

금강수계 오염총량관리를 고려한 저수지 방류량산정

Estimation of Reservoir Discharge to Support TMDL Management in the Geum River Basin

노준우* / 김수전** / 김정곤*** / 고익환****
Noh, Joonwoo / Kim, Soojun / Kim, Jeongkon / Koh, Ick Hwan

Abstract

This study estimates adequate discharge to meet the specified target water quality concentration using the pollutant load of the Geum river basin given in TMDL (Total Maximum Daily Load) report. During the 1st phase, BOD is chosen as a target water quality constituent under regulation of the Ministry of Environment in Korea. BOD, TN, and TP loads estimated based on the TMDL and provincial zones were re-distributed for 10 major tributaries, and the remaining areas along the main river are classified as 15 incremental flow areas. Water quality modeling was conducted using Qual2E for the low flow period of a year (i.e. March~April). The results of the model simulation showed that about 30 cms from the Daechung dam would be sufficient to satisfy the target water quality in the Geum river downstream of the Daechung multipurpose Dam.

keywords : TMDL, Water Quality Projection, Target Concentration, Qual2E, BOD

요지

본 논문에서는 금강수계 오염총량관리 기본계획에서 제시된 오염부하량 자료를 기반으로 공시된 목표수질을 달성하기 위한 적정방류량을 산정하였다. 오염총량관리의 1단계로 BOD를 대상으로 총량관리가 이루어질 계획이며 향후 질소 및 인 계열로 확대될 전망이다. 총량구역별 및 행정구역별로 산정된 BOD와 TN, TP 부하량을 GIS를 활용하여 10개의 지류수계에 대하여 재분배하였고 지류수계에 해당되지 않는 구역에 대해서는 15개의 소구간으로 처리하여 반영하였다. Qual2E를 사용하여 수질모의를 실시한 결과 2010년에 대하여 산정된 장래수질에 대하여 기준부하량의 경우 약 30 CMS의 유량이 본류구간에 대하여 제시된 수질기준을 만족하기에 적절한 것으로 모의되었다.

핵심용어 : 오염총량제, 장래수질, 목표수질, Qual2E, BOD

- * 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 선임연구원
Senior Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Kwater, Daejeon, Korea, 305-730.
(e-mail: jnoh@kwater.or.kr)
- ** 국립방재연구소 위촉연구원
Researcher, National Institute for Disaster Prevention, Seoul, Korea, 121-719.
(e-mail: soojuny@nema.go.kr)
- *** 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 책임연구원
Principal Researcher, Korea Institute of Water and Environment, Kwater, Daejeon, Korea, 305-730.
(e-mail: jkkim@kwater.or.kr)
- **** 한국수자원공사 수자원연구원 수자원환경연구소 소장
Director, Institute of Water and Environment, Kwater, Daejeon, Korea, 305-730.
(e-mail: ihko@kwater.or.kr)

1. 서론

저수지 운영에 있어서 댐하류단의 수질관리는 방류량 산정과 함께 매우 중요한 댐운영 기술의 일부를 차지한다. 금강은 최근 신행정 수도의 건설과 함께 수량 및 수질에 대한 국민들의 관심이 고조되고 있으며 또한, 금강 오염총량관리 기본계획이 승인됨에 따라 2005년 8월부터는 금강수계 내 전 유역에서 BOD를 대상으로 총량규제를 실시하게 되어 댐 운영자와 하류 지자체 용수 이용자 간에 수량과 수질을 둘러싼 갈등과 분쟁이 예상되는 실정이다.

금강은 대청댐을 기준으로 상류지역 (용담-대청댐)과 하류지역 (대청댐-하구둑)으로 구분된다. 대청댐 상류의 경우 큰 오염원의 유입이 없어 수질이 상당히 양호한 반면, 대청댐 이하 금강본류의 경우 대도시를 포함하고 있는 갑천, 미호천으로부터 하수처리장의 처리수가 본류로 유입되면서 심각한 수질악화 문제가 발생하게 된다. 또한 금강 하구둑에서 담수를 시작한 1994년 이후 담수화로 인한 흐름정체가 발생하면서 갈수기에는 하천의 자정능력을 상실하고 하류단 수질악화를 초래하고 이는 부여취수장까지 영향을 미치는 것으로 조사되었다(한국수자원공사, 2004).

정세웅(2004)은 GUI를 강화한 동적수질모형을 개발하여 대청댐 이하 금강본류에 대해 적용한 바 있고 고익환 등(2005)은 동일구간을 대상으로 정상상태 및 동적 수질모형을 적용하고 각 모형에 대한 수질인자를 결정하는 매개변수에 대한 비교를 수행하였다.

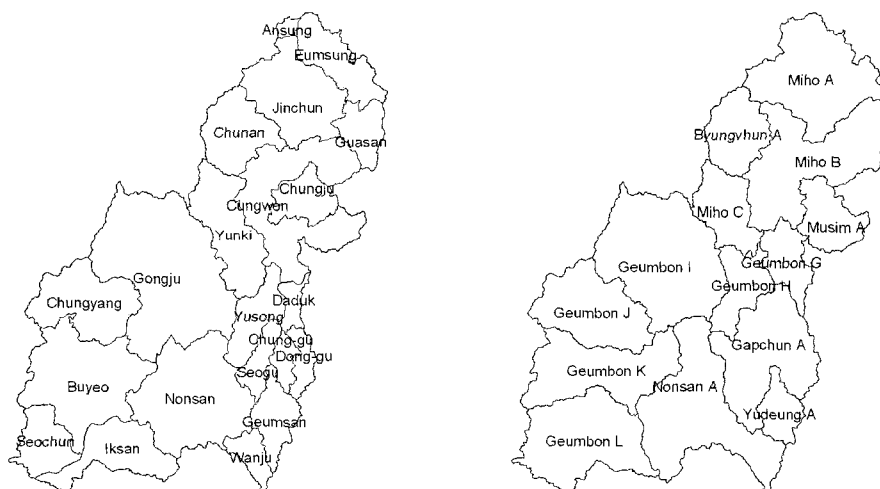
본 연구에서는 오염총량관리 보고서에 제시된 각 소유역별 오염부하량 자료를 활용하여 대청댐이하 금강본류에 대하여 장래수질(2010년 기준)을 예측하고 동시

에 기준년도 목표수질을 만족하는 저수지 방류량을 산정하였다. 수계별 오염부하량을 산정하기 위하여 총량구역별 혹은 행정구역별로 산정된 오염부하량을 수자원 단위지도와 비교하여 서로 중첩된 면적을 계산하고 GIS를 이용하여 면적비를 계산한 다음 이를 바탕으로 각 수계별 영역에 해당되는 오염부하량을 구하였다. 이러한 방법으로 각 지류로부터 배출되는 부하량을 계산하고 지류별 유달율을 산정한 다음 수질모의에 필요한 자료를 생성하였다.

2. 대상유역의 수질현황

대청댐 이하 금강 본류는 행정구역상으로는 Fig. 1(a)와 같이 1개 광역시와 19개의 시·군과 함께 대전광역시, 충청남북도, 전라북도 및 경기도를 포함한다. 환경부에서는 금강수계 시·도 경계지점의 목표수질을 고시하고 대상유역 내 '오염총량관리단위유역'을 Fig. 1(b)와 같이 구분하여 총량규제를 시행할 예정이다. 각 단위유역별 목표수질은 Table 1에 제시하였다.

대청조정지 댐으로부터 하구언에 이르는 거리는 약 131km로 금강본류로 직접 유입되는 하천들은 갑천, 미호천, 논산천과 같은 국가하천과 지방1급 하천, 그 이외에도 수많은 지방2급 하천들이 있다. Fig. 2는 대청댐이하 금강본류의 수질측정망을 보여주고 있으며 Fig. 3은 이들로부터 수집된 최근 5년간 연평균 BOD농도를 서로 비교한 것이다. Fig. 3으로부터 대청댐에서 방류된 양호한 수질의 방류수가 갑천과 미호천이 유입된 후 수질이 급격히 악화되는 것을 알 수 있으며 2003년을 제외하고 대부분의 구간에서 목표수질을 달성하지 못하고 있는 것으로 나타났다.



(a) Provincial map of the Geum river basin

(b) TMDL zone of the Geum river basin

Fig. 1. Provincial map & TMDL zone of the Geum river basin below Daechung Dam

Table 1. Regional target BOD concentration (Choong-chung Province)

TMDL Zone	Target BOD (mg/L)	TMDL Zone	Target BOD (mg/L)
Yudeung A	1.2	Musim A	2.3
Byungchun A	2.3	Miho B	4.3
Miho C	4.4	Miho A	3.0
Geumbon G	2.4	Gapchun A	5.9
Geumbon H	2.9	Geumbon I	2.9
Geumbon J	2.9	Geumbon K	3.0
Nonsan A	4.0	Geumbon L	4.4

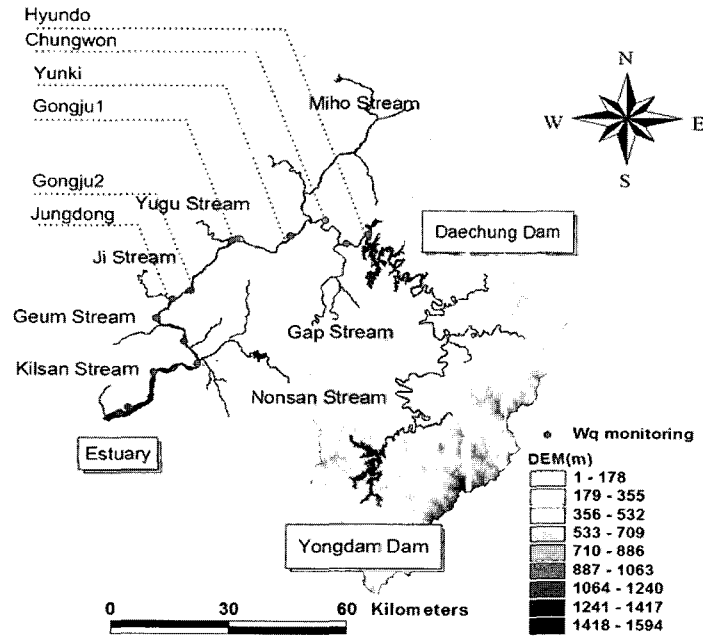


Fig. 2. Water quality monitoring site of the Geum river basin

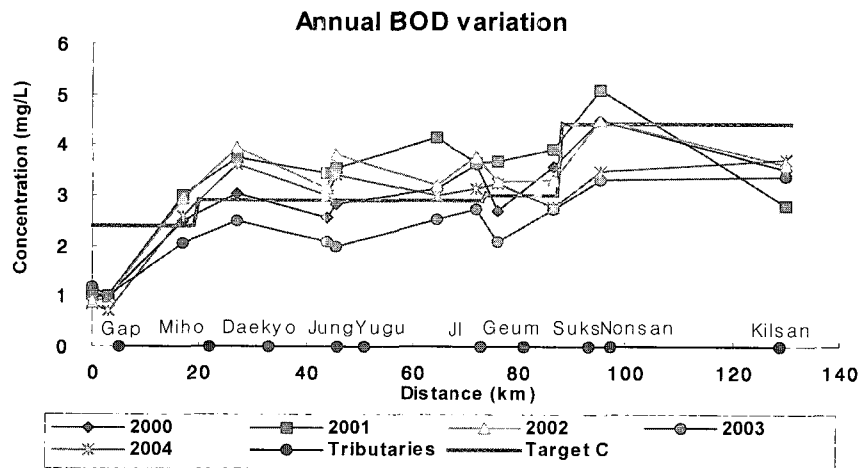


Fig. 3. Annually averaged BOD variation

3. 지류별 배출부하량 산정

오염총량보고서에 따르면 2002년을 기준으로 조사된 총량구역별 혹은 행정구역별 오염발생 및 배출부하량을

바탕으로 장래 지역별 자연증가율, 개발계획, 그리고 환경기초시설 수립계획 등을 감안하여 기준연도인 2010년도에 대한 구역별 삭감량과 목표수질을 제시하였다.

본 연구에서는 2010년을 기준으로 행정구역별 혹은

총량구역별로 산정된 발생부하량과 배출부하량을 유입 지류의 수자원 단위지도와 비교하여 중첩되는 면적에 대한 면적비를 구하여 해당 수계별 오염부하량을 계산하였다. BOD의 경우 Fig. 1(b)의 총량단위 유역도를 이용하였으며, TN과 TP의 경우에는 Fig. 1(a)의 행정구역별로 산정된 값들을 이용하였다. 금강분류로 유입되는 지류유역을 Fig. 4와 같이 구분하고 지류수계에 해당되지 않는 부분은 일정량이 중간유입의 형식으로 유입되는 것으로 가정하고 모형을 구성하였다. Fig. 5는 상기방법에 의해 구한 2010년 수계별 배출부하량을 나타낸다.

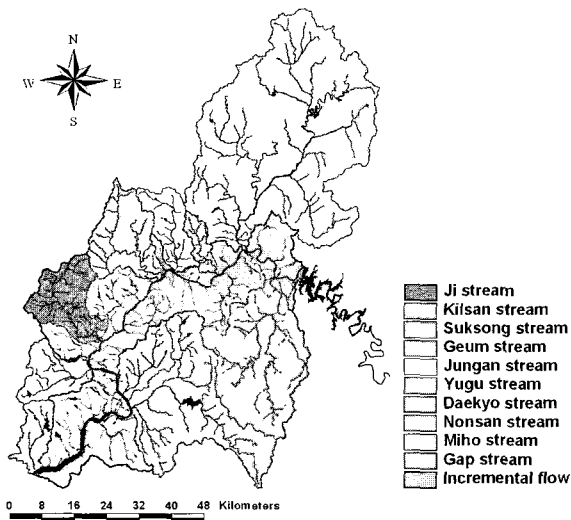


Fig. 4. Descriptions of the tributary watersheds in the Geum River basin

3.1 유달률의 산정

각 유역에서 산정된 배출부하량은 유역에서 발생한 유량으로 수질농도가 결정되고 점오염원의 형태로 분류

구간에 유입된다. 유달률은 배출부하량으로부터 유달부하량을 구하기 위해서 필요하며 이들의 비로 정의되며 유역특성뿐 아니라 유량이 커질수록 증가하는 경향을 보인다.

유달부하량은 실측된 유량과 수질농도의 곱으로 정의되며 이를 산정하기 위하여 2002년 3월부터 2003년 12월 까지 BOD, TN, TP를 대상으로 수집한 수질자료와 유량자료를 이용하였다. 이와 같이 산정한 BOD의 유달률 Y 와 유량 Q 와의 상관관계를 회귀분석 Fig 6과 같이 회귀분석에 의하여 구하고 관계식은 Eq. (1)과 같은 형태를 가지게 되며 상수 a, b 를 Table 2 에 제시하였다. 그 밖에 TN과 TP에 대한 유달률도 같은 방식으로 산정하였다.

$$Y = aQ^b \quad (1)$$

여기서 Y = 유달률, Q = 유량이 된다.

Fig. 6 으로부터 알 수 있듯이 갑천과 미호천에 대하여 산정된 유달률의 경우 타 수계에 비하여 유량과의 상관도가 다소 낮음을 알 수 있는데 이는 도심지역에 위치한 하수처리장의 영향이 크게 작용한 것으로 풀이 된다.

3.2 기준유량의 산정

금강수계 주요 목표수질 관리지점의 기준유량은 대청댐 유입량의 10년 평균저수량 13.7 cms 를 기준으로 산정되었다. 따라서 환경부에서는 대청댐 유입량을 중심으로 각 총량단위유역의 기준유량을 설정하여 이에 따라 단위유역별 목표수질을 설정하였다. 각 지류의 유량을 산정하기 위하여 Eq. (2)와 같은 면적비 유량법에 의해 각 지류유역별 유량을 산정하였다.

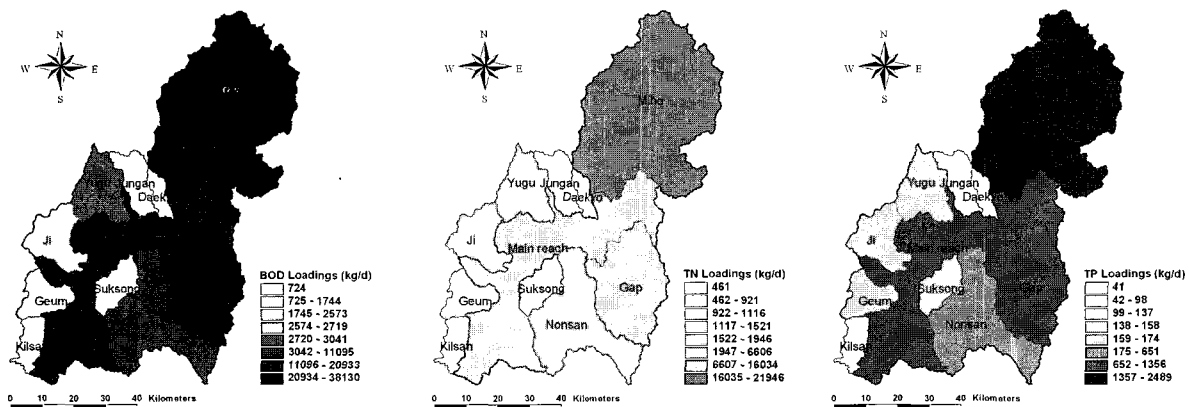


Fig. 5. Distributions of pollutant loadings for each tributary (year 2010)

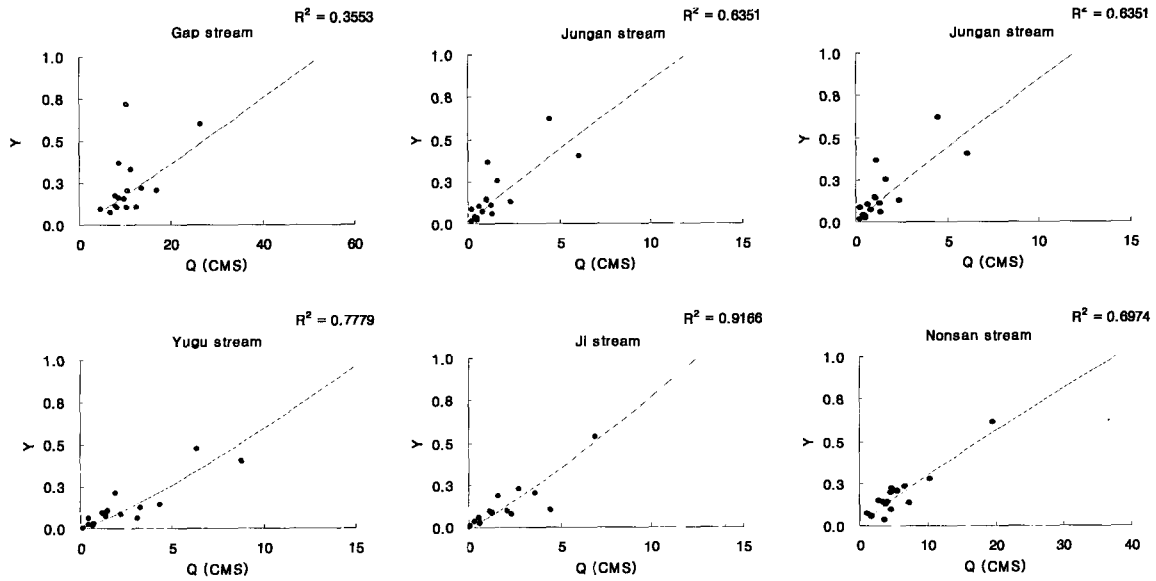


Fig. 6. Estimation of BOD delivery ratio

Table 2. Coefficients to describe the relations between discharge and delivery ratio

	BOD		TN		TP	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Gap stream	0.0153	1.0554	0.1319	0.6516	0.0420	1.0631
Miho stream	0.0063	1.1358	0.0485	0.6372	0.0115	0.9793
Daekyo stream	0.1657	0.9815	0.4801	1.1915	0.0530	1.0139
Jungan stream	0.0976	0.9377	0.3475	0.8593	0.0596	0.5578
Yugu stream	0.0373	1.2001	0.1447	0.9578	0.0158	0.7865
Ji stream	0.0543	1.1529	0.1558	0.8288	0.0239	0.9995
Geum stream	0.0903	1.0576	0.2054	0.9583	0.0545	0.9188
Suksong stream	0.1315	0.9678	0.2365	0.9310	0.0837	0.9039
Nonsan stream	0.0364	0.9138	0.0917	0.7828	0.0233	1.0068
Kilsan stream	0.2690	1.0064	0.2120	1.0289	0.0630	0.7441

$$\text{면적비유량 } Q = \frac{A}{A_0} \times Q_0 \quad (2)$$

여기서, A = 유역면적(3204km²), A_0 = 기준유역면적(km²), Q_0 = 기준유역유량(m³/s) 이다.

유량에 따른 지류별 BOD 유달부하량은 Table 3과 같이 정리하였다. 여기서 최종유달부하량과 기준유달부하량은 각각 최종 및 기준부하량에 Eq. (1)의 유달을 적용해서 산정된 값이다. 최종부하량은 목표연도에 예상되는 개발계획이나 자연증가에 의한 일 최대배출오염부하량을 의미하며 기준부하량이란 이러한 최종부하량으로부터 삭감량을 감안해서 산정된 값이 된다. 이들 유달부하량으로부터 수질농도를 다음 식에 의하여 계산하게 된다.

$$\bar{C} = 0.011574 \times \frac{\bar{L}}{Q} \quad (3)$$

여기서, \bar{L} 은 평균유달부하량(kg/d), \bar{Q} 는 기준유량(cms), \bar{C} 는 평균농도(mg/L)를 나타내고 0.011574는 단위변환 계수가 된다.

3.3 지류 외 소유역 처리

지류수계별 오염부하량을 제외하고 본류수질에 기여하는 오염원을 고려하기 위하여 Fig. 7(a)와 같이 오염총량 단위유역의 세유역도를 이용하여 본류하도구간에 기여하는 소유역을 통합하는 형식으로 Fig. 7(b)와 같이 총 15개의 소유역으로 구분하였다.

Table 3. Pollutants load estimation for each tributary (year 2010)

Tributaries	Area (km ²)	Q (cms)	BOD(kg/d)		TN(kg/d)	TP(kg/d)
			Maximum daily loadings (final)	Maximum daily loadings (standard)	Maximum daily loadings	Maximum daily loadings
Gap	662.2	10.43	6,598	5,505	9,745	689
Miho	1,860.9	7.96	3,222	2,708	3,992	218
Daekyo	65.9	0.28	37	37	49	1
Jungan	154.1	0.66	126	125	271	5
Yugu	285.3	1.22	157	157	341	3
Ji	235.8	1.01	147	147	270	4
Geum	185.1	0.79	211	209	238	7
Suksong	144.1	0.62	226	225	229	9
Nonsan	527.1	2.07	775	763	1,071	32
Kilsan	110.2	0.47	123	123	90	5

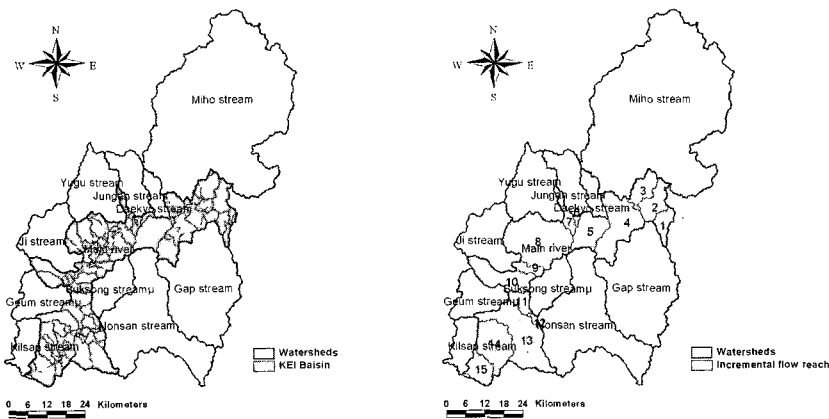


Fig. 7. Description of the incremental flow area

구분된 각 소유역 구간별로 2010년을 기준으로 예측한 오염부하량을 계산하였다. 이들 소유역의 유달률은

주변 지류유역의 유달율과 동일한 값을 적용하였으며 소유역별 발생 및 배출부하량은 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Generated & released loadings for incremental flow area

Incremental flow area	YEAR 2010					
	BOD(kg/d)		TN(kg/d)		TP(kg/d)	
	generated	released	generated	released	generated	released
1	28,367	2,752	3,096	735	569	99
2	15,640	2,295	1,940	1,413	386	133
3	11,717	1,212	1,535	641	412	77
4	22,096	4,291	5,316	2,687	1,332	231
5	5,920	1,013	1,624	648	414	57
6	283	48	78	31	20	3
7	2,201	377	604	241	154	21
8	16,323	2,833	4,293	1,815	1,153	169
9	1,752	330	465	202	126	21
10	8,448	1,793	2,273	1,032	626	120
11	2,647	562	712	324	196	38
12	551	115	146	67	40	8
13	6,595	1,397	1,771	805	488	94
14	6,120	1,432	1,701	817	453	105
15	1,489	422	443	237	110	35

4. 수질모의

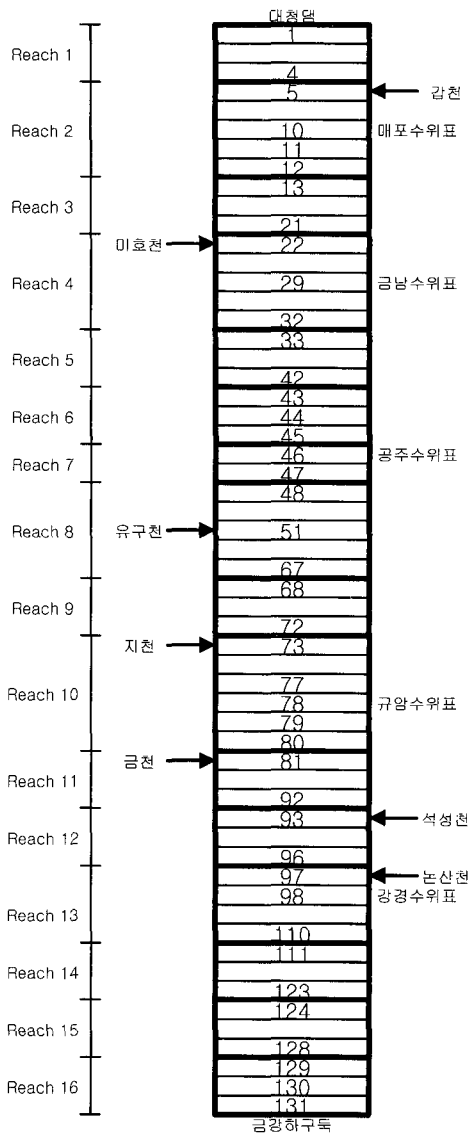


Fig. 8. Qual2E diagram (Koh et al., 2005)

수질모의를 위하여 Qual2E 모형을 사용하였다. Fig.

8처럼 조정지 댐으로부터 금강 하구둑까지 전체 130.47km의 구간을 수리 또는 지형 특성을 고려하여 총 16개의 구간으로 나누어 구성하였다. 각 구간별 계산요소 (Element) 는 1km로 구성하였으며, 10개의 지류는 점오염원 (Point Source) 형식으로 유입되는 것으로 가정하였다. 구간별 유속 및 수심을 구하는 회귀식을 HEC-RAS를 이용하여 산정하였고 모의항목으로는 대표적인 수질인자인 BOD, 질소 및 인 계열을 중심으로 고려하였다. 이들 각 수질인자에 대한 반응식과 이들의 연관관계는 고익환 등 (2005), 그리고 Linfield and Barnwell (1987)에 상세히 기술되어 있다.

4.1 모형의 보정 및 검증

하천의 수질모형의 매개변수 결정은 현장 조사를 통해서 산출하고 검토하여 적정값을 사용하는 것이 바람직하나 여기서는 각 매개변수에 대하여 제시된 범위 안에서 실측치와 모형에 의한 계산치의 차이가 최소가 될 때 까지 계속적인 반복계산을 통하여 모형을 보정하였다. 구축된 모형의 매개변수는 환경부 수질관측소에서 수집한 2004년 3월 수질자료를 활용하였으며 입력값을 Table 5에 제시하였다.

Fig. 9 는 모형의 보정결과를 나타낸 그림이다. TN의 경우 관측치가 80km - 100km 사이에서 다소차이를 보이지만 이를 제외한 구간 전후의 TN 농도를 고려하여 매개변수를 보정하였다. 모형의 보정작업을 통해서 산정된 각 매개변수들을 다른 조건에 적용하기 위하여 2005년 3월 환경부 수질관측소 자료를 이용하여 검증하였으며 결과를 Fig. 10 에 나타내었다. 모의 결과 BOD의 경우 40km - 90km 구간에서 약간 과대 추정되는 경향이 있지만 대체로 모형이 관측치를 잘 모의하는 것으로 나타났고 TN과 TP의 경우도 관측치를 잘 반영하는 것을 알 수 있다.

Table 5. input data used for model calibration

	Q [m ³ /s]	Temp [°C]	DO [mg/L]	BOD [mg/L]	Org-N [mg/L]	NH ₃ -N [mg/L]	NO ₂ -N [mg/L]	NO ₃ -N [mg/L]	Org-P [mg/L]	PO ₄ -P [mg/L]
Gap	11.2	13	9.6	7.0	5.06	3.32	0.29	5.78	0.27	0.27
Miho	10.0	5	11.5	3.5	5.77	3.79	0.33	6.59	0.08	0.08
Daekyo	0.4	12	12.3	2.7	1.25	0.82	0.07	1.43	0.02	0.02
Jungan	0.8	11	11.4	1.9	1.53	1.00	0.09	1.75	0.02	0.02
Yugu	1.5	8	11.0	1.0	0.87	0.57	0.05	1.00	0.01	0.01
Ji	1.3	5	14.0	1.0	1.01	0.66	0.06	1.15	0.01	0.01
Geum	1.0	4	12.9	2.6	1.20	0.79	0.07	1.37	0.05	0.05
Suksong	0.8	2	12.8	3.4	2.09	1.37	0.12	2.39	0.09	0.09
Nonsan	2.8	8	10.1	4.7	2.85	1.88	0.16	3.26	0.17	0.17
Kilsan	0.6	5	12.2	2.4	1.05	0.69	0.06	1.20	0.07	0.07

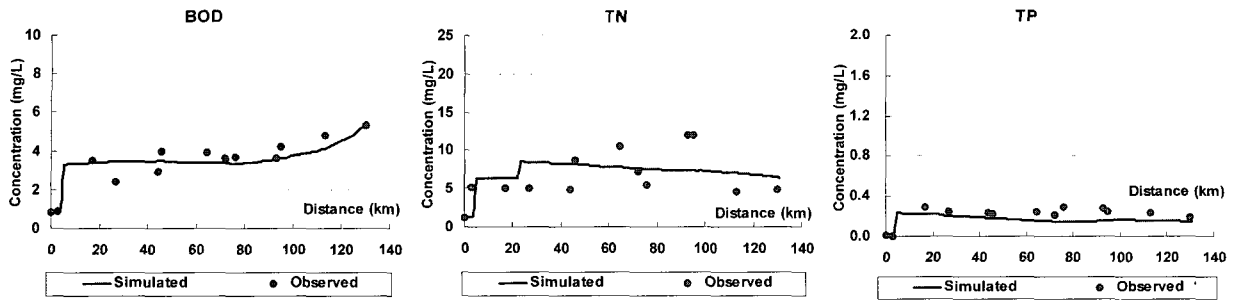


Fig. 9. Results of model calibration

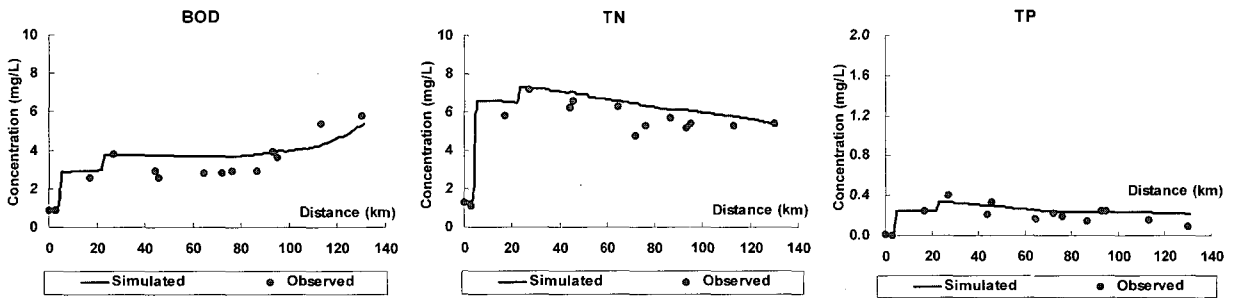


Fig. 10. Results of model verification

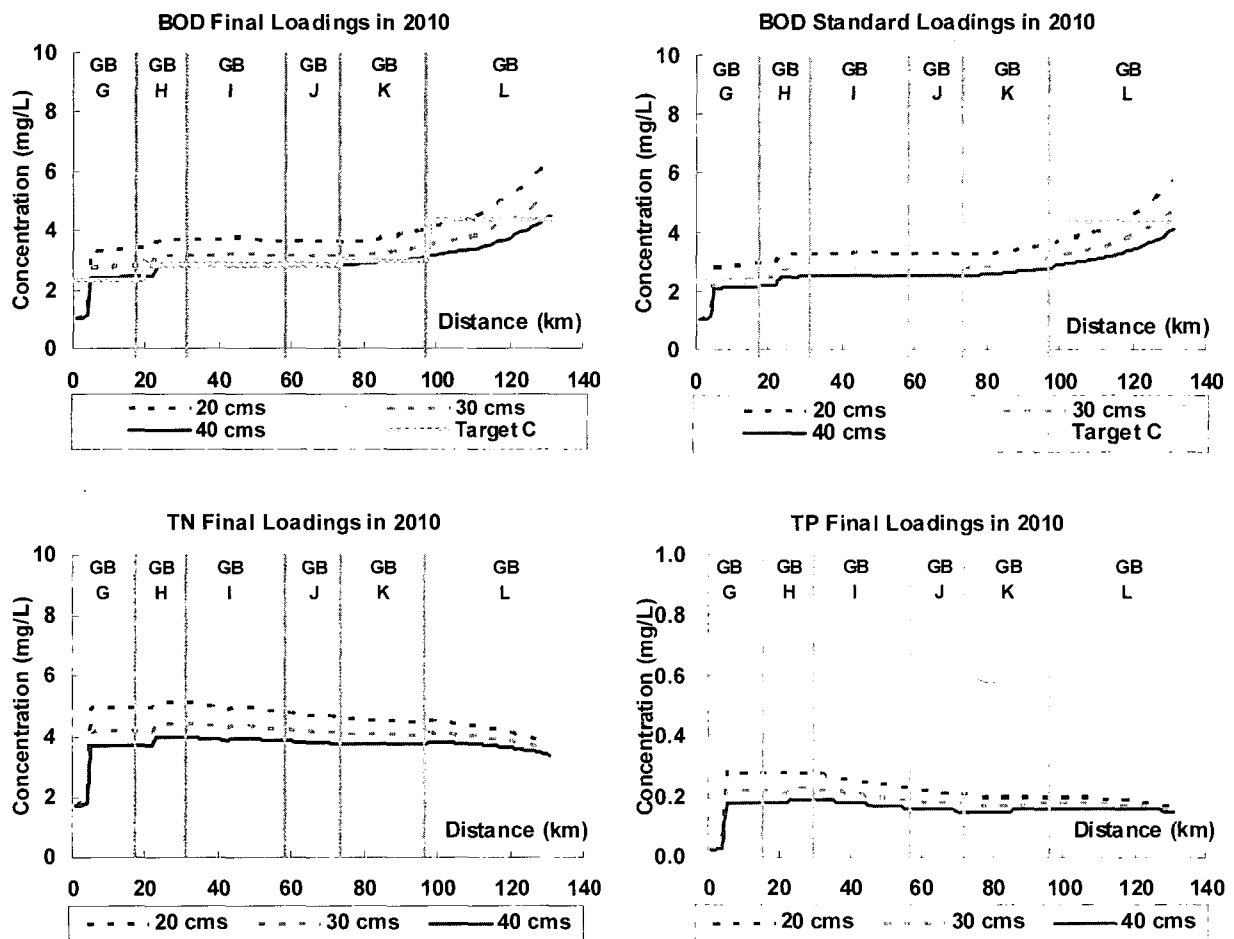


Fig 11. Results of water quality prediction (for 2010)

Table 6. Input data for water quality prediction (year 2010)

	Q (m ³ /s)	BOD (mg/L)		Org-N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	Org-P (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
		final	standard						
Daecheong Dam	-	1.00	1.00	0.60	0.39	0.03	0.68	0.01	0.01
Gap	10.4	7.32	6.11	3.79	2.49	0.22	4.33	0.38	0.38
Miho	8.0	4.69	3.94	2.03	1.33	0.12	2.32	0.16	0.16
Daekyo	0.3	1.52	1.52	0.70	0.46	0.04	0.80	0.01	0.01
Jungan	0.7	2.21	2.20	1.67	1.09	0.10	1.90	0.04	0.04
Yugu	1.2	1.49	1.49	1.13	0.74	0.06	1.29	0.01	0.01
Ji	1.0	1.69	1.69	1.08	0.71	0.06	1.24	0.02	0.02
Geum	0.8	3.08	3.06	1.22	0.80	0.07	1.39	0.05	0.05
Suksong	0.6	4.25	4.23	1.51	0.99	0.09	1.72	0.08	0.08
Nonsan	2.1	4.33	4.27	2.10	1.38	0.12	2.39	0.09	0.09
Kilsan	0.5	3.03	3.03	0.77	0.51	0.04	0.88	0.06	0.06

4.2 장래 수질 예측

보정된 매개변수를 적용하여 2010년에 대한 장래수질 모의를 실시하였다. 최종 오염부하량의 경우 BOD를 기준으로 예측한 모의 결과를 Fig. 11(a)에, 그리고 기준오염부하량의 경우 Fig. 11(b)에 나타내었다.

모의결과로부터 본류에 대하여 공시된 목표수질을 만족하기 위해서는 최종부하량의 경우 40 cms 의 유량이, 기준부하량의 경우 30 cms 의 유량이 필요한 것으로 산정되었고 TN 과 TP를 대상으로 Fig. 11(c) 와 Fig. 11(d)에 각각 제시하였다. 장래수질 예측에서 입력된 자료는 Table 6에 최종 및 기준 부하량으로 구분하여 제시하였다.

본 연구에서 제시한 방류량은 수질관리의 기준유량인 10년 빈도 저수량 13.7 cms 기준으로 산정된 값이므로 용수수급을 기준으로 산정된 하류단 방류량과 비교하여 다소 큰 값이 될 수도 있다.

한편 금강본류의 수질은 갑천이나 미호천과 같은 대도시를 포함한 지류의 유입이 지배적으로 작용하는 것임을 알 수 있으며 이는 하수종말처리장으로부터 방류되는 처리수 농도가 전체수질에 크게 기여하고 있음을 의미한다. 이미 갑천 하수처리장이나 청주 하수처리장의 고도 하수처리방안이 기 수립된 상태이며 이러한 하수처리시설의 고도화를 통해서도 저수지 방류에만 의존하는 수질개선 대책을 상당부분 해소할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

오염총량제의 본격적인 시행을 앞두고 낙동강 및 금강수계에 대하여 총량구역을 지정하고 행정구역별 오염

부하량 및 할당부하량, 그리고 이에 대한 목표수질이 공시되었다. 현재 총량제의 규제대상은 BOD로 선정되었으며 향후 질소 및 인계열의 유기물질로 그 적용범위가 확대될 전망이다.

본 연구에서는 대청댐이하 금강본류에 대하여 행정구역별 혹은 총량단위구역별로 산정된 오염부하량을 수질모의가 용의하도록 수자원 단위지도와 비교, 중첩되는 면적을 산정하고 면적비를 이용하여 해당 오염부하량을 수계별로 재산정해 줌으로써 기존수질 및 장래수질을 예측하고 목표수질을 만족하기 위한 저수지 방류량을 산정하였다. 총 10개의 지류수계와 15개의 소유역으로 구분하여 이러한 방법으로 재산정된 오염부하량을 모형에 입력해 줌으로써 유역별로 산정된 자료를 최대한 반영해 주었다.

모의결과를 정리해보면 2010년을 기준으로 최종부하량의 경우 40 cms, 기준부하량의 경우 30 cms 유량이 목표수질을 만족하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 산정된 배출부하량을 토대로 장기유출 및 저수지 운영모형과 연계한다면 수질을 고려한 장, 단기 저수지 운영계획을 수립할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

고익환, 노준우, 김영도 (2005). "정상 및 비정상상태 하천수질모형의 비교", 한국수자원학회논문집, 38 (6), pp. 941-949.

대전광역시 (2005). **대전광역시 금강 오염총량관리 기본계획**.

정세용 (2004). "저수지 플러싱 방류 효과분석을 위한 비정상상태 하천수질모형의 적용." **한국수자원학회 논문집**, 37(10), pp. 857-868.

충청남도 (2005). **충청남도 금강 오염총량관리 기본계획**.

충청북도 (2005). **충청북도 금강 오염총량관리 기본계획**.

한국수자원공사 (2004). **실시간 물관리 운영시스템 구**

축기술개발, 21세기 프론티어 연구개발사업보고서 1-6-1.

Linfield, B. and Barnwell, T. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*, USEPA/600/3-87/007. USEPA, Env. Res. Lab., Athens, GA.

(논문번호:06-17/접수:2006.01.12/심사완료:2006.06.26)