

# WASP4 모형에 의한 팔당호 수질모델링 Water quality modeling using WASP4 model for Lake Paldang

조 홍 연<sup>1)</sup>, 이 길 성<sup>2)</sup>, 한 광 석<sup>3)</sup>  
Cho Hong Yeon, Lee Kil Seong, Han Kwang Seok

## 1. 서론 - 연구의 배경 및 내용

首都圏 一圓에 急増하는 生活用水 및 工業用水의 장래수요에 대처하기 위하여 현재 운영중인 首都圏系統 廣域上水道 1,2,3段階 및 工事中인 4段階에 이어 5段階 事業의 上水 取水地點을 選定하는데 있어서는 將來 用水需要를 充當할 만한 水量의 確保問題와 더불어 水質의 適定性 與否가 考慮되어야 한다. 현재 首都圏系統 廣域上水道 5段階 妥當性調査 및 基本計劃을 담당하고 있는 韓國綜合技術開發公社(KECC)에 의하여 選定된 上水取水 代案地點은 北漢江의 八堂댐 合流點 上流地點(No.1), 南漢江의 八堂댐 合流點 上流地點(No.2), 八堂댐과 既存의 3,4段階 取水場(八堂湖內) 中間地點(No.3) 및 八堂댐 下流(八堂大橋 直上流) 地點(No.4) 등 4개 地點이다(그림 1 참조). 八堂湖 주변의 取水 代案地點에 대한 水質現況은 기존의 測定資料로부터 把握할 수 있으나, 5段階 事業의 목표년도는 2001-2011년이기 때문에 未來에 대한 水質豫測이 取水地點의 최종 결정보다 선행되어야 한다. 將來水質 豫測을 위해서는 取水 代案地點 上流의 將來 汚染負荷量 및 流入流量에 대한 豫測뿐만 아니라, 下流 주요 地點의 將來水質을 적절하게 추정할 수 있는 水質 模型의 적용을 필요로 한다.

八堂湖의 水質에 影響을 미치는 범위는 八堂댐 下流를 제외한 漢江의 全流域으로서 漢江水系 全體에 대한 수질모델링을 필요로 한다. 따라서, 본 연구에서는 주요 취수 대안지점에서의 取水가 下流地域(기존 취수구 부근)에서의 水質에 어떠한 影響을 미치는가에 대한 豫測을 遂行하는 것을 주요 내용으로 한다. 八堂湖를 제외한 八堂댐 上流의 漢江水系 全體에 대한 QUAL2E 모형의 수질모델링을 통한 取水 代案地點에서의 將來水質의 豫測 결과(이길성 등, 1993)를 본 연구에서의 장래수질 입력자료, 즉 모형경계에서의 유입농도로 이용하였다.

八堂湖의 장래수질 예측을 위한 水質模型으로는 널리 사용되고 있는 WASP4(Ambrose et al., 1988) 모형을 적용하였다. 팔당호의 수질 측정자료를 이용하여 WASP4 모형의 보정(변수추정) 및 검증을 수행(조 홍연 등, 1993)하였으며 모형의 입력 매개변수는 선행 연구의 매개변수 추정치를 사용하였다. 將來水質 豫測은 계절별(봄, 여름, 가을)로 실시하였다. 그러나, 將來豫測에 관련된 可用資料에는 상당한 將來 不確實성이 內在되어 있을 것으로 思料되므로 汚染負荷量 및 取水計劃, 下水處理程度 등에 따른 將來水質의 豫測을 遂行하였다.

## 2. WASP4 모형의 구조

WASP4 模型은 DYNHYD4 模型, WASP4(좁은 의미의 WASP4) 模型으로 구성된다. DYNHYD4 는 대 상지역의 흐름장을 계산하는 模型이며, 좁은 의미의 WASP4 模型은 부프로그램 EUTRO4 와 결합되 면 EUTRO4 模型이 되고, 부프로그램 TOX14 와 결합하면 TOX14 模型이 되며, 부프로그램과의 결합 없이 독립적으로 사용할 경우는 保存性物質의 濃度豫測 模型이 된다. 일반적으로 사용되는 좁은 의미의 WASP4 模型은 EUTRO4 模型을 의미한다. EUTRO4 模型은 BOD, DO, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 유기 질소, 인산염 인, 유기 인, 藻類 등 주요 水質項目間의 反應을 고려한 濃度豫測 模型 이며, TOX14 模型은 化學物質, 특히 毒극물(toxicants)의 濃度を 豫測하는 模型이다. 본 연구에

- 1) 서울대학교 토목공학과 박사과정 수료
- 2) 서울대학교 토목공학과 교수
- 3) 한국종합기술개발공사 상하수도부 상무

서는 EUTRO4 모델을 이용하여 八堂湖의 水質項目別 濃度變化를 계산하고, 模型의 遂行을 위한 흐름 입력자료는 DYNHYD4 모델의 계산결과를 사용하였으며, TOXI4 모델은 수행하지 않았다.

## 2.1 DYNHYD4 模型(Hydrodynamics Model)

DYNHYD4 模型은 分岐된 계산격자망 또는 수로-구획(링크-노드식 연결형태) 계산격자망에 대하여 바람에 의한 응력, 마찰력, 중력의 영향을 고려한 1차원 연속방정식, 운동량방정식을 지배방정식으로 한다. 지배방정식은 식 (1), (2) 와 같으며, 링크(본 模型의 수로에 해당)에서는 운동량 방정식을 이용하여 유속과 유량을 계산하고, 노드(본 模型의 구획에 해당)에서는 연속방정식을 이용하여 수위를 계산한다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = a_g + a_f + a_w \quad (1)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \left(\frac{1}{B}\right) \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

여기서,  $U$ 는 흐름방향의 유속(m/sec),  $H$ 는 구획에서의 수위(m),  $B$ 는 구획을 연결하는 수로의 폭(m),  $Q$ 는 수로에서의 유량(m<sup>3</sup>/sec)이다. 또한,  $a_g$ 는 중력가속도항( $= -g \partial H / \partial x$ ),  $a_f$ 는 바닥마찰항( $= n^2 R^{-4.3} U |U|$ ),  $n$ 은 조도계수,  $R$ 은 동수반경),  $a_w$ 는 바람에 의한 응력항으로 본 연구에서는 무시하였다.

## 2.2 EUTRO4 模型(Basic Water Quality and Eutrophication Model)

본 模型은 좁은 의미의 WASP4 模型으로 湖沼, 저수지, 하천, 하구, 해안 등 여러 지역의 水質問題를 分析할 수 있는 區劃模型으로, 지배방정식은 흐름방향의 단면적에 대하여 적분된 1차원 질량보존방정식으로 식 (3)과 같다.

$$\frac{\partial (AC_i)}{\partial t} + \frac{\partial (AuCi)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( AE_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + AS_{L_i} + AS_{B_i} + AS_{K_i} \quad (3)$$

여기서,  $A$ 는 區劃境界의 단면적,  $C_i$ 는 區劃의  $i$ 번째에 해당하는 수질항목의 농도,  $u$  및  $E_x$ 는 각각 흐름방향의 평균유속, 擴散係數이다. 그리고  $S_{L_i}$ ,  $S_{B_i}$ ,  $S_{K_i}$ 는 각각 區劃의 특정지역에 직접적으로 負荷되는  $i$ 번째에 해당되는 수질항목의 汚染負荷率[點汚染源] 또는 전지역에 균일하게 負荷되는 汚染負荷率[非點汚染源], 境界區劃에서의 汚染物 負荷率, 反應에 의한 변화율이다. 지배방정식의 기본형태는 식 (3)과 같으며,  $S_{K_i}$ 를 수질항목별로 각각 다르게 구성하기 때문에 모의하고자 하는 수질항목의 갯수만큼 지배방정식이 구성되며, 각각의 수질항목에 해당되는 고유번호가 부여된다. 複雜度 4 의 경우, EUTRO4 模型의 지배방정식은 8 개로 구성되며, 각각은 模擬할 8 개 水質項目의 反應式을 포함하고 있다(조 흥연 등, 1993).

## 3. WASP4 모형의 入力資料

### 3.1 DYNHYD4 모형의 入力資料

#### 가. 流入流量, 取水量 및 水位

1986-1990년의 5년 月平均 資料(한국전력공사, 發電處, 1991)를 이용하였으며, 봄, 여름, 가을은 각각 3-5, 6-9, 10-11월의 資料를 平均한 값으로 계절별 流入流量으로 사용하였다. 取水量은 1986-1990년 平均取水量을 사용하였으며, 1996년, 2001년 水質豫測을 위한 將來 取水 代案地點 및 取水量은 取水計劃에 따른 단계별 取水量(표 1 참조)을 선택하였다. 1, 2, 3단계 取水口는 건설되어 가동중이며, 4단계 取水口는 1993년 말 완공계획으로 1996년 이전에는 가동할 계획이다. 5, 6단계 取水口는 각각 1996년 이전, 2001년 이전까지 건설하여 가동할 계획이다. 八堂댐의 水位는 1986-1990년 계절별 平均水位를 사용하였다. 1986년 이후의 資料를 사용한 이유는 충주댐 건설 전·후에 따라 八堂湖의 流入量 등 흐름의 특성이 많이 변화되었기 때문이며, 1986년 이후 현재까지의 平均의인 흐름양상이 將來에도 持續된다는 가정하에서 將來水質을 豫測하였다.

나. 將來 取水計劃에 따른 흐름 入力資料

DYNHYD4 模型의 遂行을 위한 유량 入力자료는 상류경계에서의 流入量과 하류경계에서의 水位 및 댐 放流量(댐 放流量은 八堂湖의 물수지분석으로 계산)이 필요하다. 將來 取水計劃別로 入力되는 유량은 표 2-4를 참조한다. 표 3-4의 5, 6단계 취수는 북한강 취수대안지점의 취수를 가정하였다. 총유입량이 팔당호 취수량과 팔당댐 방류량의 합과 다른 이유는 계절별로 八堂湖內의 증발강우량에 의한 손실 및 유입량때문으로 판단된다. 모형수행시에는 총 유입량에서 취수량을 減한 값을 팔당댐 방류량으로 사용하였다.

3.2 EUTRO4 模型의 入力資料

가. 模型의 係數 入力資料

계절별로 模型을 遂行하였으며, 수온은 호수내 平均溫度, 日射量 및 日照率은 八堂湖 周邊 測候所(서울, 수원, 춘천, 원주, 양평, 이천)의 평균값을 入力하였다. 模型의 媒介變數는 각 계절별(봄, 여름, 가을)로 推定한 媒介變數 값(조흥연 등, 1993)을 사용하였다. 즉, 모의하는 수질항목의 경계지점 농도와 흐름장 入力자료를 제외한 모든 入力자료는 모형의 보정과정에서 사용한 入力치와 동일하다.

나. 模型의 水質 入力資料

엽록소-a 농도를 제외한 7개 수질항목의 계절별 경계지점의 入力농도는 팔당호 상류 한강수계에 적용한 QUAL2E 모형의 결과(이길성 등, 1993)를 사용하였으며, 경안천 경계의 入力濃度(엽록소-a 농도 제외)는 1989년 각 수질항목의 濃度를 현 시점의 濃度로 가정하고, KECC(1992)에서 제시한 경안천 오염물 유출량의 증가비율을 이용하여 入力하였다. BOD 농도를 제외한 질소 및 인 계열의 농도변화는 하수처리 정도를 고려하지 않았으며, DO 농도는 1989년의 관측농도를 사용하였다. 엽록소-a의 농도(mg/m<sup>3</sup>)는 국립환경연구원(NIER)에서 측정한 1988-1990년의 계절별 평균농도를 사용하였다.

	북한강 경계(N1)	남한강 경계(S1)	경안천 경계(G1)
봄	6.76	8.97	49.90
여름	10.18	11.59	27.82
가을	9.19	9.47	8.51

4. 八堂湖의 將來水質 豫測結果

廣域上水道 5, 6단계 取水計劃에 따른 후보지별, 계절별, 하수처리정도를 조합한 모든 경우에 대하여 장래수질을 예측하였다. EUTRO4 模型의 遂行을 통하여 계산된 결과는 제 1, 2, 3 후보지이며, 제 4 후보지의 水質은 NIER(1989, 1990) 보고서 資料 중 팔당댐 기존 取水口 부근의 수질항목별 濃度와 팔당댐 직하류의 수질항목별 濃度(방류수 수질)比를 산정하여 계산하였다. BOD, DO 농도의 경우에는 1989, 1990년 자료를 사용하였으며, 엽록소-a 및 질소·인 계열농도의 경우에는 1990년 자료만을 사용하였다. 제 4 대안지점의 수질계산을 위한 比는 BOD, DO 농도의 경우 각각 1.062, 0.988 이며, 엽록소-a 및 질소·인 계열의 경우에는 각각 1.231, 1.056, 1.211 이다. 기존 취수구 부근의 장래 수질변화 및 수질항목별 장래 농도변화를 분석하기 위하여 그림 2-6을 제시하였으며, 그림에 제시된 case 1은 1990년 기준시점(관측농도); case 2-3은 1996년의 예측수질로 각각 5단계 미취수시, 취수시에 해당하며; case 4-6은 2001년의 예측수질로 각각 5-6단계 미취수시, 6단계 미취수시(5단계만 취수), 5-6단계 취수시에 해당한다. 또한 No.1-4는 각각 1-4 대안지점을 의미한다.

5. 將來水質 豫測結果의 分析

EUTRO4 模型에 의한 八堂湖內의 水質現況 및 將來水質 豫測結果의 分析된 내용은 다음과 같다. EUTRO4 模型에서 계산되는 지점은 分割區劃에만 局限되기 때문에 分析內容은 제 1, 2, 3 대안지점을 根幹으로 한다. 장래수질 예측결과의 변화양상은 대안지점별로 측정된 각 수질항목의

1990년 관측농도(NIER, 1990)를 기준으로 분석하였다. 제 1, 2 대안지점은 각각 L1, L2 지점의 1990년 계절별 평균농도이며, 제 3 대안지점은 W1, W2 지점의 공간평균값을 계절별로 평균한 농도이며, 제 4 대안지점은 E1 지점의 계절별 평균농도이다.

BOD 농도는 북한강 대안지점에서 취수를 할 경우 기존 취수구 부근의 농도가 약간 증가하는 경향(수질 악화)이 있으나 그 정도가 크지는 않으며(3% 미만), 하수를 50% 이상 처리할 경우 현재의 수질이 유지 또는 개선되는 것으로 판단된다. DO 농도의 경우에는 전반적으로 BOD 농도변화에 의한 경향을 반영(BOD 농도 증가의 경우, DO 농도의 감소)하고 있으나 그 변화폭은 0.10(mg/l) 정도로 하수처리여부 및 BOD 농도에 의한 영향보다는 재폭기(reaeration) 및 광합성[phytoplankton]에 의한 산소공급의 영향이 지배적인 것으로 판단된다.

총 인에 대한 총 질소의 비율은 약 20.0 정도의 값으로 팔당호의 경우 조류성장의 제한요소로 작용하는 영양염류는 인(Thomann and Mueller, 1987)으로 판단되며, 조류의 성장을 억제하기 위해서는 팔당호로 유입되는 인의 적절한 제거대책이 필요한 것으로 판단된다.

각 대안지점은 모두 汚染順位가 봄, 가을, 여름의 순으로 水質惡化가 봄에 제일 심하고, 여름에는 유입유량의 증가에 의한 稀釋作用으로 인하여 汚染度가 減少함을 알 수 있다. 또한, 각 대안지점별 水質은 제 2 대안지점(南漢江 유입지점)이 제일 汚染度가 심하며, 제 1 대안지점(北漢江 유입지점)이 가장 양호한 水質이고, 제 3 대안지점(팔당호 기존 취수구 부근)은 두 대안지점의 중간정도에 해당하는 水質이다. 汚染이 매우 심한 경안천의 影響은 경안천 유입수량이 八堂湖 총 유입량의 5.0 % 정도에 불과하기 때문에 경안천 유입구 부근을 제외한 지점, 즉 南北漢江 유입수와 경안천 유입수가 合流한 하류지점에서의 影響은 무시할 수 있다.

하수처리시의 그림 2(a)를 보면 제 1 대안지점의 BOD 농도가 가장 낮으며, 제 2 대안지점의 농도가 가장 높고, 제 3, 4 대안지점은 1, 2 대안지점의 중간정도의 농도이다. 1990년 봄철의 경우에는 수질이 매우 악화되어 있으나, 100 % 처리시에는 모든 대안지점의 농도가 1.0 mg/l 이하로 상수원수 1급의 수질을 유지하고 있다. 그러나, 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 미처리시에는 제 1 대안지점을 제외한 수질이 상수원수 1급에 못 미치며, 또한 제 1 대안지점의 오염도 증가율은 미미한 반면 제 2-4 대안지점은 오염도 증가율이 매우 큼을 알 수 있다. 즉, 제 2 대안지점은 하수처리정도가 장래 유입농도를 결정함을 알 수 있다. 여름, 가을의 경우(그림 2(c)-(f))에도 봄철의 경우와 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 계절적인 차이가 있기는 하지만 하수처리시에는 모든 대안지점이 상수원수 취수지점으로 타당한 것으로 판단된다. 미처리시에는 제 2 대안지점의 수질은 매우 악화되고, 제 3, 4 대안지점은 상수원수 2급정도의 수질을 유지하게 되고, 제 1 대안지점은 상수원수 1급의 수질을 유지하고 있음을 알 수 있다(호소 수질기준에는 BOD 농도에 따른 수질등급기준이 없기 때문에 하천에서의 등급기준, 즉 하천 수질기준을 사용하여 분석한 내용임).

DO 농도변화는 BOD 농도가 증가하면 그와 반대로 감소하게 되는 경향을 반영하고 있기는 하지만 그 변화 폭(0.1 mg/l 정도)이 계절적인 변화 폭(1.0-2.0 mg/l 정도)에 비하면 매우 작으며, 또한 호소 수질기준에 의하면 모든 경우에 대하여 상수원수 1급에 해당하기 때문에 계절별 분석만을 수행하였다. 그림 3을 보면 대안지점별로도 두드러진 차이가 없으며, 봄·가을에 비하여 여름철의 DO 농도가 낮음을 알 수 있다. 여름철의 DO 농도가 낮은 이유는, 다른 계절에 비하여 온도가 높기 때문에 상대적으로 재폭기에 의한 산소공급이 적은 것으로 판단된다(온도가 증가할 경우 포화 용존산소량은 감소; 재폭기에 의한 산소공급은 포화 용존산소량에 비례하기 때문에 포화 용존산소량이 감소하면 재폭기에 의한 산소공급이 감소).

그림 4는 하수처리 여부에 따른 염록소 a의 농도변화를 도시한 것으로 대안지점별 차이가 두드러지는 반면, case 별 변화는 미미한 것으로 판단된다. 이는 조류의 영양염류로 공급되는 질소 및 인의 case 별 변화율이 미미하기 때문으로 판단된다. 그림 5와 6을 보면 처리 미처리의 경우 총 인 및 총 질소의 변화가 작으며, 현재 및 장래 수질도 변화 폭이 작으며 대안지점별로만 오염도의 차이를 보이고 있다. 그러나, 총 인 및 총 질소 항목을 기준으로 볼 때, 모든 대안지점의 수질이 상수원수 3급에도 未達되기 때문에 총 인 및 총 질소의 유입억제 대책이 필요하다고 판단된다.

북한강 대안지점에서의 취수가 기존 취수구에 미치는 영향을 분석하기 위하여 1996 년, 2001

년의 농도변화 정도를 비교하였다. 북한강에서 취수를 할 경우 1996 년의 BOD 농도는 0.01 mg/l, 2001 년의 경우 0.02 - 0.04 mg/l 정도로 기존 취수구 부근의 수질이 악화되고 있음을 알 수 있다. 또한 DO 농도는 0.02 - 0.03 mg/l 정도, 총 인 및 총 질소는 각각 0.2 mg/l, 0.003 mg/l 정도 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉, 수질이 양호한 북한강에서 취수를 할 경우 기존 취수구 부근의 수질이 악화되는 경향을 보이고 있으나 악화정도는 무시할 만한 정도로 판단된다.

## 6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서 수행한 팔당호 수질모델링을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다. 북한강 대안 지점에서 취수를 할 경우 기존 취수구 부근의 수질이 수질 악화되는 경향을 보이고는 있으나 그 정도는 적음(BOD 농도의 경우 농도증가는 3.0% 미만)것으로 판단된다. 그리고, 총 인에 대한 총 질소의 비율은 약 20.0을 상회하는 정도의 값으로, 팔당호의 경우 조류성장의 제한요소로 작용하는 영양염류는 인(Thomann and Mueller, 1987)으로 판단된다. 또한, 총 인 및 총 질소의 농도는 대안지점별로만 차이를 보이고 있으나, 총 인 및 총 질소 항목을 기준으로 볼 때, 모든 대안지점의 수질이 상수원수 3급에도 未達되기 때문에 총 인 및 총 질소의 유입억제 대책이 필요하다고 판단된다. 향후 추가적으로 연구될 부분은 댐의 건설 및 운영계획, 준설계획 등 장래 팔당호 수질에 영향을 미치리라고 판단되는 주요 사업시행을 고려하여 장래수질을 예측하는 작업이 수행되어야 하며, 기본적으로 양질의 수질자료 구축이 선행되어야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 '수도권 광역상수도 5단계 타당성조사 및 기본계획 : 수질조사 및 평가과업'의 일환으로 수행되었으며, 연구수행에 재정적 지원 및 자료제공을 해주신 한국종합기술개발공사에 감사드립니다.

## 참고문헌

建設技術研究院(1989.12). 韓國水文資料 데이터베이스 및 韓國水文觀測所 一覽, 建設部.

國立環境研究院(1989.12). 八堂 上水源 保護 綜合對策에 관한 研究(2次年度), 附錄.

國立環境研究院(1990.12). 八堂 上水源 保護 綜合對策에 관한 研究(3次年度), 附錄.

氣象廳(1989). 氣象年譜.

氣象廳(1990). 氣象年譜.

이길성 등(1993.4). 수도권 광역상수도 5단계 타당성조사 및 기본 계획 : 팔당호 수질조사 및 평가, KECC 위탁연구, 서울대학교 토목공학과 수공학연구소.

조흥연, 이길성, 한광석(1993), WASP4 모형의 매개변수 추정 및 검증 - 팔당호를 중심으로 -, 제 35 회 수공학연구발표회(예정).

韓國電力公社, 發電處, 水力發電部(1991). 水力發電所 運用資料集(1971 - 1990 實績).

韓國綜合技術開發公社(1992.9). 首都圈 廣域上水道 5段階 妥當性 調査 및 基本計劃 中間報告, 未出版.

Ambrose Jr. R.B., Wool T.A., Connolly J.P. and Schanz R.W.(1988.1). WASP4, A Hydrodynamic and Water Quality Model Theory, [user's Manual], and Programmer's Guide, EPA, EPA/600/3-87/039.

Bowie G.L., Mills W.B., Porcella D.B., Campbell C.L., Pagenkopf J.R., Rupp G.L., Jonhson

K.M., Chan P.W.H. and Gherini S.A.(1985.6). Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling(2nd Ed.), Tetra Tech, EPA/600/3-85/040.

Brown L.C. and Barnwell T.O.(1987.5). The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual, EPA, EPA/600/3-87/007.

Thomann R.V. and Mueller J.A.(1987). Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper & Row, Chaps.6-7.

표 1 수도권 광역상수도 단계별 취수량

단 계	취수량 (ton/day)	취수량(m <sup>3</sup> /sec)
제 1 단계	1,200	13.89
제 2 단계	1,400	16.20
제 3 단계	1,330	15.39
제 4 단계	1,525	17.65
제 5 단계	2,500	28.94
제 6 단계	2,500	28.94

표 2. 장래수질 예측을 위한 유량(m<sup>3</sup>/sec) 및 수위(m)자료(제 1-4 단계 取水)

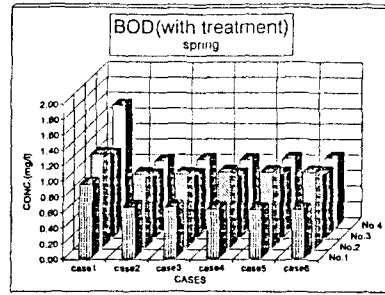
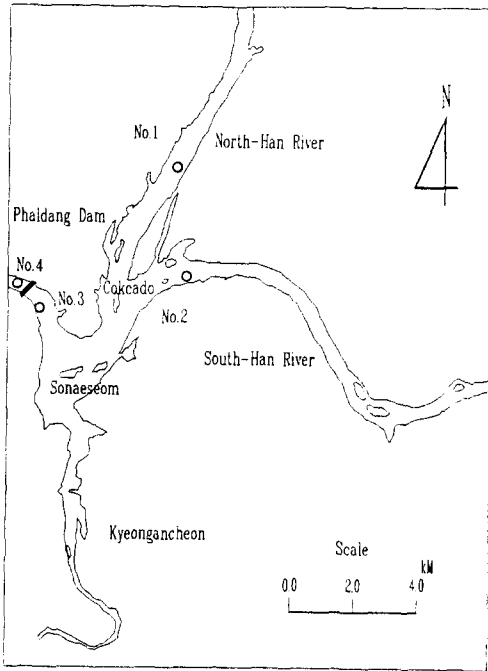
	봄	여름	가을
분류수	147.3	606.8	149.0
한강	184.6	777.1	149.8
남한강	5.9	42.1	9.8
계곡수	337.8	1426.0	308.6
제1단계	30.09	30.09	30.09
제2단계	33.04	33.04	33.04
제3단계	274.7	1362.9	245.5
제4단계	25.13	25.21	25.25

표 3. 장래수질 예측을 위한 유량(m<sup>3</sup>/sec) 및 수위(m)자료(제 1-5 단계 取水)

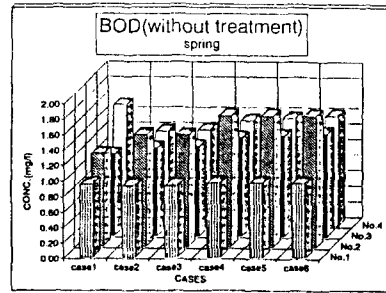
	봄	여름	가을
분류수	147.3	606.8	149.0
한강	184.6	777.1	149.8
남한강	5.9	42.1	9.8
계곡수	337.8	1426.0	308.6
제1단계	30.09	30.09	30.09
제2단계	33.04	33.04	33.04
제3단계	28.94	28.94	28.94
제4단계	245.7	1333.9	216.5
제5단계	25.13	25.21	25.25

표 4. 장래수질 예측을 위한 유량(m<sup>3</sup>/sec) 및 수위(m)자료(제 1-6 단계 取水)

	봄	여름	가을
분류수	147.3	606.8	149.0
한강	184.6	777.1	149.8
남한강	5.9	42.1	9.8
계곡수	337.8	1426.0	308.6
제1단계	30.09	30.09	30.09
제2단계	33.04	33.04	33.04
제3단계	57.87	57.87	57.87
제4단계	216.8	1305.0	187.7
제5단계	25.13	25.21	25.25

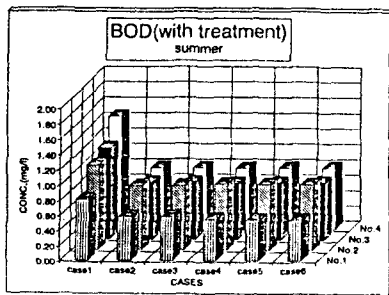


(a) 하수처리시(봄)

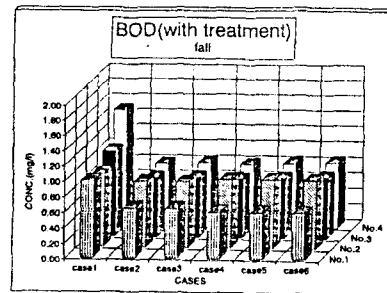


(b) 하수미처리시(봄)

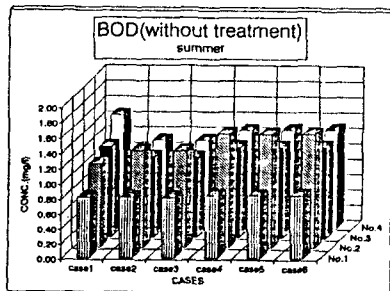
그림 1 광역상수도 5단계 취수대안지점 위치도



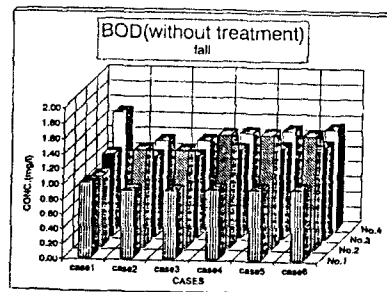
(c) 하수처리시(여름)



(e) 하수처리시(가을)



(d) 하수미처리시(여름)



(f) 하수미처리시(가을)

그림 2 대안지점별 장래 BOD 농도변화

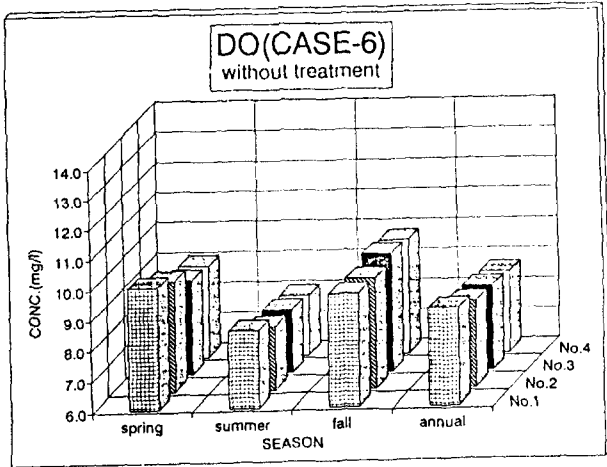
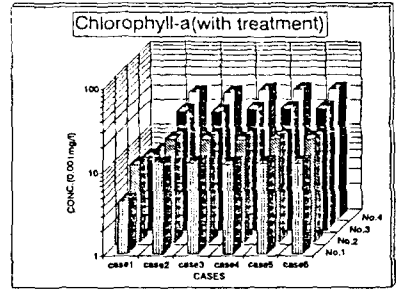
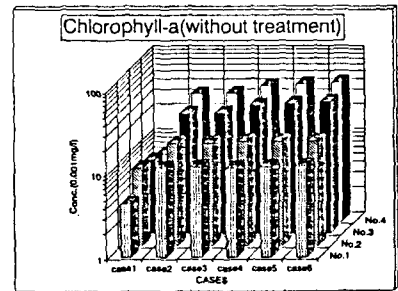


그림 3 대안지점별 DO 농도변화(CASE-6)

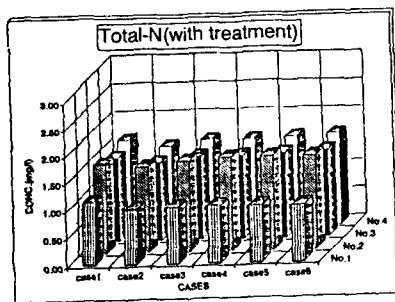


(a) 하수처리시(연평균)

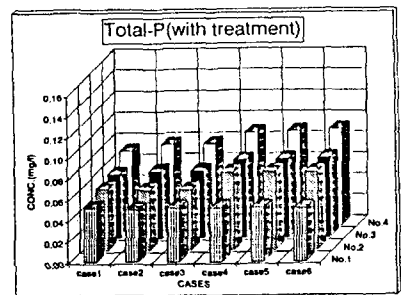


(b) 하수미처리시(연평균)

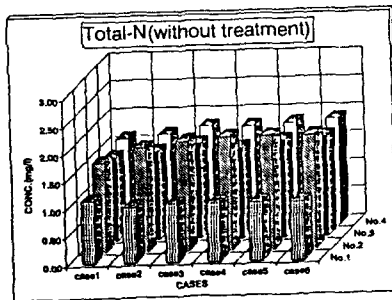
그림 4. 대안지점별 장래 엽록소-a 농도변화



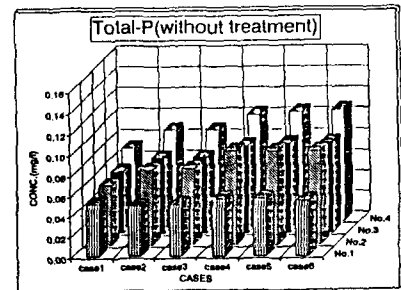
(a) 하수처리시(연평균)



(a) 하수처리시(연평균)



(b) 하수미처리시(연평균)



(b) 하수미처리시(연평균)

그림 5 대안지점별 장래 총 질소 농도변화

그림 6 대안지점별 장래 총 인 농도변화