

하구환경의 생태적 설계

梁弘模

전남대학교 조경학과 부교수

Ecological Design of Estuarine Environment

Yang, Hongmo

Dept. of Landscape Architecture, Chonnam National University

ABSTRACT

An Ecocomplex is proposed for ecological design of the estuarine environment of Han River, which is designed upon an alternative management concept of estuarine environment. The concept reveals interrelationships among estuary, delta region and urban inland with inputs/outputs and feedbacks among them. The Ecocomplex emphasizes an integration of wastewater treatment with aquaculture, agriculture and recreation, and carries out ecological treatment, recycling, and harvest processes.

A module of wastewater treatment pond system is employed in the Ecocomplex, which treats a flow of 3,786 m³/day and is composed of a four-facultative-pond series. Treatment ponds stabilize wastewater discharged from the urban area, and concurrently produce algae for commercial or recreational fish farming. Effluent from treatment and fish ponds is reused for agricultural production.

Through the waste-algae-fish-vegetable-recreation processes, wastewater from the urban settlement is recycled back to the urban ecosystem. This resource-conserving design approach can maintain a sustainable urban ecosystem, managing an estuarine environment more naturally, healthily, and economically.

I. 서론

河口의 특징을 크게 두 가지로 대별할 수 있다. 첫째, 풍부한 漁資源, 용이한 교역조건, 수변행락의 쾌적성등으로 역사적으로 人間定住의 中心이 되어왔는 점이다. 둘째, 내륙수계의 개발과 도시화로인한 각종 點源 및 非點源 汚染物質의 대부분이 유입되는 곳이라는 점이다. 오염물의 과도한 부하로 하구생태계의 훼손과 파괴 현상이 발생하면서 하구환경의 생태적 설계 및 관리에 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 지속가능한 도시생태계 유지를 위한 대안적 하구환경의 관리 개념을 기초로, 한강하구를 연구대상지로 선정하여 하구환경의 생태적 설계모형인 생태단지(ecocomplex)을 제시하는데 목적이 있다. 생태단지개념을 통해 도시성장의 가장 자리에 위치한 하구환경보호와 도시생태계를 지속가능하게 유지할 수 있는 새로운 資源節約의 河口環境 設計接近法을 제시한다.

II. 하구환경의 생태적 관리

河口(estuary)란 하천을 따라 흘러내려오는 陸水와 潮水의 작용으로 海水가 섞여 鹽度の 변화가 일어나는 부분적으로 圍繞된 海岸을 지칭한다³⁾. 陸地(inland)와 河口水域(estuarine water regime)의 경계인 생태전이지역(ecotone)에 온대권에서는 河口濕地帶(salt marshes)가 형성되며 이를 하구저습지(estuarine wetland)라고도 부른다.

河口地域(estuarine region)은 지형학적으로 해수가 강으로 침투하는 지점까지의 수계로 형성된 지역을 말한다. 이런 지형학적 경계밖이라도 사회경제적으로 하구의 영향권에 속하는 지역을 포함하여 하구지역이라 한다. 일반적으로 '하구', '하구지역', '하구환경'(estuarine environment)을 동일 의미로 혼용해서 쓰고 있다.

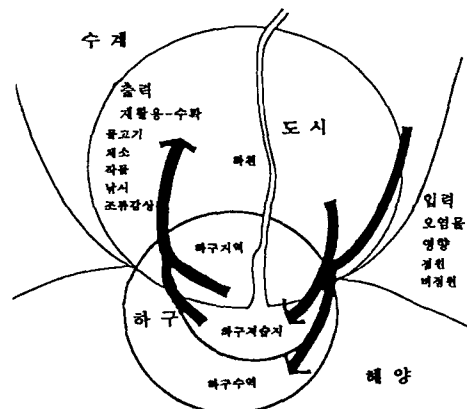
개발도상국에서는 개발우선 정책으로 하구환경의 훼손에 적절한 관리방안을 수립하지 못하는 경우가 대부분이다. 서구 선진국의 기존 하구관리

개념은 점원오염물질의 하구유입에 따른 하구수질 및 하구저습지 훼손의 방지에 중점을 두고있어, 도시하수의 처리와 처리수의 방출지점이동이 주요관리 수단이 된다. 1987년 연방법으로 제정된 미국의 국가하구 프로그램은 점원오염물의 통제에도 불구하고 일부 하구지역에서 수질 및 저습지가 회복되지 않자, 수계의 개발활동에서 발생하는 비점원 오염물질 유입의 규제와 하구의 생물자원 관리에 역점을 두고 있다.

(그림 1)은 지속가능한 도시생태계를 위한 河口管理 概念을 보여주고 있다³⁴⁾. 대도시에 위치한 하구는 도시생태계의 일부에 속한다. 도시생태계는 많은 양의 물질, 에너지, 정보를 입력하고 출력하면서 하구로 유입되는 다량의 하수를 방출한다.

생태계관리에서는 관리대상이 되는 體系(system)와 체계의 入力環境과 出力環境, 그리고 통제작용을 하는 還流(feedback)를 동시에 고려해야 한다. 미국의 국가하구 프로그램에서는 체계인 하구와 입력환경인 수계를 고려하면서 각종 수계개발활동에서 발생한 오염물이 하구에 미치는 영향에 중점을 두고 있으나 하구로 부터 수계도시로 출력환류를 고려하지 않고 있다³⁴⁾.

제시한 하구관리개념은 하구, 입력환경인 수계, 출력환경인 도시, 출력환류를 동시에 고려할 수 있어 기존의 하구관리 접근의 문제점을 보완할 수 있다. 도시하수와 태양에너지는 거의 무한



(그림 1) 지속가능한 도시생태계를 위한 하구관리

정으로 입력이 가능하며, 양어 및 작물로 환원된 에너지와 레크리에이션을 통한 시민의 만족은 도시로 환류된다.

하구저습지를 藻類成長연못(managed algae pond)으로 대체시키면, 하구저습지보다 2 - 4배 정도 높은 일차생산이 가능하며, 거의 모든 일차 생산물을 수확할 수 있다. 이런 간단한 생물공학은 생산성에 있어 자연상태의 하구저습지보다 더 효율적이다¹³⁾. 조류성장연못은 도시에서 배출되어 하구로 유입되는 도시하수를 처리하는 하수처리 연못시스템(wastewater treatment system)으로 활용이 가능하다¹⁴⁾. 연못시스템은 태양에너지와 생태계의 작용으로 하수나 폐수를 처리하는 시설로 전 세계적으로 열대에서 한대에 걸쳐 도시나 마을에서 이용하고 있다¹⁵⁾.

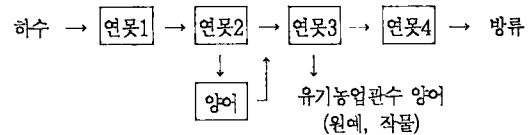
하구저습지나 도시외곽 하구지역에 연못시스템을 설치하여 수계로부터 하구로 유입되는 도시하수를 태양에너지를 이용하여 처리하면서 하구수질을 개선할 수 있다. 연못시스템의 처리수에는 다량의 藻類(algae)가 함유되어 있어 처리수를 有機農業 관개수로 사용하여 藻類를 비료대신 사용하는 국가가 많다. 이스라엘, 동남아시아, 독일, 미국 등에서는 처리수의 藻類와 플랑크톤을 이용하여 양어를 한다. 처리수를 양어와 작물생산에 재활용하고, 처리연못의 일부는 야생동물 서식처, 낚시, 조류감상지로 활용하고 있다. 太陽熱-下水-藻類-養魚-作物-레크리에이션 과정은 生態的處理-再活用-收穫을 지속적으로 수행할 수 있으며²⁰⁾ 이런 생태적 과정을 수행하는 장소를 생태단지(Ecocomplex)라고 부른다.

최근 持續可能的開發이 환경계획 설계 관리분야에서 중심사고로 자리잡고 있다. 生態的側面에서 장기적인 재생과 재활용, 최소한의 자원 이용을 의미한다. 자원절약에 기초하여 생태계의 기능과 생산력이 지속적으로 유지되는 것을 뜻한다. 社會的側面에서는 인간의 기본욕구뿐만 아니라 레크리에이션활동등 높은 수준의 사회적 요구가 충족되는, 단위소비당 더 많은 만족이 지속적으로 유지되는 것을 의미한다²³⁾²⁵⁾. 생태단지는 이런 지속가능한 개발에 부합되는 개념이라고 볼수 있다.

III. 연못시스템의 구성과 처리수 재활용

1. 연못시스템 구성

연못시스템은 생태단지의 중추적 역할을 한다. 하수처리 연못의 종류는 嫌氣性 연못, 好氣性 연못, 호기층과 혐기층이 공존하는 條件性 연못(Facultative Pond), 曝氣 연못이 있다¹⁷⁾¹⁹⁾²¹⁾. 연못시스템은 이들 연못을 적절히 조합하여 구성한다. 온대권에서는 조건성연못을 3 - 5개 직렬로 연결한 시스템을 가장 많이 이용하고 있다. (그림 2)는 연못시스템과 처리수 재활용 과정을 보여준다.



연못 1 - 4: 조건성 연못

(그림 2) 연못시스템과 처리수를 재활용하는 양어 및 유기농업의 결합

연못속의 하수는 수많은 생물, 화학, 물리적 반응에 의해서 처리된다. 1)沈澱 2)有機酸生成, 3)메탄發酵, 4)好氣性酸化 5)光合成 酸素排出(藻類成長), 6)黃 및 窒素變形 7)營養素, 重金屬, 寄生蟲알 및 病原菌 除去가 규명되어 왔다⁹⁾¹³⁾²⁰⁾. 이들 반응중 연못시스템을 설계할때 고려하는 핵심반응은 호기상태에서 일어나는 호기성 산화와 광합성 산소배출, 혐기상태에서 일어나는 유기산 생성과 메탄발효이다.

수심 1.5 - 2.5m의 조건성연못은 태양열로 밀도가 낮은 上層과 밀도가 높은 下層으로 구분된다. 상하층이 구분되면 수직으로 물의 이동이 없어 바닥에 고형물이 침전되며, 얇은 슬러지층이 형성된다. 하층은 혐기상태로 유기산 박테리아가 침전된 유기물을 분해시켜 유기산을 생성한다. 이 유기산을 메탄박테리아가 메탄과 이산화탄소로 분해시킨다. 상층에서는 호기성 미생물에게 유기물이 이산화탄소, 물, 영양분으로 분해된다. 햇빛이 쬐이면 藻類(algae)가 이산화탄소와 영양

분을 흡수하여 성장하면서 산소를 배출한다. 연못에 충분한 태양에너지가 공급되고 적절한 온도가 유지되면, 산소가 무한정 생성되고, 하수의有機物이 메탄발효에 의해 메탄으로 전환되거나藻類의 성장에 이용되면서 하수가 처리된다.

미국 환경처(EPA)의 연구에 의하면 연못시스템의 처리수는 2차하수처리 기준인 생물학적산소요구량(BOD₅) 30mg/l와 부유물(SS) 30mg/l을 충족시키고 있다. 특히 연못시스템은 질소, 인산, 기생충알, 병원균, 중금속을 동시에 제거하는 장점이 있다. 하수처리에 대부분 이용하고 있는 기계식 활성오니법은 이들을 제거할수 없어 과도한 비용이 드는 3차이상의 처리가 필요하다.

2. 처리수 재활용

세계보건기구(WHO)는 4 - 5개 직렬형으로 구성되고, 각 연못의 체류기간이 20 - 25일인 연못처리시스템은 기생충알을 완전히 제거할 수 있으며 coliform을 99.99 % 제거할 수 있다고 보고하면서, 처리수를 채소류재배에 사용하기 위해서는 연못시스템이 필수적이라고 권장하고 있다²⁷⁾. 이스라엘, 서독, 미국, 중국, 대만등은 연못시스템의 일부 연못을 양어에 이용하거나, 처리수를 양어지로 보내서 조류와 플랑크톤을 먹고사는 돔(Tilapia)이나 붕어(Carp)류를 생산하고 있다. 생활하수나 축산폐수 처리 연못시스템의 처리수를 이용하여 생산한 고기는 인체에 전혀 해가 없다고 규명되어있다¹²⁾³⁾. 처리수를 이용한 양어에 대한 사회적 수용은 문화권에 따라 다르나 구미 대부분 나라와 아시아권에서는 보편화되어 있다.

독일은 물론 50만이 배출하는 하수를 임호프(Imhoff) 탱크로 침전시킨후, 하천변 저습지 약 10km에 설치된 직렬형 연못시스템으로 보내 처리하면서 처리연못에서 직접 물고기를 대량으로 생산하고 있다³⁾. 캘리포니아주 알카타 연안저습지에 설치된 도시하수처리 연못시스템에서는 처리수를 이용하여 연어치어를 길러 바다로 방류한후 성어가 되어 돌아오면 수확한다¹⁾. 알카타 연못시스템은 야생동물 서식처가 되면서 鳥類감상지로

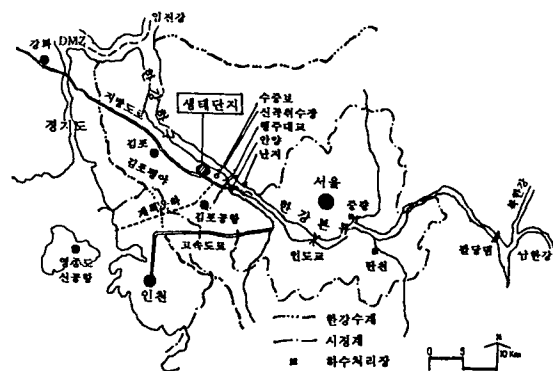
유명한 곳이다. 혐오시설로만 여기던 하수처리장의 부정적 이미지가 연못시스템과 양어, 레크레이션의 결합으로 해소된 사례이다. 알카타 연못시스템은 생태적으로 하수를 처리하는 접근법으로 각광받는 시스템이다. 하구저습지의 연못시스템을 다시 저습지로 복원하는 것은 용이하지만, 매립으로 조성된 공업, 상업, 주택지를 저습지로 복원하는 것은 거의 불가능 하다.

연못시스템이 다른 기법에 비해 상대적으로 많은 토지를 필요로 한다는 인식이 국내 보급을 지연시킨 원인이라고 본다. 연못시스템의 운영은 전기에너지가 필요하지 않으며 극소수 인력으로 가능하다. 처리장의 건설및 운영 비용을 동시에 고려하면, 미국과 서독의 경우 연못시스템이 활성슬러지법보다 비용이 덜들며³⁾⁵⁾ 중공은 양어소득을 고려하면 활성슬러지법의 1/5에서 1/6 수준이라고 한다²⁾.

IV. 한강하구환경의 현황

한강 전체수계는 북한강, 남한강, 한강본류의 수계로 구성된다. 북한강과 남한강은 팔당댐에서 합류하여 한강본류로 흐르며 한강본류는 서울을 관통하여 황해로 유입된다.

한강하구지역은 한강입구(mouth)로부터 행주대교에 이르는 한강과 그 수계로 구성된다. 하구지역을 한강입구로부터 임진강입구까지의 하부와



(그림 3) 한강하구지역과 주변 현황, 생태단지 설계 부지 위치

입진강입구부터 행주대교까지의 상부로 구분할 수 있다. 하부지역은 군사분계선(DMZ)이 지나고 있어 연구가 불가능하다. 연구대상지는 상부지역에 국한하며 상부지역중에서도 남쪽에 위치한 김포평야지대를 주 연구대상지로 삼는다. 하구지역의 한강 양측의 제방위에는 철책이 설치되어 강으로의 접근이 통제되고 있다. (그림 3)은 한강 하구지역, 주변현황, 생태단지 설계 부지위치를 나타낸다.

해수의 최대 침투는 한강입구에서 65km 떨어진 인도교까지 도달한 적이 있다⁴⁾³²⁾. 1985년 신곡 농업용수취수장에 해수가 유입되는 것을 방지하기 위해 신곡수중보를 설치하였다. 팔당댐은 홍수 조절, 용수공급, 수력발전 등 다목적용으로 1973년 축조되었다. 팔당댐의 축조로 수천년동안 형성되어온 한강 본류 및 하구의 하상과 강줄기가 새로운 평형을 이루어가기 시작하고 있다.

1. 토지이용

한강하구지역은 평야지대로 구릉과 낮은 산들이 산재해 있다. 농촌마을이 평야나 구릉과 산자락에 위치하고 있다. 제방밖 농경지에는 저습지가 산재해 있으며, 저습지로부터 돌출된 구릉에는 어촌마을이 형성되어 있다. 평야의 중앙에 김포시가 위치하고 있으며 김포공항과 소규모 공업단지가 김포평야 남동쪽에 위치하고 있다. 김포평야에 한강물을 관수하기 위한 관개사업(1971-1974)이 추진되면서 한강물을 퍼올리는 신곡취수장이 건설되었다. 김포평야의 1/2을 관수하는 관개확장사업이 추진중에 있으며 새마을 운동이 본격화된 1970-1980년대에 근교농업인 비닐하우스와 소규모 축산업이 마을에 보급되었다. 지방도로의 확충으로 서울에 직장을 갖는 사람이 늘어나지만 대부분의 마을주민들은 벼농사와 채소류 재배를 하고 있다.

하구지역의 한강에서 고기를 잡는 어촌은 한강수질오염으로 인해 수확량이 급격히 감소하면서 황폐화된 상태이다. 한때 이들 어촌은 가을철 김장용 새우잡이와 봄철 장어치어잡이로 높은 소득을 올렸던 곳이다³⁹⁾. 민물장어 치어를 부하지

키는 기술은 어느나라에서도 개발되지 않아 바다로부터 하구로 올라오는 치어를 잡아 성어로 양식해야 한다.

2. 수자원개발과 영향

하구의 수질악화와 생태계파괴는 수자원개발로 인한 陸水流量減少, 점원 및 비점원 汚染物 負荷 增加에 원인이 있다. 한강 수자원개발은 가정, 농업, 공업 용수공급(water diversion), 수력발전, 홍수조절 등의 목적으로 건설된 8개댐(화천, 춘천, 소양, 의암, 청평, 청주, 괴산, 팔당)을 중심으로 추진되어 왔다.

(그림 4)는 한강하구로 흐르는 연간 陸水流量이다³¹⁾³³⁾³⁶⁾³⁸⁾. 1976년 팔당댐 방류수 20.69km³ 중 용수공급으로 2.197km³이 사용되고 약 85%인 17.693km³이 하구로 흘러갔다. 1976년 자료에는 본류로 흘러드는 지류의 유량이 파악되어 있지 않다.

1986년에는 남한강과 북한강의 용수이용 증가로 팔당댐의 유입 유량이 6.288km³으로 격감하고, 팔당댐에서 0.68km³이 용수로 이용되어, 1976년의 25%수준인 5.428km³가 본류로 방출된다. 본류로부터 3.041km³가 용수로 이용되어 3.531km³이 하구로 흘러갔다. 이 유량은 1976년 하구유입량의 20%에 지나지 않는다. 10년사이에 한강수계의 산업화 및 도시화로 용수공급이 급격히 증가되었음을 알 수 있다.

2001년에는 1986년보다 7%가 줄어든 5.879km³이 팔당으로 유입된다. 팔당댐에서 용수로 1.25km³이 이용되어, 1986년 보다 15%가 줄어든 4.629km³이 본류로 흘러든다. 본류로부터 4.245km³가 용수로 이용되어 하구로 2.338km³이 유입된다. 이 유량은 1976년 하구 유입량의 13%에 지나지 않는다. 물자수송을 위해 행주대교부근에서 인천을 연결하는 운하를 계획하고 있어 하구의 유량은 더욱 줄어들 전망이다.

혹해, 아조브해, 카스피언해, 지중해로 유입되는 강들의 수자원개발 영향에 관한 연구는, 자연 상태에서 50 - 60년 동안 흐른 평균유량이 수자원개발로 50%이상 줄어들게 되면 강-하구-해안

의 생태계가 스스로 회복할수 있는 능력을 상실하게되어 수질악화와 어족자원의 감소가 불가피하게 발생한다고 지적하고 있다⁴⁾²⁴⁾. 한강하구의 수질악화와 생태계파괴는 하구로 유입되는 유량의 급격한 감소에 일차적 원인이 있다.

하구 생태계가 중요한 이유중 하나는 연안에서 잡히는 고기나 조개의 2/3가 부화기나 성장기등 일생에 한번은 반드시 하구에서 살아야 하기 때문이다⁶⁾. 일반적으로 하구로 유입되는 육수량은 하구수역의 해수량보다 수배가 많아, 육수와 해수의 혼합, 유속, 염도의 분포에 지대한 영향을 미치게 된다. 하구로의 유량감소는 하구수역의 염도증가를 가져와 저습지대의 염해를 야기하며, 산란, 유충의 생존, 먹이공급, 물고기 회유에 중요한 하구저습지대의 물고기 서식처가 훼손된다.

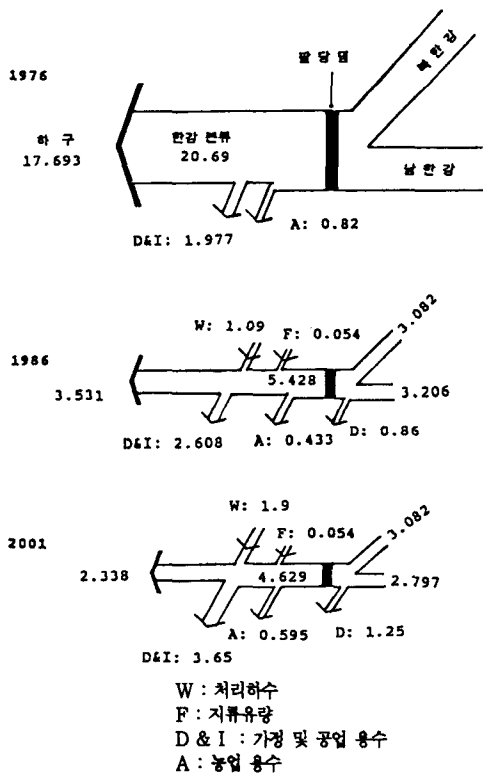
3. 오염물 유입

1986년 서울시 총하수 1.09km³중 약 48%가 2차처리수준인 중량과 탄천 처리장에서 처리된 후 한강 본류로 방류되었으며, 약 47%는 1차처리수준인 안양과 난지 처리장을 거쳐 하구상부로 방출되었다. 2001년 한강본류로 흘러들 하수의 총량은 1.9km³으로 1986년보다 74%가 증가하게 된다.

(그림 5 - 8)은 한강본류 수계내에서 발생하는 오염물의 負荷量과, 처리장에서 처리후 한강본류로 유입되는 오염물의 부하량을 나타낸다³⁷⁾³³⁾. 표면유출(surface runoff)과 팔당에서 유입되는 오염물은 처리되지 않으므로 발생량과 처리후 본류유입량이 동일하다. 2001년 처리장의 처리수에의한 오염물부하량은 본류수계내에서 발생하는 모든 하수를 2차처리수준으로 처리할 경우의 오염물량이다. 서울시와 주변도시들은 2001년까지 모든 하수를 2차처리수준으로 처리할 계획이다. 1986년 수계로부터 발생한 총 오염물(SS, BOD₅, T-N, T-P의 합계)의 70%가 점원오염물이며 이중 93%가 서울시에서 방출됐다. 서울시 하수의 처리는 한강 본류 및 하구의 수질개선에 지대한 영향을 미친다.

(그림 5)에서 부유물(SS)의 發生量은 2001년에 1986년보다 52%가 증가한다³⁷⁾³³⁾. 인구증가에 따른 하수량의 증가에 기인한다. 2001년에는 거의 모든 점원부유물이 처리된다. 표면유출수에 의한 부유물이 2001년에는 문제가 될것이다. (그림 6)에서 2001년 BOD₅ 發生量이 1986년보다 80%가 증가한다. 표면유출의 BOD₅는 약 10%를 차지한다. BOD₅ 증가 역시 수계내 인구증가에 따른 하수증가에 기인한다. 그러나 2001년의 처리후 한강본류로 유입되는 BOD₅ 부하량은 1986년보다 다소 낮아진다.

2001년 처리장으로부터 한강본류로 유입되는 질소와 인의 부하량(그림 7,그림 8)은 BOD₅ 와 SS와는 아주 다른 양상을 나타낸다³⁷⁾³³⁾. 2001년 수계내 점원오염의 BOD₅ 와 SS의 發生量은 1986년의 1.8배에 달하나 하수처리장에서 처리후 한강본류로 유입되는 BOD₅ 와 SS량은 오히려 1986년보다 줄어든다. 그러나 2001년 수계내 점원오염의 질소와 인의 발생량은 1986년보다 1.4배 증가하나



(그림 4) 한강하구 유입 육수량 (km³/year)

2001년 처리장에서 처리후 한강본류로 배출되는 질소와 인의 량은 1986년보다 오히려 증가한다. 이는 2차처리수준 활성오니법 하수처리장이 BOD₅와 SS의 제거를 위한 시설이지 질소와 인을 제거하기 위한 시설이 아니기 때문이다. 대부분의 질소와 인은 활성오니법과정으로 제거되지 않는다. 질소와 인은 하천의 부영양화와 밀접한 관계가 있다. 2001년에는 질소와 인이 한강본류와 하구의 수질 오염을 야기하는 주된 원인이 될 것이다.

한강본류 및 하구의 수질기준이 마련되어 있다. 가정 및 공업용수; DO₄mg/l 이상, 농업용수; DO₂mg/l 이상이다³⁷⁾³⁸⁾. DO가 10mg/l이면 거의 포화 상태이며, 4mg/l 정도이면 오염에 강한 물고기가 살 수 있고, 2mg/l이면 물고기가 살수 없는 상태이다.

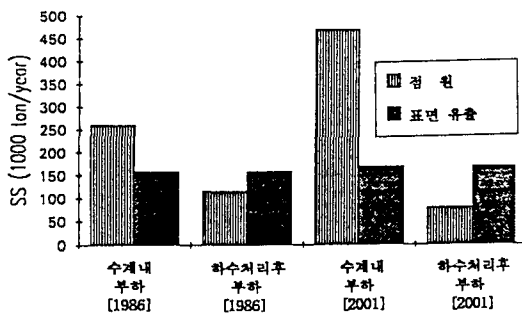
1989년 팔당댐의 방출유량에 따른 한강본류 및 하구의 수질시물레이션이 연구되었다³⁰⁾³⁶⁾. 팔당댐이 연간 200m³/sec를 방류하고 모든 하수를 2차처리 수준으로 처리할 경우 2001년에는 서울시가 선정한

DO기준을 충족시킬 수 있다. 수도권 1,500만 인구가 배출하여 한강본류로 유입되는 모든 하수를 2차 처리 수준으로 처리한다는 것은 막대한 자본이 소요되어 사실상 불가능할지도 모른다. 1986년 연구에 의하면 연간 15%정도 기간은 팔당댐 방류수가 200m³/sec이하로 방류되며 갈수기에는 170m³/sec로 떨어진다.

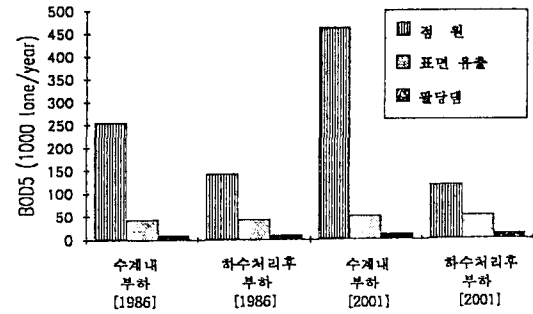
V. 한강하구환경의 관리전략

1. 하구로 인구이동

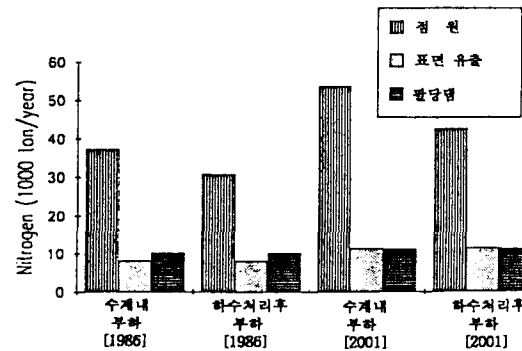
현 인구증가 추세라면 수도권인구는 2020년 약 2,100만으로 현재보다 약 500만 정도가 증가할 것이다. 증가인구의 상당부분은 한강하구 지역으로 점차 이동될 것이다. 한강하구지역은 이미 서울의 성장변두리권에 위치하여 개발압박



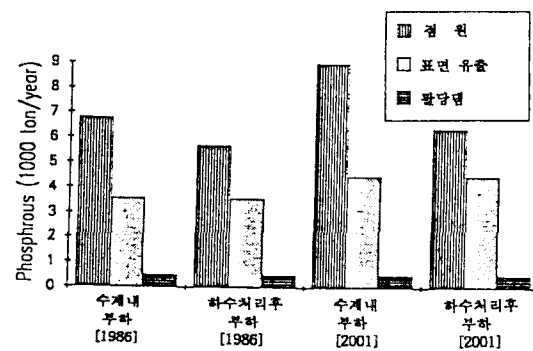
(그림 5) 부유물(SS) 부하량



(그림 6) BOD₅ 부하량



(그림 7) 총 질소(T-N) 부하량



(그림 8) 총 인(T-P) 부하량

을 받고있는 지역이다. 대부분의 농경지가 건축 부지로 전용될것이나 하구지역의 저습지는 상당 부분은 그대로 남게 될것이다. 세계무역기구 출범으로 소규모 노동집약적 수도작 경작은 국제 경쟁력이 없을 것이며 고소득 작물재배로 전환이 불가피할 것이다. 하구지역 농경지의 상당부분이 벼농사보다는 고소득 작물(채소, 과일, 화훼)재배로 전환되면서 많은 온실재배단지가 들어설 것이다. 도시 근교농업의 좋은 事例를 동경주변에서 찾을수 있다. 동경근교 칸토평야의 다수 농가들은 농경지를 부동산업자에 팔지않고 연중 다양한 고소득작물을 자연출하기보다 앞서 수확하여 동경에 출하하여 높은 소득을 올리고 있다²⁵⁾.

2. 레크레이션 수요증가

수도권 일원의 옥외행락 수요가 급증하는 추세이다. 수도권 산림지역의 행락은 이미 포화 상태에 이르고 있으며 낚시, 보트놀이등 수변행락의 수요가 증가 추세이다. 일반적으로 소득이 증가하면 山岳행락 - 球技행락 - 水邊행락으로 행락패턴이 이동해 간다. 미래에 수십만 인파가 주말이면 한강하구지역을 찾아와 수변과 관광농원등을 찾을 것이다. 하구의 어촌마을에는 요트, 유람선 행락객의 숙소를 위해 보텔(botel)이 들어설 것이다. 군사분계선이 제거되면 한강하구 하부는 최대의 수변행락지역이 될 것이다. 6.25전 한강 하구와 본류는 물자수송, 어업, 뱃놀이, 낚시로 풍광을 연출하던 장소이다. 하구생태계를 보전하면서 시민들의 수변행락수요를 충족시킬수 있는 방안이 강구되어야할 것이다.

3. 양어 수요증가

수질오염에대한 관심으로 한강의 유기물 유입량이 감소되면 수질이 개선되어 한강하구의 어획량이 다소 증가할 것이나, 하구로 유입될 유량의 감소로 어획량의 획기적 증가는 기대할 수 없을 것이다. 소득수준이 오르면 장어, 돔, 새우등 수산물의 수요가 증가한다. 민물돔의 수요가 최근

들어 증가하면서 김포지역에 노동집약적 민물돔 양식장이 들어서고 있다. 시장가격이 높은 수준이어서 돔양식장이 증가할 추세이다. 온실을 설치하여 먹이를 공급하고 양어장의 물을 여과하여 회로 먹을 민물돔을 생산하고 있다. 이런 양식시스템에서는 사료가 전체 생산비의 70-80%에 육박하고 있다²⁶⁾. 연못시스템의 처리수를 이용하면 사료공급을 대폭 줄일수 있다. 굵거나 끊여 먹을 고기는 노천에서 낮은 생산비로 생산이 가능하다. 더 많은 고소득 양식장들이 하구저습지에 들어 설 것이며 하구저습지의 경제적 이용방안이 될 것이다.

4. 수자원 부족

수도권에 공급되는 가정, 공업, 농업 용수량은 이미 한강의 공급가능 용수에 육박하고 있다. 김포평야는 한발을 자주 경험하고 있다. 벼농사 관수기간에는 한강본류의 유량에서 사용하는 총 용수의 50%정도가 농업용수이다. 한강하구에 연못시스템을 설치하여 안양하수처리장에 유입되는 하수나 김포시에서 배출되는 하수를 연못시스템으로 처리하여 김포평야 농경지에 관수하는 방안을 생각할 수 있다. 서부백갈 지역은 하수를 벼농사에 관수한 후 논에서 배출되는 물을 하구저습지에 설치된 바다새우 양식장에 유입시켜 새우를 생산하고 있다. 논에서 유기물 일부가 조류로 전환되어 양식장의 짙 바다물에서 조류가 유기쇄설물(detritus)로 변해 새우의 먹이가 된다²⁸⁾.

한강하구처럼 도시성장의 가장자리에 위치한 하구지역은 開發과 保畧을 조화시켜 환경파괴를 막을 수 있고, 지속가능한 도시생태계를 유지할 수 있는, 새로운 資源節約的 河口環境 設計 및 管理 方法이 필요하다. 구미 선진국의 경험을 보면, 과거 하구환경의 설계 및 관리는 준설 및 매립을 통한 항만, 공업단지, 도시 건설등 經濟的 利用이 기본방향이었으나, 최근에는 河口水質汚染管理 및 河口低濕地保護등 하구환경보전이 주요 내용이 되고있다²⁴⁾.

VI. 한강하구환경의 생태적 설계

1. 생태단지의 설계목표 및 기준

생태단지가 위치할 부지는 (그림 3)에 표시된 지역이다. 부지는 대부분 논과 저습지(wetland)가 산재해 있으며 안양하수처리장과 근접해 있다. 생태단지 설계목표는 다음과 같다. 1) 처리-재활용-수확의 과정이 자연상태하에서 이루어지도록 한다. 2) 하구의 수질개선, 도시생태계의 지속적 유지, 하구지역주민의 소득에 기여한다. 3) 생태단지내에서 시민의 접근이 가능한 장소는 레크레이션활동을 위해 개방한다. 4) 모든 動物植物相은 적정 성장후 재활용한다. 5) 많은 양의 하수는 연못시스템의 수를 증가시켜 처리토록 한다.

중요한 생태단지 설계기준은 다음과 같다. 1) 생태단지의 연못시스템은 서울시에서 배출되어 안양처리장으로 유입되는 하수중 하루 3,786m³ (1MGD: million gallon per day)를 처리한다. 이는 서울 인구 10,500명이 하루 배출하는 하수의 양에 해당한다. 서울시는 2001년까지 공장폐수의 완전 처리후 방출과, 하수와 우수를 분류식으로 전환한다. 2) 처리수의 수질과 조류함량을 고려하여 처리수의 일부를 양어지와 레크레이션 낚시연못에 유입시킨다. 3) 관수에 적합한 처리수를 온실, 경작지, 피크닉장에 관수한다. 4) 처리수에서 성장이 용이하고 시장가격이 높은 어종을 선정하며, 유기농 경작은 고소득작물을 선택한다. 4) 구조물이나 건물은 수동형 태양열(passive solar energy)을 활용하도록 한다.

2. 설계 개념

(1) 연못시스템 설계

연못시스템의 설계에서 고려하는 중요한 환경인자는 온도, 유기물 부하량, 수심, 하수체류기간이다. 温度는 연못시스템이 입지할 지역의 기후조건과 밀접한 관계에 있다. 연못시스템을 설치할때 비슷한 기후에 위치한 시스템을 반드시 검토하여 이용하게 된다.

미국 환경처는 연못시스템의 처리수준에 대한 기초조사를 매일 1년에 걸쳐 수행한 바 있다. 이들중 Utah주의 Corinne⁸⁾과 Kansas주의 Eudora⁹⁾ 연못시스템은 한강하구와 유사한 위도에 위치하고 있다. 두 시스템의 기후조건, 설계내용, 그리고 미국환경처의 처리수준 기초자료를 중심으로 연못시스템의 한강하구 이용을 검토하였다. 두 시스템은 생활하수를 처리하기위한 시설로 조건성연못을 직렬로 연결한 시스템이며 첫째연못 바닥에 Pit를 설치하지 않았다. 두 시스템의 처리수준 일일조사 자료는 월별 평균을 구하여 비교분석 하였다. 표 1은 이들 시스템의 특성을 보여준다.

기온은 미국의 2개 시스템지역과 한강하구 김포지역과 비교하였다. 하수처리기법은 일차적으로 하수에 함유되어 있는 유기물의 제거에 있으며 유기물의 제거정도를 일반적으로 BOD₅ 수준으로 나타낸다. 두 시스템의 처리수준을 처리수의 BOD₅ 로 분석하였다.

<표 1> Eudora 와 Corinne 연못시스템 특성

	Eudora	Corinne
위도(N)	38° 58'	41° 36'
연못 수	3	7
총표면적 (ha)	7.83	3.86
첫번연못 표면적 (ha)	3.16	1.49
평균 수심 (m)	1.5	1.2
설계 하수유입 (m ³ /day)	1,514	265
설계 BOD ₅ 부하량 ^{a)}	38	36.2
설계 하수체류기간(day)	78	174

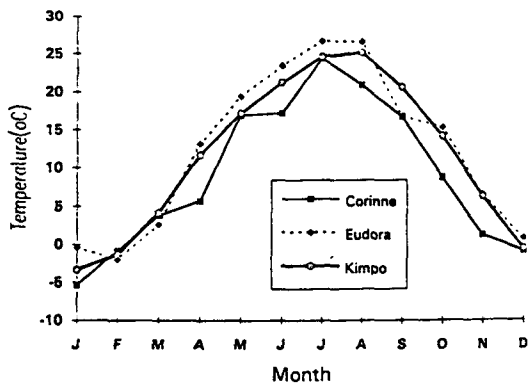
a: kg/BOD₅/ha/day

(그림 9)는 두 시스템지역과 김포지역의 월평균 기온(20년평균)을 보여준다. 두 시스템의 기온은 조사기간 1년에 해당하는 미국 海洋大氣局의 기상자료를 이용하였다. Eudora 시스템의 월평균기온은 김포지역과 거의 동일하며, Corinne은 김포보다 2℃ 정도낮으나 거의 같은 패턴이다. 두 시스템지역과 김포지역은 같은 기온조건으로 판단할 수 있다. 김포지역에 미국의 두 시스템과 유사한 처리시스템을 설계하면 기후조건으로는 시스템운영에 문제가 거의 없을 것으로 판단된다³⁵⁾.

연못시스템(그림 2 참조)에서 유입하수의 총 BOD₅의 약 60%가 첫째연못에서 제거되도록 설계하고 있고 있다. 메탄박테리아는 14℃에서 거의 활동을 멈추게 되어 슬러지가 쌓이기 시작하며, 19℃에서는 일일 슬러지 침전량과 분해량이 같아지고, 24℃에서 왕성한 활동을 하여 분해량이 침전량보다 많아진다¹³⁾. 메탄발효가 거의 정지하는 14℃이하가 되는 기간이 Eudora는 6개월, Corinne은 8개월 이다. Schneiter(1982)는 Corinne(9년 운영) 연못시스템의 첫째연못의 연간 평균 슬러지침전 깊이가 0.84cm로 보고하고 있다.¹⁷⁾

김포근처에 위치한 서울시 안양하수처리장 설계시 적용한 유입하수의 BOD₅ 농도는 190 mg/l로 Corinne 유입하수의 약 3배이다. 김포지역에 Corinne과 비슷한 시스템을 설치하여 안양처리장에 유입되는 하수를 처리하면 첫째연못의 연간 슬러지침전 깊이가 약 2 cm 정도로 예측된다. 온대권에서는 연간 슬러지 침전량이 분해량보다 많아 어느정도 슬러지가 쌓이게 되어 여분의 30cm 수심을 두어 15 - 20 년에 한번 슬러지를 제거하도록 설계한다.

Oswald(1989)의 조사에 의하면 남미 볼리비아의 La Paz에 설치된 연못시스템(바닥에 Pit설치하지 않음)에서는 연못바닥의 온도가 8℃에서도 메탄발효가 활발히 일어나고 있다⁴¹⁾. 고원기후로 연못의 온도변화가 상대적으로 적기 때문이라고 본다. 온도변화를 줄일수 있는 2 - 3m 깊이의

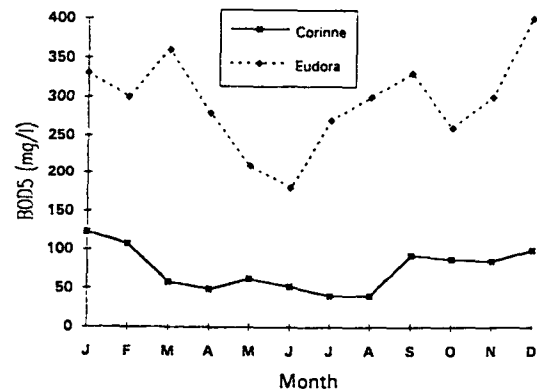


(그림 9) Corinne 및 Eudora 시스템과 김포(kimpo) 지역 기온비교

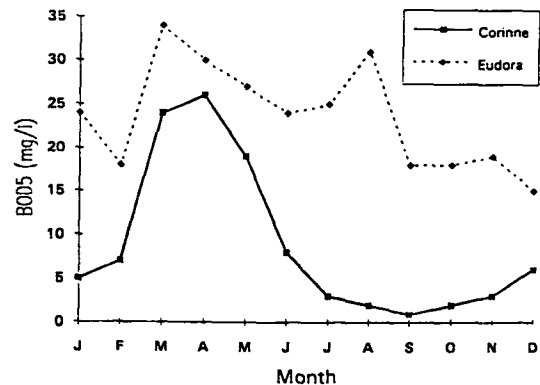
Pit를 조건성연못의 바닥에 설치하여 유입하수를 2일정도 체류하도록 설계하면 겨울에도 생활하수는 8℃정도가 되므로 Pit내부의 메탄발효를 어느정도 유지할 수 있을 것이다.

(그림 10)은 최초 유입하수의 BOD₅ 농도를, (그림 11)은 최종처리수의 BOD₅ 농도를 나타낸다. Corinne 시스템은 약한 하수를, Eudora 시스템은 강한 하수를 처리하고 있다. Corinne과 Eudora 두 시스템의 최종처리수 BOD₅ 농도가 하수 2차처리 일반적 기준인 30mg/l 이하로 처리되고 있다.

미국환경처가 권장하는 표면부하율(aerial loading rate) 설계기법은 온대권에서 겨울철 평균기온이 0℃ 이하이면 연못시스템 전체표면평균 부하 11 - 22 kg/BOD₅/ha/day, 첫째연못의 표



(그림 10) Corinne과 Eudora 시스템의 유입하수 BOD₅ 농도



(그림 11) Corinne과 Eudora 시스템의 최종처리수 BOD₅ 농도

면부하 40 kg/BOD₅/ha/day 이하, 첫째연못 수심 1.5m, 후속연못 수심 2.4m로 하고 있다⁹⁾. 미국내 온대권의 연못시스템 평균하수체류기간은 90 - 150일 정도이다.

미국의 경우 1980년대 초까지 연못시스템의 첫째연못 바닥에 Pit를 설치하지않고 수심을 1.5m로 설계하였다. 수심 1.5m 연못은 바람이 2-3m/sec로 불면 연못 상층의 용존산소가 바닥으로 침투하여 메탄발효를 정지시키는 현상이 일어나 처리효율이 낮아지는 결점이 있다. 최근에는 첫째연못의 바닥에 Pit설치와 첫째연못의 수심을 2.4m로 설계하여 처리효율을 높이면서 소요면적을 대폭 줄이는 방법이 강구되고 있다. 미국의 연못시스템은 대부분 7,572m² (2MGD)이하를 처리하고 있다⁶⁾.

첫째연못 바닥에서 아래로 2.5m, 위로 1.4m, 총 3.9m 깊이의 Pit를 설치하여, 용존산소의 침투를 차단하고 유입하수를 2일 정도 머무르게 하여 메탄발효의 효율을 증대시키면, Pit 자체에서 유입하수 BOD₅의 40 - 50% 정도 제거할 수 있다. 따라서 첫째연못의 표면부하율을 70 kg/BOD₅/ha/day로 증가시킬 수 있다⁹⁾²⁸⁾.

(그림 12)는 생태단지 설계개념을 나타낸다. 연못시스템은 하수단기이동(short-circuiting) 방지와 처리효율을 높이기위해 4개 하부시스템으로 구분하며, 각 하부시스템은 4개의 조건성 연못으로 구성한다. 메탄발효의 효율증대를 위해 각 하부시스템의 첫번연못의 바닥에 2.5m 깊이 Pit를 설치한다. 처리연못의 수심은 2.4m로 하고, 양어지와 낚시연못은 수심을 1m와 1.6m로 한다. 양어지는 월동사육을 위해 비닐하우스를 설치한다. 각 하부시스템의 총 하수체류 기간을 100일로 한다. 두개 하부시스템의 둘째 연못은 양어지로 활용하고, 한개 하부시스템은 하수처리만을 수행하며, 나머지 한개 하부시스템의 둘째 및 셋째 연못은 레크레이션 양어지로 설계한다. 각 하부시스템의 네째 연못은 마무리 연못(polishing pond)으로 녹조의 양이 과도하면 침전시키는 기능을 한다. 연못시스템 설계기법들은 BOD₅ 부하량에 기초를 두고있다. 면적부하율모델, Gloyna 모델, 완전혼합모델, 프러그유하모

델, Oswald 모델 등이 있다^{10) 11) 17)}. 국내기후에서는 면적부하율모델을 근간으로, Oswald 모델을 응용하는 것이 바람직하다.

생태단지의 연못시스템은 면적부하율을 기초로 Oswald모델을 응용하여 설계하였다. 표 2은 연못시스템 설계 인자(parameter)를, <표 3>는 처리연못, 양어연못, 레크레이션 낚시연못의 구조를 나타낸다.

<표 2> 생태단지 연못시스템 설계 인자

설계 유입량 (m ³ /day):	3,786	유입하수 BOD ₅ (mg/l):	190
유입하수 SS (mg/l):	200	처리수 BOD ₅ (mg/l):	30
연못 지하부수손실량 (mm/day):	1.6	동계 평균기온(°C):	-1.8
BOD ₅ 부하 (kg/day):	719		

<표 3> 연못시스템의 연못과 Pit의 구조

	수심 (m)	여유고 (m)	슬러지저장 (m)	폭높이 (m)	하수체류 (일)	표면적 (m ²)
연못1	2.4	0.5	0.3	3.2	70	28674
연못2	2.4	0.5	0.3	3.2	10	4580
연못3	2.4	0.5	0.3	3.2	10	4580
연못4	2.4	0.5	0.3	3.2	10	4580
양어연못	1.0	0.3	0.3	1.6	10	1550
낚시연못	1.5	0.5	0.3	2.3	10	
Pit	3.9			3.9	2	480

(2) 양어연못 및 유기농업지 설계

<표 4>는 사료 투입없이 연못시스템의 처리수만을 이용한 양어 생산량이다²⁸⁾. 생체실험결과 공업하수가 유입되지 않은 생활하수의 처리수를 이용한 양어고기는 인체에 전혀 해가 없다고 규명되어왔다¹²⁾²⁸⁾. 물고기에서 냄새를 제거하기위해서는 정화시설 (depuration pond)을 설치하여 생산된 물고기를 1 - 2 주정도 길러서 출하한다. 이스라엘에서는 가정하수 및 축산폐수의 처리수를 이용하여 기른 물고기를 1 - 2주정도 맑은 물에 길러 출하한다. 기후조건을 고려하면 생태단지의 양어연못에서는 약 5,000 kg/ha/year의 수확이 예상된다⁷⁾.

채소, 과일, 꽃을 재배하는 경작지에 수질요구

<표 4> 하수처리수를 이용한 연못의 고기생산량

국가	어종	생산량
독일	carp	56 g/m ² /year
헝가리	carp	170 g/m ² /7months
이스라엘	Tilapia	376 g/m ² /year
이스라엘	carp & Tilapia (policulture)	500 g/m ² /year
타일랜드	Tilapia	700 g/m ² /year

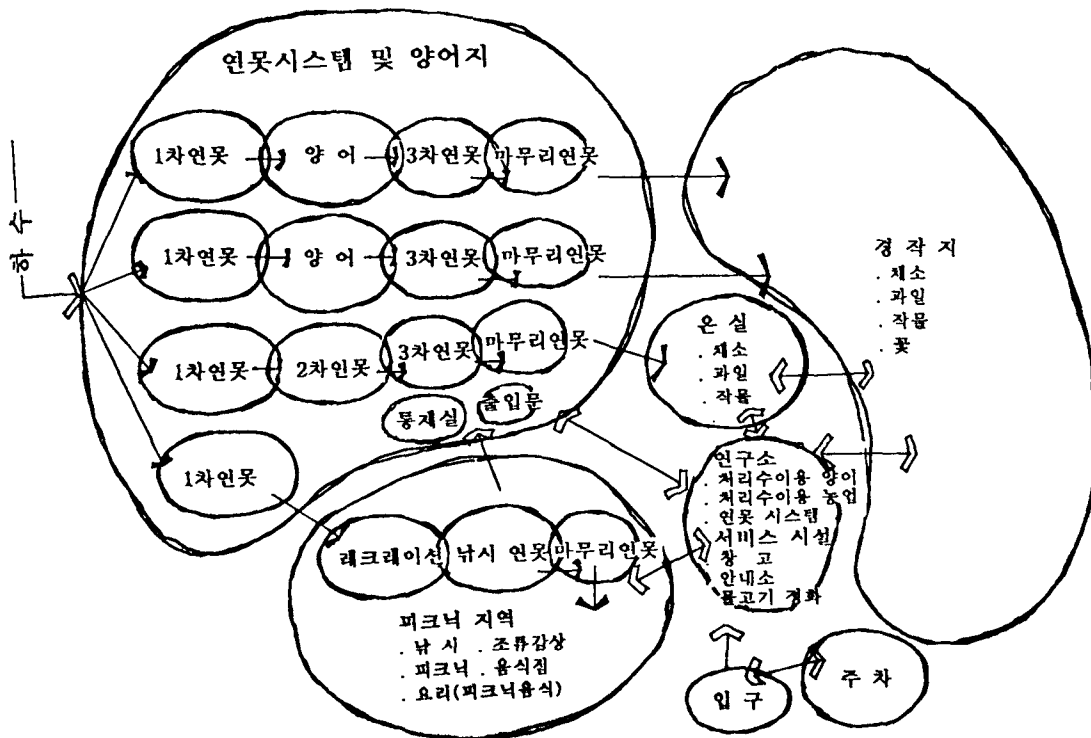
기준에 따라 셋째 혹은 넷째 연못의 처리수를 관수한다. 일부 경작지는 비닐하우스를 설치하여 연중 작물을 재배한다. 경작지 일부와 비닐하우스 일부는 시민들이 직접 작물을 수확하도록 설계한다. 하수를 이용하여 관수할수 있는 경작지 면적 연구에의하면, 효율이 낮은 알파파와 감자 경작의 경우 3,786m² (1MGD)의 하수로 약 70ha에 관수를 할 수 있다¹⁰⁾.

낚시연못을 피크닉지역에 설치하여 낚시연못의

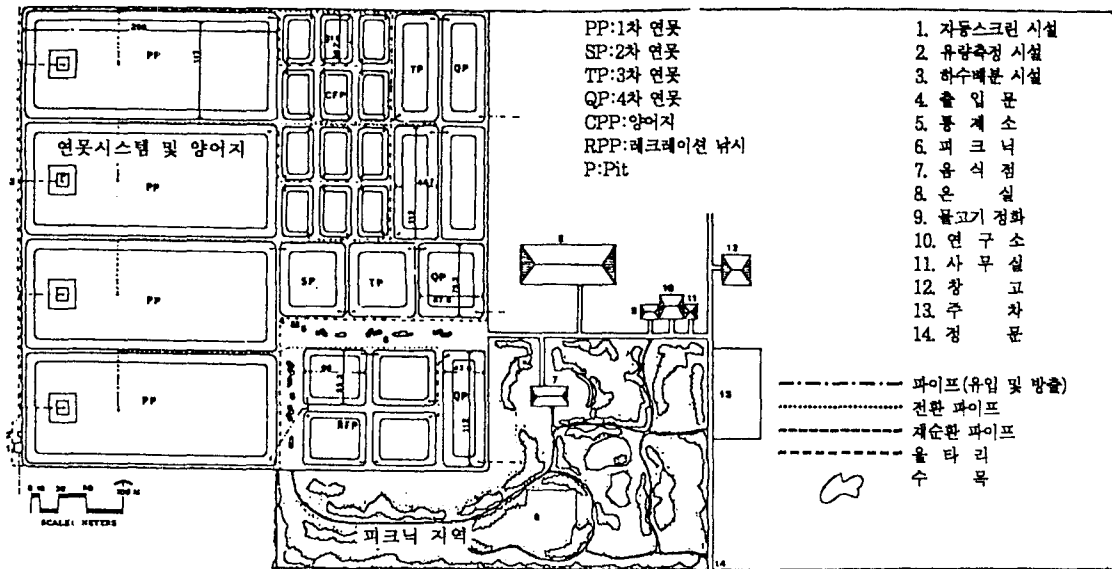
방류수를 피크닉지역에 관수한다. 캘리포니아 일부 골프장내에 설치된 연못시스템은 주거단지에서 배출되는 하수를 처리하여 골프장에 관수하고 있다. 처리수가 피부에 접촉되어도 건강에 안전한 수준이다. 피크닉 지역은 수확한 작물과 양어지에서 구입하거나 낚시터에서 잡은 물고기로 요리할수 있는 장소를 설계한다. 피크닉지역에 식당을 유치하여 생태단지에서 양어한 물고기 요리를 맛볼수 있게 한다. 연못시스템, 처리수이용 양어 및 작물재배를 연구하기위한 소규모 연구소를 설치한다.

3. 기본 설계

(그림 13)은 생태단지 기본설계도이다. 생태단지 전체를 보여주며, 각 연못, 시설, 경작지, 피크닉지역, 온실등의 위치를 나타낸다. 연못은 햇빛



(그림 12) 생태단지 설계개념도



(그림 13) 생태단지 기본설계도

을 충분히 받을수 있도록 남향으로 배치한다. 부지의 내외부 조건, 연못시스템의 적정처리, 생태단지내 각 활동간 상관성을 고려하여 공간을 배치한다. 연못시스템은 생태단지 입구로부터 멀리 떨어진 곳에 설치하여 탐방객의 하수접촉 위험을 방지한다. 탐방객은 안내자의 도움으로 연못시스템을 관람하도록 한다. 온실과 농경지는 최종처리 연못에 가깝게 배치하고, 실험실, 서비스를 위한 건물은 구름화 한다. 낚시연못은 피크닉지역과 어울리도록 배치한다. 소요면적은 연못처리시스템 12ha, 양어지 및 낚시연못 5ha, 부속시설물 1.2ha, 피크닉 10 ha, 경작지 40ha 이다. 경작지의 면적은 70ha까지 증감이 가능하다.

제시한 하수처리 연못시스템 모듈(module)은 一日 3,786 m³ (190 mg BOD₅ / l) 하수를 처리하며, 4개의 조건성연못을 직렬로 연결한 4개의 하부시스템으로 구성하고, 첫째연못에 Pit를 설치한다. 모듈의 총하수 체류기간은 100일이며, ha 당 285명의 하수를 처리할 수 있다.

는 연못시스템을 양어, 작물생산, 행락활동과 연결할 수 있다. 연못시스템, 양어, 작물생산, 레크레이션활동을 결합한 과정은 다수 국가에서 활용하고 있으나 국내는 도입이 늦은 편이다. 최근들어 환경문제의 심각성과 더불어 하수의 생태적 처리 및 재활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 생태단지는 작물 및 양어 생산에의한 도시생태계로 에너지 환원, 농업관수를 통한 부족한 수자원 해소, 시민들의 자연접촉과 수확을 통한 만족을 통하여 도시생태계를 지속가능하게 유지시키는데 기여할 것이다. 생태단지는 하구수질의 개선 및 하구저습지의 보호와 더불어 하구환경을 건강하게 유지하는데 기여할 것이다. 가장 이상적인 생태계 설계는 생태계로부터 배출되는 배출물을 배출생태계내에서 처리하여 다시 배출생태계로 되돌리는 것이다. 제시한 자원전략적 하구환경 설계모형은 한강하구지역의 생태적 설계 및 관리의 대안이 될 수 있다.

참고문헌

VII. 결론

하구지역에 설계된 생태단지는 하수를 처리하

1. Allen, G.H. and Gearheart, R.A., 1978, *Arcata Integrated Wastewater Treatment, Reclamation, and*

- Salmon Ranching Project*, Presented at the 1978 Winter Meeting, American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, Michigan.
2. Baozhen, W., 1987, The Development of Ecological Wastewater Treatment and Utilization Systems in China, *Wat., Sci., Tech.* 19:51-63.
 3. Beck, v. P., 1984, Das Teichut Birkenhof der Kraftwerkstreppe Mittle Isar, *Oesterreichische Wasserwirtschaft*, 36(5/6):127-129
 4. Bronfman, A.M., 1977, The Azove Sea Water Economy and Ecological Problems: Investigation and Possible Solution, in *Environmental Effects of Complex Estuaries*, G.F. White (ed.), Westview Press, Boulder, pp. 39-58.
 5. Busteeg, K., 1987, German Experiences with Sewage Treatment Ponds, *Wat. Sci. Tech.* 19(120):17-24
 6. Calio, A.J., 1987, Defining the Estuary, *EPA (U.S. Environmental Protection Agency) Journal Vol. 13 (Protecting Our Estuaries)*, 13(6):9 - 11.
 7. Edwards, P., 1987, *Resource Recovery and Health Aspects of Sanitation*, AIT Research Report No. 205, Environmental Sanitation Information Center, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
 8. EPA, 1977, *Performance Evaluation of an Existing Seven Cell Lagoon System*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-77-086, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, pp.112-130
 9. EPA, 1977, *Performance Evaluation of an Existing Lagoon System at Eudora, Kansas*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/2-77-167, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, pp.35-135
 10. EPA, 1983, *Design Manual: Municipal Wastewater Stabilization Ponds*, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-625/1-83-015, Washington, D.C. pp.2-7
 11. Gloyna, E.F. and L.F., Tischler, 1979, Design of Waste Stabilization Pond Systems, *Progress in Water Technology*, II(4/5):47-70
 12. Guerrin, F., et al, 1990, Levels of Heavy Metals and Organochlorine Pesticides of Cyprinid Fish Reared Four Years in a Wastewater Treatment Pond, *Bull. Enviro. Contam. Toxicol.*, 44:461-467
 13. Ketchum, B.H., 1983, Estuary Characteristics, in *Estuaries and Enclosed Seas*, B.H. Ketchum (ed.), Elsevier Science Publishing Company, New York, pp. 1-14.
 14. Korea Ministry of Construction, 1971, *Han River Basin: Reconnaissance Report and Water Resources Study*
 15. Meier, R.L., 1989, *Ecological Planning and Design*, Institute of Environmental Research, University of California, Berkeley.
 16. Middlebrooks, E.J., et al., 1982, *Wastewater Stabilization, Lagoon Design, Performance and Upgrading*, Macmillan Publishing Co., New York, pp. 1-12
 17. Oswald, W.J., 1968, Advances in Anaerobic Pond System Designs, in *Advances in Water Quality Improvement*, E.F. Gloyna and W.W. Jr. Eckenfelder (Eds.), University of Texas Press, Austin, pp. 186-194.
 18. Oswald, W.J., 1987, *Use of Wastewater Effluent in Agriculture*, Presented at the Kuwait Symposium on Management and Technology of Water Resources in Arid Zones, Kuwait, Oct. 5-7, 1987, pp. 1-17.
 19. Oswald, W.J., 1988, *A Syllabus on Waste Pond Fundamentals*, University of California, Berkeley, Spring 1988, BEHS 259, pp.66-68
 20. Oswald, W.J., 1988, Large-Scale Algal Culture Systems (engineering aspects), in *Micro-Algal Biotechnology*, M.A. Browitzka and L.J. Borowitzka (Eds.), Cambridge University Press, PP 357-414
 21. Parker, C.D., 1979, Biological Mechanisms in Lagoons, *Progress in Water Technology*, II(4/5):71-85.
 22. Petak, W.J., 1981, Environmental Management: A System Approach, *Environmental Management*, 5(3):213-224.
 23. Rosemarin, A., 1990, Sustainability as a New Necessary Philosophy, *AMBIO*, XIX(2):51.
 24. Rozengurt, M.A., Herz, M.J. and Josselyn, M., 1987, The Impact of Water Diversions on the River-Delta- Estuary-Sea Ecosystems of San Francisco Bay and the Sea of Azove, in *San Francisco Bay: Issues, Resources, Status and Management*, NOAA Estuary of the Month Seminar Series #6, Washington, D.C. NOAA Estuarine Program Office, pp. 35-62.
 25. Shearman, R., 1990, The Meaning and Ethics of Sustainability, *Environmental Management*, 14(1):1-8.
 26. Schneiter R.W., 1982, *Cold Region Wastewater lagoon Sludge: Accumulation, Characterization, Digestion*, Ph.D. Dissertation, Utah State University, Logan, Utah
 27. Shuval, H., 1988, Rational for Engelberg Guideline, *IRWD (International Reference Center for Waste Disposal) News*, 24/25:18-19
 28. Yang, H., 1992, *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.
 29. Meier, R.L., 양홍모, 1982, "미래서울의 도시생태계 계획", 환경논총 10권, 서울대학교 환경대학원, pp. 145-180
 30. 국토개발연구원, 1986, 수질보전을 위한 하천유지용수

- 의 적정량 산정에 관한 연구: 한강을 중심으로
31. 서울특별시, 1983, 한강종합개발기본계획 보고서
 32. 서울특별시, 1984, 한강종합개발
 33. 서울특별시, 1984, 하수도정비기본계획 보고서
 34. 양홍모, 1994, "하구환경의 생태적 관리와 지속가능한 도시생태계", 대한민국 도시계획학회, 29(4):267-279
 35. 양홍모, 1995, 하수 처리 및 재활용 연못시스템의 국내 응용, 상하수도학회, 9(2):108-117
 36. Engineering Science, Inc., 현대엔지니어링(주), 효성건설(주), 1983, 한강유역 환경보전종합계획사업 수질부문보고서 I - IV
 37. 한국수자원개발공사, 1989, '88 한강단운 타당성조사사업 환경조사
 38. 한국수자원개발공사, 1990, 한강하천유지유량 조사연구 보고서
 39. 한국어족자원개발협회, 1972, 한강하류의 어류 및 어업 실태조사
 40. 이용복(김포 킬라피아 양식장) 개인면담, 1992
 41. Oswald, W.J., 1989, *Bolivia Sojourn 1989*, Presented before a seminar held at the University de San Simon, October 1-10, 1989