

## 論 文

## 안양시 관내하천 수질모형 예측에 관한 연구

**A study on Mathematical Model for Water Quality Forecasting at Anyang stream**

김갑진\* · 이양규\*\*

Gab-Jin Kim\* · Yang-Kyoo Lee\*\*

**Abstract**

The Anyang stream is one of the Han river in Seoul Metropolitan area. It is 35.1km long, has a basin area of 282.26km<sup>2</sup> and touches seven cities of Kyounggido and some of Seoul Metropolitan area. The situations of Anyang stream have resulted in severe stream water pollution problems.

The purpose of this study were to measure the hydraulic characteristics and water quality, to make the countermeasures to achieve the stream water quality, to suggest the future conditions to improve water quality trough the Hydrodynamic and Water Quality Model(WASP4).

As the result of Anyang stream water quality forecast, they are follows. Sewerage systems in the watershed of the Anyang stream have to be amended for wrong system and constructed in the upstream area of Anyang. The discharge of industrial wastewater has to be thoroughly controlled from the upstream area of the Anyang stream. Hydrodynamic and Water Quality Model(WASP4) for this study revealed the future water quality of the Anyang stream by computer simulation.

**1. 서 론**

최근의 안양천은 전국최대의 오염하천으로 한 때 BOD가 200mg/l(1984년: 비산대교 밑) 이상까지 증가했던 적도 있었으며 그 외에도 Cr<sup>+6</sup>, Pb, Cd, CN 등과 같은 중금속 오염은

환경기준치의 10배이상을 초과한 적도 있었다. 그러나 최근의 조사에 의하면 BOD는 52.3~62.5mg/l(비산대교: 1993)로, 그리고 중금속의 대부분은 환경기준치 이하로 김출되고 있는 것으로 나타났다.

이러한 현상은 최근에 이르러서 환경에 대한 국민들의 각성과 정부차원의 환경 및 오염문제에 따른 대책의 결과로 볼수 있으나, 아직도 안양천은 생활하수 및 공장폐수 등의 오염물질로 인하여 회생이 어려운 하천으로, 도시의 공

\* 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

\*\* 대림전문대학 토목공학과 부교수

간으로서 수자원의 이용이나 친수(親水)공간 및 문화공간으로서의 역할을 할 수 없는 실정이다. 이러한 안양천을 살리는 것은 바로 생태학적인 도시를 건설하는 길이며, 수자원의 이용과 친수공간으로서 생태환경을 회복함으로써 도시민은 물론 후손들에게까지 물려줄 수 있는 환경자산을 확보하는 것이다.

위와같은 문제 의식에 따라 안양천을 본래의 하천으로서 역할을 하기 위한 노력의 일환으로, 안양시에 존재하는 안양천 등 관내 하천의 수질오염 실태를 조사분석하여, 이를 자료를 기초로 하여 장래의 수질예측을 실시하였다.

## 2. 실험방법

수질분석 방법으로는 BOD, COD, SS, T-N, T-P는 경기도 보건환경연구원에 의뢰하였으며, 수온 및 전기전도도, pH, DO, 탁도는 현장에서 온도계를 사용 3회 이상의 측정 후 평균치를 기록하였다. 안양천 지류의 합류 및 상류, 중류, 하류지점을 중심으로 총 33개 지점에서 채수하였고, 시료를 polyethylene 용기에 채수후 운반하였다. 수질조사는 매월 1회 실시하였고, 총 6회 실시하였다.

## 3. 안양천의 수질 분석

### 3.1 BOD

(Bio-Chemical Oxygen Demand)

측정기간에 안양천의 BOD의 평균값은

표 1. 수질의 분석항목 및 방법

분석 항목	기 계 령	분석 방법
수온	수온탁대 온도계	직접 측정
pH	632- pH meter	직접 측정
DO	DO meter 및 DO Bottle	직접 측정
BOD	BOD Incubator	20°C, 5일 (격정법)
SS	Glass Filter Apparatus	여과 펀란법
T-P	Kjeldahl Apparatus,	증류킬달법
T-N	Spectronic 20	염화제 1주석환원법

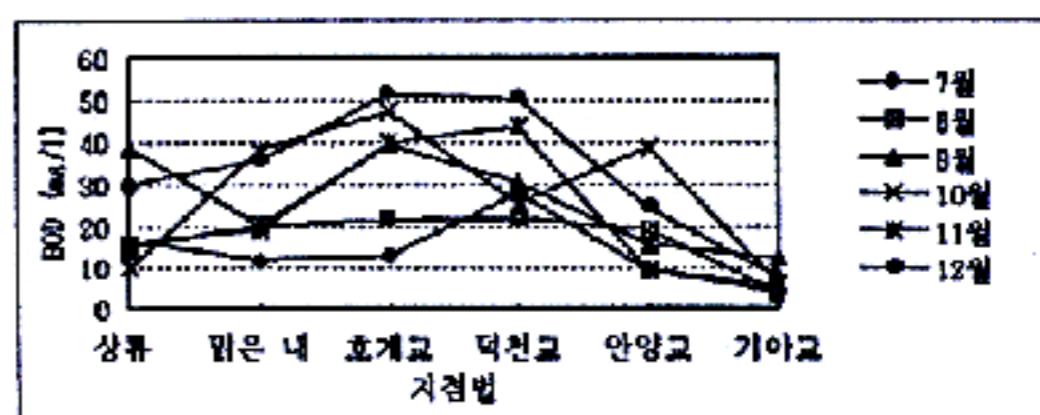


그림 1. 안양천 유역의 월별 BOD 변화

25.5mg/l로 최저 17.0mg/l에서 최고 36.4mg/l로 환경기준치 5급수 수질의 값인 10mg/l를 초과하고 있다. 특히 7월에 비해 8월 이, 11월에 비해 10월의 수치가 낮게 나타났는데 이는 우수기와의 관련이 외에도 맑은 내, 호계교, 덕천교, 안양대교의 수질이 월별 큰 차 이를 보이고 있기 때문이다.

각 지류별로 BOD의 수치를 보면 당정천, 산본천, 삼봉천, 삼막천의 수치가 높게 나타나 있는데 당정천의 경우는 주변의 공업지대에서 배출되는 폐수가 일정한 폐수시설을 거치지 않고 방류되고 있기 때문이며, 산본천, 삼봉천, 삼막천은 생활하수가 정화조나 하수처리장을 거치지 않고 방류되기 때문이다. 안양본천만을 대상으로 BOD의 수치를 월별로 표시하면 다음과 같다.

### 3.2 COD(Chemical Oxygen Demand)

안양본천의 COD는 그 평균이 18.9mg/l인데 최저 12.7mg/l(8월)에서 최고 24.2mg/l(12월)로서 갈수기에 접어들수록 점차 높은 농도를 나타내고 있다. 이러한 값은 환경기준치인 5급 수질을 초과하고 있으나 다른 수질의 지표에 비하여 비교적 양호한 값을 나타내고 있다. 특히 주변도시보다는 낮은 것으로 나타났다.

각 지점별로 보면, 덕천교가 평균 24.4mg/l로 가장 높게 나타난 반면 기아대교가 평균 10.7mg/l로 가장 낮은 수치를 나타내고 있다. 이러한 현상은 역시 BOD와 같이 하수종말 처리장의 영향과 자정작용에 의한 것으로 판단된다. 각 지류별 COD값(하류중심)을 보면 최저 7.1mg/l(왕곡천)에서 최고 33.6mg/l(당정천)

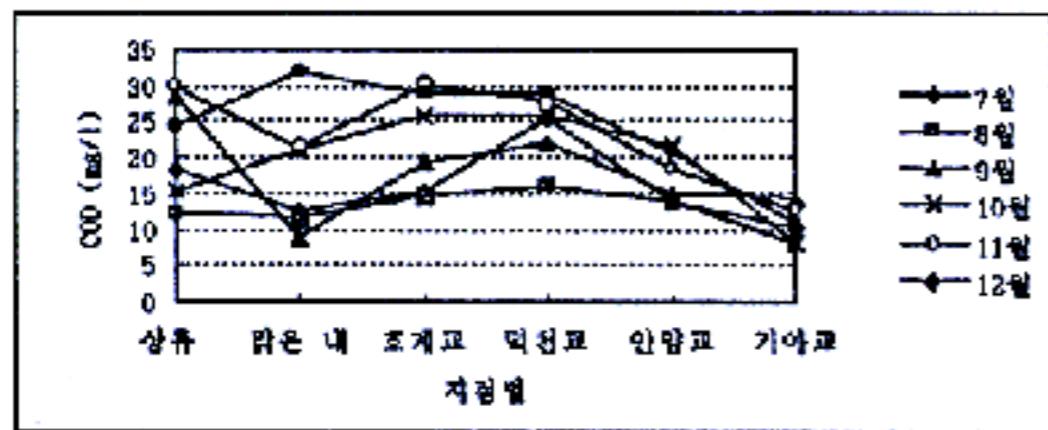


그림 2. 안양천 유역의 월별 COD 변화

도 역시 BOD와 유사한 형태를 보여주고 있다. 그러나 12월 가장 높은 수치를 보여주고 있는 삼막천(56.3mg/l)의 경우는 유량은 많지 않지만, 중·하류의 주거지와 상업 및 의료기관에서 방류되는 오수가 하수처리시설을 거치지 않고 하천으로 방류됨에 따른 현상으로 판단된다. 안양천의 월별 COD를 도식하면 다음 그림 2와 같다.

### 3.3 SS(Suspended Solids)

환경기준에 따른 SS의 기준은 1, 2, 3 급수인 경우는 25.0mg/l 이하이고, 4급수는 1000mg/l, 5급수는 쓰레기 등이 떠다니지 않을 정도이다. 안양천의 SS는 평균 23.8mg/l 정도로 3급수 이내의 수질을 유지하고 있으나, 12월의 호계교는 149.0mg/l으로 4급수 이하의 수질을 나타내고 있다. 이는 산본천 상류의 건축공사에 의한 일시적인 현상이라고 사료된다. 따라서 안양천의 SS는 비교적 양호한 값을 유지하고 있으며, 그림 3과 같다.

### 3.4 T-N (Total-Nitrogen)

시정개발연구원의 조사에 의하면 안양천의 T-N의 평균치는 16.7mg/l로 상류에 비해 하

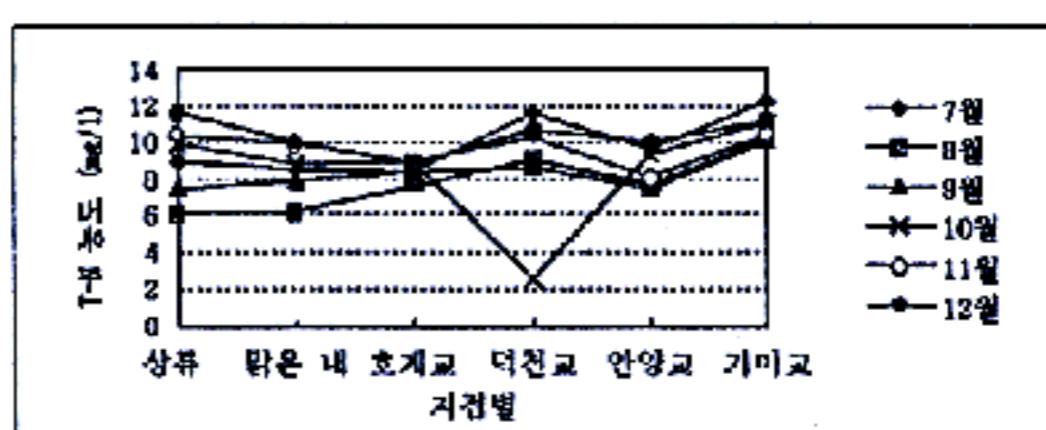


그림 4. 안양천 유역의 월별 T-N 농도변화

류의 수치가 높게 나타났는데, 그 원인은 미처리된 하수 및 활성 슬러지공법에 의해 처리되는 치과수는 질소의 세거효율이 낮기 때문인 것으로 보고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 본 조사에 의하면 안양천은 위의 자료와 유사하나 각 지류의 경우는 삼막천, 삼성천, 당정천 등이 높은 수치를 보여주고 있으며 특히 갈수기로 갈수록 그 수치가 높게 나타나고 있는 것을 알수 있다. 이러한 현상은 분뇨나 동물성 질소 화합물이 분해되면서 생성되는 것으로 상, 중류의 가축이나 음식물, 생활하수 등이 다량으로 방출되기 때문이다.

전체적으로 총질소의 검출량은 상류에서 기준치 이하이고, 중, 하류에서 5급수 수질인 0.15mg/l 이상의 높은 수치를 보이고 있어서 총질소의 제거대책이 강구되어야 할 것으로 사료된다.

### 3.5 T-P(Total-Phosphorus)

T-P인 질소와 함께 부영양화를 제어하는데 있어서 중요한 영양소의 성분이다. 수중생물은 인산염을 양분으로 하여 과대증식될 수 있어 수원지의 조류나 방선균의 발생원이 되기도 한다. 그 외에도 인산이온은 분뇨, 사체, 공장폐수 등으로 혼입되는 경우가 많아 수질오염의 지표가 되기도 한다.

선행조사에 의하면 안양천의 T-P 농도범위는 0.09~5.1mg/l로 한상 기준등급의 기준치인 0.03~0.06mg/l 이하의 10~40배 정도로 나타나 있다. 이렇게 T-P의 농도가 높게 나타나 있는 것은 서울시의 경우 하수의 차집관거 설치는 94%인데 비하여 안양지역은 75%에 지나지 않기 때문이며, 유량에 있어서도 많은 차이

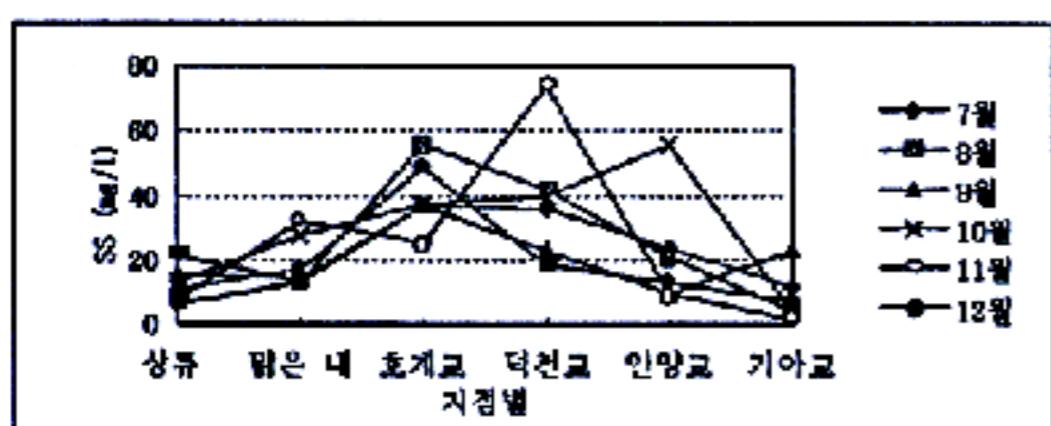


그림 3. 안양천 유역의 월별 SS 농도 변화

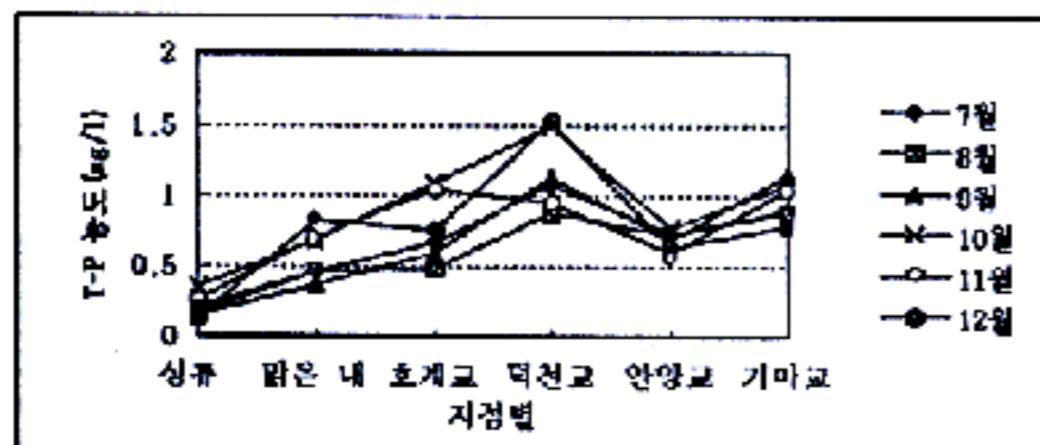


그림 5. 안양천 유역의 월별 T-P 농도변화

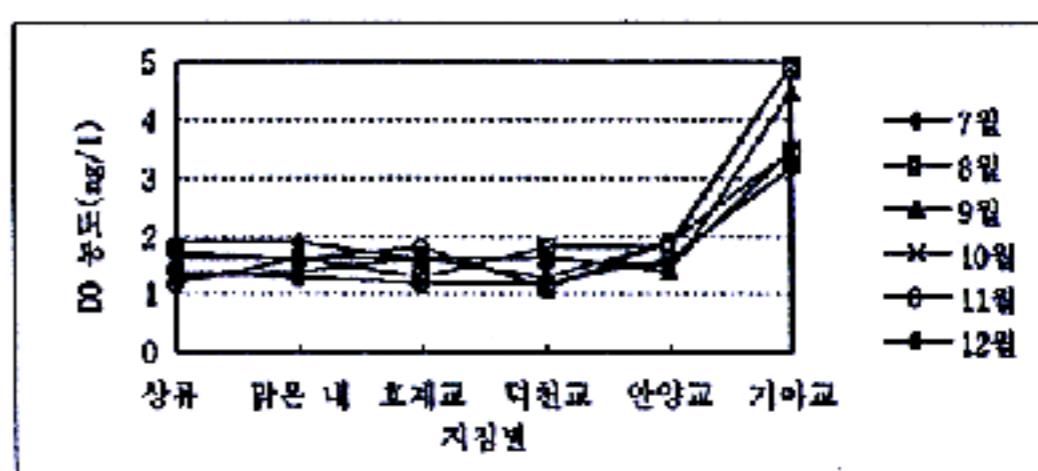


그림 6. 안양천 유역의 월별 DO 농도변화

를 보이고 있기 때문이라고 생각된다.

본 조사의 결과 T-P는 기아대교 ( $0.958\text{mg/l}$ )와 덕천교( $1.174\text{mg/l}$ ), 안양대교 ( $0.678\text{mg/l}$ ) 등에서 높게 나타나고 있다. 특히 덕천교의 경우는 T-P의 평균치가  $1\text{mg/l}$  이상으로 나타났는데 이는 안양천에 차집관서가 설치되었음에도 불구하고 주변의 오·폐수가 하수관을 통해서 유입되고 있음을 의미하는 것이다.

지류의 경우 당정천( $1.510\text{mg/l}$ ), 삼성천 ( $1.139\text{mg/l}$ ), 수암천( $1.094\text{mg/l}$ ) 등에서 높게 나타나 있는데, 당정천은 상류에서부터 오염된 하수가 공장폐수와 혼입되어 안양천으로 직접 유입되고 있기 때문에, 삼성천이나 수암천 등은 차집되지 않은 생활하수의 유입에 의한 것이다. 그러나 지류별로 중상류의 경우는 2급 수 수질의 오염도( $0.03$  이하)를 나타내고 있어 아직도 안양천 상류의 수질은 비오염지역임을 알 수 있다.

### 3.6 DO(Dissolved Oxygen)

DO 농도는 기아대교 외에 평균  $2.0$  이하로 5급수 이하의 DO 농도를 나타내고 있다. 이러한 DO의 농도는 월별로 큰 차이는 없었다. 지류별 DO농도 역시 상, 중, 하류에 따라서 큰 차이를 나타내고 있는데 일반적으로 상류는  $5\text{mg/l}$  이상의 농도로 2급수의 수질을 유지하고 있으나 중류에는  $2\sim 3\text{mg/l}$ 로 4, 5급수의 수질을 그리고 하류는  $1\text{mg/l}$  이하의 낮은 DO 농도를 보이고 있다. 따라서 DO 농도를 기준으로 한 안양천의 수질은 수림으로 구성된 녹지는 양호한 DO 농도를 보이고 있으나 주거지, 생

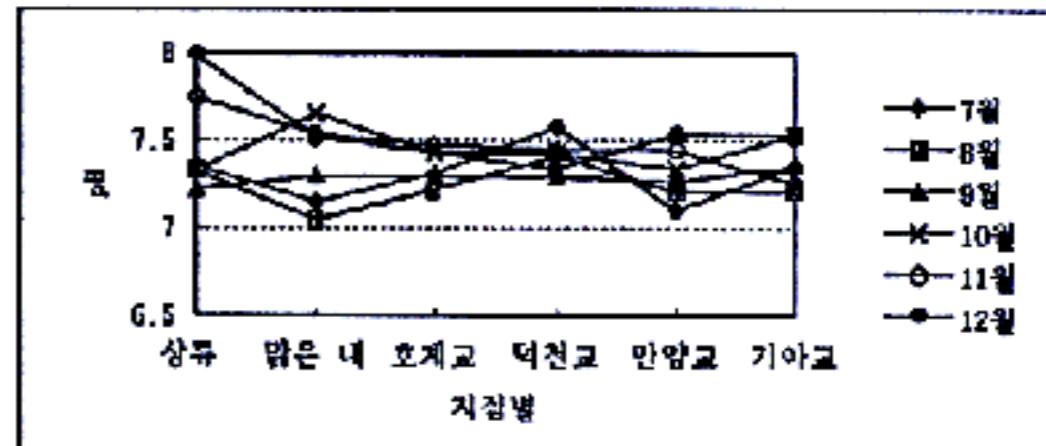


그림 7. 안양천 유역의 월별 pH 변화

산농지, 공업용지와 관련이 있는 지역의 하천은 대부분이 낮은 DO 농도를 보이고 있어 수생생물의 서식이 불가능하다.

### 3.7 pH(Hydrogen ion exponent)

안양천 및 지류를 중심으로 pH를 조사한 결과 평균  $7.15$ 로 약알카리성으로 나타났다. 특히 덕천교와 학의천, 수암천 등의 하류는 평균 이상의 수치를 보이고 있어 장마에도 불구하고 상한 알카리성의 수질을 나타내었는데 비해 삼박천이나 삼성천의 경우는  $6.00$  이하의 산성을 보이고 있어 큰 차이가 있지만, 대체적으로 안양천의 pH는 환경기준치인  $6.5\sim 8.5$ 를 만족시키고 있다.

### 3.8 전기 전도도(electric conductivity)

전기 전도도는 수중에 포함된 전해질의 총량을 말하는 것으로, 수중에 녹아있는 모든 물질의 총량을 결정하는 데는 적합한 항목이 되지 못한다. 그러나 유출수(runoff water)의 확립, 조성의 결정, 오염지대의 확정, 및 영향권을 결정하는데에 중요한 지표로서 사용될 수 있기 때문에 널리 활용되고 있다. 일반적으로 전기

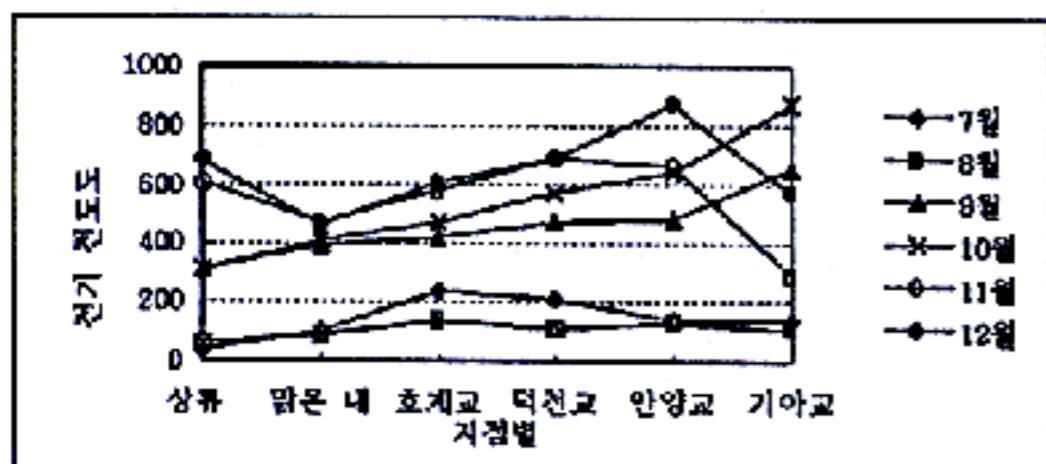


그림 8. 안양천 유역의 월별 전기 전도도

전도도의 값이 높게 나타나는 것은 그 수중에 오염물질이 많다는 것을 의미한다. 전기 전도도는 생활하수나 공장폐수 등의 유입시 더욱 높게 나타난다.<sup>2)</sup>

금호강의 측정조사에 의하면 상류지역은  $96\sim 215 \mu\Omega/cm$ 이고, 하류 지역은  $351\sim 1,300 \mu\Omega/cm$ 로 나타났는데,<sup>3)</sup> 안양천 및 지류의 전기 전도도는 우수기에 비하여 갈수기의 값이 대부분 높게 나타나고 있어 다른 수질의 지표와 유사한 지표를 나타내고 있다. 그러나 당정천의 경우 평균  $1,505.833$ 로 다른 하천의 전기 전도도에 비해 대단히 높게 나타나 있다. 또한 상류는 대부분  $100^3$  이하의 값을 보이는데 비해 하류는  $200^3$  내외로 5급수 이하의 수질을 보이고 있다. 그러나 주변의 안산시의 하천이나 수원시, 금호강 등의 하천에 비하여 안양천 및 지류의 전기 전도도 값은 비교적 낮은 수치를 나타내고 있으며, 그림 8과 같다.

#### 4. 수질오염의 모형 및 예측

하천이나 호수의 수질 및 환경관리를 위한 예측 수단으로 수치모형이 많이 사용되고 있다. 현재 국내에 적용되고 있는 수질모형의 대부분은 외국에서 개발된 것이며, 이를 우리나라에서 적용할 경우에는 기존에 많이 사용되어 왔던 모형의 석합도와 모형이 갖는 한계, 그리고 모형수행에 필요한 변수 및 모형이 가정하는 공간성이 대상 수계를 어느 정도 반영하는가 등의 입력요인도 함께 고려하여 선택하여야 한다. 또한 모형의 적절한 사용을 위해서는 모

형 적용의 목적과 대상 수계의 활용가능한 수리수문 자료, 수질 및 오염원 자료 등을 고려하여 결정되어야 한다.

본 연구에서는 하천수질 모형의 선정과 주요 관심대상인 안양천의 현재 수질의 평가 및 장래 수질을 추정해 보고 수질을 회복시키기 위한 대안을 제시하고자 한다.

##### 4. 1 모형의 선정

하천 수질 관리대책 수립에 가장 기본적인 것은 현재 수질의 평가와 장래 하천 수질의 성화한 예측이다. 하천수질의 예측은 하천 자체에 여러 가지 복잡한 물리적, 화학적, 생물학적 과정을 거치기 때문에 보다 합리적이고 과학적인 방법을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 장래 수질 예측 방법으로 수치모형 (Mathematical Model)을 이용하여 컴퓨터에 의한 수질예측을 실시하였다. 본 연구에서 하천수질 모형은 하천수질의 중심이 되는 BOD, DO와 영양염류를 모의발생할 수 있고, 국내에 적용사례가 있는 미국 환경청(US EPA)에서 개발한 수질모형중 WASP4 모형을 안양천 수질 예측 모형으로 선정하였다.

국내에서는 하천모형으로서 QUAL2 E를 적용한 사례가 대부분이다. 그러나, 이 모형은 BOD, DO 등 수질의 도의발생시 오염원의 유입시 공간적 개념인 거리에 따른 영향만을 세시할 뿐, 연속적인 시간에 대한 수질변화를 고려할 수 없는 정적 모형(Steady-state Model)이다. 그리고 질소 및 인 등의 계산이 단순화되어 있어 그 정확도가 BOD, DO 등에 비하여 떨어지며 수질인자에 가장 큰 영향을 주는 유량 및 오염부하가 시간의 함수로 입력되지 않으므로 시간적인 변화를 추정하기 위해서는 수질 및 유량 입력자료를 바꾸어가며 매번 실행해야 하는 불편이 있다. 이 불편을 해소하기 위하여 대부분의 QUAL2E 모형 수행자들은 계설 또는 평균 자료 등을 입력하여 계산하고 이를 평균 대표값으로 제시하여 왔다. 그러나 우리나라는 중·소하천의 유량자료가 거의 전무한 상태이므로 위와같은 제약에도 불구하고

고 모형의 단순성 때문에 수질에 가장 큰 영향을 미치는 실측유량을 무시한 채, 몇몇의 수질관측자료와 수질관측과는 시간적으로 무관한 비유량이나 갈수량, 평수량 등의 추정된 유량자료로부터 장래의 수질양상을 개략적으로 추정하는데 QUAL2E를 무리하게 적용한 사례가 대부분이다. 그러므로 WASP 모형과 같이 방대한 자료의 입력(48개 구획 분할시 대략 1,000개의 입력라인)을 요구하는 동적 모형(Dynamic-state Model)을 적용하려면 수질, 수량, 기상 등의 자료가 동시에 연속 측정되어야 하므로 당시의 실정상 WASP모형의 적용이 용이하지 않았다고 판단된다.

WASP 모형은 본래 미국 Great Lake의 호수부영양화 평가모형으로 개발되었으나 수정·보완되면서 이류(Advection) 및 확산(Diffusion, Dispersion) 계수의 보정으로 이 모형을 하천에 적용한 사례가 자주 발표되었다. 그래서 본 연구에서는 QUAL2E 같은 정적 모형(Steady-state Model)이 갖는 시간적인 한계를 극복하고, 관심지점에서의 공간적 변화와 더불어 시간적인 변화를 동시에 모의발생할 목적으로 동적 모형(Dynamic-state Model)인 WASP4 모형을 선정하게 되었다.

조사결과 이미 1993년 서울시정개발연구원에서 안양천 중·하류 구간에 대하여 적용한 사례가 있었고, 그 밖에도 수질예측 모형으로서 WASP를 작용한 사례가 있다.

#### 4.2 WASP 모형의 개요<sup>4), 5)</sup>

WASP4 모형은 기본 물질수지 방정식을 1차원으로 고려한 유한차분법을 사용하여 수질인자의 값을 구한다. WASP 모형은 유체의 거동을 모의 발생하는 DYNHYD4와 수질항목 및 상호작용을 모의발생하는 WASP4로 구성되며, WASP4는 영양염류, BOD, DO 등 보편적인 수질을 분석하는 EUTRO4와 유기화합물, 중금속 등의 독성오염 문제를 다루는 TOXI4로 구성되어 있다.

WASP4 모형의 지배방정식은 수심방향, 폭방향으로 적분된 1차원 질량보존 방정식으로서

다음식과 같다.

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(UAC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(E_x A \frac{\partial C}{\partial x}) + AS_L + AS_B + AS_K$$

여기서 A는 분할된 구획을 연결하는 수로의 단면적, C는 분할된 구획의 수질항목 농도, U는 흐름방향의 유속,  $E_x$ 는 흐름방향의 확산계수,  $S_L$ ,  $S_B$ ,  $S_K$ 는 각각 정구획에 직접적으로 유입되는 오염부하율, 경계구역에서의 오염부하율, 반응에 의한 동적변화율이다. 이 지배방정식은 모의발생하고자 하는 수질항목의 수만큼 형성되며 복잡도 4이상의 경우, 8개로 구성되고 각각은 모의할 8개의 수질항목의 반응식을 포함한다. 표 2에서 보는 바와같이 복잡도 4이상은 8항목의 수질을 예측할 수 있으며 복잡도는 5는 비선형효과 및 탈질산화 과정을 포함하고, 복잡도 6은 저질에서 상호작용까지 포함하여 모의 발생한다. 반응상수는 표 3에 나타내었으며, 환경매개 변수 및 시간함수는 표 4에 각각 나타내었다.

계산격자망은 분할된 구획으로 구성되어 수평, 수직방향의 적절한 분할 및 배열, 연결을 이용하여 3차원 모형으로의 확장도 가능하다. 수직 분할 구획은 4개의 형, 즉 위로부터 1. 표수층, 1. 저수층, 3. 저번표층, 4. 저면저층을 갖는데, 이 중 1, 2는 수질에 해당하며, 3, 4는 하상퇴적물에 해당한다. 또한 (1) 표층수의 흐름, (2) 저면 퇴적물에서의 지하수 흐름, (3) 영양염류의 침전, (4) 퇴적, (5) 세균, (6) 강수 및 증발을 모의하는 6개의 운송장(flow fields)은 유체 및 영양염류의 이류와 확산을 모의하도록 하고 있다.

#### 4.3 WASP4 모형의 적용

수리모형의 근본 목표는 자료가 없는 대상구간에 대한 구간별 유량-유속, 유량-수심의 관계식을 만들어 이를 수질모형의 입력자료로 이용하기 위한 것이다. 물리적 모형인 모형실험과 수리학적 매개변수를 다양하게 조정하여 좀

표 2. WASP4 모형의 복잡도와 모의 발생 수질 항목

system No.	symbol	Name	Use in Complexity Level					
			1	2	3	4	5	6
1	NH <sub>3</sub> -N	Ammonia Nitrogen		○	○	○	○	○
2	NO <sub>3</sub> -N	Nitrate Nitrogen			○	○	○	○
3	PO <sub>4</sub> -P	Inorganic Phosphorus				○	○	○
4	CHL	Phytoplankton Carbon				○	○	○
5	CBOD	Carbonaceous BOD	○	○	○	○	○	○
6	DO	Dissolved Oxygen	○	○	○	○	○	○
7	ON	Organic Nitrogen			○	○	○	○
8	OP	Organic Phosphorus				○	○	○

Complexity Level	Explanation
1	Streeter-Phelps BOD-DO Eq. with SOD
2	Modified Streeter-Phelps Eq. with NBOD
3	Linear DO Balance with Nitrification
4	Simple (Linear) Eutrophication
5	Intermediate (Nonlinear) Eutrophication
6	Intermediate Eutrophication with Benthos

표 3. WASP4 모형의 반응상수 코드 및 정의(일부 예)

ISC	CONST	UNIT	DEFINITION
11	K1320C	day <sup>-1</sup>	nitrification rate at 20°C
12	K1320T	-	temperature coeff. for K20C
13	KNIT	mgO <sub>2</sub> /l	half-saturation const. for nitrification oxygen limitation
21	K140C	day <sup>-1</sup>	denitrification rate at 20°C
22	K140C	-	temperature coeff. for K20C
23	KNO3	mgO <sub>2</sub> /l	half-saturation const. for denitrification oxygen limitation
41	K1C	day <sup>-1</sup>	saturated growth rate of phytoplankton(max. specific growth rate at 20°C)
42	K1T	-	temperature coeff. for K1C

표 4. WASP4 모형의 환경매개변수 및 시간함수

Environmental Parameters			Time Functions		
ISC	Parameter	unit	ISC	Name(ISC)	unit
1	TMPSG(ISEG)	°C	1	TEP	°C
2	TMPFN(ISEG)	-	2	ITOT	langleys
3	KESG(ISEG)	m <sup>-1</sup>	3	F or FDAY	day
4	KEFN(ISEG)	-	4	WIND	m/sec
5	FNII4(ISEG)	mg/m <sup>2</sup> · day	KE(i)		m <sup>-1</sup>
6	FPO4(ISEG)	mg/m <sup>2</sup> · day	6	TFPII4	-
7	SODID	g/m <sup>2</sup> · day <sup>7</sup>		TFPO4	-

ISC = parameter numbers identifying parameter

ISEG = segment numbers for the parameter values

표 5. 안양천의 수리수문 계수

측정	a	b	c	d
기아 대교	0.174	0.483	0.151	0.388
안양시 환경사업소	0.216	0.411	0.224	0.388
안양교	0.136	0.738	0.246	0.227
비산 대교	0.239	0.436	0.183	0.386
학의천 유입부	0.360	0.367	0.171	0.746
호계교	0.363	0.431	0.196	0.410

여기서,

$$V = aQ^b, D = cQ^d; V = \text{유속}, D = \text{수심}, Q = \text{유량}$$

더 용이하게 자료를 구득할 수 있게 하여준다.

그리나 본 연구에서는 1993년 2월부터 10월까지 서울시정개발연구원에서 월별로 측정한 유속, 수심, 유량 그리고 건교부(1983) 및 환경처(1987) 수리수문 자료를 참고하여 각각의 계수 a, b, c, d를 구하였기 때문에 별도로 DYNHYD4를 수행하지는 않았다. 측정된 자료로 부터 통계처리한 값은 표 5와 같다.

#### 4.4 수질모형 수행

하천수질은 유입되는 유량 및 오염부하량에 크게 좌우되므로 본 연구에서는 1995년 7월부터 11월까지 5회에 걸쳐 30일 정도의 간격으로 안양천 본류 및 지류의 32개 시점에서 BOD, DO, N, P 등의 주요 수질항목 및 수온 등을 측정하였다. 모형수행을 위한 기타 수리수문 입력자료는 "안양천 유역 종합지수 대책 조사보고서"(건설부, 1983), "안양천 하천정화 기본계획 보고서"(환경처, 1987)와 "기상월보"(기상청, 1983~1993), "The Study on River Environment Improvement" (JICA, 1992), "도시하천 수질관리 방안을 위한 연구"(서울시 정개발연구원, 1993) 등을 인용·참조하였다. 모형의 보정은 실측된 자료를 기준으로 컴퓨터를 이용한 수질 모형의 결과와의 차이가 최소화 되도록 시행착오법(Trial-Error Method)을 통하여 수행하였다.

##### (1) 모형의 구성

WASP4 모형을 이용하여 안양천의 수질을 예측하기 위해 가장 우선이 되는 입력자료는



그림 9. 안양시 구역내 WASP 모형의 안양천 모식도

분할된 구획자료이다. 상류경계는 동미천 유입부, 중간유입으로 완곡천, 오전천, 당정·산본천, 수암천, 삼막·삼성천, 삼봉천, 안양시 환경사업소 빙류수의 8개소와 하류경계는 기아대교로 하여 하천 22km 구간에 대하여 적용하였다. 계산격자망은 분할된 구획으로 구성되며 수평분할 구획은 4개의 형을 가지나 본 연구에서는 그림 9와 같이 시형을 고려하여 하천을 따라 평균 1,000m의 구획으로 수직분할 하였다.

그리고 6개의 운송장(flow fields) 중 본 연구에서는 경계조건 자료의 제약으로 첫 번째 운송장인 지표수의 흐름을 고려하였으며 자료의 가용성을 고려하여 복잡도는 4를 선택하였다. 다만, COMMON BLOCK의 경계조건의 수, 분할구획의 수, 점오염원의 수 등의 수정과 부프로그램인 SUBROUTINE WASPB에 화면출력을 수정하여 MS-FORTRAN Version 5.0으로 다시 Compile하고, Link하여 실행하였고 독성물질을 모의발생하는 TOXI4를 별도로 수행하지는 않았다.

## (2) WASP4 모형의 입력자료

## ① 모형수행을 위한 기본 입력자료

- 모형수행의 형태 및 입출력 세어

## ② 분할구획 및 구획연결의 입력자료

- 단면적, 특성질이, 분산계수, 구획번호 및 부피, 수리학적 계수

## ③ 운송장에 관련된 입력자료

- 유량 및 흐름에 관한 입력

## ④ 경계조건 및 오염부하량에 관한 입력자료

- 경계구획에서의 수질항목의 농도와 오염부하량

## ⑤ 모형의 환경매개변수 및 반응상수와 시간 합수

## ⑥ 수질항목의 초기조건 및 용존율 자료

## (3) 모형의 보정

모형의 보정을 위한 입력자료는 1995년 7부

터 11월까지 실측한 자료를 이용하였으며 BOD는 1995년 발생오염부하량에 실측농도와 유량으로부터 계산한 유달율을 곱하여 산정한 BOD 유입부하량을 입력하였다. 그리고 복잡도 4의 경우 수질항목이 8개가 요구되므로 측정하지 않은 유기질소, 암모니아성 질소, 질산성 질소, 유기인, 용존반응성 인의 농도는 서울시 정개발연구원(1993)의 측정자료를 이용하여, 총질소(TN), 총인(TP)에 대한 질소 및 인 항목들의 평균비율을 곱하여 입력하였다.

수리학적 보정 매개변수인 확산계수 (Dispersion Coefficient)는 유속에 따라  $10^{-10} \sim 5 \times 10^2$ 의 범위를 가지지만 하천과 같이 이류(移流, Advection)가 크면 확산계수 값이 증가하여 수질항목에 미치는 영향이 증가하고 지점별로도 다른 값을 가질 것이지만 안정된

표 6. WASP4 모형에 사용된 반응계수의 비교

Const. Code	Manual <sup>6)</sup>	선 <sup>4)</sup>	유 <sup>7)</sup>	서울시정 <sup>1)</sup>	본연구
K1820C(11)	0.09-0.13	0.09	0.01	0.001	0.001
K1320T(12)	1.08	1.035	1.08	1.08	1.08
KNIT(13)	2.0	2.0	2.0	2.00	2.00
K140C(21)	0.09	0.01	0.05	0.92	0.09
K140T(22)	1.045	1.08	1.08	1.08	1.045
KN03(23)	0.1	0.10	0.20	0.25	0.10
K1C(41)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
K1T(42)	1.069	1.068	1.06	1.07	1.07
CCHL(46)	30.0	30.0	25.0	25.0	30.0
IS1(47)	200-750	420.2	300.0	400.0	400.0
KMNG1(48)	0.025	0.02	0.08	0.025	0.025
KMPG1(49)	0.001	0.001	0.008	0.015	0.001
K1RC(50)	0.125	0.125	0.0005	0.0001	0.125
K1RT(51)	1.045	1.045	1.045	1.05	1.05
K1D(52)	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02
PCRB(57)	0.025	0.22	0.10	0.25	0.250
NCRB(58)	0.25	0.23	0.10	0.25	0.250
KDC(71)	0.16-0.21	0.14	0.15	0.039	0.05
DT(72)	1.050	1.04	1.05	1.04	1.04
OCRB(81)	2.6667	2.67	3.0	2.67	2.67
K2(82)	-			0.00006	0.00002
K1013C(91)	0.075	0.010	0.03	0.75	0.04
K1013T(92)	1.08	1.08	1.08	1.05	1.05
K58C(100)	0.22	0.22	0.04	0.44	0.02
K58T(101)	1.08	1.08	1.08	1.05	1.05

수치해를 얻기 위해서는 계산 시간간격을 미소하게 설정해야 하므로 컴퓨터 실행시간이 과다하게 요구되어  $1 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ 로 고정하였다.

각 계수의 보정은 먼저 Org-N, Org-P 관련 계수를 조정하여 실측농도와 계산치가 맞도록 한 다음, BOD, DO 순으로 보정하였으며, 보정과정 중 상위 순서의 농도가 크게 벗어날 때 또는 산위 순위의 계수 고정시 하위 순위의 농도를 보정할 수 없을 때 상위순서로 돌아가 관련계수를 조정하여 실측치와의 차이가 최소화될 때까지 반복하는 시행착오법을 사용하였다.

보정된 계수는 표 6에 나타내었으며, 보정결과는 그림 10에 나타내었다.

BOD 탈산소계수인 KDC는 0.05로서 타 연구보다 매우 적게 나타난 것은 BOD 분해가 거의 일어나지 않았거나, 모형의 구성시 고려하지 못한 소규모 시천 및 하수구로부터의 BOD 유입으로 분해가 되지 않은 것처럼 이 계수가 보정되었던 것으로 판단된다. DO 재포기계수인 K2는 유속이 평균  $0.3 \text{m/sec}$ 임에도 불구하고 0.00002로서 재포기량이 상당히 적은 것으로 보정되었다. 이것은 안양천의 자정계수  $f(K_2/K_{DC})$ 가 0.0004로서 1987년 환경부에서 계산한  $f = 19.9$ ,  $K_{DC} = 0.22$ ,  $K_2 = 4.4$ 에 비하여 큰 폭으로 감소된 것으로 보여 그동안 꾸준한 안양천 하천정화사업에도 불구하고 하천이 오염되어 하천에서의 자정작용은 큰 폭으로 일어나지 않고 있는 것으로 판단되어 JICA 보고서(1992)<sup>8)</sup>에서도 동일한 결론을 내린바 있다.

표 7을 보면 관측치와 계산치의 상관계수가 BOD는 0.744, DO는 0.928, T-N은 0.965, T-P는 0.912로서 이 모형이 비교적 정확히 모의발생하고 있으며, BOD는 유량에 따라 큰 폭으로 변화하므로 모형의 적용시 유량관측 자료의 정확도가 질실히 요구되었다. F 검정결과 99% 수준인  $F(1, 60, 0.01) = 7.08$ 보다 F 값이 모두 매우 크게 나타나 실측치와 계산치의 관계식을 신뢰할 수 있으며, 따라서 상관계수 만큼의 정확도로 모의발생하고 있는 것으로 나타났다.

#### 4.5 안양천의 장래 수질예측

수치모형을 이용한 장래수질의 예측시에는 모형이 하천의 자정능력을 정확하게 반영하고 있는지의 여부와 계산한 현재의 오염부하량, 하천 유량 등이 정확한 것인지의 여부가 확인되어야 한다. 그런데 보정결과 안양천에 WASP4 모형적용의 타당성이 인정되므로 장래

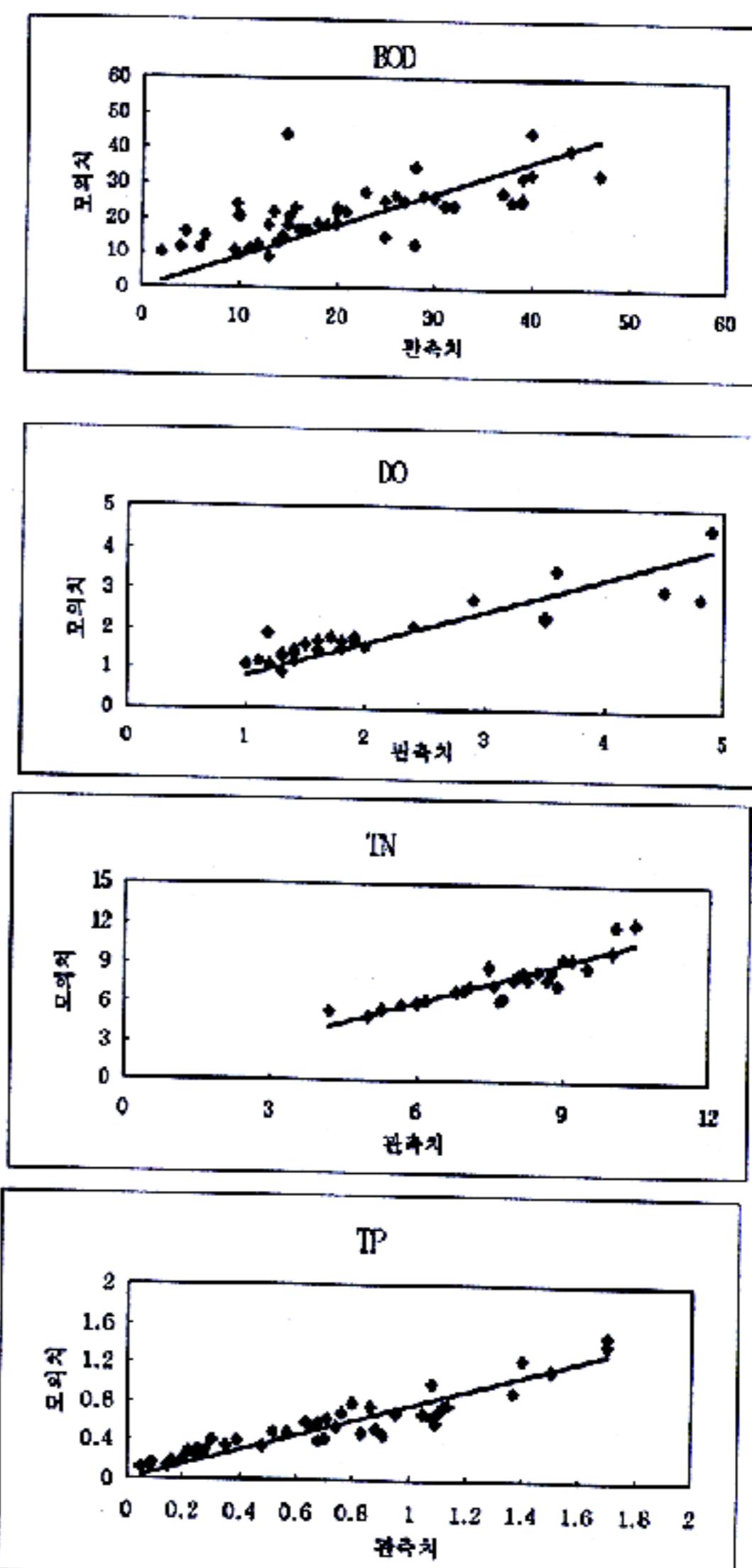


그림 10. BOD, DO, T-N, T-P의 보정결과

表 7. 관측치와 계산치의 관계 (보정결과)

수질 항목	관측-계산 관계식	상관 계수	F ratio
BOD	$Y = 0.925X$	0.744	171
DO	$Y = 0.818X$	0.928	754
T-N	$Y = 1.010X$	0.965	1628
T-P	$Y = 0.762X$	0.912	613

주) Y: 계산치, X: 관측치(60개 자료), 상관계수:  $R^2$   
 $F(1, 60, 0.01) = 7.08$ ,  $F(1, 60, 0.05) = 4.00$ ,  $F(1, 60, 0.1) = 2.79$

예측에 적용하여도 된다는 결론을 얻었다.

장래수질예측을 위한 입력자료로 상래인구, 공장, 가축, 토지이용 자료 등을 통제처리하고 원단위로부터 산정한 BOD 발생오염부하량을 입력하였다. 그리고 가축의 사육두수는 감소하지 않는 것으로 가정하여 축산폐수를 고정하였다. 농지로부터의 부하량은 장래에 줄이드는데, 이는 농지가 대지, 도로 등으로 전용되어 농지면적이 감소할 것을 예상하였다.

유하거리에 따른 농도특성을 보면, 오염발생량은 하수차집시설의 증설로 유달율이 감소되고 있으나 상류측에서 많이 유입되어 안양천의 수질을 93년에 비하여 크게 개선되지 않은 것으로 나타났다. BOD는 당정·산본천에서 가장 큰 부하를 보이는 것으로 나타났고, 갈수기인 겨울철에는 안양시 환경사업소가 실소 및 인의 증가에 직접적으로 기여하고 있는 것으로 나타났다. 그런데 장래 유달율은 차집의 증가로 감소될 것으로 예상되나 본 연구에서는 유달율 및 기타 조건을 현재상태로 고정하고 유출 오염부하량에 따른 모의 발생치를 현재와 장래 대하여 각각 입력하여 모의발생된 결과를 비교하였다.

유하거리에 따른 변화는 그림 11에서 보는 바와 같이 BOD는 상류지역인 당정·산본천지점에서 계산날짜와 관계없이 높게 나타났으며, 하류지역에서는 간수기에 안양시 환경사업소의 방류수가 10~20mg/l 정도 회색·감소시켜 안양천수질을 개선하는 효과를 나타내고 있다. DO는 하류로 갈수록 따라 BOD 등의 증가와 더불어 감소하다가 안양시 환경사업소의 방류수에

의하여 회색되어 1mg/l정도 개선되는 것으로 계산되었다. 그러나 T-N의 경우는 상류측에서는 중감의 변화가 적으나 안양시 환경사업소의 방류수에 의한 영향으로 기아대교 지점에서는 오히려 오염원으로 작용하는 것으로 나타났고, T-P는 산본천 유입후 급격히 증가하며 하류로 갈수록 서서히 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이것은 차집관거 시설이 갖추어지지 않은

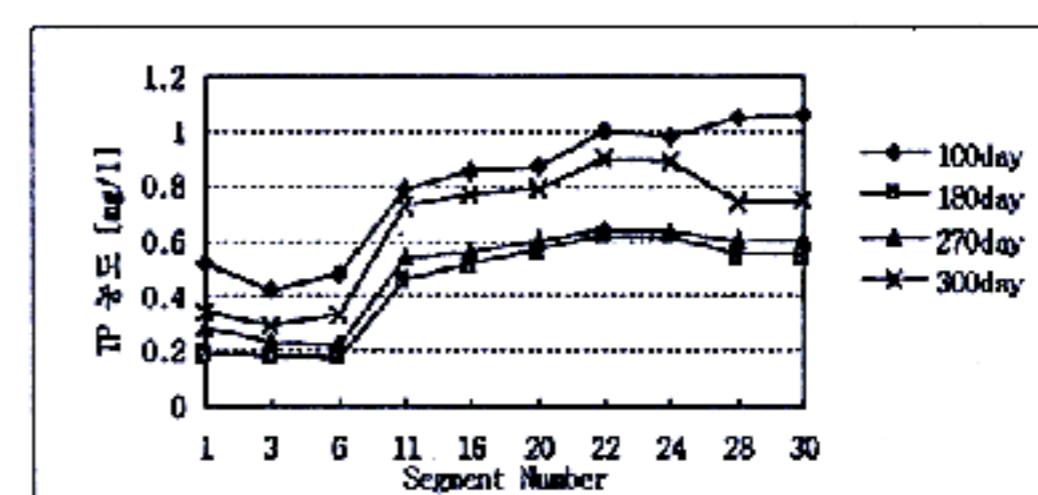
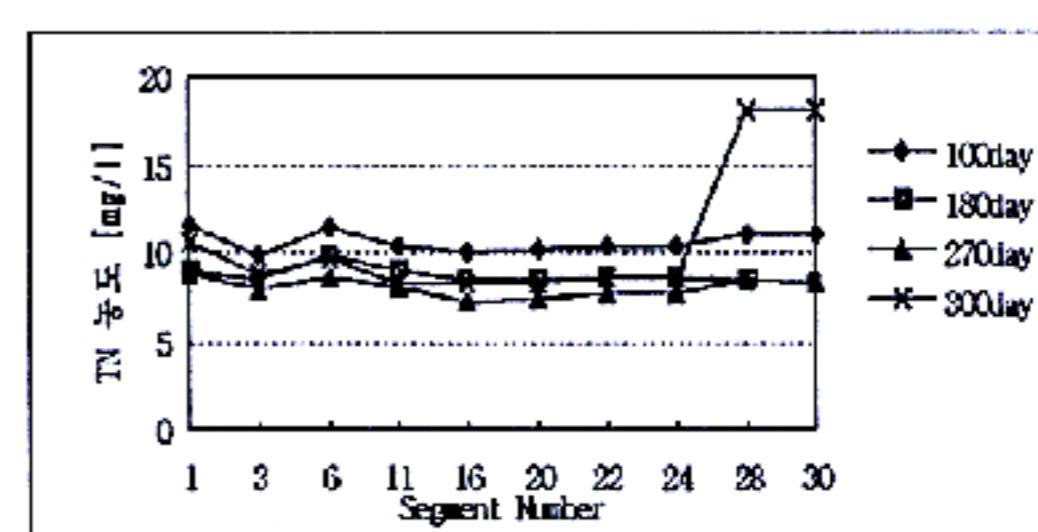
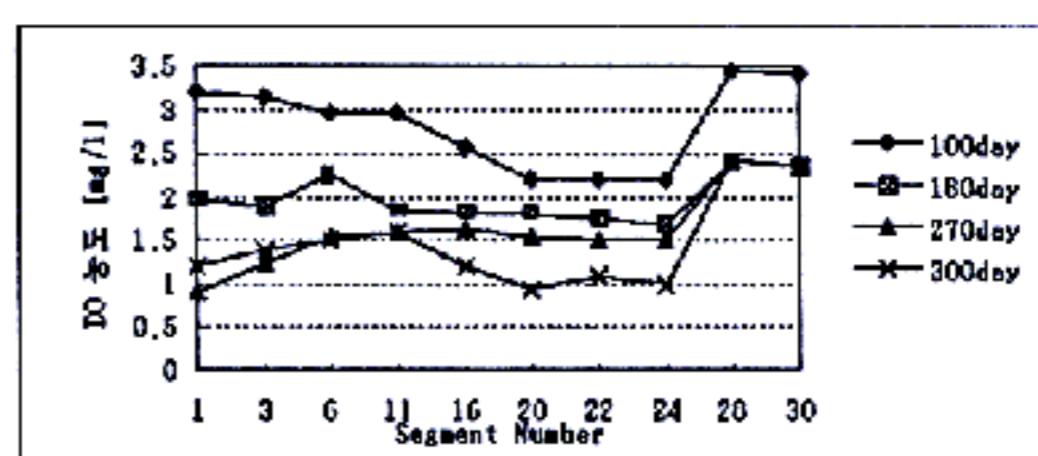
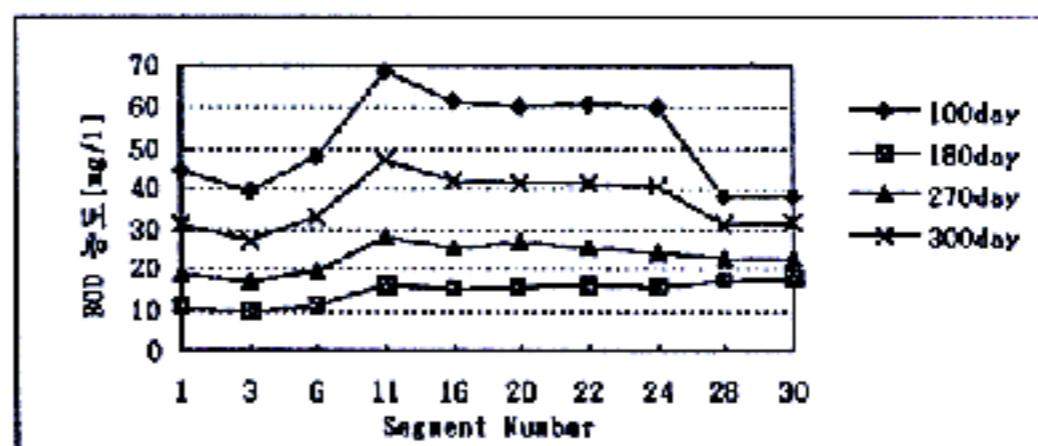


그림 11 유하거리에 따른 BOD, DO, T-N, T-P의 변화

곳에서 농경지 유출수·생활하수·영세사업장 폐수 등이 하천으로 유입하기 때문으로 판단된다.

T-N 및 T-P는 여름철의 경우 강우의 회석효과로 안양천 수중에 존재하는 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으나 DO의 경우는 여름철에 오히려 2mg/l로 나타나 강우유출과 함께 영양염이 유입되고 하천바닥에 퇴적된 유기물로 인한 자체 산소소비량의 증가와 수온의 증가로 용존 가능량이 줄어들기 때문으로 추정된다.

## 5. 결 론

본 연구의 목적은 안양천 등의 관내하천의 오염실대를 종합적으로 분석하고, 이 자료를 기초로 하여 WASP4라는 수질모형 프로그램으로 수질예측을 실시하여 안양천의 수질개선 및 하천환경 개선을 위해 수질보전에 이바지하고자 한다.

안양천은 우리나라 하천중에서 가장 오염이 심각한 하천중의 하나로서 1989년도 123.2mg/l(호계교)에서 1993년도 52.3mg/l, 그리고 1995년도 상반기 54.9mg/l에서 하반기에는 25.0mg/l으로 이듬해에는 42.3mg/l으로 다시 상승하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 수치는 측정위치 및 시간에 따라서 약간의 차이는 있지만 안양천의 수질은 점차 깨끗해지고 있다고 사료된다.

그러나 주변 도시지역 하천인 의정부시에서 한강으로 유입되는 중랑천(1995년 1월 19.8mg/l)이나 가장 오염도가 심한 내곡교 부근의 탄천수질(24.5mg/l), 부천시의 군포천 하류의 수질(39.2mg/l)에 비하여 상당히 오염된 수치를 나타내고 있다.

이렇게 안양천의 수질이 주변의 다른 도시하천에 비하여 오염도가 높은 요인은, 첫째로 상류지역인 군포시와 의왕시 하천으로부터 유입

되는 수질의 영향이며, 둘째로는 안양천에 차집관서가 설치되었음에도 불구하고 미차집 오수의 방류와 폐수 방류기준의 낮은 환경기준치 설정, 그리고 주변의 지류로부터 미차집된 하수가 안양천으로 유입됨에 따른 것이다. 그 외에도 지형적으로 안양천의 수량 및 유로언장이 다른 하천에 비하여 적고 짧은 것과 입지적으로 상류에 공업시설이 집중되어 있다는 것도 수질오염이 심한 원인이 되고 있다.

안양천의 수질오염을 저감시킬수 있는 대책으로는 먼저 미차집된 하·폐수를 친면적으로 차단하는 것(점오염에 따른 차집관거 설치)과 배출환경 기준치의 강화, 그리고 관민이 주체가 된 수질의 감시활동을 들 수 있으며, 다음으로 점차적인 하천환경의 회복(자연친)을 위한 투자가 지속적으로 이루어져 수생생물이 서식하고 친수공간으로써의 다목적적인 하천으로써 활용될 수 있는 방안이 강구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 서울시정개발연구원, 도시하천수질 관리방안을 위한 연구, 1993
2. 한국학술 진흥재단, 대도시 주변 하천수계의 수질과 토양오염에 관한 연구, 1993
3. 안양시, 안양천의 수생생물 조사, 1995
4. 신종우, 팔당호 수질에 대한 WASP4 모형의 적용성 검토, 서울대석사 논문, 1991
5. 신동석, 하천수질 모형의 비교분석에 관한 연구 (WASP4를 이용한 한강수질 평가), 서울대석사 논문, 1993
6. Ambrose R.B., et al, WASP4 User's Guide Manual, EPA, (1992)
7. 유명진 외, "팔당호수와 한강하류에 대한 수질모형의 적용", 서울시정연구원 1권 1호, (1993)
8. JICA: "The Study on River Environment Improvement for the Tributaries of Han River System", 1993