

우리나라 호소수질환경의 개선방향

김 범 철*

1. 호소수질악화의 형태

호소수질악화의 원인으로는 무기영양염류에 의한 부영양화현상이 가장 보편적으로 나타나고 있다. 무기영양염류의 유입은 남조류 등 해로운 조류의 번성에 의한 피해를 초래하며, 조류의 증식은 유기물의 증가를 수반하므로 결국 유기물의 직접적인 유입과 마찬가지로 호수내 산소결핍, 황화수소 발생, THM 생성잠재력 증가 등의 피해를 일으킨다. 이 외에 유역의 활동에 따라 중금속, 미량유독성화합물 등의 다른 수질악화의 원인이 있으나 우리나라에서는 아직 부영양화 외에는 문제점으로 대두되지 않고 있다.

호수내 중금속오염은 낙동강의 상류에 위치한 광산지대의 영향으로 인하여 낙동강수계에서 나타날 가능성이 있다. PCB 등 미량 유해물질에 의한 오염현상도 존재할 가능성이 있으나 아직 연구가 활발하지 않아 밝혀진 바가 없다. 특히 도시하수가 유입되는 낙동강 하구호, 시화호, 아산호, 삼교호 등의 호수에서는 여러 가지 오염물이 존재할 가능성이 있으나 연구가 부족하여 농도와 위해성 여부 등이 알려져 있지 않다.

부영양화는 우리나라 전역에서 보편적으로 나타나고 있다. 최근 10년간 대부분의 호수가 급격한 부영양화 과정을 겪음으로써 이제는 거의 모든 호

수가 부영양화 수준의 부영양화도를 보이고 있다 (환경처, 1994; 환경부, 1995). 우리나라 호소의 부영양화에 따라 나타나는 악영향은 크게 두 가지를 들 수 있다. 첫째는 유기물 농도의 증가이다. 호수의 유기물농도의 증가는 외부로부터 유입하는 외부유입부하량의 증가와 호수내 식물플랑크톤의 1차 생산에 의한 호수내 내부생성량의 증가에 기인한다. 체류시간이 긴 호수에서는 내부생성량이 외부유입량에 버금가는 수준이므로(김범철 등, 1993) 외부로부터 유입하는 유기물만 제거해서는 완전한 수질개선을 기대할 수 없고 1차생산 증가를 유발하는 무기영양염류도 함께 제거해야 완전한 수질개선효과를 기대할 수 있다. 무기영양염류 중에서 우리나라 호수에서 조류성장의 제한영양소는 인인 것으로 보고되고 있다. 질소의 농도가 상대적으로 높아 제한요소가 아니므로 질소의 제거는 부영양화방지에 도움이 되지 않을 것이다.

호수 부영양화의 두 번째 주요 피해는 남조류의 증식에 따른 냄새와 독소의 발생이다. 남조류는 부영양화의 여름에 서식하며 수도물에서 냄새를 내는 원인이 된다. 또한 microcystin, anatoxin과 같은 독소를 생성하여 건강상의 위협이 되고 있으며 이를 제거하기 위해 활성탄을 사용함으로써 정수비용의 큰 증가를 초래한다. 국내의 많은 호수에서도 남조류의 독소가 검출되고 있다(김범철 등, 1995).

* 강원대학교 자연과학대학 환경학과 교수

특집 : 우리나라 담수호의 수질환경과 문제점

호수의 수질관리대책은 크게 호수밖 유역으로부터의 인 유출을 감소시키는 오염원관리의 예방적 대책과 호수내에서 일단 유입된 인에 대하여 악영향이 최소가 되도록 대처하는 사후대책의 두 가지로 나눌 수 있다. 외국의 많은 예들을 보면 기본적으로 유역의 오염원관리에 주력하는 것이 경제성 있는 효과를 기대할 수 있다고 알려져 있다.

2. 유역의 오염원관리

2.1 하천형 수질관리에서 호수형 수질관리로의 전환

호수수질관리의 근본적인 개선방향은 우리나라의 수질관리의 방향을 하천형에서 호수형으로 전환하는 것이다. 하천형 수질관리에서는 소규모 하수가 직접 배출되는 하천의 유기물감소를 위한 정책으로서 하수의 BOD 제거가 주된 활동이다. 소하천에서는 조류의 번성에 의한 문제점이 없으므로 인의 제거가 필요하지 않으므로 BOD제거만으로 충분하며, 심지어는 제거된 유기물슬러지를 혐기성 소화를 거쳐 호기성처리조로 다시 순환시킴으로써 실질적으로 인이 전혀 제거되지 않게 하기도 한다. 그러나 호수의 수질관리를 위해서는 BOD 제거 뿐 아니라 호수내부생성유기물의 근원이 되는 잠재적 유기물(potential BOD)이라할 수 있는 인도 함께 제거해야만 한다. 강우와의 관계에 있어서도 하천과 호수는 차이가 있다. 하천에서는 홍수기에 산소가 충분히 공급되고 희석효과에 의해 유기물오염도가 낮아지므로 갈수기의 수질악화가 주요 관리대상이 된다. 그러나 호수에서는 홍수기에 대량의 인이 집중적으로 유입하여, 홍수기 직후에 부영양화 현상이 나타나므로 홍수시의 탁류를 통하여 유입되는 인부하량이 주요관리대상이다. 오염원의 형태에 있어서도 하천의 유기물오염은 고농도이며 집중된 점오염원이 문제이지만 호수에서는 양적으로 더 큰 비중을 차지하는 비점오염원의 저농도 대량유출이 문제가 된다.

따라서 효율적인 호수수질관리를 위해서는 수질관리의 대상을 호수형으로 전환하는 근본적 조치가

필요하다. 수자원의 의존이 점차 하천에서 호수로 전환되고 있고 저수량확보를 위한 새로운 댐의 건설이 진행되고 있으므로 우리나라의 하천은 앞으로 거의 호수 위주로 변모할 것이다.

2.2 점오염원관리

유기물과 인의 점오염원으로는 첫째로 도시하수를 들 수 있다. 도시하수에는 사람의 배설물과 생활하수에 기인하는 유기물과 인이 포함되어 있다. 세계에도 인이 포함되어 있어 인의 일부를 기여하고 있으며 건물의 물탱크에 첨가하는 방청제에도 인이 포함되어 있으나 그 기여도는 아직 정확히 파악되지 않고 있다.

우리나라에서는 아직 하수의 차집율이 낮고 하수처리시설이 완비되지 않아 점오염원의 관리에 앞으로 더욱 많은 투자가 필요하다. 현재의 하수처리수준은 2차처리도 충분히 실시하지 않는 실정므로 앞으로 차집율의 증대와 하수처리시설의 확충이 필수적이다. 또한 2차처리에서의 인 제거율 증대와 인 제거를 위한 별도의 3차처리 시설확충을 위해 노력을 기울여야 할 것이다.

우리나라 수질관리의 또 하나의 문제점은 기존의 정책이 소하천 위주의 점오염원 관리정책이라는 점이다. 도시하수, 공장폐수 등의 점오염원은 어느 정도 관리가 되고 정화를 위한 투자가 이루어지고 있으나, 이에 비하여 비점오염원은 개선을 위한 투자가 전혀 이루어지지 않고 있으며 그 중요성조차 잘 인식되지 않고 있다.

2.3 비점오염원의 관리

우리나라 호수의 부영양화의 주요원인은 축산분뇨와 비료, 도시유출수(urban runoff) 등의 비점오염원이다. 이 중에서 가장 많은 비중을 차지하는 것이 축산분뇨이다. 燐의 근원을 보면 국내 대부분의 호수에서 유역 燐발생의 80% 이상이 축산분뇨에 의해 기여되고 있다(한국수자원공사, 1988). 축산분뇨는 전통적으로 오염물로 간주되지 않고 비료로 인식되어 왔으며, 거의 하수처리장에서 처리되지 않고 있다. 축산분뇨는 농경지에 뿌려지면 흙

량한 비료가 되지만 폭우가 내릴 때 표층토와 함께 유출된다. 강우의 강도가 약한 경우에는 농경지로부터의 무기영양염류의 유출이 적지만 폭우시에는 인의 유출량이 수백배 이상으로 증가하는 집중현상을 보인다(허우명 등, 1992). 홍수기의 집중적인 인 유출이 호수 부영양화의 주원인이 된다.

비점오염원은 점오염원보다 통제하기가 어려우므로 근원적으로 상수원의 유역의 축산분뇨 발생을 억제하는 것이 가장 효율적인 대책일 것이다. 그 다음으로는 가능한한 영양염류의 유출을 억제하여 수중이 아닌 토양에 체류하며 식물에 흡수되도록 홍수유출을 막는데 주력하여야 한다.

2.4 축산분뇨처리

축산분뇨의 발생을 조절하는 것은 유역의 축산활동자체를 통제하여야 하므로 현재의 체제로는 불가능하다. 그러나 규제조치를 적절히 변경함으로써 어느 정도 조절할 수 있는 가능성도 있다. 우선 국내의 축산물수입개방과 관련하여, 국내의 축산물공급원의 확보와 수질개선이라는 두가지 목표의 절충으로서 외국에서의 우리투자에 의한 축산물생산을 생각해 볼 수 있을 것이다. 우리 자본을 방목축산의 경제성이 있는 지역에 투자하여 축산물을 생산하고 국내에 반입함으로써 국내생산과 수입의 중간적 절충안이 될 수 있는지 가능성을 모색해 볼 필요가 있다. 현재의 축산은 수입한 사료에 크게 의존하므로 국내의 수계에 무기영양염류가 과잉으로 반입되는 결과를 초래한다. 외국에서 축산에 투자하여 완제품을 수입함으로써 오염물을 배출하는 생산과정을 배제할 수 있다.

오염원의 발생통제 다음으로 취해야할 조치는 발생하는 오염물의 처리이다. 우리나라의 호소수질관리에 있어서 우선적으로 처리해야할 오염물은 사람의 분뇨와 축산분뇨, 그리고 하수처리장 슬러지이다. 현재 사람의 분뇨는 일부 수거되어 분뇨처리장에서 처리되고 있다. 그러나 많은 지역에서 하수처리장이 없는 상태에서 수세식으로 분뇨를 처리함으로써 불충분하게 처리되고 있다. 정화조에서 유기

물은 분해되지만 인은 거의 제거되지 않는다.

축산분뇨의 수거와 처리율이 전체적으로 인분의 처리율보다 매우 낮다. 이를 처리하는 체제를 갖추는 것이 급선무이다. 국내 축산의 채산성이 수입증가로 압박을 받을 것이 예상되므로 수거와 처리에 있어서 정부보조의 시설설립과 운용이 바람직하다.

축산분뇨의 효율적인 처리를 위해서는 축사의 규모를 증대시키는 것을 검토해 볼 필요가 있다. 현재의 축산분뇨처리규정은 대규모 목장에만 의무적으로 처리시설을 설치하도록 규정하고 있어 대부분의 중소규모 축산업체는 이에 해당하지 않는다. 또한 이 규정은 대규모 축산농가에게만 부담을 부과함으로써 의도적으로 목장의 규모를 축소하거나 축산단지를 소규모로 분산 운영하도록 유도하는 효과를 가지고 있다. 축산분뇨처리의 의무부과 시설규모 수준을 낮추어 실질적으로 대부분의 축산농가에게 해당하도록 하고, 한편으로는 축산분뇨의 수거와 처리에 정부가 보조한다면, 축산의 적정규모 유지에 의해 수익성을 증대시키고 축산업보호와 수질관리를 동시에 추구할 수 있을 것이다.

분뇨처리의 결과 발생하는 슬러지의 처리에 대해서도 통제할 필요가 있다. 분뇨처리장에서 유기물의 대부분은 산화되지만 인은 분해되지 않는 물질이므로 슬러지의 형태로 배출되는데 이것을 비료로 사용하거나 매립하더라도 궁극적으로 지표수 또는 지하수형태로 수체에 유입된다. 다만 퇴비로 사용하는 경우에는 화학비료의 사용을 대체하는 효과가 있을 것이다. 슬러지의 궁극적 처리는 유역 밖으로 이동시키는 것이므로 기존의 처리개념을 바꾸어 인의 순환을 끝까지 추적하며, 처리하는 방법을 강구해야 한다.

비점오염원으로서 농경지의 비료도 큰 비중을 차지한다. 비료는 식물이 성장하는데 필요한 소량을 제외하고는 대부분 강우시 유출된다. 농경지의 비료유출을 억제하기 위해서는 경사가 급한 곳의 경작을 억제하고 계단식으로 전환하는 것이 필요하다. 시비의 시기도 식물의 성장시기에 맞추어 적정량을 투여하도록 계도한다.

특집 : 우리나라 담수호의 수질환경과 문제점

2.5 총량규제

국내에서도 각유역별로 수계의 용도와 중요성에 따라 호수의 오염부하량의 환경용량을 설정하고 배분하는 총량규제를 실시함으로써 관리의 최적화를 꾀할 수 있다. 국내 호수 중에는 상수원수로 중요한 호수도 있고 농업용수로 사용하는 호수도 있다. 이들 호수의 목표수질을 설정함으로써 허용가능한 오염부하량을 산정할 수 있다. 환경용량은 또한 호수의 체류시간, 수심, 이온조성 등의 자연환경요인에 따라 달라지므로 각 호수에 대해 정밀한 조사를 통하여 수립하여야 한다.

환경용량이 산정되면 각 호수의 유역에 대해 총량규제를 적용한다. 즉, 호수의 인 부하량과 유기물부하량을 일정수준으로 유지하는 한도내에서 유역의 산업활동을 조절함으로써 이익에 비해 오염배출량이 큰 산업으로부터 저오염산업으로 전환한다. 오염배출권의 유상양도가 가능하다면 시장경제의 원리에 의해 산업구조와 오염배출시설의 설치가 조절될 것이다. 오염원의 지리적 위치도 환경용량이 큰 쪽으로 이동하는 효과를 가져올 것이다.

3. 호수내에서 적용가능한 대책

3.1 습지에 의한 영양염 유출억제

하천변과 호숫가의 습지식생은 영양염류와 현탁물질을 감소시키는데 기여할 수 있다. 습지의 식물 줄기사이에서는 물의 유동이 감소하여 미립현탁물이 쉽게 침강한다. 또한 식물의 인, 질소 흡수능력은 수중의 영양염류 농도를 감소시킬 수 있다. 특히 부영양화의 피해가 큰 여름에 식물이 많이 성장하여 호수의 인, 질소를 감축하고 부영양화의 피해가 적은 겨울에는 수초의 분해에 의해 영양염류를 일부 용출시키므로 여름에 부영양화에 의한 피해를 줄이는데 기여할 것이다. 하천변과 폐기농경지, 호숫가 침수지역 등의 가능한 지역에 인공습지를 조성하는 것은 영양염류 유출 억제에 도움이 된다. 특히 영양염류가 많은 하수처리장의 배출수, 소규모 촌락의 하수, 축산단지의 유출수 등이 습지를

통과한다면 좋은 수질개선의 효과를 볼 수 있다 (Kent et al. 1994).

3.2 먹이연쇄조절

외부에서 유입되는 영양염류의 통제가 가장 효율적인 부영양화 방지 대책이지만 유역의 통제가 어려운 경우에는 호수 내에서의 대책도 시도해 볼 가치가 있다. 외국의 일부 호수에서 시도하고 있는 방법의 하나가 생물학적 먹이 연쇄 조절이다 (Gulati et al. 1989). 부영양화의 피해는 식물플랑크톤의 증식에 의해 나타나므로 인의 부하량이 같더라도 조류의 억제 가능성이 있다면 부영양화의 피해를 줄일 수 있다. 흔히 사용하는 먹이연쇄 조절 방법은 육식어류의 방류에 의한 동물플랑크톤의 현존량 증식이다. 이 방법은 일단 어류를 방류하면 지속적으로 효과를 나타내므로 관리의 경비가 필요치 않은 경제적 방법이 될 수 있다. 먹이연쇄조작에 의한 수질개선의 기작은 다음과 같다.

육식어류증가(piscivore)→소형어류감소(planktivore)→동물플랑크톤 증가→식물플랑크톤감소→1차생산감소

먹이연쇄 조절에 사용하는 어류로서는 송어, walleye, 배스 등이다. 국내에서는 쏘가리가 육식어류로서 먹이연쇄조절에 이용할 수 있다면 효과를 기대할 수 있으나 아직 대량생산이 어렵고 경제성 있는 어종이므로 오히려 집중적인 어획의 대상이 되어 타 어종에 비해 인위적으로 제거되고 있다. 아직 더 많은 연구가 필요하지만 쏘가리 어획을 통제하는 보호정책을 편다면 수질개선에도 도움이 될 수 있을 것이다. 그 외에 송어와 배스가 쉽게 증식이 가능한 육식어종이다. 그러나 먹이연쇄조절은 수질개선의 긍정적 측면과 함께 토착어종의 변화라는 부정적 영향도 가지므로 신중한 연구와 검토가 필요하다.

3.3 호수내 유동제어에 의한 홍수탁류배출

우리나라의 인 부하특성은 여름의 홍수기에 집중

된다는 사실이다. 여름 홍수기에 유입되는 탁류에는 높은 농도의 인이 포함되어 있다. 홍수기에 유입되는 유입수는 호수표층수에 비하여 수온이 낮기 때문에 중층류를 형성한다. 저수지의 발전방류구가 중층에 형성되어 있는 경우에는 이를 통하여 탁류가 배출된다. 가을의 전도(turnover)시기 까지 배출되지 않은 탁수는 표층에까지 확산되어 다음해 봄에 식물성 플랑크톤 성장의 원인이 된다. 중층의 방류구높이에 폭기시설을 설치하여 상층(epilimnion)의 수온을 균일하게 하고 수온약층을 강하게 형성하면 홍수시 유입수가 상층으로 확산되지 않고 중층을 형성한다. 이 탁수의 수직확산을 최소화하고 빠른시간내에 중층의 방류구를 통하여 하류로 배출함으로써 표층에서의 인농도 증가를 억제할 수 있다(Niwa, 1996).

3.4 응집침전

외부유입부하량을 통제하기 어려운 경우 소규모 상수원저수지에서는 일시적인 대응책으로 황산알루미늄의 투여가 이용되고 있다(Cooke et al. 1993). 알루미늄의 첨가에 의한 응집침전은 정수장에서 사용하는 방법으로서 소규모 저수지에서는 호수전체에 투여하는 방법도 사용되고 있다. 알루미늄은 수중의 인과 부유물을 응집시켜 함께 침전함으로써 수중의 인농도를 낮추고 조류의 번성을 억제한다. 또한 pH를 낮추어 남조류의 우점을 억제하는 효과도 가지고 있다. 수중생물에 대한 피해는 없는 것으로 알려져 있으므로 경제성이 있는 수역에서는 고려해 볼 가치가 있다.

참 고 문 헌

- 김범철, 허우명, 황길순. 1993. 호수의 일차생산과 인 순환. 한국생태학회.한국육수학회 공동심포지움 논문집 '담수생태계의 보존대책'
- 김범철, 김은경, 표동진, 박호동, 허우명. 1995. 국내 호수에서의 남조류 독소발생. 한국수질보전학회지. 11 : 231-237
- 한국수자원공사 수자원연구소. 1988. 다목적댐 저수지 수질조사보고서.
- 허우명, 김범철, 안태석, 이기종. 1992. 소양호 유역과 가두리로부터의 인부하량 및 인수지. 한국육수학회지 vol. 25. 207-214.
- 환경처. 1994. 전국호소환경현황조사 및 주요호소영향 권역설정용역 최종보고서.
- 환경부. 1995. 전국호소환경현황조사 및 주요호소영향 권역설정용역(2차) 최종보고서.
- Cooke, G. D., E. B. Welch, S. A. Peterson, P. R. Newroth. 1993. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 2nd ed. Lewis Publishers.
- Gulati, R. D., E. H. R. R. Lammens, M.-L. Meijer, and E. van Donk ed. 1989. Biomanipulation; tool for water management. Kluwer Academic Publishers.
- Kent, D. M. ed. 1994. Applied Wetlands Science and Technology. Lewis Publishers.
- Niwa, K. 1996. Development of eutrophication control technique for lakes. -combination of physical and biological methods. Proceedings of Korea-Japan Joint symposium on Ecological Engineering. Environmental Research Institute of Kangwon National University. ☎