

상류 유역의 오염부하량 삭감에 따른 평택호 수질관리 보전 대책 연구

황병기^{1*}

¹상명대학교 건설시스템공학과

Study on water quality management of lake Pyeungtaek for the reduction of pollutant loadings in upstream watersheds

Byung-Gi Hwang^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Sangmyung University

요 약 평택호의 수질개선 대책을 수립하기 위하여 호수 내 수질조사를 2회 수행하였으며, 상류 유역의 부하량 삭감에 따른 호수 내 수질개선 효과를 파악하기 위하여 WASP/EUTRO5 모형을 사용하여 시물레이션 하였다. 현재의 부하량이 장래에도 지속이 되는 경우에는 호수 내 수질이 상류 유역의 개발에 따른 오염부하량의 증가로 수질이 더욱 더 악화되는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 다양한 부하량 삭감 대책을 수립하여 장래의 수질을 예측하였으며, 대안 6가 다른 대안에 비하여 호수의 수질농도를 낮추는 데 크게 기여하는 것으로 나타났다. 그러나, 대안 6의 경우에도 2016년에 호수 내 COD 농도가 9.74 mg/L로 호수수질환경기준 약간 나쁨(4등급, COD 8 mg/L 이하)에도 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 2021년에도 유사한 경향을 나타내었다. 대안 6에 부하량을 추가로 삭감하여도 호수의 수질개선 효과는 미미하며 경제적인 측면에서도 적합하지 않은 것으로 나타났다.

Abstract Water quality surveys has been performed to establish water quality improvement strategy for the lake Pyeungtaek, and WASP model was used to simulate to identify the effect of water quality improvement according to the reduction of pollutant loadings for the upstream watersheds. Assuming that present loadings was continued up to the future, the water quality of the lake was found to be getting worse resulting from the increase of pollutants due to the planned future development. In this study, we made various scenarios to predict the future water quality, scenario 6 made a large contribution to improve the lake water quality compared to others. Even the scenario 6, COD concentration of year 2016 in the lake was examined to be under the 4th rate of water quality level for the lake (COD less than 8 mg/L), similar to year 2021. Even though additional reduction of loadings for the scenario 6 was made, the water quality in lake was a little improvement, and was thought to be inappropriate action in the economic point of view

Key Words : Water quality, Improvement strategy, Pollutant loadings, Watersheds

1. 서론

경기도 남부와 충청남도 북부에 걸쳐서 위치하며, 아산만 간척지의 농업용수 공급을 주목적으로 1973년 조성된 평택호는 유입 하천들의 오염이 심해지고, 개발계획의 활성화에 따른 인구증가 및 산업의 발달로 인하여 발생한 많은 양의 오폐수가 미처리 상태로 유입되거나, 평택

호 상류 유역에 가두리 양식장 등 비점오염물질의 유입 등으로 호수가 크게 오염되었으며, 향후 상류 유역의 개발계획에 따른 오염원의 증가로 수질악화가 가속화될 것이 예상된다.

평택호의 호수 내 수질은 2007년 현재 COD 농도로 5등급 (10 mg/L)이하, 총 질소 농도로 5등급 이하 (1.5 mg/L)이하, 총 인 농도로 5등급 (0.15 mg/L) 이하로 나타

*교신저자 : 황병기(bh4a@smu.ac.kr)

접수일 10년 12월 22일

수정일 11년 03월 09일

게재확정일 11년 03월 10일

났다[16]. 호소의 수질개선과 효과적인 수자원 이용을 위한 수질보전 대책이 시급한 실정이며, 호소의 수질을 회복할 수 있는 다양한 방안을 모색하게 되었으며, 유입하천의 부하량 삭감이 수질을 개선시킬 수 있는 것으로 판단되었다.

부하량 삭감 시나리오에 따른 평택호의 수질변화를 예측하기 위하여, 호소의 수질모의를 위하여 국내외에서 보편적으로 사용하고 있는 WASP 모형을 검토하였다. WASP 모형을 적용한 국내 사례를 살펴보면, 신 등(1997) [1]은 북한천의 수질예측을 수행하였으며, 팔당호의 수질예측과 매개변수를 추정하기 위하여 WASP4 모형을 적용하였다[2,3]. 농업용저수지 유역의 수질관리를 위하여[4], 새만금호의 수질 매개변수 추정하기 위하여 [5], 시화호의 수질모의를 위하여[6], 신 등(2010)[7]은 하천 수계 중금속 위해성 평가 방법으로 WASP 모형을 적용하였다.

이에 본 연구에서는 평택호의 수질에 영향을 미치는 상류 유역의 오염원 조사를 실시하였으며, WASP 모형을 이용하여 평택호 상류 유역의 향후 산업단지, 주택단지, 국제평화센터 등 개발계획에 따른 오염부하량의 변화를 산정하였으며, 부하량 삭감에 따른 수질변화를 시뮬레이션하였으며 효과적인 수질관리를 위하여 필요한 방안을 제시하였다.

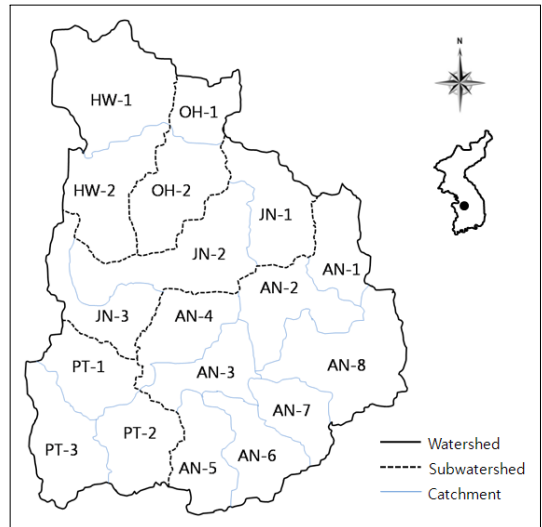
2. 연구내용 및 방법

2.1 대상유역 현황

평택호 유역은 동쪽에서 북쪽으로 한강 유역, 동북쪽에서 동남쪽으로는 금강 유역과 동남쪽에서 남쪽으로는 곡교천 유역과 접하고 있으며, 서남단에서 충남 아산시 인주면 공세리에서 경기도 평택시 현덕면 권관리 사에 축조된 아산 방조제를 경계로 평택호가 위치하고 있다.

평택호 유역 내 집수구역은 그림 1과 같이, 황구지천(HW-1, HW-2), 오산천(OS-1, OH-2), 진위천(JN-1 ~ JN-3), 안성천(AN-1 ~ AN-7), 평택호(PT-1 ~ PT-3) 등 5개의 중유역으로 구분하였으며, 각각의 중유역은 다시 수개의 소유역(집수구역)으로 세분되어 총 18개의 집수구역으로 구분하였다. 집수구역의 총 면적은 1,658 km²이며, 황구지천, 오산천, 진위천, 안성천, 평택호 중유역의 면적은 251.6, 152.3, 303.4, 698.5, 252.6 km²으로 안성천 중유역이 가장 넓은 면적을 차지하는 것으로 나타났다. 토지이용현황은 임야 35.6%, 밭 24.4%, 논 11.0%, 대지 10.9%, 목장 1.4%, 기타 16.7% 인 것으로 조

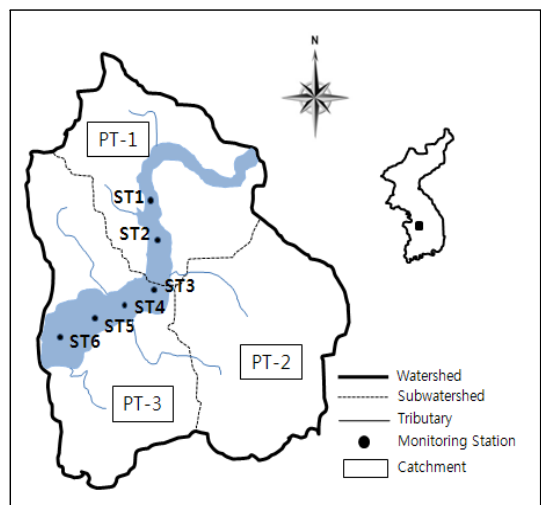
사되었다.



[그림 1] 평택호유역의 집수구역도

2.2 호소 수환경 조사

평택호의 수질상태를 파악하기 위하여 그림 2와 같이 호소 내 6개 지점(ST1 ~ ST6)을 선정하여 수질조사를 실시하였다. 조사는 2006년 9월 29일, 2007년 4월 19일 2회에 걸쳐 수행하였으며, 분석항목으로는 전기전도도, BOD, COD, SS, TN, TP를 포함하여 12 항목이며, 표 1에 정리하였다.



[그림 2] 평택호 유역의 집수구역도

[표 1] 평택호 수질조사 결과

| Station | Order | EC ($\mu s/cm$) | DO | BOD ₅ | COD _{Mn} | SS | T-N (mg/L) | NH ₃ -N | NO ₃ -N | T-P | PO ₄ -P | Turbidity (NTU) | Chlorophyll-a (mg/m ³) |
|------------|-------|----------------------|-----|------------------|-------------------|----|---------------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| ST1 | 1st | 651 | 5.2 | 17.4 | 18.8 | 16 | 7.6 | 1.79 | 2.3 | 0.25 | 0.12 | 37 | 37.4 |
| | 2nd | 643 | 4.2 | 15.6 | 17.3 | 22 | 7.1 | 1.62 | 2.7 | 0.31 | 0.15 | 32 | 33.1 |
| | Mean | 647 | 4.7 | 16.5 | 18.1 | 19 | 7.4 | 1.71 | 2.5 | 0.28 | 0.14 | 34.5 | 35.3 |
| ST2 | 1st | 633 | 5.3 | 12.1 | 14.5 | 10 | 5.6 | 1.10 | 3.0 | 0.28 | 0.11 | 24 | 28.6 |
| | 2nd | 619 | 4.5 | 11.5 | 14.1 | 19 | 6.5 | 1.56 | 3.7 | 0.38 | 0.17 | 27 | 24.9 |
| | Mean | 626 | 4.9 | 11.8 | 14.3 | 15 | 6.1 | 1.33 | 3.4 | 0.33 | 0.14 | 25.5 | 26.8 |
| ST3 | 1st | 630 | 5.9 | 13.2 | 15.4 | 22 | 5.1 | 0.68 | 2.9 | 0.29 | 0.09 | 42 | 21.4 |
| | 2nd | 650 | 3.8 | 12.2 | 14.6 | 29 | 6.1 | 0.61 | 2.4 | 0.41 | 0.15 | 38 | 20.3 |
| | Mean | 640 | 4.9 | 12.7 | 15 | 26 | 5.6 | 0.65 | 2.7 | 0.35 | 0.12 | 40 | 20.9 |
| ST4 | 1st | 597 | 5 | 11.3 | 13.9 | 28 | 5.5 | 0.75 | 3.7 | 0.23 | 0.10 | 85 | 5.4 |
| | 2nd | 609 | 3.2 | 10.8 | 13.5 | 38 | 5.9 | 0.41 | 2.3 | 0.36 | 0.14 | 80 | 5.9 |
| | Mean | 603 | 4.1 | 11.1 | 13.7 | 33 | 11.4 | 0.58 | 3.0 | 0.30 | 0.12 | 82.5 | 5.7 |
| ST5 | 1st | 605 | 4.9 | 10.1 | 13.0 | 40 | 5.5 | 0.84 | 3.7 | 0.33 | 0.07 | 109 | 12.1 |
| | 2nd | 592 | 3.4 | 10.2 | 13.0 | 53 | 5.4 | 0.51 | 3.0 | 0.42 | 0.11 | 98 | 12.9 |
| | Mean | 598.5 | 4.2 | 10.2 | 13 | 47 | 5.5 | 0.68 | 3.4 | 0.38 | 0.09 | 103.5 | 12.5 |
| ST6 | 1st | 635 | 5.1 | 10.0 | 12.9 | 64 | 5.3 | 0.61 | 4.5 | 0.46 | 0.12 | 190 | 9.8 |
| | 2nd | 642 | 3.6 | 9.9 | 12.8 | 80 | 5.1 | 0.46 | 3.5 | 0.51 | 0.22 | 168 | 11.1 |
| | Mean | 638.5 | 4.4 | 10.0 | 12.9 | 72 | 5.2 | 0.54 | 4.0 | 0.49 | 0.17 | 179 | 10.5 |
| Total Mean | | 626 | 4.5 | 12.0 | 14.5 | 35 | 5.9 | 1.20 | 3.1 | 0.35 | 0.13 | 77.5 | 18.6 |

EC(Electric Conductivity), DO 등은 현장에서 측정하였으며, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, 탁도 등은 실험실에서 Standard Method[8]와 수질공정시험법[9]에 준하여 분석하였다.

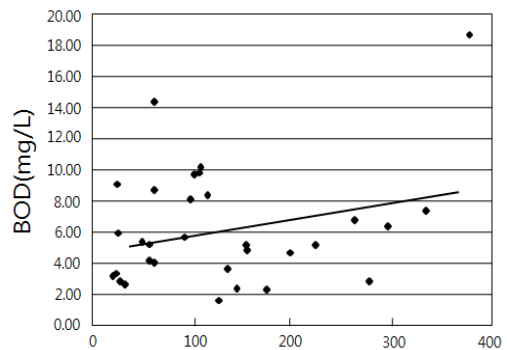
호소 내 평균 부유물질 농도는 35.1 mg/L로 호소 수질환경기준 5등급(15 mg/L 이하)이하, COD 농도는 14.5 mg/L로 5등급(10 mg/L 이하) 이하, 총질소 농도는 5.9 mg/L로 5등급(1.5 mg/L 이하) 이하, 총인 농도는 0.35 mg/L로 등급(0.15 mg/L 이하) 이하로 평가되었다. 부영양화의 척도인 클로로필 농도는 상류인 호소 유입부(ST1)에서 35.3 mg/L이었으나, 하류로 가면서 점차적으로 낮아져 방조제 근처(ST6)에서 10.1 mg/L로 감소하는 것으로 조사되었다.

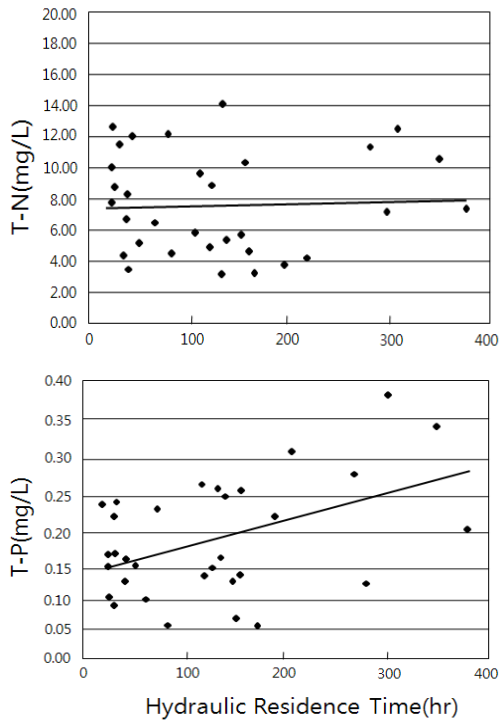
2.3 호소 체류시간과 수질과의 관계

평택호의 체류시간이 호소의 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 배수갑문 개폐시 방류되는 시간당 방류량과 유효저수용량 자료[16]를 사용하여 체류시간을 계산하였다. 이를 국가수질측정망의 평택호 수질측정 자료와 비교하여 체류시간과 수질과의 상관관계를 조사하였으며, 그림 3에 나타내었다.

BOD의 경우 체류시간이 증가함에 따라 농도가 다소

증가하는 것으로, T-N은 체류시간과 농도는 거의 상관관계가 없는 것으로, T-P는 호소의 체류시간의 증가에 따라 농도가 증가하여 상관관계가 다른 오염물질에 비하여 상대적으로 높은 것($R^2=0.19$)으로 나타났으나 상관관계는 높지 않은 것으로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때 평택호의 수질개선을 위하여 방류량을 늘리는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.





[그림 3] 평택호 체류시간과 수질과의 상관관계

2.4 부하량 산정

각 시군의 통계연보, 경기백서 자료를 토대로 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계 오염부하량을 산정하였으며, 상위계획에 의한 자연적인구 증가율, 개발계획에 의한 사회적 유입인구를 고려하여 장래인구를 추정하였으며, 장래 가축 사육두수를 추정하기 위하여 회귀분석법을 사용하였다. 평택호 중유역 상류에 있는 양식업은 평택호 수질을 악화시키는 데 크게 기여하므로 호소 내 수질개선을 위하여 향후 폐쇄되어야 하나, 현재까지 구체적인 지침이나 계획이 없으므로, 양식장의 면적은 현재의 면적이 장래에도 지속되는 것으로 전망하였다.

3. 수질관리를 위한 모형의 적용

3.1 모형의 개요

WASP 모형은 Di Toro 등(1983)[10]에 의해 개발되어 Ambrose 등(1991)[11]에 의하여 수정과 보완을 거쳐 미국 환경청에 의하여 발표되어 하구, 하천 및 호소 등 다양한 수체에 대하여 적용되어 검증되었으며, 국내외에서 호소 수질모의를 위하여 널리 사용되고 있는 모델이다.

WASP 모형은 1차원 물질수지 방정식을 유한차분법

을 사용하여 수질인자의 값을 구하도록 설계되었으며, 유체의 흐름을 모의 발생하는 DYNHYD5와 조류, 영양염류, BOD 등 일반적인 수질항목의 상호작용을 모의하는 EUTRO5와 유기화합물, 중금속 등의 독성물질 문제를 다루는 TOXI5 모듈로 구성되었다. 수질항목별 반응기작은 Chl-A로 나타나 있는 조류가 중심이 되고 조류성장에 필요한 빛과 질소, 인 등 영양염류가 관련되어 있다.

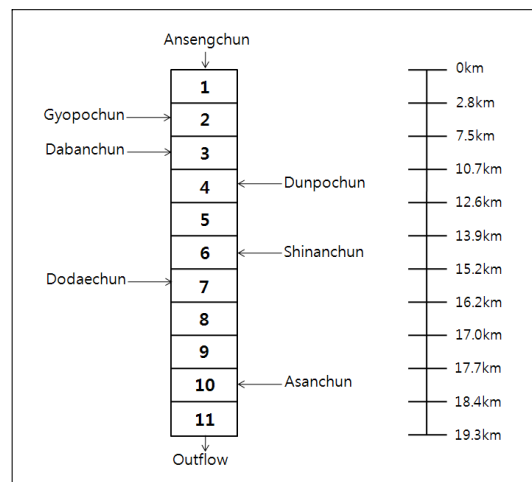
본 연구에서는 조류 및 영양염류의 상호관계를 다루는 EUTRO5를 적용하여 수질항목 간의 상호관계를 모의하였으며, 흐름은 모의하지 않고 수리수문 분석에 의한 장기유량 자료 및 유황 자료, 그리고 현장조사를 통하여 획득한 유량자료를 입력하였다.

3.1 모형의 구성

평택호의 수질모의를 위하여 1:25,000 지형도와 수치지도를 이용하여 모의 소구간을 구분하였으며, 그림 4에 분할 소구간의 지도와 모형의 모식도를 나타내었다.

대상지역인 평택호를 모의하기 위하여 호수의 유입부부터 방류부까지 수층에 11개 모의 소구간, 바닥의 저지층에 1개의 모의 소구간을 두어 수층의 유기물질이나 사멸된 조류 등이 침강하여 축적될 수 있도록 하였다.

흐름은 소구간 1로 본류인 안성천이 유입하며, 평택호 주변으로 6개 지류가 있으며, 소구간 2은 교포천, 소구간 3은 대반천, 소구간 4은 둔포천, 소구간 6은 신안천, 소구간 7은 도대천, 소구간 10은 아산천의 유입을 각각 받고, 소구간 11을 통하여 방류되는 것으로 하였다. 그림 2에서 수질측정 6개 지점 ST1, ST2, ST3, ST4, ST5, ST6은, 그림 4에서 모의 소구간 2, 3, 4, 6, 8, 11 구간 내에 각각 위치한다.



[그림 4] 평택호 모의 소구간 구분

구간별 체적은 양단면 평균법에 의하여 산정하였으며, 소구간 사이의 단면적은 수치지형도에서 지리정보프로그램인 ArcView를 이용하여 대상구간에 대하여 각 등고선 사이의 거리를 계산하였고, 이 값을 스프레드시트 프로그램을 이용하여 각각의 단면적을 산출하였다.

3.2 반응계수 산정

수리단면계수 (a, b, c 및 d)는 유속과 유량과의 관계에서 호수 내에서 유입부를 제외하고는 유속이 작으므로 유속에 관한 계수인 a를 매우 작은 값을 사용하였고, 지수인 b는 0으로 하였다. 수심과 유량과의 관계는 지수인 d를 0으로 하고 수심에 관한 계수인 c에 평균 수심 값을 입력하였다.

WASP/EUTRO5 모형은 복잡도 6의 경우 수질항목이 8개가 요구되므로 측정되지 않은 유기질소와 유기인은 다음과 같이 산정하였다.

유기질소 = 총질소 - 무기성질소(암모니아+질산성질소+아질산성질소)

유기인 = 총인 - 용존반응성인

각 계수의 보정은 선행연구(서울시[12]; 황 등[13])에 근거하여 조류관련 계수를 우선으로 조정하여 Chl-a의 농도를 실측치와 계산치가 맞도록 하고, 그 다음으로는 질소, 인, DO, BOD의 순으로 조정하였다. 보정과정중 상위순서의 농도가 크게 벗어났을 경우나 혹은 상위 순위의 계수고정시 하위 순위의 농도를 보정할 수 없을 경우 다시 Chl-a 농도와 관련된 계수부터 조정하여 실측치와 계산치의 차이가 가장 작아질 때까지 반복하는 시행착오법을 사용하였다. 추정된 매개변수들의 값은 선행연구의 값과 비교하여 표 2에 나타내었다.

[표 2] 본 연구에 사용된 반응계수 및 타 연구 반응계수와 비교

| Const. Code | Manual ¹⁾ | 건교부 ²⁾ | 건교부 ³⁾ | 본연구 |
|-------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------|
| K1320C(11) | 0.09-0.13 | 0.09 | 0.10 | 0.10 |
| K1320T(12) | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| K140C(21) | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.09 |
| K140T(22) | 1.045 | 1.08 | 1.045 | 1.08 |
| K1C(41) | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.0 |
| K1T(42) | 1.069 | 1.06 | 1.068 | 1.068 |
| LGHTSW(43) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| CCHL(46) | 30.0 | 30.0 | 50.0 | 30.0 |
| IS1(47) | 200-750 | 350.0 | 350.0 | 350.0 |
| KMNG1(48) | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| KMPG1(49) | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.003 |
| K1RC(50) | 0.125 | 0.05 | 0.02 | 0.02 |

| | | | | |
|------------|-----------|-------|-------|-------|
| K1RT(51) | 1.045 | 1.045 | 1.045 | 1.045 |
| K1D(52) | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |
| PCRB(57) | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| NCRB(58) | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| KDC(71) | 0.16-0.21 | 0.04 | 0.01 | 0.153 |
| KDT(72) | 1.050 | 1.05 | 1.047 | 1.047 |
| OCR(81) | 2.6667 | 2.67 | 2.67 | 2.67 |
| K1013C(91) | 0.075 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| K1013T(92) | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| K58C(100) | 0.22 | 0.075 | 0.22 | 0.22 |
| K58T(101) | 1.08 | 1.047 | 1.08 | 1.05 |

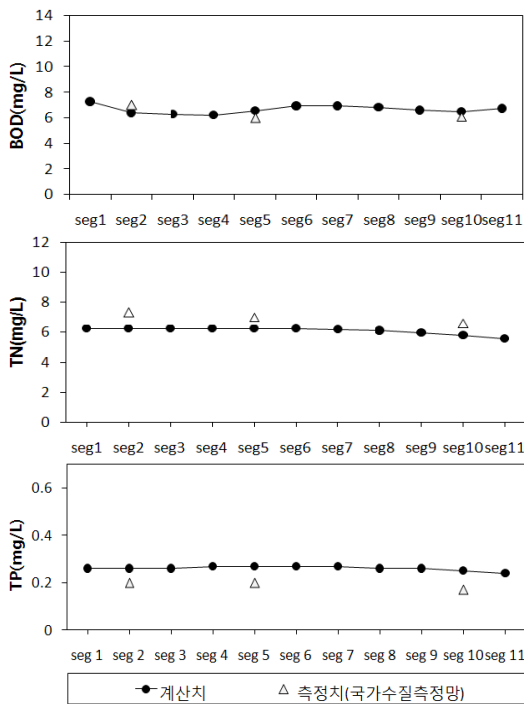
3.3 수질예측 결과

WASP/EUTRO5 모형을 이용하여 조류(Chl-a), 용존산소(DO), 암모니아(NH₃-N), 질산성질소(NO₃-N), 용존반응성인(PO₄-P), 생물화학적산소요구량(BOD), 유기인(Organic-P), 유기질소(Organic-N) 등 8개 수질항목에 대하여 시뮬레이션 하였다. 모델에 사용된 입력 수질자료는 최근 5년간의 국가수질예측망 호소수질자료와 실측치를 비교하여 사용하였다.

평택호 유입 전 수질농도는 모델에 가장 큰 영향을 미치게 되는 데, 유입하천 유량 및 수질조사 자료와 안정천 본류 수질조사 자료를 근거로 경계농도를 입력하였으며, 평택호 직유입 하천의 유량 및 수질농도는 매월 측정하였으며, 그 중에 평수량에 해당하는 3, 4월 농도를 평균하여 입력하였다.

수질모의는 2006년 현재 부하량 조건에 대하여 수행하였으며, 모델 수행 결과인 계산치를 측정치와 비교하여 그림 5에 나타내었다. BOD, T-N, T-P의 모델 계산치를 보정하기 위한 자료는 국가수질예측망(2006년 평택호)의 월평균 수질자료를 이용하였다. 모델 계산치는 평수량 조건에서 사용되었으며, 국가수질예측망 자료는 월평균 자료이므로 모델 계산치와 같은 조건을 반영하지는 않는다.

BOD 농도의 경우, 모델 계산치는 측정치를 잘 반영하는 것으로 나타났다. T-N의 경우 국가수질예측망 자료보다 계산치가 평균 1mg/L 낮아, 모델이 under-prediction 하는 것으로 나타났으며, T-P의 경우 국가수질예측망 자료보다 계산치가 평균 0.1mg/L로 높아, 모델이 over-prediction 하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 실제 측정된 T-P 농도는 편차가 있기는 하나, 계산치가 측정치(본연구)의 최소, 최대치 범위에 포함되는 것으로 나타났다.



[그림 5] 측정치와 계산치의 비교

3.4 대안별 수질변화 예측

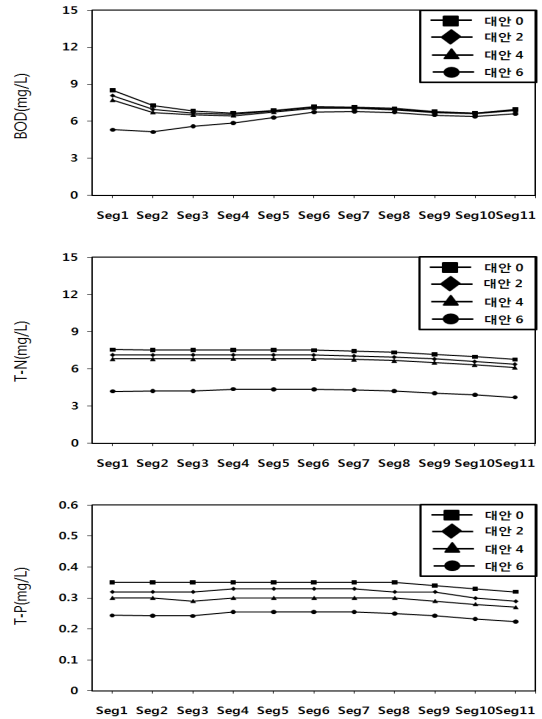
상류 유역의 부하량 삭감에 따른 평택호의 수질변화를 파악하기 위하여 다음과 같이 대안을 설정하였다.

- ① 대안 1 : 오산천 유역의 부하량을 30% 삭감한 경우
- ② 대안 2 : 황구지천 유역의 부하량을 30% 삭감한 경우
- ③ 대안 3 : 오산천 및 황구지천 유역의 부하량을 각각 30% 삭감한 경우
- ④ 대안 4 : 오산천, 황구지천, 진위천 유역의 부하량을 각각 30% 삭감한 경우
- ⑤ 대안 5 : 오산천, 황구지천, 진위천 및 안성천 유역의 부하량을 각각 30% 삭감한 경우
- ⑥ 대안 6 : 오산천, 황구지천, 진위천 및 안성천 유역의 부하량을 각각 30% 삭감과 진위천 합류 후부터 평택호 유입 전까지 비점오염원 유입을 차단한 경우

대안별 2011년, 2016년 및 2021년 부하량 조건에 대하여 호소 수질모의를 수행하였으며, 그 결과는 그림 6과 같다. 오염원별 자연적인 증감을 제외하고 현재의 조건이 지속되는 것으로 가정하였다.

2011년 경우, 대안 0, 대안 1, 대안 2, 대안 3, 대안 4,

대안 5, 대안 6에 대하여 호소 내 평균 BOD 농도는 각각 6.93, 6.86, 6.80, 6.73, 6.67, 6.11, 6.05 mg/L로 예측되었으며, T-N 농도는 각각 7.18, 6.67, 6.51, 6.35, 6.23, 4.91, 3.75 mg/L로 예측되었으며, T-P 농도는 각각 0.30, 0.29, 0.28, 0.26, 0.26, 0.21, 0.24 mg/L로 예측되었다.



[그림 6] 부하량 삭감에 따른 대안별 수질예측

이상의 결과 양식장 및 소규모 축산시설을 이주시켜 비점오염원의 유입을 차단한 경우인 대안 6가 호소의 수질농도를 낮추는 데 가장 크게 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 대안 6의 경우에도 국가수질측정망의 자료(최근 10년간 자료)를 토대로 BOD와 COD의 상관관계를 이용하여 호소내 BOD 농도를 COD로 환산한 결과 ($y=0.793x+4.947$) 2016년에 호소내 COD 농도가 9.74mg/L로 호소수질환경기준 약간나쁨(4등급, COD 8mg/L 이하)에도 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 2021년에도 유사한 경향을 나타내었다.

이에 본 연구에서는 호소 수질을 낮추는데 가장 크게 기여하는 것으로 나타난 대안 6에 대하여 추가 삭감을 하였을 경우 호소 수질의 개선 가능성 여부를 조사하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다. 그 결과 대안6에 부하량을 80%까지 추가 삭감하여도 호소의 수질은 COD 기준으로 2021년 9.56mg/L로 호소수질 환경기준 약간나쁨

(4등급, COD 8mg/L 이하)에도 못 미치는 것으로 나타나 삭감율을 증가시켜도 평택호의 수질이 거의 개선되지 않는 것으로 조사되었다.

이와 같이 부하량 삭감율을 증가시켜도 호소 수질이 개선되지 않는 이유로는 본 연구의 대상인 평택호의 경우 유입부부터 방조제까지 거리가 약 20km로 길고, 넓게 분포하고 있어 비점오염물질이 넓은 공간에서 지속적으로 유입되어 수질을 개선시키기가 어려우며, 호소의 저수량(총 저수량 : 112,170천m³)이 유입량에 비해 상당히 커서, 오염물질이 유입되었을 경우 희석효과도 기대하기 어렵다. 또한 하수종말처리시설에서 고도처리를 하여 BOD 농도를 5.0mg/L 수준으로 낮출 수는 있으나 유량을 줄일 수는 없으며, 이를 COD로 환산할 경우 약 8.9mg/L로 농업용수 수질기준인 4등급(약간나쁨)을 초과하게 된다.

따라서, 대안 6을 토대로 수질보전 대책을 수립하는 것이 가장 현실적인 대안으로 판단되며, 부하량을 추가로 삭감하여도 호소의 수질개선 효과는 미미하며 경제적인 측면에서도 적합하지 않은 것으로 판단된다. 또한 평택호의 수질은 수원관리의 목적이 아닌 관개용수로의 농업용수 기준에 대해서 차후 검토가 되어야 할 것으로 판단된다.

[표 3] 대안별 평택호 수질개선 효과 분석
(단위 : mg/L)

| 년도 | 삭감방안 | 안성천발단 (BOD) | 평택호 (BOD) | 평택호 (COD) |
|-------|---------|-------------|-----------|-----------|
| 2016년 | 대안0 | 9.57 | 7.04 | 8.51 |
| | 대안6 | 5.06 | 6.22 | 10.53 |
| | 40% 삭감시 | 4.34 | 6.10 | 8.88 |
| | 50% 삭감시 | 3.62 | 6.02 | 8.79 |
| | 60% 삭감시 | 2.89 | 5.93 | 9.72 |
| 2021년 | 대안0 | 9.83 | 7.10 | 10.58 |
| | 대안6 | 5.26 | 6.18 | 9.85 |
| | 40% 삭감시 | 4.51 | 6.14 | 9.82 |
| | 50% 삭감시 | 3.76 | 6.06 | 9.75 |
| | 60% 삭감시 | 3.01 | 5.98 | 9.69 |

5. 결론

평택호 호소 내 수질 현황을 파악하기 위하여 수질조사를 수행하였으며, 상류 유역의 오염원 저감에 따른 호소의 수질개선 효과를 파악하기 위하여 WASP 모형을 적용하였으며, 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 호소 내 평균 부유물질 농도는 35.1 mg/L로 COD 농도는 14.5 mg/L로, 총질소 농도는 5.9mg/L로, 총인 농도는 0.35 mg/L로 측정된 수질항목이 모두 호소 수질 5등급이하로 평가되었다. 부영양화의 척도인 클로로필 농도는 상류인 호소 유입부(ST1)에서 35.3 mg/L이었으나, 하류로 가면서 점차적으로 낮아져 방조제 근처(ST6)에서 10.1 mg/L로 감소하는 것으로 조사되었다.
2. 상류 유역의 부하량 삭감에 따른 평택호의 수질변화를 파악하기 위하여 다양한 대안을 설정하였으며, 양식장 및 소규모 축산시설을 이주시켜 비점오염원의 유입을 차단한 경우인 대안 6가 다른 대안에 비하여 호소의 수질농도를 낮추는 데 크게 기여하는 것으로 나타났다.
3. 대안 6의 경우에도 2016년에 호소 내 COD 농도가 9.7 4mg/L로 호소수질환경기준 약간 나쁨(4등급, COD 8 mg/L 이하)에도 미치지 못하는 것으로 나타났다. 2021년에도 유사한 경향을 나타내었다.
4. 대안 6에 부하량을 추가로 삭감하여도 호소의 수질개선 효과는 미미하며 경제적인 측면에서도 적합하지 않은 것으로 판단되어, 평택호의 수질은 수원관리의 목적이 아닌 관개용수로의 농업용수 기준에 대해서 검토하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 신동석, 권순국, “WASP5모형을 적용한 복하천의 수질예측”, 한국환경농학회지, 16(3), pp.233-238, 1997.
- [2] 이길성, 팔당호 수질조사 및 평가 보고서, 1993.
- [3] 조홍연, 전경수, 이길성, 한광석, “WASP4 모형의 매개변수 추정”, 대한환경공학회지, 13(4), pp.177-188, 1993.
- [4] 정팔진, 고흥석, 현미희, 이은주, “WASP & WASP Builder을 이용한 농업용저수지 유역의 수질관리”, 한국물환경학회지, 20(5), pp.422-431, 2004.
- [5] 박영기, 최문술, 이장춘, “WASP5 모형에 의한 새만금호의 수질 매개변수 추정”, 22(4), 대한환경공학회지, pp.743-75, 2000.
- [6] 서동일, 최재훈, 이은형, 이혜근, “EUTRO5를 이용한 시화호 수질 모델 보정 및 검증”, 대한환경공학회지, 23(1), pp.131-139, 2001.
- [7] 신유리, 윤춘경, 전나정, 이한필, “WASP 모의를 이용한 하천 수계 중금속 위해성 평가 방법”, 한국물환경학회지, 26(4), pp.629-636, 2010.

- [8] APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 20th ed., Washington D.C. 1998.
- [9] 수질오염공정시험방법주해, 동화기술, 2001.
- [10] Di Toro, D.M., Fitzpatrick, J.J., and Thomann, R.V., Documentation for Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) and Model Verification Program, EPA/600/3-81-044, USEPA, 1981.
- [11] Ambrose, R.B. et al., WASP5 A Hydrodynamic and Water Quality Model, USEPA, 1991.
- [12] 서울시정개발연구원, 도시하천 수질관리 방안을 위한 연구, 1993.
- [13] 황병기, 신용배, 곽결호, “안양천 구간 내 오염하천 정화시설 도입에 따른 수질개선 효과 예측에 관한 연구”, 대한환경공학회지, 24(1), pp. 99-109, 2002.
- [14] 건설교통부, 용담다목적댐 건설사업 상수원보호구역 지정 보고서, 2002.
- [15] 건설교통부, 화북댐 건설사업 환경영향평가서, 2002.
- [16] 한강수계관리위원회, 평택호 수질개선대책 수립을 위한 연구용역 최종보고서, 2007.

황 병 기(Byung-Gi Hwang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (학사)
- 1990년 5월 : (미)Virginia Tech. (석사)
- 1995년 5월 : (미)U. of Virginia (박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 (교수)

<관심분야>

상수도(관부식모델링), 부식제어