

산업단지 종말처리장 방류수 유입에 따른 소류지 부영양화 제어 가능성 연구

이지선¹, 장인성^{2*}

¹호서대학교 대학원 BK21 반도체디스플레이공학과, ²호서대학교 환경공학과

Feasibility study on the control of the eutrophication by flowing the industrial wastewater effluents to the lake

Ji-Sun Lee¹ and In-Soung Chang^{2*}

¹Dept. of Semiconductor & Display Engineering, Graduate School of BK21, Hoseo University,

²Department of Environmental Engineering, Hoseo University

요약 본 논문은 A 시의 산업단지 종말처리장의 방류수 유입에 따른 K 소류지의 녹조 제어 가능성을 평가하고자 하였다. 완전혼합연속반응기로 모형화한 호소를 총인과 엽록소-a의 농도를 예측하였다. 정상상태일 때 총인과 엽록소-a 농도는 각각 0.29 g/m³과 4.0 mg/m³를 나타냈고 실측치와 유사한 결과를 보였다. 비정상상태에서 종말폐수방류수가 최소유량 또는 최대유량으로 소류지로 유입될 때 시간경과에 따른 총인과 엽록소-a 농도 변화를 예측하였다. 또한, 현재 심각한 부영양화 단계에 있는 소류지를 중영양 또는 빈영양 단계로 전환하기 위해 소류지로 유입되는 총인부하량 (L_p)과 호소깊이/체류시간 (H/τ_w)값의 변화를 통해 현실적으로 적용 가능한 제어방법을 제안하였다. 이와 같은 분석기법이 소류지내 총인농도의 제어전략을 수립하기에 적합한 도구로 사용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract The aim of this study was to investigate the effect of flowing the industrial wastewater effluents into the K lake which is located in the A city on the eutrophication. The lake was modelled as a continuous stirred-tank reactor. Phosphorus and Chl-a concentration in the lake were calculated to 0.29 g/m³ and 4.0 mg/m³ at steady state, respectively. Those simulated concentrations were very close to the monitored mean concentration of the lake, indicating that the simulation could be used a tool for characterizing the lake. The non-steady state concentrations of the phosphorus and Chl-a were proposed as a function of time as well. Phosphorus loading (L_p) and depth to retention time ratio (H/τ_w) was calculated in order to analyze the current state of eutrophication. We proposed a strategy to change the lake from eutrophic to permissible oligotrophic state using a graph consisting of two variables, L_p and H/τ_w

Key Words : Algal bloom, CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor), Dangerous eutrophication, Phosphorus

1. 서론

호소 내 부영양화를 야기하는 원인으로는 하폐수의 유입 등 외부 유입으로 인한 타생적인 요인과 호소 자체 내에서 생산되는 자생적인 영향으로 구분할 수 있다 [1]. 특히, 공단 및 도시 하수의 유입으로 호소 내 총인부하량이 증가됨에 따라 부영양화가 유발되는 경우가 자주 있다. 따라서 이러한 호소 외부 유입의 영향을 비교, 평가하

는 연구들이 수행되고 있다 [2,3,4].

A 시 산업단지 종말처리장의 하부지역에 위치한 K 소류지는 현재 산업단지의 우수배수 및 저수시설로 활용되고 있고, 향후 주변지역의 대표적인 친수공간으로 활용될 가능성이 있는 곳이다. 주변에는 대단위 거주지 및 관공서 등이 입주하거나 입주 예정되어 있어서 주민들의 여가 공간 또는 경관호수로 활용될 수 있다. 그러나 소류지는 부영양화에 따른 녹조현상이 발생할 소지가 있는 것

*교신저자 : 장인성(cis@hoseo.ac.kr)

접수일 10년 07월 21일

수정일 (1차 10년 08월 17일, 2차 10년 10월 28일)

게재확정일 10년 11월 19일

으로 판단되어 수질변화를 주의 깊게 살펴볼 필요가 있는 실정이다.

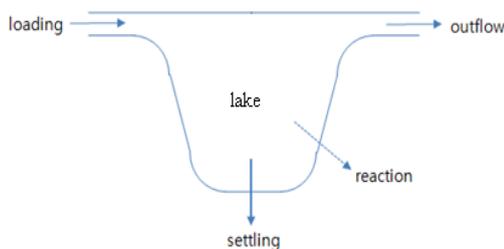
본 연구의 목적은 K 소류지에 대한 전반적인 수질현황을 토대로 정상상태와 비정상상태로 모델링하여 소류지를 정량적으로 평가함에 있다. 또한, 산업단지 종말처리장에서 방류되고 있는 방류수의 호소 내 유입 효과와 부영양화에 어떤 효과가 있는지 정량적으로 분석하고 이러한 분석기법을 토대로 부영양화 제어에 필요한 도구로 사용할 수 있는 가능성을 평가하고자 한다.

2. 소류지 모델링

종말처리장 방류수가 소류지로 유입되었을 경우 녹조 발생 영향 등을 파악하기 위해서 호소를 모델링하여 해석하였다. 완전혼합연속반응기 (CSTR, Continuous stirred-tank reactor)로 가정하여 모델링 하였다. 이를 바탕으로 소류지에 대한 물질수지식을 세워 정상상태와 비정상상태로 가정하여 수식화함으로써 소류지를 해석하였다.

호소를 모델링할 때 광범위하게 사용되는 방법은 호소를 하나의 CSTR로 해석하는 것이다. 물론 존재하는 대부분의 호소가 완전혼합되는 조건을 갖추기는 어려운 현실이지만, 호소를 CSTR로 보고 반응공학 원리를 이용하면 해석하는데 여러 가지 편리한 점이 많다 [5].

그림 1은 소류지를 CSTR로 놓고 해석하기 위한 모식도를 나타내었다. 종말처리장 방류수의 소류지로의 유입부하 (loading)와 유출 (outflow)이 표시되어 있다. 또한 소류지 내에서 오염물질들의 반응 (reaction)이 있을 수 있으며 침강(settling)에 의해서 소멸되는 현상을 예상할 수 있다.



[그림 1] 소류지를 CSTR로 해석하기 위한 모식도

위에서 표현한 CSTR 소류지에 대하여 물질수지식 (material balance)은 다음과 같다.

$$V \frac{dc}{dt} = W(t) - Qc - kVc - vA_s c \quad (1)$$

여기서, $W(t)$ 는 유입부하(=Q·c(t)), V 는 호소의 부피, Q 는 유입유량, c 는 호소 내 대상물질 농도, k 는 반응속도상수, v 는 침전속도, A_s 는 호소의 표면적을 나타낸다.

공단 종말폐수 방류수가 지속적으로 소류지로 유입된다고 가정하면 소류지는 정상상태 (steady state)로 가정할 수 있다. 정상상태에서 물질수지식 (1)을 정리하면 다음 식 (2)가 된다.

$$c = \frac{W(t)}{Q + kV + vA_s} = \frac{1}{a} W(t) \quad (2)$$

즉, 대상오염물질의 정상상태 농도, c 에 관한 식을 유도해 낼 수 있다. 여기서 a 는 자정계수를 나타낸다.

식 (2)를 이용하여 소류지의 녹조형성에 가장 중요한 제한인자로 지목될 수 있는 총인과 염록소- a 의 정상상태에서의 농도를 구할 수 있다.

한편, 소류지에 유입되는 종말처리장 방류수량과 농도 등이 시간에 따라 변하기 때문에 항상 정상상태로 보기에는 무리일 수 있다. 따라서 비정상상태 (unsteady state)를 가정하고 소류지에 물질수지를 적용해 볼 필요가 있다. 유입부하, W 는 공단 종말폐수처리장에서 신규배출되는 경우로 가정하고, 대상오염물질의 농도, c 에 관한 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$c = \frac{W}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

여기서, λ ($\frac{Q}{V} + k + \frac{v}{H}$)는 고유값 (eigenvalue)을 나타내고, H 는 소류지 평균 깊이를 나타낸다.

이상에서 살펴본 내용을 소류지에 적용하여 총인과 염록소- a 에 대한 소류지의 비정상 상태 농도를 구할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 소류지의 개요

K 소류지의 수리학적 인자는 표 1에 나타내었다.

[표 1] 소류지의 수리학적 인자

인자	값 (단위)
표면적	40,000 (m ²)
평균깊이	3.4 (m)
부피	136,000 (m ³)
공단 최종방류수 유입유량	28,000 - 65,000 (m ³ /d)
공단 최종방류수 평균 유입유량	47,400 (m ³ /d)
공단 최종방류수 최대 유입유량	65,200 (m ³ /d)
평균 체류시간	2.9 (d)
최소 체류시간	2.1 (d)

소류지의 영양상태를 파악하여 모델링한 결과와 비교하고 모델링에 필요한 자료로 활용하기 위하여 2008년 1월부터 10월까지, 2009년 5월부터 6월까지 총인과 엽록소-a의 농도를 관찰하였다.

2008년 총인 농도는 평균 0.18 ~ 0.43 g/m³ 정도 변화를 보이며 연평균 농도는 약 0.38 g/m³로 USEPA 기준 [6]에 근거하여 부영양화 상태에 있다고 볼 수 있다. 엽록소-a 농도는 0.19 ~ 583 mg/m³ 까지 편차가 매우 심하여 연평균치가 큰 의미가 없으나, 연평균 49.5 mg/m³로 부영양화 상태에 있다고 볼 수 있다. 2009년의 총인 농도는 0.2 ~ 0.6 g/m³ 정도 변화를 보이며 0.3 g/m³의 평균치를 보이고 있으며, 역시 부영양화가 진행되고 있다고 판단된다. 엽록소-a의 농도는 6월중 0.9 ~ 4.7 mg/m³이며 평균 2.7 mg/m³의 농도를 나타내고 있다.

3.2 총인 및 엽록소-a 의 농도 (정상상태)

식 (2)를 이용하여 정상상태일 때의 총인 농도를 계산하기 위하여 먼저 유입부하 (W = Q·c)를 구하여야 한다. 이를 위해 소류지의 평균유량 47,400 m³/d과 2009년 5, 6월의 평균 총인농도 0.3 g/m³을 적용하면 14,220 g/d이다. 일반적으로 호소 내부에서 반응에 의한 기작으로 총인이 소멸되는 경우는 무시할 수 있으며, 인은 대부분 침전에 의해 호소 바닥으로 침전물의 형태로 제거되는 것으로 알려져 있다. 그리고 인 침전물의 침강속도 v는 5 ~ 20 m/yr로 알려져 있다 [7, 8]. 대푯값 10 m/yr을 대입하여 v·A_s를 계산하면 1,096 m³/d를 나타낸다. 평균 유입유량 Q, 47,400 m³/d를 대입하여 소류지 내부의 총인의 정상상태에서의 농도를 계산하면 0.29 g/m³으로 2009년 5, 6월 현재 소류지 내부의 평균 총인 농도, 0.3 g/m³와 거의 일치함을 알 수 있다.

총인을 계산한 동일한 방법과 자료를 이용하여 엽록소

-a의 정상상태에서의 농도를 계산할 수 있다. 다만 총인은 침전에 의해 제거되는 기작을 살펴보기만 하면 되지만 엽록소-a는 조류가 생산하는 반응에 의해 증가되는 항목이 추가되어야 한다. 따라서 엽록소-a의 정상상태에서의 농도를 구하기 위해서 식 (2)의 분모항이 (Q-kV+vA_s)로 변동되어야 한다.

이때의 유입부하 W는 2009년 6월 엽록소-a의 평균농도 2.7 mg/m³을 적용하면 127,980 mg/d이다. 호소에서 조류들이 생산하는 엽록소-a는 조류성장의 1차 반응으로 모사한다. 따라서 성장속도계수 (k_g)와 소멸속도계수 (k_d)가 고려되어야 한다. k_g는 0.2 ~ 2.0 d⁻¹ 정도로 알려져 있으며, 소멸은 사멸에 의한 감소와 동물성 플랑크톤에 의한 섭생에 의한 소멸 두 가지로 나뉠 수 있다. 사멸에 의한 속도계수는 0.05 ~ 0.25 d⁻¹ 정도로 알려져 있다. 또한, 엽록소-a의 침강속도는 0.005 ~ 0.8 m/d 로 알려져 있으며 [7, 8], 대푯값 0.3 m/d을 대입한다. 성장 및 두 가지 소멸에 관한 속도계수는 각각의 대푯값 0.5 d⁻¹, 0.2 d⁻¹ 및 0.1 d⁻¹을 대입하여 -k·V와 v·A_s의 합을 계산하면 -15,200 m³/d의 값으로 계산된다. 평균 유입유량을 대입하여 소류지 내부의 엽록소-a의 정상상태에서의 농도를 계산하면 4.0 mg/m³로 나타났다.

조류성장과 소멸은 상당히 다양한 인자들에 의해 결정된다. 이를테면 온도, 영양염류, 광량, 호흡, 배설, 섭생 등의 인자에 의해 성장과 소멸속도가 결정되어진다. 이러한 인자들을 무시하고 일반적인 생성속도계수 (k_g)와 소멸속도계수 (k_d)만으로 계산하였기 때문에 위에서 계산된 엽록소-a의 농도 4.0 mg/m³는 2008년 소류지에서 배출되는 연평균 농도인 49.5 mg/m³과 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

3.3 총인 및 엽록소-a 의 농도 (비정상상태)

공단종말 폐수처리장 방류수의 소류지로의 유입유량과 농도가 시간에 따라 변하기 때문에 W = Q·c 로 단순화할 수 없다. 방류수의 농도는 대체로 일정한 값을 보이고 있으므로 시간함수의 변수에서 제외시킬 수 있다. 유량 Q를 시간의 함수로 표현할 수 있다면 계산이 용이하나 현재로서는 뚜렷한 경향 없이 방류 유량이 결정되고 있다. 따라서 최대유량 65,200 m³/d와 최소유량 28,400 m³/d를 각각 적용하고 농도는 2009년 5, 6월 평균 총인농도를 적용한다. 계산된 W의 최대값 W_{max}은 19,560 g/d 최소값 W_{min}은 8,520 g/d으로 나타났다.

고유값 λ 는 총인이 침강에 의해서만 소멸된다고 가정하고 앞에서와 마찬가지로 방법으로 인침전물의 침강속도, v의 대푯값 10 m/yr을 대입하여 최대와 최소 λ 를 계산하였다. 최대 λ 는 0.488 d⁻¹, 최소 λ 는 0.217 d⁻¹로 나타

냈으며, 이를 식 (3)에 대입하여 소류지 내부의 비정상상태에서의 최대와 최소 총인농도를 계산한 결과를 다음 식 (4)와 (5)에 나타내었다.

$$\text{최대 총인농도} = 0.295(1 - e^{-0.488t}) \quad (4)$$

$$\text{최소 총인농도} = 0.289(1 - e^{-0.217t}) \quad (5)$$

위 식에 따라 시간에 따른 총인의 농도 변화를 예측한 그래프를 그림 2에 제시하였다. 즉, 종말폐수처리장의 방류수가 최대유량 또는 최소유량으로 소류지로 유입될 때 총인의 농도가 시간이 경과함에 따라 어떻게 변화하는지를 예상한 그래프이다. 최대유량으로 유입될 때 총인 농도가 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시간이 약 12일 가량 된다. 그러나 최소유량으로 유입될 때 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시간은 약 25일이다. 이와 같은 분석기법을 이용하면 소류지 내부의 허용되는 총인농도를 예측하기가 수월하며, 총인농도의 제어전략을 수립하기에 적합한 도구로 사용될 수 있다.

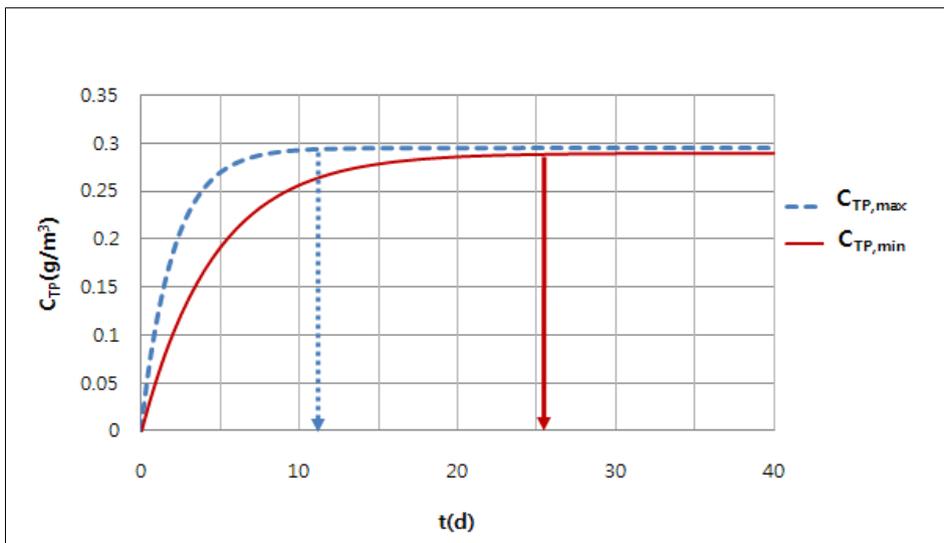
엽록소-a의 비정상상태에서의 농도는 총인의 경우와 동일하게 최대유량과 최소유량을 적용하여 W 의 최대값 176,040 mg/d와 최소값 76,680 mg/d로 나타냈다. 이때의 농도는 2009년 5, 6월 평균 엽록소-a 농도 2.7mg/m³을 적용하여 계산하였다. 엽록소-a의 고유값 λ 는 침강에 의해서만 소멸되는 총인과는 달리 조류가 생산하고 소멸되는 반응기작에 의해 증감되는 항목을 고려하여 최대와 최소 λ 를 구한다. 이때의 k 는 앞서 설명한 바와 같이 성장 및 소멸에 관한 대푯값, (0.5-0.2-0.1 d⁻¹)을 사용하였다.

최대 λ 값은 0.368 d⁻¹, 최소 λ 는 0.097 d⁻¹이었고, 이를 식 (3)에 대입하여 소류지 내부의 비정상상태에서 최대와 최소 엽록소-a 농도 값을 계산한 결과를 다음 식 (6)과 (7)에 나타내었다.

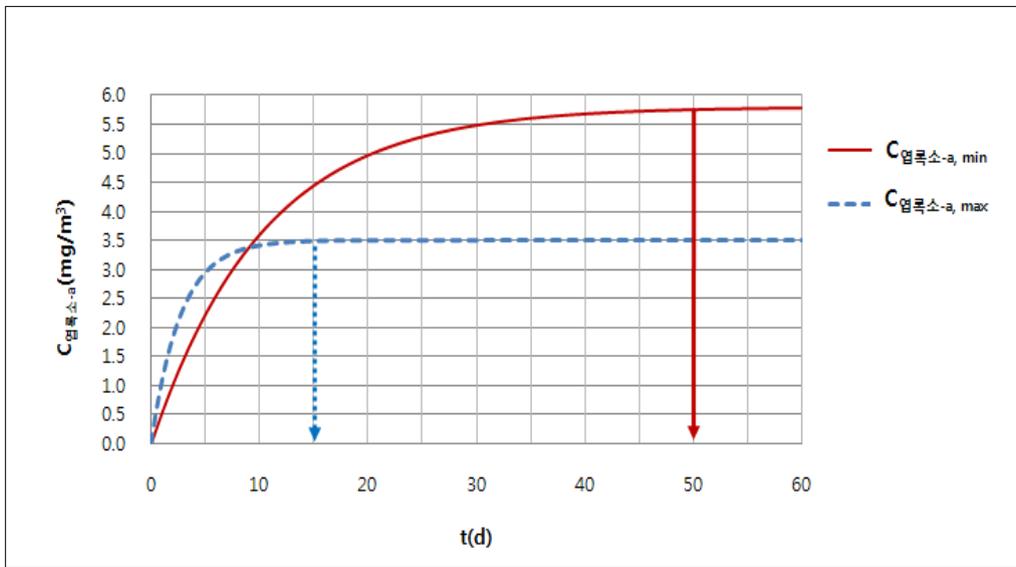
$$\text{최대 엽록소-a 농도} = 3.517(1 - e^{-0.368t}) \quad (6)$$

$$\text{최소 엽록소-a 농도} = 5.813(1 - e^{-0.097t}) \quad (7)$$

위 식에 따라 시간에 따른 엽록소-a의 농도 변화를 예측한 그래프를 그림 3에 제시하였다. 즉, 종말폐수방류수가 최대유량 또는 최소유량으로 소류지로 유입될 때 시간경과에 따른 엽록소-a의 농도변화를 예상한 그래프이다. 최대유량으로 유입될 때 엽록소-a 농도가 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시간은 약 15일 가량이며, 농도는 3.5 mg/m³ 정도이다. 그러나 최소유량으로 유입될 때 $W/\lambda V$ 에 접근하는 시간은 약 50일이고, 농도는 5.8 mg/m³이다. 최대유량과 최소유량으로 유입되어 농도가 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시점은 다르나 그 농도가 0.3 mg/m³ 정도로 같게 나온 총인과는 달리 엽록소-a는 최대유량일 때 보다 최소유량일 때 약 60% 높은 값을 보인 점이 눈여겨볼 만하다. 이는 엽록소-a가 최대유량일 때 빠르게 유입, 유출됨에 따라 호소가 원활하게 순환하기 때문에 소류지 내부에서 엽록소-a의 생성에 필요한 충분한 시간이 보장되지 않기 때문에 엽록소 농도가 적은 것이다. 즉, 총인은 유입되는 방류수에 포함되어 있는 인으로 인해 최대유량이나 최소유량일 때 $W/\lambda V$ 값에 큰 차이가 나지 않으나, 엽록소의 경우에는 유입되는 방류수 속에 포함된 것보다는 소류지



[그림 2] 소류지의 최소, 최대 유입부하에서의 총인 농도 변화 곡선과 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시간 비교



[그림 3] 소류지의 최소, 최대 유입부하에서의 엽록소-a 농도 변화 곡선과 $W/\lambda V$ 값에 접근하는 시간 비교

에서 발생하는 엽록소에 의해 전체적인 농도가 지배받기 때문에 최대유량일 때가 최소유량일 때보다 오히려 농도가 작아지는 것이다.

3.4 방류수의 수리조절 및 총인저감에 의한 부영양화 제어 가능성 평가

호소의 부영양화에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 인부하량이다. 다른 제한인자들도 중요하지만 인부하량이 부영양화를 결정짓는 핵심 요소이다. 또 다른 중요한 인자로는 호소의 깊이 (H)이다. 깊은 호소일수록 부영양화에 덜 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다. 호소의 깊이와 아울러 호소의 수리학적 체류시간 (τ_w) 역시 중요한 인자로 작용한다. 따라서 호소깊이를 체류시간으로 나눈 H/τ_w 값이 중요한 인자로 작용하는 것으로 알려져 있다 [9, 10].

본 소류지의 체류시간, $HRT = Q/V$ 에 부피 136,000 m^3 과 유량 47,400 m^3/d 을 대입하여 계산하면 7.9×10^{-3} yr 이고, 수심 3.4 m를 계산된 체류시간으로 나눈 H/τ_w 은 430 m/yr 이다. 또한, 유입부하량을 계산하기 위하여 아래의 식 (8)을 이용한다.

$$L_p \left(\frac{gP}{m^2 yr} \right) = \frac{Q \cdot c}{A} \quad (8)$$

인의 평균 농도 0.3 gP/m^3 을 대입하면 유입부하량, L_p 는 130 $gP/m^2 yr$ 이다.

Vollenweider가 제안 [10]한 총인부하량과 H/τ_w 값에 따른 호소의 영양상태를 나타내는 그래프를 그림 4에 제시하였다. 각각의 곡선은 심각한 부영양화 (dangerous eutrophic)와 빈영양화 (permissible oligotrophic) 단계로 간주되는 허용 값이다. 한편 그림 4에서 표시된 점(430, 130)은 위에서 계산된 L_p 와 H/τ_w 값으로 소류지의 현재 영양 상태를 가시적으로 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 현재의 소류지는 심각한 부영양화 상태에 있는 것으로 나타났다.

따라서 소류지를 빈영양화 상태로 되돌리기 위해서는 ① H/τ_w 값을 증감시키지 않은 상태에서 총인부하량을 감소시키거나 ② 총인부하량은 감소시키고 동시에 H/τ_w 값을 증가시키거나 ③ 총인부하량을 증감시키지 않은 상태에서 H/τ_w 값을 증가시키는 3가지 방향으로 부영양화 제어대책을 수립해 볼 수 있다. 이상의 3가지 대책을 현재의 소류지 상태(430, 130)에서 3개의 화살표로 그림 4에 표시하였다.

첫 번째로 ① 단위 면적당 유입부하량 L_p 값을 줄이면 부영양화에서 빈영양화로 전환할 수 있다. 즉, 소류지로 유입되는 유량을 일정하게 두고 유입농도를 점차적으로 감소하여 L_p 가 4 $gP/m^2 yr$ 에 도달하게 되면 빈영양화 영역에 포함될 수 있다. 이를 위해서는 유량은 일정하다는 가정 하에 농도가 0.3 g/m^3 에서 0.009 g/m^3 이하로 감소되어야 한다.

두 번째 방법 ②는 총인부하량, L_p 를 경감시키면서 유량을 증대시키는 방법이다. 우선 적정한 유량을 가정한

다. 본 논문에서는 유량을 130,000 m³/d로 증가시켜 L_p를 구하였다. 증대된 유량에 따른 x축값, H/τ_w은 1,186 m/yr으로, 빈영양화로 전환하기 위한 예상치 y축은 12 gP/m²yr 이하가 되어야 한다. 이 조건을 만족하는 유입총인 농도는 0.01 g/m³ 이하일 때 가능하다.

마지막 방법 ③은 x축인 H/τ_w 값에서 수심 H에 해당하는 값을 증가시키게 되면 빈영양단계로 전환할 수 있다. 그러나 수심을 증가시키기 위해서는 준설 작업을 시행해야하며 이것은 막대한 비용이 수반되기 때문에 제한적으로 또는 간헐적으로 시행되어야 할 것이다. 따라서 체류시간 (τ_w)을 줄이는 방향을 모색하는 것이 보다 현실적이다. 우선 체류시간을 줄이기 위해서는 유입유량을 늘려 지속적으로 빠른 순환을 시킴으로써 부영양화를 제어할 수 있다. 그림 4의 예상치를 따져보면 H/τ_w 값이 13,000 m/yr일 때 빈영양화 단계로 편입되기 시작하므로 이 점에 해당하는 체류시간, τ_w (V/Q)을 계산하여 보면, 소류지 부피 136,000 m³는 일정하므로 현재의 평균유량 47,400 m³/d를 1,424,658 m³/d로 증가시켜야 한다. 이러한 조건 하에서 체류시간이 7.9×10⁻³ yr에서 2.6×10⁻⁴ yr로 감소하게 된다. 여기서 간과하지 말아야 할 것은 유량을 증가시킨다는 것은 부하량의 증가를 의미한다. 즉, 유량이 변화되면 총인 부하량, L_p도 변화되는데 L_p를 증감시키지 않는 조건으로 계산되어야 하므로 이 경우에도 위의 ②번과 마찬가지로 유량조절과 함께 총인의 농도감소가 수반되어야 한다. 즉, 이 경우에도 유입총인 농도를 0.01 g/m³ 이하로 감소시켜야만 빈영양화 영역에 포함될

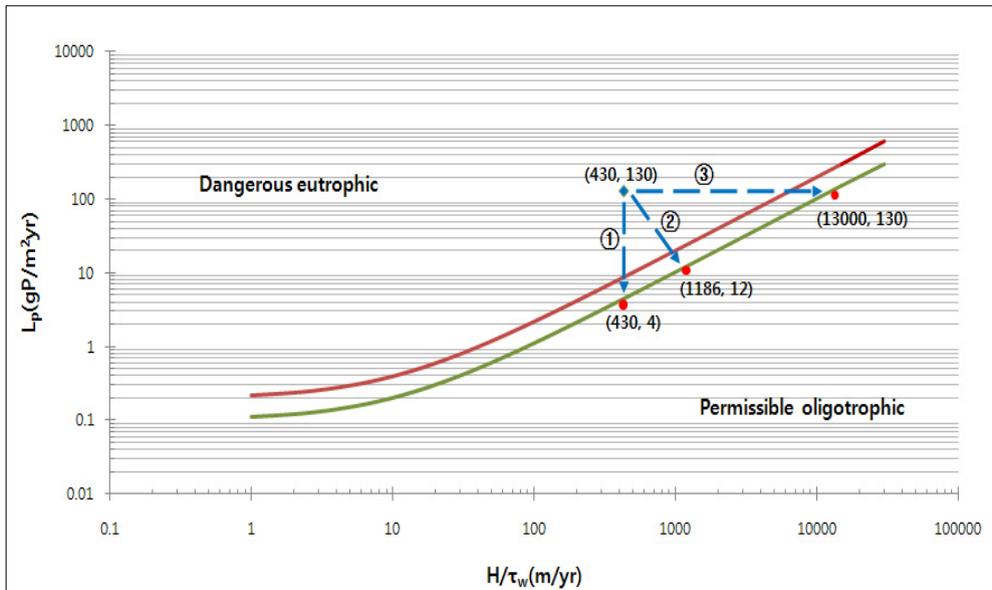
수 있다.

현재의 소류지는 심각한 부영양화 상태에 있기 때문에 이를 제어하기 위해서는 유입되는 방류수의 총인농도를 감소시키거나 가급적 유입유량을 늘려 체류시간을 짧게 해야 할 것이다. 그러나 우선적으로 유입농도를 감소시켜 총인 부하량을 경감시키는 작업이 선행되어야 하겠다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 종말폐수장의 방류수가 소류지로 유입될 때 총인부하량 (L_p)과 H/τ_w값을 도시한 그래프를 활용하면 부영양화를 제어하기 위한 전략을 수립하기에 적합한 도구로 사용될 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 K 소류지를 정량적으로 해석하기 위하여 소류지를 완전혼합 반응기로 보고 모델링을 수행하였다. 공단 종말폐수처리장의 방류수가 유입될 때 정상상태로 가정하여 예측된 소류지의 총인농도 0.29 g/m³는 2009년 5, 6월 현재 소류지 내부의 평균 총인농도와 거의 일치함을 알 수 있었다. 또한 비정상상태에서 총인 농도가 시간에 따라서 어떻게 변화하는지를 예측하였다. 소류지에 방류수의 최대, 최소 유량으로 유입될 때 W/λ V 값에 접근하는 시간은 총인의 경우 각각 약 12일과 25일이었고, 엽록소의 경우에는 각각 약 15일과 50일이었다. 심각한 부영양화 단계에 있는 소류지를 중영양 또는 빈영양 단계로 전환하기 위한 3가지 방안을 검토하였다. 총인부



[그림 4] 부영양화와 빈영양화의 영역 구분 및 소류지 영양상태 위치

하량 (L_p)과 H/τ_w 값에 따른 호소의 영양 상태에 따른 도표를 활용하여 총인부하량 (L_p)과 H/τ_w 값을 변화시키면서 현실적으로 적용 가능한 제어방법을 모색하였다. 즉, i) 유입수의 총인 농도 경감, ii) 준설을 통한 소류지의 깊이가 증대, iii) 유입유량 증가 등의 3가지 방안을 각각 검토하였다. 이와 같은 분석기법을 적용하여 소류지내 총인 농도의 제어전략을 수립하기에 적합한 도구로 사용될 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 김백호 “주암호 식물플랑크톤의 생태학적 연구”, 전남대학교 박사학위논문, 1996.
- [2] 김병철, 사승환, 김문숙, 이윤경, 김재구 “국내 호수의 제한영양소와 하수처리장 방류수 인 기준 강화의 필요성”, 한국물환경학회지, 제23권, 제4호, pp. 512-517, 2007.
- [3] 김재윤 “총인부하량을 이용한 인공호의 부영양화 평가”, 한국환경과학회지, 제12권, 제7호, pp. 689-695, 2003.
- [4] 김용재, 권순국 “시화호 인공습지의 식물 플랑크톤과 갈대 부착조류 군집의 동태”, 한국환경농학회지, 제23권, 제1호, pp. 59-67, 2004.
- [5] S.C. Chapra, "Surface water quality modeling", 1997, McGraw Hill.
- [6] U.S. E.P.A., (1979), Analysis of the Sources of Phosphorus in the Environment: Final Report, EPA-560/2-79-002
- [7] J. L. Schnoor, "Environmental modelling - Fate and transport of pollutants in water, air, and soil", 1996, Wiley Interscience.
- [8] G. Tchobanoglous and E. D. Schroeder, "Water Quality - Characteristics, modeling, modification", 1987, Addison Wesley.
- [9] 조순행, 구자공, 한상욱, 서용찬, “수질관리”, 1998, 동화기술.
- [10] 이시진, 윤세의, 박석순, “수질모형과 관리”, 1993, 동화기술.

이 지 선(Ji-Sun Lee)

[준회원]



- 2007년 2월 : 호서대학교 환경공학과 (공학사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 대학원 BK21 반도체/디스플레이공학과 석사과정

<관심분야>

용수처리, 폐수처리, MBR, 플라즈마 이용 수처리 기술

장 인 성(In-Soung Chang)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 공업화학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 공업화과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 공업화과 (공학박사)
- 1997년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 환경공학과 교수

<관심분야>

수처리, 수질오염, 분리막 기술, MBR, 청정기술, 반도체 관련 공정기술 및 반도체산업 폐수처리