

## 최적화기법을 이용한 황구지천유역의 오염부하량 할당

# Waste Load Allocation of Hwanggujicheon Watershed Using Optimization Technique

조재현<sup>1,\*</sup> · 정욱진<sup>2</sup> · 이종호<sup>3</sup>

Cho, Jae Heon<sup>1,\*</sup> · Chung, Wook Jin<sup>2</sup> · Lee, Jong Ho<sup>3</sup>

1 관동대학교 토목환경학부

2 명지대학교 환경생물공학과

3 청주대학교 도시계획학과

(2005년 8월 10일 논문 접수; 2005년 12월 7일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

Water quality of the Hwanggujicheon is poor because of the rapid housing and development in the large area of the basin. Establishment of water quality management strategy, based on the pollution sources survey and pollutant loads estimation, has to be established for the preservation of the stream water quality of the region. In this study, waste load allocation model to achieve the water quality goal of the stream and the optimization of pollutant load reduction, was developed. Nonpoint pollutant loads calculated by runoff model in the previous study are utilized for pollutant loads estimation of the drainage areas in this study. From the application result of the allocation model, water quality goals of the Hwanggujicheon that can be achieved as a matter of fact are BOD 8mg/L. To achieve these goals, 23% of effluent BOD loads have to be reduced in the basin.

**Key words:** waste load allocation model, water quality goal, optimization of pollutant load reduction, nonpoint pollutant load

**주제어:** 오염부하할당모델, 수질목표, 오염부하삭감량 최적화, 비점원오염부하

## 1. 서 론

안성천수계의 황구지천은 개발활동이 활발하고 인구가 집중된 수원 시가화지역을 관통하고 있어 수질 오염이 심화되어 있다. 이 하천의 수질관리를 위해서

는 체계적인 유역관리계획이 필요하고, 이를 위한 기초연구로서 황구지천에 대한 하천수질관리 모형을 개발하고 목표수질을 달성하기 위한 각 배수구역별 오염부하 삭감량을 결정한다. 오염부하량 삭감에 소요되는 수질관리비용은 그 규모가 막대하므로 수질관리 비용을 최소화하여 오염부하량을 삭감하여야 한다.

\*Corresponding author Tel: +82-33-670-3354, Fax: +82-33-670-3369, E-mail: jhcho@kwandong.ac.kr (Cho, J.H.)

따라서 하천의 수질목표와 오염부하량 삭감비용 최소화라는 경제적 목표를 동시에 달성할 수 있는 황구지천의 수질관리모형을 개발하고자 한다.

선행 연구에서는 유역내 4개 지점을 대상으로 2차의 강우유출조사를 하였고, SWMM의 Runoff-block과 Transport-block을 적용해서 보정하고, 유역전체와 각 배수구역에 대해서 월별 그리고 연간의 강우유출에 의한 비점원오염부하량을 산정한 바 있다(조재현과 조남홍, 2003). 여기에 점원오염부하량을 가산하여 배수구역별 발생 및 배출오염부하량을 도출하였다(조재현, 2004). 하천수질모델과 연계된 오염부하량 할당모형을 구성하여 배수구역별 오염부하량을 할당하고 황구지천의 수질목표의 달성여부를 검토한다.

최근 들어 수질오염총량관리제가 도입되기 시작하면서 국내에서도 하천유역을 소배수구역으로 나누어 오염부하량을 할당하고 있다. 그러나 배수구역별로 오염부하를 할당하면서 목표수질의 달성 여부를 확인하는 시행착오법에 주로 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 오염부하삭감량을 최소화하면서 주어진 수질목표를 달성할 수 있도록 최적화기법을 활용해서 수질관리모형을 수립하여 대상하천에 적용한다.

## 2. 지역개관

본 연구의 대상지역인 황구지천은 한반도 중서부에 위치하여 서해로 흘러가는 안성천의 지류이다. 황구지천의 수계도는 Fig. 1과 같다. 황구지천 유역 면적은 260.94km<sup>2</sup>이고, 전체유역 중 농경지가 34.2%로 가장 큰 비중을 차지하고, 다음으로 임야가 27.8%, 주거지역이 16.0%를 차지하고 있다. 황구지천의 상류부는 수원시가 자리해 있어서 오염원이 집중되어 있고, 지속적으로 택지개발이 진행되어 인구가 증가하고 있다. 황구지천의 지류인 원천리천 중하류부에서는 여러 산업체가 분포되어 많은 오염부하가 발생되고 있다. 황구지천 하류부에는 전형적인 농업지역이 분포하고 있다.

## 3. 수질모델

### 3.1. 수질모델의 대상구간과 수리제원

본 연구의 수질모델로는 비교적 활용이 단순하여

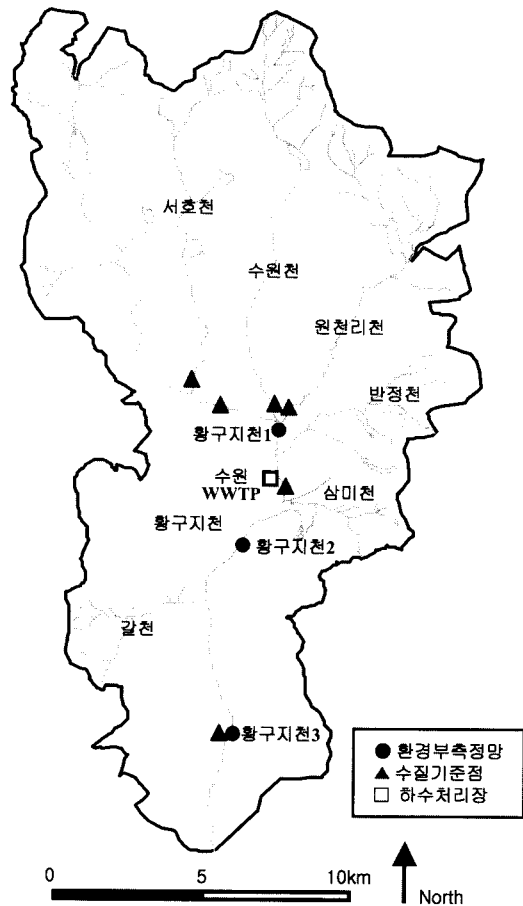


Fig. 1. 황구지천의 수계도.

수질관리모델에 적용하기 용이한 1차원 하천수질모델인 Qual2e모델(Brown and Barnwell, 1987)을 적용한다. 수질모델의 적용 대상 구간은 황구지천 본류와 서호천, 수원천, 원천리천이다. 황구지천 본류의 경우에는 군포시 부곡동에 위치한 왕송교부터 하류의 진위천 합류점까지 29.8km구간, 서호천은 상류의 수원시 파장동의 괴목정교부터 황구지천 합류점까지 10.6km구간, 수원천은 수원시 연무동의 경기교부터 황구지천 합류점까지 8.9km구간, 원천리천은 수원시 이의동의 원천교부터 황구지천 합류점까지의 7.1km구간을 대상으로 하였다. 하천의 수리학적인 특성과 수질을 감안하여 본류구간은 15개, 서호천은 6개, 수원천은 6개, 원천리천은 4개의 Reach로 나누었으며, 각 element는 200m 간격으로 구성되었다. Fig. 2는 황구지천 유역에 적용된 수질모델의 구간분할을 나타

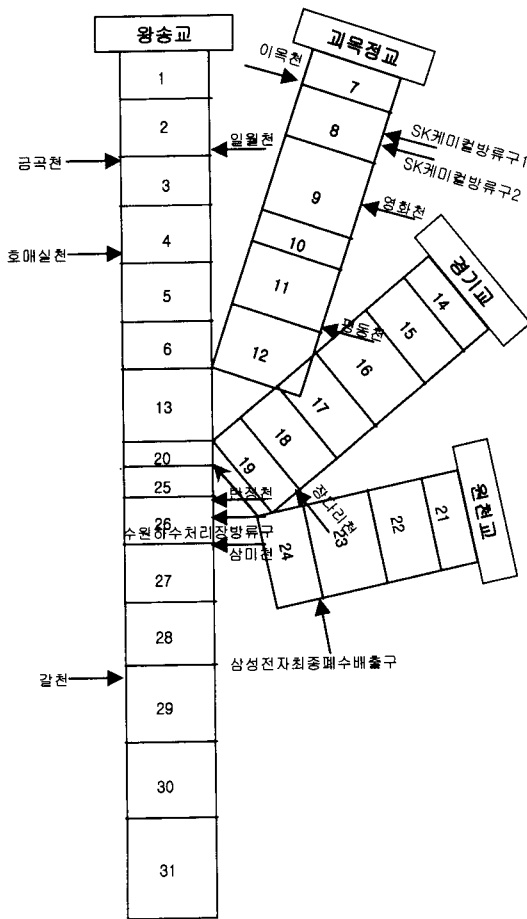


Fig. 2. 황구지천 유역에 적용된 수질모델의 구간분할.

내고 있다.

황구지천의 수리제원은 수위 유량곡선과 유속 유량곡선을 이용해서 계산되었다. 대상구간의 하천측량 자료와 실측조사결과를 이용해서 하천의 단면자료를 만들고 Manning 공식으로 다수의 유량에 대해 유속, 수심 등의 제원을 결정하고, 이 자료로 수위 유량곡선식과 유속 유량곡선식을 만들어 사용하였다.

하천수질에 영향을 주는 점오염원은 황구지천 본류와 지류에 유입되는 소하천들과 수원하수처리장 방류수 등 14개소를 고려하였다. 점오염원 이외에도 소규모의 유입수를 고려하기 위해서 incremental inflow 가 각 reach에서 입력되었다.

### 3.2. 수질모델의 보정과 검증

황구지천유역의 실측수질과 유량자료를 이용해서

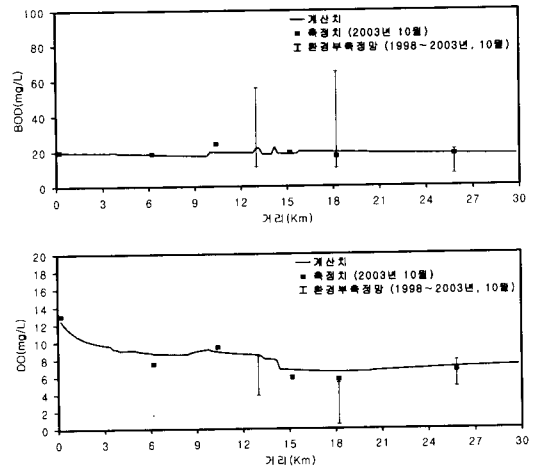


Fig. 3. 수질모델의 보정.

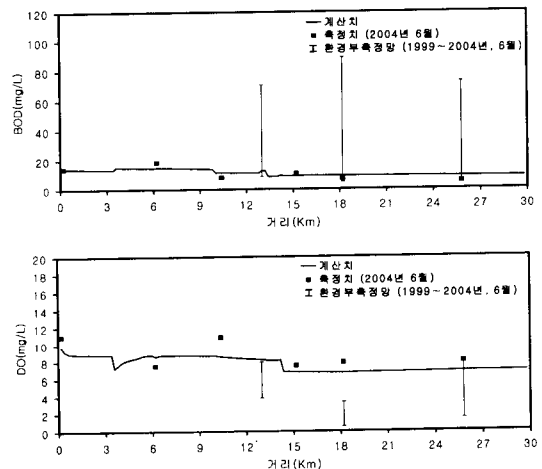


Fig. 4. 수질모델의 검증.

오염부하량 할당을 위한 수질모델을 보정하고 검증하였다. 모형의 보정에는 황구지천본류와 지류에서 2003년 10월에 실측한 유량과 수질자료를 이용하고 검증에는 2004년 6월의 실측치를 이용하였다. 모형의 보정 및 검증 결과는 Fig. 3, Fig. 4와 같다. 그림에는 참고로 환경부측정망 3개 지점의 최근 5년간의 수질 측정치를 도시하였다. 서호천, 수원천, 일월천 등 오염된 지천이 황구지천 본류에 유입됨에 따라 황구지천본류의 수질이 악화되고 있다.

### 3.3. 유달률조사

2003년에 황구지천유역내 각 지천의 하단부에서

**Table 1.** 황구지천 유역내 각 지천의 평균 유달률

배수구역	년평균 유달률(BOD)
황구지천상류 왕송저수교	0.206
일월천	0.402
금곡천	0.282
호매실천	0.191
서호천상류 괴목정교	0.571
이목천	0.286
영화천	5.157
평동천	0.448
수원천상류 경기교	0.463
장다리천	8.155
원천리천상류 원천교	0.368
반정천	0.426
갈천	0.489

**Table 2.** 황구지천의 전달계수

배수구역	BOD(mg/L)/(kg/d)	
	송산교	수직교
일월천	$-5.79 \times 10^{-04}$	$-4.96 \times 10^{-04}$
금곡천	$-4.06 \times 10^{-04}$	$-3.51 \times 10^{-04}$
호매실천	$-2.81 \times 10^{-04}$	$-2.48 \times 10^{-04}$
이목천	$-4.18 \times 10^{-04}$	$-4.18 \times 10^{-04}$
영화천	$-7.48 \times 10^{-03}$	$-6.38 \times 10^{-03}$
평동천	$-6.74 \times 10^{-04}$	$-5.79 \times 10^{-04}$
장다리천	$-1.29 \times 10^{-02}$	$-1.11 \times 10^{-02}$
반정천	$-6.81 \times 10^{-04}$	$-5.81 \times 10^{-04}$
삼미천	-	$-2.27 \times 10^{-03}$
갈천	-	$-6.90 \times 10^{-04}$
수원WWTP	$-1.74 \times 10^{-03}$	$-1.49 \times 10^{-03}$

월 1회 조사한 수질조사 결과(정육진, 2004)로부터 소유역별 유달부하량을 계산하였다. 유달부하량과 소배수구역별 배출부하량을 이용해서 소배수구역별 BOD에 관한 유달률을 산출하고, 월별 조사결과를 평균하여 소유역의 평균유달률을 산출하였다. Table 1은 황구지천 유역내 각 지천의 평균 유달률을 나타내고 있다. 서호천지역의 영화천배수구역과 수원천지역의 장다리천배수구역의 유달률이 특히 높게 조사되었는데 이것은 배수구역내에서 배출되는 하수의 영향으로 판단된다.

#### 4. 오염부하량 할당모델

오염부하량 할당에는 선형계획법, 비선형계획법 등의 다양한 최적화기법이 적용되어 왔고(Arbabi and Elzinga, 1975; Fujiwara, 1990), 최근에는 유전자 연산의 기법이 활용되기도 하였다(조재현과 성기석, 2004). 본 연구의 오염부하량 할당에는 선형계획법의 최적화기법을 적용한다(조남홍 등, 2002; Cho et al., 2003). 각 배수구역의 오염부하 삭감량에 의한 본류내 기준점에서의 수질변화를 전달계수(transfer coefficient)로 산정하였다(Bishop and Grenny, 1976; Burn, 1989). 이때 전달계수는 각 하수처리장과 소배수구역에서 오염부하량을 삭감할 때 기준점의 수질변화로 하였다. 황구지천내 각 배수구역의 오염부하량 변화가 황구지천 본류의 송산교와 수직교 지점의 수질에 미치는 영향을 표시한 것은 Table 2와 같다. 최

적화문제의 제약식은 수질목표를 만족할 수 있도록 전달계수를 이용해서 구성한다. 최적화문제의 목적함수는 황구지천 유역의 전체 오염부하량을 최소화하는 문제로 둔다. 이 최적화문제는 아래와 같다(Cho et al., 2003).

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m X_i$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^l T_{ij} X_i \geq \Delta c_j \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

여기서  $0 \leq X_i \leq U_i \quad i = 1, 2, \dots, m$

$m$  = 배수구역과 생활하수 하수처리구역(하수종말처리장)의 숫자

$n$  = 수질의 기준점 숫자

$l$  =  $j$  구간까지 배수구역 및 하수처리구역의 숫자

$X_i$  = 배수구역 및 하수처리구역  $i$ 에서의 오염부하 삭감량, kg/d

$T_{ij}$  =  $i$  유입오염부하량당의  $j$  구간 수질에 대한 전달계수, (mg/L)/(kg/d)

$\Delta c_j$  = 기준점  $j$ 에서 목표수질과 계산수질과의 차이, mg/L

$U_i$  = 배수구역 및 하수처리구역  $i$ 에서의 최대오염부하 삭감량, kg/d

#### 5. 오염부하량 할당

오염부하량 할당을 위해서 황구지천 유역을 세분화해서 46개의 소배수구역으로 구분하였다. 황구지

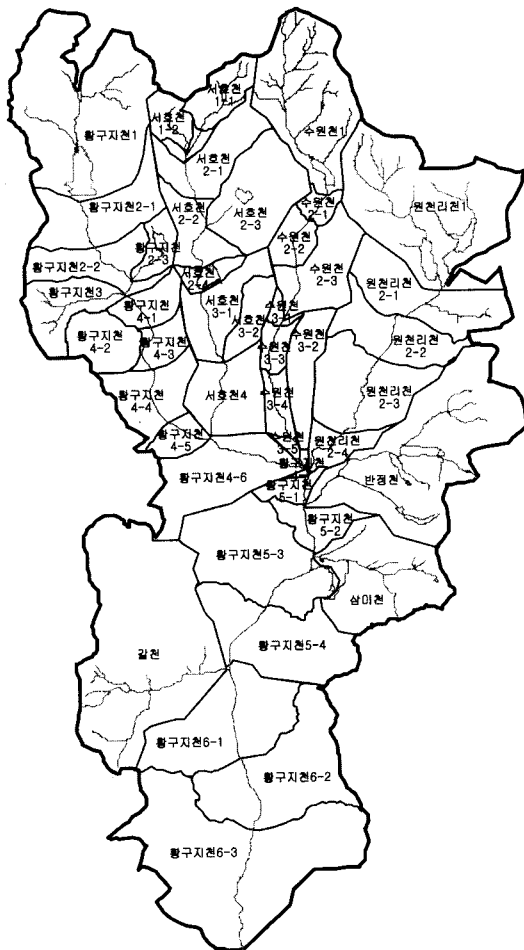


Fig. 5. 오염부하량 할당을 위한 배수구역도.

천유역의 오염부하량할당을 위한 46개 소배수구역은 Fig. 5와 같다. 기존 연구의 SWMM(Huber and Dickinson, 1992)을 이용해서 산출된 비점원오염부하량(조재현과 조남홍, 2003)과 인구, 가축 등의 오염원 현황조사로부터 산출된 부하량을 합산해서 소배수구역별로 배출오염부하량을 산출하고, 이를 기초로 소배수구역별 배출오염부하량 삭감 할당량을 산정하였다.

오염부하량 할당시의 유량은 저수량 조건으로 하였고, 안성천의 저수량에 대한 비유량을 이용하였다. 부하량 할당의 시점은 저수량이 나타나는 빈도와 황구지천 수질에 큰 영향을 미치는 수원하수처리장의 증설공사가 마무리되는 시점을 고려해서 10월과 11월을 기준으로 하였다.

오염부하량 할당에서는 수질 기준점에서 목표수질을 만족하면서 오염부하 삭감량이 최소가 되도록 최적화문제를 해석하였다. 이 때 목표수질과 처리대상의 수질항목은 BOD로 두었다. 오염부하량 할당은 크게 2개의 시나리오로 구분하였다.

시나리오 1에서 각 배수구역과 하수처리장에서의 최대오염부하 삭감량은, 수원하수처리장의 경우 기존의 2차 처리에다 응집침전, 급속사여과, 활성탄흡착 등의 고도처리를 추가하였을 때의 삭감량으로 하였다(Metcalf & Eddy, 1991; 환경부, 1996). 비점원 오염부하의 비중이 큰 배수구역은 저류시설에 의해 오염물질을 제거하는 것으로 가정하였다. 저류시설에 의한 오염물질 처리효율은 BOD 90%를 최대 한계치로 하였다(환경부, 1995; 최지용과 신은성, 1997). 그 외 하수처리가 가능한 배수구역은 하수처리장으로 수송되는 것을 감안하여 BOD 농도가 90%까지 삭감되는 것을 최대 삭감 한계로 하였다.

시나리오 1은 다시 두 가지로 나누었고, 시나리오 1-1에서는 수질의 기준점을 황구지천 본류의 송산교와 수직교의 2개 지점으로 두고, 시나리오 1-2에서는 수질의 기준점을 본류의 송산교와 수직교의 2개 지점에 황구지천 상류의 배양교지점, 서호천 하류지점, 수원천 하류지점, 원천리천의 대항교지점의 4지점을 추가해 도합 6개로 두었다. 시나리오 1-1의 경우 BOD의 목표수질을 3mg/L, 6mg/L, 8mg/L, 10mg/L로 두고 각 목표수질별로 계산을 수행하였다. 시나리오 1-2의 경우는 황구지천 상류와 하류 각각의 수질 목표에 대해서 오염부하량을 할당하였다. 오염부하량 할당을 위한 각 시나리오에 대한 설명은 Table 3과 같다. 참고로 TN과 TP에 대해서는 우리나라의 하천 수질환경 기준치가 없고, 우리나라의 하천형 호수에서 부영양화상태를 나타내는 TN과 TP 농도는 각각 2.9mg/L, 0.1mg/L으로 제시된 바 있다(김승우 등, 1997).

시나리오 2는 다른 조건은 시나리오 1과 같고, 다만 수원하수종말처리장에서 현재의 활성슬러지공법에 응집침전을 추가하여 처리하는 것을 최대 삭감한 계로 한 경우로 현재의 방류수질에서 BOD가 최대 50%까지 삭감되어 방류되는 경우이다.

본 연구의 오염부하량 할당은 2003년 현재 여건에서 계산한 결과이므로 장래개발계획과 여건변화에 따

**Table 3.** 오염부하량 할당을 위한 시나리오

수질항목	Scenario	구분	수질 기준점	수질목표
BOD	Scenario 1-1	1-1-1	황구지천 본류의 송산교, 수직교	3mg/L
		1-1-2	황구지천 본류의 송산교, 수직교	6mg/L
		1-1-3	황구지천 본류의 송산교, 수직교	8mg/L
		1-1-4	황구지천 본류의 송산교, 수직교	10mg/L
	Scenario 1-2	1-2-1	황구지천 상류의 배양교, 서호천 하류, 수원천 하류, 원천리천 하류의 대황교	10mg/L
			황구지천 본류의 송산교, 수직교	8mg/L
		1-2-2	황구지천 상류의 배양교, 서호천 하류, 수원천 하류, 원천리천 하류의 대황교	10mg/L
			황구지천 본류의 송산교, 수직교	10mg/L

\*시나리오 2는 수원하수처리장에서 응집침전을 추가하여 처리하는 것을 최대삭감한계로 한 경우.

라서 목표수질 달성여부에 차이가 발생할 수 있다.

## 6. 결과 및 토의

### 6.1. BOD 할당

황구지천에서 수질목표를 만족하고, 전체유역에서의 삭감오염부하량이 최소가 되도록 유역내 46개 소비수구역과 수원하수처리장의 오염부하량 삭감량을 할당하였다. 46개 소비수구역과 하수처리장에서 수질목표를 만족하고 전체 유역의 삭감부하량이 최소가 되도록 할당한 시나리오 1의 각 배수구역별 삭감부하량은 **Table 4**와 같고, 수원하수처리장에서 현재의 2차 처리에 응집침전을 추가한 시나리오 2의 각 배수구역별 삭감부하량은 **Table 5**와 같다.

표에서 상단의 각 배수구역별 배출부하량은 총배출부하량에서 하수처리장으로 수송되는 BOD 배출부하량을 제외한 부하량으로서 인구, 축산, 산업체, 토지이용에 의한 비점원오염부하량 등의 배출부하량이 합산된 값이다. 표에서 하수처리장에 대한 삭감할당량은 기존 처리공정에 의한 삭감부하량을 제외하고, 방류수를 추가적으로 처리할 때의 삭감부하량을 표시하였다. 따라서 각 하수처리장의 총삭감부하량은 기 운영 중인 처리시설에 의한 오염부하 삭감량에다 표에 제시된 방류수의 추가삭감부하량을 합한 값이 된다. 괄호로 표시된 값은 황구지천의 수질목표를 만족하기 위한 수원하수처리장의 방류수질이다.

황구지천 하류의 2개 기준점에서 수질목표를 달성하도록 하는 시나리오 1-1의 결과를 보면, 수질환경기준 2등급 수질인 BOD 3mg/L를 달성하기 위해서는 현재의 처리장방류수질을 2.4mg/L 정도로 낮추어

야 하므로 현실적으로 어려움이 있다. 환경부의 원래 수질목표인 수질환경기준 3등급 수질 즉 BOD 6mg/L도 달성은 가능하지만 수원하수처리장에서 상당한 고도처리를 해야 되는 어려움이 있다. 수질목표 8mg/L는 수원하수처리장에서 7mg/L 이하로 처리하여 방류하면 달성가능하고, 수질목표 10mg/L는 수원하수처리장에서 9.1mg/L 이하로 방류하면 달성가능하다.

한편 황구지천 상하류의 6개 기준점에서 수질목표를 달성하도록 하는 시나리오 1-2에서는 시나리오 1-1보다 더 많은 부하량 삭감이 요구된다. 매산로, 고색동 등 미처리구역이 일부 포함된 평동천과 서둔동, 탑동 등의 미처리구역이 일부 포함된 서호천 3-1 배수구역, 그리고 구운동, 천천동의 미처리구역이 일부 포함된 일월천배수구역과 금곡동 일대의 미처리구역이 포함된 금곡천 등에서 많은 오염부하를 삭감해야 되는 것으로 나타났다.

수원하수처리장에서 응집침전을 추가하여 처리할 때를 최대 삭감한계로 하고 황구지천하류를 수질의 기준점으로 설정한 시나리오 2-1의 결과를 보면, 수질목표 8mg/L를 달성하기 위해서는 수원하수처리장에서 방류수질을 7.4mg/L로 낮추고, 태안지역의 반월리, 반정리, 기산리 등 하수미처리구역이 많이 포함되어 있는 반정천유역에서 배출부하의 58%를 삭감하고, 또한 태안지역의 송산리, 기안리 등이 포함된 미처리구역인 삼미천유역에서 배출부하의 41% 정도를 삭감하고, 장다리천과 영화천배수구역의 하수관거를 정비하여 이들 하천의 수질을 낮추어야 하는 것으로 나타났다. 황구지천상류와 하류를 수질의 기준점으로 설정한 시나리오 2-2의 결과는 시나리오 1-2와 동일하였다.

**Table 4.** 배수구역별 BOD배출부하 삭감량(scenario 1)

배수구역	BOD발생 부하량 (kg/day)	BOD배출 부하량 (kg/day)	scenario 1-1								scenario 1-2			
			1-1-1 (목표3mg/L)		1-1-2 (목표6mg/L)		1-1-3 (목표8mg/L)		1-1-4 (목표10mg/L)		1-2-1 (상류지천 10mg/L, 본류하류 8mg/L)		1-2-2 (상류지천 10mg/L, 본류하류 10mg/L)	
			삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률
황구지천1	2,925.1	1,529.3									216.5	14.2	216.5	14.2
황구지천2 일월천	1,632.2	242.0	217.8	90.0							217.8	90.0	217.8	90.0
황구지천3 금곡천	1,091.2	182.2	164.0	90.0							164.0	90.0	164.0	90.0
반정천	6,121.3	1,403.9	1,263.5	90.0										
삼미천	514.8	347.8	313.0	90.0	268.7	77.3	142.1	40.9	15.5	4.5	137.3	39.5	10.7	3.1
갈천	1,326.5	582.9	471.1	80.8										
서호천1 서호천1-1	668.0	126	11.3	90.0							11.3	90.0	11.3	90.0
이목천	50.1	14.4	12.9	90.0							12.9	90.0	12.9	90.0
서호천1-3	64.2	17.3									15.6	90.0	15.6	90.0
서호천2 서호천2-1	2,640.5	62.8									56.5	90.0	56.5	90.0
서호천2-2	3,152.1	134.2									120.8	90.0	120.8	90.0
영화천	6,120.3	32.9	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0
서호천2-4	810.5	18.8	16.9	90.0							16.9	90.0	16.9	90.0
서호천3 서호천3-1	1,804.3	293.7									264.3	90.0	264.3	90.0
평동천	1,736.7	418.1	376.3	90.0							376.3	90.0	376.3	90.0
서호천4	1,072.8	162.7	146.4	90.0							146.4	90.0	146.4	90.0
수원천1	256.0	62.2	56.0	90.0										
수원천2 수원천2-2	1,273.3	18.9	17.0	90.0										
수원천2-3	3,887.1	50.9	19.1	37.6										
수원천3 수원천3-4	457.2	24.9	22.4	90.0										
장다리천	2,105.2	59.9	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0
원천리천1	3,517.8	292.1	262.9	90.0										
황구지천5수원하수 처리장	6,750.5		5,670.4 (24)	84.0	4,849.7 (4.1)	71.8	3,700.3 (6.6)	54.8	2,550.9 (9.2)	37.8	3,290.1 (7.5)	48.7	2,140.6 (10.0)	31.7
황구지천유역총계	79,073	19,064	9,125	47.9	5,202	27.3	3,926	20.6	2,650	13.9	5,130	26.9	3,854	20.2

\* ( ) 수원하수처리장의 계산된 방류수질

\* 삭감량과 삭감률의 단위는 각각 kg/day, %임.

종합적으로 황구지천의 BOD에 대한 수질목표는 현실적으로 8mg/L가 적절한 것으로 판단되고, 황구지천 하류부의 수질목표 8mg/L을 유지하기 위해서는 황구지천 수질에 큰 영향을 주는 수원하수처리장에서 현재의 방류수질보다 50% 정도 삭감해서 방류해야 되고, 현재 하수가 처리되지 않고 있는 삼미천 배수구역과 하수미처리구역이 상당부분 포함되어 있는 반정천배수구역에서 하수처리가 되어야 된다. 아울러서

부분적으로 처리되지 않고 있는 평동천배수구역과 서호천 3-1배수구역, 일월천배수구역, 금곡천배수구역의 처리구역이 확대되어야 된다. 또한 하수처리지역이지만 하천수질이 오염되어 있어서 하수관로의 부실이 우려되는 영화천배수구역과 장다리천배수구역의 하수관로 정비 가 필요한 것으로 사료된다. 추가적으로 농경지가 많은 서호천 4배수구역의 관리가 필요하고, 황구지천 1배수구역의 미처리인구와 비점원오염부하

**Table 5.** 배수구역별 BOD배출부하 삭감량(scenario 2)

배수구역	BOD발생 부하량(kg/day)	BOD배출 부하량(kg/day)	scenario 2-1				scenario 2-2			
			2-1-3 (목표8mg/L)		2-1-4 (목표10mg/L)		2-2-1 (상류지천 10mg/L, 하류본류 8mg/L)		2-2-2 (상류지천 10mg/L, 하류본류 10mg/L)	
			삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률	삭감량	삭감률
황구지천1	2,925.1	1,529.3					216.5	14.2	216.5	14.2
황구지천2 일월천	1,632.2	242.0					217.8	90.0	217.8	90.0
황구지천3 금곡천	1,091.2	182.2					164.0	90.0	164.0	90.0
반정천	6,121.3	1,403.9	817.3	58.2						
삼미천	514.8	347.8	142.3	40.9	15.5	4.5	137.3	39.5	10.7	3.1
서호천1										
서호천1-1	668.0	12.6	11.3	89.7			11.3	90.0	11.3	90.0
이목천	50.1	14.4					12.9	90.0	12.9	90.0
서호천1-3	64.2	17.3					15.6	90.0	15.6	90.0
서호천2										
서호천2-1	2,640.5	62.8					56.5	90.0	56.5	90.0
서호천2-2	3,152.1	134.2					120.8	90.0	120.8	90.0
영화천	6,120.3	32.9	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0	29.6	90.0
서호천2-4	810.5	18.8					16.9	90.0	16.9	90.0
서호천3										
서호천3-1	1,804.3	293.7					264.3	90.0	264.3	90.0
평동천	1,736.7	418.1					376.3	90.0	376.3	90.0
서호천4	1,072.8	162.7					146.4	90.0	146.4	90.0
수원천3										
장다리천	2,105.2	59.9	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0	53.9	90.0
황구지천5 수원하수처리장		6,750.5	3,375.2 (7.4)	50.0	2,550.9 (9.1)	37.8	3,290.1 (7.5)	48.7	2,140.6 (10.0)	31.7
황구지천유역총계	79,073	19,064	4,430	23.2	2,650	13.9	5,130	26.9	3,854	20.2

※ ( ) 수원하수처리장의 계산된 방류수질

※ 삭감량과 삭감률의 단위는 각각 kg/day, %임.

의 관리가 필요한 것으로 판단된다. 유역 전체로는 BOD 배출부하 중 약 23%의 삭감이 필요하다.

### 6.2. 할당된 오염부하 삭감량에 따른 수질계산 결과

앞 절에서 할당된 오염부하를 각 하수처리장과 배수구역에서 삭감했을 경우에 계산된 황구지천 수질분포는 다음 Fig. 6과 같다. 그림에서 황구지천하류의 송산교와 수직교 그리고 황구지천 상류부의 배양교 지점 기준점에서 주어진 수질목표를 대체로 만족하는 것을 확인할 수 있다. 다만 일부 지점의 계산수질이 수질목표와 다소 차이가 생기는 것은 전달계수로 수질관리모형을 구성할 때의 오차로 볼 수 있다.

Scenario 1-1의 경우, scenario 1-1-2와 scenario 1-1-

3, scenario 1-1-4에서의 수원하수처리장 방류전 BOD 삭감량이 Table 4에서 보는 바와 같이 큰 차이가 없기 때문에 Fig. 6에서 중상류부의 그림 3가지가 거의 중복되어 표시되었다. Scenario 1-2의 경우에도 같은 이유로 scenario 1-2-1과 scenario 1-2-2의 그림 2가지가 거의 중복되게 표시되었다. Scenario 2의 경우에는, 수원하수처리장 방류전 구간의 scenario 2-1-3과 scenario 2-1-4의 그림이 거의 중복되고, scenario 2-2-1과 scenario 2-2-2의 그림도 중복되게 표시되었다.

### 결론

1. 오염부하량 할당시에 원단위에 의한 비점원오염 부하량을 이용하는 것이 일반적이지만, 본 연구에서



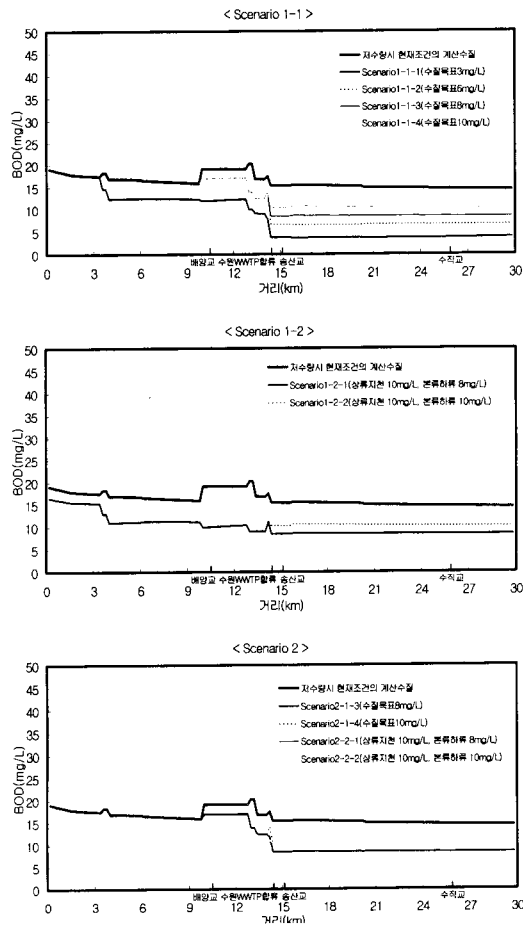


Fig. 6. 오염부하 삭감에 따른 BOD 계산 결과.

는 비점원오염부하량 산정의 정확성을 높이기 위해서 선행연구의 SWMM을 이용해 산정된 배수구역별 비점원오염부하량을 이용해서 황구지천유역의 오염부하량 할당에 적용하였다.

2. 황구지천의 오염부하량 할당에는 선형계획법의 최적화기법을 적용하고, 최적화문제의 목적함수는 황구지천 유역의 전체 오염부하량을 최소화하는 문제로 두었다.

3. 종합적으로 황구지천의 BOD에 대한 수질목표는 현실적으로 8mg/L가 적절한 것으로 판단되고, 황구지천 하류부의 수질목표 8mg/L을 유지하기 위해서는 황구지천 수질에 큰 영향을 주는 수원하수처리장에서 현재의 방류수질보다 50% 정도 삭감해서 방류해야 되고, 현재 하수가 처리되지 않고 있는 삼미천 배수구역과 하수미처리구역이 상당부분 포함되어 있

는 반정천배수구역에서 하수처리가 되어야 된다. 유역 전체로는 BOD 배출부하 중 약 23%의 삭감이 필요하다.

### 참고문헌

김승우, 박석순, 김희성 (1997) 특정수계권역의 수질총량규제 방안 연구, 한국환경정책평가연구원, pp. 62.  
 정옥진 (2004) 경기도 하천 및 호소의 점오염원 부하량 조사 및 저감대책, 경기지역환경기술개발센터, pp. 141-160.  
 조남홍, 이규원, 조재현, 안규홍 (2002) 경안천 수질관리를 위한 오염부하량 할당, 대한상하수도학회 2002년도 추계 학술발표회 논문집, pp. F73-74, 대구컨벤션센터.  
 조재현 (2004) 경기도 지천별 오염부하량 산정 및 관리를 위한 수질관리모델 및 시스템개발, 경기지역환경기술개발센터, pp. 36-42.  
 조재현, 성기석 (2004) 유전알고리즘을 이용한 하천수질관리모형에 관한 연구, 상하수도학회지, 18(4), pp. 453-460.  
 조재현, 조남홍 (2003) SWMM을 이용한 황구지천유역의 비점원오염부하량 평가, 환경영향평가, 12(5), pp. 349-358.  
 최지용, 신은성 (1997) 도시지역비점오염원 관리방안연구, 한국환경정책평가연구원, pp. 41-53.  
 환경부 (1995) 비점오염원 조사연구사업보고서, pp. 199.  
 환경부 (1996) 하폐수종말처리장 방류수수질기준 설정에 관한 연구, pp. 337-352.  
 Arbabi, M., Elzinga, J. (1975) A General linear approach to stream water quality modelling. *Water Resources Research*, 11(2), pp.191-196.  
 Bishop, A.B., Grenny, W.J. (1976) Coupled optimization-simulation water quality model. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, 102(5), pp. 1071-1086.  
 Brown L.C. and Barnwell T.O. Jr. (1987) *The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and user manual.* Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. EPA/600/3-87/007.  
 Burn, D.H. (1989) Water-quality management through combined simulation-optimization approach. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 115(5), pp. 1011-1024.  
 Cho, J.H., Ahn, K.H., Chung, W.J., Gwon, E.M. (2003) Waste Load Allocation for Water Quality Management of Heavily Polluted River using Linear Programming, *Water Science & Technology*, 48(10), pp. 185-190.  
 Fujiwara, O.(1990). Preliminary optimal design model for

wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **116**(1), pp. 206-210.

Huber, W.C. and Dickinson, R.E. (1992) *Storm water management model version 4: User's manual*, EPA/600/3-

88/001a.

Metcalf & Eddy (1991) *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse*. 3rd edn, pp.692-695, McGraw-Hill, New York, USA.