

부영양지수의 결정방법

한 상 복 / 국립수산진흥원 어장환경과장

■ 책임있는 어업의 근원지인 어항

어항은 어민의 안식처요 삶의 보금자리이다. 그리고 어민은 이제 책임있는 어업을 경영하는 사람이다.

책임있는 어업은 해양환경을 보전하고 해양자원을 관리하는 것을 의미한다.

어민이 잡는 물고기가 대표적인 해양자원이다. 그러니 이제 어항은 책임있는 어업의 근원지가 되고 있다. 무책임한 어업의 시대는 이미 끝났다. 우리 삶의 터전인 바다를 스스로 보살피는 책임을 져야만 하는 시대에 살고 있으니 해양오

염에 대해서도 각별한 관심을 가지지 않을 수 없다. 일반적으로 해양오염의 원인은 다음과 같이 들 수 있다.

- ① 가정하수를 비롯한 유기오염물질
- ② 산업폐수를 비롯한 유독성물질
- ③ 연안의 생산활동을 파괴하는 개발행위
- ④ 선박으로부터의 유류유출

위에 든 네가지 유형의 해양오염 주체는 사람이다. 사람이 가지않는 곳에서는 오염문제도 발생하지 않으나, 사람이 모이는 곳이면 어디서나 오염

문제가 생긴다.

어항에는 그 활동이 활발하면 할수록 많이 모이게 되고, 따라서 오염문제가 발생하게 되니 우리는 이 오염을 최소화하기 위한 대책을 강구해야만 깨끗한 어항을 계속적으로 유지할 수 있다. 그래서 이번에는 부영양지수의 새로운 결정방법에 대하여 알아보기로 한다.

■ 해양오염측정전망의 운영

해양오염측정전망의 운영은 환경정책기본법 제15조와 해양오염방지법 제4조의 3에 의

거하여 국가기관이 담당하고 있다.

환경부에서 담당하던 것이 1996년 8월 해양수산부의 신설로 이 사업이 해양수산부의 고유업무로 되었으며 운영기관으로는 국립수산진흥원이 지정되어 어장환경과에서 주관하고 있다.

우리나라 연근해 전역에 280점의 고정관측점을 구성하였는데 연안역이 240점이고 근해역이 40점으로 나누어진다. 각 관측점에서는 계절별로 표층과 저층에서 일반항목과 특정항목으로 나누어 해양환경조사를 수행하게 된다.

일반항목으로는 수온, 염분, 수소이온농도, 용존산소, 화학적산소요구량(COD), 총질소, 총인, 유분, 부유물질, 투명도 등을 조사하는데, 총질소는 암모늄염, 아질산염, 질산염 등의 무기질소 총합계로 계산하고, 총인은 인산염의 무기인을 조사하는 방법을 쓰고 있다. 특정항목은 카드미움, 납, 아연, 구리, 크롬, 시안, 비소, 수은, 유기인, PCB 등을 조사한다.

그러나 일반적으로 수질등급에 많이 이용되는 항목은 일반항목중 화학적산소요구량(COD)과 총질소 및 총인의

세가지가 대표적이다.

COD(화학적산소요구량)값이 높으면 유기물질이 많다는 것을 의미한다. I급수의 수질을 유지하기 위해서는 1리터에 1미리그램 이하의 COD를 가져야 하며, II급수에서는 2미리그램 이하, III급수에서는 4미리그램 이하를 가져야 한다. 1리터중에 있는 미리그램을 간단히 mg/l라고 쓰고 있다. 강물에서는 이 값이 바로 ppm(1백만분의 1)과 같지만 바닷물에서는 mg/l와 ppm이 약간 다르다. 그 이유는 강물 1리터는 정확히 1kg이지만 바닷물 1리터는 1.026kg이기 때문이다.

총질소(TN)는 엄밀하게 말하여 용존무기질소(DIN)를 이용하고 있으며 오염측정에서 단위를 mg/l로 사용한다. I급수의 수질을 유지하기 위해서는 총질소가 0.05mg/l 이하여야 하며, II급수에서는 0.1mg/l 이하, III급수에서는 0.2mg/l 이하여야 한다.

총질소의 단위는 오염측정망에서 담수와 동일하게 1l중 미리그램(mg)으로 정하고 있으나, 일반해양학계에서는 마이크로그램(μg)으로 쓰는 일이 많아서 간혹 헷갈리기 쉬운데, 이럴 경우 0.05mg/l

가 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 와 같다고 생각하면 된다. 마이크로그램 아톰($\mu\text{g-at}$)을 쓸 때는 이것이 0.014mg/l와 같은데 질소(N)의 원자량이 14이기 때문이다.

총인(TP)도 용존무기인(DIP)을 이용하고 있으며 I급수에서는 0.0075mg/l, II급수에서 0.015mg/l, III급수에서 0.03mg/l이하가 검출되어야 하도록 정해졌다. 총인의 단위도 0.0075mg/l는 7.5 $\mu\text{g}/\text{l}$ 가 된다. 인(P)의 원자량이 31이므로 마이크로그램 아톰($\mu\text{g-at}$)을 쓸 때는 이것이 0.031mg/l와 같다.

■ 부영양지수의 결정

바닷물이 부영양화 되면 적조현상이 자주 나타난다. 부영양화는 간단히 말하면 영양분이 많은 것을 의미한다.

농사지을 때 퇴비는 유기물에 해당하고, 질소비료는 총질소, 인산비료는 총인에 해당한다고 보면 이해가 쉽다. 그래서 바닷물의 오염도를 간단히 얘기할 때 유기물의 척도가 되는 COD와 총질소, 총인등의 대표적인 3가지 요소를 가지고 많이 이용한다.

어떤면에서 부영양화에는 총

질소와 총인이 더욱 중요함에도 불구하고, 실제적으로는 COD값 하나로만 오염정도를 나타내고 있는 것이 현실이다. 이는 아직까지 COD와 총질소 및 총인 등 세가지 요소를 가지고 종합적으로 판단할 부영양지수의 결정방법이 나오지 않았기 때문이다.

하나의 예로서 인천연안의 1984-1996년의 13년간 평균 COD는 1.9mg/l였고, 총질소가 0.911mg/l, 총인이 0.031mg/l였다. COD만으로 보면 인천연안이 II급수의 수질을 유지하고 있으나, 총질소로 보면 III급수 수질을 4.6배나 초과하고 있으며, 총인으로 보면 III급수를 약간 초과하고 있다. 오염이 안되었다는 것을 강조하고 싶은 쪽은 COD만을 쓰고 싶어 하겠지만, 오염이 극심하다는 것을 강조하고 싶을 때에는 총질소를 이용해도 된다. 이러한 까닭에 종합적인 부영양지수의 도입이 절실하게 요구된다.

부영양지수 (EI, Eutrophication Index)는 COD, 총질소(TN), 총인(TP) 등 3가지 항목의 각기 I등급 수질 상한값에 대한 비율에다가 각각의 기여도를 곱한 것들의 합으로 나타낸다. 이것을 식

으로 정리하면 다음과 같다.

$$EI = \frac{COD}{B_1} k_1 + \frac{TN}{B_2} k_2 + \frac{TP}{B_3} k_3 \dots\dots(1)$$

$$EI = \frac{COD}{B_1} k_1 + \frac{DIN}{B_2} k_2 + \frac{DIP}{B_3} k_3 \dots\dots(2)$$

$$k_1 = 0.5 \dots\dots\dots(3)$$

$$k_2 = 0.3 \dots\dots\dots(4)$$

$$k_3 = 0.2 \dots\dots\dots(5)$$

$$EI = 0.5 \frac{COD}{B_1} + 0.3 \frac{DIN}{B_2} + 0.2 \frac{DIP}{B_3} \dots\dots(6)$$

$$B_1 = 1mg/l \dots\dots\dots(7)$$

$$B_2 = 0.05mg/l \dots\dots\dots(8)$$

$$B_3 = 0.0075mg/l \dots\dots\dots(9)$$

$$EI = 0.5COD + 6DIN + 26.7DIP \dots\dots\dots(10)$$

여기서 각 항목의 기여도 k는 경험적인 방법으로 최적화한 값인데 유기물량을 50%로 하였고, 나머지가 무기물에 해당하는데 용존무기질소(DIN)를 30%, 용존무기인(DIP)을 20%로 정했다.

$$DIN = TN(\text{총질소}) \dots\dots(11)$$

$$DIP = TP(\text{총인}) \dots\dots(12)$$

이므로 각 항목의 I등급 수질 기준 상한치 B는 법에 정해진 값을 이용해야 한다. B의 값은 I등급 상한치의 두배가 II등급 상한치가 되며, II등급 상한치의 두배가 III등급 상한치가 되는 관계를 가지므로, 필요에 따라 IV등급 또는 V등급 등으로의 확장이 가능하다.

계산된 EI(부영양지수)의 값을 가지고 수질등급을 종합적으로 정리하면 다음과 같다.

- EI ≤ 1 : I등급 수질
- 1 < EI ≤ 2 : II등급 수질
- 2 < EI ≤ 4 : III등급 수질
- 4 < EI ≤ 8 : IV등급 수질
- 8 < EI ≤ 16 : V등급 수질

여기서 IV등급 및 V등급 수질은 현행법에는 없는데 필자가 확장하여 정리한 것이며, 부영양지수에 의한 수질등급은 COD의 수질등급치와 일치하는 결과를 가져온다.

이제 부영양지수를 일반화된 공식으로 표현하기 위해서 n개의 항목이 필요하다면 다음과 같이 정리된다.

$$EI = \sum_{n=1}^n R_n k_n \dots\dots\dots(13)$$

$$R_n = \frac{A_n}{B_n} \dots\dots\dots(14)$$

$$\sum_{n=1}^n k_n = 1 \dots\dots\dots(15)$$

여기서 R_n 은 각 항목의 I 등급 수질 상한기준치(B_n)에 대한 측정값(A_n)의 비율을 나타내며, k_n 은 각 항목의 부영양지수에 대한 기여도를 나타낸다. $n=3$ 일 경우 $A_1=COD$, $A_2=DIN$, $A_3=DIP$ 가 되며, COD 하나만을 쓸 경우는 일반화된 공식에서 $n=1$ 인 경우에 해당한다. B_n 은 해수수질 등급이 변화하는데 따라 달라질 수 있는 값이며, k_n 도 목적에 따라 달라질 수 있다.

■ 중요 연안역의 평균 부영양지수

우리나라 연안역중 중요한

연안역으로 인천, 군산, 목포, 광양만, 마산만, 진해만, 부산, 울산, 영일만 등 9개 연안역에서의 평균 부영양지수를 살펴보면 그 오염의 순위를 쉽게 나타낼 수 있음을 알게 된다. 평균치를 내기 위해서 1984-1996년간의 연평균치가 이용되었으나 광양만에서만은 1991년부터 조사가 시작되었으므로 1991-1996년간 자료만이 이용되었다.

〈표 1〉을 보면 9개 연안역에서 부영양지수가 제일 낮은 곳은 목포연안으로 3.2이며, 제일 높은 곳은 마산만으로 10.4에 달한다. COD만으로 본다면 목포가 2.2이고 인천

이 1.9로서 인천이 더 깨끗하다고 할 수 있겠지만, 부영양지수는 인천이 7.3으로 목포의 2.3배나 되며, 인천의 부영양지수는 마산만과 울산에 이어 세번째로 높은 값을 나타내서 실제와 잘 맞아들어간다.

COD값으로만 볼 때 인천, 부산, 영일만 등이 1.9로서 II 급수 수질에 해당하지만, 부영양지수는 이들이 6이상으로 III 급수를 초과하여 IV 등급에 해당함을 알 수 있다.

앞으로 연안역의 오염정도를 종합적으로 판정하려면 이 부영양지수를 적극적으로 활용함이 바람직하다. ☞

〈표 1〉 중요 연안역의 평균 부영양지수(1984-1996)

연안역	COD	DIN	DIP	부영양지수
인 천	1.9	0.911	0.031	7.3
군 산	2.3	0.465	0.027	4.7
목 포	2.2	0.279	0.017	3.2
광양만	2.1	0.269	0.030	3.4
마산만	4.5	1.204	0.033	10.4
진해만	2.4	0.793	0.016	6.4
부 산	1.9	0.792	0.018	6.2
울 산	2.0	0.998	0.028	7.7
영일만	1.9	0.780	0.034	6.5