

FEMWASP 모형을 이용한 영월 다목적댐의 장래 수질 예측

Prediction of Water Quality of Youngwol Multipurpose Dam Using FEMWASP

김준현* 한영한**
Kim, Joon Hyun Han, Young Han

ABSTRACT

The future water quality of Youngwol Dam was predicted using FEMWASP. In the this study, point and non-point source in the basin was investigated in detail, and future pollutant loading was computed by various prediction technique. The water quality of 29 sites was analyzed over four seasons. FEMWASP was used to predict future water quality of Youngwol lake and downstream of proposed dam. Future water quality of Youngwol lake was predicted to configure eutrophication status, management criteria was suggested to minimize the pollution problems coming from future eutrophication. Discharge rate of dam was decided as 30CMS to conserve the water quality, and overall design of dam was changed.

키워드 : 유한요소모형, 수질 관리, 영월댐, 부영양화

Keywords : FEMWASP, Water Quality Management, Youngwol Dam, Eutrophication

1. 서론

1990년 한강 대홍수를 계기로 충주호 상류부 뿐만 아니라 한강하류부의 수도권에 대한 홍수피해를 줄이기 위하여 한강상류부에 다목적댐 건설의 필요성이 대두되고 있다. 그리고, 산업발전 및 생활수준의 향상 등으로 인하여 용수수요량이 지속적으로 증가하고 있으나 실제 공급될 수 있는 수자원은 한정되어 있는 실정이다. 또한 지속적인 경제성장과 더불어 전력수요가 증대됨에 따라 에너지를 극복하기 위한 대책이 필요한 실정이며, 대체에너지의 개발 및 에너지 절약 정책으로서 석유 화력발전의 대체를 위한 원자력, 석탄화력 및 수력발전개발 등의 정책이 시행되고 있다.

이러한 정책의 일환으로 남한강 상류에 위치한 영월군 영월읍 거운리 지역에 시행될 예정인 영월 다목적댐 건설사업을 들 수 있다. 본 사업은 해마다 계속되는 한강유역의 홍수피해 방지를 도모하고 2000년대의 고도산업사회에 있어 필수요소인 안정적인 용수원 확보와 무공해 순환에너지인 전력생산을 통해 한강수

계의 효율적인 수자원 종합개발의 필요성을 충족시키고자 하는 목적을 가지고 있다. 그러나 이러한 사업시행으로 인하여 농경지 및 주거지의 수몰, 생태계 변화, 수표면적 증가로 인한 미기상 변화 등의 영향이 발생할 수 있으므로, 적절한 저감방안의 수립과 합리적이고 효율적인 관리계획을 수립, 운영함으로써 그 영향을 최소화시켜야 한다.[8,10]

또한, 댐 건설로 생성되는 호소의 담수화로 인해 생태적 변화, 수리학적 특성 변화, 오염물질 거동 변화 등은 수질에도 부영양화 등의 심각한 문제를 야기시킬 수 있으며, 댐하류의 상시 유지유량이 부족하여 건천화 될 경우, 하천의 수질악화는 물론이며 하천생태계가 모두 파괴되는 문제를 유발시킬 소지가 있다.

따라서, 본 연구는 다차원 유한요소모형인 FEMWASP[2,5,6,9]를 이용하여 댐 건설후 생성되는 영월호의 장래 영양상태를 예측하고, 영월댐 하류지역의 용수 사용 및 하천의 건천화 방지를 위한 적정 상시 유지 유량을 파악함으로써 댐 건설에 의해 환경에 미치는 악영향을 최소화하고, 그에 대한 저감방안을 제시하고자 하였다.

* 강원대학교 환경생물공학부 부교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 환경생물공학과, 박사과정

2. 유역내 기초자료 및 환경현황 조사

2.1 하천 유역 개황

본 연구의 대상지역인 영월댐 유역은 한반도의 중동부 지역으로 강원도 평창군 진부면 오대산 비로봉에서 발원하는 오대천과 평창군 도암면 황계리에서 발원하는 송천이 정선군 북평면 나전리에서 합류하여, 어천(동대천), 용탄천, 지장천(동남천), 창리천 등이 차례로 합류하면서 남서쪽으로 흘러가는 남한강의 상류부이다.[7]

본 연구 대상지역에 건설될 예정인 영월댐의 유역면적은 2,267km²으로 하류 충주댐 유역면적(6,648.0km²)의 약 34%를 차지하고 있으며, 상류부의 도암댐(144.9km²), 광동댐(125.0km²) 유역을 제외한 순유역면적은 1,997km²이고, 평균 하상구배는 1/326.9, 유로연장은 148.7km²으로 상당히 방대한 유역임을 알 수 있다.[12]

2.2 유황 분석

댐 예정지의 유황은 기록년동안 전기간에 걸친 일유량 자료를 사용하여 초과백분율별 일유량을 결정하여 이 자료에 의해 산정되어야 한다. 그러나 본 유역에 신뢰할 만한 실측 유출량 자료가 없는 관계로 충주댐 지점의 10년('86~'95)의 일유량 자료를 영월댐과 충주댐의 유역면적비(0.3410)와 영월댐의 전체 유역면적과 기설댐 유역면적을 제외한 유역면적비(0.8809)로 환산한 자료를 사용하여 유황분석을 하였다.

유황분석에서 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량은 초과확률 97.26%, 75.34%, 50.68%, 26.03%에 해당하는 유량으로 각각 5.20, 9.43, 17.10, 34.49m³/s로 나타났으며, 1년경 각각 355일, 275일, 185일, 95일은 유량이 이보다 더 작지 않은 유량으로 나타났다.[8]

2.3 하천 수환경 조사

하천 수환경 조사는 대상지역의 분류 및 지류에 대한 조사를 수행하였으며, 댐건설 예정지역을 중심으로 건설 전후의 하천 수질변화가 충분히 고려될 수 있도록 총 29개 지점을 선정하여 실시하였다.

조사 지점 선정은 과거에 수질조사가 행해졌던 지점 및 환경부의 상시 수질측정망 지점을 충분히 고려하여 선정함으로써, 수질의 시간적인 변동 추이를 검토하고 자료의 신뢰성을 검토하였다. 수질조사는 계절별로 4회에 걸쳐 수행되었다.

1~4차에 걸친 수질조사 결과를 다음 그림 1~6에 나타내었다. 본 대상유역내의 하천 수질은 각 지류하

천이 유입하는 지점에서만 약간의 수질 변동을 나타낼 뿐 상류에서부터 하류구간에 걸쳐 큰 폭의 변화없이 대체적으로 일정한 것으로 나타났다. 다만, R27 지점에서 수질이 급격히 악화되는 현상을 보이고 있는데, 이 지점은 영월읍의 생활하수가 배출되는 지점을 경유한 지점으로 이에 의한 오염현상 때문이다. 그리고 R29 지점에서는 R27 지점에서 악화되었던 수질이 많이 개선되는 것으로 나타나는데 이는 평창강이 합류된 이후의 지점으로 희석작용 및 자정에 의한 현상으로 해석된다.

또한, 조사시기별로도 일부 항목을 제외하고는 각 지점별로 큰 폭의 변화없이 대부분 유사한 수질을 나타내고 있는 것으로 조사되어, 본 유역의 연중 수질은 일시적 또는 외부의 오염원이 없다면 거의 일정한 것으로 분석되었다.

생물화학적 산소요구량(BOD)은 거의 전구간에 걸쳐 약 1~2 mg/l로 1급수에 근접하는 2급수로 분석되었다. 농도변화추이를 살펴보면, 조사시기별로 대부분 변동폭이 크지 않은 일정한 수질을 나타내고 있으며, 각 지류 하천이 합류한 후에도 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 정선읍을 경유한 지점(R8, R9, R10)에서는 약간 농도가 높아지는 경향을 나타내고, 영월읍 생활하수 방류지점을 경유한 지점에서 오염농도가 높아지며, 유량이 적은 시기(3차, 4차)에는 그 영향이 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

화학적 산소요구량(COD)의 경우에도 영월읍 생활하수 방류지점을 제외하고는, 전 구간에 걸쳐 약 1.5~2.5 mg/l의 균일한 수질을 나타내었으며, 조사시기별로도 큰 차이를 나타내고 있지 않은 것으로 조사되었다.

총질소(T-N)와 총인(T-P)은 몇 지점을 제외한 거의 전지점에서 각각 1.1~3 mg/l, 0.02~0.08 mg/l의 수질을 나타내었다. 총질소와 총인의 경우에도, 영월읍을 경유시 증가하는 경향이 뚜렷하였으며, 또한 유량이 감소한 갈수기에는 정선읍을 경유하였을 때에도 농도가 증가하는 추세를 나타내었다.

부유물질량(SS)은 평수기와 풍수기에는 약 2~4 mg/l, 3차와 4차 조사시기에는 약 0.3~1.3 mg/l의 농도 값을 보여, 평수기나 풍수기보다는 유량이 상대적으로 적은 시기에 더 낮은 값을 나타내었다. 이는 하천폭이 상당히 넓은 본 유역의 특성상, 하천의 유량이 적은 시기에 유속의 감소 및 수리상수의 변화로 부유물질의 침전능이 증가하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

용존산소의 경우, 8.1~12 mg/l의 값으로 나타나

각 조사시기별로 약간의 차이가 있는 결과를 나타내었는데 이는 수온에 의한 차이가 가장 큰 영향을 미치며, 각 조사지점의 유량, 유속 또는 하천구배 등에 따른 수리 계수의 변동에 의한 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이, 본 조사대상 유역에서는 하류지역을 제외하고는 급격한 오염부하가 발생하는 지점이 없으므로, 비교적 상시 균일한 수질을 나타내고 있는 것으로 평가되었고, 또한 하천 본류에 유입되는 지류의 수질도 본류의 수질과 비슷하여 본류 유입시에 미치는 영향이 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

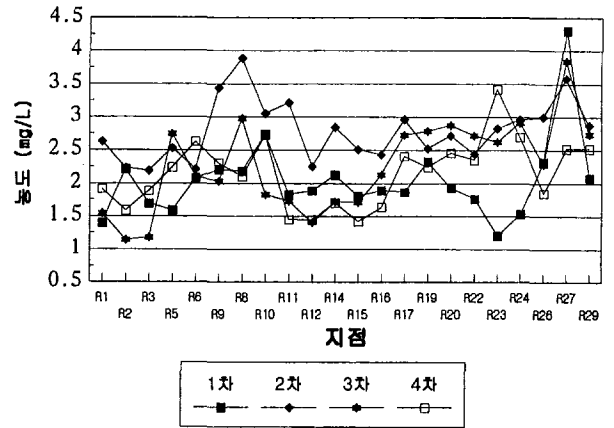


그림 3. 수질 분석 결과 (T-N)

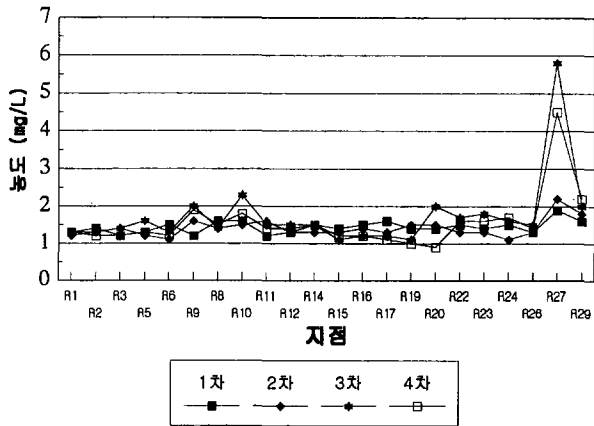


그림 1. 수질 분석 결과 (BOD)

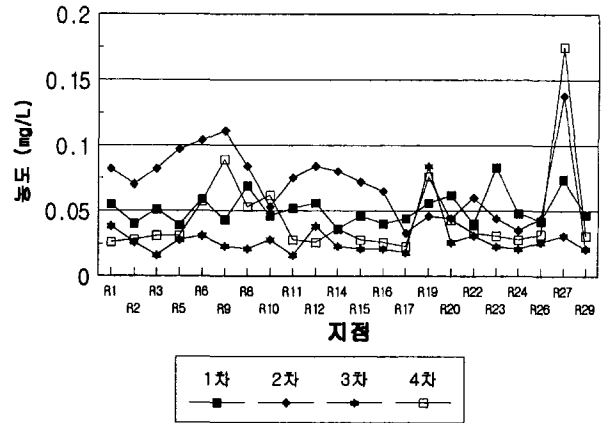


그림 4. 수질 분석 결과 (T-P)

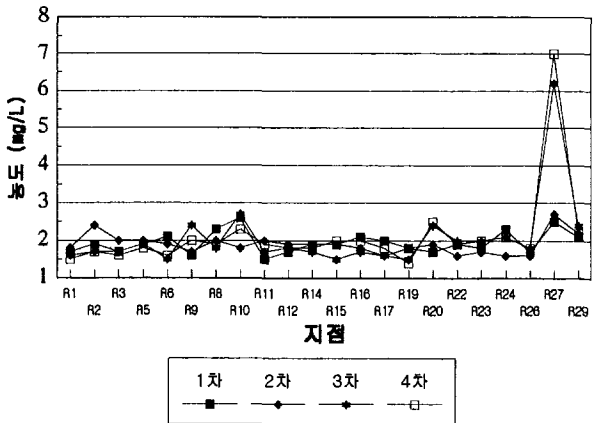


그림 2. 수질 분석 결과 (COD)

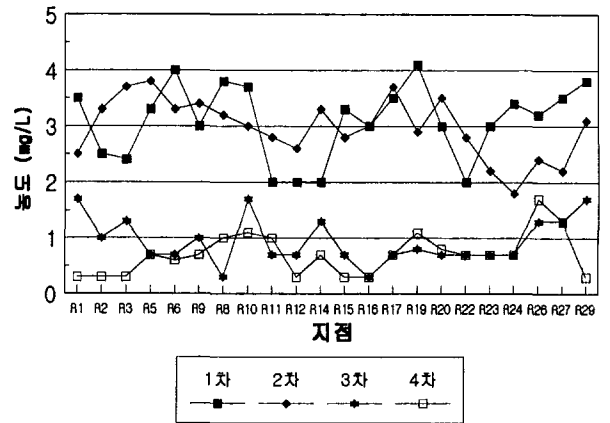


그림 5. 수질 분석 결과 (SS)

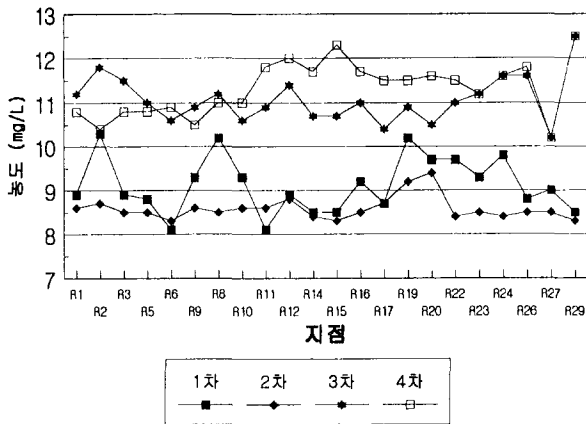


그림 6. 수질 분석 결과 (DO)

2.4 오염원 조사 및 오염부하량 산정

본 연구대상 유역은 매우 방대하므로 장래 오염부하량 산정 및 수질 예측을 위하여 오대천, 송천(도암댐 유역권 포함), 골지천(광동댐 유역권 포함), 기화천, 정선 I, 정선 II, 어천, 지장천 등 여덟 개의 배수구역으로 세분하여 오염원 조사 및 장래 오염부하량을 산정하였다.

본 유역내의 오염원은 인구, 가축, 토지이용, 내수면 양식장, 탄광폐수, 관광객 등으로 세분하여 조사하였다. 또한, 이들 오염원에 의한 장래 오염부하량을 산정하기 위하여 과거 및 현재의 오염원들을 문헌 조사하고 각 시·군의 '96년 오염원 현황 자료를 이용하여 추정하였으며, 유역내의 환경기초시설을 조사하여 이에 의해 처리되는 양을 조사하였다. 특히, 인구 및 가축 등은 장래 추정을 위하여 유역내 각 시·군의 과거 10년간 통계연보 자료[7]를 이용하였으며, 등차법, 등비법, 최소자승법 등의 추정 방법을 이용하여 본 유역의 특성에 비교적 합당하다고 판단되는 등비법의 추정결과를 이용하였다. 오염원 조사 결과, 지역의 지리적 특성, 석탄 산업의 사양화 등의 유역 특성으로 인하여 전반적인 오염원은 과거에 비해 많이 감소한 것으로 나타났으나, 장래에는 석탄지역 관광개발사업, 농어촌 개발사업 및 농공단지 등의 개발로 현재와 같은 급속한 감소 추세는 보이지 않을 것으로 예상되었다.

상기의 추정방법을 이용하여, 유역내의 현재 및 장래의 오염부하량을 산정하였으며, 오염원단위는 표 1에 제시한 바와 같다. 이중 탄광폐수에 대한 오염부하량은 각 광업소의 채광 광종에 따른 특정 물질만이 배출될 뿐 부영양화의 주요 항목인 BOD, T-N, T-P의 배출농도는 매우 경미하고, 이에 대한 산정기준이

전무하므로 오염부하량 산정에서 제외하였다. 또한, 관광객에 의한 오염부하량은 유역내에는 지정관광지보다 비지정관광지가 산재하여 관광객의 수가 명확히 파악되지 않고, 이동경로가 불분명하므로 산정에서 제외하였다.

표 1. 오염원단위

오염원		항목				
		BOD	SS	T-N	T-P	
인구 (g/인·일)	시가화	1995	64	64	7.75	1.63
		2000	69	69		
		2005	74	74		
	비시가화	1995	53	62	7.75	1.63
		2000	58	67		
		2005	63	72		
가축 (g/두·일)	한우	640	3,800	128	72	
	젖소	170	4,345	126.5	187	
	돼지	125	356	20.4	16.8	
	가금	12.5	18	0.96	0.78	
토지이용 (kg/km ² ·일)	전	7.1	7.59	2.33	0.17	
	답	5.12	4.41	2.33	0.17	
	임야	0.96	1.26	0.55	0.013	
	대지	87.59	227.73	0.759	0.027	
	기타	0.96	1.26	0.759	0.027	
내수면 양식장(g/m ² ·d)		38.4	68.7	5.15	0.978	

자료) 환경부, 전국수질보전 장기종합계획, 1992.

표 2. 수물로 인한 오염부하량 저감량

구 분		저 감 량 (kg/일)			
		BOD	SS	T-N	T-P
기화천	인 구	80.10	92.32	7.17	1.51
	토지이용	43.63	69.18	5.57	0.47
	양 식 장	288.65	516.42	38.72	7.36
	소 계	412.38	677.92	51.46	9.34
정선II	인 구	51.82	90.40	7.06	1.17
	토지이용	12.08	19.30	1.73	0.16
	양 식 장	39.74	71.10	5.33	1.01
	소 계	103.64	180.80	14.12	2.34
지장천	인 구	1.18	1.36	0.16	0.03
	토지이용	0.59	0.96	0.13	0.09
	소 계	1.77	2.32	0.29	0.12

주) 1. 수물민 전체가 이주단지로 이주, 오수정화시설을 거친 후 방류되며, 처리시설에 의한 처리율을 BOD 및 SS는 90%, T-N 및 T-P는 40%로 산정.

2. 수물지역의 가축은 이주민과 함께 유역권내 이동을 가정.

한편, 본 유역은 댐의 건설로 인해 수몰지역이 생성되므로, 이에 의해 주민 이주, 토지 이용 변경, 양식장 폐쇄 등으로 오염부하량의 장래 예측시 변동을 가져오게 되므로 이에 의한 저감량을 표 2와 같이 산정하였다. 이와 같이, 여러 사항을 고려하여 산정한 오염부하량을 항목별로 그림 7~10에 나타내었다.

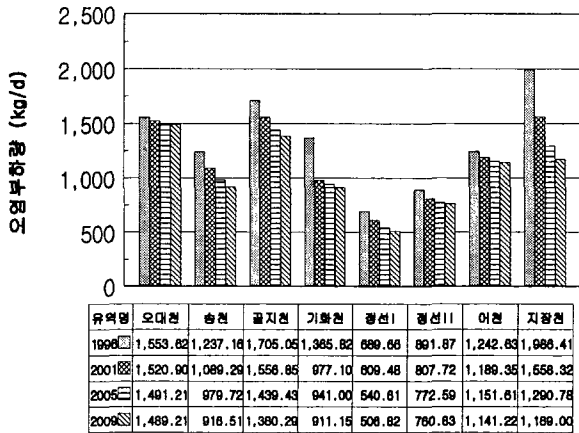


그림 7. 배수구역별 장래오염부하량 (BOD)

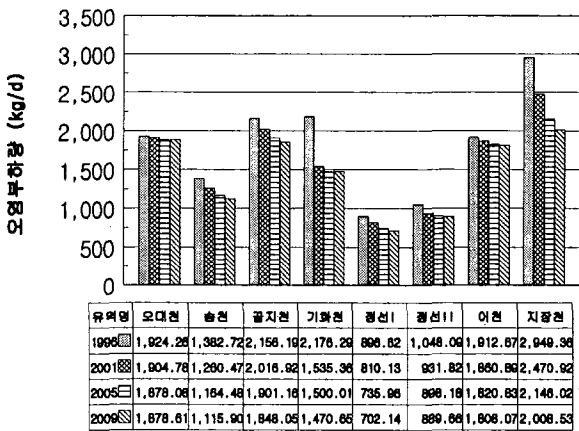


그림 8. 배수구역별 장래오염부하량 (SS)

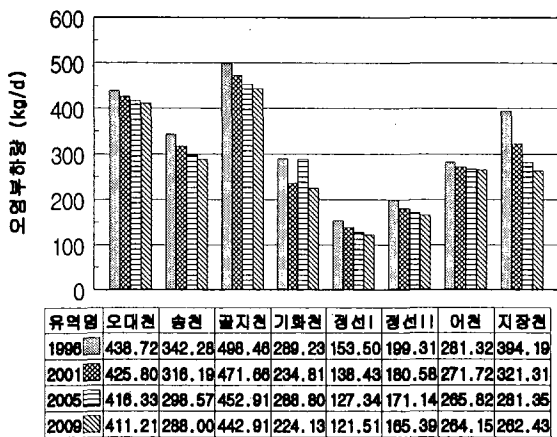


그림 9. 배수구역별 장래오염부하량 (T-N)

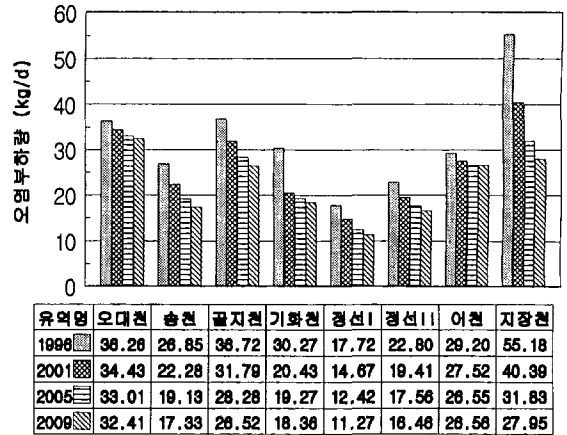


그림 10. 배수구역별 장래오염부하량 (T-P)

3. 부영양화 해석 모형 (FEMWASP)의 적용

본 연구에 사용된 FEMWASP는 수치해석상 보다 발전된 다차원 유한요소법을 이용하였으며, 여타 수질 예측모형의 수질 및 수치이론을 해석하고, 정확도 및 적용성 여부를 판단하였다. 그리고 모형의 우수성을 검증하기 위하여 팔당호의 부영양화 항목의 수질 예측, 동해 무연탄 화력발전소의 온배수 모델링 등에 적용되어 그 타당성을 인정받은 모형이다.[3,4,5] 또한, FEMWASP은 WASP5 모형과 마찬가지로 본 모형에 선택적으로 4가지 반응기작에 대한 모델링을 수행할 수 있다(Streeter-Phelps 모형, 수정된 Streeter-Phelps 모형, 완전 선형 DO 평형 모형, 단순 부영양화 반응 모형).[3,9]

FEMWASP 모형을 이용하여 담수 후의 수물예정지와 댐하류 하천에 대한 유한요소 격자망을 구성하였다. 수몰지 및 하류에 대하여 작성한 유한요소 격자망도는 다음 그림 11 및 12와 같다.

모델링시 입력되는 자료는 계수들 뿐만 아니라, 수리 자료 또한 매우 중요한 요소가 되는데 이는 수리 모델인 HEC2의 모델링 결과를 이용하였으며, 상세한 하천 형상을 표현하는 각 요소별 실제 단면자료의 계산을 위하여 “한강 하천정비기본계획”의 하천 측정 자료를 이용하였다.[1] 또한, 모델링시 급격히 변동하는 유속 및 수심 등의 불안정한 수리자료는 수치해석적으로 해가 발산하거나 수렴하는 결과를 가져올 수 있는 중요한 인자가 되므로, 물질수지 측면에서 타당성 있는 수리자료를 입력하여 이러한 오차를 방지하고자 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석은 여러 하천 유량별로 수행하였으며, 댐 예정지점의 유량이 40CMS인 경우의 회귀분석결과를 다음 표 3에 나타내었다.



그림 11. 수몰지역의 유한요소 격자망도

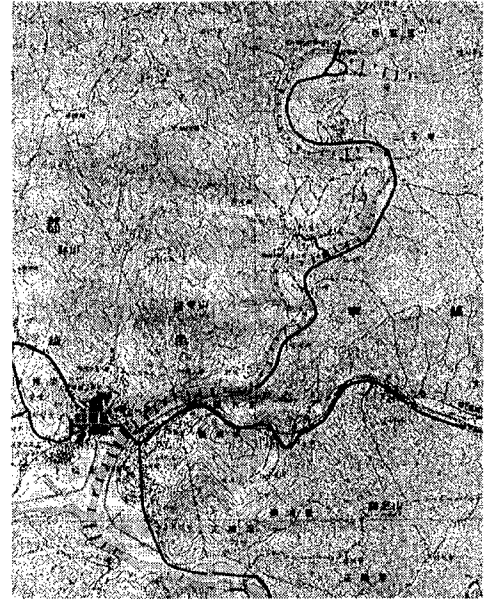


그림 12. 댐하류지역의 유한요소 격자망도

표 3. 수리 자료의 회귀분석 결과

요소번호	수심(m)	폭 (m)	길이(m)	교환 단면적 (m ²)	유량 (m ³ /sec)	체적 (m ³)	유속 (m/sec)
1	1.158177	67.53827	198.716	78.08054	40	15543.81	0.51137
2	1.15401	67.53827	200.528	78.3629	40	15629.12	0.513216
3	1.149843	68.51887	205.964	79.20494	40	16227.07	0.507705
4	1.145677	69.49947	201.132	80.03881	40	16014.92	0.502362
5	1.14151	70.48007	199.32	80.86451	40	16036.03	0.49718
6	1.137343	71.46067	202.34	81.68204	40	16445.25	0.492154
7	1.133177	72.44127	196.904	82.49139	40.2	16163.6	0.489714
8	1.12901	73.42187	196.3	83.29257	40.2	16272.1	0.484957
9	1.124843	74.40247	196.3	84.08558	40.2	16428.57	0.480338
10	1.120677	75.38307	200.528	84.87042	40.2	16940.61	0.475852
11	1.11651	76.36367	208.38	85.64709	40.2	17766.65	0.471495
12	1.112343	77.34427	201.132	86.41559	40.2	17304.07	0.46726
13	1.108177	78.32487	197.508	87.17591	40.2	17143.26	0.463145
14	1.10401	79.30547	204.152	87.92807	40.2	17874.33	0.459145
15	1.099843	80.28607	196.3	88.67205	40.2	17333.7	0.455255
16	1.095677	81.26667	210.796	89.40786	40.2	18769.7	0.451472
17	1.09151	82.24727	201.132	90.13549	40.2	18056.37	0.447793
18	1.087343	83.22787	200.528	90.85496	40.2	18147.24	0.444212
19	1.083177	84.20847	212.004	91.56625	40.2	19337.45	0.440728
20	1.07901	85.18907	200.528	92.26938	40.2	18432.51	0.437337
.
.
.

4. 결과 및 고찰

4.1 영월호의 장래 수질 예측

댐건설로 인해 호소가 생성되면, 생태계에도 큰 영향을 미치며 호소내로 유입하는 영양염 등에 의해 부영양화가 발생되어 수환경에 악영향을 미칠 우려가

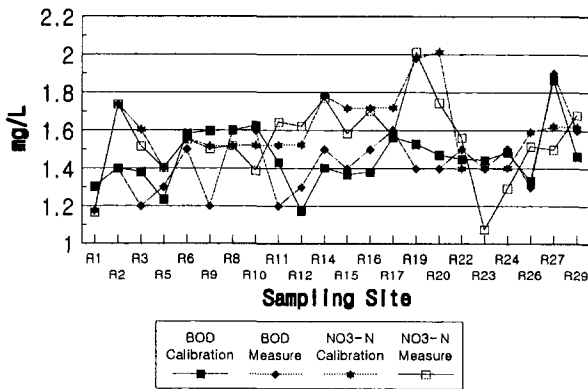
있다. 따라서, 댐건설후 생성되는 영월호의 장래 영양 상태를 예측하였다. 이러한 예측을 수행하기 위하여 댐건설후의 수몰지역은 551개의 요소와 873개의 절점의 유한요소 격자망을 구성하였다(그림 11 참조). 모델은 1996년 현재 영월댐 배수유역의 수질 측정농도, 오염부하량, 수리학적 조건 등을 이용하여 보정하였

다. 보정결과는 실측한 수질농도와 잘 일치하는 결과를 나타내었다(그림 13 참조). 본 지역은 유역이 광범위하고(2,267km²), 댐예정지까지의 하천 유하거리(86km)가 길기 때문에, 모델링 작업은 오랜 준비과정과 계산시간을 필요로 하였다.

호소내 전수역의 부영양화 현상을 예측하기 위해서는 현재의 수리, 수질상태와 장래의 인문·산업활동에 의한 오염물의 증가 등을 고려하였다. 이를 위하여 유역내 토지, 인구 및 가축 변화 및 양식장의 오염부하량을 고려하여 장래 오염부하량을 산정하였다. 본 유역의 경우 장래에는 현재의 오염원보다 오히려 약간씩 감소하는 추세를 보이고, 일부 지천(지장천)의 소유역만 증가하는 경향을 보이고 있다.

댐 축조후 호수의 수질을 예측하기 위하여 1996년과 2001년 오염부하량을 입력하여 모델링을 수행하였다. 모델링 주요항목의 보정결과는 그림 13에, 장래수질 예측 결과 중 주요 부영양화 항목에 대하여는 그림 14에 나타내었다.

Calibration of BOD & NO3-N in Youngwol Watershed



Calibration of DO & Chl-a in Youngwol Watershed

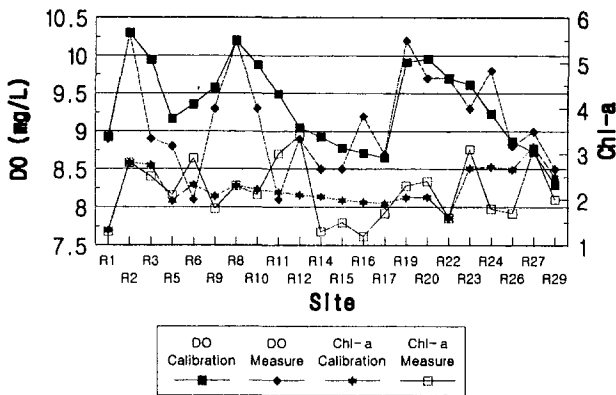


그림 13. FEMWASP 모형의 보정 결과
(BOD, NO₃-N, Chl-a, DO)

그리고 본 연구수행 시 측정된 1~4차의 실측 수질과 모델링 결과와 비교한 것을 그림 15~17에 나타내었다. 비교 결과에서 알 수 있듯이 담수 후 장래의 수질은 현재 하천의 수질과 비슷하거나, 약간 낮은 경향을 보일 것으로 나타났으며, 현재의 수질보다 더 악화되지는 않을 것으로 예측되었다. 그러나, 부영양화 판정 항목인 N, P를 기준으로 할 때는 부영양화가 될 것으로 예측되어 호소내로 유입되는 영양염류 제어를 위하여 다양한 관리방안이 요구된다.

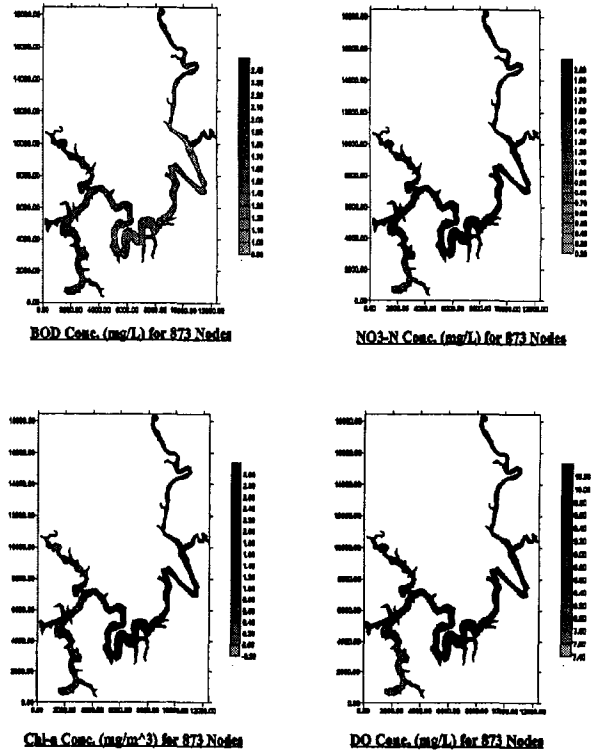
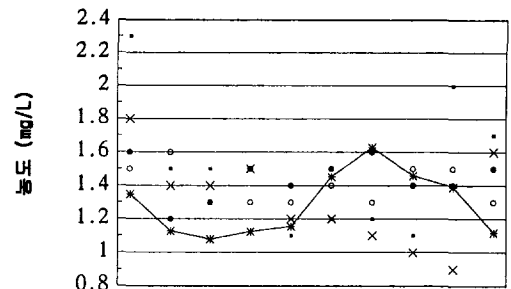
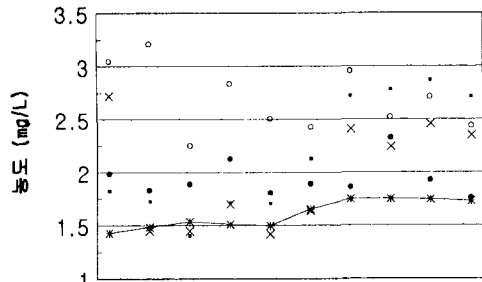


그림 14. 영월호의 2001년의 영양 상태
(BOD, NO₃-N, Chl-a, DO)



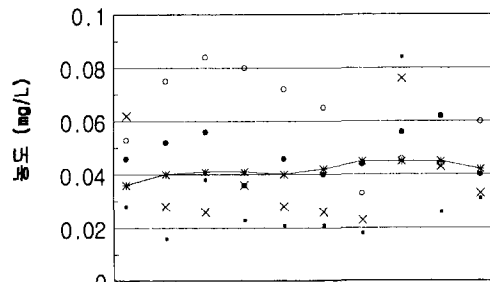
저점	R10	R11	R12	R14	R15	R16	R17	R19	R20	R22
1차 조사	1.600	1.200	1.300	1.500	1.400	1.500	1.600	1.400	1.400	1.500
2차 조사	1.500	1.600	1.300	1.300	1.300	1.400	1.300	1.500	1.500	1.300
3차 조사	2.300	1.500	1.500	1.500	1.100	1.200	1.200	1.100	2.000	1.700
4차 조사	1.800	1.400	1.400	1.500	1.200	1.200	1.100	1.000	0.900	1.600
모델링 결과	1.347	1.126	1.078	1.123	1.153	1.451	1.628	1.457	1.390	1.116

그림 15. 수질 분석 및 예측 결과 (BOD)



지점	R10	R11	R12	R14	R15	R16	R17	R19	R20	R22
1차 조사	1.966	1.829	1.887	2.128	1.805	1.891	1.864	2.328	1.927	1.755
2차 조사	3.047	3.212	2.253	2.841	2.507	2.427	2.958	2.523	2.716	2.437
3차 조사	1.824	1.724	1.405	1.712	1.706	2.132	2.726	2.787	2.875	2.719
4차 조사	2.723	1.448	1.446	1.698	1.419	1.635	2.407	2.242	2.456	2.349
모델링 결과	1.427	1.483	1.533	1.510	1.495	1.651	1.744	1.746	1.741	1.725

그림 16. 수질 분석 및 예측 결과 (T-N)



지점	R10	R11	R12	R14	R15	R16	R17	R19	R20	R22
1차 조사	0.046	0.052	0.056	0.036	0.046	0.040	0.044	0.056	0.062	0.040
2차 조사	0.053	0.075	0.084	0.080	0.072	0.065	0.033	0.046	0.044	0.060
3차 조사	0.028	0.016	0.038	0.023	0.021	0.021	0.018	0.084	0.026	0.031
4차 조사	0.062	0.028	0.026	0.036	0.028	0.026	0.023	0.076	0.043	0.033
모델링 결과	0.036	0.040	0.041	0.041	0.040	0.042	0.045	0.045	0.045	0.042

그림 17. 수질 분석 및 예측 결과 (T-P)

예측하였다.

하천 유지유량에 대한 수질 예측 결과를 그림 18~21에 나타내었다. BOD의 경우 유지유량이 30CMS 일 때 2ppm을 약간 초과하고 있고, 20CMS일 때 2.5를 약간 상회하며, 10CMS일 때에는 3.5ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 그리고 DO의 경우 유량에 따른 수질변화의 차이는 영향이 미미한 것으로 나타났다. T-P의 경우에는 현재의 농도 보다 약 2배 정도가 높아지는 것으로 나타났다. 종합적으로 하류의 수질이 평수량시의 수질에 가까운 BOD 2ppm 정도의 수질을 만족하려면 유지유량은 30CMS를 유지해야 하며, 하천수 2급수 즉, BOD 3ppm 이내의 수질기준을 만족시키기 위해서는 20CMS의 상시유량을 유지해야 할 것으로 예측되었다.

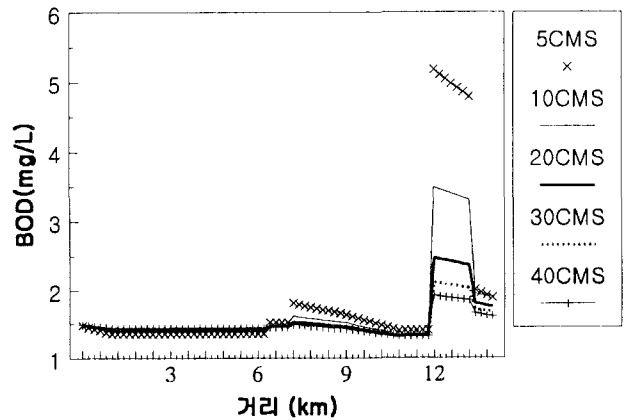


그림 18. 댐 방류량별 하류 수질 변화 (BOD)

4.2 댐 직하류 하천 관리를 위한 상시 댐 방류량 결정

댐의 상시 방류량은 하천유지유량·하천관리유량의 측면에서 수질 및 생태계 보전, 하천 경관, 수상이용, 그리고 기타 항목 등에 영향을 미치는 매우 중요한 인자이다. 특히, 하천 유지유량은 하류지역의 인간 활동에 지대한 영향을 미칠 뿐만 아니라, 생태계를 보호하고 하천의 자연적 기능을 유지함에 있어 매우 중요하다.

현재 댐 예정지점에서 평창강과 합류되는 지점사이에 영월읍에서 배출되는 하수를 제외하고는 오염원이 거의 없는 상태이다. 배출된 하수는 유입부 하류의 하천에 많은 영향을 미치므로 본 연구에서는 하수 유입으로 인해 가장 수질이 악화되고 있는 영월읍 하수 유입지점의 수질보전을 위한 하천 유지유량을 살펴보았다. 이를 위하여, 댐 건설 후 하류지역을 71개 요소, 144개 절점의 유한요소 격자망을 구성하였다(그림 12 참조). 이후에 보정과정을 거쳐, 상시 방류량 변동(10, 20, 30, 40CMS)에 따른 하류 수질의 영향을

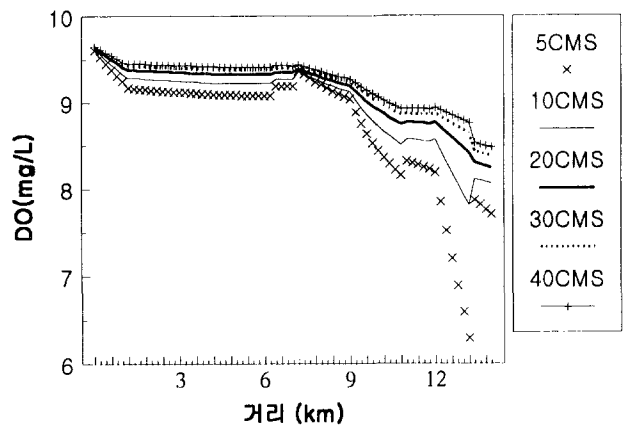


그림 19. 댐 방류량별 하류 수질 변화 (DO)

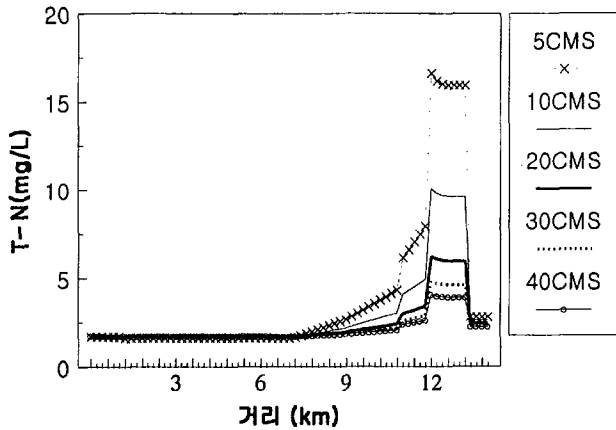


그림 20. 댐 방류량별 하류 수질 변화 (T-N)

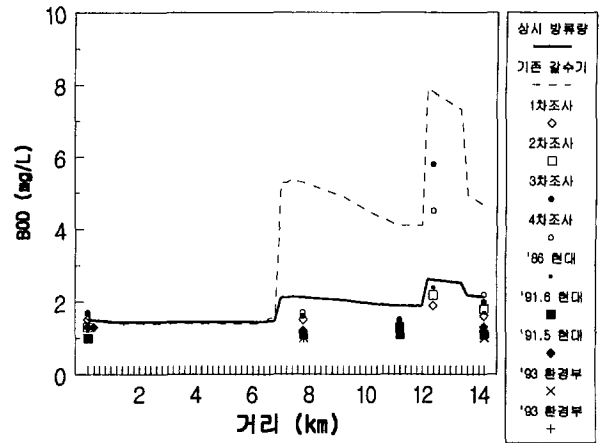


그림 22. 댐건설후 하류 수질 예측 결과 (BOD)

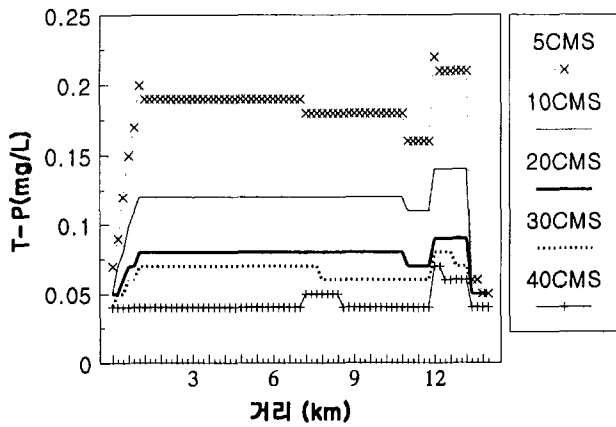


그림 21. 댐 방류량별 하류 수질 변화 (T-P)

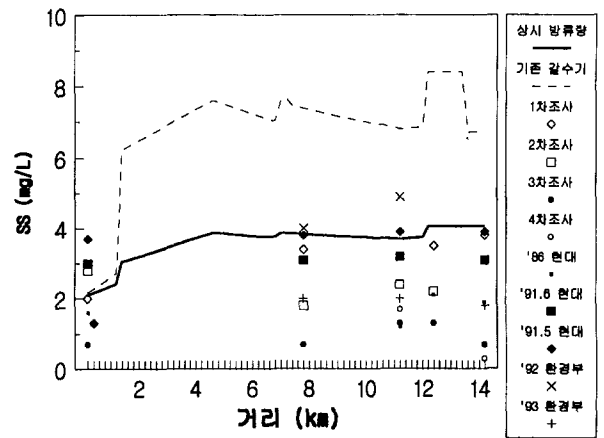


그림 23. 댐건설후 하류 수질 예측 결과 (SS)

상기와 같이 각 하천 유지유량별 수질예측을 통해, 한국수자원공사는 영월댐의 상시 방류량을 본래 계획보다 상당히 상향 조정하여 32.08CMS로 변경하였고, 이에 의해 댐의 설계 자체를 변경하게 되었다. 다음 그림 22~25는 32.08CMS로 상시 방류할 경우 댐 하류의 수질과 현재 갈수기시의 수질을 예측한 결과를 현대, 환경부 등의 타수질조사 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 상시 방류량의 경우 현재 갈수기시에 비하여 수질이 월등히 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 추후에는 댐하류 하천의 최대 오염원인 영월읍에 하수처리장 등의 환경기초시설을 설치하여 오염을 저감시키는 방안을 강구해야 할 것으로 판단된다.

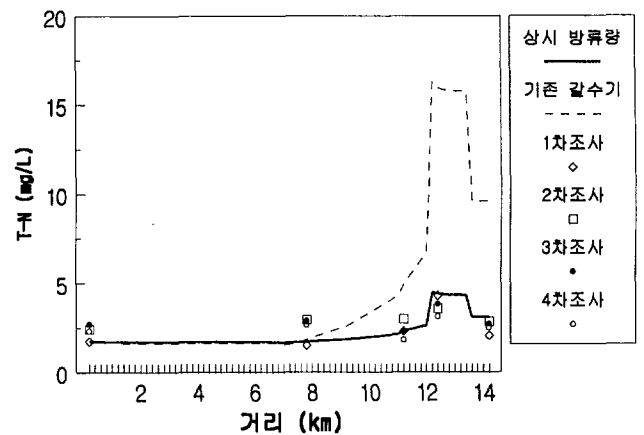


그림 24. 댐건설후 하류 수질 예측 결과 (T-N)

참고문헌

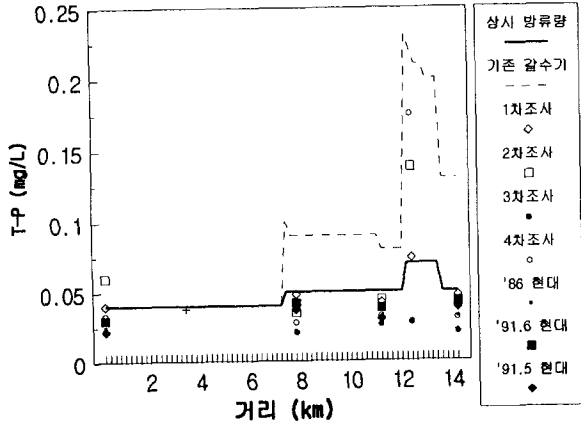


그림 25. 댐건설후 하류 수질 예측 결과 (T-P)

5. 결론

장래에 건설될 예정인 영월댐 수몰지역에 대한 담수후의 호소의 영양상태와 하류의 상시유량 산정을 위한 연구를 유한요소모형인 FEMWASP를 사용하여 수행하였다. 장래의 영향 예측을 위하여 구역내의 오염원을 조사하였으며, 댐 건설후의 변동 사항 고려 및 여러 추정기법을 사용하여 장래오염부하량을 예측하였다. 그리고 FEMWASP 모형의 적용을 위하여 수몰지역은 551개 요소, 873개 절점의 유한요소 격자망을 구성하였으며, 하류지역은 71개 요소, 144개 절점으로 구성하였다. 모델은 1996년 현재 영월댐 배수구역의 수질 측정농도, 오염부하량, 수리학적 조건 등을 이용하여 보정하였다. 보정결과는 실측한 수질농도와 잘 일치하는 결과를 나타내어 현재 수질을 잘 재현하는 것으로 나타났다.

영월호의 장래 수질을 예측한 결과, 댐이 건설된 후의 수질은 현재의 수질보다 악화되지는 않지만 N, P 항목을 기준으로 할 때 담수 후인 2001년에는 부영양상태가 될 것으로 예측되었다. 따라서 영월호의 수질을 개선시키기 위해서는 유입 영양염류에 대한 다양한 관리방안이 필요할 것이다. 또한, 하천 유지유량 산정을 위하여 5CMS~40CMS 까지의 다양한 모델링을 수행하였다. 그 결과, 현재의 하천 생태계 및 수질을 유지하기 위해서는 최소한 30CMS 이상의 방류유량을 유지하여야 하는 것으로 분석되었다. 따라서, 상시 방류량을 상향 조정하여 32.08 CMS로 결정하여, 댐 설계의 많은 부분을 변경하게 되었다.

1. 강원도, *한강 하천정비기본계획*, 강원도, 1991.
2. Joon-Hyun Kim, Yoon-Seok Yi, Young-Han Han, A Water Quality Model for Paldang Lake : Study on Applicability of WASP5 and Effects of Sediment Dredging, *대한환경공학회 춘계학술발표회 초록집*, pp.417~418, 1995.
3. 김준현, 이윤석, 한영한, 팔당호 수질관리모형의 개발 : 상류가중유한요소법을 이용한 다차원 부영양화 모형의 개발 및 검증, *대한환경공학회 춘계학술발표회 초록집*, pp.419~423, 1995.
4. 김준현, 사각형 유한요소법을 이용한 부영양화 모형의 개발, *대한수자원학회 학술발표회 초록집*, 1995.
5. Joon-Hyun Kim, Yoon-Seok Yi, A portable code for surface water quality modeling using multidimensional finite element method, *6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference*, Vol. II, pp.1223~1230, 1997.
6. Joon-Hyun Kim, A multidimensional finite element model for eutrophication and thermal pollution problems, *International Joint Seminar*, Seoul National University, 1995.
7. 영월군, 정선군, 평창군, 강릉시, 태백시, 삼척시, 통계연보, 1985~1995.
8. 현대엔지니어링, *영월다목적댐 건설사업 환경영향평가서*, 한국수자원공사, 건설교통부, 1997. 4.
9. 한영한, *팔당호 수질관리모형의 개발*, 강원대학교 석사학위 논문, 1996.
10. 현대엔지니어링, *영월다목적댐 건설사업 환경영향평가서*, 건설교통부, 1989.
11. 환경부, *상시 수질측정망 자료*, 환경부, 1990~1996.
12. 환경부, *전국수질보전 장기종합계획*, 환경부, 1992.