

발간등록번호

11-1480523-002209-01

NIER NO. NIER-RP2014-318

## 총량관리제도 시행효율화 방안 연구 - 지침 및 규정 개선 -

물환경연구부 유역총량연구과

김홍태, 안기홍, 최인욱, 신동석, 박배경,  
정제호, 박지형, 김용석, 류덕희

## A Study on the Improvement for TMDL System Enforcement - Rule and Regulation -

H.T. KIM, K.H. AHN, I.W. CHOI, D.S. SHIN, B.K. PARK,  
J.H. JEONG, J.H. PARK, Y.S. KIM, D.H. RYU

Water Environment Research Department  
Watershed Pollution Load Management Research Division

2014



국립환경과학원

National Institute of Environmental Research

---

# 목 차

---

목차 .....	i
표목차 .....	ii
그림목차 .....	iii
Abstract .....	iv
I. 서 론 .....	1
II. 연구내용 및 방법 .....	2
III. 연구결과 및 고찰 .....	3
1. 총량제 시행 불확실성 최소화를 위한 통계기법 적용 .....	3
가. 1·2단계 할당방법 분석 및 개발·삭감 내역 분석 .....	3
나. 목표수질의 비상관성 및 불확실성 최소화방법 .....	5
다. 이행사항의 평가시 불확실성 최소화 방법 .....	10
2. 경제성과 수질개선 동시 달성을 위한 할당기법 적용 .....	13
가. 최적화 모델을 통한 경제성과 수질개선 효과를 고려한 할당기법 검토 ..	13
3. 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반마련 .....	22
가. 제도여건을 고려한 배출권거래 시행범위 및 교환방법 .....	22
나. 유역특성 고려한 등가량(credit) 교환비율 도출 .....	25
다. 거래시장구성방안 .....	27
라. 배출권거래가이드 및 관련지침마련 .....	28
4. 결과고찰 .....	32
IV. 결 론 .....	33
참 고 문 헌 .....	34

## 표 목 차

<Table 1> TMDL allocation exceed, but target water quality accomplish. ...	4
<Table 2> TMDL allocation accomplish, but target water quality exceed. ...	4
<Table 3> 1st step development allocation loads and reduction loads for TMDL.	4
<Table 4> Probability density function and probability density curve .....	6
<Table 5> Goodness of fit .....	7
<Table 6> The results of goodness-of-fit .....	7
<Table 7> Target water quality site evaluation method .....	8
<Table 8> 4 major river water quality evaluation and achievement rate ...	8
<Table 9> Target water quality achievement as various mean calculation method ...	9
<Table 10> The comparison of Correlation between TMDL and hydrological monitoring site .....	11
<Table 11> Results of achievement LDC(%) .....	12
<Table 12> Pointsource input data(annual mean concentration) .....	15
<Table 13> Subwatershed TMDL load(2010yr, kg/day/ha)-Gapcheon ...	16
<Table 14> Subwatershed TMDL load(2010yr, kg/day/ha)-Whangryonggang ...	16
<Table 15> Stream flow calibration and verification .....	17
<Table 16> BOD calibration and verification .....	18
<Table 17> Water quality improvement effect as point and non-pointsource load reduction .....	19
<Table 18> Cost calculation for BOD load reduction .....	19
<Table 19> Operation cost as point and non-point source load reduction ...	20
<Table 20> Operation cost as point and non-point source load reduction(Gapcheon,Whangryonggang) .....	21
<Table 21> Water quality improvement effect as point and non-pointsource load reduction(Gapcheon) .....	21
<Table 22> Watershed-local government TMDL allocation adjustment ...	24
<Table 23> Opinion inquiry of private company .....	29

## 그림 목 차

<Fig. 1> Optimal statistical distribution selection method .....	5
<Fig. 2> Various application of LDC .....	10
<Fig. 3> WARMF model conception and configuration .....	14
<Fig. 4> WARMF subwatershed division and linkage .....	14
<Fig. 5> Results of target site stream flow calibration and verification ·	17
<Fig. 6> Results of target site BOD calibration and verification .....	18
<Fig. 7> The example of Calculation for trading Credit .....	26
<Fig. 8> Credit trading market composition method .....	28

## Abstract

Korea TMDLs have been implementing during about 10year after first enforcement at 2004s. It's still remained some problems, that is implement uncertainty, costs and efficiency, action plan mainly performed by Public groups etc. It's indicated with Korea TMDL's obstacles.

So, we suggested the method to improve the difference between target water quality and TMDL implementation. Under condition using the whole observed data with log mean statistical method, BOD is underestimated and T-P is overestimated at criterion flow condition water quality data. We proposed LDC method for annual load evaluation.

We studied to obtain load allocation method for minimum expense and maximum goal. At rural, it is recommended non-pointsource maximum allocation method, because pointsource loads are difficult to reduce. In case of urban area, from point and non pointsource reduction scenarios must be induced methods that is produced minimum expense.

Also, we suggested TMDL trading regulation to activate participation private group allocation. Under the conditions of following Korea TMDL a basic policy, as it were, development plan loads, unit allocation loads. It is possible to trade credit among unit watershed, local government, private group. And trading conditions will be adopted either 1:1 or trading ratios(safety ratio, traveling ratio, delivery ratio etc.)

# I. 서 론

우리나라의 수질오염총량제 시행은 2004년 3대강수계에서 1단계를 대상물질 생물학적산소요구량(BOD<sub>5</sub>)에 대해 '10년까지 시행하였고 2단계는 대상물질 총인(T-P)을 추가하여 '15년까지 시행예정'으로 제도 도입후 10년을 지나고 있어 제도의 안정화 단계에 접어들었다고 할 수 있다. 하지만 한강수계 의무제 시행(13.6월) 이후에도 제도의 절차적 복잡성과 삭감을 위한 비용문제, 삭감비용대비 경제적 이득이나 수질개선도 등의 불만들은 꾸준히 제기되고 있는 실정이다.

또한, 총량제 시행의 기초자료로 활용하기 위해 제도시행과 함께 '04년부터 수질, 유량자료를 동시에 측정하고 총량제의 기본개념인 유황조건을 고려수질 평가를 위해 기준유황조건에서 수질모델링과정을 통해 목표수질을 설정하고 있다. 장기간의 수질, 유량 측정자료가 축적되고 모니터링 비용이 상대적으로 많이 소요되는 것에 비해 자료의 활용도가 낮아 현재 수질자료만으로 평가수질을 산정하는 방식에서 나아가 수질과 유량을 동시에 활용한 평가수질 및 이행사항의 평가방안의 도입이 제기되고 있다.

그리고 총량계획 수립 및 이행평가절차의 복잡성으로 제도 이해도 저하 및 이행계획의 불확실성으로 할당부하초과 발생사태가 발생하며 예산투자대비 수질개선효과가 미약하여 단위유역 특성을 고려한 최적삭감방법 제시가 요구된다. 특히, 비점오염원의 경우 투자대비 삭감효과가 미흡하여 개선방안이 필요하며 환경기초시설 등 공공주도의 삭감수단이 한계에 달해 수질개선을 위한 민감참여가 요구되며 인센티브 및 배출권거래제도 도입을 통한 활성화 방안도입 검토가 필요하다.

이에 본 연구에서는 총량제도 시행중에 기술적, 현실적 한계에 부딪혀 다양한 불확실성을 합리적 시행을 위해 계획수립과 이행의 불확실성을 최소화하고 경제적으로 최소의 비용으로 최적할당 및 최대수질개선효과를 유도하는 가이드라인을 제시하고자 하며 수질오염할당부하량 준수를 위한 삭감수단이 환경기초시설 등 주로 공공부분 중심으로 시행되어 수질개선 노력에도 한계가 있어 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반을 마련하고자 하였다.

## II. 연구내용 및 방법

본 연구는 수질오염총량제 시행과정중 개선하거나 효율화를 위해 도입해야 할 주요내용을 검토하였는데 총량제 시행 불확실성최소화를 위한 통계적기법 적용방안, 경제성과 수질개선을 동시에 달성하기 위한 할당기법을 도시지역과 도농지역에 시범적으로 분석하고 민간참여활성화를 위해 민간 및 공공 인센티브 부여와 배출권거래제 도입을 위한 제도적, 기술적 기반을 검토하였다.

우선, 총량제 시행 불확실성 최소화를 위한 통계기법 적용에서 기존의 평가수질에 적용된 수계법 시행규칙 <별표3>의 대수평균의 적용타당성에 대해 통계적 기법 적용을 통해 검토하였고 다양한 수질평가 방법 적용을 통해 할당부하량과 목표수질의 비상관성 및 불확실성 최소화방법을 검토하였다. 또한 수질과 유량자료를 동시에 적용하여 이행사항의 평가시 불확실성 최소화 방법으로 부하지속곡선(LDC) 적용을 이행평가시 도입하는 방안을 검토하였다.

그리고 경제성과 수질개선 동시 달성을 위한 할당기법 시범적용을 위해 미국 EPA에서 TMDL계획수립과 비용평가 등에 활용하는 유역모델인 WARMF(Watershed Analysis Risk Management Framework)를 적용하여 도심지역인 금강수계 갑천유역과 도농유역인 영산강수계 황룡강유역에 대해 점·비점 삭감시나리오를 구성하고 최적화 모델을 통한 경제성과 수질개선 효과를 분석하였고 분석결과를 고려한 총량관리계획 수립시 저비용 고효율 삭감이 가능한 할당부하량 배분방향을 제시하였다.

수질오염총량제 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반마련을 위해 국내외 배출권거래 내용과 취지를 검토하고 수질오염총량제 벤치마킹을 위한 차이점과 개선점을 발굴하여 국내실정에 적합한 배출권거래가이드를 검토하였다. 또한 유역특성 및 총량여건을 고려한 시행범위 및 교환비율(유달율) 도출하고 현 총량제 기본방침에 벗어나지 않는 범위내에서 유역간 및 지자체간 거래비를 목표수질 변동여부, 상하류 및 오염원간 거래비율, 안전율 등을 고려하여 합리적인 거래방안을 모색하고자 하였다. 그리고 현실여건을 반영한 인센티브 부여 및 배출권거래 가이드 작성 및 관련 규정을 마련하고자 하였다.

### Ⅲ. 연구결과 및 고찰

#### 1. 총량제 시행 불확실성 최소화를 위한 통계기법 적용

##### 가. 1·2단계 할당방법 분석 및 개발·삭감 내역 분석

##### (1) 수계별 할당방식 분석 및 문제점 도출

1단계 BOD에서 낙동강은 기본설정원칙, 금강·영산강은 악화방지원칙에 따라 10년 평균 저수량 조건에서 목표수질을 정하고, 수치모델링을 통하여 만족하는 배출부하량을 산정하고 안전율(10%)을 고려하여 산정된 배출부하량의 90%를 단위유역별로 할당하였다. 2단계 BOD/TP에서 BOD는 1단계 유지, T-P는 기본설정원칙으로 10년 평균 저·평수량 양쪽 모두에서 만족할 수 있는 수질로 목표수질을 정하고, 수치모델링을 통하여 만족하는 배출부하량을 산정하고 안전율(10%)을 고려하여 산정된 배출부하량의 90%를 단위유역별로 할당하였다.

목표수질 달성도 평가는 평균 8일 간격으로 조사된 3년간 측정자료를 바탕으로 평균수질을 이용함에 따라, 저수기 또는 저·평수기를 기준으로 설정한 목표수질과 유량조건이 상이하여 <Table 1>과 같이 할당부하량이 초과되어도 목표수질을 만족하거나 <Table 2>와 같이 할당부하량을 만족하여도 목표수질이 초과되는 현상이 발생하는 사례가 있었다.<sup>1)</sup>

- ※ **기본설정원칙** : 수계 대표지점에 수질목표를 정하고 이를 달성하기 위한 기준치를 산정 후 삭감율과 허용율을 고려하여 수계구간별 목표수질 설정
- ※ **악화방지원칙** : 수계 대표지점의 수질목표와 현재수질을 고려하여 수계 구간별 목표수질 설정

**<별표3> 목표수질지점의 수질변동 측정·확인 방법**

$$\text{※ 평균수질} = e^{\left(\frac{\text{변환평균수질} + \frac{\text{변환분산}}{2}}{\right)}$$

$$\text{※ 변환평균수질} = \frac{\ln(\text{측정수질}) + \ln(\text{측정수질}) + \dots}{\text{측정횟수}}$$

$$\text{※ 변환분산} = \frac{\{\ln(\text{측정수질}) - \text{변환평균수질}\}^2 + \dots}{\text{측정횟수} - 1}$$

비고: 측정수질은 산정 시점으로부터 과거 3년간 측정된 것으로 하며, 그 단위는 리터당 밀리그램(mg/L)으로 표시한다.



<Table 1> TMDL allocation exceed, but target water quality accomplish.

단위유역	할당부하량	배출부하량	목표수질	평가수질
고부A	4,827.6	5,000.8	4.7	4.3
금분D	3,068.0	3,151.3	1.1	1.0
금분E	2,491.0	2,704.7	1.7	1.0
금분F	6,499.0	7,491.8	1.0	0.8
금분L	10,373.0	11,246.0	4.4	3.0
만경A	4,196.0	6,322.4	1.6	1.6
무심A	5,227.2	5,567.8	2.3	2.3
미호A	10,340.0	12,643.4	3.0	2.7
보청A	3,982.0	4,711.1	1.6	1.2
초강A	4,681.0	5,010.6	1.5	1.0

<Table 2> TMDL allocation accomplish, but target water quality exceed.

단위유역	할당부하량	배출부하량	목표수질	평가수질
금분H	2,922.3	2,230.5	2.9	3.3
금분I	8,065.9	7,642.9	2.9	3.7
만경B	7,568.1	7,374.9	4.2	6.8
미호C	5,028.3	5,017.7	4.4	4.9
병천A	3,955.1	3,842.7	2.3	2.8
전주A	7,063.1	6,554.8	5.9	6.8

(2) 단위유역별 개발부하량 및 삭감실적 검토

1단계 개발부하량 및 삭감부하량 실적을 도시지역인 갑천유역과 농촌지역인 황룡강 유역에 대해 <Table 3>과 같이 검토한 결과 도심유역인 갑천A가 개발 및 삭감실적이 대체로 높고 도농지역은 개발실적 6~35%, 삭감실적 23~24%로 저조한 것으로 나타났다.

<Table 3> 1<sup>st</sup> step development allocation loads and reduction loads for TMDL.

단위유역		1단계 계획부하량		실적부하량		비율	
		개발	삭감	개발	삭감	개발	삭감
갑천	유등A	49.5	0.0	3.0	0.0	6%	-
	갑천A	1,305.3	6,772.3	868.4	6,065.7	67%	90%
황룡강	황룡A	102.9	408.8	26.1	94.8	25%	23%
	영본B	1,655.3	7,258.8	571.9	1,771.4	35%	24%
계		3,113	14,439.9	1,469.4	7,931.9	47%	55%

나. 목표수질의 비상관성 및 불확실성 최소화방법

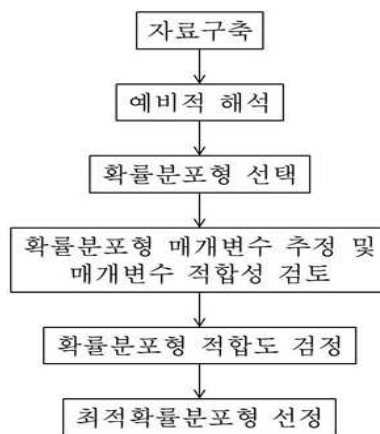
(1) 최적분포형 선정 및 적합도평가

(가) 최적분포형 선정

현재 목표수질 달성여부 평가방식인 대수평균 산정방법의 통계적 타당성을 확보하기 위해서는 적합분포형의 검토가 필요하다. 통계적 추론(statistical inference) 방법의 일종인 적정분포형 선정방법은 <Fig. 1>와 같이 기초통계 분석과 이상치 및 무작위성 검정 등 예비적 해석을 통해 빈도분석이 가능한 자료로 판단되면, 적정분포형을 선택하여 매개변수 추정 및 적합성 검토, 분포형의 적합도 검정을 통하여 최적분포형을 선정한다.

분포형의 종류, 확률밀도함수와 매개변수 적합성 조건은 <Table 1>에 나타내었고 2변수 대수정규분포(Log-normal distribution, LN2), 2변수 감마분포(Gamma distribution, GAM2), 겐벨분포(Gumbel distribution, GUM), 2변수 대수겐벨분포(Log-gumbel distribution, LGU2)를 분포형으로 선택하였으며, 이외 다른 분포형은 유의하지 않아 제외하였다.

확률분포형의 매개변수를 추정하는 방법으로는 모멘트법(method of moment, MOM), 최우도법(method of maximum likelihood, MLM), 확률가중모멘트법(method of probability weighted moments, PWM) 등이 있으며, 본 연구에서는 확률가중모멘트법(PWM)을 이용하여 확률분포의 매개변수를 추정하였다.<sup>2),3),4)</sup>



<Fig. 1> Optimal statistical distribution selection method

<Table 4> Probability density function and probability density curve

확률분포형	확률밀도함수	확률밀도곡선
Log-normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \frac{1}{(x-x_0)} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right\}^2\right]$ $x_0 = 0, y = \ln x, 0 \leq x < \infty$	
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}}$ $x_0 = 0, \alpha > 0, x_0 \leq x < \infty, \beta > 0,$ $\alpha < 0, -\infty < x \leq x_0, \beta > 0$	
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-x_0}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right]$ $\alpha > 0, -\infty < x < \infty$	
Log-gumbel	$f(x) = \frac{\beta}{x-x_0} \left(\frac{\theta-x_0}{x-x_0}\right)^\beta \exp\left[-\left(\frac{\theta-x_0}{x-x_0}\right)^\beta\right]$ $\beta < 0, x_0 < \theta, x_0 < x < \infty$	
Log-Pearson Type III	$f(x) = \frac{1}{ \alpha  \Gamma(\beta)x} \left[\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left[-\frac{\ln(x)-y_0}{\alpha}\right]$	
GEV	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}-1} e^{-\left[1 - \beta \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)\right]^{\frac{1}{\beta}}}$	
Weibull	$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^\beta\right]$	
Wakeby	$x = m + a[1 - (1-F)^b] - c[a - (1-F)^{-d}]$	

(나) 적합도 평가

적합도 검정을 위해 <Table 5>의 검정방법에 따라 수계별 검정을 통한 분포 형별 적합지점 수와 적합률을 <Table 6>에 간략히 정리하였다. 평가결과,  $\chi^2$ 과 K-S 검정에서 BOD, T-P의 적합도는 대수정규분포(LN2)가 대체로 우수하게 평가되었다.

<Table 5> Goodness of fit

검정방법	확률밀도함수
Chi-square ( $\chi^2$ )	$\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha, v}$ ( $\chi^2_{1-\alpha, v}$ 는 자유도 수 $v$ 일 때 유의수준 $\alpha$ 로 가정한 분포의 적합성 $\chi^2$ 한계값)
Kolmogorov-Smirnov (K-S)	$P(D_n \leq D_n^\alpha) = 1 - \alpha$

<Table 6> The results of goodness-of-fit

수계 (지점수)	BOD								T-P							
	$\chi^2$				K-S				$\chi^2$				K-S			
	LN2	GAM2	GUM	LGU2	LN2	GAM2	GUM	LGU2	LN2	GAM2	GUM	LGU2	LN2	GAM2	GUM	LGU2
한강(49)	36 (73.5)	45 (91.8)	29 (59.2)	18 (36.7)	47 (95.9)	45 (91.8)	43 (87.8)	34 (69.4)	35 (71.4)	26 (53.1)	24 (49.0)	31 (63.3)	48 (98)	37 (75.5)	36 (73.5)	47 (95.9)
낙동강(41)	34 (82.9)	34 (82.9)	30 (73.2)	28 (68.3)	39 (95.1)	39 (95.1)	39 (95.1)	40 (97.6)	36 (87.8)	30 (73.2)	28 (68.3)	21 (51.2)	41 (100)	38 (92.7)	37 (90.2)	39 (95.1)
금강(30)	14 (46.7)	19 (63.3)	12 (40.0)	12 (40.0)	24 (80.0)	24 (80.0)	25 (83.3)	20 (66.7)	21 (70.0)	19 (63.3)	15 (50.0)	20 (66.7)	30 (100)	26 (86.7)	26 (86.7)	30 (100)
영산강·섬진강 (21)	17 (81.0)	17 (81.0)	17 (81.0)	8 (38.1)	21 (100)	21 (100)	21 (100)	18 (85.7)	17 (81.0)	20 (95.2)	15 (71.4)	9 (42.9)	20 (95.2)	21 (100)	20 (95.2)	15 (71.4)
총 계(141)	101 (71.6) *	115 (81.6)	88 (62.4)	66 (46.8)	131 (92.9)	129 (91.5)	128 (90.8)	112 (79.4)	109 (77.3)	95 (67.4)	82 (58.2)	81 (57.4)	139 (98.6)	122 (86.5)	119 (84.4)	131 (92.9)

\*적합률(%)

(2) 평가수질 변화추이

각 수계별 단위유역의 수질 변화추이를 파악하고자 BOD 및 T-P 항목에 대하여 측정연도별 산술평균과 3년 간 측정 자료의 평가수질을 산정하였다.

『한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률(환경부령 제463호, 2012.7.4.)』 시행규칙(별표2), 『낙동강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률(환경부령 제463호, 2012.7.4.)』 시행규칙(별표3), 『금강수계 상수원 수질

개선 및 주민지원 등에 관한 법률(환경부령 제463호, 2012.7.4.)』 및 『영산강·섬진강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률(환경부령 제463호, 2012.7.4.)』 에 고시된 방법으로 <Table 7>과 같다.<sup>5)</sup>

목표수질은 낙동강, 금강, 영산강·섬진강수계의 경우 2단계 목표수질을 적용하였고, 한강수계의 경우 자료가 임의제 시행기간에 해당되므로 임의제 BOD 목표수질을 적용하였다. 수계별 평가수질 목표수질 달성지점 수는 <Table 8>에 간략히 정리하였다. 4대강 총괄 평가결과, BOD와 T-P 모두 수질개선도가 양호하나 '10~'12년 개선정도는 BOD가 86.1%, T-P가 58.6%로 BOD 개선율이 높게 나타났다.<sup>6)</sup>

<Table 7> Target water quality site evaluation method

계산식	
평가수질 (mg/L)	$e^{\left(\frac{\text{변환평균수질} + \frac{\text{변환분산}}{2}}{\text{측정횟수}}\right)}$ $\text{변환평균수질} = \frac{\ln(\text{측정수질}) + \ln(\text{측정수질}) + \dots}{\text{측정횟수}}$ $\text{변환분산} = \frac{\ln(\text{측정수질}) + \text{변환평균수질}^2 + \dots}{\text{측정횟수} - 1}$

<Table 8> 4 major river water quality evaluation and achievement rate

수계 (지점 수)	BOD							T-P						
	'04~'06	'05~'07	'06~'08	'07~'09	'08~'10	'09~'11	'10~'12	'04~'06	'05~'07	'06~'08	'07~'09	'08~'10	'09~'11	'10~'12
한강 (BOD 9, T-P: -)	-	-	-	4 (44.7) <sup>1)</sup>	5 (55.6)	7 (77.8)	7 (77.8)	-	-	-	-	-	-	-
낙동강 (41)	38 (92.7)	35 (85.4)	34 (82.9)	32 (78.0)	35 (85.4)	39 (95.1)	40 (97.6)	9 (22.0)	16 (39.0)	16 (39.0)	16 (39.0)	14 (34.1)	14 (34.1)	20 (48.8)
금강 (BOD: 30, T-P: 8)	14 (46.7)	16 (53.3)	17 (56.7)	16 (53.3)	17 (56.7)	16 (53.3)	25 (83.3)	0 (0.0)	3 (37.5)	3 (37.5)	5 (62.5)	4 (50.0)	3 (37.5)	3 (37.5)
영산강· 섬진강 (21)	12 (57.1)	14 (66.7)	14 (66.7)	12 (57.1)	14 (66.7)	13 (61.9)	15 (71.4)	6 (28.6)	14 (66.7)	15 (71.4)	15 (71.4)	17 (81.0)	17 (81.0)	18 (85.7)
<b>총계 (BOD 11, T-P: 7)</b>	<b>64 (63.4)</b>	<b>65 (64.4)</b>	<b>65 (64.4)</b>	<b>64 (63.4)</b>	<b>71 (70.3)</b>	<b>75 (74.3)</b>	<b>87 (86.1)</b>	<b>15 (21.4)</b>	<b>33 (47.1)</b>	<b>34 (48.6)</b>	<b>36 (51.4)</b>	<b>35 (50.0)</b>	<b>34 (48.6)</b>	<b>41 (58.6)</b>

<sup>1)</sup>달성률(%)

(3) 평가수질 불확실성 최소화방안

총량단위유역의 수질자료만으로 목표수질 달성도를 평가하기 위하여 다양한 방법으로 평균수질을 산정하여 목표수질 준수여부를 평가하였다. 2012년을 기준으로 과거 3년 자료를 이용하여 각 수계별 시행규칙에 명시된 방법, 2012년 수질자료를 대상으로 수계별 시행규칙상 평가방법, 산술평균, 관리계획상 기준유량의  $\pm 20\%$  조건을 만족하는 수질자료의 산술평균, 75% 백분위수로 구분하였다. 수계별 평균수질 산정방법에 따른 목표수질 달성지점 및 달성률을 <Table 9>에 정리하였다. BOD의 경우 기존의 3년 평가수질과 '12년 평가수질, 산술평균방법으로 산정한 수질 달성도가 '12년 기준유량조건과 75%백분위수보다 높은 것으로 평가되었다. T-P의 경우 기준유량조건에서의 목표수질 달성도가 3년 평가수질보다 양호한 것으로 평가되었다.<sup>7),8)</sup>

<Table 9> Target water quality achievement as various mean calculation method

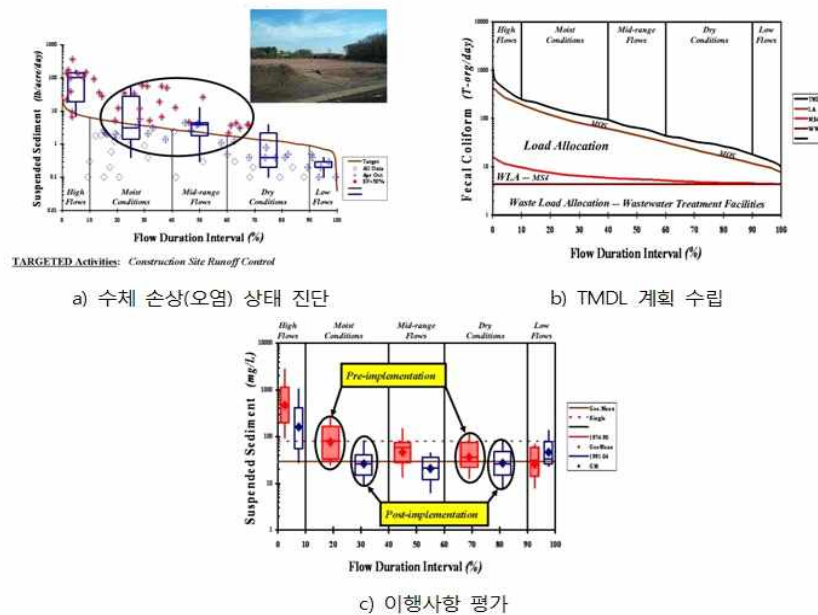
단위 유역	대상물질	지점수 (달성도)	평가수질 ('10-'12년)	평가수질	산술평균	'12년		
						기준유량 $\pm 20\%$ 저수기	75% 평수기	백분위수
한강	BOD	9	7	7	9	4	-	2
		%	77.8	77.8	100.0	44.4	-	22.2
	T-P	-	-	-	-	-	-	-
		%	-	-	-	-	-	-
낙동강	BOD	41	40	40	40	34	-	20
		%	97.6	97.6	97.6	82.9	-	48.8
	T-P	41	20	27	26	32	31	18
		%	48.8	65.9	63.4	78.0	75.6	43.9
금강	BOD	30	25	26	26	18	-	15
		%	83.3	86.7	86.7	60.0	-	50.0
	T-P	8	3	4	3	7	5	2
		%	37.5	50.0	37.5	87.5	62.5	25.0
영산강 ·섬진강	BOD	21	15	13	14	11	-	9
		%	71.4	61.9	66.7	52.4	-	42.9
	T-P	21	18	18	18	19	20	15
		%	85.7	85.7	85.7	90.5	95.2	71.4
총계	BOD	101	87	86	89	67	-	46
		%	86.1	85.1	88.1	66.3	-	45.5
	T-P	70	41	49	47	58	56	35
		%	58.6	70.0	67.1	82.9	80.0	50.0

다. 이행사항의 평가시 불확실성 최소화 방법

(1) 부하지속곡선(LDC) 개념

최근 미국, 유럽 등에서는 전체 유량 조건의 수질을 고려하여 수질오염문제를 규명하고, TMDL을 효과적으로 개발 및 평가하기 위해 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC) 방법을 이용하고 있다. 부하지속곡선의 목표수질 설정 당시의 유황조건에 따라 수질 및 부하량의 합리적인 평가가 가능하다.

도식화한 부하지속곡선은 수질기준을 만족하기 위한 허용량 달성시기와 정도 및 오염원 규명이 가능하고, 수질기준을 만족하기 위해 요구되는 TMDL 및 삭감부하량 산정에 이용할 수 있다. 또한 이행평가 시 수질기준에 따른 부하지속곡선에 현재의 부하량을 도식화하여 허용량 만족여부를 평가하는데 활용 가능하다<Fig. 2>.



<Fig. 2> Various application of LDC

(2) 유황조건을 고려한 부하지속곡선(LDC) 평가

목표수질이 설정된 118개 단위유역에 대하여 총량지점과 동일하거나 인근에 위치한 국토교통부 수문관측소의 일유량 자료와 비교하여 두 자료 간 상관성이

0.7 이상일 경우 국토부 일유량 자료를 활용하였다<Table 10>. 단위유역 내 관측소가 없거나 연계지점이 없는 단위유역은 상·하류로 범위를 확대하여 선정하였고, 상관성이 높은 경우 비유량으로 계산하여 적용하였다.<sup>9)</sup>

수계별 유량조건에 따른 목표수질 달성도를 <Table 11>에 정리하였다. '12년 평가수질과 비교하면 BOD는 달성도가 상대적으로 낮은 반면, T-P는 유사한 것으로 나타났다.

<Table 10> The comparison of Correlation between TMDL and hydrological monitoring site.

수계	총량지점	국토교통부 수문관측망	상관성	총량지점	국토교통부 수문관측망	상관성
한강	가평A	가평	.944**	왕숙A	퇴계원	.984**
	경안A	경안	.991**	인북A	원통	.994**
	경안B	도평	.993**	입진A	군남	.988**
	골지A	임계	.969**	입진B	통일대교	.956**
	곡릉A	중랑교	.728**	제천A	영월1	.929**
	굴포A	중랑교	.885**	조종A	조종	.955**
	달천A	달천	.700**	주천A	신천	.932**
	달천B	달천	.701**	중랑A	신곡	.919**
	문산A	통일대교	.729**	청미A	삼합	.757**
	북하A	홍천	.929**	탄천A	성남	.850**
	북한A	화천댐	.993**	평창A	팔괴	.984**
	북한B	춘천댐	.986**	한강A	영춘	.985**
	북한C	의암댐	.978**	한강B	영춘	.988**
	북한D	청평댐	.990**	한강C	충주댐	1.000**
	섬강A	장현	.987**	한강D	남한강	.865**
	섬강B	문막	.907**	한강E	여주	.992**
	소양A	내린천	.994**	한강F	팔당댐	.959**
	소양B	소양강댐	1.000**	한강G	광장	.861**
	신천A	청산	.722**	한강H	한강대교	.981**
	안양A	신정	.876**	한강I	행주대교	.932**
	양화A	율곡	.917**	한탄A	관인	.950**
	영평A	고소성	.982**	한탄B	전곡	.954**
	오대A	나전	.993**	홍천A	서면	.961**
	옥동A	옥동	.877**	흑천A	흑천교	.958**
	진위A	안성	.755**	-	-	-
	낙동강	감천A	선산	.971**	남강B	산청
금천A		산양	.959**	남강C	남강댐	.941**
금호A		금호	.946**	남강D	정암	.967**
금호B		하양	.992**	남강E	거룡강	1.000**
금호C		성서	.999**	내성A	조계	.959**
길안A		길안	.929**	내성B	향석	.997**
낙분A		장성	.975**	미천A	운산	.983**
낙분B		양삼	.998**	밀양A	밀양1	.972**
낙분C		구담	1.000**	밀양B	밀양2	.978**
낙분D		낙동	1.000**	반변A	영양	.888**
낙분E		왜관	.947**	반변B	청송	.781**



수계	총량지점	국토교통부 수문관측망	상관성	총량지점	국토교통부 수문관측망	상관성
	낙분F	성주	.998**	병성A	병성	.934**
	낙분G	고령교	.807**	영강A	점촌	.959**
	낙분H	적포교	.954**	용전A	청송	.922**
	낙분I	임해진	1.000**	위천A	용곡	.884**
	낙분J	삼랑진	1.000**	위천B	용곡	.991**
	낙분K	구포	.935**	이안A	이안	.955**
	낙분L	구포	.928**	황강A	거창2	.956**
	낙분M	낙동강하구연	1.000**	황강B	죽고	.922**
	낙분N	녹산수문	1.000**	회천A	개진2	.732**
	남강A	입천	.925**	-	-	-
금강	갑천A	합강	.805**	동진A	신태인	.930**
	고부A	정읍	.919**	만경A	하리	.994**
	금분A	천천	.998**	만경B	대천	.988**
	금분B	용담댐	.994**	무심A	청주	.954**
	금분C	수동	.998**	미호A	오창	.942**
	금분D	호탄	.983**	미호B	미호교	.888**
	금분E	옥천	.996**	미호C	합강	1.000**
	금분F	대청댐	.998**	병천A	장산교	.991**
	금분G	대청조정지댐	.987**	보청A	기대교	.983**
	금분H	규암	.896**	원평A	정읍	.758**
	금분I	규암	.962**	유등A	복수	.962**
	금분J	규암	.967**	전주A	전주	.999**
	금분K	규암	.837**	정읍A	정읍	.944**
	금분L	규암	.893**	초강A	심천	.957**
논산A	논산	.841**	탑천A	전주	.773**	
영산강- 섬진강	동복A	장전2	.980**	영분D	사포	.969**
	보성A	보성댐	1.000	영분E	영산강하구둑	.985**
	보성B	광천	.729**	오수A	오수	.996**
	섬분A	관촌	.989**	요천A	월석	.983**
	섬분B	섬진강댐	.957**	요천B	송동	.962**
	섬분C	적성	.987**	지석A	능주	.907**
	섬분D	구례2	.954**	주령A	쌍치2	.964**
	섬분E	화개	.979**	탐진A	연산	.995**
	영분A	광주	.958**	탐진B	군동	.973**
	영분B	본동	.713**	황룡A	임곡	.993**
	영분C	회진	.942**	-	-	-

<Table 11> Results of achievement LDC(%)

지점명	BOD				T-P					
	지점수 (개)	전 구간	저수기	저수기 이상	지점수	전 구간	구간별		기준유량 이상	
							저수기	평수기	저수기	평수기
한강	9	68.1	52.4	69.9	-	-	-	-	-	-
낙동강	41	73.6	71.9	75.0	41	67.4	74.4	75.0	67.8	64.4
금강	30	74.6	66.5	75.7	8	61.3	68.1	80.3	59.9	54.9
영산강-섬진강	21	68.6	59.4	69.9	21	81.0	81.6	88.0	82.0	82.4
총계	101	72.4	65.9	73.7	70	70.8	75.8	79.5	71.1	68.7

## 2. 경제성과 수질개선 동시 달성을 위한 할당기법 적용

가. 최적화 모델을 통한 경제성과 수질개선 효과를 고려한 할당기법 검토

### (1) 대상유역 선정

갑천 유역의 갑천A 단위유역은 할당부하량 만족 목표수질 달성, 유등A 단위유역은 할당부하량 만족 목표수질 달성, 황룡강 유역의 황룡A 단위유역은 할당부하량 초과 목표수질 초과, 영분B 단위유역은 할당부하량 달성 목표수질 달성지역으로 다양한 조건에서의 시나리오 분석으로 본 연구의 목적을 달성하기에 적합한 유역이라 판단된다.

### (2) WARMF 모델 개요

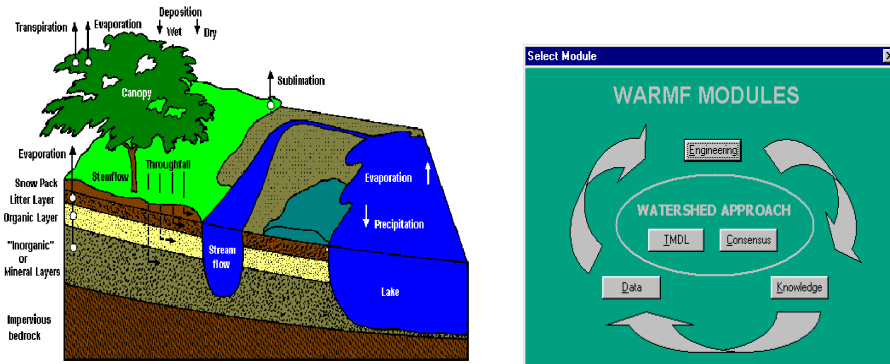
WARMF 모델은 <Fig. 3>과 같이 GIS 기반의 의사결정을 위한 유역모델이며, 물리기작 기반의 동적모델로 유량, 영양물질, SS, 대장균, Chl-a 등을 모의가 가능하고 사용법이 쉽고 이해관계자 설득에 유리할 뿐만 아니라 TMDL 설계 과정에서 발생하는 문제점 해결에 적합한 것으로 평가되고 있다.<sup>10)</sup>

#### (가) WARMF 모델의 구성

- 기존 모델의 알고리즘 이용(ANSWERS, SWMM, WASP, CE-QUAL-W2)
- 완전혼합 연속 반응조로 구성(소유역, 하천격자, 호수)
- 기상 및 토지이용 자료로 일변화 재현 동적 유역모델
- 물질 및 열 수지는 이송, 확산, 소멸, 유입으로 계산

#### (나) WARMF 모델의 활용

- 수문과 수질에 영향을 주는 지역개발의 효과 분석
- 하천에 허용 가능한 오염부하량 산정
- 효과적인 비점오염원 삭감 방법 검토
- 발전소가 수질에 미치는 영향

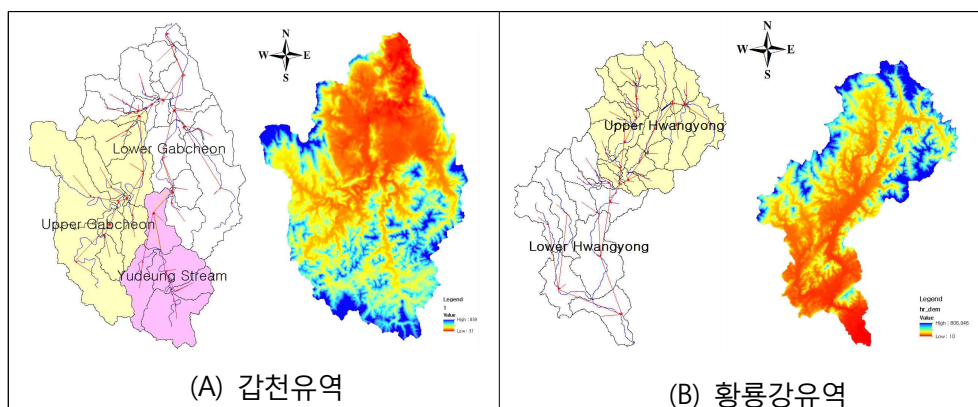


<Fig. 3> WARMF model conception and configuration

### (3) WARMF 모델 적용을 위한 입력자료 구축

#### (가) 세유역 구분

WARMF 모형을 구축하기 위해서는 수치고도모델(Digital Elevation Model; DEM), 하천도, 토지피복도가 필요하다. DEM은 수치지도를 이용하여 30 m × 30 m로 구축 하였고, DEM과 하천도를 이용하여 <Fig. 4>와 같이 소유역으로 구분하였다. 토지이용도는 국가 수자원관리종합정보 시스템(WAMIS)에서 제공되는 수치지형자료를 활용하여 WARMF에서 사용되는 방식으로 변환하여 사용하였다. 기상데이터 구축을 위해 기상청에서 제공하는 대전 및 광주측후소의 6가지(강수량, 최저기온, 최고기온, 이슬점 온도, 대기압, 평균풍속) 일별 기상 자료를 이용하였다.



<Fig. 4> WARMF subwatershed division and linkage

(나) 점오염원 입력자료

갑천 유역내에 위치한 대전하수처리장, 계룡하수처리장, 흑석하수처리장, 대전 3·4공단 폐수종말처리장 및 황룡강유역내 위치한 장성하수처리장의 수질 및 유량 일자료를 <Table 12>와 같이 점오염원 입력파일로 구성하였다.

<Table 12> Pointsource input data(annual mean concentration)

유역	처리장명	년도	유량(m <sup>3</sup> /s)	BOD(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
갑천유역	대전하수처리장	2008	6.55	8.42	13.75	1.01
		2009	6.44	5.10	11.39	0.80
		2010	6.50	5.92	11.90	0.61
		2011	6.44	5.54	12.01	0.58
		2012	6.60	2.44	12.30	0.18
	계룡하수처리장	2008	0.17	4.20	10.96	0.89
		2009	0.17	4.48	11.15	0.99
		2010	0.17	4.18	10.29	1.00
		2011	0.17	3.44	9.79	0.77
		2012	0.18	1.82	9.82	0.10
	흑석하수처리장	2008	0.004	1.77	6.29	1.07
		2009	0.004	2.54	4.74	2.18
		2010	0.005	1.33	7.21	0.87
		2011	0.007	1.47	6.44	0.80
		2012	0.007	1.68	4.95	0.17
	대전 3·4공단 폐수종말처리장	2008	0.55	2.20	8.52	0.93
		2009	0.55	2.82	0.00	0.00
		2010	0.57	2.27	10.58	1.16
		2011	0.57	2.20	13.75	1.05
		2012	0.59	1.95	15.34	0.22
황룡강유역	장성하수처리장	2008	0.12	4.77	15.39	1.53
		2009	0.09	5.50	15.42	1.58
		2010	0.10	3.88	10.55	1.38
		2011	0.09	6.39	11.57	1.51
		2012	0.10	6.56	9.22	1.28

(다) 소유역별 배출부하량

갑천유역 및 황룡강 유역내 오염원에서 배출되는 비점오염원 배출부하량을 단위면적당 부하량으로 환산하여 <Table 13>, <Table 14>와 같이 입력파일을 구성하였다.

<Table 13> Subwatershed TMDL load(2010yr, kg/day/ha)-Gapcheon

세유역	BOD	TP	소유역	세유역	BOD	TP	소유역
1	0.39	0.01	갑천하류	18	0.78	0.02	갑천상류
2	0.35	0.01		19	0.70	0.02	
3	0.49	0.02		20	0.18	0.01	
4	0.32	0.01		21	0.11	0.01	
5	0.25	0.01		22	0.13	0.01	
6	0.61	0.02		23	0.12	0.01	
7	0.03	0.00	갑천상류	24	0.29	0.01	갑천하류
8	0.08	0.00	갑천하류	25	0.09	0.01	유등천
9	0.06	0.00	갑천상류	26	0.59	0.02	
10	0.05	0.00		27	0.10	0.00	
11	0.07	0.00		28	0.65	0.02	
12	0.22	0.01	29	0.55	0.01	갑천하류	
13	0.00	0.00	갑천상류	30	0.60		0.02
14	0.07	0.00	갑천하류	31	0.68		0.02
15	0.02	0.00		32	0.34		0.01
16	0.29	0.01	갑천상류	33	1.21	0.40	유등천
17	0.13	0.01	유등천				

<Table 14> Subwatershed TMDL load(2010yr, kg/day/ha)-Whangryonggang

세유역	BOD	TP	소유역	세유역	BOD	TP	소유역
1	0.023	0.003	황룡강하류	17	0.068	0.005	황룡강상류
2	0.053	0.004	황룡강상류	18	0.031	0.003	
3	0.065	0.005		19	0.041	0.004	
4	0.038	0.003		20	0.061	0.005	황룡강하류
5	0.043	0.003		21	0.014	0.001	
6	0.037	0.003		22	0.057	0.005	
7	0.030	0.003		23	0.044	0.004	황룡강상류
8	0.008	0.001		24	0.132	0.009	
9	0.046	0.004		25	0.015	0.001	
10	0.050	0.004		26	0.058	0.004	황룡강하류
11	0.031	0.003		27	0.093	0.005	
12	0.018	0.002		28	0.060	0.004	
13	0.038	0.003		29	0.062	0.007	
14	0.048	0.004		30	0.061	0.004	
15	0.067	0.007		31	0.324	0.013	
16	0.043	0.004					

(4) WARMF 모형의 적용성 평가 결과

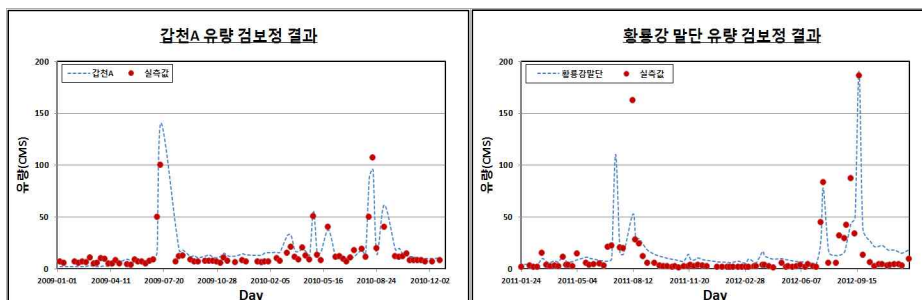
모형의 정확성 평가를 위하여 유량 보정 및 검증시 금강물환경연구소 및 영산강물환경연구소에서 측정한 총량단위유역 말단지점의 유량 및 수질 자료를 이용하였다. 유량 및 수질(BOD, TN, TP) 보정기간은 갑천유역의 경우 2009년 1월부터 2009년 12월까지, 검정기간은 2010년 1월부터 2010년 12월까지이며, 황룡강유역의 경우 2011년 1월부터 2011년 12월까지, 검정기간은 2012년 1월부터 2012년 12월까지 이다.

(가) 유량 보정 및 검정 결과

유량을 보정한 결과 <Table 15>, <Fig. 5>와 같이 갑천유역의 말단지점인 갑천A 지점에서 상관계수가 0.88로 높게 나타났으며 검정시에는 0.82로 산정되었다. 황룡강유역의 말단지점에서는 보정시 상관계수가 0.88, 검정시 0.89로 산정되어 WARMF 모형의 유량 적용성 평가 결과 실측 유량을 적절히 반영할 수 있는 것으로 판단되었다.

<Table 15> Stream flow calibration and verification

구분		상관계수	
		보정	검정
갑천유역	유등A	0.98	0.79
	갑천A	0.88	0.82
황룡강유역	황룡A	0.85	0.91
	황룡강말단	0.88	0.89



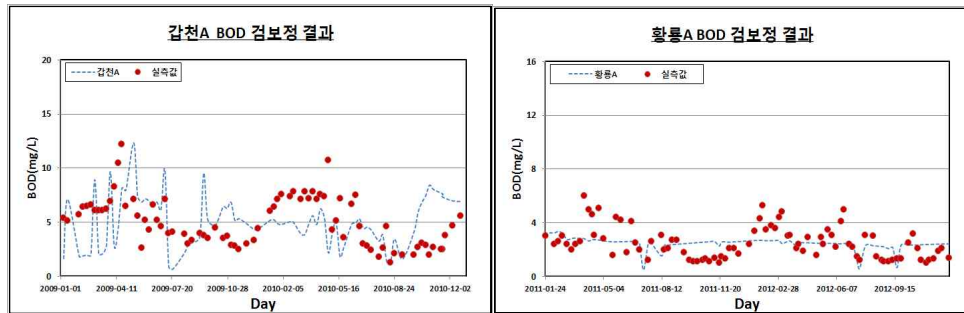
<Fig. 5> Results of target site stream flow calibration and verification

(나) 수질 보정 및 검증

수질을 보정한 결과 <Table 16>, <Fig. 6>과 같이 갑천유역 말단인 갑천A 지점 및 황룡A 지점에서 BOD의 평균값이 실측치와 유사하게 나타나 WARMF 모형의 수질 적용성 평가 결과 실측 수질을 적절히 반영할 수 있는 것으로 판단되었다.

<Table 16> BOD calibration and verification

평균 BOD (mg/L)	보정		검정	
	실측값	계산값	실측값	계산값
갑천A	5.2	5.2	4.9	4.9
황룡A	2.5	2.6	2.5	2.3



<Fig. 6> Results of target site BOD calibration and verification

(5) 삭감에 따른 수질개선효과 분석

점 및 비점 배출부하량을 각각 10%에서 40%까지 감소시키는 시나리오를 적용하여 산출한 평균적인 수질개선 효과는 다음 <Table 17>과 같다. 연평균 수질로 산정하였으므로 수질오염총량제도의 목표수질이 설정된 저수기 또는 평수기 조건에서는 다르게 평가 될 수 있으며, 풍수기 보다는 갈수기에 개선 효과가 큰 것으로 재현되었다. 황룡강유역의 경우 점오염원인 환경기초시설이 장성하수종말처리장 1개소만 입력된 관계로 점 삭감 효과가 미미 할 것으로 판단되어 점 삭감은 고려하지 않았다.

<Table 17> Water quality improvement effect as point and non-pointsource load reduction

구분	점 식감			비점 식감		
	삭감율 (%)	예측수질 (mg/L)	개선효과 (%)	삭감율 (%)	예측수질 (mg/L)	개선효과 (%)
갑천A	0	5.16	0.0	0	5.16	0.0
	10	5.02	2.9	10	5.08	1.7
	20	4.87	5.8	20	4.99	3.4
	40	4.57	11.6	40	4.81	6.9
황룡A	0	-	-	0	2.48	0.0
	10	-	-	10	2.43	1.7
	20	-	-	20	2.39	3.5
	40	-	-	40	2.30	7.0

(6) 삭감에 따른 소요비용 분석

(가) BOD 삭감에 소요되는 저감시설 운영비

지자체가 부담하는 건설비용은 국고보조율, 시설용량, 부지 면적 및 해당지역 토지가격 등에 따라 달라지므로 본 연구에서는 검토하지 않았고, 운영비는 <Table 18>과 같이 기존 문헌조사 결과를 이용하여 분석하였다.<sup>11),12)</sup>

<Table 18> Cost calculation for BOD load reduction

BOD	1 kg 삭감에 필요한 운영비(원/일)	출 처
점	662	주요 비점오염원에 대한 효과적인 관리방안(환경부, 2005.10) - 2003년 232개 하수처리장의 평균값
비점	107	상류유역 강우유출수가 대청호 호수 만입부 수질에 미치는 영향분석(1)(금강물환경연구소, 2009) - 한국환경공단 이 사범 운영중인 14개 비점오염저감시설의 평균값

(나) BOD 삭감에 따른 소요비용 분석

점 및 비점 배출부하량을 각각 10%에서 40%까지 감소시키는 시나리오를 적용하여 산출한 저감시설 운영비는 다음 <Table 19>와 같다.



<Table 19>Operation cost as point and non-point source load reduction

구분	점 삭감			비점 삭감		
	삭감율 (%)	삭감부하량(kg/d)	소요비용(천원/일)	삭감율 (%)	삭감부하량(kg/d)	소요비용(천원/일)
갑천A	0	0.0	0	0	0.0	0
	10	363.1	124	10	1,256.4	134
	20	630.2	248	20	2,512.7	269
	40	1,260.5	496	40	5,025.5	538
황룡A	0	0.0	0	0	0.0	0
	10	5.0	3	10	376.2	40
	20	10.1	7	20	752.4	81
	40	20.1	13	40	1,504.9	161

나. 신규 할당방법에 따른 수질 개선 및 경제적 효과 분석

(1) 경제적 효과 분석

점 및 비점 삭감율별 수질개선 효과를 분석하고, 삭감율에 따른 삭감부하량에 삭감에 소요되는 저감시설 운영비를 곱하여 운영비 합계를 <Table 20>과 같이 산출하였다. 점삭감 시설을 운영하는 비용은 단위 무게당 비점 삭감에 필요한 비용보다 6.6배 비싸지만, 삭감 대상량이 적어 점 삭감시설을 운영하는 것이 운영비가 적게 드는 것으로 산정되었다.

이러한 결과는 처리장과 같은 점 삭감시설의 BOD 삭감효율이 97% 내외로 안정적으로 운영되고 있으나, 비점 저감시설의 경우는 유역 상황 및 강우 조건 등에 따라 삭감효율이 불규칙하게 나타나는 데에서 비롯된다. 한국환경공단<sup>13)</sup> 등의 실측자료에서 산출하여 수질오염총량관리기술지침에 수록한 비점 오염 저감시설 전체의 평균 삭감효율이 50%에 불과한 것도 이러한 결과가 도출되는데 기인한 것으로 판단된다.

향후 총량관리대상 오염물질이 비점 저감시설의 삭감효율이 점 삭감효율에 버금가는 물질로 선정 된다가나 한강청<sup>14)</sup> 및 한국농어촌연구원<sup>15)</sup> 등에서 연구 중인 유지관리 비용이 거의 들지 않는 비구조적 비점 삭감기법이 개발·보급 된다면 점 삭감이 항상 경제적이라고 평가 할 수 는 없을 것으로 판단된다.

<Table 20> Operation cost as point and non-point source load reduction(Gapcheon,Whangyonggang)  
(천원/일)

비점삭감 점삭감		0%삭감	10%삭감	20%삭감	40%삭감
갑천	0%삭감	-	134	269	538
	10%삭감	209	343	477	746
	20%삭감	417	552	686	955
	40%삭감	834	969	1,103	1,372
황룡강	0%삭감	-	40	81	161
	10%삭감	3	44	84	164
	20%삭감	7	47	87	168
	40%삭감	13	54	94	174

(2) 할당 관련 제도 개선 및 지자체 유도 방향 제안

신규 할당방법에 따른 수질 개선 및 경제적 효과 분석결과 <Table 21>과 같이 갑천유역의 경우 유사한 구간(500,000원/일 미만)의 저감시설 운영비용을 지출 할 경우 점 배출부하량의 20%, 비점 배출부하량의 10%를 삭감할 시 수질개선에 가장 효과적인 것으로 분석되어 갑천유역과 같은 대도시 유역에서는 점과 비점 삭감대상량을 고려하여 총 운영비가 최소화 되는 시나리오로 할당하는 것이 지자체에 유리할 것으로 판단되며, 황룡강유역의 경우 점 배출부하량을 삭감하는데 소요되는 운영비용이 비점에 비해 상대적으로 낮게 분석되고 점삭감이 용이하므로 황룡강 유역과 같은 농촌 및 도농복합 유역에서는 비점 배출량을 최대한으로 할당하는 것이 지자체에 유리할 것으로 판단 된다.

<Table 21> Water quality improvement effect as point and non-pointsource load reduction(Gapcheon)  
(%)

비점삭감 점삭감	0%삭감	10%삭감	20%삭감	40%삭감
0%삭감	0.00	1.72	3.44	6.87
10%삭감	2.87	4.58	6.31	9.72
20%삭감	5.77	7.489	9.20	12.62
40%삭감	11.56	13.28	15.00	18.42

### 3. 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반마련

#### 가. 제도여건을 고려한 배출권거래 시행범위 및 교환방법

##### (1) 제도여건을 고려한 시행범위

기본전제는 단위유역 목표수질을 만족하고 기본방침을 준수하는 조건에서 할당부하량, 지역개발부하량, 삭감량, 점-비점 전환에 대해 시행하되 단위유역내 지자체간-지자체내 단위유역간 삭감량·개발권 거래·할당부하량 거래, 단위유역내 점-비점오염원 거래를 할수 있도록 거래범위를 설정하였다.

거래조건은 수질 악화방지조건에서 오염원 이동 및 지형·수문학적 특성을 반영하여 설정하고 총량관리계획에서 할당된 할당부하량과 지역개발부하량을 거래하는 할당배출권과 오염물질 배출시설이 삭감시설 설치 등으로 총량계획에서 할당된 오염배출량보다 추가로 삭감한 배출부하량을 거래하는 잉여배출권거래로 구분하였다.

거래방식은 단위유역내 1:1 거래와 단위유역-지자체간 거래비(안전율,거리비, 유달율)를 적용한 조건을 절충하여 활용할 수 있도록 검토하였다.

##### (나) 유권배출권거래제 분석

수질오염총량제 배출권거래를 위한 방향설정을 위해 국내·외 배출권 거래 사례를 검토하였다. 먼저 온실가스배출권거래제는 국가나 기업별로 탄소배출량을 미리 정해, 허용치 미달분을 탄소배출권 거래소에서 팔거나 초과분을 사는 제도로 배출권을 기간별로 무상할당비율을 달리 적용하였으며 온실가스 에너지목표관리제는 2020년까지 온실가스 배출 전망치(BAU) 대비 30%를 줄이기 위해 2009년 도입한 제도로 배출권을 무상할당한 제도이다.<sup>16)</sup>

수도권대기오염물질배출권거래제는 사업장이 갖고 있는 배출권을 서로 사고 팔 수 있게 하여 오염물질을 줄이기 위한 환경투자를 자발적으로 이끌어 낼 수 있는 제도로 배출권을 무상할당하였다.

신재생에너지공급의무화제도는 에너지사업자에게 공급량의 일정비율을 신재생 에너지로 하도록 의무화하는 것으로, ‘자발적 신재생 에너지 공급협약(RPA)’보다 한 단계 위의 제도로 의무비율 할당으로 강제성을 부여하였다.

**(㉔) 기존총량제 배출권거래사례**

수질오염총량관리기본방침(2012년)(이하“기본방침”) 기본방침에서 지역개발량 및 삭감량을 점·비점 전환하고 목표수질 달성조건에서 단위유역-지자체간 배출부하량을 조정할수 있도록 하고 있다.<sup>17)</sup>

지역개발량 및 삭감량을 점·비점 전환은 기본방침 제30조(지역개발사업 사후관리)에 따라 해당지자체 총량단위유역 지역개발 및 삭감부하량 최종잔여량에 한하여 대상물질별 전환기준에 따라 점·비점 전환하여 사용가능하도록 하고 있다.

단위유역내 지자체간 및 지차체내 단위유역간 이동은 단위유역 목표수질 만족하는 범위내에서 단위유역내 지자체간 이동 가능하다.

기간외 개발사업 협의는 계획기간 종료후 선할당이 이뤄지는데 기본방침 제28조(지역개발사업 부하량 할당)에 따라 계획기간외 지역개발부하량은 삭감계획을 마련하여 동계획기간의 지역개발부하량의 60% 범위내에서 선할당할 수 있으며 제30조(지역개발사업 사후관리)에 의거 점·비점 전환하여 사용가능하다.

특대유역 소규모개발전환은 대규모사업을 소규모개발사업으로 전환가능하도록 하였는데 기본방침 제28조의2(특대유역 지역개발부하량의 이동 등)에서 주민의 기본권과 직결되는 소규모 개발사업(400/800 m<sup>2</sup>미만)에 대하여는 특대유역간 부하량 이동을 제한적 범위(20%)내에서 허용하되 특대유역간 대규모 개발부하량간에 전환은 불허하도록하고 있다.

단위유역 내 공공 점오염원 간 거래, 단위유역 내 지자체 간 개발권거래, 단위유역 초과 배출권 거래사례를 <Table 22>에 나타내었다.

<Table 22> Watershed-local government TMDL allocation adjustment

**- (오염원 조정) 7개 단위유역/6개 시·군 간 조정**

구분	대상물질	시·군	단위유역	오염원 조정안(kg/일)		비고
				점배출부하량	비점배출부하량	
동일 지자체 내 단위유역 간	BOD	경산시	금호B	5.20▽	9.80▽	안전율 조정후 가능
			밀양A	5.20▲	9.80▲	
		영천시	금호B	23.80▽	79.30▽	안전율 조정후 가능
			금호A	23.80▲	79.30▲	
	T-P	경산시	금호B	1.200▽	-	-
			밀양A	1.200▲	-	-
		문경시	영강A	-	1.500▽	-
			낙분D	-	1.500▲	-
단위유역 간 지자체 간	BOD	경산시	금호B	93.60▽	177.70▽	안전율 조정후 가능
		영천시	금호A	93.60▲	177.70▲	
	T-P	경산시	금호B	43.930▽	-	-
		영천시	금호A	43.930▲	-	-

**- (지역개발부하량 조정) 9개 단위유역/6개 시·군 간 조정**

구분	대상물질	시·군	단위유역	지역개발부하량 조정안(kg/일)	
				점배출부하량	비점배출부하량
동일 시·군 내 단위유역 간	BOD	군위군	위천A	1.0▽	1.0▽
			위천B	1.0▲	1.0▲
	T-P	군위군	위천A	0.05▽	-
			위천B	0.050▲	-
		영주시	내성A	2.000▽	-
			내성B	2.000▲	-
		칠곡군	금호C	0.300▽	-
			위천A	0.300▲	-
동일 단위유역 내 시·군 간	BOD	청도군	밀양A	2.00▽	1.00▽
		경주시	밀양A	2.00▲	1.00▲
		칠곡군	금호C	0.05▽	-
		대구시	금호C	0.05▲	-
	T-P	청도군	밀양A	1.200▽	1.000▽
		경주시	밀양A	1.200▲	1.000▲
		칠곡군	금호C	0.004▽	-
		대구시	금호C	0.004▲	-
단위유역 간/ 시·군 간	BOD	구미시	낙분E	20.00▽	50.00▽
		의성군	위천B	20.00▲	50.00▲
		칠곡군	낙분F	2.20▽	-
		구미시	낙분E	2.20▲	-
	T-P	구미시	낙분E	4.000▽	3.000▽
		의성군	위천B	4.000▲	3.000▲
		칠곡군	낙분F	0.150▽	-
		구미시	낙분E	0.150▲	-

※ 2013.6 경상북도 기본계획 변경승인사항

나. 유역특성 고려한 등가량(credit) 교환비율 도출

(1) 거래비(Trading ratio)산출

(가) 배출량을 등가량으로 환산

거래비율을 결정시 유달율, 오염원 위치, 안전율, 수체에 미치는 영향을 고려하여 미국 WQT거래방식인 등가량 형식으로 거래비를 산출하였다.

- 등가량(CREDIT) : 공간적 분포가 다른 오염물질의 양을 등가의 양으로 전환 유달비와 거래비의 곱으로 산정

$$\text{등가량(Credit)} = \text{배출량} * \text{유달비} * \text{거리비}$$

- 유달비(a) : 해당 소유역의 오염물질 유역유달비(총량계획의 소유역별 유달율 적용)  
 - 거리비(B) : 하천에 도달한 오염물질이 하천거리에 따라 변화되는 변화비 총량계획의 수질모델을 이용하여 유하거리에 따른 거리비 산정  
 ※ 거리비 : 기본계획 수질모델을 이용하여 목표지점의 수질(BOD 1.0mg/L)를 변화시키는 각 하천유입 오염원의 양을 산정하고 이를 이용하여 등가량 산정을 위한 거리비 생성

수계모식도

지점명	유하거리 (km)	목표지점 농도변화 (mg/L)	유입부하 (kg/일)	거리비
C1	1	1	2,206	1
C2	3	1	2,193	0.99
C3	6	1	2,169	0.98
C4	10	1	2,070	0.94
C5	13	1	2,044	0.93
C6	17	1	1,837	0.83
C7	23	1	1,056	0.48
C8	25	1	1,052	0.48
C9	26	1	1,051	0.48
C10	28	1	1,038	0.47
C11	31	1	1,000	0.45
C12	34	1	1,003	0.45
C13	39	1	624	0.28

(나) 거래에 따른 안전율(γ) 적용

지도검검 및 수질모델 등의 불확실성 고려하여 구매자는 안전율을 적용하되 기존시설은 해당 단위유역의 안전율을 적용하고 신규시설은 10~20%를 적용하는 방안을 검토중이다.

(㉔) 거래량 산정 예시

유역상류에 있는 기존 폐수배출시설에서 하류의 폐수배출시설에서 배출량 또는 삭감량을 구매하고자할 경우 하류의 배출시설업체가 거래를 위해 확보해야하는 삭감량을 거리비, 유달비를 적용한 등가량에 안전율을 적용하여 적정 거래량을 산정하는과정을 <Fig. 7>과 같이 나타내었다.

- 금호01 유역의 기존시설인 A폐수가 금호02유역의 B폐수로 부터 10kg/일을 구매하고자 할 경우,

<기초정보>

금호01 유역 : 유달비(α) 0.15, 거리비(β) 0.98

금호02 유역 : 유달비(α) 0.17, 거리비(β) 0.45

- 구매자  
 (Credit 산정)  $10\text{kg/일} * 0.15 * 0.98 = 1.47\text{credit}$   
 (구매량 산정)  $1.47\text{credit} * 1.1 = 1.62\text{credit}$

- 판매자  
 (판매량 산정)  $1.62\text{credit} / 0.17/0.45 = 21.18\text{kg/일}$  삭감

<Fig. 7> The example of Calculation for trading Credit

## 다. 거래시장구성방안

### (1) 삭감계획 평가

판매자(개별배출시설)는 삭감계획을 수립하여 환경부에 검토 요청하며 주요 내용은 삭감계획의 주체 및 삭감방법, 추진일정, 삭감량, 재정확보계획, 삭감이 되는 단위유역(행정구역), 할당대상시설 지정계획, 사후관리방안 등이며 국립환경과학원 또는 지방환경관서 등에서 검토한다.

환경부는 삭감계획의 적정성 및 삭감량, 사후관리방안 등을 평가 하고 거래 가능한 배출량을 통보하는데 삭감계획의 적정성 및 삭감효과의 지속기간, 지속 조건, 삭감단위유역(행정 구역), 및 삭감효과의 지속성을 위한 사후관리방안 등 수록한다. 판매자는 삭감계획에 따른 사후관리방안(할당대상시설 추가 등)을 총량계획에 반영하여야 한다. 현재 수질오염총량관리방향에 포함된 사항이다.

### (2) 배출량 거래

판매자는 배출량 및 희망 가격을 온라인 시스템에 등록하고 구매자는 자율경쟁에 따라 배출량 구매 한다. 온라인 시스템은 거래 사실 확인서를 발급한다. 추후 배출권거래 시행시 구성되어야 하는 거래시장으로 판매자와 구매자를 연결하여 <Fig. 8>과 같이 시장기능을 할 수 있게 한다.

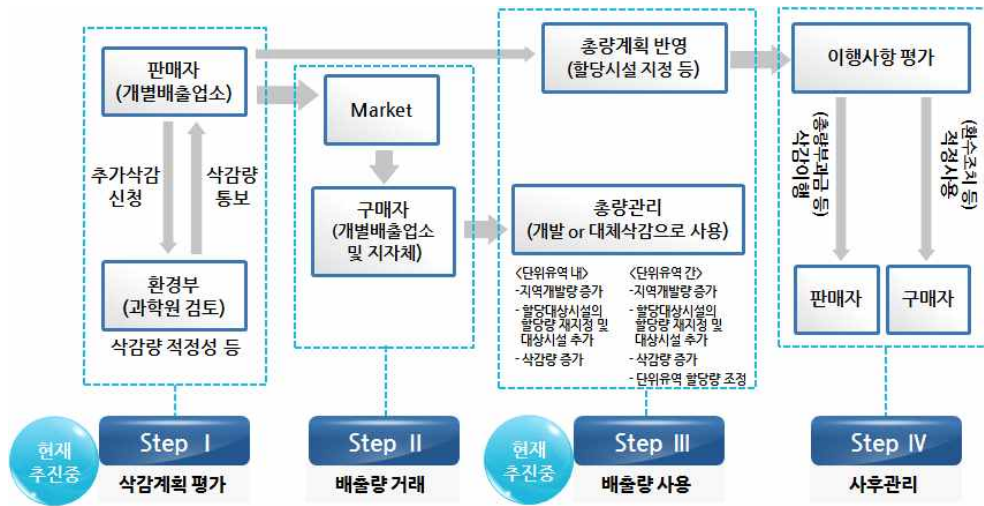
### (3) 배출량 사용

구매자는 구매한 배출량을 사용하며, 사용가능한 범위는 아래와 같이 설정한다. 단위유역내에서는 지역개발부하량 증가, 할당대상시설 할당오염부하량 변경, 삭감량 증가 등에 사용할수 있으며 단위유역 간에는 지역개발부하량 증가, 할당대상시설 할당오염부하량 변경, 삭감량 증가, 단위유역(지자체)간 할당량 조정 등을 사용할수 있다. 현 총량제도에서 단위유역-지자체간 배출량 조정은 이뤄지고 있으나 이행평가외에는 별도로 관리감독 할 수 있는 기능이 없는 실정이다.

### (4) 사후관리

판매자는 삭감 이행여부에 대한 이행사항 평가를 받아야 하며, 불이행 시 총량초과 부과금 등의 사후관리를 받아야 한다. 구매자 역시 적정 사용에 대한 이행사항 평가를 받아야 하며, 부적정 사용 시 환수 조치 등의 사후관리를 받아야 한다. 따라서 판매 및 구매자의 이행여부를 확인할수 있는 사후관리규정을 제도에 포함하여야 한다.





<Fig. 8> Credit trading market composition method

라. 배출권거래가이드 및 관련지침마련

(1) 배출권거래에 따른 형평성 및 불합리성 검토

우선, 공간적 관점에서 깨끗한 환경을 유지하고 있는 지역에는 악화방지 원칙에 의해 높은 수준의 목표수질이 설정되어 지역개발의 기회가 원천봉쇄 될 우려가 있다. 난개발로 인해 열악한 환경에 놓인 지역은 낮은 수준의 목표 수질로 삭감 가능량이 크고 삭감도 쉬워 적은 노력으로 인센티브를 확보한다.

시간적 관점에서 현재는 수질개선의 가능성이 많아 인센티브의 잠재량이 크지만 목표수질에 근접할수록 단위 삭감량 당 소요비용은 기하급수적으로 늘어나고 삭감량은 줄어들므로 인센티브 유인력 약화된다. 혜택대상은 지역에서 할당받은 총량을 주민이 공평하게 나누어 가지는 것은 현실적으로 불가능하고 결국 실제 편익은 극소수의 대규모 개발사업자가 차지한다.

또한 과거 배출량을 배출 권리로 인정해 주는 방법으로 비규제자의 반대를 최소화한다는 실행상의 용이성(정치적 수용성)이 있지만 시행 이전 단계에서의 배출삭감노력에 대한 역(逆)인센티브의 초래 가능성 높다. 개별배출시설 운영 실적 등을 기준으로 배출계수를 적용하여 할당할 경우에는 과거 삭감노력에 대해 일부 보상이 가능하지만 업종 및 업체 간 일률적인 기준 마련이 어렵기 때문에 구체적인 기준 설정이 어렵다.

이러한 문제점을 파악하고자 민간업체를 대상으로 <Table 22>와 같이 총량제의 효과 및 영향, 총량제 시행 여건 및 문제점, 총량제의 민간부문 할당, 물환경 관리 여건변화에 따른 총량제 영향 등을 검토하였다.

<Table 23> Opinion inquiry of private company

구분	주요내용
법적 기준만 고려	법적 방류수 수질만을 충족하려 할 것임
	민간업체에 대한 제재조치 마련이 필요함(이행에 대한 담보)
	관리에 어려움이 많을 것으로 판단됨
	민간업체에 대한 법적 규제 및 행정적 제재 미비
예산비용 및 실행의 어려움	배출이행 준수와 관리에 애로
	수처리 비용 상승에 따른 기업의 경제적 비용 상승
	과도한 규제로 인식하는 지역과 규제 완화를 바라는 지역으로 구분됨
	이해관계에 따른 협의 애로(배출부하량 할당; 초과시 총량초과부과금 납부 부담)
내용의 이해 또는 민간의 수용태도 부족	행정의 업무량 증가 및 민간의 재정적 부담 증가
	민간오염부하량 할당은 경제적 권리제한으로 인식될 가능성이 큼
	강제사항이 아님으로 민간 배출업체는 할당을 받지 않을 것이라 판단됨
	민간의 총량에 대한 이해와 인식 부족
	환경개선에 대한 민간의 부담
	이익을 추구하는 민간 배출업자가 환경규제에는 적극적이지 않을 것
	이윤추구를 위하여 불법적인 방법을 이용할 가능성이 있음
관리에 어려움을 겪는 민간업체에서는 반발이 클 것임	
자신 규제에 대한 반발	과다한 총량배출부과금으로 인한 민원야기 예상됨
	규제사항으로 인식되고, 별도의 인센티브가 없으면 반발이 클 것으로 예상
기타	체계적인 관리, 상충된 법의 일원화, 기업유치의 어려움 등 문제점 발생
	할당제 참여 시 인센티브를 줄 재정적 여건 열악
	기술적·재정적 지원, 기초지자체 인력의 충원, 전문적인 교육 등 선행 필수

(2) 배출권거래가이드

(가) 배출권거래 기본방향

탄소배출권거래는 온실가스 감축목표를 정하고 국가 및 기업별로 할당량 대비 잉여분과 부족분을 거래하는 제도로 유역마다 특성이 다양한 수질분야에 직접 적용할수 없는 제도이다. 미국 EPA(2007, 2008)에서 배출권거래제 대표적사례로 WQT(Water Quality Trading)를 운영하는데 거래비를 적용하여 수질환경기준 유지, 수체 손상지역의 오염원감소, TMDL승인사항준수를 위해 할당 또는 개별배출보다 저비용의 삭감 및 거래가 이뤄지는데 대부분 EPA수질기준을

초과한 수체에 대해 소규모 유역규모에 대해 이뤄지고 있어 대유역 규모인 단위유역으로 운영되는 우리나라에 직접 적용에는 맞지 않는 실정이다.<sup>18),19)</sup>

따라서 한국형 배출권거래는 TMDL승인사항준수 및 지역개발량 확보를 위해 단위유역-지자체간 공공 및 개별 할당부하량 및 지역개발부하량 거래를 도입 하되 단위유역내 1:1 거래와 단위유역-지자체간 거래비(안전율,거리비,유달율) 적용방식 절충적용방안을 검토중이다. 목표수질에 영향이 없는 경우는 1:1로 배출량을 거래하되 안전율만 적용하고 목표수질 영향구간이나 상수원보호구역, 특대유역 등 중점관리가 필요한 지역은 거래비와 안전율을 적용하도록 검토중이다.

**(나) 배출권거래가이드**

현재 진행되고 있는 단위유역내 공공 점오염원간거래, 단위유역내 지자체간 개발권 거래, 단위유역 내 점오염원간의 거래, 단위유역내 점-비점오염원 거래 등 포함한 할당배출권 거래와 삭감시설 설치 등으로 추가삭감한 배출량을 거래 하는 잉여배출권거래로 구분하여 배출권거래가이드(안)을 작성하였다.

주요내용은 공공 및 개별배출시설 간의 배출권과 지역개발부하량에 대한 거래를 위한 거래의 범위, 거래비, 거래절차 등에 필요한 사항을 아래와 같이 정리하였다.

**총량배출권 거래 가이드 (안)**

1. (목적) 본 가이드라인은 오염총량관리지역 내 공공 및 개별배출시설 간의 배출권과 지역개발부하량에 대한 거래를 위한 거래의 범위, 거래비, 시장구성 등에 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.
2. (정의) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
  - ① “할당배출권”이란 총량관리계획에서 할당된 배출부하량을 말하며, 지역개발 배출권과 오염원배출권으로 구분한다.
  - ② “잉여배출량”이란 오염물질 배출시설이 삭감시설 설치 등으로 총량계획에서 할당된 오염배출량 보다 추가로 삭감한 배출부하량을 말한다.
  - ③ “오염총량관리지역”이란 한강수계법 및 3대강수계법, 수생태법에 따라 오염총량관리기본계획을 수립하여야 하는 지역을 말한다.
  - ④ “총량관리단위유역”이란 목표수질을 설정하여야 하는 수계구간 및 그에 영향을 주는 유역을 말한다.(이하 “단위유역”이라 한다.)
  - ⑤ “시행청”이란 시행계획을 수립하고 시행하는 특별시장·특별자치시장·광역시장·시장·군수를 말한다. 단, 연도별 지방자치단체별·수계구간별 할당된

오염부하량을 초과한 시·군에 대하여 도지사가 평가보고서를 작성·제출하는 경우에는 도지사를 시행청으로 본다.

3. (할당배출권 거래)

- ① 시행청은 할당배출권을 광역시·도경계 지점 상류 단위유역 내 타 시행청과 거래할 수 있다. 이 경우 지역개발배출권과 오염원배출권은 상호 거래할 수 없다.
- ② 시행청은 할당배출권을 거래하고자 하는 경우 기본방침에 따라 기본계획을 변경하여야 한다.

4. (할당배출권 활용)

- ① 할당배출권은 수질오염총량관리 기본계획상 모델을 기초로 하여 거래의 적정성을 확보하여 매매나 그 밖의 방법으로 거래할 수 있다

5. (할당배출권 안전을 적용)

- ① 할당배출권 거래 시 지도점검, 수질모델의 불확실성 등을 고려하여 구매자는 10%의 안전율을 적용하며, 판매자에게는 적용치 아니한다

6. (잉여배출권 거래)

- ① 개별배출시설은 잉여배출권을 광역시·도경계 지점 상류 단위유역 내 타 개별배출시설과 거래할 수 있다.  
다만, 개별배출시설은 오수 또는 폐수를 1일 200세제곱미터 이상 배출하거나 방류하는 시설로 한정 한다.
- ② 개별배출시설이 할당대상시설인 경우 잉여배출량을 감하여 재할당하여야 하며 할당대상시설이 아닌 경우 할당을 받아야 하며 할당대상시설 할당 또는 수정은 ‘수질오염총량관리 할당대상시설의 오염부하량 할당 및 배출량 지정 지침’에 따른다.
- ③ 시행청 및 지방환경관서장은 개별배출시설의 잉여배출권은 서식1에 따라 홈페이지에 공고할 수 있다.

7. (잉여배출권의 활용)

- ① 잉여배출권은 별표1과 같이 배출량을 등가량(kg/일)으로 환산하여 매매나 그 밖의 방법으로 거래할 수 있다. 환경부는 등가량 환산을 위한 거래비와 유달비를 고지하여야 한다.
- ② 오염부하량 할당시설이 할당된 부하량을 준수하기 어려운 경우 잉여배출권을 구매하여 활용할 수 있다.

8. (잉여배출권 안전을 적용)

- ① 잉여배출권 거래 시 지도점검, 수질모델의 불확실성 등을 고려하여 구매자는 각호와 같이 10~20%의 안전율을 적용하며, 판매자에게는 적용치 아니한다.
  - 1. 기존시설 : 해당지역 안전율
  - 2. 신규시설 : 10~20%

9. (사후관리)

- ① 지방환경관서장 및 시행청은 잉여배출권의 적정사용 여부를 평가하여야 한다.
- ② 잉여배출권의 미적정 이행 및 활용시 지방환경관서장 및 시행청은 관련규정에 따라 판매자에게는 총량초과과징금 등을 징수하고, 구매자에게는 환수 조치 등 조치를 하여야 한다.

#### 4. 결과고찰

위와같이 총량제도 효율적 시행을 위해 계획수립과 이행의 불확실성을 최소화하고 경제적으로 최소의 비용으로 최적할당 및 최대수질개선효과를 유도하는 방안을 검토하고 공공부분 중심으로 시행되는 총량제의 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반을 마련하고자 제도개선방안을 중심으로 아래와 같이 정리하였다.

##### ① 총량제 시행 불확실성 최소화를 위한 통계기법 적용

저수기 또는 저·평수기를 기준으로 설정한 목표수질과 유량조건이 상이하여 할당부하량이 초과되어도 목표수질을 만족하거나 할당부하량을 만족하여도 목표수질이 초과되는 현상이 발생하는 사례가 있었다. 따라서 기준유량조건 수질 자료로 평가하는 방식과 이행사항의 평가에 부하지속곡선(LDC)을 적용하여 연차별 부하량 변동과 유황변동에 따른 이행사항을 합리적으로 평가할 수 있도록 수질 평가방법을 선진화하는 방안을 검토하였다.

##### ② 경제성과 수질개선 동시 달성을 위한 할당기법 적용

본 연구에서 사용한 할당방법은 일변화 재현이 가능한 동적모델을 이용하였으며, 동적모델의 구성과 입력자료 구축, 보검정 과정, 시나리오 설정 및 결과의 해석 등에 대한 가이드라인을 마련하여 관심 있는 유관기관에 배포하면, 지역 여건을 고려한 최적 할당 및 차기 단계에서 고려중인 동적모델을 이용한 다양한 유황조건에서의 총량관리에 대응하는데 기여할 것으로 예상된다.

##### ③ 민간참여활성화를 위한 제도적, 기술적 기반마련

삭감량거래를 위해 EPA(2009)<sup>20)</sup>는 유달률, 위치비율, 등가성비율 등을 고려하는데 거래비(Trading ratio)는 구매자와 판매자간에 1:1비율이 성립되지 않고 수계별 특징과 주변 환경에 의존하기 때문에 거래비 개발이 필요하다고 하였다.

따라서 단위유역내 1:1 거래와 단위유역-지자체간 거래비(안전율,거리비, 유달율) 적용방식 절충적용방안이 합리적이며 목표수질에 영향이 없는 경우는 1:1로 배출량을 거래하되 안전율만 적용하고 목표수질 영향구간이나 상수원 보호구역, 특대유역 등 중점관리가 필요한 지역은 거래비와 안전율을 적용하되 거리비 및 안전율을 합리적으로 조정하는 방안에 대한 검토가 요구된다.

## IV. 결 론

본 연구에서는 제도개선을 통해 총량제시행 효율화를 유도할 수 있는 국내 수질오염총량제 적용방안에 대해 검토하였다.

1. 목표수질 및 이행평가 수질달성도 선진화방안 법령개정이 필요한데 평가수질은 전체자료 대수평균 BOD 평가방법은 기준유량 대비 완화효과 있으나 총인(T-P)은 강화효과 발생하므로 기준유량조건 평가가 적합하다. 또한 이행평가시 연차별 배출부하량과 유달부하량을 부하지속곡선(LDC)을 통해 평가토록 하여 수질 및 유량자료를 동시 활용한 합리적 평가방안이 거부감없이 적용될 수 있도록 선행적용이 요구된다.

2. 경제성과 수질개선 동시 달성을 위한 할당기법 시범적용결과(갑천, 황룡강)에서 농촌 및 도농복합 유역은 비점삭감이 어려우므로 비점배출량을 최대한으로 할당하고, 대도시 유역은 점과 비점 삭감대상량을 고려하여 총 운영비가 최소화 되도록 시나리오 분석을 통해 유역특성에 맞는 합리적 할당방안 모색이 필요하다.

참고로 갑천은 점20%, 비점10% 삭감시 비용대비 수질개선효과가 좋게 평가되었다.

3. 민간참여활성화를 위한 배출권거래제 도입을 고려한 규정 및 지침 제정이 요구되는데 기본방침의 목표수질, 지역개발 및 할당부하량 기준 준수조건에서 TMDL준수 및 지역개발량 확보를 위해 단위유역-지자체간 할당배출권 및 잉여배출권 거래방법을 적용한다. 목표수질 달성여부에 따라 단위유역내 1:1 거래와 단위유역-지자체간 거래비(안전율,거리비,유달율) 적용방식 절충 적용을 통해 융통성있는 제도 도입이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 국립환경과학원 금강수계관리위원회(2011). 금강수계 1단계 수질오염총량제 시행성과 평가 최종보고서.
- 2) J. H. Heo, and J. D. Salas(1996). Estimation of quantiles and confidence intervals for the log-gumbel distribution, Stochastic hydrology and hydraulics, 10, pp.187-207.
- 3) Jose D. Salas, Ricardo A. Smith, Guillermo Q. Tabios III, and Jun-Haeng Heo(1993). Statistical computer techniques in hydrology and water resources, Department of civil engineering colorado state university.
- 4) 윤용남(2002). 공업수문학, 청문각.
- 5) 환경부(2012), 3대강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 및 시행규칙.
- 6) 물환경정보시스템. <http://water.nier.go.kr/>.
- 7) 박준대, 오승영(2012). 오염부하지속곡선(LDC)을 이용한 수질오염총량관리 단위유역 목표수질 달성여부 평가방법, 한국물환경학회지, 28(5), pp.693-703.
- 8) 박준대, 오승영, 최윤희(2012). 수질오염총량관리 단위유역 유량측정자료를 이용한 유허곡선 작성, 한국물환경학회지, 28(2), pp.224-231.
- 9) 국가 수자원관리종합정보 시스템. <http://www.wamis.go.kr/>.
- 10) Dr. Arutro A. Keller(2007). User' s Guide for Developing a WARMF 6.2 Watershed Model using BASINS 4.0, Systech Engineering, Inc.
- 11) 환경부(2005), 주요 비점오염원에 대한 효과적인 관리방안.
- 12) 국립환경과학원(2009), 상류유역 강우유출수가 대청호 호수 만입부 수질에 미치는 영향분석(1).
- 13) 한국환경공단(2008), 하수도계획 시 경제성 평가 방안에 관한 연구.
- 14) 한강수계관리위원회(2012), 농촌지역 비점오염원 삭감효과 정량화 연구(3).
- 15) 한국농어촌연구원(2012), 새만금유역 농업비점오염 저감기법 개발 연구(3).
- 16) <http://www.emissiontrade.go.kr/>(배출권전자거래시스템).
- 17) 환경부(2012). 수질오염총량관리기본방침

- 18) USEPA(2003). Water Quality Trading Policy Statement.
- 19) USEPA(2004). WATER QUALITY TRADING ASSESSMENT HANDBOOK.
- 20) USEPA(2009). Water Quality Trading Toolkit for Permit Writers.