

## QUAL2E 모형을 이용한 영산강의 장래수질예측 연구

황대호 · 김현용 · 정효준 · 이흥근  
서울대학교 보건대학원

### A Study on Water Quality Prediction for the Yongsan River with QUAL2E Model

Dae-Ho Hwang · Hyun-Yong Kim · Hyo-Jun Jeong · Hong-Keun Lee  
*Graduate School of Public Health, Seoul National University*

#### Abstract

In order to establish water quality management planning in some watershed, water quality of the future of the watershed should be predicted first. The Yongsan river contains various pollutant sources ; sewage, industry, livestock, farming and so on. And pollutants from these sources are likely to increase even though a number of publicly owned treatment works(POTWs) are founded. Therefore, it is estimated that water quality of the river would be even worse than now in near future.

In this study, water quality of the future(2001, 2006) on the Yongsan river was simulated with QUAL2E model. Concentration of three water quality parameters(BOD, T-N, T-P) was predicted according to dry season, low flow season, average flow season of the river with and without POTWs. The results of this study showed the significant contrast in concentration between with and without POTWs, specially in terms of T-N and T-P. Therefore, POTWs must be founded around the Yongsan river and more advanced treatment should be considered. And because these parameters are mostly affected by pollutants from upper watershed, including Kwangjucheon, water quality management planning on the Yongsan river might be focused on this area.

Key words : water quality prediction, QUAL2E, the Yongsan river, publicly owned treatment works

#### I. 서 론

우리나라의 주요하천은 대도시와 공단지역 등을 접하는 경우가 많아 현재는 물론, 장래오염부하량의 증가가 수질에 미치는 영향은 지대할 것으로 예상된다. 특히, 국내 주요하천은, 하상계수가 300

~700정도의 매우 큰 값을 가지고 있어서 건기와 우기의 유출량의 차이가 크고 이로 인해 하천의 수질은 더욱 악화되고 있는 실정이다.<sup>1)</sup>

영산강은 우리나라 4대 하천 중 하상계수가 가장 크고, 광주광역시 등에서 유출되는 각종 오염물질로 인해, 현재의 수질이 매우 우려되는 수준에

이러어서 적절한 대책 마련이 시급한 실정이다. 또한, 영산강은 농어촌진흥공사(현 농업기반공사)가 수자원 확보와 간척농지 조성을 위해 강하구에 마련한 영산호에 가장 많은 영향을 끼치고 있는 것으로 나타나, 현재 부영양화상태에 이른 영산호의 수질관리를 위해서도 적절한 관리대책이 필요할 것으로 보인다.<sup>2)</sup>

어떤 유역을 대상으로 환경기초시설 설치 등 다양한 수질관리대책을 수립하기 위해서는 장래수질에 대한 정확한 예측이 선행되어야 한다. 장래수질에 대한 예측을 토대로 환경기초시설 설치 등 다양한 관리대책이 수립될 수 있기 때문이다. 본 연구에서는, 영산강 유역을 갈수기, 저수기, 평수기의

유형별로 구분하고 환경기초시설을 설치했을 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 2001년과 2006년의 BOD, T-N, T-P에 대한 예측을 수행하였다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 연구 대상지역

영산강은 본류의 유로연장이 136km로 한강, 금강, 낙동강 등 우리나라 4대 하천 중 가장 짧고, 유로연장이 197.1km인 직할하천 5개, 유로연장 46.2km인 지방하천 2개, 유로연장 1,228.9km인 준용하천 178개 등 총 185개의 하천으로 이루어져 있다. 유역면적도 3,371.3km<sup>2</sup>로 4대 하천 중 가장 작아

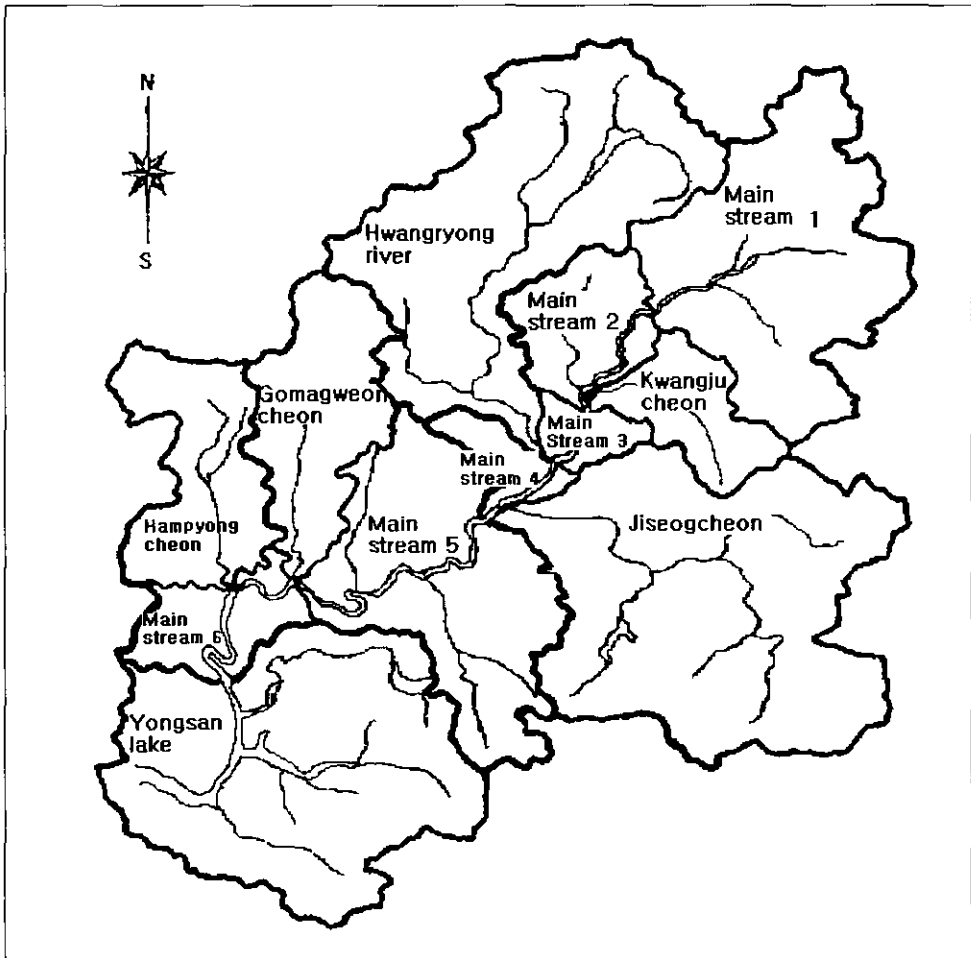


Fig. 1. Watershed of the Yongsan river

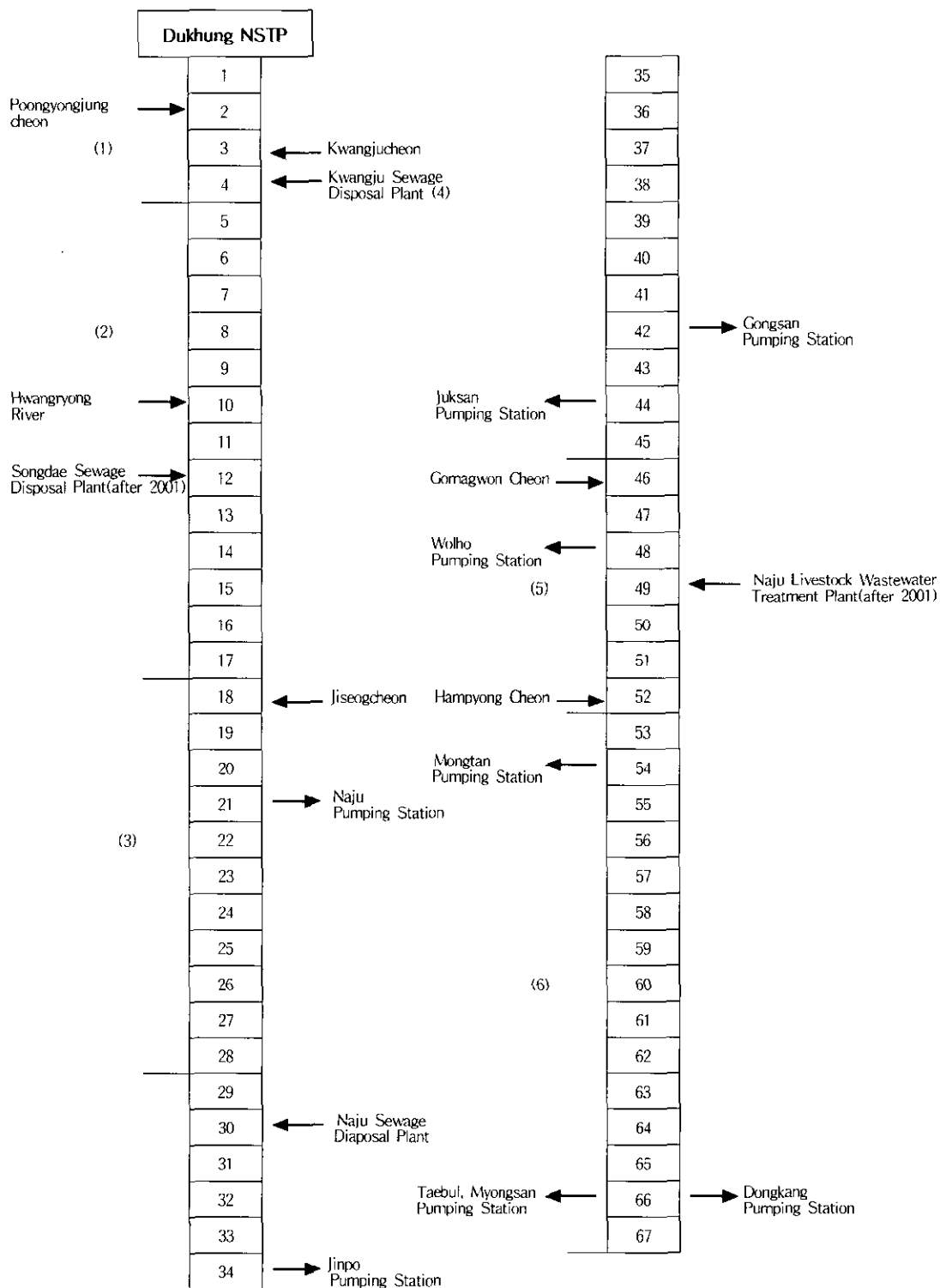


Fig. 2. Network of computational elements and reaches with publicly owned treatment works plans on the Yongsan river.

하천수량이 적으며, 상류유역에는 농업용수 확보를 위한 장성댐, 담양댐, 광주댐, 나주댐 등 4개 댐이 건설되어 있어 하천유지용수도 절대적으로 부족한 실정이다. 또한 하상계수 값은, 한강의 393, 낙동강의 372, 금강의 300과 비교해 볼 때 약 2배 이상의 차이가 나는, 682로 최대 유량과 최소 유량의 차가 매우 큰 불안한 하천유황을 띠고 있다.<sup>3)</sup>

영산강은 광주광역시와 전라남도의 2시 8군의 전체 또는 일부를 포함하고 있고, 주요오염 지천인 광주천을 통해 광주광역시의 생활하수, 공단폐수 등이 집중적으로 유입되고 있으며 이러한 이유들로 인해 국내 4대 하천 중 가장 오염도가 높다. 현재 영산강의 수질은 농업용수 수질기준인 하천수 질환경기준 IV등급을 유지하고 있으나, 유역내 오염원이 계속 증가하고 있어서 점차 IV등급을 초과할 것으로 보인다.<sup>3, 4)</sup>

본 연구에서는, 이 등에 의해 적용성이 검토된 QUAL2E 모형을 사용하였고<sup>5)</sup>, 영산강 유역의 오염부하량을 산정하고 장래 수질을 예측하기 위해

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 영산강 본류 1, 영산강 본류 2, 광주천, 영산강 본류 3, 황룡강, 영산강 본류 4, 지석천, 영산강 본류 5, 고막원천, 합평천, 영산강 본류 6 등 11개의 소유역으로 대상지역을 구분하였다.

QUAL2E 모형을 적용하기 위한 경계조건은, Fig. 2에 나타난 바와 같이, 광주시 서구 덕흥동 위생처리장 용수취수보를 상류단 경계로 하고, 대불, 명산취수장 1km하류인 무안군 몽탄면 명산리 몽탄대교를 하류단 경계로 하였다. 각 하천구간은 수리학적 특성이 유사한 구간별로 대구간을 구성한 후, 이를 구성하는 각 소구간을 1km 간격으로 하여 6개의 대구간과 67개의 소구간으로 구분하였다. Table 1은 본 연구에서 사용한 1997년의 유량자료로, 연구대상지역으로 유입되거나 유출되는 갈수기, 저수기 및 평수기의 유량을 나타낸 것이다.<sup>4, 5)</sup>

## 2. 모형의 적용성 검토

이 등은 갈수기에 대한 민감도 분석을 통해, 영

Table 1. Water flow of the study area in 1997

Stream	Dry season (CMS)	Low flow season (CMS)	Average flow season (CMS)
Dukhung NSTP(HEAD)	14.32	24.14	28.66
Poongyongjungcheon0.66	0.66	0.92	1.09
Kwangjucheon	10.48	13.84	16.43
Kwangju Sewage Disposal Plant	6.48	6.48	6.48
Hwangryong river	13.29	22.35	26.53
Jiseogcheon	10.55	16.23	19.30
Naju Pumping Station	-0.05	-0.05	-0.05
Naju Sewage Disposal Plant	0.01	0.01	0.01
Jinpo Pumping Station		-0.66	-0.66
Gongsan Pumping Station		-1.27	-1.27
Juksan Pumping Station		-0.52	-0.52
Gomagwoncheon	1.82	2.76	3.28
Wolho Station		-0.63	-0.63
Hampyongcheon	0.40	0.63	0.76
Mongtan Pumping Station		-0.52	-0.52
Taebul, Myongsan, Dongkang Pumping Station	-0.69	-4.30	-4.30

산강에 대한 QUAL2E 모형의 적용시 DO, BOD, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, DIS-P 등의 수질항목의 예측에 큰 영향을 미치는 반응계수를 찾아내었다.<sup>4, 5)</sup> 민감도 분석은 반응계수의 변화에 따른 결과치의 변화를 평가하는 것으로, 모형에 포함된 반응계수가 일정 비율로 변함에 따라 나타나는 결과치의 민감도 반응을 분석하여 모형의 예측에 중요한 역할을 갖는 반응계수를 선정하는 방법이다.<sup>6, 7)</sup> 본 연구에서는, 이 등의 연구에서 밝힌 반응계수가 같수기, 저수기, 평수기 및 각 reach별로 상기한 5개 수질항목의 모의치가 실측치에 가장 근접한 모의치를 얻을 수 있도록 시행오차를 이용하여 보정하였다.

QUAL2E 모형의 반응계수 보정 및 검증에 대한 검토는 RI(Reliability Index)를 이용하여 수행하였다. RI는 두 값 사이의 일치성 또는 적합도(Correspondence or goodness of fit)를 평가하는데 이용되는 척도로, 모형의 예측능력(model's performance) 또는 재현성을 나타낸다.<sup>8)</sup>

$$RI = \frac{1 + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \frac{[1 - (Y_{tn}/X_{tn})]^2}{[1 + (Y_{tn}/X_{tn})]^2}}}{1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \frac{[1 - (Y_{tn}/X_{tn})]^2}{[1 + (Y_{tn}/X_{tn})]^2}}} \quad \text{식(1)}$$

여기에서,

- Y = Observed value,
- X = Simulated value,
- N = Number of (X, Y) paired comparison,
- T = Number of sampling frequency

식 (1)에서 보는 바와 같이, 실측치와 모의치가 일치하면 RI값은 1.0이 되고, 두 값의 차이가 클수록 RI값도 커진다. 본 연구에서의 반응계수 보정에는 1997년 10월(갈수기), 1997년 4월(저수기), 1997년 6월(평수기)의 수질자료가 이용되었으며, 검증에는 1997년 11월(갈수기), 1997년 5월(저수기), 1997년 9월(평수기)의 수질자료가 이용되었다.

### 3. 장래 유달오염부하량의 산정

본 연구에서의 장래 유달오염부하량은 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구(1999)의 자

료를 이용하여 산정하였다.<sup>9)</sup>

장래 유달오염부하량은 발생오염부하량, 환경기초시설에 의한 삭감량 및 유달률을 산정함으로써 구할 수 있다.

발생오염부하량은, 각 소유역별 인구, 산업, 축산, 토지, 양식장, 침출수 등 6개 오염원 현황과 장래예측자료에 수질보전 장기 종합계획 수립종합보고서<sup>10)</sup>의 오염원별 원단위(Unit-Load)를 적용하여 산정하였고, 환경기초시설에 의한 삭감량은, 현재 가동 중에 있거나 증설 및 예정인, 하수처리장, 분뇨처리장, 축산폐수처리장, 농공단지폐수처리장 등을 고려하여 각각의 환경기초시설에 유입되는 양과 배출량과의 차로써 산정하였다.

유달오염부하량은 유역에서 발생하는 오염물질이 여러 가지 요인에 의해 감소되어 하천에 최종적으로 유입되는 오염부하량을 의미하는데, 이는 유달률을 계산함으로써 얻을 수 있다.<sup>11)</sup> 유달률은, 침식 토양, 합리식의 유출계수, 통계식, 실측치를 이용하여 산정할 수 있는데, 여기에서는 식 (2)를 이용, 1997년 갈수기, 저수기, 평수기의 각 소유역별 평균유달률을 계산하였다.

$$\text{유달률} = \frac{\text{기준지점의 유달오염부하량(kg/일)}}{\text{기준지점 상류 유역내의 배출오염부하량(kg/일)}} \quad \text{식(2)}$$

여기에서,

- 유달오염부하량
- = 각 지류 취하류단에서의 유량 × 수질농도
- 배출오염부하량
- = 발생오염부하량 - 환경기초시설에 의한 삭감량

2001년과 2006년의 BOD, T-N, T-P에 대한 장래 유달오염부하량은, 위에서 계산된 1997년 갈수기, 저수기, 평수기의 각 소유역별 평균유달률에, 현재 계획 중인 환경기초시설이 예정대로 설치될 경우와 그렇지 않을 경우로 구분하여 산정한 배출오염부하량을 곱하여 구하였다.

### 4. 장래 수질예측

위에서 산정한 장래 유달오염부하량을 중심으로

2001년, 2006년 갈수기, 저수기, 평수기의 BOD, T-N, T-P에 대한 장래 수질을, 환경기초시설을 예정대로 설치했을 경우와 설치하지 않았을 경우로 구분하여 예측하였다. 또한 Fig. 2에서의 reach 1과 2를 상류로, reach 3과 4를 중류로, reach 5와 6을 하류로 각각 구분하여 장래 수질을 예측하고 이를 통해 영산강 전체의 평균 수질을 알아보았다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 모형의 적용성 검토

이 등이 민감도 분석을 통해 DO, BOD, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, DIS-P 등의 수질항목에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀 낸 반응계수는 Table 2와 같이 12개이고<sup>5)</sup>, 이를 보정한 값은 Table 3과 같다. QUAL2E에 적용되는 32개의 반응계수 중 Table 2

Table 2. Reaction coefficients for calibration of the QUAL2E model on the Yongsan river

Description	Notation	Units
Benthos source rate for dissolved phosphorus	$\sigma_2$	mg-P / m <sup>2</sup> -day
Benthos source rate for ammonia nitrogen	$\sigma_3$	mg-P / m <sup>2</sup> -day
Organic nitrogen settling rate	$\sigma_4$	day <sup>-1</sup>
Organic phosphorus settling rate	$\sigma_5$	day <sup>-1</sup>
Rate constant for the biological oxidation of NH <sub>3</sub> to NO <sub>2</sub>	$\beta_1$	day <sup>-1</sup>
Rate constant for the biological oxidation of NO <sub>2</sub> to NO <sub>3</sub>	$\beta_2$	day <sup>-1</sup>
Rate constant for the hydrolysis of organic-N to ammonia	$\beta_3$	day <sup>-1</sup>
Rate constant for the decay of organic-P to dissolved-P	$\beta_4$	day <sup>-1</sup>
Carbonaceous deoxygenation rate constant	$k_1$	day <sup>-1</sup>
Reaeration rate constant	$k_2$	day <sup>-1</sup>
Rate of loss of BOD due to settling	$k_3$	day <sup>-1</sup>
Benthic oxygen uptake	$k_4$	mg-O / m <sup>2</sup> -day

Table 3. Calibrated values for the reaction coefficients of the QUAL2E model on the Yongsan river

coefficients	Dry season			Low flow season			Average flow season		
	Upstream	Midstream	Downstream	Upstream	Midstream	Downstream	Upstream	Midstream	Downstream
$\sigma_2$	1.074	1.074	1.074	1.074	1.074	1.074	1.074	1.074	1.074
$\sigma_3$	0.057	0.056	0.060	0.057	0.056	0.060	0.057	0.056	0.060
$\sigma_4$	0.015	0.020	0.015	0.015	0.020	0.015	0.015	0.020	0.015
$\sigma_5$	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003
$\beta_1$	0.270	0.490	0.210	0.230	0.390	0.185	0.095	0.490	0.430
$\beta_2$	1.825	1.170	0.675	1.115	1.550	1.990	1.675	1.275	0.560
$\beta_3$	0.115	0.025	0.040	0.205	0.045	0.065	0.330	0.105	0.045
$\beta_4$	0.188	0.006	0.002	0.605	0.008	0.002	0.158	0.006	0.002
$k_1$	0.175	0.130	0.180	0.080	0.130	0.120	0.055	0.335	0.210
$k_2$	8.500	8.350	1.100	8.500	8.500	0.100	7.350	7.500	7.050
$k_3$	0.006	0.003	0.015	0.006	0.003	0.015	0.006	0.003	0.015
$k_4$	0.042	0.048	0.044	0.042	0.048	0.044	0.042	0.048	0.044

Table 4. The results of RI(Reliability Index) for calibration and verification of the QUAL2E model on the Yongsan river

		Parameters				
		DO	BOD	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	DIS-P
calibration	Dry season	1.35	1.41	1.36	1.78	1.70
	Low flow season	1.29	1.57	2.03	1.17	1.83
	Average flow season	1.28	1.42	1.51	1.36	2.66
verification	Dry season	1.60	1.53	2.69	1.53	1.77
	Low flow season	1.52	1.88	2.27	1.30	1.71
	Average flow season	1.47	1.39	1.65	1.54	1.82

의 12개를 제외한 나머지는 기정치<sup>12)</sup>를 사용하였다. 강의 상·중·하류는 각각 Fig. 2에서의 reach 1과 2, reach 3과 4, reach 5와 6으로 구분하였다.

QUAL2E 모형의 반응계수 보정과 검증 결과를 검토하기 위해 계산한 RI값은, Table 4에서 보는 바와 같이, DO 1.28~1.60, BOD 1.39~1.88, NH<sub>3</sub>-N 1.36~2.69, NO<sub>3</sub>-N 1.17~1.78, DIS-P 1.71~2.66으로, 5개 수질항목 모두 그 값이 1에서 3 사이의 양호한 수준을 보임에 따라 본 모형을 영산강에 적용할 수 있음을 알 수 있다. Fig. 3~8은 보정과 검증결과에 대한 RI값을 그림으로 나타낸 것이다.

## 2. 장래 유달오염부하량의 산정

BOD, T-N, T-P의 장래 유달오염부하량 산정을 위한 평균유달률은, 1997년의 갈수기, 저수기, 평수기 자료<sup>9)</sup>와 식(2)를 이용하여 구하였다. 2001년과 2006년의 장래 유달오염부하량은, 위에서 구한 소유역별 평균유달률에 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 경우와 그렇지 않을 경우로 나누어 산정한 배출오염부하량을 곱하여 계산하였고, 그 결과는 Table 5와 같다. Table 5에서 보는 바와 같이 2001, 2006년의 전체 장래 유달오염부하량은, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 경우, BOD가 42,816kg/day, 47,863kg/day, T-N은 25,535kg/day, 28,575kg/day였고, T-P는 1,728kg/day, 1,925kg/day로 각각 산정되었다. 한편, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 경우 BOD는 44,447kg/day, 53,021kg/day, T-N은 25,936kg/day, 29,050kg/day, T-P는 1,776kg/day, 2,050kg/day로 각각 산

정되었다. 소유역별로는, 광주천과 본류 2, 3을 포함하는 소유역에서의 장래 유달오염부하량이 가장 크게 나타났는데, 환경기초시설이 설치되었을 경우, BOD는 21,919kg/day(51.2%), 22,936kg/day(47.9%), T-N은 10,309kg/day(40.4%), 11,185kg/day(39.1%), T-P는 1,034kg/day(59.8%), 1,129kg/day(58.6%)로 나타났다. 또한 환경기초시설이 설치되지 않았을 경우, BOD는 21,630kg/day(48.7%), 26,326kg/day(49.7%), T-N은 10,192kg/day(39.3%), 11,366kg/day(39.1%), T-P는 1,027kg/day(57.8%), 1,203kg/day(58.7%)로 나타났다.

## 3. 장래 수질예측

Table 5에서 구한 장래 유달오염부하량을 기준으로 2001, 2006년의 갈수기, 저수기, 평수기에 대한 BOD, T-N, T-P의 장래 수질을, 현재 계획 중인 환경기초시설이 예정대로 설치될 경우와 그렇지 않을 경우로 구분하여 예측하였고, 그 결과는 Table 6 및 Fig. 9~11과 같다.

BOD의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기 평균 8.99mg/l, 저수기 평균 6.20mg/l, 평수기 평균 5.18mg/l를 나타내고, 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 10.17, 6.98, 5.83mg/l를 보일 것으로 예측되었다. 한편, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 경우, BOD농도는 2001년 갈수기 평균 10.28mg/l, 저수기 평균 7.13mg/l, 평수기 평균 5.80mg/l를 나타내고 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 12.21, 8.47, 6.88mg/l를 보일 것으로 예측되었다.

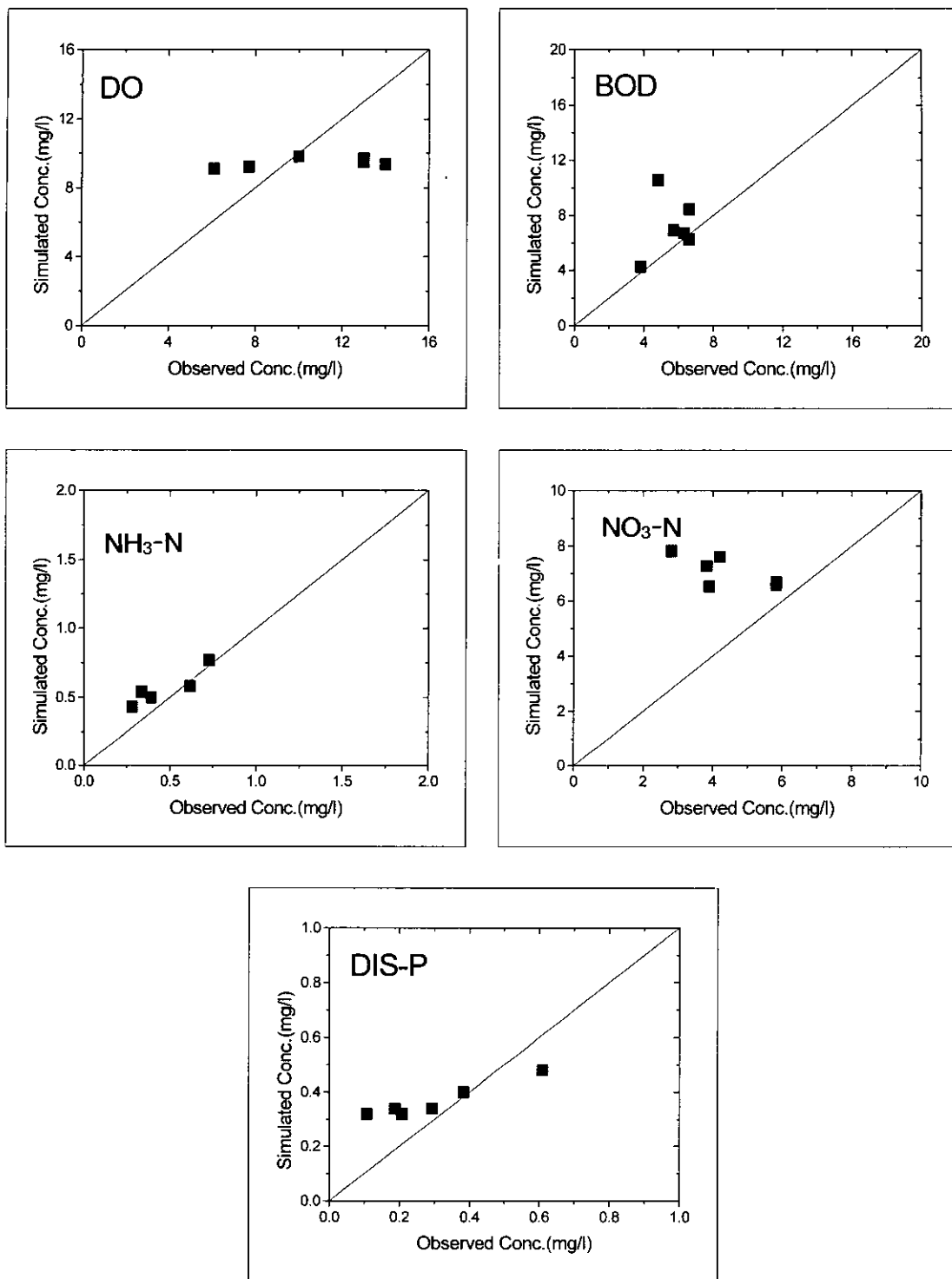


Fig. 3. Comparison between observed and simulated values for calibration results in dry season



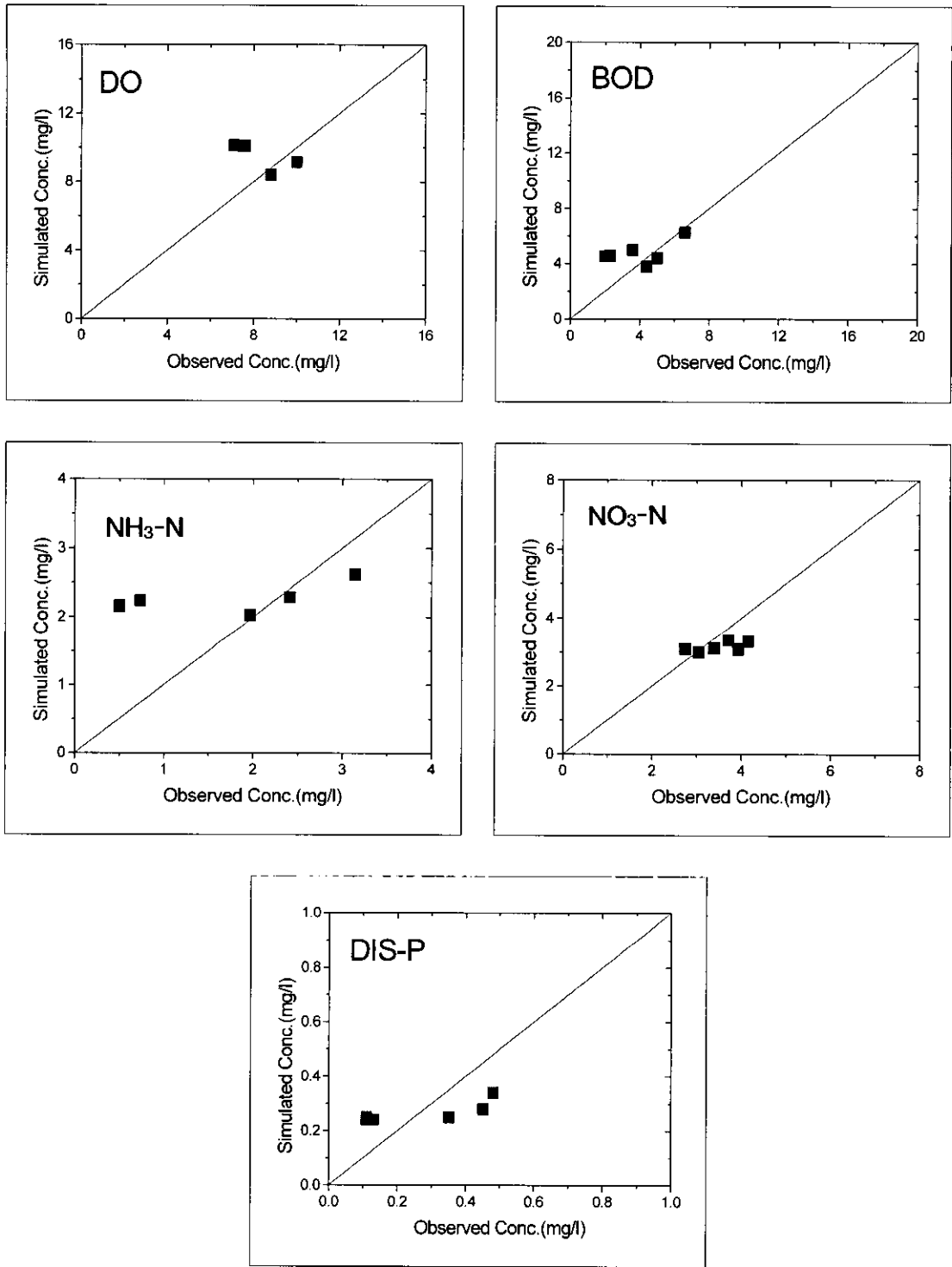


Fig. 4. Comparison between observed and simulated values for calibration results in low flow season

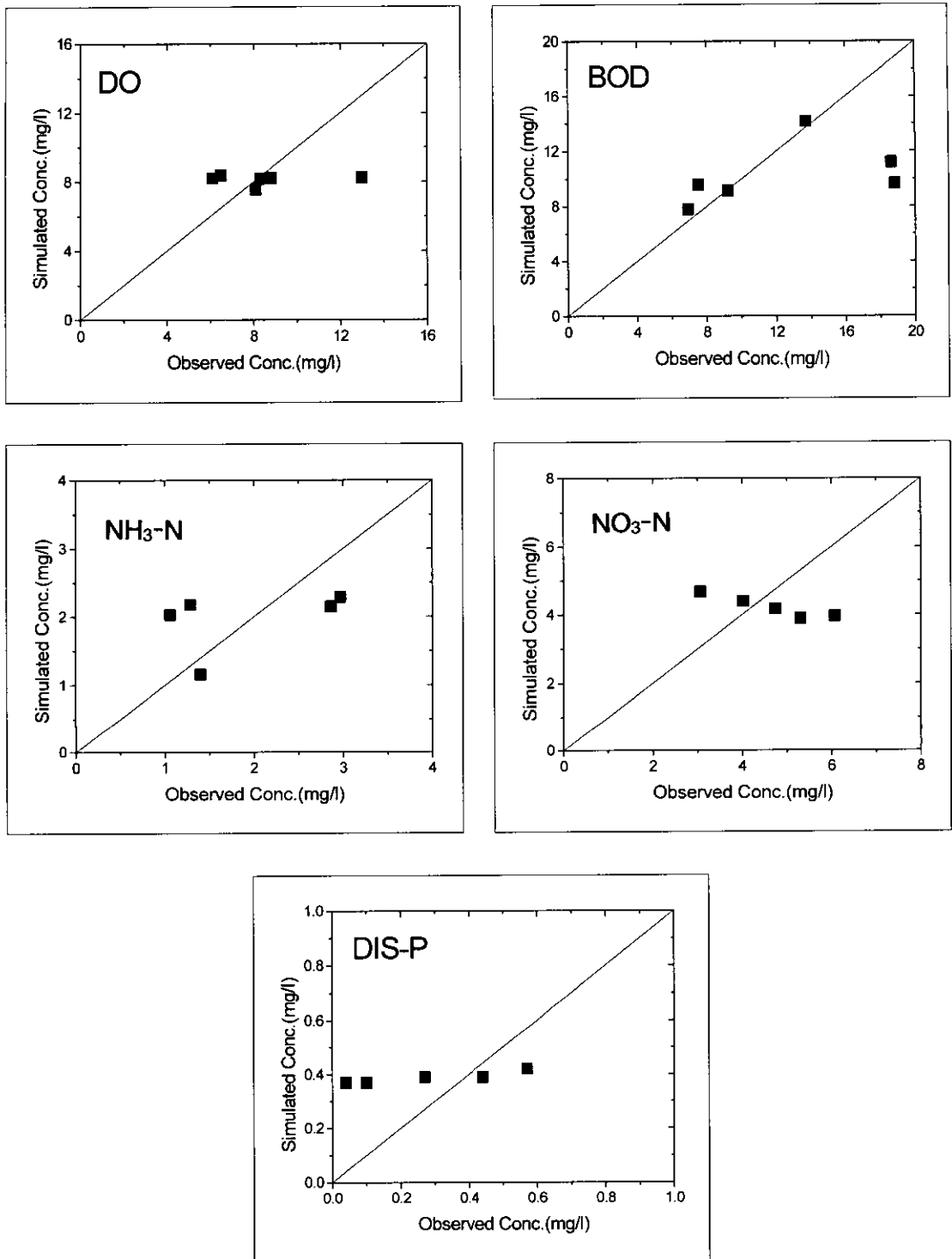


Fig. 5. Comparison between observed and simulated values for calibration results in average flow season

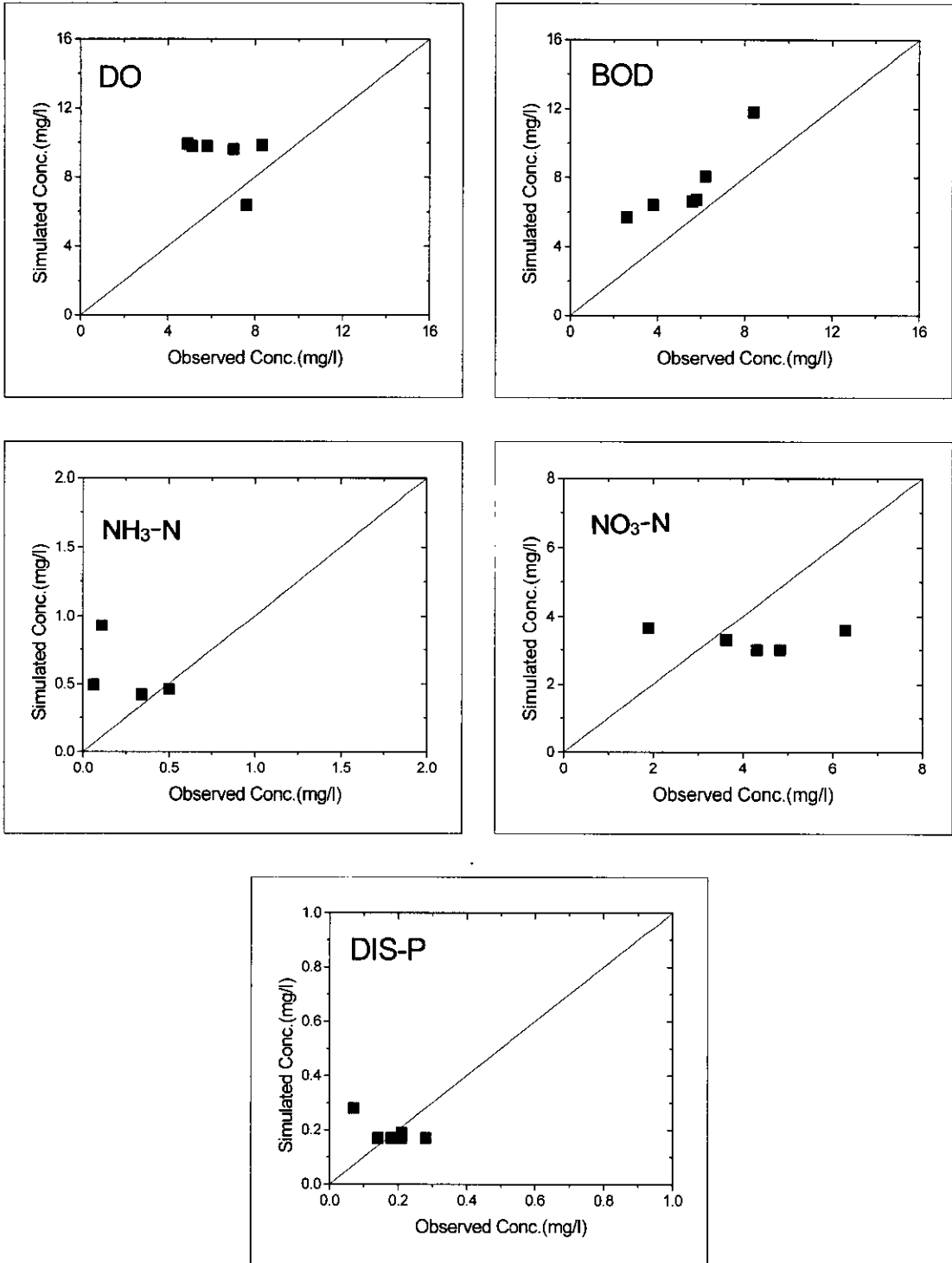


Fig. 6. Comparison between observed and simulated values for verification results in dry season

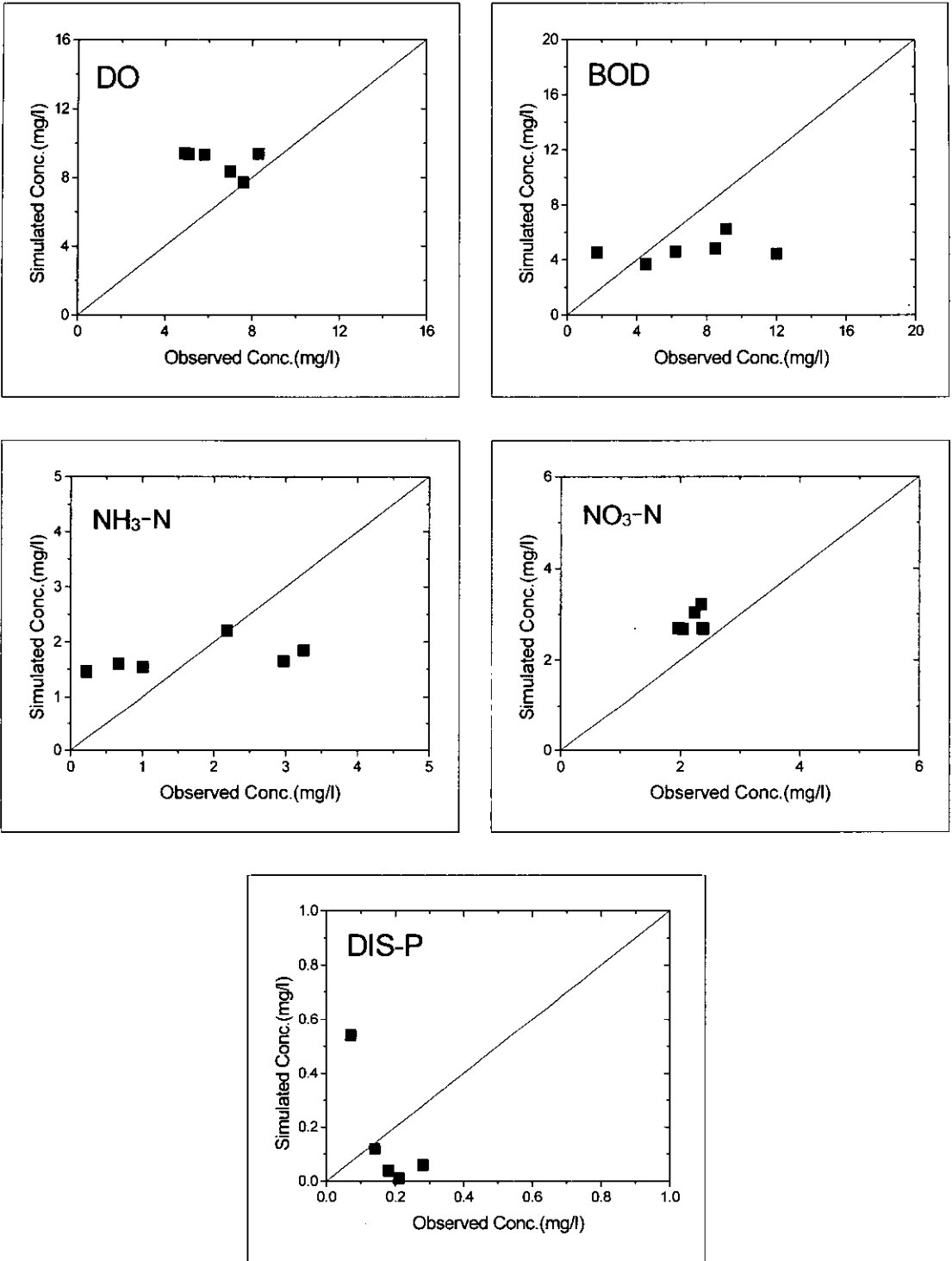


Fig. 7. Comparison between observed and simulated values for verification results in low flow season

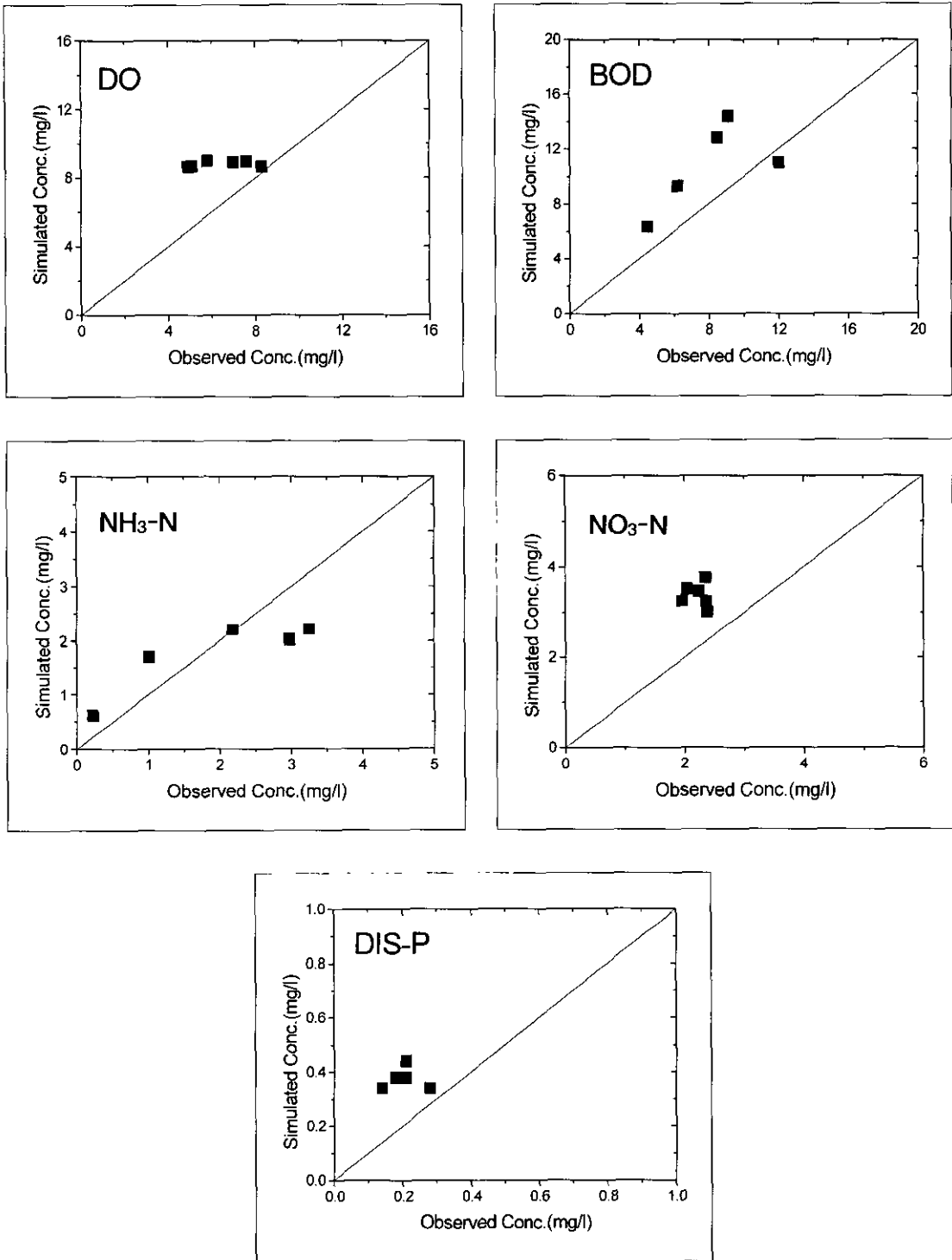


Fig. 8. Comparison between observed and simulated values for verification results in average flow season

Table 5. Delivery rate for subwatershed and estimation for delivered pollutant loadings of the Yongsan river in 2001, 2006 with and without publicly owned treatment works(POTWs)

Watershed	Water quality parameters	Generated pollutant loadings (kg/day)		Reduced pollutant loadings (kg/day)		Discharged pollutant loadings in 1997 (kg/day)	Delivered pollutant loadings in 1997 (kg/day)			Delivered pollutant loadings in the future (kg/day)									
		1997	2001	1997	2001		2006	Dry season	Low flow season	Average flow season	2001	2006	2001	2006					
		2006	2001	2006															
Main stream 1	BOD	15,645	18,224	21,336	1,427	2,919	2,437	14,218	5,262	6,153	12,427	0.37	0.43	0.87	0.56	8,582	10,584	9,418	11,149
	T-N	1,694	1,936	2,198	221	508	487	1,473	941	2,044	2,804	0.64	1.39	1.90	1.31	1,871	2,242	2,247	2,590
	T-P	235	275	318	34	71	64	201	111	271	191	0.55	1.35	0.95	0.95	194	242	229	270
Kwangjucheon, Main stream 2, 3	BOD	97,024	108,820	120,860	53,359	52,617	62,050	43,665	15,862	11,630	24,034	0.36	0.27	0.55	0.39	21,919	22,936	21,630	26,326
	T-N	10,231	11,509	12,745	780	656	971	9,451	5,151	12,953	8,912	0.54	1.37	0.94	0.95	10,309	11,185	10,192	11,366
	T-P	2,116	2,386	2,650	853	843	963	1,263	512	1,090	952	0.41	0.86	0.75	0.67	1,034	1,129	1,027	1,203
Hwanryong river, Main stream 4	BOD	13,763	15,504	17,538	402	2,568	2,585	13,361	1,825	4,453	5,391	0.14	0.33	0.40	0.29	3,751	4,348	4,380	4,975
	T-N	1,984	2,168	2,353	9	-261	-502	1,975	2,023	3,049	3,664	1.02	1.54	1.86	1.47	3,570	4,197	3,172	3,446
	T-P	327	360	393	10	5	-12	317	42	230	201	0.13	0.72	0.63	0.50	177	203	175	191
Jiseogcheon	BOD	33,320	37,000	42,663	854	4,759	6,727	32,466	1,276	2,524	1,940	0.04	0.08	0.06	0.06	1,934	2,156	2,169	2,509
	T-N	2,977	3,048	3,089	28	808	1,435	2,949	383	1,136	715	0.13	0.39	0.24	0.25	560	413	755	765
	T-P	634	658	684	16	102	160	618	82	154	112	0.13	0.25	0.18	0.19	106	100	122	127
Main stream 5	BOD	14,585	16,975	19,785	2,169	2,169	2,169	12,416	2,030	4,726	6,552	0.16	0.38	0.53	0.36	5,330	6,342	5,330	6,342
	T-N	2,091	2,391	2,722	104	104	104	1,986	10,477	692	8,753	5.27	0.35	4.41	3.34	7,638	8,741	7,638	8,741
	T-P	396	461	534	55	55	55	341	170	46	158	0.50	0.14	0.46	0.37	150	177	150	177
Gomgweoncheon	BOD	6,442	7,097	7,792	0	0	0	6,442	440	513	907	0.07	0.08	0.14	0.10	710	779	710	779
	T-N	1,073	1,169	1,270	0	0	0	1,073	101	227	222	0.09	0.21	0.21	0.17	199	216	199	216
	T-P	169	185	203	0	0	0	169	20	31	28	0.12	0.18	0.16	0.16	30	33	30	33
Hamgyongcheon	BOD	4,596	5,261	5,982	291	2,178	2,178	4,335	112	152	300	0.03	0.04	0.07	0.04	123	152	123	152
	T-N	692	772	853	8	197	197	684	38	28	66	0.05	0.04	0.10	0.06	34	39	46	51
	T-P	103	116	130	7	38	38	96	7	3	7	0.07	0.03	0.07	0.06	5	5	7	7
Main stream 6	BOD	3,816	4,377	5,098	0	1,064	1,064	3,816	431	674	452	0.11	0.18	0.12	0.14	465	566	465	566
	T-N	490	536	595	0	106	106	480	980	1,213	2,336	2.04	2.53	4.87	3.15	1,353	1,541	1,687	1,875
	T-P	88	98	109	0	13	13	88	63	12	24	0.72	0.14	0.27	0.38	32	36	37	41
Sum	BOD	189,191	213,278	241,075	58,502	68,264	79,180	130,689	27,238	30,825	52,003	0.21	0.24	0.40	0.28	42,816	47,863	44,447	53,021
	T-N	21,221	23,528	25,825	1,150	2,118	2,738	20,071	20,094	21,342	27,472	1.00	1.06	1.37	1.14	25,535	28,575	25,936	29,050
	T-P	4,069	4,539	5,019	975	1,126	1,281	3,093	1,007	1,837	1,673	0.33	0.59	0.54	0.49	1,728	1,925	1,776	2,050

T-N의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기 평균 7.06mg/l, 저수기 평균 4.77mg/l, 평수기 평균 4.01mg/l를 나타내고, 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 7.85, 5.41, 4.54mg/l를 보일 것으로 예측되었다. 한편, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 경우, T-N농도는 2001년 갈수기 평균 14.43mg/l, 저수기 평균 10.02mg/l, 평수기 평균 8.42mg/l를 나타내고 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 23.18, 15.97, 13.42mg/l의 매우 높은 농도를 보일 것으로 예측되었다.

T-P의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기 평균 0.51mg/l, 저수기 평균 0.34mg/l, 평수기 평균 0.29mg/l를 나타내고 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 0.59, 0.39, 0.33mg/l를 보일 것으로 예측되었다. 한편, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 경우, T-P농도는 2001년 갈수기 평균 0.72mg/l, 저수기 평균 0.49mg/l, 평수기 평균 0.41mg/l를 나타내고 2006년에는 갈수기, 저수기, 평수기의

평균 수질이 각각 0.82, 0.56, 0.47mg/l의 매우 높은 농도를 보일 것으로 예측되었다.

이상의 결과로부터, 영산강의 BOD는 환경기초시설이 설치된 경우에는 2001년 갈수기와 2006년 갈수기, 환경기초시설이 설치되지 않은 경우에는 2001년 갈수기와 2006년 갈수기와 저수기의 수질이 농업용수 수질기준인 하천수질환경기준 IV등급(BOD 8.0mg/l)을 초과할 것으로 예측되었다. 한편, T-N과 T-P의 경우에는, 환경기초시설의 설치여부와 관계없이 2001년과 2006년 갈수기, 저수기 및 평수기 모두에서 매우 높은 농도를 보일 뿐만 아니라, 환경기초시설이 설치되지 않았을 때는 설치되었을 때와 비교하여 현격한 농도차이를 보일 것으로 예측되었다. 그러므로, 영산강의 수자원 이용을 위해서는 환경기초시설이 예정대로 설치되어야 할 것임은 물론이고, T-N과 T-P를 저감시킬 수 있는 적극적인 대책이 마련되어야 하고, 특히 광주천과 본류 2, 3을 포함하고 있는 유역에 대한 집중적인 관리대책이 수립되어야 할 것으로 보인다.

Table 6. Prediction of water quality in the year of 2001 and 2006 with and without publicly owned treatment works(POTWs) plans on the Yongsan river

(unit : mg/l)

water quality item	POTWs	year	Dry season				Low flow season				Average flow season			
			Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average	Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average	Up-stream	Mid-stream	Down-stream	Average
BOD	with	2001	10.48	8.41	8.08	8.99	7.16	5.81	5.64	6.20	5.99	4.81	4.73	5.18
		2006	11.86	9.50	9.16	10.17	8.06	6.52	6.35	6.98	6.75	5.40	5.33	5.83
	without	2001	12.00	9.65	9.21	10.28	8.26	6.69	6.44	7.13	6.92	5.39	5.08	5.80
		2006	14.33	11.41	10.89	12.21	9.87	7.91	7.62	8.47	8.25	6.38	6.01	6.88
T-N	with	2001	6.34	7.18	7.65	7.06	4.29	4.83	5.20	4.77	3.59	4.06	4.37	4.01
		2006	6.71	8.16	8.68	7.85	4.72	5.54	5.96	5.41	3.95	4.66	5.01	4.54
	without	2001	16.13	13.53	13.63	14.43	11.36	9.28	9.42	10.02	9.54	7.80	7.91	8.42
		2006	26.85	21.47	21.21	23.18	18.72	14.63	14.57	15.97	15.72	12.29	12.24	13.42
T-P	with	2001	0.53	0.50	0.49	0.51	0.36	0.34	0.33	0.34	0.30	0.28	0.28	0.29
		2006	0.62	0.59	0.58	0.59	0.41	0.39	0.38	0.39	0.34	0.32	0.32	0.33
	without	2001	0.81	0.69	0.67	0.72	0.55	0.47	0.46	0.49	0.46	0.39	0.38	0.41
		2006	0.93	0.78	0.76	0.82	0.64	0.53	0.52	0.56	0.53	0.44	0.44	0.47

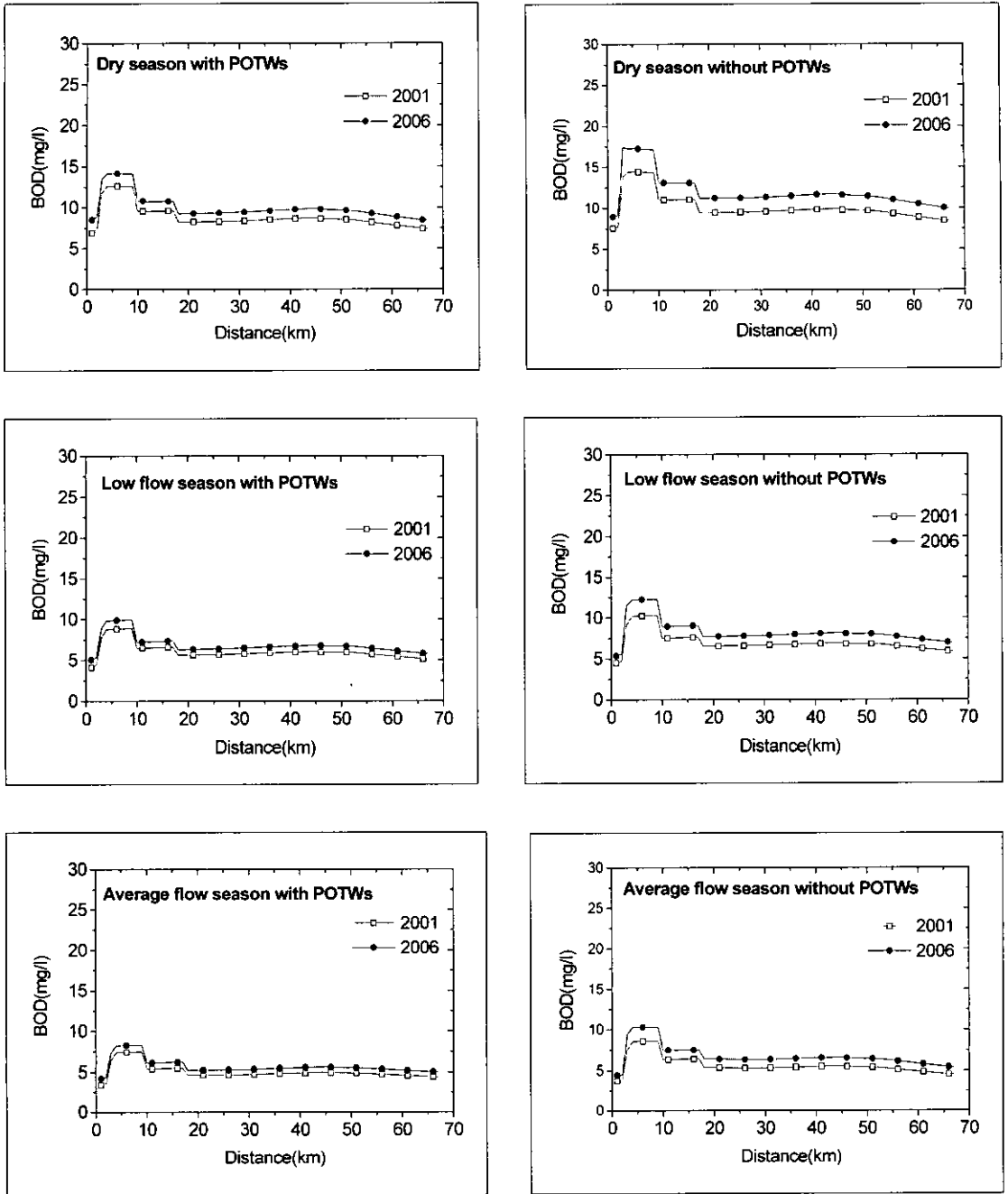


Fig. 9. Prediction of BOD concentration in the year of 2001 and 2006 with and without publicly owned treatment works(POTWs) on the Yongsan river



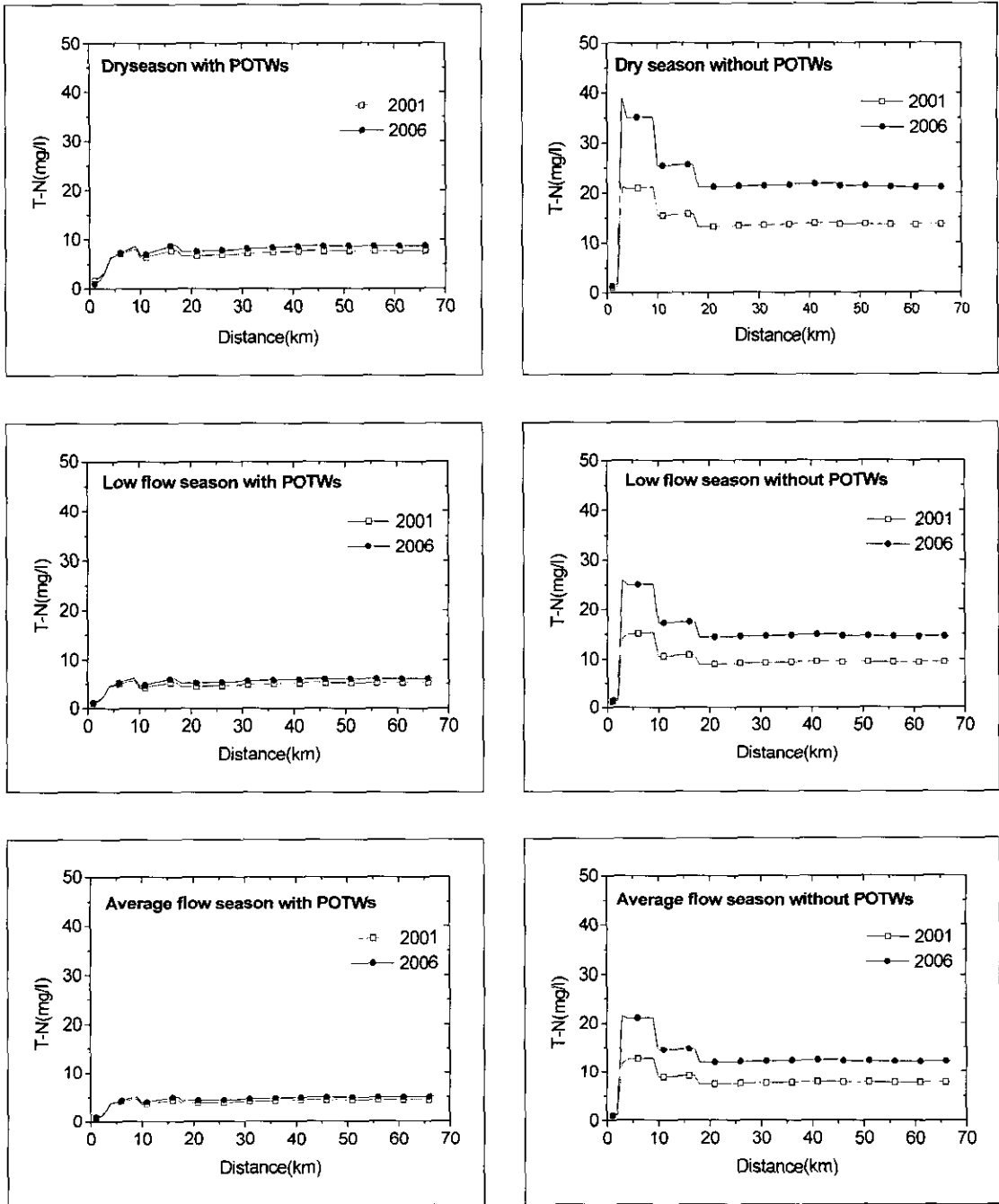


Fig. 10. Prediction of T-N concentration in the year of 2001 and 2006 with and without publicly owned treatment works(POTWs) on the Yongsan river

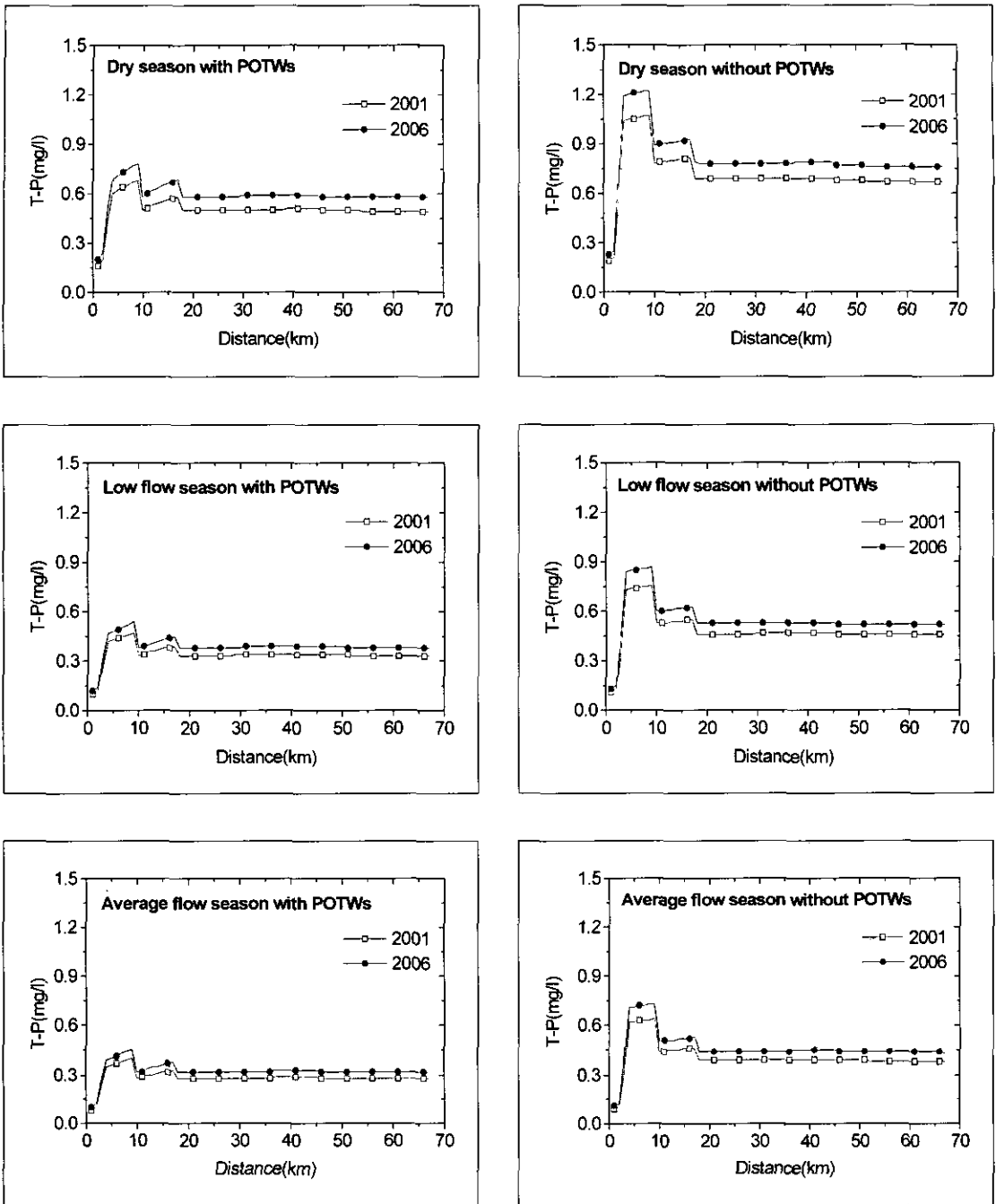


Fig. 11. Prediction of T-P concentration in the year of 2001 and 2006 with and without publicly owned treatment works(POTWs) on the Yongsan river

## IV. 결 론

QUAL2E 모형을 사용하여 영산강의 장래수질을 예측하고 수질관리대책을 마련하는 토대를 제공하기 위해 수행된 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. BOD의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 8.99, 6.20, 5.18mg/l, 2006년에는 10.17, 6.98, 5.83mg/l 수준일 것으로 보이고, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 때는 2001년 10.28, 7.13, 5.80 mg/l, 2006년 12.21, 8.47, 6.88mg/l 일 것으로 예측되었다.
2. T-N의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 각각 7.06, 4.77, 4.01mg/l, 2006년 7.85, 5.41, 4.54mg/l 수준일 것으로 보이고, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 때는 2001년 14.43, 10.02, 8.42mg/l, 2006년 23.18, 15.97, 13.42mg/l 수준에 이를 것으로 예측되었다.
3. T-P의 경우, 환경기초시설이 예정대로 설치되었을 때는 2001년 갈수기, 저수기, 평수기의 평균 수질이 0.51, 0.34, 0.29mg/l, 2006년 0.59, 0.39, 0.33mg/l, 환경기초시설이 예정대로 설치되지 않았을 때는 2001년 0.72, 0.49, 0.41 mg/l, 2006년 0.82, 0.56, 0.47mg/l 수준에 이를 것으로 예측되었다.
4. BOD의 경우, 환경기초시설이 설치되었을 때는, 2001년과 2006년의 갈수기가, 환경기초시설이 설치되지 않을 때는, 2001년 갈수기와 2006년 갈수기 및 저수기의 수질이 농업용수 수준이 하천수질환경기준 IV등급을 초과할 것으로 예상된다. T-N, T-P의 경우는, 환경기초시설이 설치된 경우와 그렇지 않을 경우에 현격한 농도차이를 보였다.
5. 이상의 결과로부터, 영산강 유역에서의 환경기초시설의 설치와 고도처리 등 보다 적극적인 관리대책이 수립되어야 하고, 특히 광주천과 본류 2, 3을 포함하고 있는 유역에 대해서는 유역관리 개념에 근거하여 집중적인 수질관리대책이 마련되어야 할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 농어촌진흥공사(현 농업기반공사)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참 고 문 헌

1. 박 성천, 전 진, 문 병석: 하천수의 수질보전을 위한 오염부하량산정 산정에 관한 연구, 대한환경공학회지, 20(3), 327~338, 1998
2. 김 지영: 영산호의 부영양화 제어를 위한 영양염류 산정률에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위 논문, 2000
3. 농림부: 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구(I), 1997
4. 농림부: 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구(II), 1998
5. 이 흥근, 김 현용, 백 도현, 윤 희선, 이 태호: 영산강에 대한 하천 수질예측 모형의 민감도 분석 및 적용성 검토, 한국환경위생학회지, 25(2), 18-25, 1999
6. Gerald T. Orlob: Mathematical modeling of water quality: Streams lakes and reservoirs, IIASA, 1982
7. Gerald T. Orlob: Water Quality Modeling for Decision Making, Journal of Water Resources Planning and Management, 118(3), 295-307, 1992
8. 김 정욱, 이 종호: 댐호의 2차원 수질예측기법 개발에 관한 연구, 대한환경공학회지, 13(4), 267-275, 1991
9. 농림부: 영산강지구 담수호 수질관리 대책수립 조사연구, 1999
10. 환경부: 수질보전 장기 종합계획수립 종합보고서, 1992
11. 박 성천, 강 성후, 이 관수: 수질보전을 위한 영산강의 하천유지용량 결정, 대한토목학회 논문집, 18(11-1), 1-11, 1998
12. Linfield C. Brown and Thomas O. Barnwell, Jr: The Enhanced stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual, EPA/699/3-87/007, U.S. EPA, 1987