

## WASP 모형에 의한 충주댐 조정지호의 수질예측

장인수 · 박기범\* · 이원호\*\* · 김지혁\*\*

충주대학교 환경공학부, \*안동과학대학 건설정보과, \*\*충주대학교 토목공학부  
(2009년 4월 10일 접수; 2009년 4월 30일 수정; 2009년 5월 26일 채택)

### Water Quality Prediction of Chungju Regulation Reservoir by WASP Model

In-Soo Chang, Ki-Bum Park\*, Won-Ho Lee\*\* and Ji-Hak Kim\*\*

*Department of Environmental Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea*

*\*Department of Construction Information Andong Science College, Andong 760-820, Korea*

*\*\*Department of Civil Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea*

(Manuscript received 10 April, 2009; revised 30 April, 2009; accepted 26 May, 2009)

#### Abstract

The water quality of reservoir can be controlled by water quality prediction model because it can not only grasping the present water state but also predicting the water quality in future. In this study, WASP model is used to predict the water quality of Chungju regulation reservoir. This model has some special option which predicts the pollutant outflow phenomenon caused by the contamination sources. So this model is widely used because that can present the scientific basis in this field. This model can help the managers make the right choice of water quality policy. Environmental grade of Chungju regulation reservoir is in III,IV grade which is in bad condition comparatively. The water contamination will be in poor as the year passes. When considering T-N, T-P which are the nutrient to control eutrophication, the concentrated administration about contamination sources is in urgent.

**Key Words :** WASP model, Water quality prediction, Chungju regulation reservoir

#### 1. 서 론

최근 이상기온에 의한 홍수와 가뭄이 반복되면서 인간의 수자원 이용에 있어 곤란한 상황이 빈번하게 발생하며, 수자원 관리와 계획에 보다 어려운 문제들이 발생하고 있다. 특히, 수질문제에 있어서는 산업의 발달과 도시화등이 급속하게 진행됨에 따라

배출되는 양은 증가하는 반면, 자연이 받아들여 스스로 정화하는 기능은 점차 감소되고 있으며, 하천 유량은 불규칙적이고 감소하는 추세이다.

또한, 체계적인 수질관리를 위해 최근 환경부에 서 실시하고 있는 오염총량제로 인하여 하천의 오염원에 대한 규제와 관리가 이루어지고 있으나 하천유량의 부족, 관리인적자원의 부족 등으로 관리가 용이하지 않은 것이 현실이다.

본 연구에서는 도시하천과 자연하천의 특성을 가진 충주댐 유역의 하천들에 대한 오염물질 유출특성을 조사하고, 충주댐 하류에 위치한 조정지호(탄

금호)의 수질을 WASP모형을 이용하여 예측하고자 한다.

수질예측모형은 수질오염의 변화에 따른 오염물질의 유출현상을 예측하여 수질관리 분야의 과학적 근거로 제시되는 등 활용도가 높아지고 있는 추세이다. 특히, 미국 환경청(US EPA)에서 개발한 WASP 모형은 호소나 저수지에 수질을 예측하는 데 널리 사용되고 있다<sup>1)</sup>.

WASP 모형을 이용한 선행연구로는 조 등<sup>2)</sup>이 팔당호를 대상으로 적용하여 각 수질항목에 대한 매개변수를 시행착오법으로 계열별로 나누어 추정하는 것이 효율적이라고 제시하였으며, 심 등<sup>3)</sup>에 의해 유전자 알고리즘을 이용한 모형의 매개변수를 추정하는 연구가 시도되었다. 정 등<sup>4)</sup>은 농업용 저수지에 대한 유역의 수질관리를 위하여 WASP 모형을 적용하였다. 안 등<sup>5)</sup>은 안동댐의 수질예측을 위한 매개변수를 추정하였으며, 또한 안 등<sup>6)</sup>은 임하호의 수질연

구에 WASP 7.0모형을 이용하였다.

## 2. WASP모형에 의한 호소 수질모델

### 2.1. 모형의 소개

WASP모형은 1983년 Di Toro 등이 Great Lake의 부영양화와 PCB 오염을 예측하기 위하여 처음 개발하였다. Connolly 등, Ambrose 등에 의해 수정·보완되어 Potomac Estuary 및 James River Estuary, Delaware Estuary, Deep River 등에 적용되었다.

이 모형은 호수, 강, 하구에서 수체의 이동과 일반 및 독성 물질의 이동 및 상호반응을 모의하며, 수계에 대한 동적분할 모형으로서 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있어 연중변화는 물론 짧은 시간간격 사이의 수질성분 변화를 분석하는데에도 대단히 유용하다.

WASP모형의 구성은 수리모형인 DYNHYD와 부영양화모형인 EUTRO, 독성물질모형인 TOXI로 구

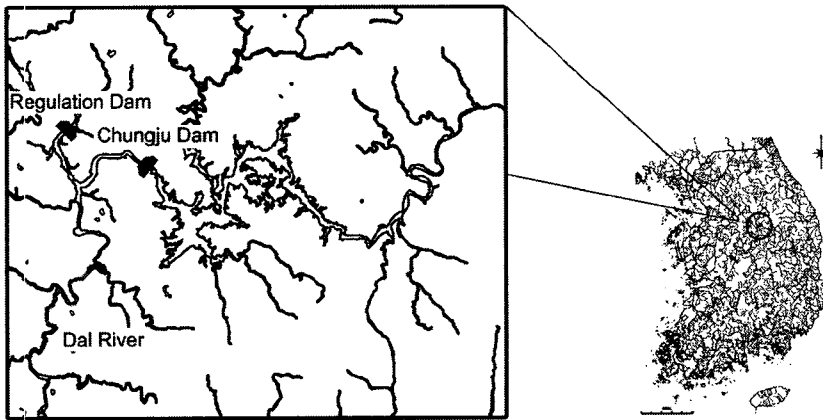


Fig. 1. Study Area.

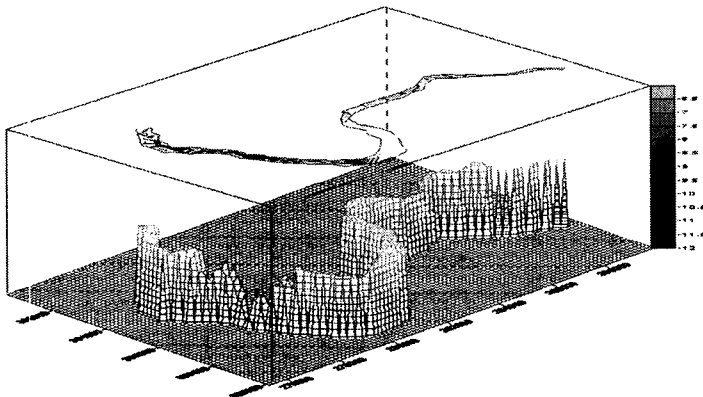


Fig. 2. 3-Dimension diagram of Chungju regulation reservoir.

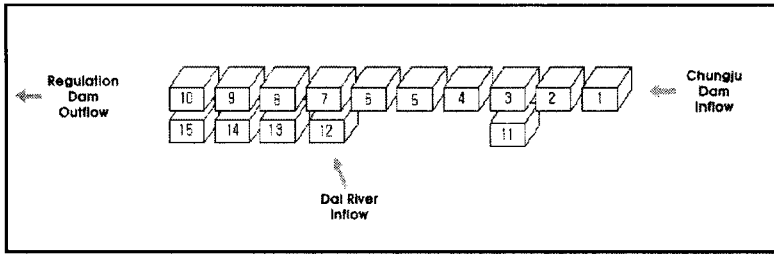


Fig. 3. Chungju regulation reservoir Segment.

성되어 있으며, 국내에 알려진 WASP모형은 대개 환경영향평가서 등에 사용된 EUTRO를 의미한다.

2.2. 모형의 구성

본 연구의 대상 저수지는 충청북도 충주에 위치한 충주댐 하류의 조정지(탄금호)로서 현재 조정지에는 충주댐의 방류량과 달천 유하량이 유입되고 있다.

모형을 구성하기 위해서 조정지호의 체적을 15개 소구간으로 구분하였으며, 성층현상에 의한 수층의 상·하 구분은 인접한 수층의 밀도차이를 계산하여 최대를 나타내는 지점을 택하는 것이 바람직하다. 그러나 수심별 밀도를 측정하는 것은 현실적으로 어려우므로 본 연구에서는 수심별 밀도자료 대신 수온자료를 이용하여 수체를 상층과 하층으로 구분

하였다. 수온의 변화가 급격히 일어나는 1 m지점과 5 m지점을 소구간의 구분을 위한 조건으로 이용하였다.

소구간의 구분은 수심 1 m까지를 표층, 5 m까지를 중간층, 5 m이상인 구간을 심층으로 구분하였으며, 심층의 저면에 저니층이 존재한다고 가정하였다. 특히 모델링시 저니층에서의 용출을 고려하여 저니층의 영향을 반영하였다<sup>7)</sup>.

본 연구에 사용된 자료는 2005년 1월부터 2006년 12월까지의 충주댐과 조정지의 유입량 및 유출량

Table 1. Segment condition and volume

Segment	Under Segment	Segment Condition	Volume(m <sup>3</sup> )
1	-	Surface	307,704.73
2	-	Surface	773,453.46
3	11	Surface	1,087,070.53
4	-	Surface	1,107,929.60
5	-	Surface	1,990,446.81
6	-	Surface	1,319,220.36
7	12	Surface	3,272,198.60
8	13	Surface	2,806,919.72
9	14	Surface	3,255,178.21
10	15	Surface	2,400,722.08
11	-	SubSurface	125,487.54
12	-	SubSurface	633,944.85
13	-	SubSurface	759,505.86
14	-	SubSurface	1,237,055.16
15	-	SubSurface	1,095,544.49

Table 2. Segment area and lateral length

Segment	Area(m <sup>2</sup> )	Lateral length(m)
1~2	70.00	2,112.5
2~3	723.60	1,996.9
3~4	774.50	1,688.3
4~5	701.40	2,006.0
5~6	1,017.90	2,044.4
6~7	1,307.80	2,069.4
7~8	1,589.10	1,744.4
8~9	1,379.70	2,074.0
9~10	1,58.40	1,703.0
2~11	424.10	1,996.9
3~11	424.10	1,688.3
6~12	405.80	2,069.4
12~13	646.70	1,744.4
13~14	496.20	2,074.0
14~15	819.10	1,703.0

Table 3. Segment and vertical length

Segment	Area(m <sup>2</sup> )	Vertical length(m)
3~11	109,712.5	1.73
7~12	346,780.6	2.14
8~13	484,453.5	1.92
9~14	571,958.7	2.22
10~15	394,503.3	2.24

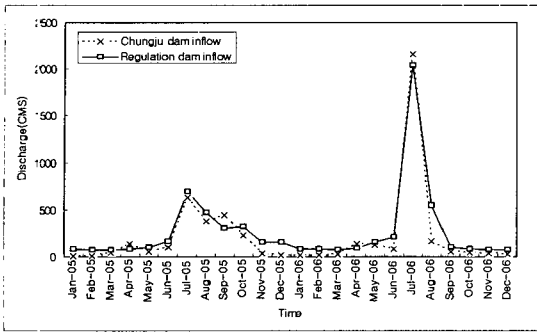


Fig. 4. Inflow comparison.

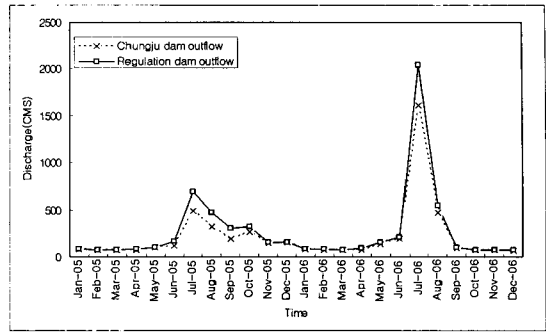


Fig. 5. Outflow comparison.

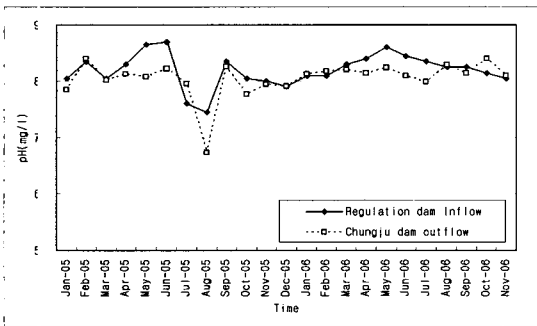


Fig. 6. pH comparison.

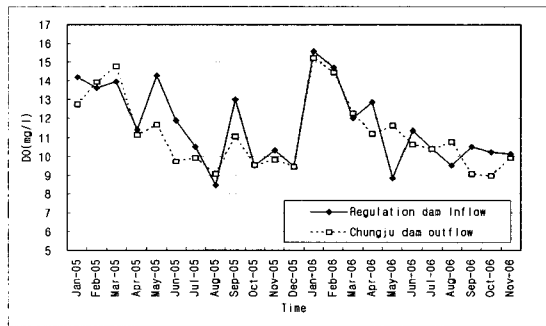


Fig. 7. DO comparison.

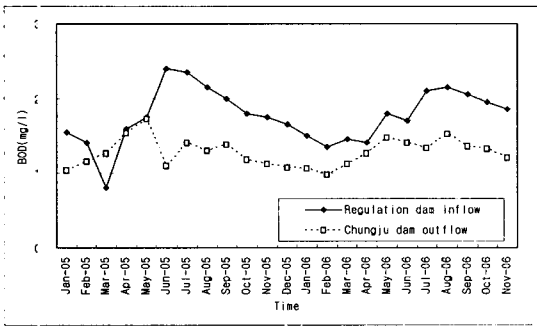


Fig. 8. BOD comparison.

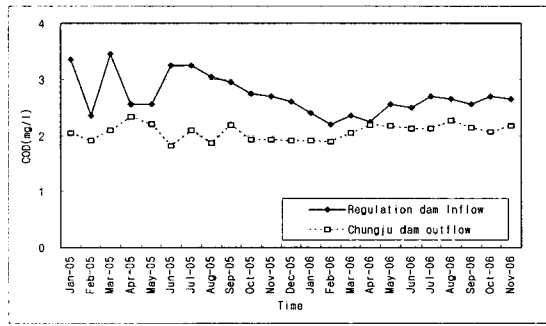


Fig. 9. COD comparison.

자료이며, 이들 월별 한국수자원공사 자료<sup>8)</sup>를 이용하여 수질 모델링을 실시하였다. 충주댐에서 유출된 양과 조정지호로 유입되는 양은 거의 유사하나, 조정지호로 달천이 유입되므로 대체로 조정지의 유입량과 방류량이 크게 나타났다.

본 연구에서 조정지호로의 유입량은 충주댐 방류량과 달천 유하량으로 구성되며, 유역의 경계농도 산정을 위한 유입하천의 수질은 동일기간에 측정된 결과를 이용하였다<sup>8)</sup>. 충주댐에서 방류된 유량의 수

질상태에 비해 조정지로 유입되는 유량의 수질은 중간에 달천이 유입되면서 전체적으로 악화되는 것으로 나타났다. 특히 BOD, COD 그리고 T-P는 충주댐 방류량에 비해 상당히 높게 나타났다.

### 3. 수질 모의 결과 및 예측

#### 3.1. 수질모형의 검증

WASP 모형의 검증에 사용된 자료는 과업기간중 실측된 수질자료를 이용하여 WASP 모형의 변수를

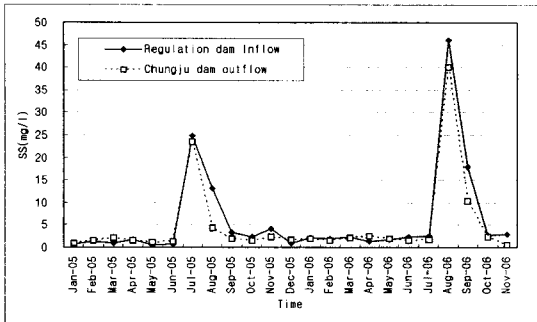


Fig. 10. SS comparison.

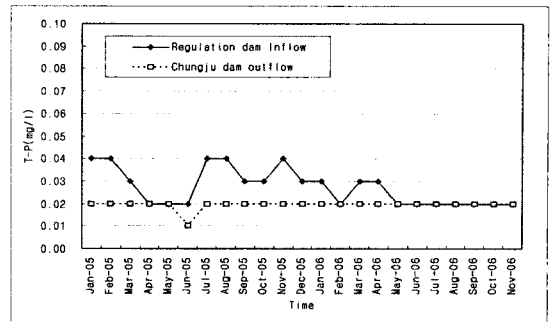


Fig. 11. T-P comparison.

Table 4. Calibrated values of reaction coefficients

Parameters	No.	Remarks	Value from WASP Range	Estimated Value
Growth	41	Saturated growth rate of phytoplankton (day <sup>-1</sup> )	2.0	2.0
	42	Temperature Coefficient	1.068 [1.0]	1.068
Light	43	Light Limitation 1 : Di Toro et al(1971) 2 : Dick Smith's(USGS)	1	1
	46	Carbon-Chlophyll Ratio, (mgC/mgChl-a)	20 ~ 50 [30]	30
	47	Saturating Light Intensity (Ly/day)	200 ~ 500	500
Nutrient	49	Constant for Phosphorus half saturation (mgPO <sub>4</sub> -P/l)	0.001	0.05
	58	Nitrogen to Carbon Ratio (mgN/mgC)	0.1~0.48 [0.25]	0.25
	50	Endogenous Respiration (day <sup>-1</sup> )	0.02~0.2 [0.125]	0.125
Death	51	Temperature Coefficient	1.045 [1.0]	1
	52	Anaerobic algae decomposition rate (day <sup>-1</sup> )	0.02	0.02
	55	Dentrification rate at 20°C (day <sup>-1</sup> )	.	0.2
	56	Temperature Coefficient	1.0	1.08

보정함으로써 수질예측모형이 실제 수역의 특성을 반영할 수 있도록 하였다. 각 계수의 보정에서 DO는 재폭기 계수, 탈산소계수, 질산화율, Sediment 산소요구량, 조류성장, 조류의 내생호흡률 등을 이용하여 보정하였다.

BOD보정은 BOD 수질 농도에 영향을 미치는 조류 사멸률, 산화율, 유기물질 침강속도, 탈질소율 등에 대한 시행착오법으로 수행되었다. 모의치와 실측치는 1번과 5번 지점을 제외하고는 대체적으로 비슷한 수치를 나타냄을 알 수 있다.

T-N은 수질에 영향을 미치는 유기질소 무기화율,

조류의 성장 및 사멸률, 질산화율, 탈질소율, 유기물질 침강속도 등을 이용하여 보정하였다.

T-P는 조류내의 인과 탄소의 비율, 용존 무기인의 무기화율, 20°C 저니층에서 유기인의 분해 반응률 등에 대해 수질농도에 미치는 영향을 시행착오법을 통해 수행하였다.

본 연구에서는 보정에 의해 구한 상수값은 Table 4와 같다.

### 3.2. 장래 수질예측 결과

WASP 모형의 보정을 통하여 조정지호의 수질예측은 2011년과 2016년 2개 년도에 대하여 실시하였다.

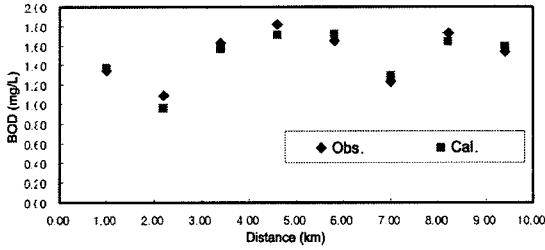


Fig. 12. BOD calibration results.

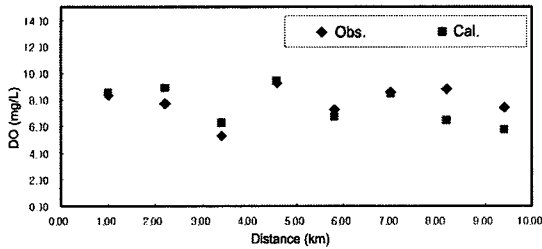


Fig. 13. DO calibration results.

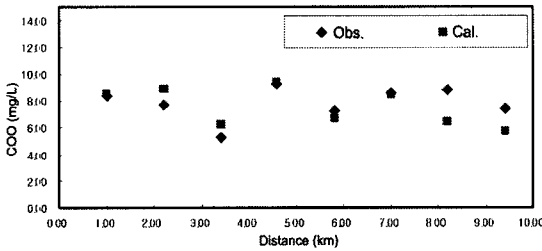


Fig. 14. COD calibration results.

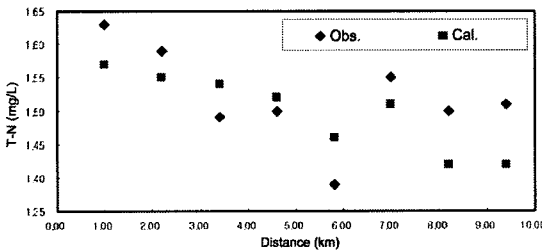


Fig. 15. T-N calibration results.

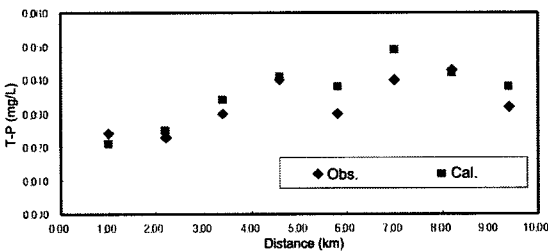


Fig. 16. T-P calibration results.

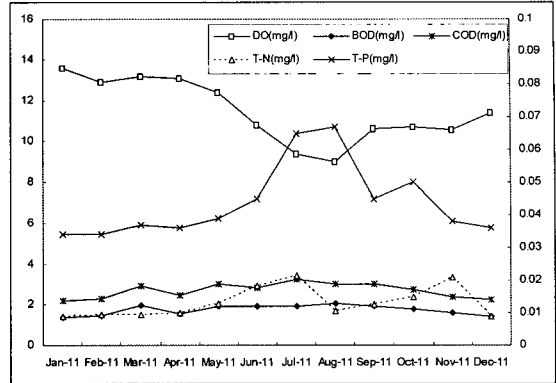


Fig. 17. Prediction of Water Quality in Chungju regulation dam(2011).

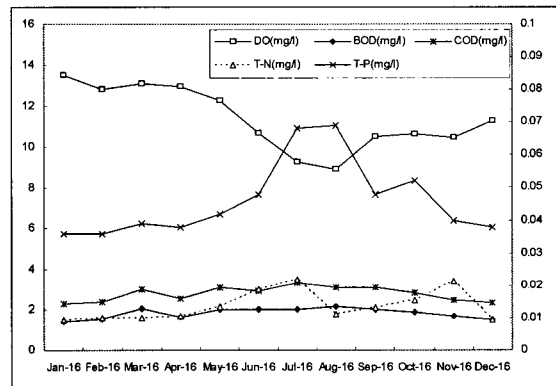


Fig. 18. Prediction of Water Quality in Chungju regulation dam(2016).

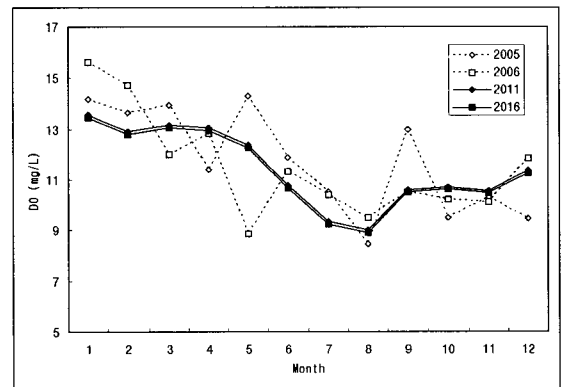


Fig. 19. Comparison of 2005, 2006 and 2011, 2016(DO).

조정지호의 수질예측 결과, 호소수질등급을 나타내는 COD의 경우, 2011년과 2016년에는 수질오염

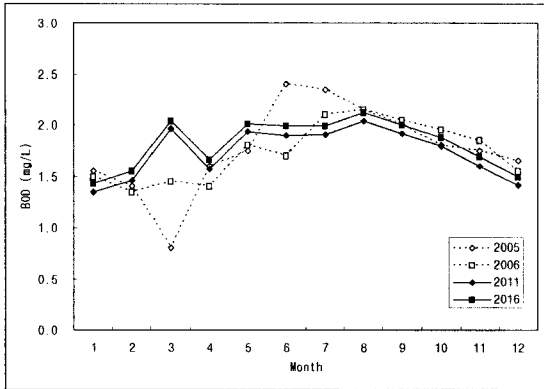


Fig. 20. Comparison of 2005, 2006 and 2011, 2016(BOD).

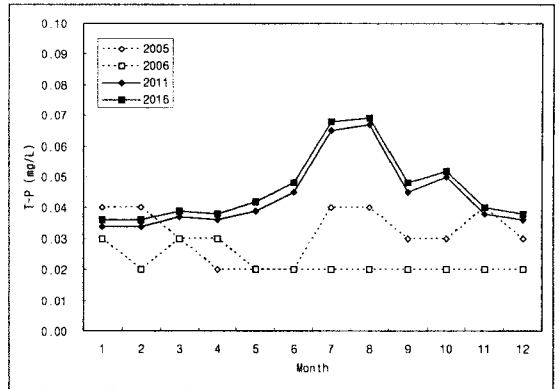


Fig. 23. Comparison of 2005, 2006 and 2011, 2016(T-P).

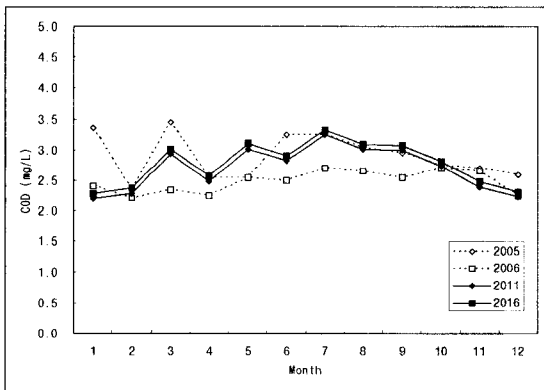


Fig. 21. Comparison of 2005, 2006 and 2011, 2016(COD).

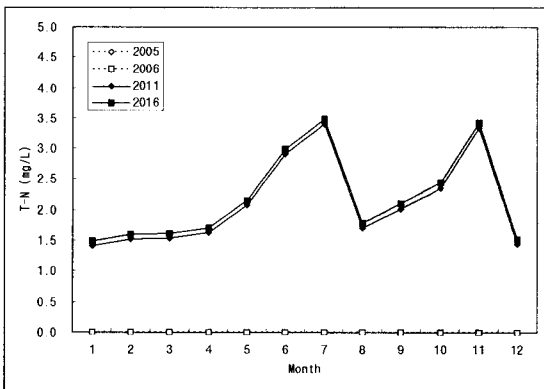


Fig. 22. Comparison of 2005, 2006 and 2011, 2016(T-N).

이 증가하여 2016년 3.33 mg/ℓ 로 호소수질 Ⅲ등급을 유지할 것으로 예측되었다. DO의 경우, 겨울철인 1월에 가장 큰 값을 나타내고 있고, 8월 가장 작

은 값을 나타내는 것으로 예측되었으며, 2016년 13.49 mg/ℓ 로 감소하여 호소수질 I 등급을 유지할 것으로 예측되었다.

호소의 부영양화를 일으키는 주요 인자인 T-N과 T-P의 경우, 년중 7월에 매우 큰 값을 나타내고 있으며, 2011년과 2016년도에는 수질오염농도가 증가하여 2016년 T-P 0.068 mg/ℓ 로 호소수질 IV등급을 유지할 것으로 예측되어 조정지호 수질저감대책수립이 요구된다.

예측된 2011년, 2016년 수질결과와 조사된 2005년 2006년 수질자료를 비교하여 보면, DO, BOD의 경우는 6~8월의 경우 예측된 수질이 2005년, 2006년보다 대체적으로 낮게 나타났으며, COD의 경우는 예측된 수질이 대체로 높게 나타났다. 조정지댐에 부영양화를 일으키는 주요 원인인 T-N과 T-P를 살펴보면, T-N의 경우 2005년, 2006년에는 한국수자원공사의 자료<sup>8)</sup>에 0으로 나타나 있으므로 예측된 결과와 상대적인 비교가 어려우나, T-P의 경우에는 예측된 결과가 현재의 자료보다 높게 나타나 대책이 요구된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 충주댐 하류에 위치한 충주댐 조정지호에 대한 2005년과 2006년의 수질상태를 조사분석하여 향후 수질관리와 오염발생에 대한 대책을 수립하는 데 기초자료로 사용하고자, 2011년과 2016년에 대한 수질오염 상태를 WASP 모형을 이용하여

예측하였다.

WASP 모형을 이용하여 수질예측을 실시하고 분석한 결과, 조정지댐에서는 지류인 달천 유입량으로 인해 충주댐에서 방류되는 수질보다는 BOD, COD 그리고 T-P의 오염정도가 상대적으로 크게 나타났다. 호소수질등급을 나타내는 COD의 경우, 2011년과 2016년에는 수질오염이 증가하여 2016년 3.33 mg/ℓ로 호소수질 III등급을 유지할 것으로 예측되었으며, 다른 항목에 비해서 T-P의 예측된 결과가 현재의 자료보다 높게 나타나 대책이 요구되는 것으로 나타났다.

조정지댐에 부영양화를 일으키는 주요 원인인 T-N과 T-P의 경우, 7월에 큰 값을 보이고 있어 2006년의 경우, T-P의 값이 0.057 mg/ℓ로서 호소수질 IV등급을 나타내고 있다. 장래 예측된 결과에서는 오염농도가 증가하여 2016년 기준으로 T-P가 0.068 mg/ℓ로 예측되어 호소수질 IV등급을 유지할 것으로 예측된다. 따라서 이에 대한 오염원 저감대책이 절실하며, 유역관리와 수질보전대책을 수립해야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구입니다.

### 참고 문헌

- 1) 김상용, 2005, 성층호 모의를 위한 WASP의 수리해석 모듈 개선, 충북대학교 공학석사 논문, 1-2.
- 2) 조홍연, 이길성, 전경수, 한광석, 1993, WASP4 모형의 매개변수 추정 -팔당호를 중심으로-, 대한토목학회 논문집, 13(4), 177-188.
- 3) 심순보, 김연국, 김만식, 심규철, 2000, 유전자 알고리즘을 이용한 WASP5/EUTRO5 모형의 매개변수 추정, 대한토목학회 논문집, 21(4-B), 315-326.
- 4) 정팔진, 고흥석, 현미희, 이은주, 2004, WASP5 & WASP Builder을 이용한 농업용저수지 유역의 수질 관리, 한국물환경학회지, 20(5), 422-431.
- 5) 안승섭, 서명준, 박노삼, 정광옥, 2007, 수질예측을 위한 WASP7 모형 매개변수의 추정, 한국환경과학회지, 16(5), 623-632.
- 6) 안승섭, 서명준, 정도준, 박노삼, 2008, WASP7 모형을 이용한 임하호 수질모의에 관한 연구, 한국환경과학회지, 17(6), 611-621.
- 7) 장인수 등, 2006, 조정지호 수질예측 및 오염원 관리 방안 보고서, 한국수자원공사.
- 8) <http://www.kwater.or.kr>