

〈特輯 貯水池〉

貯水池의 水質問題

李 相 垠*

1. 序 言

平均人口密度가 420人/km²로서 세계에서 가장 人口가 密集된 나라中의 하나이고 2001年까지는 全人口의 約 80%가 市級以上 都市에 居住하게 될 것으로 展望되는 極심한 人口의 都市集中化等 特性 때문에 우리나라의 上水源保護와 良質의 水源 확보는 重要한 問題가 아닐 수 없다 特히 우리나라는 年間 강우량의 大部分이 1年中 4個月에 集中되는 事情 때문에 大規模 多目的 댐에 의하지 않고는 充分한 水資源의 確保가 어렵고 이제 大規模 댐을 建設할 수 있는 適合地域이 얼마 남지 않아 기왕에 建設된 댐에 依해 造成된 貯水池의 水質保護가 良質의 上水源確保라는 側面에서 重要한 問題가 아닐 수 없다. 따라서 서울地域의 上水源으로 使用되고 있는 팔당湖의 水質 및 生態的 變化를 調査·分析하고 적절한 對策을 마련할 수 있도록 하기 위해 現地에 있는 研究所를 建設하고 있으며 同 임호 研究所의 조사연구 結果를 토대로 全國의 貯水池의 水質관리를 하는 對策을 마련하고자 하고 있다.

흐르는 下川水를 막아서 貯水池를 만든다는 行爲는 水界의 生態界에 많은 變化를 초래한다. 貯水池의 水質問題는 自然的인 湖水의 水質問題와 같은 정체된 狀態의 물이라는 次元에서 같이 고려될 수 있다. 다만 自然湖水와는 造成된 歷史가 다르고 貯水池의 狀態가 댐의 運轉條件에 따라 달라 진다는 점에서 自然湖水와 약간 달라질 수 있다.

本稿에서는 貯水池에 있어서의 水質이 惡化되는 現象과 그 影響을 검토하고 國內 貯水池의 水質狀態를 간략하게 整理해 보았다.

2. 貯水池의 營養狀態

貯水池의 水質은 물론 특정유해물질의 축적이 나 폐수의 多量流入으로 인해 水質惡化를 一般的인 水質基準과 比較하여 판단할 수 있으나 貯水池나 湖水의 水質은 질소, 인 등의 營養物質의 狀態에 크게 影響을 받는다. 貯水池는 營養物質의 利用度와 生物의 生産性에 따라 貧營養(Oligotrophic), 中營養(mesotrophic)과 富營養(Eutrophic)으로 分類될 수 있다. 貧營養의 Oligotrophic에서 'Oligo'는 英語로는 'Poorly'라는 意味이고 trophic은 'nourishment'를 뜻하게 되어 營養物質이 적어 生態界에 먹이가 부족한 狀態를 말하며 매우 깨끗한 물을 유지하고 있으나 貯水池의 生産性으로 보면 매우 낮은 狀態이다.

富營養의 Eutrophic에서 'eu'는 英語로는 'well'의 意味로 營養狀態가 좋은 貯水池를 나타내며 貯水池等 정체된 狀態의 물의 汚染狀態를 나타낼 때 가장 많이 이용되는 指標가 富營養狀態이다. 질소, 인 등의 營養物質이 많게 되면 조류를 포함하는 水中植物이 많이 자라게 되며 湖水를 더럽히고 침침한 느낌을 주게 되며 색깔이 초록색을 띄게 되는데 조류 등이 죽게 되고 분해됨에 따라 自體로 부터의 악취가 發生될 뿐 아니라 산소가 부족한 狀態를 초래하게 되어 악취를 發生시킨다. 이와 같은 狀態에서는 上水源으로써 使用되기가 不可能할 뿐 아니라 수영, 보트타기

* 韓國建設技術研究院 環境研究室長

등의 위락 目的으로도 利用될 수 없게 된다. 湖 水의 富營養化를 초래하는 營養物質인 질소와 인의 發生은 生活의 향상과 직결되는데 질소비료의 使用에 의한 질소의 發生과 世제의 使用이 날로 증가함에 따라 인의 배출량이 증가되어 生活이 向上되면서 上水源으로써 보호되어야 할 貯水池의 富營養化의 可能性은 증가되는 셈이다 즉 自然湖水는 대개 最初에 貧營養狀態였으나 數千年이 지나는 동안에 營養物質들이 蓄積되어 富營養態로 變化되었으나 이 富營養化現象이 人間의 各種 活動에 의해 加速되어 近來에 人工으로 造成된 貯水池의 富營養化도 심각한 問題로 대두되고 있는 것이다.

3. 貯水池의 成層化(stratification)와 酸素不足

湖水나 貯水池의 水質低下를 理解하기 위해서는 우리나라와 같이 四季節이 分明한 地域에서의 湖水의 水溫이 미치는 영향을 살펴 볼 必要가 있다. 왜냐하면 水溫의 變化는 貯水池生態界의 變化에 가장 큰 영향을 미치며 水中生物의 炭素同化作用이나 물고기의 成長 등에 매우 민감하게 作用하기 때문이다.

긴 체류시간을 갖는 큰 貯水池는 溫度分布가 季節에 따라 變化하는 特性을 나타낸다. 늦은 가을부터 물의 溫度가 낮아지게 되는데 가을과 겨울바람에 의해 물이 잘 混合되며 겨울철에는 表面은 얼음이 덮이게 될 수 있으나 물의 比重이 最大가 되는 4.3°C 程度로써 全깊이 거의 一定한 溫度가 分布된다. 그러나 봄이 되면서 햇빛에 의해 따뜻해진 表面은 溫度가 높아지면서 比重이 낮아져 表面에 머무르고 따뜻한 下川水가 흘러들어오면서 역시 表面에 머무르게 되며 바람에 의한 混合은 물의 比重差 때문에 큰 效果가 없다. 따라서 늦은 봄계부터는 貯水池의 깊이에 따라 3種類의 層이 形成되는 成層化現象이 分明하게 된다. 그림-1에 나타난 바와 같이 가장 더운 물이 位置하는 上層部를 epilimnion 이라고 하며 가장 차갑고 比重이 높은 물이 位置하는 低層을 hypolimnion 이라 하며 이 사이에 溫度가 급격히 變化하는 層을 metalimnion 또는 thermocline 層이라고 부른다. 이 3種類의 層이

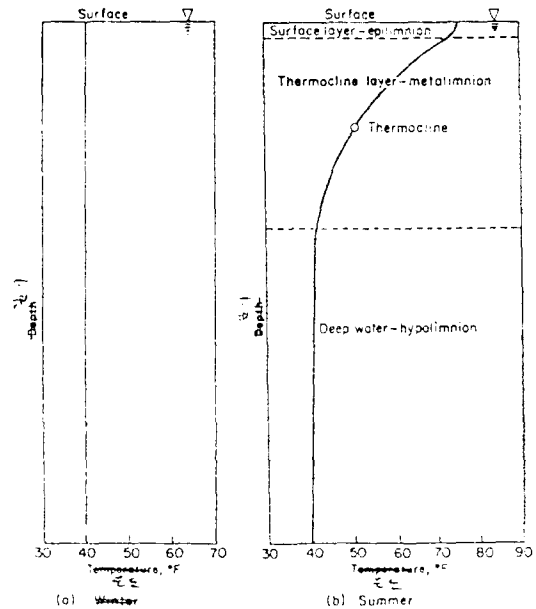


그림 1. 貯水池의 온도 분포변화

形成되면서 서로 混合이 되지 않아 結局 水質의 低下를 초래하게 된다. 즉 藻類들이 자라면서 탄소동화作用을 하며 햇빛이 잘 비치는 epilimnion 에는 酸素가 많이 되나 햇빛이 잘 비치지 못하는 hypolimnion 에서는 또한 죽은 藻類가 가라앉고 이들이 分解되면서 酸素를 消耗해 酸素가 부족한 狀態를 초래하고 또한 上層部와 低層部가 혼합이 잘 되지 않는 關係로 hypolimnion 은 酸素가 아주 부족한 狀態로 계속 유지가 된다. 이 事實에서 取水位置가 hypolimnion 에 位置하는 貯水池의 경우 取水된 물의 水質을 심각하게 고려할 必要가 있음을 알 수 있다.

가을이 되면서 表面의 물이 식어지며 차거운 比重들은 물이 다시 밑으로 내려가게 되고 바람에 의해 잘 混合되어 成層化現象이 붕괴되며 다시 고른 溫度分布를 갖게 된다.

4. 水質汚染因子

貯水池의 물은 여러種類的의 物理的이나 化學的인 物質들을 含有하고 있다. 이들 中에는 떠오르는 찌꺼기等 異物質들, 부유고형物質, 녹아있는 無機物, 금속類, 有機物과 질소, 인 등이 營

養物質들과 산소 등이 포함되는데 특히 용존산소 영양물질, 녹아있는 무기, 유기물과 부유物質들이 水質管理側面에서 가장 重要하다.

表-1은 國內環境保全法에서 定하고 있는 國內河川 및 湖沼水의 利用目的別 水質基準을 보여주고 있어 上水源水로 利用되기 위해서는 一般의인 淨水시설에서 쉽게 제거할 수 있는 부유

物質들을 제외하고는 상당히 높은 水質을 要求하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 理在水質基準에는 富營養化現象의 主된 原因이 되는 질소, 인 등의 營養物質에 對한 規制가 없어 이에 對한 보완이 必要하다 하겠다. 各 汚染因子들을 좀더 자세히 살펴 보면 다음과 같다.

表 1. 河川 및 湖沼의 水質基準(환경보전법 시행규칙 제 7 조)

구분	등급	이용목적별 적용대상	기준					
			수소이온농도 (pH)	생물화학적 산소요구량 (BOD) (mg/l)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/l)	부유물질량 (SS) (mg/l)	용존산소량 (DO) (mg/l)	대장균군수 (MPN/ 100ml)
생활 환경	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5~8.5	1 이하	1 이하	25 이하 (1)	7.5 이상	50 이하
	II	상수원수 2급 수산업용수 수영용수	6.5~8.5	3 이하	3 이하	25 이하 (5)	5 이상	1,000 이하
	III	상수원수 3급 수산업용수 2급 공업용수 1급	6.5~8.5	6 이하	6 이하	25 이하 (15)	5 이상	5,000 이하
	IV	공업용수 2급 농업용수	6.0~8.5	8 이하	8 이하	100 이하 (15)	2 이상	---
	V	공업용수 2급 생활환경보전	6.0~8.5	10 이하	10 이하	쓰레기 등이 떠 있지 아니할 것	2 이상	---
사람의건강보 호역	카드뮴 : 0.01mg/l 이하 시안(CN) : 검출되어서는 안됨 유기인 : 검출되어서는 안됨 납(Pb) : 0.1mg/l 이하 6가크롬(Cr ⁶⁺) : 0.05mg/l 이하	비소(AS) : 0.05mg/l 이하 수은(Hg) : 검출되어서는 안됨 포리크로리네이트디비페닐(PCB) : 검출되어서는 안됨						

(주) 1. 호소의 경우 생물화학적 산소요구량 기준은 적용하지 아니하고, 부유물질량 기준은 () 내의 기준을 적용한다.

1) 溶存物質(Dissolved matter, TDS)

溶存物質 또는 總溶存固型物質은 Salinity로 表示될 수 있으며 여기에는 Ca, Mg, Na, K, CO₃²⁻, SO₄²⁻ 및 Cl⁻ 등이 包含되고 또한 녹아있는 금속류들도 이 범주에 속한다. 總溶存固型物은 물의 전도도를 측정함으로써 現地에서 쉽게 測定이 가능하며 TDS의 測定은 各 測定地點에서의 水質變化를 판단하는데 아주 有用하게 活用되고 있다. 貯水池 물의 TDS는 地域에 따라 變化되며 貯水池가 位置한 토양의 特性에 따라 變化된다.

2) 부유固型物質(Suspended solids, SS)

모래나 점토와 水中植物로부터의 파편 등이 녹지 않고 떠다니는 狀態를 포함하며 SS가 많 아지면 빛의 통과를 방해하여 水中植物의 炭素 同化作用이 進行되지 못해 水中 溶存酸素농도를 低下시키며 湖水의 有機物의 순환을 방해하게 된다. SS 농도는 實驗室에서 測定되어야 하나 現地에서는 탁도의 測定함으로써 算定이 가능하 다.

3) 營養物質

앞서 言及된 바와 같이 營養物質의 농도는 貯水池의 水質狀態와 直接的인 영향이 있다. 貯水池나 湖沼水의 管理에 있어서는 營養物質의 농

도를 적절히 조절하여 生産性を 유지하면서 富營養化를 막는 것이 重要하며 이들 營養物質에 는 질소, 인, 炭素 silica 등이 포함된다.

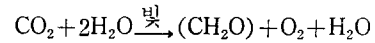
이들 營養物質들은 生物 특히 水中植物의 成長에 必要한 要素로써 이들 中 相對的으로 가장 적게 含有되어 있는 營養物質들이 成長을 制限하는 要素(limiting factor)가 된다. 自然狀態에 는 炭素源 등이 많아 limiting factor 가 될 수 없는 미량영양물질도 充分하여 成長에 영향을 미치지 않으나 질소와 인은 地域에 따라 制限因子가 될 수 있다. 온대地域에서는 인이 limiting factor 가 되고 열대지방에서는 질소가 limiting factor 가 되는 경우가 많다. 自然狀態에서의 질소源은 大氣中의 질소가 特定微生物에 의해 고정되는 데 질소를 固定시킬 수 있는 남조류(blue-green algae)가 가장 問題가 되는 水中植物로 간주되며 이 외에 질소源으로는 도시하수나 축산폐수로부터의 질소(Nitrate 形態)와 비료의 使用에 의한 질소의 流入이 가장 큰 질소源이 되고 있다. 따라서 貯水池에서의 질소농도는 人間의 活動과 直接연관이 되는 것을 알 수 있다.

질소와는 달리 인은 自然狀態에서는 아주 微量發生되고 汚染을 유발하는 인의 大部分은 人間의 活動으로부터 發生된다. 인광산에서의 인의 發生은 地域的으로 심각할 수 있으며 비료로부터의 發生도 무시할 수 없고 분뇨와 세탁제로부터 發生되는 인은 가장 큰 汚染源이 되고 있어 美國 七大湖지역에서는 市販洗劑의 인 含有量을 0.5% 以下로 規制하는 등 洗劑로부터의 인 發生을 줄이도록 努力하고 있다. 인에 의한 富營養化現象을 막기 위해서는 貯水池와 같은 정지된 狀態의 물에서는 인의 농도가 0.05ppm 以下이어야 하는데 이는 흐르는 물에서의 制限濃도인 0.1ppm 以下에 비해 절반정도의 水準이다.

4) 溶解酸素(Dissolved Oxygen, DO)

酸素는 모든 生物의 活動에 必要한 要素이며 서 물에서의 酸素농도는 貯水池의 生態界維持와 有機物의 순환에 重要한 역할을 한다. 물에 녹아있는 酸素의 主要供給源은 두가지로써 大氣中의 酸素가 녹아 들어가는 것과 水中植物의 炭素同化作用에 의한 酸素供給이다. 炭素同化作用의

反應式은 다음 反應式과 같으며 여기에서 發生되는 酸素는 물分子의 分解에 의해 얻어진다.



물에 對한 酸素의 溶解度는 온도가 낮을수록 높아서 0°C 에서는 14.5mg/l 인데 比해 30°C 에서는 7.8mg/l 로 떨어진다. 따라서 成層化가 일어나지 않는 겨울철에는 문제가 적으나 成層化가 된 상태에서는 온도가 높은 hypolimnion 은 酸素濃도가 낮고 온도가 낮은 epilimnion 은 酸素濃도가 높은 分布가 이루어진다. 또한 epilimnion 에서는 빛이 잘 투과되어 炭素同化作用의 進行이 活潑하여 酸素가 많이 供給되어 酸素의 농도가 더욱 높아져 酸素濃도의 差異가 많아지게 된다. 이와같은 現象을 그림-2 에 圖示하였다

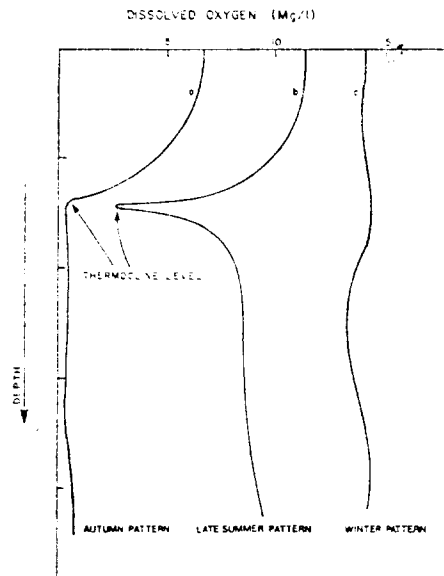


그림 2. 저수지 깊이에 따른 DO의 변화

DO를 測定하는 方法은 貯水池의 酸素濃도를 測定하는 外에도 light-dark bottle 法에 의해 湖水의 生産性を 算定하는 데에도 使用되고 있다. 成層化가 된 상태에서 hypolimnion 으로부터 放流를 하게 되면 산소가 부족한 물이 下川部에 흐르게 되어 下流部에 酸素결핍 문제를 유발할 가능성도 있다.

5) 금속類와 其他汚染物質

구리, 아연, 납, 알루미늄, 니켈, 카드뮴 등 금속類가 許容值를 초과하여 存在할 때 水中生物의 活動에 큰 영향을 미치며 이들은 自然狀態에서 存在하기도 하나 오염을 유발하는 원인은 日常生活, 産業, 농업, 광업等으로부터의 各種 폐수이다. 湖沼水의 汚染因子들中 페놀류, 농약류, PCB 等의 有害物質들은 거의 人間生活의 活動으로 부터 流入되며 이들은 水中生物의 活動에 害 영향을 미치기 때문에 금속類와 같이 많은 주의를 끌고 있다. 이들 汚染物質들은 아주 낮은 농도로 存在하기 때문에 測定을 위해서는 sampling 과정에서 부터 實驗室에서 分析까지의 과정에서 特別한 注意를 해야 한다.

5. 國內 貯水池의 水質

國立環境研究院에서 國內의 湖水를 對象으로 1985년부터 1986年 8月까지 營養狀態를 조사한 結果를 表-2에 수록하였는데 이 表에 依하면 팔당호, 대청호, 아산호, 삼교호와 영산호 등이 富營養狀態로 나타났고 소양호와 의암호가 계절적으로 부영양상태를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 現在 계속 建設中인 下水處理場의 建設이 完了되면 富營養狀態가 어느정도 감소될 것으로 예상되나 富營養化의 主要原因인 질소, 인의 除去에 對한 고려가 되지 않고 있어 그 效果

表-2. 호수의 영양 상태

호수명	년월	1985				1986	
		4	6	8	10	4	6
촌천호		○	○	○	○	○	○
소양호		○	○	○	○	○	○
의암호		●	●	●	●	○	○
팔당호		○	○	○	○	○	○
대청호		○	○	○	○	○	○
안동호		○	○	○	○	○	○
진안호		○	○	○	○	○	○
보령호		○	○	○	○	○	○
아산호		●	●	●	●	●	●
삼교호		●	●	●	●	●	●
영산호		●	●	●	●	○	○

○ 빈영양 ○ 中영양 ● 富영양

에 對해서는 確實하게 예측할 수 없다.

産業基地開發公社에서 自體에서 管理하고 있는 多目的댐(昭陽江댐, 安東댐, 大清댐, 충주댐, 섬진강댐, 南江댐) 貯水池에 對해 1986年에 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

昭陽江댐 貯水池는 가장 水質이 좋아 上水原水 1級에 해당하였으며, 질소 인 等의 問題點도 없는 것으로 나타났고 安東댐 貯水池는 COD가 2.0mg/l였으며 납, 카드뮴, 비소, 크롬 등이 미량 검출되었고 아연이 약간 높게 검출되어 上流河川에 對한 注意가 요하는 것으로 나타났다. 大清댐 貯水池의 경우는 低層部의 DO가 상당히 감소되어 水深 45m에서 0.2mg/l로 낮은 水準을 보여 주었으며 全體적으로는 2級 上水原水에 해당되는 것으로 나타났다 忠州댐 貯水池의 경우는 年平均 COD가 1.52mg/l로 良好한 편이었으나 貯水池 直上流로 부터 유입되는 下水에 의해 유입지점의 BOD가 60mg/l 이상으로서 對策이 必要한 것으로 나타났다. 섬진강댐의 貯水池와 南江댐 貯水池는 모두 2級 上水原水에 해당되는 것으로 보고 되었으며 特別한 汚染問題는 없는 것으로 나타났다.

6. 結 言

지금까지 貯水汚의 水質에 對해서 汚染因子들과 水質惡化에 의한 問題點들을 간단히 검토해 보았다. 貯水池의 水質問題는 결국 온도變化和 산소농도의 감소 等を 들 수 있고 가장 重要한 問題點은 水中植物의 과도한 成長으로 因한 富營養化現象을 들 수 있다. 國內의 湖水에도 이미 富營養化現象은 進行되고 있으나 本稿에서는 이에 對한 對策에 대해서는 지면관계로 다루지 못했으나 富營養化를 포함하는 水質汚染에 의한 問題點을 해결하기 위해서는 水質保全에 對한 인식을 고조시켜야 되며 住民들 스스로가 産業體들에 대한 願望보다는 住民들 자신이 가장 큰 汚染원이라는 事實을 깨닫고 水質保全에 노력을 해야 한다. 洗劑의 개량에 依해 인의 방출양을 줄이고 특수오염물질의 유입을 줄이도록 해야 하며 最近建設中인 下(廢)水處理場 建設도 貯水池의 水質保護를 우선적으로 고려하여 建設時期를