

〈特 輯〉 水資源開發과 環境保全

水資源開發과 水質의 變化

柳 明 辰*

序 論

洪水調節, 用水의 供給, 水力에너지開發을 위하여 水資源開發이 활발히 進行되었고, 현재도 2000년대의 水資源의 효율적 이용을 위하여 多目的 댐(dam), 河口堰의 建設이 계속 進行 또는 추진되고 있다. 직접한 環境汚染防止가 결여된 産業化 및 都市化는 水質汚染 상태를 야기시켜 양질의 물의 공급을 위협한다. 그러나 廢水處理가 잘된다 하더라도 水資源開發 자체만으로도 예기하지 않던 水質變化가 야기되는 수가 많다.

예로 Aswan 댐을 들 수 있다. 홍수시의 과잉의 물을 저장하여 乾期에 灌溉用水로 사용함으로써 사계절 경작한다는 바람직한 대사업이었다. 灌溉水路에 일년 내내 물이 차있음에 따라 마라리아 모기와 river blindness를 일으키는 black fly의 번식처가 되었고, snail fever를 일으키는 ilat worm의 일종인 유충의 中間宿主인 snail의 수가 증가되어 snail fever가 번창하게 되었다. 또한 증가된 水表面에서의 蒸發에 의하여 湖內의 鹽度(salinity)가 차츰 높아지는 것도 큰 문제점이 되고 있다. 15억불을 들여 11년간 공사를 하여 1971년 완공한 기적의 댐에 의한 예기치 못했던 악영향들이었다. 따라서 水資源開發에는 사업에 의한 水質의 變化를 포함한 環境影響評價가 선행되어야 할 것이다.

河川의 水質

自然的인 湖水는 用水의 供給, recreation, 스포츠, 낚시 등 그 용도가 다양하다. 人工으로 이러한 용도 이외에 洪水調節, 水力發電, 下流의 流量의 增大의 목적으로 댐이 축조된다. 과거의 수자원개발은 주로 댐을 축조함으로써 물의 양을 統制하는데 중점을 두었으나, 인구가 증가하고 산업화와 도시화가 심해짐에 따라 水質에 대한 관심이 점점 커지게 되었다. 都市 및 産業施設로부터 방출되는 廢水 및 農業地域의 流出水에는

여러가지 有機物質이 함유하게 된다. 이러한 물들은 河川水에 稀釋되며 함유된 有機物은 水中의 微生物에 의하여 분해될 때 河川水中의 溶存酸素를 소비한다.

廢水가 河川에 방류될 때, 河川의 同化能力(assimilation capacity)는 稀釋이 제일 중요한 인자이다. 30mg/l BOD로 처리하여 하천에 방류되어 10배로 희석되면 하천수의 BOD는 3mg/l 증가될 것이나 희석율이 반으로 줄어 든다면 하천수의 BOD는 6mg/l 가 될 것이다. 따라서 流量이 湖泊에 저류된 물을 방류함으로써 증대된다면 하천에 방류된 폐수는 희석되어 영향이 감소될 것이다. recreation 또는 수력발전을 위하여는 댐의 水位가 유지되어야 하고, 放流가 방해받을 수도 있을 것이다. 하천의 水質管理는 댐의 사용용도 중에 우선순위를 어디에 두느냐에 따라 영향을 받는다. 하천의 수질은 일차적으로 廢水의 處理程度와 댐에 저류된 물의 放流方法에 따라 결정될 것이다.

水中의 溶存酸素는 有機物이 微生物에 의하여 분해될 때 소비되는 동시에 再曝氣(re-aeration)에 의하여 대기로부터 공급을 받는다. 再曝氣率은 水路의 物理的인 水文學的 特性, 水深, 水表面積, 亂流度(turbulence) 등에 관계된다. 일반적으로 유량이 증가하면 저류기율이 증가하며, 따라서 상류에 댐을 축조하여 하류의 유량을 증가시키면 희석율과 재폭기율이 증대되어 하천 수질이 크게 향상될 것이다.

하천의 수질관리를 위하여는 放流되는 廢水의 處理, 下流 流量의 增大, 또는 水路의 變更 같은 계획된 행위들이 水質을 어떻게 바꿀 것인가를 豫測하는 과정이 필요하다. 이를 위하여 水中 生態系의 物理的, 化學的 그리고 生物學的 諸現象을 數式으로 표현함으로써 模型(model)을 개발하며, 水質豫測 模型에는 간단한 Streeter-Phelps 模型에서부터 최근 많이 이용되는 비교적 복잡한 QUAL-II 등 여러가지가 개발되어 있다.

댐에 물을 저류함으로써 유량이 감소한다면, 河口에서의 海水의 浸入이 늘고, 유량이 증대된다면 반대현

* 서울市立大學 敎授

상이 일어날 것이다. 鹽水の 浸入은 농경지에 鹽害를 가져오고, 淡水帶(fresh water aquifer)를 鹽水로 오염시킬 위험성이 있으며 河口에서의 鹽水和 淡水의 미묘한 균형을 깬으로써 生態系가 파괴될 우려가 있다.

河口堰은 河口부에 가까운 感潮區域內에 鹽水和 분리하는 可動堰을 설치해서 河口 維持用水 일부를 이용 가능케 하는데 목적이 있다. 하천의 최말단에서 물의 高度利用을 도모하려는 것으로서, 上流의 水資源開發施設에 의하여 증가된 수량의 반복이용에 큰 의미를 갖는다. 海水의 차단에 의한 淡水化는 수질의 개선에 의하여 生活, 工業, 農業用水 등을 원활하게 공급한다. 그러나 상류에서 내려오는 有機物, 重金屬, 기타의 汚染物質이 河口堰 내에 축적되어 수질을 악화시킬 수가 있다.

湖水的 成層現象(stratification)과 水質

작은 호수나 저수지에서는 여름철 바람이 없을 때는 일시적으로 成層化되기도 하지만 서늘한 날씨가 계속되거나 바람이 불면 쉽게 混合이 일어난다. 수심이 깊은 큰 호수는 여름부터 表水層(epilimnion)이 태양열에 의해 따뜻해져 밀도가 작아지고 서늘한 底水層(hypolimnion) 위에 놓이게 되어 안정한 상태가 된다. 表水層의 두께는 바람의 강도, 태양광선의 침투깊이, 태양열의 강도등에 따라 결정되나 10m 정도가 보통이다. 여름 성층에 의한 호수물의 안정은 가을까지 계속된다. 표수층이 차져 저수층보다 밀도가 커지게 되면 수직방향의 흐름이 생겨 秋季循環(autumnal circulation)이 일어난다. 겨울이 되면 가장 밀도가 큰 십씨 4도의 물은 저수층으로 가라앉게 되고 얼음이 덮이게 되면 바람에 의해 유도되는 순환이 억제되어 冬季安定期에 들어간다. 봄이 되어 얼음이 녹고 수면이 태양열에 노출되면 표면층의 밀도가 높아져 저수층으로 가라앉게 되고 春季轉倒(spring overturn)가 일어난다. 일년에 봄과 가을 두차례 호수물은 뒤집히고 자유롭게 순환하며 여름과 겨울에는 水溫差에 의하여 成層現象을 일으킨다.

여름 성층시에 유기물질이 많이 유입되는 富營養湖에서는 식물프랑크톤이 번창하고 湖岸은 수초로 가득 차게 된다. 표수층에서 가라앉은 유기물질이 저수층에 침착하여 분해되면서 수중의 溶存酸素量이 감소되며 호수 바닥은 嫌氣性狀態에까지 이르기도 한다. 그림 1은 水溫成層이 수개월 지속된 후의 富營養湖水의 상태를 나타낸다. 貧營養狀態의 호수는 生産性이 훨씬 작고 따라서 표면층에서 침전하는 프랑크톤의 양이 작아 저수층의 용존산소의 소비가 훨씬 작게 된다. 성층현

상에 의한 富營養狀態(eutrophic)의 호수와 貧營養狀態(oligotrophic)의 호수에서의 계절에 따른 수온과 용존산소의 변화를 그림 2에 나타냈다. 수온성층의 경우 아래의 저수층의 물을 취수하여 농업용수로 사용하면 수온이 낮아 농작물에 냉해를 줄 우려도 있다.

河口堰의 경우에는 수심이 얇을 때는 혼합이 잘되어 건설후에 河口湖의 鹽分을 비교적 용이하게 배제할 수 있으나 수심이 깊을 때는 하층에 밀도차에 의한 鹽水層이 형성되어 장기간에 걸쳐 상층의 淡水와의 혼합이 진행되어 호내에 오랫동안 鹽分의 영향이 남는다. 하구호의 성층현상은 鹽度에 의한 밀도차의 영향이 커 춘추기의 대순환이 잘 안된다. 따라서 영향물질이 많이 유입하는 경우 바닥에 계속하여 유기물질이 침전되고 혐기성분해가 일어나 수질악화가 극심해질 우려가 있다.

일반적으로 하천으로부터 공급되는 물은 기후조건 및 농업과 산업활동에 의하여 수질의 일간 또는 계절적 변화가 있어 광범위한 처리시설이 요구된다. 댐에 물이 저류되면 토사의 퇴적, 일광에 의한 소독작용, 생물학적 自淨作用 등에 의하여 수질이 향상된다. 그러나 부영양화가 발생하면 수질이 악화된다.

유속이 빠른 강에서는 난류에 의한 浮游土砂에 의하여 일광이 차단되기 때문에 영양물질이 많은 유출수라 하더라도 生産的인 生態系(productive ecosystem)의 요인이 되지 않는다. 또한 잘 혼합되어 성층화도 일어나지 않는다. 그러나 천천히 흐르는 강 또는 호수에서는 부영양화의 가능성이 있기 때문에 일반 하천에 방류하는 폐수처리보다도 더 세심한 주의가 필요하다.

도시하수를 일반적인 물리-생물학적(physical biological)으로 처리할 경우 90%의 생물학적으로 분해될 수 있는 유기물이 처리되며 이때 질소(N)는 최대 40% 인(P)는 30% 정도 제거된다. 따라서 하수를 처리해서 방류하더라도 직접 또는 하천을 경유하여 호수 또는 댐에 유입하는 경우 차츰 생산적인 생태계로 변환할 우려가 있다. 농업지역의 유출수가 유입되는 경우에도 다량의 비료성분을 함유하게 됨으로 같은 결과를 초래하게 된다. 水中生態系(aquatic ecosystem)에의 과도한 영양물질의 유입은 식물성 프랑크톤의 과도한 성장에 의한 透視度(transparency)의 감소, 용존산소의 감소, 靑綠藻類(blue-green algae)의 부패로 인한 맛과 냄새의 발생, 연안의 수중잡초의 지나친 무성등이 일어난다. 이러한 현상들은 단지 수년간의 과도한 영양물질의 유입에 의해서 일어나기도 한다. 이때 가장 나쁜 수질조건은 봄과 가을의 대순환시 저수층의 혐기성상태에까지 이른 물이 떠오를 때 흔히 발생한

다.

부영양화는 호수내의 순환을 고려하여 營養物質 負荷(nutrient loading)과 營養狀態(trophic level)을 관계지음으로서 數學的 模型에 의하여 예측될 수 있다. 이러한 개념은 Vollenweider에 의하여 전세계의 호수에 대하여 영양물질 부하량, 호수의 평균수심, 호수의 영양상태에 대한 자료를 相關解析함으로써 시도되었다. 그후 年平均流入量, 理論的滯留時間을 變數로 추가하였다.

호수에서는 부영양화 이외에도 堆積(siltation)과 鹽度(salinity)의 문제가 있다. 댐을 축조하게 되면 유속이 감소되어 토사가 퇴적하게 된다. 퇴적은 貯水容量을 감소시킬 뿐 아니라 食物(food)源과 産卵地(spawning ground)를 덮음으로써 물고기의 棲息地(habitat)를 파괴한다. 수표면으로부터 증발량이 많은 경우에는 저류된 물의 염도가 증가한다. 또한 사용된 灌溉用水는 증발되어 염분이 농축될 것이고 하류로 다시 유입하면 하천수의 염도가 증가하게 된다. 미국 colorado강의 경우 하류에서의 염도의 증가가 중요한 수질 문제로 대두되고 있다.

結 言

인구가 증가하고 산업화와 도시화가 심해짐에 따라 용수의 사용량은 급격히 증가하며, 수자원의 효율적 이용을 위하여 하천의 개수와 댐의 축조가 계속되고 있다. 하천 수로의 개수는 수심, 유속, 하상등을 변화시켜 수질에 영향이 있을 뿐만 아니라, 전체 수중생태계의 균형을 잃게 할 위험성이 있다. 맑은 물을 저장하여 효과적으로 이용하기 위하여 댐을 축조하지만 경우에 따라서는 점차로 영양물질이 축적되어 수질이 악화되고 계획대로의 물의 사용을 어렵게 하기도 한다.

環境保全法에 수자원개발사업계획에는 반드시 당해 계획이 환경에 미치는 영향을 평가하도록 되어 있어 사업에 선행하여 환경영향이 신중하게 고려되리라 기대된다. 개발된 수자원은 알맞은 수질로 유지되어야만 사업의 효과가 있을 것이고, 環境影響評價 단계에서 사업에 의한 수질변화가 예측되어야 이에 대한 대응책이 강구될 것이다. 평가제도의 효율적 운영을 위하여는 수질에 미치는 영향을 잘 평가할 수 있는 알맞은 환경변화 예측기법의 습득 또는 개발이 시급히 요청된다.

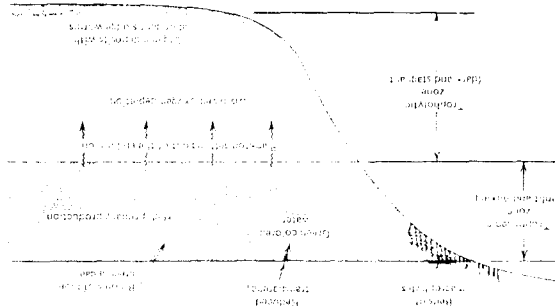


그림 1. Characteristics of an eutrophic lake in the autumn after months of thermal stratification.

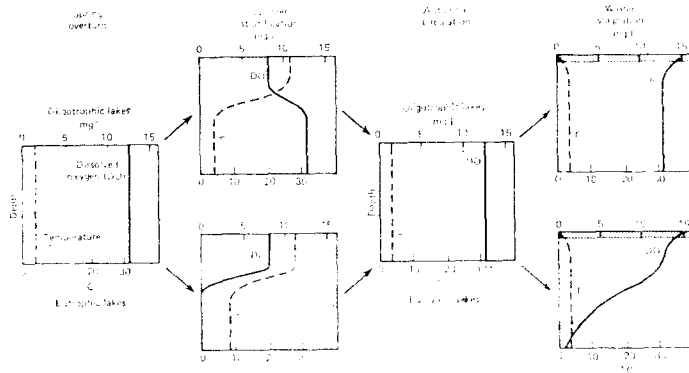


그림 2. Idealized vertical distribution of dissolved oxygen (DO) and temperature (T) during the seasonal cycle of oligotrophic and eutrophic lakes. (Modified from R.G. Wetzel, *Limnology* W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1975)