

수질오염총량제

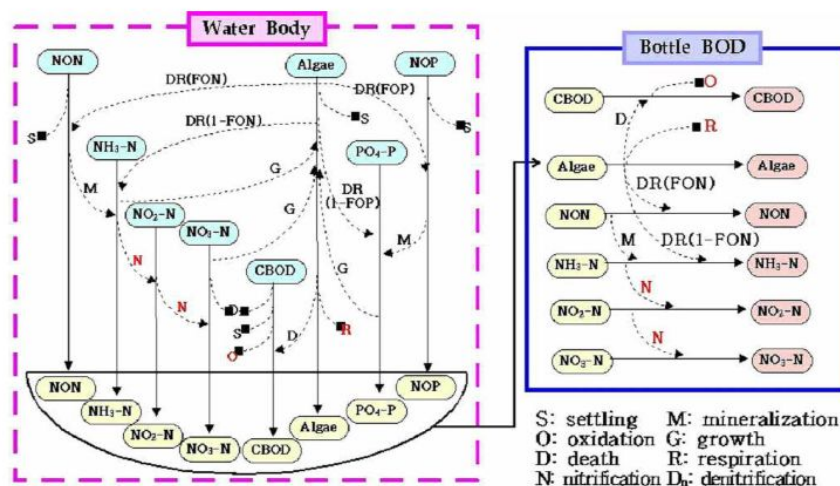
08. 지자체 총량관리 기본계획 수립 사례 Ⅱ

1. 수질모델 구축

1) 수질모델 선정 및 적용

서울시 오염총량관리 기본계획(이하 “기본계획”)에서는 수질 모델로 QUALKO를 사용하였다. QUALKO는 하천 수질모델에 많이 사용되는 QUAL2E 모형에 WASP5 장점을 접목시킨 것으로, 조류 생산·사멸에 의한 유기물 증가, 탈질화반응 등 정체수역이 많은 국내 하천에 적용하기에 적합한 수질 모델이다(그림 1).

QUALKO 모델은 기본계획 수립 대상유역인 한강H 및 한강I 단위유역을 지나는 한강 본류 구간, 탄천, 중랑천, 안양천 일부 구간, 창릉천에 적용되었다. 기본계획의 기준년도(2010년)를 기준으로 저수기와 평수기를 구분하여 모델을 구성하였으며, 각각에 대해 검·보정을 실시하였다.



<그림 1> QUALKO 모델의 기본구조

자료: 서울특별시. 2013. 서울특별시수질오염총량관리 기본계획.

2) 기준유량 결정

단위유역별 기준유량은 한강수계 시·도 경계지점에 대한 총량관리 목표수질을 결정할 때 사용된 기준유량을 사용하였다(표 1). 한강H 및 한강I 단위유역 내 각 세유역별 기준유량은 단위유역별 기준유량을 인위적인 유량과 자연유량으로 구분한 다음, 인위적 유량은 발생 세유역에 배분하고 자연유출량은 세유역이 차지하는 면적 비율에 따라 각 세유역으로 배분하였다. 여기서 세유역이란 소유역을 더욱 세분화한 유역을 의미하며, 인위적 유량이란 처리장·사업장 방류수, 취수량, 하천유지용수 유입량 등을 가리킨다.

<표 1> 한강수계 단위유역별 기준유량

단위유역	기준유량 (m³/s)	
	저수기 기준(Q275)	평수기 기준(Q185)
한강G	151.800	226.600
탄천A	6.252	8.005
중랑A	2.093	2.958
한강H	148.228	218.400
안양A	4.908	5.413
한강I	195.800	282.700

자료: 서울특별시. 2013. 서울특별시수질오염총량관리 기본계획.

3) 유달율 산정

유달율(delivery ratio)이란 오염원에서 공공수역으로 배출된 오염물질의 양(배출부하량) 중에서 하천의 특정지점(예. 단위유역 말단지점)에 도달하는 오염물질의 양(유달부하량)의 비율을 의미한다. 유달율은 지형 조건, 수리·수문 조건, 기후, 인위적 관리요소 등 다양하고 요인에 의해 좌우된다. 일반적으로 유달율은 다음과 같이 산정된다.

$$\text{유달율} = \frac{\text{유달부하량}}{\text{배출부하량}} = \frac{(\text{실측수질} \times \text{실측유량})}{\text{배출부하량}}$$

실측된 수질 및 유량자료가 있는 유역에서는 세유역별로 산정된 기준유량과 유황 시기별로 기준유량 범위 내에 있는 수질자료의 중위수를 위 식에 적용하여 유달율을 계산하였다. 수질·유량 실측자료가 없는 미계측 유역에서는 단위유역 말단의 유달율을 적용하였다.

4) 수질모델 구성 및 검·보정

서울시 기본계획의 수질모델은 한강G 총량관리 단위유역 말단지점(구리 지점)을 시점으로 주요 지류인 탄천, 중랑천, 안양천, 창릉천이 합류된 후 한강I 단위유역 말단지점(행주 지점)까지 총 39.4km에 구축되었다. 수질모델이 적용된 구간을 총 34개 소구간(reach)으로 구분하였고, 각 소구간을 0.2km 간격의 총 461개의 계산요소(element)로 구분하여 모델을 구성하였다. 또한 모델에는 취수장 5개, 환경기초시설 7개 (기존 5개, 신설 2개), 본류로 직접 유입되는 개발사업 1개, 하천유지용수로 공급되는 중랑물재생센터 하수재처리수, 하천지류 및 세유역 등이 반영되어 있다.

수질모델의 검·보정은 한강H 및 한강I 단위유역 말단지점을 대상으로 2008년부터 2010년까지 총량측정망 자료 중에서 기준유량 조건에 해당하는 수질자료의 중위수 값을 사용하여 수행되었다. 모델의 수리계수는 한강수계 목표수질 설정 시 사용된 값을 적용하였다. 대상항목별 목표수질 설정원칙에 따라 BOD는 저수기에, T-P는 저수기 및 평수기 모두 수질 모의 값이 실측값에 근접할 수 있도록 수질모델의 반응계수를 조정하는 보정 작업이 진행되었다. 그 다음으로 보정된 반응계수가 다른 조건에서도 적용이 가능한지 증명하기 위한 검증작업이 수행되었다. 보정 단계에서 결정된 반응계수를 고정한 채로, BOD에 대해서는 저수기 수

질모델에 평수기의 유량·수질 자료를 입력하여 검증 작업을 수행하였다. T-P에 대해서는 저수기 모델에는 평수기 유량·수질 자료를, 평수기 모델에는 저수기 유량·수질 자료를 입력하여 검증 작업을 진행하였다. 검증 결과 BOD와 T-P 모두 목표수질 설정지점에서 모의된 수질이 실측값의 $\pm 20\%$ 오차범위 이내인 것으로 나타났다.

2. 목표수질 설정

한강I 단위유역 말단지점은 시·도 경계지점으로, BOD 및 T-P의 목표수질이 환경부고시로 설정되어 있다. 서울시 기본계획에서도 이미 설정된 한강I 단위유역의 목표수질이 달성·유지될 수 있도록 하였다.

한강H 단위유역 말단지점에 대해서는 고시된 목표수질이 없으므로, 기본계획 수립 시 하천의 현재 상태, 오염원 분포 및 밀도, 장래 지역개발여건 및 삭감부하량, 최종연도(2020년)달성가능성 등을 고려하여 기존년도인 2010년 수질보다 양호한 수질로 해당 지점의 목표수질을 설정하였다.

하류에 위치한 한강H 단위유역의 목표수질(환경부고시)이 달성될 수 있도록 산정한 한강H 단위유역의 목표수질은 <표 2>와 같다. BOD 목표수질은 저수기가 기준이며, T-P의 경우에는 수질 모델링 결과 평수기 보다 저수기의 수질이 더 악화되는 것으로 예측되었기 때문에 기본방침에 따라 저수기를 기준으로 목표수질을 설정하였다.

<표 2> 한강I 및 한강H 단위유역 기준유량 및 목표수질

단위유역	기준유량(m ³ /일)		목표수질(mg/L)	
	저수량	평수량	BOD	T-P
한강H	148,228	218,400	3.7	0.200
한강I	195,800	282,700	4.1	0.236

자료: 서울특별시. 2013. 서울특별시수질오염총량관리 기본계획.

3. 할당부하량 산정

1) 할당부하량 산정 방법

기본계획에서는 단위유역 목표수질을 달성할 수 있는 최종연도의 오염부하량을 단위유역 및 지방자치단체별로 할당하는 작업이 이루어진다. 오염부하량을 할당할 때에는 지역·배출원간의 형평성과 오염부하량 삭감의 효율성을 고려해야 한다. 이를 위해 서울시 기본계획에서는 동일 수질유지 할당법, 배출량 비례 제거율 할당법, 최소 처리비용법, 적용처리기술에 따른 할당법, 자발적 삭감 유도법 등이 복합적으로 고려되었다(표 3).

<표 3> 서울시 기본계획 오염부하량 할당방법 및 적용방식

번호	할당방법	원리	적용방식
1	동일수질유지 할당법	방류수역의 농도가 일정하게 유지되도록 배출부하량 할당	목표수질 달성이 가능하도록 배출부하량 할당
2	배출량 비례 제거율 할당법	오염물질의 배출량에 비례하여 제거율 할당	기존 배출량에 근거한 최대삭감 방안을 산정
3	적용처리 기술에 따른 할당법	현재 적용가능한 최적처리기술 수준과 지역의 여건을 고려하여 삭감량 할당	시행청이 제시하는 기본대책과 적용가능한 최적처리기술 사이에서 지역의 여건에 따라 삭감하여 부하량 할당
4	최소처리 비용법	환경용량을 달성하기 위한 삭감량 설정 및 삭감량에 대한 처리비용이 최소가 되도록 배분	비용 최소화를 통한 이해당사자간 경제적 이득 제공
5	자발적 삭감 유도법	환경용량 범위 내에서 이해 당사자간 협의로 자발적 삭감 유도	시행청에서 제시하는 기본대책과 강구할 수 있는 최대삭감 사이에서 협의를 통해 할당

자료: 서울특별시. 2013. 서울특별시수질오염총량관리 기본계획.

할당부하량은 기준유량 조건에서 목표수질을 달성할 수 있는 '기준배출부하량'에 안전율을 적용하여 다음과 같이 산정하며, 서울시 기본계획에서는 안전율 10%가 적용되었다. 기준배출부하량에서 할당부하량을 제외한 나머지는 안전부하량에 해당한다.

$$\begin{aligned}\text{할당부하량} &= \text{기준배출부하량} \times (1 - \text{안전율}) \\ \text{안전부하량} &= \text{기준배출부하량} \times \text{안전율}\end{aligned}$$

기준배출부하량은 지역 및 배출원별로 오염부하량을 할당한 결과를 수질모델에 적용하여 목표수질 지점의 수질을 예측하고 그 결과를 환류(feedback)시켜 할당량을 조정하는 작업을 통해 결정된다. 서울시 기본계획에서는 위의 할당방법에 따라 최대수준의 삭감계획이 적용된 조건에서의 '최종배출부하량'¹⁾을 수질모델에 적용하여 목표수질을 만족하는 수준에서 할당부하량을 결정하였다. 만약 수질모델의 수질 예측결과가 목표수질보다 양호한 경우에는 한강H 및 한강I에 해당하는 지자체별 면적 및 인구밀도에 따라 여유부하량을 추가로 할당하였다.

2) 기준배출부하량 및 할당부하량 산정 결과

한강H 단위유역의 총 BOD 기준배출부하량은 53,143.49kg/일로 산정되었으며, 점오염원 및 비점오염원이 각각 18,846.22kg/일 및 34,297.27kg/일을 차지한다. 한강I 단위유역의 총 BOD 기준배출부하량은 40,414.53kg/일로 산정되었으며, 이 중 점오염원 및 비점오염원이 차지하는 양은 각각 22,744.88kg/일 및 17,669.65kg/일이었다.

한강H 단위유역의 T-P 기준배출부하량은 2,264.578kg/일로 산정되었으며, 점오염원이 1,395.778 kg/일, 비점오염원이 868.800kg/일을 차지하였다. 한강I 단위유역의 T-P 기준배출부하량은 2,010.380kg/일로, 이 중 점오염원이 1,560.333kg/일, 비점오염원이 450.047kg/일

1) 기존오염원의 자연증감 및 개발계획을 반영하여 산정한 최종년도의 배출부하량

을 차지하는 것으로 산정되었다.

한강H 단위유역의 총 BOD 할당부하량은 47,829.11kg/일로, 이 중 점오염원이 16,961.58kg/일, 비점오염원이 30,867.53kg/일로 산정되었다. 한강I 단위유역의 총 BOD 할당부하량은 36,373.06 kg/일로, 점오염원과 비점오염원이 각각 20,470.38kg/일 및 15,902.68kg/일을 차지하였다. 한강H 및 한강I 단위유역의 총 BOD 할당부하량(84,202.17kg/일)은 최초년도(2012년) 배출부하량에 비해 14.1% 감소한 수치이다.

한강H 단위유역의 T-P 할당부하량은 2,038.119kg/일로, 이 중 점오염원이 1,256.202kg/일, 비점오염원이 781.917kg/일로 산정되었다. 한강I 단위유역의 T-P 할당부하량은 1,809.341kg/일로, 점오염원과 비점오염원이 각각 1,404.299kg/일 및 405.042kg/일을 차지하였다. 한강H 및 한강I 단위유역의 총 T-P 할당부하량(3,847.460kg/일)은 최초년도(2012년) 배출부하량에서 59.4% 감소한 수치이다.

3) 지역개발부하량

지역개발부하량이란 총량관리계획기간 동안 할당부하량 중에서 개발계획으로 인해 배출할 수 있는 오염물질의 양으로 다음 식에 의해 산정된다.

$$\text{지역개발부하량} = \text{할당부하량} - \text{기존오염원 최종부하량} - \text{자연증감부하량}$$

지역개발부하량은 기승인 및 추가 개발계획에 따른 배출부하량과 여유량으로 구분된다. 여기서 기승인 개발계획은 기본계획 수립 이전에 개발과 관련된 행정협약이 완료된 개발사업을 가리키며, 추가 개발계획은 사업계획이 확정되지 않았지만 기본계획 기간 내에 추진 예정인 사업을 의미한다.

한강H 및 한강I유역의 BOD 지역개발부하량은 총 10,389.99kg/일로 산정되었으며, 서울시와 경기도가 각각 65.8% 및 34.2%를 차지하였다. BOD 지역개발부하량 중 기승인 개발부하량은 6,692.24kg/일, 추가계획 개발부하량은 3,697.75kg/일이었다. BOD 지역개발부하량에 대해서는 여유량이 없었다.

T-P 지역개발부하량은 총 520.647kg/일로 산정되었으며, 서울시와 경기도가 각각 70.2% 및 29.8%를 차지하였다. T-P 지역개발부하량 중 기승인 개발부하량은 295.278kg/일, 추가계획 개발부하량은 총 190.369kg/일이었으며, 여유량은 나머지 35.000kg/일이었었다.

4) 삭감목표부하량 및 삭감계획

삭감목표부하량이란 총량관리계획기간 동안 삭감해야 하는 오염부하량으로 다음 식과 같이 산정된다.

$$\begin{aligned} \text{삭감목표부하량} &= \text{최초년도 배출부하량} + \text{자연증감부하량} + \text{지역개발부하량} \\ &\quad - \text{할당부하량} \end{aligned}$$

한편, 삭감계획은 기본삭감계획과 추가삭감계획으로 구분된다. 여기서 기본삭감이란 하수도

정비기본계획, 예산확정 등 사업계획이 확정되어 추진 중인 사업을 의미하며, 추가삭감이란 구체적인 계획이 확정되지 않은 삭감계획을 뜻한다. 서울시 기본계획에 제시된 기본삭감 및 추가삭감방안과 그에 따른 삭감목표부하량은 <표 4>와 같다. BOD와 T-P의 삭감부하량 대부분이 하수처리장 신·증설, 방류수 수질개선 등 환경기초시설에서 감당하는 것을 확인할 수 있다.

서울시는 하수처리장 현대화, 방류수 수질개선, CSO처리 등 삭감계획을 이행하는데 소요되는 재원의 거의 대부분을 지방비로 조달할 계획이다. 경기도는 하남공공하수처리장과 삼송공공하수처리장의 신·증설 및 방류수 수질개선을 비롯해 삭감계획 이행에 소요되는 재원의 상당 부분을 원인자부담금으로 조달하며 그 외에 국비와 지방비를 투입할 계획이다.

<표 4> 삭감방안별 삭감계획량

구분	시도	삭감방안	건수	BOD삭감계획량 (kg/일)	T-P삭감계획량 (kg/일)
기본 삭감	서울 특별시	환경기초시설 신·증설 (처리효율제고)	(4) ³⁾	30.84	1.069
		관거정비	4	2,295.84	93.698
		방류수 수질개선	4	10,430.30	0.000
		CSOs 처리	3	1,243.01	26.925
		하수처리수 재이용	2	665.94	32.751
		간이공공하수처리	4	2,678.31	0.000
		소계	17	17,344.24	154.443
	경기도	환경기초시설 신·증설 (처리효율제고)	10	268.10	14.691
		관거정비	(4) ⁴⁾	223.35	7.570
		방류수 수질개선 ¹⁾	3	1,277.85	0.000
		축산자원화	1	0.51	0.026
		CSOs 처리	(3) ⁴⁾	0.7	0.017
		간이공공하수처리	(1) ⁴⁾	636.8	0.000
		소계	14	2,407.31	22.304
	기본삭감 소계		31	19,751.55	176.747
추가 삭감	서울 특별시	방류수질 추가개선	2	662.28	0.000
		소계	2	662.28	0.000
	경기도	환경기초시설 신·증설 ²⁾	2	0.00	0.000
		방류수 수질개선 ²⁾	2	0.00	0.000
		소계	4	0.00	0.000
	추가삭감 소계		6	662.28	0.000
합 계			37	20,413.83	176.747

¹⁾ 서울시 난지물재생센터의 삭감량 일부 포함 (*난지 방류구위치 : 경기도 고양시)

²⁾ 개발계획용수 수용에 따른 삭감계획으로 삭감량 없음

³⁾ 경기도 삭감계획에 따른 삭감효과

⁴⁾ 서울시 삭감계획에 따른 삭감효과

자료: 환경부, 2013.9. 서울특별시 오염총량관리기본계획 승인서

한편, 서울시 중랑 및 서남물재생센터의 추가고도처리 삭감계획은 하수도정비기본계획 등에 반영되지 않아 '유보 지역개발부하량'으로 구분하였다. 경기도 하남시 개발용량 부족으로 계획 중인 하남공공하수처리시설의 증설(22,430톤/일) 또한 확정되지 않아 유보 지역개발부하량으로 구분하였다(표 5). 이들 유보 지역개발부하량은 계획이 확정된 이후 지방환경관서의 검토 및 국립환경과학원의 기술검토를 받아 유보를 해제한 다음에 지역개발부하량으로 사용할 수 있다.

<표 5> 지역개발사업 유보량 (단위: kg/일)

단위 유역	시도	시군	BOD 지역개발 유보량			T-P 지역개발 유보량			비고
			계	점	비점	계	점	비점	
한강H	서울시	성동구	356.30	356.30	0.00	-	-	-	추가고도처리
	경기도	하남시	110.13	110.13	0.00	11.013	11.013	0.000	개발용량부족에 따른 증설
한강I	서울시	강서구	305.98	305.98	0.00	-	-	-	추가고도처리
합 계			772.41	772.41	0.00	11.013	11.013	0.000	

자료: 환경부. 2013.9. 서울특별시 오염총량관리기본계획 승인서

4. 시행계획 수립대상지역 결정

<표 6>에서 보듯 한강H 및 한강I 단위유역 말단지점에서 평가수질은 목표수질을 초과하고 있어, 두 단위유역 모두 총량관리 시행계획을 수립해야 한다.

<표 6> 단위유역별 목표수질 달성여부 평가결과

단위 유역	BOD(mg/L)				T-P(mg/L)				관할지자체 (시·군)
	평가수질 ¹⁾		목표 수질 (`20)	시행계획 수립대상	평가수질 ¹⁾		목표 수질 (`20)	시행계획 수립대상	
	`08~`10	`09~`11			`08~`10	`09~`11			
한강H	3.9	3.5	3.7	○	0.257	0.201	0.200	○	서울시, 과천시, 구리시, 성남시, 의정부시, 하남시
한강I	4.6	4.2	4.1 ²⁾	○	0.379	0.300	0.2362)	○	서울시, 고양시

주) 1.한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률 시행규칙 별표2에 따른 평균수질(국가수질측정망자료)
2.환경부 목표수질고시(특별·광역시·도경계)

자료: 환경부. 2013.9. 서울특별시 오염총량관리기본계획 승인서

[참고문헌]

- 서울특별시. 2013. 서울특별시 수질오염총량관리 기본계획
- 환경부. 2013.9. 서울특별시 오염총량관리기본계획 승인서
- 국립환경과학원. 2014. 수질오염총량관리 기본계획 수립 매뉴얼