

탐진강의 총량규제를 위한 오염원별 수계·행정구역 허용부하량과 삭감부하량 할당에 관한 연구

황금록·황대호*·백도현**·이흥근***†

서울대학교 보건대학원 환경보건학과, *한국환경정책평가연구원, **서남대학교 보건환경학과,
***서울대학교 보건대학원 환경보건학과

Study on Allocation of Pollution Discharges by Watersheds and Administrative Regions with Pollution Sources for the TMDL (Total Maximum Daily Load) in Tamjin River

Kum-Lok Hwang · Dae-Ho Hwang* · Do-Hyeon Paik** · Hong-Keun Lee***†

Department of Environmental Health Graduate School of Public Health Seoul National University

*Korea Environmental Institute

**Health and Environment of Seonam University

***Department of Environmental Health Graduate School of Public Health Seoul National University

(Received July 20, 2004/Accepted Nov. 20, 2004)

ABSTRACT

This study is to calculate Allocation of Pollution Discharges by administrative region for the TMDL (Total Maximum Daily Load) on Tamjin River. TMDL has the water quality target and value (BOD₅, 1 ppm) and is calculated by the QUAL2E model. The expected TMDL for Tamjin River is 1,532,360 kg/day. The calculation showed that the main pollutants are due to the non-point sources in Tamjin River and the aqua-farms are another important sources near the bay. And sources from population and livestock should be reduced, especially aqua-farm source should be managed and eliminated first which is over 14,000 ton/day.

Keywords: TMDL (total maximum daily load), QUAL2E, allocation of pollution discharge, load allocation (L_A), load reduction (L_R)

I. 서 론

인구의 급증·제반산업의 발달과 더불어 풍족한 의식주와 편리한 생활환경을 만들기 위한 사람의 무절제한 욕구가 증대함에 따라 자원의 이용은 기하급수적으로 증가하여 왔다. 연간 강수량의 2/3가 6, 7, 8, 9월의 홍수기에 집중되어 있는 우리나라에서 하천의 최소유량과 최대유량의 비인 하상계수는 다른 나라에 비해 대단히 높은 편으로 대부분의 하천이 1:300 이상의 하상계수를 나타내고 있어 수자원 관리에 불리한 여건을 조성하고 있다. 이에 정부는 댐 건설과 환경기초시설 건

설 등 많은 노력을 기울여 왔으나 크게 개선되지 않는 실정으로, 오염원으로부터 배출되는 양과 규모가 증가하여 배출허용기준에 의한 농도규제만으로는 수질개선이 되지 않아, 환경기준을 달성할 수 있는 허용부하량 이내로 배출오염물질의 총량을 할당·규제하는 유역별 수질관리 방식인 오염총량관리를 실시하게 되었다.

이 제도는 환경기준을 달성하는 일최대허용오염부하량(TMDL: Total Maximum Daily Load; 이하 오염총량)은 비점오염원허용부하량(∑LAs: Load Allocations), 점오염원허용부하량(∑WLAs: Waste Load Allocations), 그리고 안전율(MOS: Margin Of Safety, 이하 안전값)로 이루어진다. 여기서, 허용부하량(L_A: Load Allocation)은 비점오염원허용부하량과 점오염원허용부하량을 합한 값이며, 안전값이란 수계에 들어온 오염부하와 수질과의 상호관계 사이에서 발생하는 과학적 지

†Corresponding author : Department of Environmental Health Graduate School of Public Health Seoul National University
Tel: 82-2-740-8871, Fax: 82-2-762-8760
E-mail : lechk@snu.ac.kr

식 미비를 설명하기 위하여, 산정과정에서 발생할 수 있는 수질 상태에서의 시·공간에 대한 변동성(Variability)과 수질자료, 수질모델링 등의 제한적인 결과에서 유래할 수 있는 불확실성(Uncertainty) 등을 보정하기 위하여 설정되는 값을 말한다. 2004년 현재 우리나라 오염총량관리제도에서 제1차 총량관리계획기간에 적용되는 안전값은 오염총량(기준배출부하량)의 1할로 하고 있다(기본방침 제14조).

따라서, 본 연구는 탐진강 유역에 대해 수질모델(QUAL2E)을 사용하여 해당수계 수질목표에 맞는 오염총량(TMDL)을 산정하고, 오염총량을 기반으로 오염원별 각 수계·행정구역에 대한 적절한 허용부하량(L_A: Load Allocation)과 삭감부하량을(L_R: Load Reduction) 할당하도록 하기 위함이다.

II. 연구방법

1. 대상유역

탐진강은 동경 126°37'00"~126°59'01", 북위 34°12'35"~34°36'01"에 위치하며, 유로연장 55.0 km, 유역면적 510 km², 강수량 연평균 1,438 mm(전국 1,274 mm), 유역내 인구 5만4천명으로 남양강(納陽江)이라고도 한다. Fig. 1은 탐진강의 하천과 수계를 나타낸다.

2. 연구방법

본 연구에서는 오염총량(TMDL)을 산정하기 위해 수질모의 모형으로 QUAL2E 모형을 사용하여 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 읍천천과 그 상류 수원구간을 기점(Head Water)으로 1 km 등간격을 적용하여 부산천, 내안천 등을 지나 파산천 하류를 경계단 구간으로 하였다. 각 하천구간은 수리학적 특성이 유사한 구간별로 총 5개의 대구간과 각각의 대구간을 1 km 등간격으로 하는 총 28개의 소구간으로 구분하였다. 여기서 탐진강

의 유로연장과 유역특성을 반영하여 소유역 구분을 5개의 대구간(Reaches)과 동일하게 적용하였다.

목표수질은 BOD₅ 1등급 기준이며 유량은 10년 평균 저수량으로 한다. QUAL2E 모형을 이용하여, 목표수질에 맞는 각 수계별 오염총량(TMDL)을 산정하기 위해 필요한 부하량은 발생오염부하량(L_G: Generated Pollutant Loadings), 환경기초시설에 의한 삭감오염부하량(L_R: Reduced Pollutant Loadings), 배출오염부하량(L_D: Discharged Pollutant Loadings)과 유달오염부하량(L_I: Delivered Pollutant Loadings)이다. 상류유역에서 발생하는 부하량을 “발생오염부하량”이라 하고, 발생오염부하량이 환경기초시설에 의해 삭감되는 것을 “삭감오염부하량”, 삭감된 후 배출되는 부하량을 “배출오염부하량”이라 하며, 이것이 유역의 하류까지 흐르는 동안 자정작용 등 여러 요인에 의해 오염물질이 감소된 후에 도달하는 부하량을 “유달오염부하량”이라 한다.

유달율은 기준지점의 유달오염부하량(kg/day)을 기준지점 상류유역내의 배출오염부하량(kg/day)으로 나누어 산정한다. QUAL2E모형을 이용하여 각 구간별 수질기준에 맞는 오염총량(TMDL)을 산정하였다. 오염총량의 10%인 안전값을 오염총량(TMDL)에서 제하고 난 허용부하량(L_A: Load Allocation = 비점오염원허용부하량(ΣWLAS: Waste Load Allocations)과 삭감부하량을 각 수계·행정구역으로 나누어 할당하였다. Fig. 1과 같이 본 연구에서 사용한 오염원, 수질 그리고 수문 자료와 GIS(Geographic Information System) 지도 자료는 환경부의 오염총량관리시행에서 영산강·섬진강 수계의 자료를 사용하였다.

1) 발생오염 부하량과 유달율의 산정

수질·수문 및 오염원 자료는 2002년과 2003년의 영산강·섬진강 수계자료를 사용하였으며, 측정된 네 지점(지천리 양수장 부근: 상류, 순지교 부근: 중류, 석교리 석교교 부근: 하류, 감천교 부근: 금강천유입 지점)의 BOD₅값(2003.08.03~2004.04.07)을 해당 지천별로 평균하여 사용하였다. 네 군데 측정 지점 중 감천교(금강천 유입 지점) 부근의 농도와 유량은 금강천의 오염원 자료로 사용하였다.

탐진강 하류 조석간만의 차이로 인해 하류에서의 유량 측정이 불가하여 중류 유역인 순지교 부근과 하류 유역의 석교리 석교교 부근의 유량을 사용하지 못하였다. 따라서 지천리 양수장 부근의 유량과 농도를 수두(Head Water) 유역에서의 농도와 유량으로 가정하여 다른 소유역에서의 유달율과 유량을 산정하였다. 다른 소유역의 유달율은 지천리 양수장 부근의 상류 수두

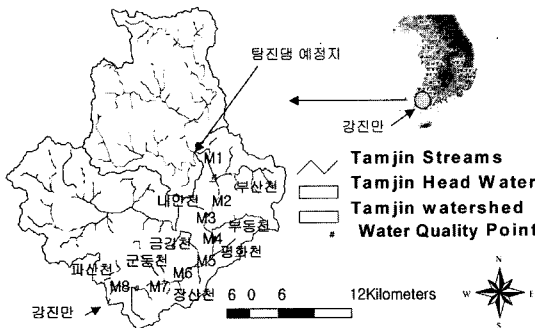


Fig. 1. Map of study watershed, Tamjin River.

(Head Water)에서의 유량과 농도값을 사용하여 산출된 유달을 다른 소유역에서도 동일하게 적용하였고, 유량도 수두부분의 유량(m³/s)을 수두(Head Water)의 배수면적(km²)으로 나눈 비유량(specific discharge)으로 하류 각 소유역의 유량을 산정하였다.

2) QUAL2E 모형을 이용한 오염총량(TMDL) 산정

대상지역인 탐진강 유역을 수리학적 특성이 유사하거나 유입지점의 합류, 수질측정 지점의 유무 등을 고려하여 5개의 대구간(Reach)으로 소유역과 동일하게 구성하였으며, 수질값의 계산단위(computational element)는 1 km로 하여, 총 28개의 computational element로 모형을 구성하였다. QUAL2E 모형에서 BOD의 경우는 다른 반응계수와와의 상관관계가 적고, BOD에 대한 수질 계수인 BOD 분해율 계수(K₁: BOD Decay, 1/day)와 침전에 의한 BOD 제거율(K₂: BOD Settling, 1/day) 계수에 의해 값이 크게 좌우되므로 이들 BOD 계수를 중심으로 예측값과 실측값을 비교하여 오차가 발생하면 다시 재조정하는 과정을 반복해서 실측치와 일치시키는 시행오차법(Trial and Error Method)으로 보정하였고, 속도 계수(a), 속도 지수(b), 수심 계수(α), 수심 지수(β)는 V = aQ^b, h = αQ^β에서 대구간 1(R-1)은 실제 유량과 수심자료를 사용하였고, 나머지 대구간에서는 실측한 수심값과 비유량으로 산정식을 이용하여 각각 구하였다. 각 구간별 주요 계수값과 온도 보정 계수, 조도 계수, 확산 상수값은 Table 3과 같다.

본 연구에서는 모형에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 아래 식과 같이 Reliability Index(RI)를 사용하였다. RI는 실측치와 모의치 사이의 일치성을 평가하기 위해 이용되는 척도로 실측치와 모의치가 일치하면 RI 값은 1.0이 되고, 두 값의 차이가 클수록 RI 값은 커진다.

$$RI = \frac{1 + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \frac{1 - (Y_{tn}/X_{tn})^2}{1 + (Y_{tn}/X_{tn})^2}}}{1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N \frac{1 - (Y_{tn}/X_{tn})^2}{1 + (Y_{tn}/X_{tn})^2}}} \quad (1)$$

- 여기서, Y = 실측농도
- X = 모의농도(계산농도)
- N = 비교한 수질항목(X,Y)조의 수
- T = 실측횟수(Sampling frequency)

위의 식으로 모형의 보정 RI 값은 1.35로 보정의 결과가 양호함을 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 발생오염 부하량과 유달율

Table 1에서는 임야와 생활 오염원이 많고, 탐진강 하류만에서는 양식에 의한 발생원이 많으며 각종 오염원과 환경기초시설에 의한 배출오염부하량을 나타낸다.

Table 1. Pollutant loadings by tributary streams and main streams in 2002 (환경부 자료, 2004)

Watershed	BOD ₅ Loadings (kg/day)						Sum
	Population	Land use	Industry	Aquafarm	Live stock	Facility	
Head Water	137,103	804,914	134.8	112,211	264,395	0	1,355,216.28
Main Stream 1	15,493.68	82,845	0	0	0	0	98,338.16
Busan-cheon	47,771	272,050	0	0	26,990	0	336,157.83
Main Stream 2	15,266.72	62,392	0	0	0	0	77,658.34
Naean-cheon	5,438.22	8,213	0	0	0	0	13,651.17
Main Stream 3	374,012.5	293,078	5,850	246,784	49,351	0	969,150.28
Budong-cheon	42,814.18	145,145	160	0	16,616	0	204,736.42
Main Stream 4	91,795.08	223,843	160	0	36,107	0	351,904.49
Pyunghwa-cheon	21,890.32	100,646	320	0	0	0	122,856.25
Main Stream 5	33,037.89	163,580	6,880	0	40,404	0	243,650.84
Keungang-cheon	248,060.4	882,056	221.9	285,276	197,015	13,000	1,350,878.67
Main Stream 6	28,457	163,581	0	5,603,970	10,959	0	5,814,681.67
Jangsan-cheon	5,785.91	17,693	0	0	2,952	5,200	31,197.42
Main Stream 7	14,635.24	133,659	0	0	14,161	5,200	167,656
Koondong-cheon	15,445.16	51,397	0	5,212,545	94,807	10,400	5,379,832.9
Main Stream 8	23,427.56	43,007	0	1,807,601	19,111	9,100	1,912,245.83
Pasan-cheon	33,073.05	43,249	0	1,750,443	47,000	61,168	1,935,070.5

Table 2. Discharges and accumulative discharges for each watershed

Watershed	Discharge (m ³ /s)	Accumulative Discharge (m ³ /s)	Delivery rate
Head Water	9.5	9.5	
Main Stream 1	0.5165	10.0165	
Busancheon	2.1039	12.1204	
Main Stream 2	0.4429	12.5632	
Naeancheon	0.1784	12.7416	
Main Stream 3	0.6239	13.3655	
Budongcheon	0.2104	13.5759	
Main Stream 4	0.4785	14.0544	
Pyunghwacheon	0.2860	14.3404	0.001271886
Main Stream 5	0.6429	14.9833	
Keungangcheon	4.8	19.7833	
Main Stream 6	0.9065	20.6898	
Jangsancheon	0.2920	20.9818	
Main Stream 7	0.7039	21.6857	
Koondongcheon	0.5392	22.2250	
Main Stream 8	0.5285	22.7535	
Pasancheon	0.5323	23.2857	

Table 3. Calibrated values of reaction coefficients for QUAL2E model

Reach number	K ₁ (1/day)	K ₃ (1/day)	a	b	α	β
R-1	0.015	0.023	0.0098	0.0112	0.1310	0.1893
R-2	0.886	0.875	0.3254	0.08812	0.13505	0.5277
R-3	0.723	0.712	0.1023	0.2484	0.2079	0.4884
R-4	0.541	0.534	0.0325	0.2536	0.0808	0.3251
R-5	1.885	1.896	0.0251	0.3162	0.0503	0.4216
Temp. Correction Factors	0.652	0.436	Manning n 0.04		Dispersion Constant 60	

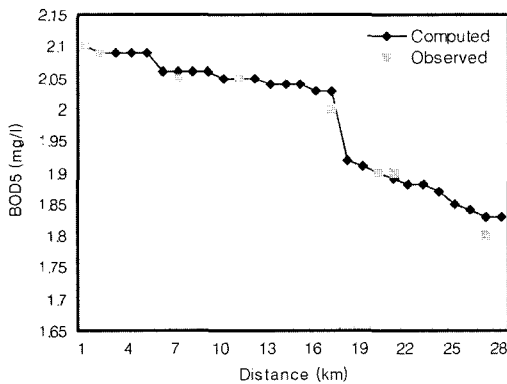


Fig. 2. Comparison of computed and observed BOD₅ value for model calibration.

또한 금강 지류에서 유입되는 모든 오염원이 상당히 높아 금강 수계에 대한 오염원 삭감 필요성이 기대된다. Table 2은 각 수계별 유량과 본류에서의 누적유량을 나타낸다.

2. 오염총량(TMDL)

QUAL2E 모형으로 BOD₅를 예측한 값과 주요 수질 측정지점을 중심으로 실측한 실측치와의 비교는 Fig. 2와 같다. 따라서 QUAL2E 모형의 계산치가 실측치를 잘 반영하고 있으며, 우리나라 오염총량관리에서 생물

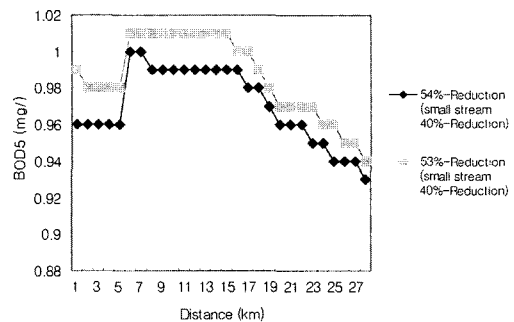


Fig. 3. Expected BOD₅ of each reduction rate and the same reduction of small streams (53%, 54% Reduction).

Table 4. Value of expected TMDL (Total Maximum Daily Load)

Watershed	TMDL (kg/day)	Watershed	TMDL (kg/day)
Head Water	619,527	Main Stream 5	43,018
Main Stream 1	33,683	Keungangcheon	317,915
Busancheon	142,919	Main Stream 6	59,116
Main Stream 2	29,786	Jangsancheon	19,042
Naeahncheon	11,998	Main Stream 7	45,665
Main Stream 3	41,958	Koondongcheon	34,614
Budongcheon	14,150	Main Stream 8	33,747
Main Stream 4	32,180	Pasancheon	33,809
Pyunghwacheon	19,234		
total TMDL (kg/day)		1,532,360	

화학적산소요구량(BOD₅) 1 ppm 기준으로 탐진강 유역의 수질기준을 맞추기 위해서 예측된 값을 오염총량 산정에 사용하였다.

동일률 삭감률을 적용하여 수질기준 BOD₅ 1 ppm을 가장 잘 설명하는 유입지천 40% 삭감과 본류 54% 삭감된 수질 예측값으로 오염총량을 산정한 결과는 Table 4와 같다.

3. 오염원별 허용부하량과 삭감부하량

안전값을 오염총량의 기본값 10%를 적용하여 산정한 후, 오염총량에서 안전값을 제한 허용부하량을 산정하였다. 탐진강은 남단의 전남 강진군 강진만으로 유입하

고, 양식업이 발달되어 있어 아래 Table 5, 6에서 양식에 의한 오염원이 가장 크므로 양식에 대한 삭감을 중점적으로 하여야 한다. 또한 토지 등에서 유출하는 비점오염원에 대해서도 삭감방안을 고려해야 한다.

Table 5. Allocation of load allocation and load reduction by watershed with pollution sources

Watershed	Population		Land use		Industry		Aquafarm		Livestock		Facility	
	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R
Head Water	57,968	82,926	340,320	486,847	57	82	47,443	67,870	111,787	159,918	-	-
Main Stream 1	4,776	10,717	25,539	57,307	-	-	-	-	-	-	-	-
Busan-cheon	17,718	28,586	100,899	162,794	-	-	-	-	10,010	16,151	-	-
Main Stream 2	5,270	9,997	21,537	40,854	-	-	-	-	-	-	-	-
Naeahn-cheon	4,302	1,137	6,496	1,716	-	-	-	-	-	-	-	-
Main Stream 3	14,574	359,467	11,420	281,680	228	5,622	9,616	237,187	9,623	47,432	-	-
Budong-cheon	2,663	40,151	9,028	136,118	10	150	-	-	1,034	15,583	-	-
Main Stream 4	7,555	84,240	18,422	205,421	13	147	-	-	2,972	33,135	-	-
Pyungwa-cheon	3,084	18,806	14,181	86,465	45	275	-	-	-	-	-	-
Main Stream 5	5,244	27,760	25,966	137,446	1,092	5,781	-	-	6,414	33,949	-	-
Keumgang-cheon	43,661	162,475	155,249	577,729	39	145	50,211	186,850	34,676	129,041	2,288	8,515
Main Stream 6	261	28,234	1,499	162,300	-	-	51,344	5,560,070	100	10,873	-	-
Jangsan-cheon	3,135	2,572	9,586	7,864	-	-	-	-	1,599	1,312	2,817	2,311
Main Stream 7	3,588	11,048	32,764	100,895	-	-	-	-	3,471	10,690	1,275	3,925
Koondong-cheon	89	15,342	297	51,054	-	-	30,157	5,177,779	548	94,175	60	10,331
Main Stream 8	372	23,055	683	42,324	-	-	28,711	1,778,890	642	28,649	145	8,955
Pasan-cheon	520	32,555	680	425,72	-	-	27,527	1,723,040	739	46,264	962	60,210
Total	174,779	939,068	774,569	2,581,386	1,484	12,202	245,009	14,731,686	175,736	627,170	7,547	94,248

Table 6. Allocation of load allocation and load reduction by and administrative region with pollution sources

Large Administration (Goon)	Small Administration (Yeop, Myun)	Population		Land use		Industry		Aquafarm		Live stock		Facility	
		L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R	L _A	L _R
Youngam	Youngam Yeop	5,652	8,085	46,219	66,119	56	80	-	-	7,953	11,378	-	-
	Keumjung Myun	7,398	10,583	77,824	111,332	-	-	6,420	9,184	7,594	10,863	-	-
	Total	13,050	18,668	124,044	177,451	56	80	6,420	9,184	15,547	22,241	-	-
Janghung	Busan Myun	19,876	30,770	341,116	165,472	-	-	-	-	-	-	-	-
	Yoochy Myun	36,384	52,064	891,108	380,253	-	-	36,101	51,644	45,828	65,559	-	-
	Jangdong Myun	12,257	19,775	308,018	97,654	-	-	-	-	9,661	15,587	-	-
	Janghung Yeop	33,157	543,622	2,675,957	960,487	1,389	11,980	9,616	237,168	11,879	131,753	-	-
	Total	101,684	646,231	4,216,199	1,603,866	1,389	11,980	45,716	288,812	67,368	212,899	-	-
Kangjin	Kangjin Yeop	225	14,114	97	6,084	-	-	27,524	1,722,838	110	6,898	962	60,203
	Koondong Myun	3,941	68,215	11,011	144,580	-	-	110,170	1,251,3945	3,254	167,196	3,021	21,416
	Sungjun Myun	575,673	85,586	61,735	258,504	47	174	10,341	38,481	15,507	61,796	-	-
	Jackcheon Myun	16,606	214,345	88,309	721,041	-	-	-	-	22,935	85,350	1,101	25,514
	Byungyoung Myun	15,792	425,863	225,380	1,353,133	-	-	-	-	6,483	21,897	2,927	10,073
	Ohmcheon Myun	10,712	15,324	71,509	2,579,555	-	-	-	-	47,777	68,347	-	-
	Total	622,950	823,446	458,040	5,062,896	47	174	148,035	14,275,264	96,066	411,485	8,011	117,207

IV. 결 론

탐진강 수계는 장흥군과 강진군이 대부분을 이룬다. 허용부하량과 삭감부하량을 수계와 행정구역별로 살펴 보았을 때, 장흥군 지역에서는 토지 즉 가장 많이 차지 하는 비점오염원 발생량을 줄일 수 있도록 제어 방안 이 마련되어야 하며, 그 다음으로는 인구 즉 생활에서 발생하는 오염량과 양식, 축산 부분에서의 발생량에 대해서도 삭감하여야 한다. 강진군에서 발생하는 대부분의 오염원은 14,000톤 이상 배출되는 양식에 대해서 집중적인 관리가 있어야 한다. 수질기준(BOD₅, 1 ppm)에 맞는 각 수계 행정구역별 오염원 허용부하량에 비해서 삭감부하량이 대단히 높으므로, 단계적인 삭감계획 방안이 마련되어야 하며, 오염원 발생을 줄일 수 있는 환경기초시설 설치를 양식에 대해서 우선적으로 실시하여야 한다.

참고문헌

- 이홍근 : 수질오염관리, 보건학개론. 서울대학교 출판부, 462, 2000.
- 환경부 : 「수질오염총량관리계획수립지침(안)」, 1999.
- 이중호 : 「대청호 환경용량과 수질관리」, 환경연회지
- EPA : Draft Guidance for Water Quality-based Decisions: The TMDL Process (Second Edition), 3-1~3-36, 1999.
- The Ripple Effect : A handbook by Merritt Frey, Clean Water Network, 19-56, 2001.
- New York City, DEP, Methodology for Calculating Phase II TMDLs of Phosphorus for New York City Drinking Water Reservoir, 1999.
- 환경부 : 「오염총량관리 업무편람」, 2003. 12.
- 장정익 : 오염유하량의 변화특성을 반영한 수질오염총량관리방안 연구. 연세대학교 공학대학원, 석사논문, 2002.
- 이은형 : 오염총량관리제지원을 위한 수질모델링 기법의 개발. 충남대학교 대학원, 박사논문, 2002.
- 최병권 : 오염총량관리제시행을 위한 오염삭감량 할당방법. 한양대 환경대학원, 2003.
- 곽결호 : GIS를 이용한 수질오염총량 관리시스템 개발. 한양대학교 대학원, 2002.
- 최정환 : 수질오염 총량관리 및 낙동강 장래수질 예측에 관한 연구. 계명대학교 대학원, 2001.
- 신은섭 : 만경강 수계의 수질환경기준 달성을 위한 배수구역별 적정부하량 분배방안에 관한 연구. 전북대학교 대학원, 2002.
- 이상진 : 오염총량관리를 위한 수질오염물질 유달특성에 관한 연구:금강 중 하류권역을 중심으로, 대전대학교 대학원, 2003.
- 환경부 : 영산강·섬진강 수계 오염총량관리, 수질 수문자료, 2004.
- 원도윤 : 총량규제시 효율적인 수질관리를 위한 삭감량 배분방법에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원, 1994.
- 황대호 : 영산강 수질기준 달성을 위한 BOD 부하량 삭감방법의 비교 연구. 서울대학교 보건대학원, 2001.
- 나주, 영산포, 연산지점 유량측정조사 보고서, 건설교통부 영산강 홍수통제소, 2002, 2003.
- 정효준 : 남한강 하류부의 수질기준 달성을 위한 BOD 오염부하 삭감량 계획. 서울대학교 보건대학원, 1999.
- William W. Walker Jr. : Consideration of variability and uncertainty in phosphorus total maximum daily loads for lakes. *Journal of Water Resources Planning and Management*, **129**(4), 337-344, 2003.
- 윤용남 : 공업수문학, 청문각, 2002, pp237.
- <http://wamis.kowaco.or.kr/garam/map.htm>
- <http://www.epa.gov/owow/tmdl/intro.html>
- Edwards, P. J., Williard, Karl W. J. and Kochenderfer, J. N. : Sampling considerations for establishment of baseline loadings from forested watersheds for TMDL application. *Environmental Monitoring and Assessment* **98**, 201-223, 2004.