소가스(N <sub>2</sub> )	
		ml/l	mg/l	ml/l	mg/l
0	28.6	10.2	14.6	14.8	23.0
10	22.4	7.9	11.3	14.5	18.1
15	20.1	7.0	10.0	13.1	16.4
20	18.3	6.4	9.1	11.9	14.9
25	16.7	5.7	8.1	11.0	13.8
30	15.4	5.1	7.3	10.3	12.9
40	13.2	4.5	6.4	8.7	10.9

DO는 어류의 생사를 좌우한다. 어류를 양식하는 것은 경제적 행위로서 과밀양식 하여야되며 성장하기 위하여 먹이를 투여하여야 된다. 과밀양식과 사료투여는 수질을 악화시킨다. 따라서 어류는 악조건속에서 성장되고 있으니 변화하는 수질을 잘 관리하여 건강하게 성장시켜야 된다.

### 용존산소농도의 중요성

대기중에는 산소가 21%나 함유되고 있는 반면에 수중에는 1% 이하가 용존되는데 환경조건에 따라 심한 변동이 있다. 수온에 따라 순수한 물 일지라도 용존산소(DO)량이 다르다. 0°C의 수중에는 10.2ml/l인데 비하여 15°C에서는 7ml/l밖에 안되고, 25°C일때는 5.7ml/l로서 수온이 높을수록 DO의 포화량은 감소된다(표1). 반대로 수온이 높아지면 무지개송어나 뱀장어의 DO소비량은 많아진다. 무지개송어 10g 크기의 1kg가 1시간에 소비하는 DO량은 5°C일때 91ml/kg/h인데 비하여 20°C일때는 305ml/kg/h로 3.35배나 된다(표 2).

잉어나 뱀장어의 경우도 마찬가지로 수온이 상승되면 DO소비량이 증가된다. DO는 어류의 호흡에 관계 될 뿐만 아니라 수중의 많은 물질을 화학적으로 또는 생물화학적으로 소화분해시키는 중요한 인자이기도 하다. 어류가 이용할 수 있는 산소는 물분자를 구성하는 O가 아니고 수중에 용해되어 용존하는 산소가스(O<sub>2</sub>) 이

표 2. 무지개송어의 수온에 따르는 산소소비량 ml/kg/hr.

어체중(g) 수온(°C)	수온(°C)							
	1	2	5	10	25	50	100	200
5	124	114	100	91	78	68	59	49
7.5	175	161	142	129	109	94	80	66
10	224	205	181	168	139	121	102	84
15	319	294	262	238	205	181	156	132
20	408	377	336	305	264	233	199	170

다. 사람이나 가축이 공기중의 O<sub>2</sub>를 폐를 통하여 이용하는 것과 같이 어류는 수중의 용존산소가스(O<sub>2</sub>)를 아가미를 통하여 이용하고 있다. 그러나 O<sub>2</sub>가 수중에 용존되는 최대의 농도는 표 1에서 보는바와 같이 극히 적으며 수온이 높을수록 또 염분이 높을수록 적게 용존된다. 어류를 기르기 위해서 사료를 투여하게되면 수질이 혼탁해지는데 어류의 排泄物과 같이 분해되기 위하여 많은 량의 DO가 소비된다. 또한 일광에 의해 광합성되는 식물성 플랑크톤은 일광이 있을때는 O<sub>2</sub>를 생산하지만 일몰(日沒)후에는 DO의 소비자가 되고, 식물성플랑크톤이 죽으면 다시 분해하기 위하여 DO가 대량소비된다. 이와같이 DO량은 적은데 DO의 소비자는 많으니 수중DO는 결핍되기 쉽다. 어류가 성장하기 위해서는 6mg/l≒6ppm의 DO가 있으면 된다. 어류가 필요로하는 최저DO량은 포화DO농도의 50%가 되어야된다(표 1). DO가 부족하면 어류의 생리에도 장애를 주지만 간접적으로 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N), 아질산-질소(NO<sub>2</sub>-N) 황화수소(H<sub>2</sub>S) 등의 화학적 산화가 이루어지지 못하니 어류에게 악영향을 준다. DO의 소비는 어류의 밀도, 수량, 수온, 사료량에 따라 변화된다. 富營養化된 天然湖沼의 고수온기에는 DO의 변화가 심하다. 수심에 따라, 시각에 따라 DO농도에 큰 변화를 가져온다. 오후 2 시에는 수표면의 DO가 12mg/l였는데 수심 0.75m에는 DO가 2.5mg/l였고 2m인 경우에는 1mg/l 밖에 안된다. 오전 6 시에는 수표면이나 수심 1.5m

또는 2.25m 모두가 2mg/l의 DO를 나타냈다. 오후 2시(14:00)에는 표층의 식물성플랑크톤에 의한 광합성작용으로 DO는 과포화가 되고, 중탄산이온( $\text{HCO}_3^-$ )이 소비되므로 pH가 8.9까지 상승한다. 수심이 깊어짐에 따라 DO는 갑자기 감소되는 것은 죽은 플랑크톤의 가용화와 세균에 의한 플랑크톤이나 유기물현탁물을 호기적으로 분해 함으로써 DO가 많이 소비되었기 때문이다. DO가 급격히 감소되며, 혐기적분해가 일어나 어류에 유해한  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{CO}_2$ , Amin류  $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 생산된다.

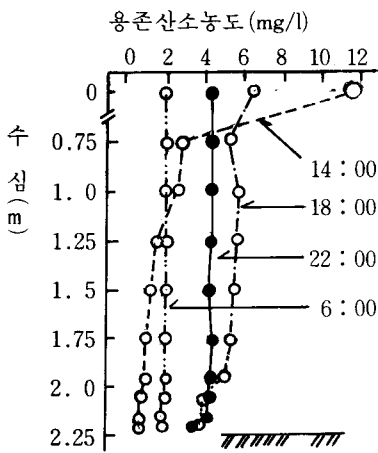


그림 1. 부영양화된 호소의 용존산소농도의 시각에 따른 변화

1984. 8. 10. 평균수온 30.8°C, 평균 pH7.8 ~ 8.0 때의 물 변화는 양식 뱀장어에게 큰 stress를 주고있다. 이 점을 방지하기 위하여 수차를 많이 이용하는데 년중 지속적으로 가동하고 있다. 지수지에 있어서는 식물성플랑크톤의 일정한 함량이 중요하다. 많아도 물변화가 일어나고, 적어도 물변화는 일어난다. 평균 1일에 30% 전후의 물교환으로 식물성플랑크톤을 일정하게 유지시키고 있다. 잉어 중요생산도 대부분 지수지에서 이루어진다. 잉어稚魚도 이와같은 stress는 받게된다. 잉어稚魚의 대량폐사의 원인도 일부는 물변화에 의한 것으로 추정된다.

## 순환여과식양식

모든 생산경비를 절감하고 생산을 높이기 위하여 사용수를 재사용하는 순환여과지 양식이 성행되고 있다. 기본적으로 사육조와 여과조된 순환여과지는 사육조에서 배지된 오물을 여과조에서 제거하면서 암모니아나 아질산 등 어류에 유해한 물질을 산화분해하여 다시 사육조에 주입시키는 방식이다. 따라서 여과조의 정화능력을 충분히 발휘시키는 것이 순환여과지의 관리상 가장 중요한 점이다 순환여과지의 완전한 정화를 기대할 수 없으니 1일에 전수량의 10%를 교환하고 있다. 뱀장어양식에 있어서 전체의 5% 정도가 순환여과식으로 사육하고있다. 순환여과식양식에 실패한 양어장에서는 지수지에 비니루를 덮은 온실가온식양어를 하고있다. 우리나라의 경우, 뱀장어양식의 95%가 온실가온지로 바뀌어졌다. 잉어양식을 제외하고는 지수지를 거의 찾아볼 수 없다. 온실가온식의 잇점은 지수지보다 3~4배의 수용밀도를 올릴 수 있고 성장이 좋으며 침전조를 설치 함으로써 수질환경이 안정되고 작업성이 향상되기 때문이다. 또한 물교환도 지수지에 비하여 1/10로 줄일 수 있기때문이다. 과거 10년간 수많은 양어장을 방문하여 정확한 진단으로 정확한 처방을 주었는데 병어는 치유되지 않았으며 이차, 삼차처방을 내려야했다. 그 이유는 쉬운 것이었지만 잘 지켜지지 않으니 약순환만 되풀이되었다. 사육수 중의 유기물질이나, 부유물질량(SS)에 따라 사육지에 산포된 약품의 농도가 쉬 달라지기 때문이다 곧 침하되거나 유기물질에 흡착되어 일정한 시간, 일정한 농도가 유지되지 못하니 치유되지 못한다. 바닥이 흡인 온실가온지나, 침전조와 여과조가 설치된 곳은 더욱 이와같은 현상이 심하다. 부족한 량을 보충하기 위하여 처방 이상으로 산포하게되면 일시에 대량 폐사되는 경우가 있다. 흡착되는 양을 정확히 파악못하는 점이 문제이다. 명의를 되기 위해서는 먼저 사육지와 그 시설물 및 수질관리를 잘 파악하여야 된다. 수질이 나쁘면 약육

표 3. 뱀장어 생산량에 따르는 사용수량과 사육지의 면적

사육 방식	밀 도	1ton생산		100ton생산	
		주 입 수 량	사육지면적	1 일주입수량	사육지면적
온실가온지	10kg/m <sup>2</sup>	20ton	100m <sup>2</sup> (33평)	2,000ton	10,000m <sup>2</sup> (3,000평)
순환여과지	30kg/m <sup>2</sup>	20ton	33m <sup>2</sup> (10평)	2,000ton	3,300m <sup>2</sup> (1,000평)

이나 경구적으로 약을 투여하여도 곧 재발되어 효과를 거둘 수 없다. DO양, pH의 변동, 농약 함량, 중금속함량, NH<sub>3</sub>-N량, NO<sub>2</sub>-N량, H<sub>2</sub>S량, HS<sup>-</sup>량이 모두 발병에 관계된다.

### 온실가온방식의 물관리

뱀장어의 경우 물 관리가 잘되면 1m<sup>2</sup>에 100kg의 사육이 가능하다. 사육밀도가 높다하여 뱀장어끼리 충돌하는 일은 없다. 이때 사용되는 용수량을 1일에 1ton의 뱀장어를(100kg/m<sup>2</sup>) 사육할 때 약 100ton이 사용된다. 그러나 1일에 100ton의 수량을 사용하면 가온열량의 소비가 크니 이와같은 수량을 사용할 수 없다. 일반적으로 온실가온식 양어지에서는 1ton 뱀장어를 1m<sup>2</sup>에 10kg의 비율로 사육하면서 1일에 20ton의 물을 사용한다. 같은 사육지에 1m<sup>2</sup>당 25kg을 사육하였다니 성장에 장애를 받게되어, 아질산중독증상이 나타났다. 온실가온지에 순환여과조를 설치했을 때 1m<sup>2</sup>당 30kg을 수용하여 같은 수량을 사용하여 사육하여도 잘 성장되며 발병되지 않았다.

과거 뱀장어 생산에 있어서 7kg/m<sup>2</sup>수용밀도로 1ton을 사육하는데 매초 15ℓ(1,296ton)를 주입하여 1일에 전체수량의 13배나 사용하여 DO를 4ppm으로 유지시켜 사육했다. 온실가온지에서는 수차를 이용하여 曝氣시킴으로써 매초당 0.5ℓ(43ton)를 주입시켜(2 배량) 1ton의 뱀장어를 사육시키고 있다. 이에 비하면 최근에는 20ton 가량의 환수량으로 1ton의 뱀장어를 사육하고있다. 순환여과식인 경우 20ton의 물을 주입하여도 사육밀도가 30kg/m<sup>2</sup>로 3 배가 되었으니 더욱 유리한 사육방식이라 할 수 있다. 여기서 문제되는 것은 수중에 산포되는 사료와

배설물, 암모니아 및 요소 등이다.

### 양식뱀장어의 암모니아 및 아질산중독증

온실가온지나 순환여과지에서 어류를 양식하게 되면 어류의 배설물과 사료의 산포, 수중유기물, 현탁물 등이 분해되어 암모니아질소, 아질산질소가 축적되어 어류는 암모니아 또는 아질산중독증이 발생된다. 예를 들면 1m<sup>2</sup>당 10kg의 뱀장어를 사육하면서 1일에 2%의 사료를 주게되면 어류의 배설물이 분해되어 10ppm의 암모니아가 생산되고, 산포되는 사료에 의하여 30ppm의 암모니아가 생산되어 사육수를 오염시킨다. 이때 DO는 감소되고, pH는 저하된다. 반면에 암모니아(NH<sub>3</sub>-N), 아질산(NO<sub>2</sub>-N), 질산(NO<sub>3</sub>-N)은 증가된다. 수중의 암모니아량이 증가하면 성장이 저하된다. 사육지의 pH가 저하되니 암모니아에 의한 중독은 약해지지만 아질산중독이 크게 문제된다. 아질산에 의한 중독증으로 단기간에 뱀장어가 대량폐사된 예가 많다 pH가 6일 때 아질산이 10ppm만 되어도 중독증이 발생된다. pH7~7.7인 경우, 아질산 30ppm에서 3주일 사육하여도 심한 중독증상은 나타나지 않았다. 일반적으로 나타나는 아질산중독증상은 發狂遊泳하는 예, 低面에 누워 있는 예 등이 있으나 다른 병과같이 체색의 변화나 점액분비 등은 나타나지 않는다. 병리조직학적 소견으로서 장관과 신장에는 변화를 찾아볼 수 없으나 아가미와 간장에는 변성된 조직이 관찰된다. 아가미의 모세혈관이 확장되면서 혈액이 고이는 혈전증(thrombosis) 현상이 국소적으로 일어난다. 간장에 있어서도 울혈(congestion)이 일어나고, sinusoid(시누소이드)가 확장되면서 간세포의 위축과 지방변성이 관찰

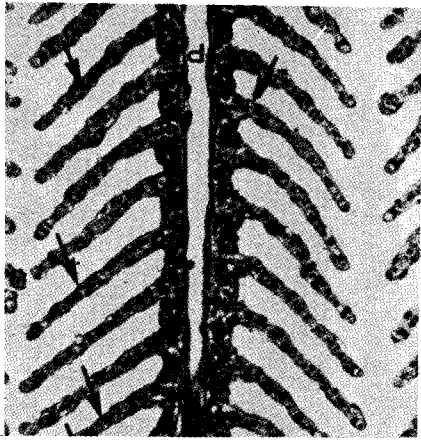


그림 2. 정상적인 아가미, H-E염색×150.

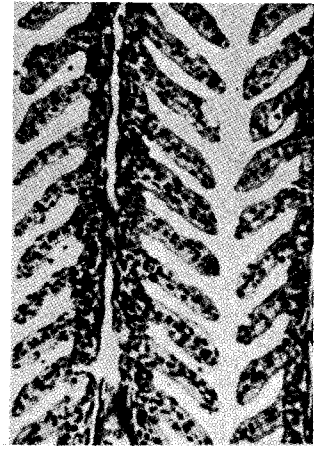


그림 3. NO<sub>2</sub>-N에 의한 아가미 모세혈관의 확장. H-E염색×150.

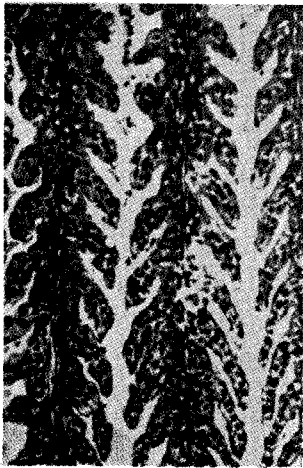


그림 4. NO<sub>2</sub>-N에 의한 아가미의 부종과 울혈 H-E염색×150.

된다. 아질산 농도가 1~10mg/l NO<sub>2</sub>-N인 경우는 대조구의 차이가 없으나 30mg/l에서는 큰 차이가 있었다.

아질산중독증을 일으키는 요인은 아질산량이다. 뱀장어의 혈액중의 hemoglobin은 산소를 종합하여 체내의 전조직에 운반되어 산소와 탄산

가스가 교환되는 중요한 역할을 한다. hemoglobin에는 철(Fe)이 함유되고 있는데, 이 철은 보통 2價이지만 어떤 물질(NO<sub>2</sub>-N)이 체내에 들어오면 3價의 철로 변한다. 3價의 철을 지닌 Hemoglobin을 methemoglobin이라한다. 이 methemoglobin은 중요한 역할인 산소결합능력이 없어진다. methemoglobin이 증가하면 외계에 많은 량의 산소가 있어도 산소를 체내에 운반할 수 없으니 내부질식이 일어난다. 이와같은 현상을 아질산중독이라 하는데 일명 methemoglobin혈증이라고도 한다. 이때의 뱀장어는 전체표면이 희고, 근육이 연해지고 복부팽창이 일어난다. 아가미에서 나오는 피는 茶色이다. 아질산중독을 예방하는 것은 환수량을 증가시키는 일이다. 매일 10~20%의 환수를 계속하는 양어지에는 아질산중독증이 발생되지 않으나 환수량이 적은 곳은 이 병이 발생된다. 저수온기에 重油소비가 막대하니 환수할 수 없다는 것이 양어장의 실정이다. 수온차를 줄이는 방법으로 환수하는 것 이외는 좋은 방법이 없다.