

총량규제에 따른 주암호의 장래 수질 예측

장성용 · 안기선 · 권영호 · 한재익*

서남대학교 환경공학과, *서남대학교 토목공학과
(2009년 7월 15일 접수; 2009년 9월 29일 수정; 2009년 10월 20일 채택)

Water Quality Simulation of Juam Reservoir Depend on Total Pollution Loads Control

Sung-Ryong Jang, Ki-Sun An, Young-Ho Kwon and Jae-Ik Han*

Department of Environmental Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea

**Department of Civil Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea*

(Manuscript received 15 July, 2009; revised 29 September, 2009; accepted 20 October, 2009)

Abstract

When the Juam multipurpose dam which is connected with existing large water supply facilities is finished, water environment is changed from stream to lake. The changed quality of water should be examined. In this study, the result of water quality forecasting is analysed and an effective management plan of water quality is presented. In this study, the WASP5 model that is a dynamic water quality simulation model was selected to forecast the water quality. This model forecasts movement of change of pollutants. For an application of the model, the subject areas were divided into seventeen sub-areas by considering change temperature depending measuring points and on depth of water. Meteorological data collected by the meteorological observatory and data about quality measured by the Korea Water Resources Development Corporation were used for an operation of the model. As a result of quality examination through quality data and estimated pollutant loading, the water quality environment criterion was grade II and the nutritive condition was measured as meso-graphic grade. In this study, an effective management was planned to improve water quality by reducing pollution load. According to the result of examination, when more than 30% of BOD was reduced it was recorded that the environment standard of water quality was improved to the second grade.

Key Words : Total pollution loads control, WASP5 model, Pollution load

1. 서론

주암다목적댐은 보성강 수계의 주암본댐(주암호)과 이사천 수계의 조절지댐(상사호)을 동시에 건설하여 2개의 댐을 도수터널로 연결한 유역변경식 댐이다. 보성강에 속해있는 주암본댐은 전라남도 순천시 주암

면 대광리가 구산리간의 협곡에 위치하고 있다. 주암댐은 생활용수와 공업용수로 주로 사용되고 있으며, 이밖에도 농업용수와 수력발전 등으로 일부분이 이용되고 있다. 수원으로 활용하기 위해서는 댐의 수질을 II급수로 유지할 필요성이 대두되고 있다.

따라서, 주암댐의 수질 측면에서 장기간 안정적인 수원으로 유지하는데 활용할 수 있는 수질예측이 필요하다. 한편, 현재 댐 운영시의 하천 수질조사에 의하면 상수원 수질기준에 부합한 것으로 나타나고 있다.

그러나, 인공호소는 오염물질이 외부에서 유입되

Corresponding Author : Young-Ho Kwon, Department of Environmental Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea
Phone: +82-63-620-0222
E-mail: success07@mepal.com

어 호수에 퇴적되거나, 먹이사슬을 통하여 호수내부에 축적되어 순환되기 때문에 수질관리에 소홀하게 되면 호소수질은 급속히 악화된다¹⁾.

이와 같이 관리하기 쉽지 않은 수자원을 수학적 모형기법을 적용하여 관리할 경우 매우 효과적임이 국내외에서 발표된 여러 보고서들에서 증명된 바 있다. 이런 수학적 기법을 활용하는 모형은 연중 호소수의 수질성분을 예측하는 예측적 수단으로 개발되어 있다. 이런 모형은 수질에 관련된 주위 환경 변화에 대한 영향의 예측과 평가를 가능하게 한다. 따라서, 오염물질의 변화과정을 수학적 모델링 기법을 사용하여 해석하는 수질모델 결과가 수질관리에 반영됨으로서 장래 오염원이 될 가능성이 큰 요소를 파악하여 제거할 수 있다²⁾. 그리고 차후 주 위험요소로 선정함으로써 보다 안정적으로 수원을 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 수학적 기법을 활용한 모형을 적용하여 주암댐의 장래 수질변화를 예측하고, 그 결과의 분석을 통해 향후 안정적인 수원 유지를 위한 수질관리 대책을 마련하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 모델의 원리

본 연구에서는 현재의 유입 하천수에 의해 BOD, DO, T-N, T-P에 대한 수질 항목을 이용하여 부영양화에 대해 조사하였다.

이 결과를 통해 주암댐 내로 유입되는 오염부하량을 단계적으로 저감하여 II급수의 호소 수질에 도달하도록 수질모의를 실시하였다.

WASP 모델은 수체의 거동을 모의하는 DYNHYD (Hydrodynamics Program) 부분과 오염물질의 거동과 상호작용을 모의하는 좁은 의미의 WASP(Water Quality Program) 부분으로 나누어진다. Fig. 1³⁾ WASP 부분은 다시 부영양화, DO, BOD, 영양염류 등의 보편적인 오염현상을 모의하는 EUTRO 부모모델과 유기화학물질, 금속물질 등의 보편적인 오염현상을 모의하는 TOXI 부모모델로 구분된다. 이러한 두 가지 부모모델은 모두 유속, 유량, 수심 등의 흐름상태의 입력 자료를 필요로 하고, 이 흐름 입력

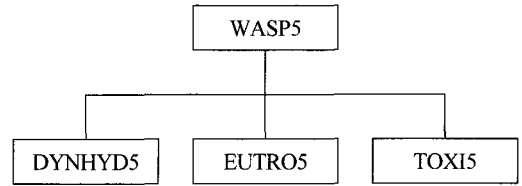


Fig. 1. Configuration of a WASP model.

자료는 DYNHYD 모델의 결과를 불러서 사용하거나, 두 가지 부모모델에 직접 입력할 수 있다⁴⁾.

WASP 모델은 호소 및 저수지, 하천, 하구부 및 해안 등과 같이 다양한 수체에 이용 가능한 동수역학적 모델로써 2, 3차원에서의 확장이 가능한 구획(Segment)분할 체계를 가지고 있다. 대상 수체의 상태를 적절히 표현할 수 있도록 구획분할을 연결하여 모델을 구축할 수 있으며 연직방향으로는 4가지 형태(표층수층 : surface water layer, 저층수층 : subsurface water layer, 저면표층 : upper benthic layer, 저면저층 : lower benthic layer)의 구획을 가질 수 있도록 하였다⁵⁾.

2.2. 대상지역 현황

주암호의 총 유역면적은 1,010 km²로써 보성강 전체 유역면적인 1,304 km²의 약 77.5%에 달하나 보성강댐의 유역면적 275 km²와 동북댐의 유역면적 187 km²를 제외한 유역면적은 548 km²이다. 동북댐과 보성강댐의 유역을 제외한 유역 내의 행정구역은 Table 1에 나타내었다.

2.3. 대상지역 구획화

수질을 예측하기 위한 모형은 여러 종류가 있으

Table 1. The Juam reservoir valley record of performances district present situation

Lake	Megalopolis	City·County·Ward	Town · Myeon · Dong
Juam reservoir	Jeollanam-do	Hwasung-gun	Dongbokmyeon, Nammyeon, Hancheonmyeon
		Boseong-gun	Bongnaemyeon, Gyeombaekmyeon, Yureomyeon
		Suncheon-si	Songgwangmyeon, Oeseomyeon, Juammyeon

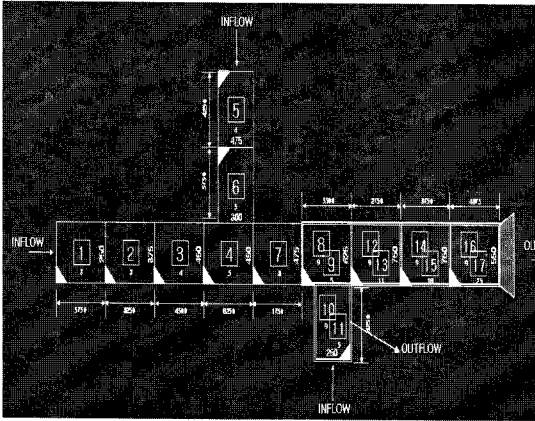


Fig. 2. Juam reservoir segment division key map.

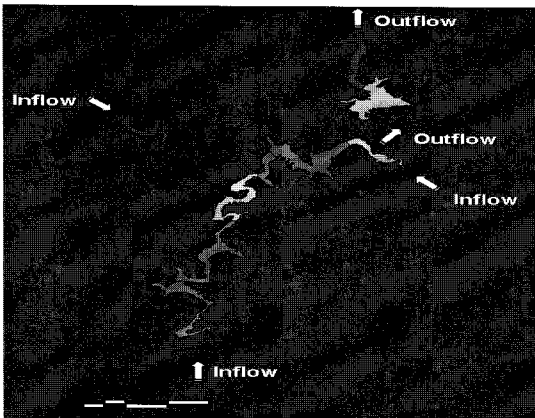


Fig. 3. Juam reservoir segment division.

나 본 연구에서는 부영양화 관련 수질항목에 대한 모의가 가능하고, 요소별로 구획(Segment)분할이 가능한 BOX형 모형으로서 시간에 따른 변화를 고려할 수 있는 WASP5(Water Quality Analysis Simulation Program)모형을 적용하였다.

주암호 유역은 548 km²의 유역면적에 보성강과 그 지류인 동복천으로 형성되어 있다. 이 유역을 수질에 직접적인 영향을 미치는 지역에 따라 2개의 배수구역으로 설정하였다. 즉, 보성강을 발원지에서 댐 계획 지점까지, 동복천 전 구간으로 하는 유역으로 분할하였다.

분할한 배수구역에 따라 인구, 토지 및 가축 등의 오염물질별로 발생 오염부하량을 산정하였다. 오염부하량 산출시 2008년의 자료를 기준으로 하고 04 ~08

년까지의 자료를 이용하여 2010년 부하량을 산정하였다.

수질모의를 위해 댐 수몰지역을 비슷한 수리·수질적 특성을 갖도록 총 17개로 구획분할(Segment)을 하였다. 구획분할시 종방향은 수질채취 지점이 포함 되도록 구획하였고, 횡방향은 종방향에 비하여 길이가 짧아 고려하지 않았으며, 연직방향은 성층현상을 고려하여 표층수 심층수로 구분하여 분할하였다.

유출분석은 주암호 상류지역의 수위관측소 부재로 인해 대상지역과 유사한 유출특성을 갖는 인접수계의 보성강 유량 자료를 비유량법에 의해 산출한 문헌 조사 자료를 이용하였다.

2.4. 오염부하량 산정

생활계 발생유량 및 발생부하량은 실제 생활용수 사용유량에 오수전환율을 곱하여 산정하였고, 가정인구와 영업인구의 분뇨 발생유량은 각각의 인구수에 분뇨 발생원단위를 곱하여 산정하며, 잡배수 발생유

Table 2. Juam reservoir influx element delivery ratio and density

Element	Month	Yudalyul	Concentration
1	1	0.08	1.31
	2	0.02	0.85
	3	0.03	1.00
	4	0.25	1.00
	5	0.31	0.85
	6	0.14	1.00
	7	0.93	0.69
	8	6.11	0.77
	9	1.87	0.77
	10	0.34	1.54
	11	0.16	1.31
	12	0.09	1.08
5	1	0.22	3.76
	2	0.05	2.75
	3	0.08	3.01
	4	0.53	2.25
	5	0.77	2.25
	6	0.37	2.75
	7	2.86	2.25
	8	24.52	3.26
	9	6.36	2.75
	10	0.84	4.01
	11	0.50	4.26
	12	0.29	3.76

Table 3. Constants for Juam reservoir EUTRO5 simulation

ISC	ANAME	Dafinition and variable	Unit	Scope	JuAm reservoir
11	K12C	20℃에서의 질산화를 K_{12}	day ⁻¹	0.09~0.16	0.11
12	C12T	질산화의 온도보정 계수 θ_{12}		1.0	1.08
13	KNIT	질산화에 의한 산소의 반포화계수 K_{NIT}	mg O ₂ /L	2.0	0.5
21	K20C	20℃에서의 탈질산화를 K_{2D}	day ⁻¹	0.09~0.13	0.1
22	K20T	탈질산화의 온도보정 계수 θ_{2D}		1.0	1.045
23	KNO3	탈질산화에 의한 산소의 반포화계수 K_{NO_3}	mg O ₂ /L	0.1	0.1
41	K1C	조류의 최대 성장률 K_{1c}	day ⁻¹	0.1~0.5	2.0
42	K1T	조류성장에 대한 온도보정계수 θ_{1c}		1.0	1.0
43	LGHTS	빛에 관한 함수		1	1
44	PHIMX		mg C/mole photons	720	720
45	XKC		(mg chl-a/m ³) ⁻¹ /m	0.017	-
46	CCHL	조류내의 탄소와 chlorophyl-a의 비율	mg C/mg Chl-a	30	30
47	ISI	LIGHT에서 1을 선택했을 때 조류에 대한 포화 빛에너지 강도	Ly/day	300	300
48	kmNG1	조류의 성장에 대한 질소의 반포화 계수 K_{mn}	mg N/L	Large	-
49	kmPG1	조류의 성장에 대한 인의 반포화 계수 K_{mp}	mg PO ₄ -P/L		-
50	K1RC	조류의 내생 호흡률 K_{1R}	day ⁻¹		-
51	K1RT	온도보정계수 θ_{1R}		1.045	1.045
52	K1D	식물성 조류의 사멸률 K_{1D}	day ⁻¹	0.02	0.02
53	K1G	동물성 플랑크톤 단위농도당 식물성 플랑크톤 포식을 K_{1G}	L/cell-day	0.1~1.5	-
54	NUTLIM	영양염류(질소)의 성장 제한 인자 X_{RN}		0	-
55	KPZDC	20℃ 저니층에서 조류의 분해율	day ⁻¹	0.0004	0.0004
56	KPZDT	조류분해에 대한 온도보정계수		1.0	1.0
57	PCRB	조류내의 탄소에 대한 인의 질량비 a_{pc}	mg P/mg C	0.01-0.047	0.02
58	NCRB	조류내의 탄소에 대한 질소의 질량비 a_{nc}	mg N/mg C	0.1-0.48	0.2
59	kmPHY	인에 의한 식물성 플랑크톤의 반포화계수 K_{mpc}	mg C/L	0	
71	KDC	20℃에서 CBOD에 의한 산소 소모율	day ⁻¹	0.16-0.21	0.04
72	KDT	KDC에 대한 온도보정계수		1.047	1.047
73	KDSC	20℃ 저니층에서 CBOD에 의한 산소소모율	day ⁻¹	0.0004	-
74	KDST	KDSC에 대한 온도보정계수		1.08	-
75	KBOD	산소부족에 대한 반포화계수 K_{BOD}		0.5	-
81	OCRB	탄소에 대한 산소의 질량비	mg O ₂ /mg C	32/12	2.67
82	K2	산소의 재포기율	day ⁻¹		0.2
91	K71C	20℃에서 유기성 질소의 광화율 K_{71}	day ⁻¹	0.075	0.75
92	K71T	질소의 광화율에 대한 온도보정계수 θ_{71}		1.0	1.0
93	KONDC	저니층에서 유기질소의 분해반응율	day ⁻¹	0.0004	-
94	KONDT	KONDC에 대한 온도보정계수		1.0	-
95	FON	사멸된 플랑크톤중 유기성 질소로 재순환되는 비율 f_{ON}		1.0	1.0
100	K83C	20℃에서 용존유기성 인의 광화율 K_{83}	day ⁻¹	0.22	0.22
101	K83T	인의 광화율에 대한 온도보정계수 θ_{83}		1.0	1.05
102	KOPDC	저니층에서 유기인의 분해반응율	day ⁻¹	0.0004	0.0004
103	KOPDT	KOPDC에 대한 온도보정계수		1.08	1.08
104	FOP	사멸된 플랑크톤 중 유기성 인으로 재 순환되는 비율 f_{OP}		1.0	1.0

량은 잡배수 사용유량에 오수전환율을 곱하여 산정한 다. 생활계 오수발생유량은 가정인구와 영업인구에 의한 오수발생량을 합하여 산정하였다. 발생부하량은 가정인구와 영업인구의 발생부하량의 합으로 나타내며, 영업인구의 발생부하량은 오수발생유량에 오수발생농도를 곱하여 산정하였다. 오수발생농도에 대한 실측자료가 없는 경우는 표준발생농도를 곱하여 산정하도록 하였으나 건축물의 용도를 상세하게 분류할 수 없어 BOD₅ 150 mg/L, T-N 50 mg/L, T-P 5 mg/L 를 적용하여 산출하였다.

토지계 발생부하량은 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하 원단위 및 강우배출비를 적용하여 월별 발생부하량을 개략적으로 산정하였다.

축산계 발생유량 및 발생부하량은 각 사육두수에 대하여 고형물과 폐수로 나누어 각각의 발생유량원단위와 발생부하 원단위를 곱하여 산정하고, 폐수발생유량과 고형물 발생유량을 합하여 축산계 발생유량을 산정하고, 폐수발생부하와 고형물 발생부하를 합하여 축산계 발생부하량을 산출한다.

2.5. 유달율 산정

유달율의 산정은 각 수질측정지점에 대하여 평수기 수질측정결과와 평수기 총배출오염부하량의 비로서 산정하며 이 유달율은 각 수질측정지점을 기준으로 그 상류 방향의 소유역별로 적용하였다⁶⁾.

평수기 수질은 각 측정지점별로 최대값과 최소값을 제외한 나머지 연간 측정자료의 평균값을 사용하였다.

$$\zeta = \frac{C_e \times Q_e}{L_i \times 1000}$$

ζ : 유달율

C_e : 대상물질의 농도(mg/ℓ)

Q_e : 하단부의 유량(m³/d)

L_i : 소집소구역의 배출오염부하량(kg/d)

소유역별 유달율은 Table 2에 나타난 바와 같이 수질측정지점별로 산정한 유달율을 측정값이 없는 그 소유역의 상류에 적용하였으며, 1번 Element지점의 경우 보성강에서 유입하는 지점이므로 유달율을 적용하였으며 5번 Element지점 또한 동북천이 유입하는 지점으로 유달율을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. WASP의 보정 및 검증 결과

WASP의 보정은 시행 오차범으로 수질측정치와 모의치가 유사하도록 하였고, 그 결과는 Table 3⁷⁾에 보여진다. 다음 그림들(Fig. 4, 5)은 댐 내 수질인 주암호1,2,3 지점에 대한 보정결과를 나타내고 있다.

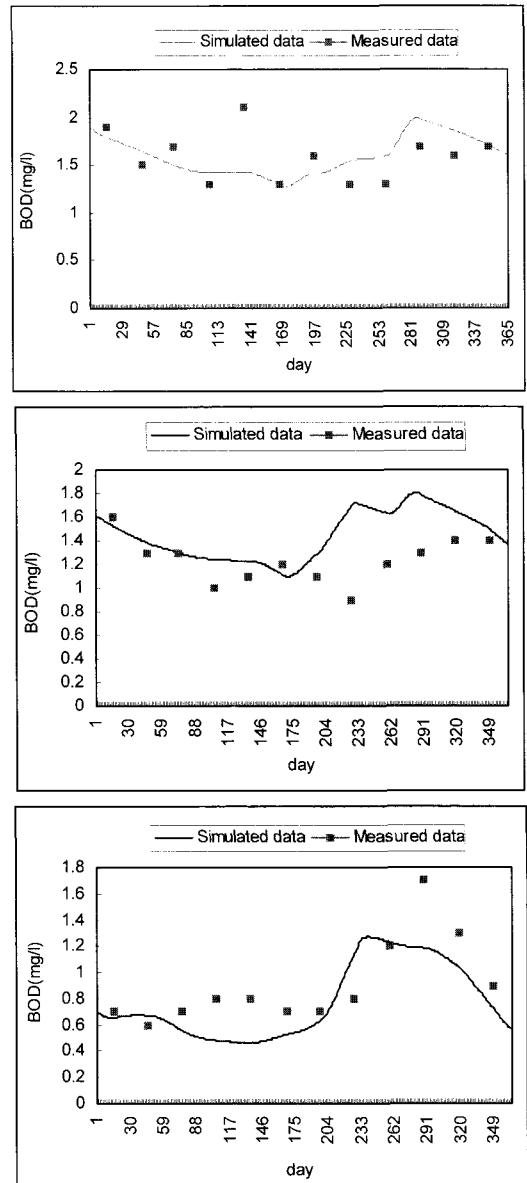


Fig. 4. Water quality of revision results about the Juamdams 3-4-16 segment water quality (BOD).

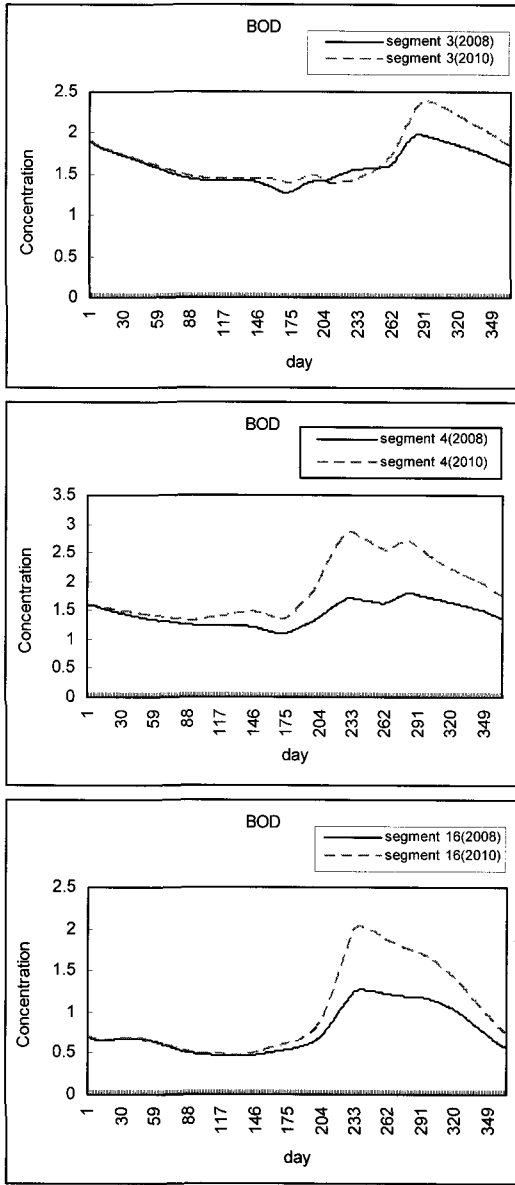


Fig. 5. Water quality of comparative by Juamdams 3-4-16 segment (BOD).

3.2. 삭감계획

삭감목표량 = 기준오염원 배출량 - (소유역 할당부하량 + 지역개발 할당부하량)

삭감목표량은 연차별로 배분하고 연차별로 배분된 삭감목표량을 달성할 수 있도록 할당 대상자에 의한 삭감목표량과 할당 이외의 방법으로 삭감시키는 삭감

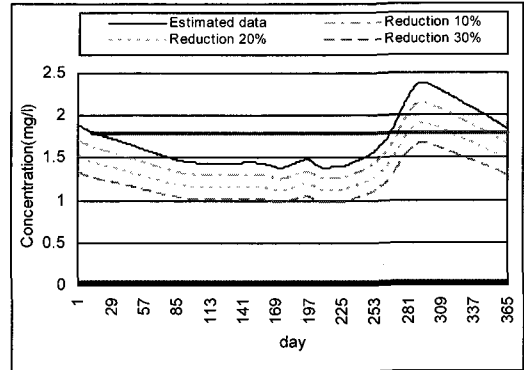


Fig. 6. A uniform reduction about the Juamdams 3 segment forecast water quality.

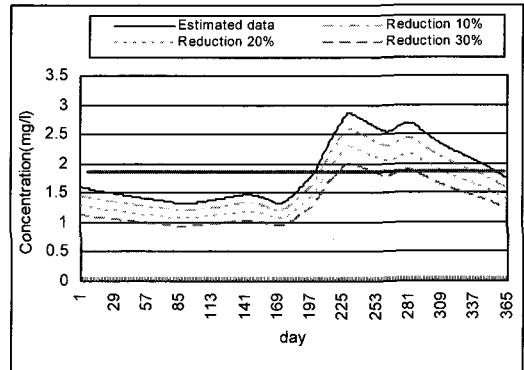


Fig. 7. A uniform reduction about the Juamdams 4 segment forecast water quality.

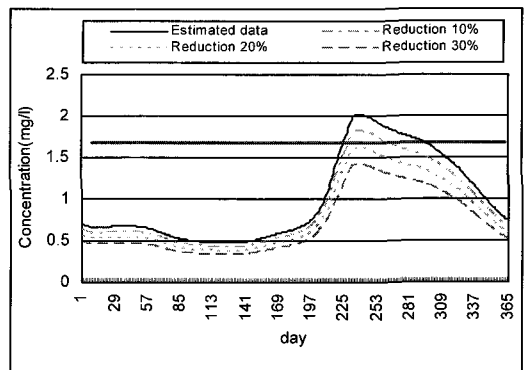


Fig. 8. A uniform reduction about the Juamdams 16 segment forecast water quality.

목표량을 산정한다.

주암호에 장래수질을 예측한 결과 2010년에 3·4·16 segment에서 호소의 수질환경기준Ⅱ등급인 BOD

2.2 mg/L(COD 3 mg/L이하를 환산한 값)을 넘는 것으로 예측되어 삭감계획을 수립하였다. 삭감 방법은 일률삭감 방법을 적용하여 10%·20%·30% 삭감시 어느 정도 삭감되는가를 다음 그림(Fig. 6, 7, 8)을 통해 나타내었다.

3·4·16번 segment 에서 일률적 삭감방법을 적용한 결과 약 20% 일률 삭감시 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 총량규제에 따른 주암호의 장래수질을 예측하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) WASP5 모형을 주암호에 적용하여 수질을 모의한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 성충화된 호수내 표층수에서 BOD값은 보성강이 유입하는 지역에서 높은 값을 나타내고 있으며 이에 따라 주암호내 표층수의 수질관리를 위해서 보성강에 대한 수질관리가 집중적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2) 장래 수질 예측방법은 유달율을 적용하여 예측하였으며, 예측 결과 오염 부하량의 증가로 3·4번 segment 에서는 기준치를 초과하는 결과를 얻을 수 있으며 16번 segment에서는 기준치 이하의 값을 산출해 낼 수 있었다. 이로 인해 본 연구에서는 일률적 삭감 방법을 이용 하였다. 일률적 삭감방법을 적용한 결

과 약 20% 일률 삭감시 모든 유역에서 기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

3) 주암호의 장래수질 예측한 결과 현재 수질상태를 보존하기가 어려운 것으로 조사되었기 때문에 지속적인 수질관리와 오염 부하량을 줄일 수 있는 방안들을 연하여 이 지역 주민들의 생활용수 및 공업용수 공급에 차질이 없어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 임창수, 신재기, 맹승진, 김영성, 1999, 대청댐하류 오염물질 이송·확산 예측 및 저감대책에 관한 연구, 수공학연구발표회논문집, 511-512.
- 2) 최강희, 1999, WASP/EUTRO5 모형의 매개변수 추정-대청호를 사례로-, 석사학위 논문, 도시공학과, 충북대학, 청주.
- 3) 이해근, 김대홍, 신재기, 양재린, 2000, 대청댐하류 오염물질 이송·확산, 수공학연구발표회논문집, 763-764.
- 4) 조홍연, 2000, Modeling of Eutrophication Process in Masan Bay, Korea, 수공학연구발표회논문집, 362-363.
- 5) 한국수자원공사, 1999, 주암호 수질관리 전략 개발에 관한 연구.
- 6) 이길성, 전경수, 1993, 영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정, 대한토목학회논문집, 163-164.
- 7) 황병기, 1997, 수질모델 EUTRO5를 이용한 확산계수 산정법에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 276-278.