

## 論 文

## 목장지대 주변에 위치한 도암호의 수질관리

## Water quality management of Doam lake around the pasture area

조재현\*

Cho, Jae-Heon

## Abstract

Doam Lake is located around the pasture area and Yongpyung Resort. Because of the waste load of domestic animals, nutrient concentration of the stream is high. In this study, waste load of Doam Lake watershed is calculated, and QUAL2E model is applied to the upper part of the Songcheon to calculate the input boundary concentration of Doam Lake. And WASP5 model is applied for the water quality modeling of the Doam lake. The results indicate that advanced treatment of domestic animal wastes is necessary for the lake water quality management.

## I. 서 론

송천유역에는 삼양축산, 한일기업 등의 목장이 다수 위치해 있어 축산폐수에 의한 오염부하량이 많고, 용평리조트를 중심으로 위락시설이 산재해 있어 관광객에 의한 오염부하가 있으며, 유역에 거주하는 상주인구로부터의 생활하수가 배출되고 있다. 횡계리에는 151가구를 처리대상으로 하는 150m<sup>3</sup>/day 규모의 횡계오수처리장이 운영중에 있으며, 장기폭기법으로 생활하수를 처리하고 있다. 용평리조트에는 접촉산화법으로 처리하는 3,000m<sup>3</sup>/day 규모의 하수처리시설을 가동하고 있다. 유역내 축산폐수 배출업소에서는 저장액비화나 톱밥발효 등의

공법으로 축산폐수를 처리하고 있다. 송천의 환경용량에 비해 유역에서 배출되는 오염부하가 크기 때문에 송천은 인, 질소 등의 영양물질이 과도히 검출되고 있다.

도암댐은 수력발전을 위해 건설된 길이 300m, 높이 72m의 경사코아형 석피댐으로 유효저수용량이 약 4,000만톤에 이른다. 도암호의 유역면적은 약 147.8km<sup>2</sup>이며 송천이 유입되고 있다. 유역의 주된오염원은 축산폐수와 생활하수이다.

이와 같은 도암호유역에 대해 유역내 발생오염부하량을 평가하고, 도암호에 유입되는 송천상류지역에 대해 QUAL2E모형<sup>1)</sup>을 적용하여 도암호 유입수질을 도출하였다. 이 결과를 경계조건으로 도암호에 WASP5모형<sup>2,3)</sup>을 적용하여 현재수질로 보정하고 장래수질을 예측하였다.

\*관동대학교 건설환경시스템공학부 교수

## II. 도암호유역 오염부하량

도암호유역의 주된 오염원은 주거인구, 가축, 위락시설, 토지이용 등을 들 수 있다. 송천유역의 유역도와 배수구역의 분할은 그림 1과 같다. 주거인구는 황계리의 시가지지역에 밀집되어 있고, 축산폐수는 삼양축산, 한일농산 등의 대규모 목장에서 주로 배출되고 있다. 용평스키장과 골프장, 콘도미니엄, 호텔 등의 위락 및 숙박시설을 이용하는 관광객으로부터 관광하수가 배출되고 있으며, 토지이용에 의한 비점원 오염부하는 주로 임야와 초지에서 발생된다. 도암호유역의 전체유역면적은 147.8km<sup>2</sup>이다.

도암호유역의 오염부하량은 오염원 현황자료

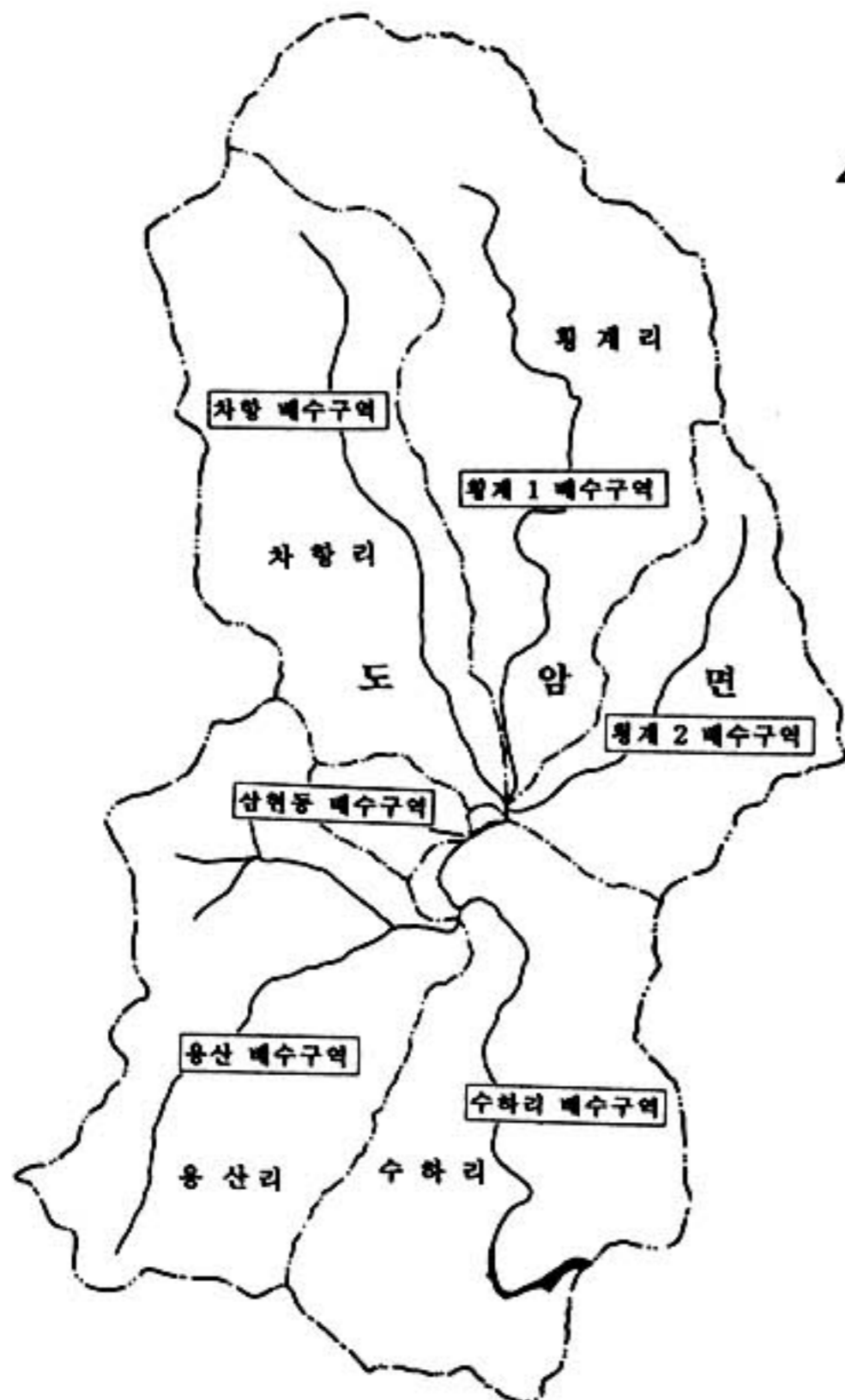


그림 1. 송천유역도와 배수구역의 분할

4.5)와 오염원별 오염부하량 원단위<sup>6)</sup>를 이용해서 산출하였다. 황계2배수구역의 오염부하량 중 인구에 의한 발생오염부하량에는 주변의 군부대에서 발생하는 오염부하가 포함되어 있다. 다른 유역에 비해서 인구가 가축이 밀집된 황계1배수구역과 차항배수구역의 오염부하량이 많다. 송천유역오염부하량은 표 1, 표 2와 같다. 유역의 전체 오염부하량 중 소사육 등 가축에 의한 오염부하의 비중이 가장 크다.

## III. 송천의 장래수질예측

### 3.1 보정

본 연구에서는 도암호 유역내의 송천에 대해서 송천 지천 3개 합류점으로부터 도암호 직전 지점까지 약 8km 구간을 3개의 reach로 나누어 적용하였다.

모델의 보정은 수온이 올라가고 도암호의 수질이 악화되는 8월의 여름 상황으로 보정하였다. 송천의 수리제원은 하천단면조사와 유량 및 유속 측정 결과와 유량계수(discharge coefficient)를 이용해서 산출하였다. 보정결과 탈산소계수는 0.2-0.6/day로 적용하였고, O'Connor-Dobbins식으로 재폭기계수를 산출하였다.

### 3.2 수질예측

#### 1) 수질예측의 조건

장래수질예측은 2006년 여름의 상황으로 실시하였고, 3개의 방안으로 나누어 예측하였다. Case 1은 축산폐수를 현재와 같은 정도로 처리하고, 생활하수도 별도의 처리시설없이 현재와 같이 처분되는 것으로 가정하였다. 다만 인구는 최근까지의 통계연보의 결과에 따라 2006년의 인구를 예측하였고, 가축은 90년대 초반에는 증가하다가 최근에는 감소하는 경향이 있어서 예측하기 어려운 상황이므로 97년 현재와 같은 것으로 가정하였다. 2006년 송천유역 전체의 발생오염부하량은 BOD가 2358kg/day, TN 624kg/day, TP 437kg/day로 추정되어 1997년 현재와 비슷한 것으로 나타났다. Case



표 1. 도암호유역의 배수구역별 발생오염부하량

년도	항목	횡계 1	횡계 2	차항	삼현동	용산	수하리	계
1997	BOD(kg/day)	680.31	265.87	1072.14	7.14	193.63	131.26	2350.35
	TN(kg/day)	267.24	53.96	228.85	2.53	43.55	35.28	631.43
	TP(kg/day)	285.33	14.11	121.61	0.16	8.60	9.68	439.48
2006	BOD(kg/day)	680.71	273.03	1072.69	7.15	193.07	131.35	2358.63
	TN(kg/day)	264.95	53.04	225.73	2.49	43.191	34.79	624.18
	TP(kg/day)	284.85	13.91	120.96	0.15	8.52	9.575	437.96

표 2. 도암호유역의 오염원별 발생오염부하량

년 도	오염원	BOD(kg/day)	TN(kg/day)	TP(kg/day)
1997	인구	534.83	77.88	16.22
	가축	1600.72	451.1	419.48
	토지이용	214.81	102.44	3.79
	계	2350.36	631.43	439.48
2006	인구	543.1	70.64	14.7
	가축	1600.72	451.18	419.48
	토지이용	214.81	102.44	3.79
	계	2358.63	624.18	437.96

2는 횡계지역에 하수종말처리장을 건설하여 인구밀집지역의 생활하수가 전량 고도처리되는 것으로 가정하였다. 이때 처리효율은 BOD 90%, SS 90%, TN 65%, TP 60%로 가정하였다. Case 3는 생활하수의 고도처리와 병행해서 유역내 축산폐수를 SBR공법으로 고도처리하여 BOD 90%, SS 90%, TN 74%, TP 62%를 제거하는 것으로 가정하였다.

2) 수질예측결과

현재의 보정 결과와 2006년의 Case 1, Case 2, Case 3에 대한 수질계산 결과는 그림 2-그림 5와 같다. 2006년에 별도의 대책이 없는 Case 1은 현재의 보정시와 오염부하량의 값이 거의 변화가 없기 때문에 보정된 결과와 같은 결과를 보이고 있다. 생활하수만을 고도처리하는 Case 2의 경우는 BOD와 TN이 Case 1에 비해 다소 감소하고, DO와 TP는 Case 1과 비슷한 양상을 보이고 있다. 생활하수와 축산폐수

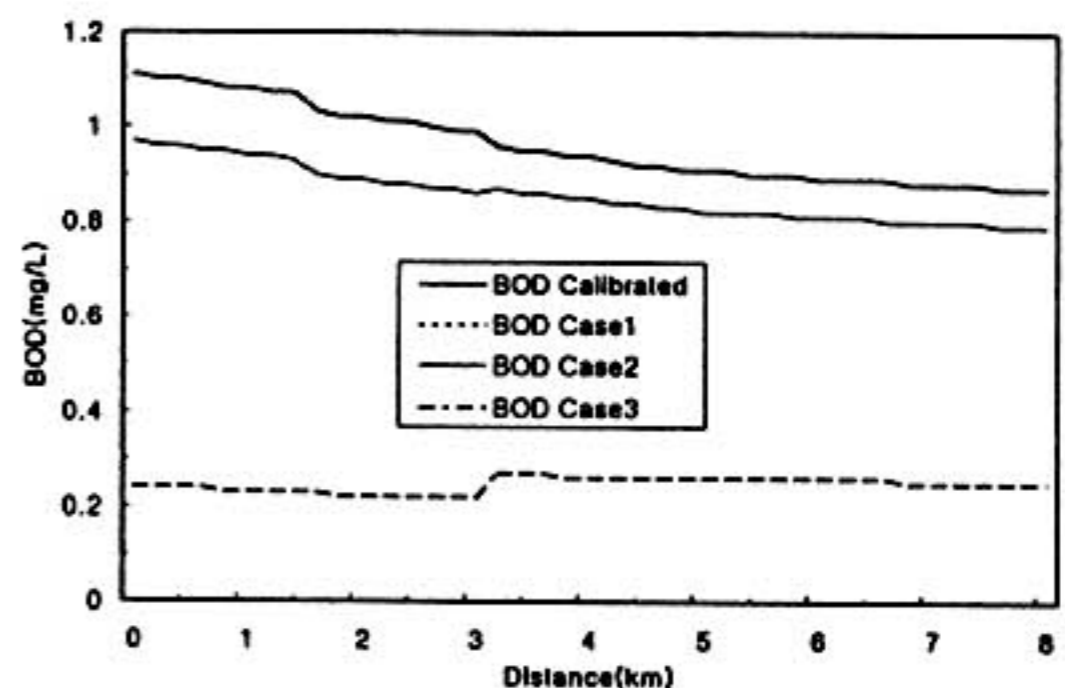


그림 2. 송천의 BOD분포

를 고도처리하는 Case 3의 결과는 Case 1과 Case 2에 비해 수질이 대폭 개선되는 것으로 나타난다.

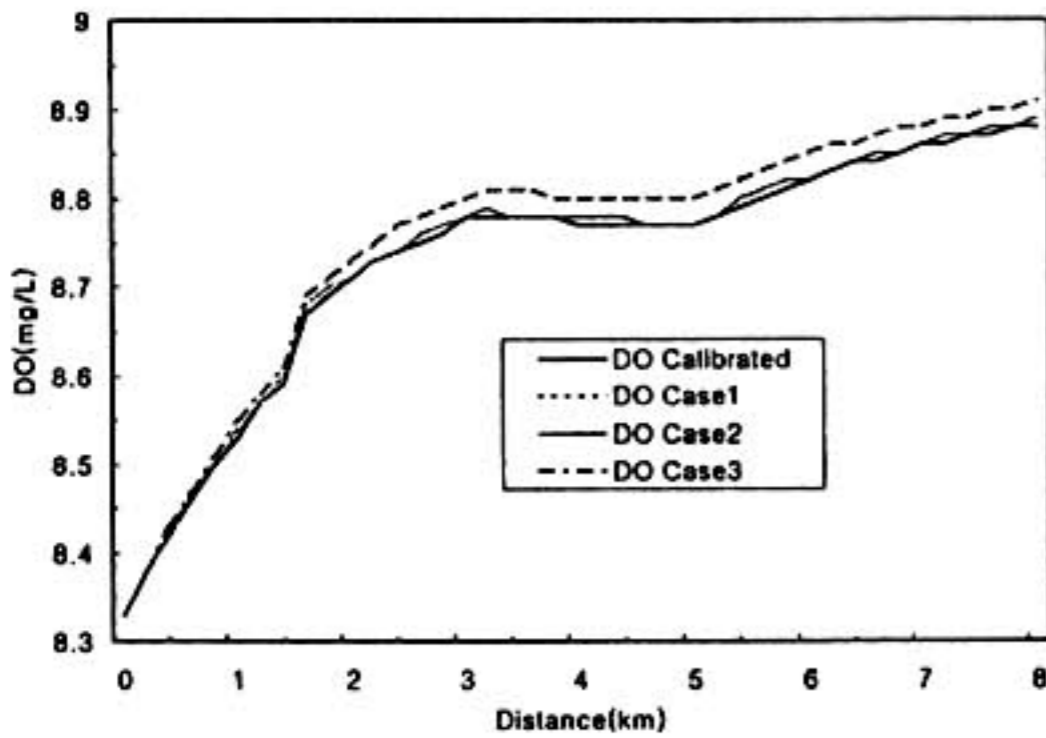


그림 3. 송천의 DO분포

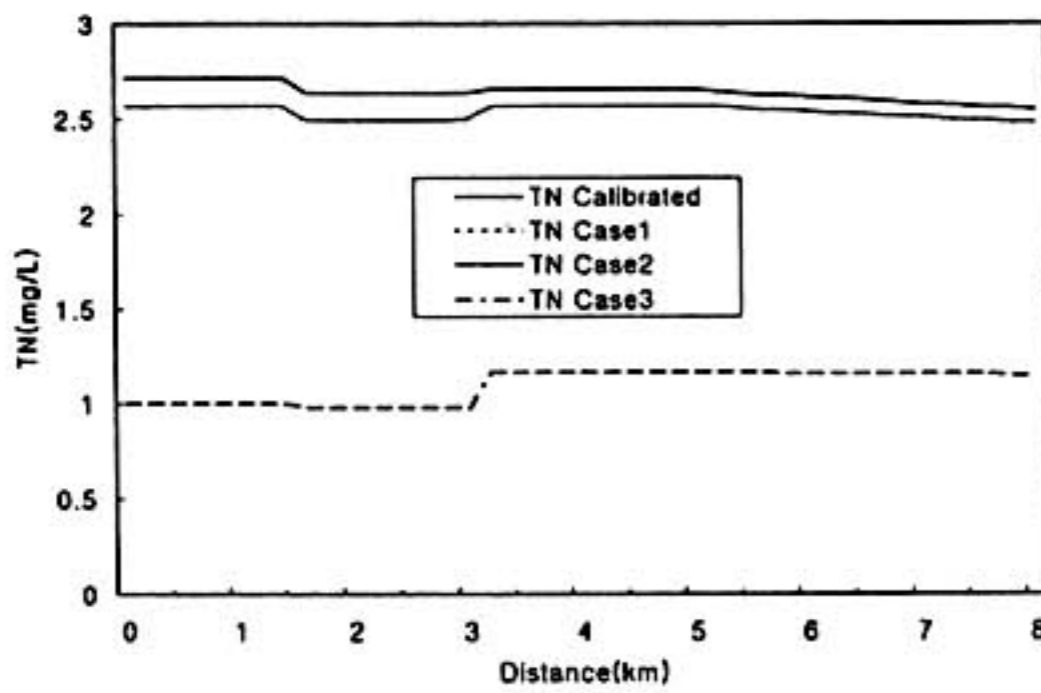


그림 4. 송천의 TN분포

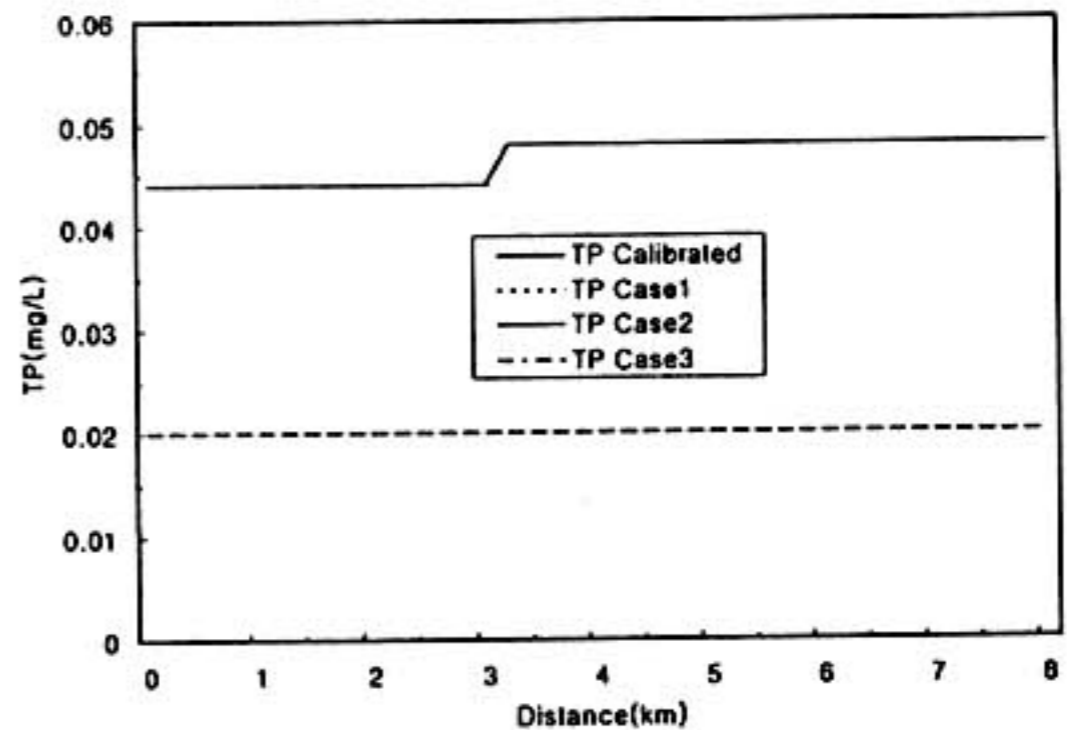


그림 5. 송천의 TP분포

#### IV. 도암호의 장래수질예측

##### 4. 1. 보정

도암호는 하천에 건설된 댐호로서 폭이 좁고 길이가 긴 형상을 하고 있다. 이러한 특성과 수심을 고려해서 그림 6과 같이 3개의 segment로 구분하였다. 3개의 segment 중 segment 3는 segment 2의 하단에 위치하고 있다. 본 연구에서는 호수의 수질이 악화되는 여름의 상황에서 1997년도에 측정된 수질자료<sup>7)</sup>를 이용해서 모델을 보정하였다. 본 연구에서 보정된 반응상수는 표 3과 같다.<sup>8,9)</sup> 저질로부터 인, 질소의 용출과 SOD는 민감도분석 결과로

표 3. WASP5모델의 보정에 사용된 상수값

구 분	ISC No.	적용치
K12C(Nitrification rate at 20°C, /day)	11	0.13
K1C(Saturated growth rate of phytoplankton, /day)	41	3.0
CCHL(Carbon-to-chlorophyll ratio, mg carbon/mg chl-a)	46	30.0
K1RC(Endogenous respiration rate of phytoplankton at 20°C, /day)	50	0.06
PCRB(Phosphorus-to-carbon ratio in phytoplankton, mg P/mg C)	57	0.025
NCRB(Nitrogen-to-carbon ratio in phytoplankton, mg N/mg C)	58	0.25
KDC(CBOD deoxygenation rate at 20°C, /day)	71	0.03
OCRB(Oxygen to carbon ratio in phytoplankton, mg O <sub>2</sub> /mg C)	81	2.67
K71C(Mineralization rate of dissolved organic nitrogen, /day)	91	0.09
K83C(Mineralization rate of dissolved organic phosphorus, /day)	100	0.20

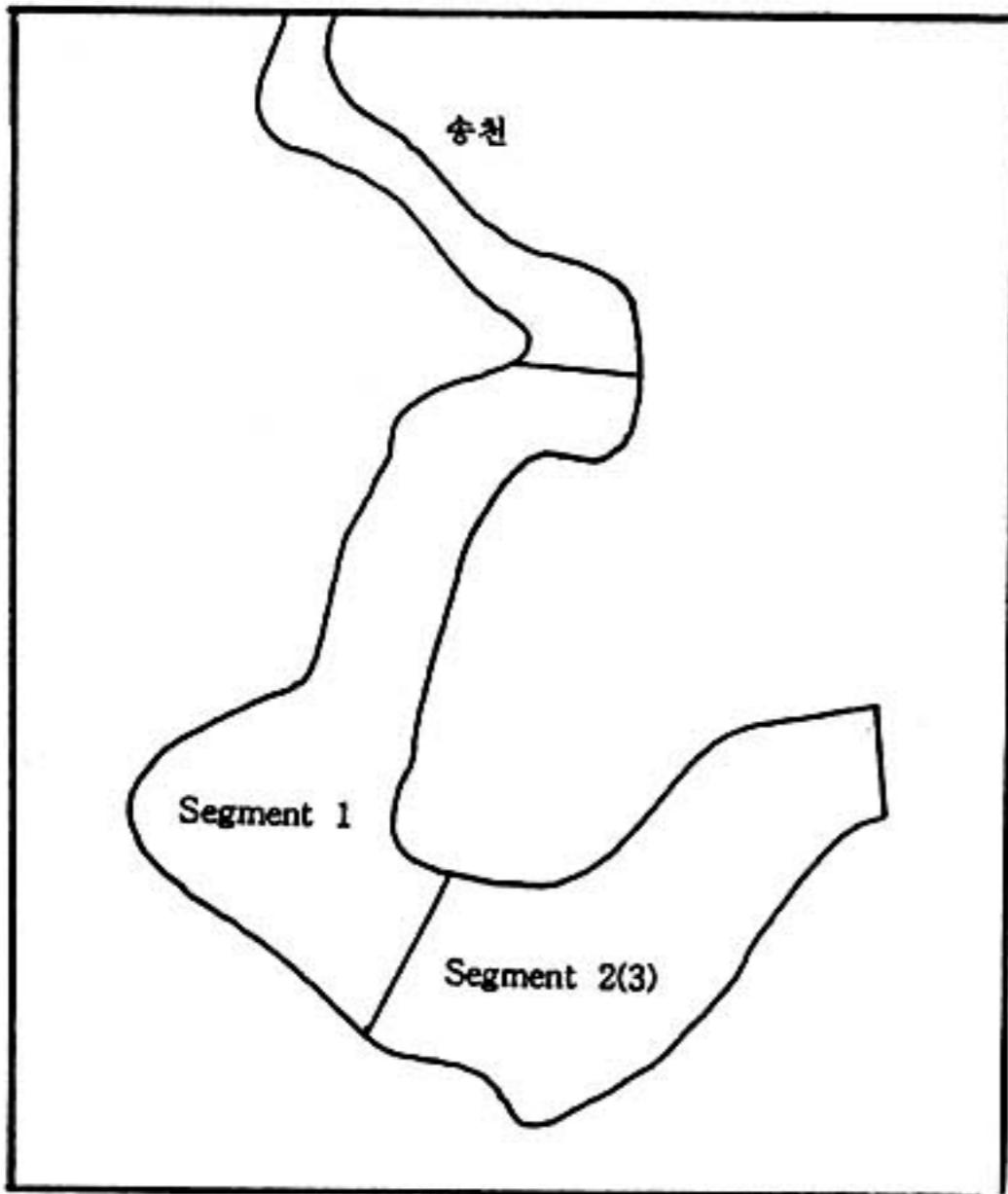


그림 6. 도암호의 segment분할

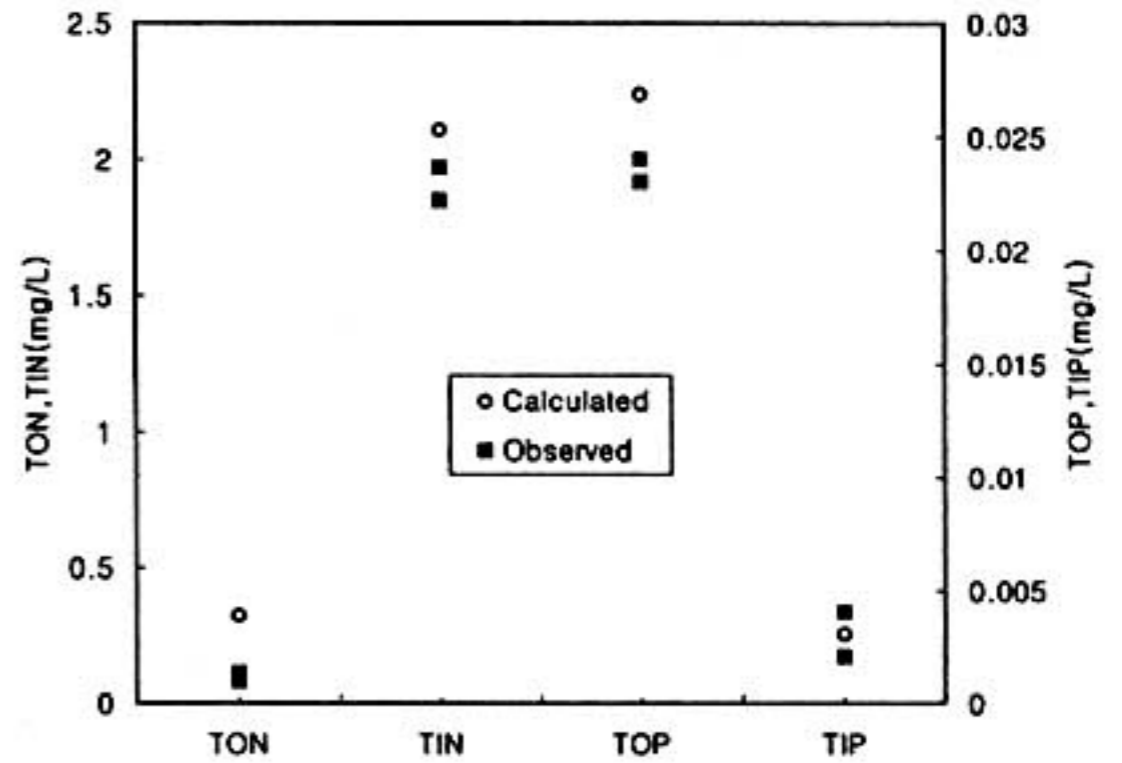


그림 8. Segment 2의 TON, TIN, TOP, TIP 보정 결과

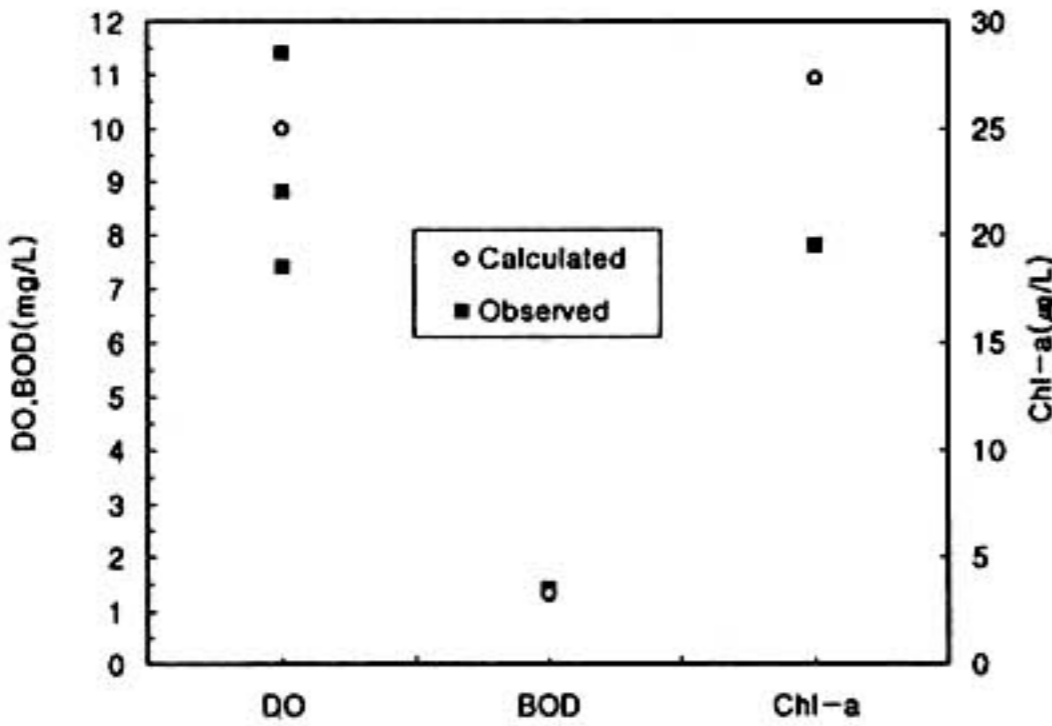


그림 7. Segment 2의 DO, BOD<sub>5</sub>, chl-a 보정결과

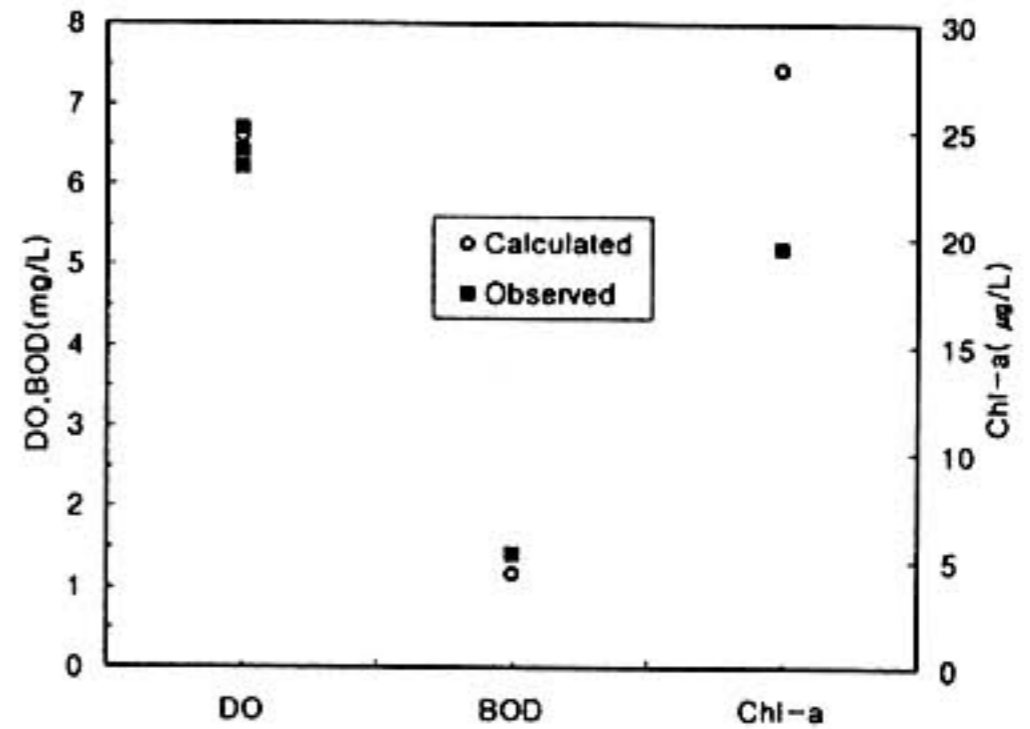


그림 9. Segment 3의 DO, BOD<sub>5</sub>, chl-a 보정결과

보정되었다. 도암호에 적용된 SOD는  $0.5 \text{ g/m}^2\text{-day}$ 이고, 저질로부터의  $\text{NH}_4$  flux는  $10.0\text{-}15.0 \text{ mg/m}^2\text{-day}$ ,  $\text{PO}_4$  flux는  $1.0\text{-}2.0 \text{ mg/m}^2\text{-day}$ 를 적용하였다. segment 2와 segment 3에 대한 DO, BOD<sub>5</sub>, Chl-a, TON, TIN, TOP, TIP의 보정결과는 그림 7-그림 10과 같다. 보정에 사용된 자료는 1997년 8월 28일 도암호의

측정치이며, 다만 BOD자료는 발전방류수의 수질 측정치를 사용하였다. 유역으로부터 도암호에 유입되는 유량은 본 연구의 유량측정자료와 강우량을 기초로 산출되었다.

#### 4. 2. 수질예측

##### 1) 수질예측의 조건

도암호의 장래수질예측은 2006년 여름의 상황으로 실시하였고, 모델에 적용된 각종 상수와 저질로부터의 영양염류의 용출 등은 보정시의 값을 그대로 사용하였고, 도암호의 유입유량도 현재와 같은 것으로 가정하였다.



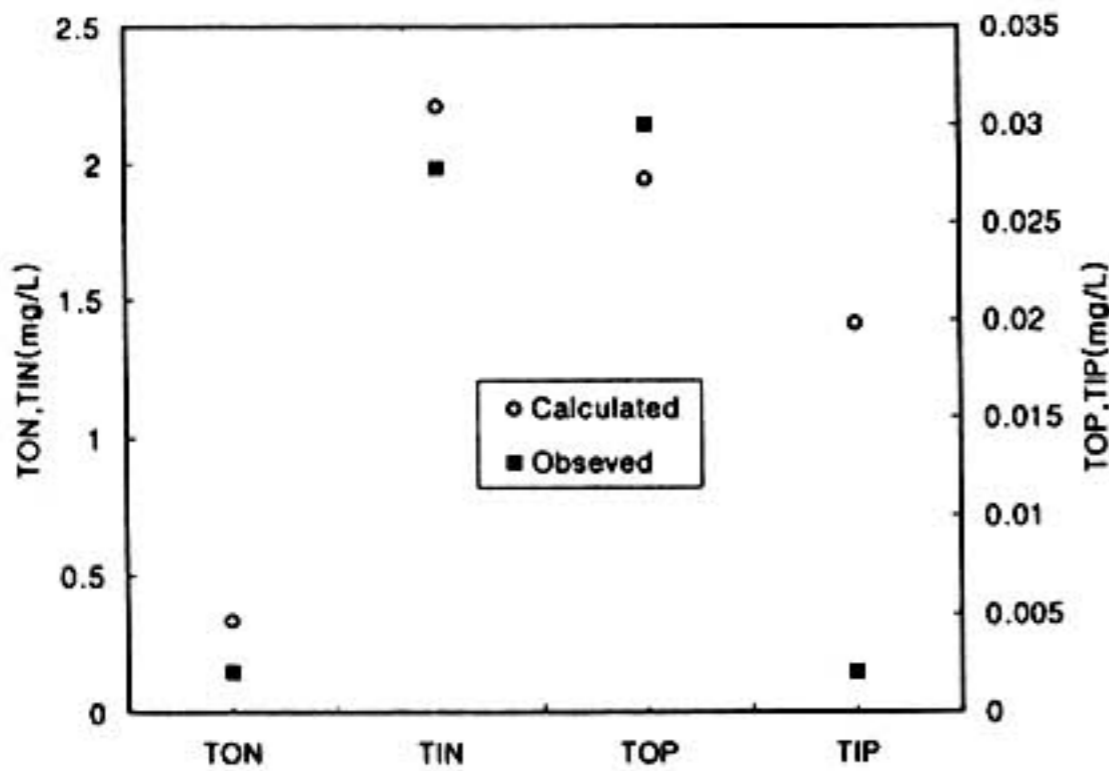


그림 10. Segment 3의 TON, TIN, TOP, TIP 보정결과

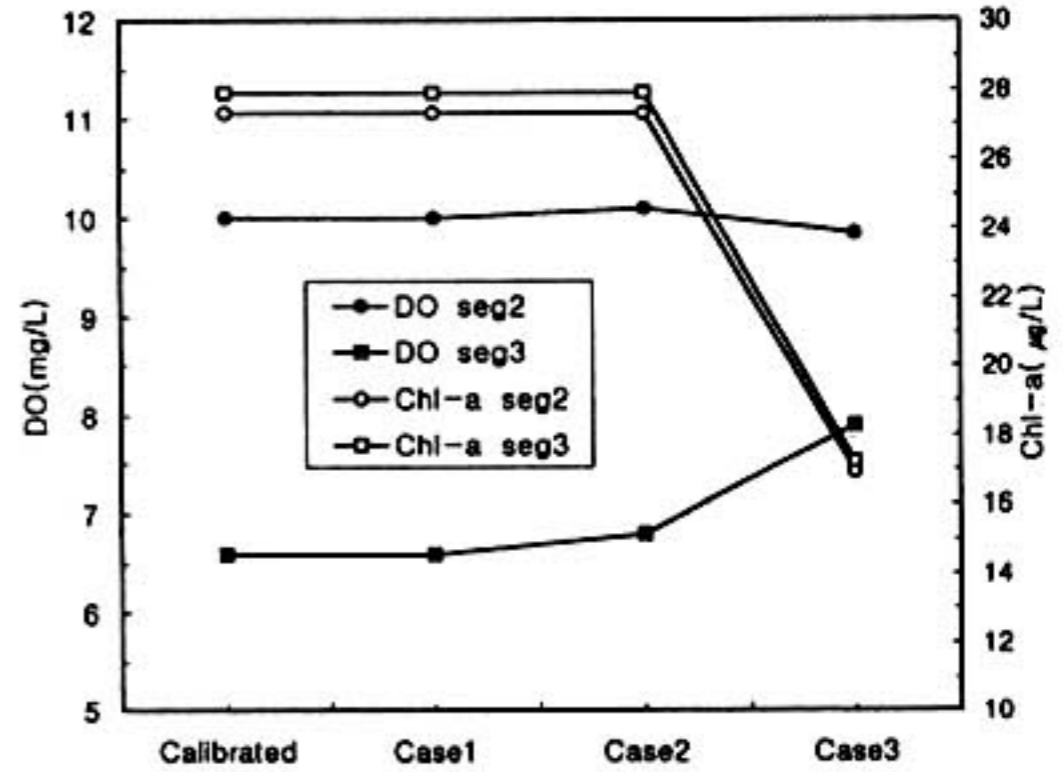


그림 12. 도암호의 DO, chl-a 예측결과

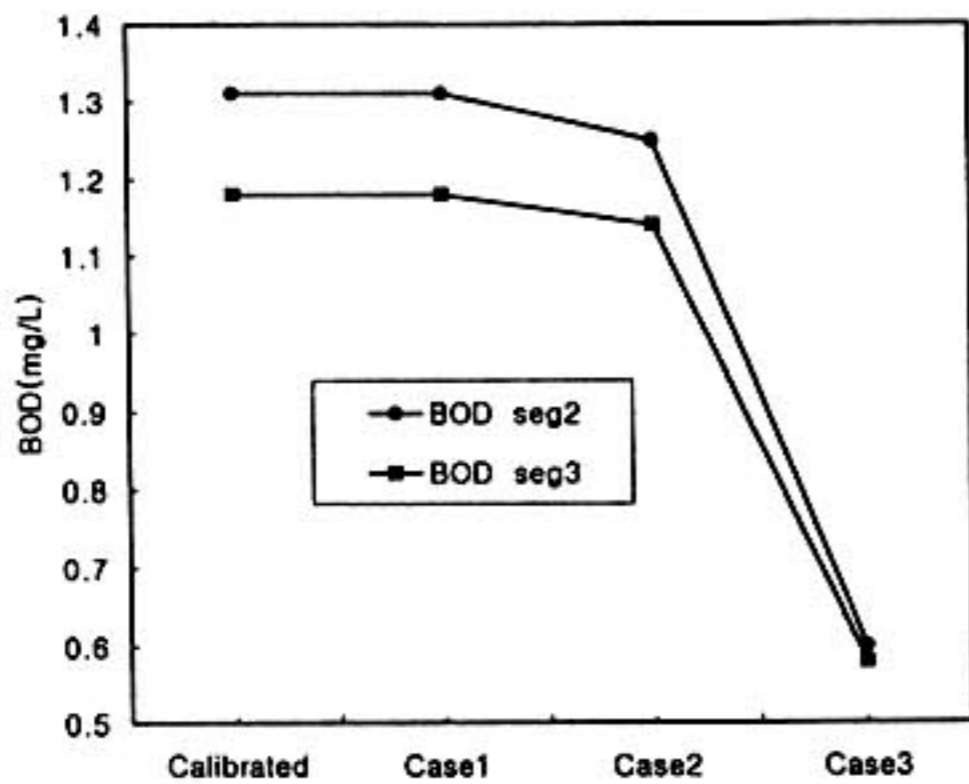


그림 11. 도암호의 BOD<sub>5</sub> 예측결과

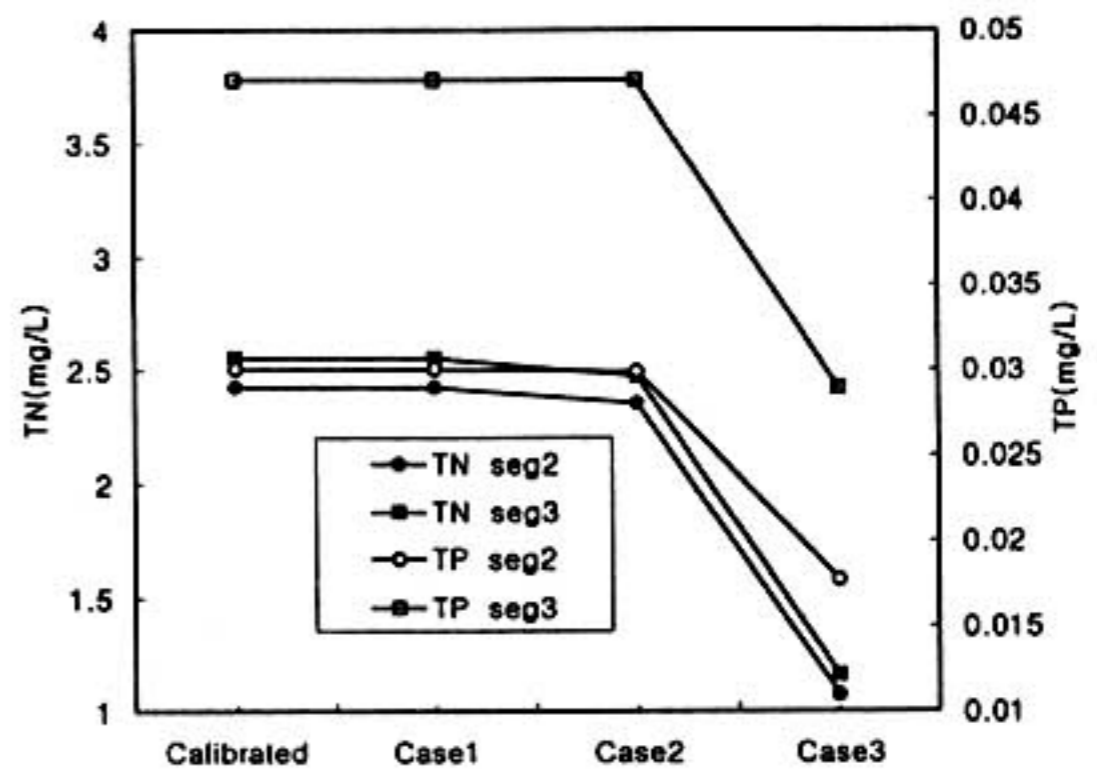


그림 13. 도암호의 TN, TP 예측결과

2) 장래수질

이상의 보정결과를 이용해서 3.2절에서 송천에 적용된 각 Case별로 2006년 도암호의 장래수질을 예측하고, 현재수질과 비교하였다. 장래수질예측에는 segment 2와 segment 3의 결과를 제시하였다. 도암호의 장래수질 예측결과는 그림 11-그림 13과 같다. 도암호 유역전체의 오염부하량이 현재와 비슷한 것으로 추정한 Case 1의 경우 모든 수질항목에서 97년 현재 보정치와 동일한 결과를 나타내었다. BOD의 경우 Case 2는 Case 1보다 다소 감소되고, Case 3에는 유역의 축산폐수와 생활하수가 고

도처리되므로 호수내의 BOD가 큰 폭으로 감소된다. DO는 segment 3의 경우에 Case 2는 현재보다 0.21mg/L 정도 소폭 증가하고, Case 3는 현재보다 1.31mg/L 증가하는 것으로 나타난다. TN은 segment 3의 경우에 Case 2는 현재보다 0.08mg/L 감소하고, Case 3는 현재보다 1.39mg/L 감소하는 것으로 나타난다. TP는 segment 3의 경우에 Case 2는 현재와 비슷하고, Case 3는 현재보다 0.018mg/L 감소하는 것으로 나타난다.

## V. 결 론

송천은 수심이 얇고, 유속이 비교적 빠르기 때문에 재폭기계수와 탈산소계수가 높게 나타났다. 2006년 송천과 도암호의 수질은 Case 1의 경우에 현재와 비슷하고, Case 2는 TN을 중심으로 현재보다 다소 개선된다. Case 3의 수질은 BOD, TN, TP 등의 수질이 대폭 개선되는 것으로 나타났다. 따라서 도암호유역에는 축산폐수의 오염부하가 도암호와 송천의 TP, TN 농도를 상승시키는 주된 요인이 되고, 이러한 축산폐수의 오염부하를 적절히 통제해야만 도암호의 수질을 보전할 수 있다. 한편 도암호유역의 생활하수는 고도하수처리를 하더라도 도암호 수질이 크게 개선되지 않는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. Brown, L.C., Barnwell, T.O., Jr., *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA/600/3-87/007, 1987.
2. Ambrose, R.B., Jr., Wool, T.A., Martin, J.L., *The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Part A: Model Documentation*, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA (1993).
3. Ambrose, R.B., Jr., Wool, T.A., Martin, J.L., *The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5 Part B: The WASP5 Input Dataset*, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA (1993).
4. 평창군, 평창군통계연보, 1996.
5. 평창문화원, 도암면지, 1993.
6. 환경처, 수질보전장기종합계획수립종합보고서, 1992
7. 강릉시, 남대천 및 해양오염 수질개선 학술연구용역 최종보고서, 1998.
8. Thomann, R.V., et al., *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper & Row, Publishers, New York, 1987.
9. Bowie, G.L., et al., *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling*, U.S. EPA/600/3-85/040, 1985.