

■ 성층현상(stratification)

호수나 저수지의 성층화는 수심에 따른 온도변화로 인해 발생하는 물의 밀도차에 의해 생긴다. 수직방향의 물 운동이 없다면 저수지가 thermocline을 중심으로 상부의 epilimnion, 하부의 hypolimnion으로 구분되어 수면 가까운 곳에 위치하는 epilimnion층에서는 통상 공기중의 산소가 재포기되므로 용존산소농도가 높아서 호기성 상태가 되나 반면 thermocline층 하부의 hypolimnion층에서는 용존산소가 부족하거나 완전히 없어서 결국 혐기성 상태가 된다. 이런 경우 저수지 바닥부근에는 침전된 유기물이 혐기성 미생물에 의해 분해되므로 수질은 크게 악화된다. 깊은 저수지에 있어서 epilimnion층과 thermocline층은 각각 7m 정도의 수심을 차지하며 그 하부는 hypolimnion층이 된다.

이 현상은 그림 2-20에 보인 바와 같이 물의 수직운동이 없는 겨울이나 여름에 일어나며 겨울보다 여름의 정체가 더 뚜렷하게 생긴다.

이와 같이 저수지의 물이 수심에 따라 여러 개의 층으로 분리되는 현상을 성층현상(stratification)이라고 하며, 이 결과 생기는 epilimnion, thermocline 그리고 hypolimnion층들을 열-밀도층(thermal-density layers)또는 열층(thermal layers)이라고 한다.

봄과 가을에는 저수지의 수직혼합(turnover)이 활발히 진행되어 분명한 열-밀도층의 구별은 없어지게 된다. 겨울에 대기중의 온도가 낮아 수면이 얼게 되면 표면부근은 0°C보다 낮아지기도 하지만 얼음 밑의 물은 0°C로부터 더 깊은 곳(바닥부근)의 물은 4°C 정도에서 최대 밀도를 갖게 된다. 이러한 상태에서는 물이 평형상태에 있고 수직적인 혼합이 없게 된다.

그러나 봄이 되어 얼음이 녹으면 표면부근의 수온이 높아지기 시작하여 4°C가 되면 밀도가 최대가 되므로 밑으로 이동하게 되고 반면 밑부분의 물이 상부로 이동하게 된다. 또한 봄에서 여름이 되면 물은 점차 따뜻해져서 가벼운 물이 밀도가 큰 물 위에 놓이게 되며 온도차가 커져서 순환현상, 즉 수직운동은 점점 상부층에만 국한된다. 가을이 되면 수면의 수온이 내려가면 수직적인 정체현상은 파괴되고 물은 다시 수직적인 혼합을 이루게 된다.

그러므로 겨울과 여름에는 수직운동이 없어서 정체현상이 생겨 수심에 따라 온도와 DO농도, 물질의 농도차가 크지만 봄, 가을에는 순환현상이 발생하여 수심에 따른 농도변화가 적다.

우리는 통상 물이 저수지 내에 오래 머무르면 자정이 일어나서 수질이 좋아질 것이라 예상하기 쉬우나 오염물이 계속 저수지로 유입되어 저수지의 자정능력을 초과할 때 수질은 점차로 악화되며 이 현상은 성층현상에 의해서 더 박차를 받게 된다.

비록 장기간에 걸친 저수결과 유기성 오염물이 분해제거 된다 하더라도 반면 수중 미생물의 번식에 영양소가 될 무기물은 축적될 수도 있기 때문이다. 그 결과 인체에 질병을 일으키거나 수중에 맛과 냄새를 초래하는 각종 조류가 번식하게 되며, 이들 조류가 죽게 되면 저수지의 바닥에 침전되어 타 미생물에 의해서 분해되고 그 결과 생기는 물질은 다시 다른 조류의 번식을 초래할 수 있는 영양소가 된다. 이러한 순환을 거듭하게 되며 저수지의 수질은 점점 악화되어 나중에는 쓸모없는 늪모양으로 되는데 이와 같은 현상을 부양화(eutrophication)라고 한다.

봄과 가을철의 저수지물의 수직운동은 대기중의 바람에 의해서 더욱 가속되며, 이 수직운동을 전도(trunover)라고 한다. 저수지의 물이 급수원으로 이용될 경우 전도현상은 대단히 불리한 결과를 초래한다. 왜냐하면 혐기성 상태에 있는 hypolimnion층의 물이 상부로 이동되어 취수되기 때문이다.

■ 부영양화(富營養化)

(1) 개요

해양이나 호소에 있어서 영양염류가 적은 곳은 플랑크톤이 적고 투명도가 높는데 이와 같은 수역을 빈영양이라고 하는 반면, 영양염류가 많은 곳에서는 조류(algae)가 많이 발생하여 투명도가 낮는데 이와 같은 수역을 부영양이라고 한다. 특히 호소, 해안 등지에서 각종 오염이나 기타의 원인으로 빈영양에서 부영양으로 변화하는 현상을 부영양화(eutrophication)라 한다. 인위적인 영향을 거의 볼 수 없는 호소에서도 극히 오랜 시간에 걸쳐서 부영양화가 일어나지만 체류시간이 긴 호수나 해역(정체수역)에 유기성 공장폐수, 농업배수(질소비료, 인산비료), 가정하수 중의 질산염, 인산염의 유입으로 조류의 영양분이 질소(N), 인(P), 탄소(C) 등의 증가로 일어난다.

부영양화를 나타내는 질소(N)와 인(P)의 농도는 각각 0.2~0.3ppm 및 0.01~0.20ppm 정도이다. (*조류번식 : 5,000~50,000 cell/ml 정도)

(2) 원인 및 발생기구

부영양화의 원인물질은 질소(N), 탄소(C), 인(P)과 같이 조류에 영양분이 되는 것이며, 이러한 것이 저수지나 호소에 유입되고 축적될 때 일어난다. 이러한 물질의 유래는 다음과 같다.

- ①자연의 산림지대 등에 있는 썩은 식물(식물)
- ②농지(農地)에서 사용되는 비료(질소비료, 인산질비료)
- ③목장지역의 동물의 분뇨(糞尿)
- ④합성세제(合成洗劑)
- ⑤처리되지 않는 가정 하수, 공장폐수 등의 유입

[표] 빈영양호와 부영양호의 특성 비교

특 징	빈 영 양 호	부 영 양 호
수 색	남색 또는 녹색	녹색 내지 황색, 수화(水華) 때문에 때로는 현저하게 착색될 경우가 있다.
투 명 도	크다(5m 이상)	적다(5m 이하)
반 응(pH)	중성 부근	중성 또는 약알칼리성, 하계에 표층은 가끔 강알칼리성이 된다.
영양염류(mg/l)	소량($N < 0.15$, $P > 0.02$)	다량($N > 0.15$, $P < 0.02$)
현 탁 물 질	소량	플랑크톤 및 그 잔재에 의한 현탁물질이 다량 있음
용 존 산 소	전층에 걸쳐 포화에 가깝다.	표수층은 포화 또는 과포화 심수층에서는 항상 현저하게 감소한다. 소모는 주로 플랑크톤 유해(遺骸)의 산화에 의한다.
저 생 동 물	종류는 많다. 산소부족에는 견디지 못하는 종류	산소부족에 견디는 종류
생 산 력	小, 200mg ceel/m^2 . 일 이하	大, 200mg ceel/m^2 . 일 이상
Chlorophyll-a	$0.3 \sim 2.5\text{mg/m}^3$ $10 \sim 50\text{mg/m}^2$	$5 \sim 140\text{mg/m}^3$ $20 \sim 140\text{mg/m}^2$
식물플랑크톤	빈약, 주로 규조(矽藻)로 구성된다.	풍부, 여름에는 남조(藍藻)의 수화(水華)를 만든다. 규조, 충조(虫藻)도 많다.
어 류	양은 적다. 냉수성(冷水性)의 것이 있다(송어, 황어 등).	양은 많다. 난수성(暖水性)의 것이 많다(잉어, 붕어, 뱀장어 등).

(3) 영향 및 피해

- ① COD가 높고(조류합성에의 유기물의 증가) 산소가 결핍되어 어패류의 생활환경이 악화된다. 이러한 현상은 다량으로 광합성에 의하여 증식된 조류가 죽으면 세균이 이를 분해하기 위하여 다량의 DO를 소비하기 때문이다(심층수로부터 DO 결핍 확산).
- ② 이 물을 수도원으로 사용하면 냄새가 나고 맛을 나쁘게 한다.
- ③ 투명도가 낮아진다(조류발생으로 현탁 및 착색).
- ④ 생태계가 변화하여 마침내 죽음의 호수가 된다(한번 부영양화된 호수는 회복이 힘들고 점차 악화-먹이연쇄의 반복).

[표] 부영양화에 의한 산업에의 영향

분 야	내 용	비 고
수도 및 공업용수	① 여과지나 Screen의 막힘 등 장애 발생 ② 취기(臭氣) 발생(보통 5~10월, 1,000~20,000cell/ml) ③ Fe, Mn을 용출시켜 적수장애의 원인 제공 ④ 유독조류 발생으로 위장장애 유발 ⑤ 응집침전 처리의 방해(Carry-over 등) ⑥ 정수비용 증가(약품 및 활성탄 등) ⑦ THM의 생성 ⑧ 업종(제지, 제철 등)에 따라서는 제품의 질 저하나 meter의 기능저하	
농 업	① 발근과 뿌리의 신장저해 및 육모기간 중에 도복, 유실, 부패 ② 질소과잉으로 생육중에 과잉번식, 도복, 성숙불량, 병충해 발생 ③ 허용한계 : N 5mg/l 이상에서 중대한 장애현상 ④ 토양의 환원상태, 영양흡수, 체내대사 억제 COD 20ppm 이상이면 수확에 영향	
수 산	① 양질의 어류가 값싼 어류로 교체 ② 어류폐사(조류의 시체가 분해되어 산소부족, 유독물의 용출, H ₂ S 발생 등의 원인)	
관 광	① 외관을 손상하고 Recreationom 관광가치저하 (투명도 저하, 착색, Scum상의 막형성 → 물꽃) ② 악취발생 ③ 호안, 호수 내의 시설물, 주위 민가에 부식, 변색피해	주로 남조류 발생

(4) 방지대책

- ① 저수지, 호소에 질소(N), 인(P) 등의 유입이나 농도를 감소시킨다.
- ② 인(P)을 함유하는 합성세제의 사용을 금한다.
- ③ 하수 내의 인(P), 질소(N)를 제거하기 위해 폐수의 고도처리(3차처리)를 한다.
- ④ 조류가 번식할 경우 황산동(CuSO₄)이나 활성탄소를 뿌림으로써 제거한다.