

## 경기도 광주시 수질오염 총량관리계획의 허용총량산정에 관한 사례 연구

김시현<sup>†</sup> · 임재명\*

한국환경정책 · 평가연구원, \*강원대학교 환경공학과

### A Case Study on Calculating Loading Capacity in Gwangju's Water Pollution Load Management Planning

Sie-Heon Kim<sup>†</sup> and Jay-Myung Rim\*

Korea Environment Institute

\*Dept. of Environmental Engineering, Kangwon National University

How to decide loading capacity is critical to both environmental authority and local government. The former tries to decrease to attain the target water quality and the latter tries to increase the loading capacity to get more development projects. This article aims to establish the rational and mutually agreeable method of calculating loading capacity by presenting to its case in Gwangju City's water pollution load management planning. Gwangju City's loading capacity is 3,012.1 kg/day, which was calculated in both case of using and getting without target water quality in 2007(5.5 mg/L in Suha-Bo).

**Key words** : Pollution load management planning, load capacity, target water quality

#### 1. 서 론

수질오염총량관리계획을 수립함에 있어서 중요한 것은 유역환경자료 등 관계되는 자료를 충분히 확보하는 것과 이해관계인에게는 매우 중요한 오염부하량 할당을 어떻게 하는가이다. 우리나라의 경우에도 기초지방자치단체간 또는 기초지방자치단체 내 지역 간의 오염부하량 할당이 적정하게 이루어져야 총량관리 계획을 원만히 수립할 수 있다. 부하량 할당은 주로 다양하고 복잡한 주변 상황변수에 의하여 불가피하게 개별적(case-by-case)으로 이루어진다.

본 연구에서는 특정한 지역 상황의 경기도 광주시의 수질오염총량관리계획<sup>1)</sup> 수립 과정에서의 허용총량산정에 관한 사례를 연구하였다. 그러므로써 환경당국과 자치단체 간에 첨예하게 대립되고 있는 허용총량 결정과정을 체계화, 과학화 하여 갈등을 사전에 예방하고자 한다.

지금까지 수질총량관리제와 관련한 주요 선행연구로, ① 한강수계 오염총량관리제 시행방안 연구보고서<sup>2)</sup>, ②

수계오염총량관리 기술지침<sup>3)</sup>, ③ 팔당호수질보전을 위한 오염총량관리제의 효율적인 시행방안<sup>4)</sup>, ④ 수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구<sup>5)</sup>, ⑤ 특정지역에서의 수질총량규제 시행방안연구<sup>6)</sup>, ⑥ 특정수계권역의 수질총량규제방안 연구<sup>7)</sup>와 논문 등을 검토하여 참고하였다.

#### 2. 경기도 광주시의 수질오염총량관리계획 중 허용총량산정을 위한 자료구축

##### 2.1. 경안천유역 환경조사

##### 2.1.1. 총량관리대상지역의 선정

광주시의 경안천 유역구분은 경안천 본류와 제1지천을 중심으로 광주시에 속하거나, 일부가 속하는 배수구역으로 하였고 광주시 관내 상수원보호구역과 개발제한구역은 이미 엄격한 규제로 총량관리 시행의 실효성이 없으므로 이 지역은 총량관리대상지역에서 제외하여 대상지역을 선정하였다.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

### 2.1.2. 유역 환경조사

수계 조사자료는 총량관리 대상물질이 BOD이므로, 주로 이와 관련하여 조사하되 환경부 수질측정망자료를 이용하였고, 이것으로 미흡하여 추가조사(20개 지점)도 실시하여 유달을 산정, 모델의 보정 및 검증자료 등으로 사용하였다.

## 2.2. 오염원조사 및 예측

### 2.2.1. 오염원 조사방법

오염원은 인구, 산업, 축산, 토지, 양식장, 매립장계로 분류하여 오염총량관리계획수립지침(환경부고시 제1999-143호, 1999.9.15)에 따라 조사하되, ① 모든 오염원 현황은 2002년을 기준으로 조사하고, 시간적 변화를 파악하기 위하여 과거 5년(1998-2002) 이상의 자료를 확보하고, ② 모든 오염원은 행정리·동별로 파악하며, ③ 행정단위별로 조사된 오염원을 소집수 구역별로 부하량산정에 이용할 수 있도록 소집수 구역·행정구역 대비목록을 작성하였다.

또한 오염원은 이 지역에서 하수처리장이 가장 큰 처리시설이면서 큰 점오염원이므로 4개 하수처리권역 등(광주·경안·매산권역, 곤지암·만선권역, 오폐권역, 도척권역, 처리구역 외)으로 구분하여 조사하였다.

### 2.2.2. 목표연도(2007년)의 오염원 예측

과거 5년간(1998~2002) 증가율을 고려하여 2007년까지 예측하였는바, 인구는 자연증가율 3.3%와 기승인된 공동주택인구를 합산하였고(228천 명), 산업계 오염원의 폐수발생량과 배출량은 각각 연 5.6%, 4.1%씩 증가하는 것으로 예측되었다(폐수발생량은 11,052 m<sup>3</sup>/일, 폐수배출량은 7,152 m<sup>3</sup>/일). 축산계 오염원은 2007년까지 2002년 수준을 유지하는 것으로 전망된다(소: 4,487마리, 돼지: 6,057마리, 닭: 647,916마리).

## 2.3. 오염원별 부하량 산정

### 2.3.1. 부하량 산정방법

오염원별 부하량 산정은 오염총량관리계획수립지침(환경부고시 제1999-143호, 1999. 9. 15)에 따랐으며, 하수종말처리시설 등 환경기초시설의 처리효율은 실측치를 사용하였고, 오수처리시설 등 개별처리시설의 처리효율은 실측치를 사용하되 실측치가 없는 경우에는 기준처리율, 방류수수질기준, 배출허용기준을 적용하였다. 축산에 의한 발생부하량은 축종별 사육두수에 원단위를 곱하여 산정하고 배출부하량은 축산두수에 의한

규모별 기준(허가/신고, 신고미만)과 폐수처리시설의 종류와 축분처리방법을 고려하여 동 지침에 따라 계산하였다.

또한 토지계 오염의 발생 부하량은 토지원단위를 적용하여 산정하고, 평수기에는 일일 발생부하의 60%가 배출된다고 가정하였다. 양식장의 부하량 산정은 동 지침에 따라 시설면적과 처리시설의 효율을 적용하였으며, 매립장 침출수는 처리시설 운영실적 자료를 이용하여 부하량을 산정하였다. 그 결과 총량관리대상지역 내에서의 발생부하량과 배출부하량은 다음과 같다(Table 1).

Table 1에서 보면광주시 총량관리대상지역 내에서 2007년의 오염발생부하량(26,471.4 kg/일)을 2002년 당시의 기존삭감시설로 삭감한(기존삭감부하량) 후의 배출부하량은 4,113.1 kg/일 이다.

이 부하량과 서하보에서의 목표수질을 유지할 수 있는 경안천 유역내에서의 배출이 허용되는 허용총량과 비교해 보아야 한다. 만약에 광주시에 추가적으로 개발사업을 추진하려면 2007년의 배출부하량(4,113.1 kg/일)을 허용총량보다 적게 되도록 삭감하여야 할 것이다.

다음은 허용총량을 산정하기 위하여 QUALKO 수질 예측모델의 구축, 유량·수질관련 자료의 구축, 모델의 보정·검증절차를 거쳐서 기준배출부하량과 허용총량을 산정한다.

## 2.4. 수질모델의 구축

### 2.4.1. 수질모델의 선정

모델은 각각 장단점이 있으나 QUALKO 모델이 QUAL2E 모델에 비하여 조류에 의한 BOD 내 생산과 NH<sub>3</sub>-N의 질산화에 의한 BOD 변화를 반영할 수 있는 등의 상대적인 유리한 점을 고려하여 QUALKO 모델을 선정하였다.

### 2.4.2. 수질예측 모델의 구축

경안천 상류에 위치한 광주시와 용인시의 행정경계 부근의 파담보에서 경안천 하류의 서하보(서하교 하류 1.5 km)까지 약 18.8 km에 대하여 모델을 적용하였다. 경안천 본류로 유입되는 지류 중 오산천과 곤지암천은 모델구간을 구분하여 각각의 하천에 대해 수질변화를 모의할 수 있도록 하였다. 오산천은 왕림교에서 오산천 하구에 이르는 약 7.4 km 구간으로 구분하였고, 곤지암천은 만선교에서 곤지암천 하류까지 약 20.6 km 구간을 모형구간에 포함하였다.

**Table 1.** BOD generation and pollution load in the study area (Unit: BOD, kg/day)

구분	2003	2004	2005	2006	2007	
발생부하량	생활(인구)	11,039.3	12,000.2	12,532.9	13,035.4	13,639.9
	축산	6,095.7	6,095.7	6,095.7	6,095.7	6,095.7
	산업	3,310.3	3,494.2	3,688.4	3,893.3	4,109.6
	토지	2,253.9	2,343.2	2,430.8	2,518.5	2,606.3
	양식장	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
	매립장	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	소계	22,720.5	23,953.2	24,767.7	25,562.8	26,471.4
기존 삭감부하량	생활	9,454.8	9,933.0	10,398.1	10,790.2	11,254.6
	축산	6,012.7	6,012.7	6,012.7	6,012.7	6,012.7
	산업	3,253.0	3,434.6	3,626.4	3,828.8	4,042.5
	토지	900.8	937.4	972.3	1,007.4	1,042.6
	양식장	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
	매립장	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	소계	19,627.2	20,323.6	21,015.4	21,645.0	22,358.3
배출부하량	생활	1,584.5	2,067.2	2,134.8	2,245.2	2,385.3
	축산	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
	산업	57.3	59.6	62.0	64.5	67.1
	토지	1,353.1	1,405.8	1,458.5	1,511.1	1,563.7
	양식장	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0
	매립장	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	소계	3,093.3	3,629.6	3,752.3	3,917.8	4,113.1

경안천 본류에서는 모산양수장, 매산하수종말처리장, 고산천, 오폐대교옆지류, 양벌양수장, 고산양수장, 롯데칠성공장, 양벌 제1취수장, 중대천, 역리양수장, 목현천, 광주하수종말처리장, 신월천, 서하양수장과 무갑천 등 총 15개 점오염원을 고려하였고, 곤지암천은 만선하수종말처리장, 상열미천, 수평양수장, 신촌천, 노곡천,

녹현양수장, 산리천, 학동천, 곤지암하수종말처리장, 지월양수장 등 총 11개 점오염원을 고려하였고, 오산천은 능평천2, 문형리와 매산천 등 4개 지점 등 총 30개 점오염원을 고려하였다.

점오염원들에 대한 부하량은 각 하천으로 유입되는 주요 지류별로 산정하였고, 부하량 계산은 인구, 산업, 축산, 비점오염원 등의 항목별로 계산되어진 값의 각 지류별 합계를 사용하여 수질농도(mg/L)값을 계산하였다. 이 경우에 수질 미측정 지류와 본류구간의 잔류유역(지류외에 각하천으로 직접배수되는구간-소유역의 일종으로 간주함)에 대해서는 유역 평균 유달율을 적용하였다.

**Table 2.** Average discharge ratio in the watershed of Kyeong-an stream

구분	BOD	TN	TP
오폐대교옆지류	0.446	0.487	0.951
중대천	0.199	0.237	0.220
직리천	0.209	0.218	0.392
목현천	0.261	0.269	0.532
무갑천	0.110	0.164	0.312
번천	0.285	0.298	0.566
우산천	0.117	0.168	0.342
학동천	0.369	0.358	0.910
노곡천	0.176	0.252	0.498
신촌천	0.212	0.356	0.577
곤지암천최상류	0.193	0.271	0.359
광주평균	0.255	0.290	0.511
곤지암천평균	0.275	0.363	0.459

자료: 경기도 광주시 수질오염총량계획<sup>1)</sup>

### 2.4.3. 유량 및 수질자료의 구축

모델의 보정·검증과 같이 실측자료가 있는 경우에는 실측자료의 해당기간 평균값을 사용하였고, 향후 수질예측을 위한 유량은 “경안천 하천정비 기본계획(보완)<sup>8)</sup>”의 여주수위표지점의 충주댐 설치전 유행자료를 이용하여 유량·면적비 관계에 의하여 산정하였고 경안천 유역내 경안 수위관측소(경안1교)의 자료는 측정성과 부족으로 보완자료로 사용하였다.

또한 수질예측시 하수종말처리장으로부터의 방류량

은 광주시의 “광주하수도정비 기본계획(변경<sup>9)</sup>)”의 신·증설계획량을 고려하여 산정하였다.

양·취수장을 건설교통부의 “경안천 하천정비 기본계획(보완<sup>8)</sup>”, 경기도의 “경안천 하천정비 기본계획<sup>10)</sup>”, 경기도의 “곤지암천 하천정비 기본계획<sup>11)</sup>”에 있는 곳으로서 광주시의 취수량 자료를 기본으로 하여 양·취수량을 결정하였고, 회귀율도 결정하였다. 모델의 보정·검증과 유달을 산정을 위하여는 경안천 배수구역에서 20개 지점에 대한 2000년도 실측자료를 이용하였고, 환경부 수질측정망자료도 보완적으로 이용하였다.

#### 2.4.4. 모델의 보정과 검증

모델의 보정시에 2000년 실측자료(유량·수질)를 사용하였으나, 실측자료가 없는 경우에는 경안천 하구지점의 유량을 이용하여 유역면적대비 유량과 유역적 특성이 비슷한 지역의 유달율과 1999년 배출부하량 자료를 사용하여 경안천 유입농도를 계산하여 모델에 적용하였다.

모델의 검증 시에는 2002년의 배출부하량 자료와 2000년의 실측자료(20개 지점 환경부 측정망 자료로 보완) 및 유달율을 사용하여 각 오염원의 경안천 유입농도를 계산하여 모델에 적용하였다.

### 3. 기준배출부하량과 허용총량의 산정

#### 3.1. 기준배출부하량의 산정

총량으로 수질을 관리하고자 하는 하천 하단부인 서하보에서의 목표수질 5.5 mg/L을 만족하기 위하여 유역에서 배출할 수 있는 BOD 총량을 수질모델링 기법을 이용하여 목표지점에서 산정한 것을 기준배출부하량이라고 한다. 이 때 기준배출부하량은 목표수질 × 기준유량이 된다.

이 기준배출부하량에 안전율을 감안한 것이 실제로 유역에서 배출할 수 있는 오염부하량으로 허용총량이라 한다. 따라서 허용총량을 산정함에 있어서 먼저 기준배출부하량을 산정하여야 하고, 이 기준배출부하량은 목표수질이 사전에 정해진 경우와 정해지지 않은 경우로 나뉘어서 산정하는 방법을 고찰하고자 한다.

##### 3.1.1. 목표수질이 정해진 경우의 기준배출부하량의 산정

서하보에서의 목표수질을 만족하는 기준배출부하량을 산정하기 위하여 인구증가율, 부하량 삭감방안, 토

지자료 보완 전후 등의 상황을 달리하여 6개의 사례로 나뉘어서 서하보 상류의 배출부하량과 서하보에서 예측된 수질을 QUALKO 모델을 사용하여 조사하였다.

여기에서 부하량 삭감방안으로는 ① 하수종말처리장 증설, ② 방류수질 강화, ③ 하수관거 정비에 의한 오염 삭감, ④ 산업폐수의 하수종말처리장 연계처리, ⑤ 비점오염 저감시설 설치를 모두 적용하였다. 또한 인구증가율의 경우에는 ① 기본증가율(3.3%/년 + 기 허가된 공동주택에 의한 인구증가), ② 기본증가율에 광주시의 지역개발사업을 추가한 경우의 인구증가율, ③, ②에 추가개발사업까지 고려한 경우의 인구증가율로 구분하여 사례를 구성하였다.

토지자료 보완의 경우에 「보완 전」이라 함은 토지목변경허가시의 토지목에 따라 부하량을 산정한 경우이고, 「보완 후」라 함은 토지목변경허가 이후에 실제로 허가된 지목대로 토지이용이 되고 있는 상태에서 부하량을 산정한 경우이다.

위와 같이 부하량 계산에 적용된 6개 사례별로 배출부하량과 서하보 수질을 조사하면 Table 3과 같다.

경안천 수질이 용인시의 영향을 받으므로 광주시와 용인시의 경안천 경계지점(경안3지점)의 수질은 서하보의 목표수질이 BOD 5.5 mg/L이므로 똑같이 적용하였다.

Table 3의 6개 사례를 회귀분석을 하여 그래프로 표시하면 Fig. 1과 같다. 이 경우에 회귀방정식은  $y = 925.12x - 1941.9$ 이고  $R^2 = 0.9898$ 로서 거의 1차식이다.

Fig. 1 또는 회귀방정식에서 서하보 수질이 5.5 ppm인 경우의 기준배출부하량 값을 계산하면 3,146.3 kg/일이다.

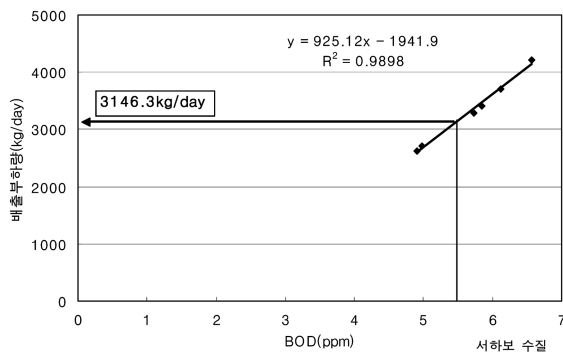
3.1.2. 목표수질이 없는 경우의 기준배출부하량의 산정  
총량관리계획수립지침에 따르면 경안천의 목표수질은 대상물질 BOD를 기준으로 할 때, 하천수질 환경기준 1등급인 1 ppm이다. 그러나 실제로 서하보에서 목표연도인 2007년에 BOD 1 ppm을 달성하는 것은 현실적으로 모든 삭감수단을 동원해도 불가능하므로 목표수질의 재설정이 불가피하다.

이 경우에는 ① 목표연도 2007년에 현재 삭감시설을 유지하는 경우의 예상배출부하량을 산정한다. ② 현실적으로 적용 가능한 삭감수단을 검토한다. 이 경우에는 기술적인 가용성뿐만 아니라 재원 등의 현실적인 여건에 좌우되기 때문에 공론화 과정이 필요하다.

광주시의 경우에는 오염원 구성 및 부하량 특성으로

**Table 3.** Six alternatives for the estimation of pollution loads and BOD concentrations

구 분	부하량 계산에 적용된 방안				배출부하량 (BOD, kg/일)	서하보 수질 (BOD, mg/L)
	대상년도	삭감방안 적용 전후	토지자료 보완	적용한 인구증가율		
사례 1	2007	적용 후	보완 후	기본증가	2,708.6	4.98
사례 2	2007	적용 전	보완 후	기본증가	3,404.8	5.84
사례 3	2007	적용 전	보완 후	기본 + 지역개발 + 추가개발	4,213.8	6.57
사례 4	2007	적용 전	보완 전	기본 + 지역개발	3,709.0	6.12
사례 5	2007	적용 전	보완 전	기본증가	3,278.8	5.73
사례 6	2007	적용 후	보완 전	기본증가	2,627.5	4.91



**Fig. 1.** Estimation of pollution load for the Seoha-dam.

보아 생활계 오염원의 비중이 매우 높으므로 생활계 오염부하를 삭감하는 것이 필수적이다. 따라서 하수종말처리장 확충과 방류수 수질기준의 강화가 전제가 되어야 하고, 그 외에 하수처리장 방류수 재이용, 폐수배출허용기준 강화 및 하수처리장 연계처리, 축산폐수 수거체계 개선(수려거치 또는 자원화), 오수처리시설 방류수 수질기준 강화, 하천직접정화시설 설치 등의 삭감수단의 적용 범위와 내용을 구체적으로 검토하여 총삭감 가능량을 산정하고 목표연도인 2007년의 잔여배출부하량을 산정한다.

이 경우에 삭감수단의 내용과 방법이 달라짐에 따라 총삭감가능량과 잔여배출부하량이 달라지게 된다. 이러

한 변동과정을 거치면서 잔여배출부하량이 확정되면, 이에 기해 구축한 QUALKO 모델을 사용하여 서하보 지점에서 목표수질을 구할 수 있고, 이 때의 잔여배출부하량이 기준배출부하량이 된다. 이 때에 삭감수단의 내용이 달라짐에 따라 총 삭감가능량과 잔여배출부하량이 변화하는 때마다 QUALKO 모델을 사용하여 서하보 지점의 예측수질과 배출부하량의 관계를 회귀분석을 하여 규명할 수 있다.

### 3.2. 허용총량 산정

#### 3.2.1. 기본적인 오염원 증가에 따른 배출부하량

기본적인 오염원의 증가라 함은 인구 및 기타 오염원의 자연증가와 기승인 공동주택에 의한 인구증가 등 기본적으로 고려하여야 할 오염계별 오염원 증가를 의미하고, 목표년도까지 오염발생부하량 예측(26,471.4 kg/일)과 하수종말처리장 등 2002년 기존의 삭감수단으로 삭감할 수 있는 부하량(기존삭감부하량, 22,358.3 kg/일)을 오염원별로 예측 산정하였다<sup>1)</sup>.

기본적인 오염원 증가에 대하여 하수종말처리장 증설, 하수종말처리장 방류수 수질개선, 하수관거 정비, 산업폐수의 하수처리장 연계처리, 비점저감시설 설치 등 추가적인 삭감대책을 목표연도까지 시행하는 경우의 추가삭감부하량은 1,428.4 kg/일로 추정되었다. 또한 매립장으로부터의 오염부하는 침출수의 하수종말처리장

**Table 4.** Plan for year 2007 reduction of pollution generation and discharge (Unit : BOD, kg/day)

구 분	계	인구	축산	산업	토지	양식장	매립장
발생부하량	26,471.4	13,639.9	6,095.7	4,109.6	2,606.3	19.9	0.0
삭감	기존	11,254.6	6,012.7	4,042.5	1,042.6	5.9	0.0
	추가	1,428.4	1,267.9	0.0	25.7	134.8	0.0
	계	23,786.7	12,522.5	6,012.7	4,068.2	1,177.4	5.9
배출부하량	2,684.7	1,117.4	83.0	41.4	1,428.9	14.0	0.0

자료 : 경기도 광주시수질오염총량관리계획<sup>1)</sup>

관료유입, 매립장 정비사업으로 인하여 2004년 이후에는 배출부하가 없는 것으로 하였다. 그 결과 기본적인 오염원 증가에 따른 배출부하량은 2,684.7 kg/일이고 자세한 내용은 다음의 Table 4와 같다.

### 3.2.2. 허용총량 산정

수질오염총량관리계획 수립 및 그 이행단계의 불확실성, 수질모델, 수체 내 조류이상증식 등 불확실성으로 인하여 기준배출부하량에 대하여 일반적으로 10%의 안전율을 고려하도록 되어 있다.

광주시 총량관리계획의 경우에는 목표수질 설정 시에 서하보 원래의 목표수질 5.79 mg/L에서 5%의 안전율을 고려하여 목표수질을 5.5 mg/L로 하였다. 그러나 5%로는 형평성을 고려하여 10%의 안전부하량으로 부족하다고 사료된다. 따라서 목표연도의 기본적인 오염부하량에 대하여 기본삭감부하량과 추가삭감부하량을 감한 기본증가배출부하량 2,684.7 kg/일의 5%인 134.2kg/일을 기준배출부하량 3,146.3 kg/일에서 감하여 3,012.1 kg/일을 허용총량으로 하였다.

허용총량은 목표수질을 만족하기 위하여 '실제로' 유역에서 배출할 수 있는 오염부하량이므로, 경기도 광주시의 경우에는 이론적인 기준배출부하량에서 안전부하

량을 고려한 부하량으로 보아야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 경기도 광주시, "경기도 광주시 수질오염총량관리계획", 2004, pp. 1-1~6-28.
2. 환경부, "한강수계 오염총량관리제 시행방안 연구 최종 보고서", 2000, pp. 1-1~6-2.
3. 국립환경연구원, "수계오염총량관리 기술지침", 2002.
4. 경기개발연구원, "팔당호 수질보전을 위한 오염총량관리제의 효율적인 시행방안", 2000, pp. 1~139.
5. 한국환경기술개발원, "수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구", 1993, pp. 1~284.
6. 한국환경기술개발원, "특정지역에서의 수질총량규제 시행방안연구", 1995, pp. 1~164.
7. 한국환경정책·평가연구원, "특정수계권역의 수질총량규제방안 연구", 1997, pp. 1~244.
8. 건설교통부, "경안천 하천정비기본계획(보완)", 1998.
9. 광주시, "하수도정비기본계획(변경)", 1999, pp. 1~579.
10. 경기도, "경안천 하천정비기본계획", 1987a, pp. 1~691.
11. 경기도, "근지암천 하천정비기본계획", 1987b, pp. 1~577.