

주암호 유역의 오염원 부하량과 비점오염원 유출특성 연구

백병천 · 김철규 · 이용운*

전남대학교 건설 · 환경공학부 · *전남대학교 환경공학과

A Study on Pollution Load and Non-point Source Runoff Characteristics from Juam Lake Basin Area

Byeong-Cheon Paik, Cheol-Kyu Kim, Yong-Woon Lee*

Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University

**Department of Environmental Engineering, Chonnam National University*

ABSTRACT

Pollution load and non-point source runoff characteristics from Juam Lake basin area were investigated in this study. The pollution load of occurrence and discharge were 15,441.7kg/day and 6,193.6kg/day in 2010 respectively. The pollution load of occurrence and discharge by population and livestock sources were decreased until 2010, however, those of land source were continuously increased due to non-point source. Runoff load of non-point source by the rainfall has a influence according to the rainfall intensity and time. Influx of pollution loading by runoff were 5~40 times of BOD, 2~15 times of TN, 2~300 times of TP compare to it without rainfall.

Key words : Pollution Load, Non-point Source, Runoff Juam Lake

1. 서론

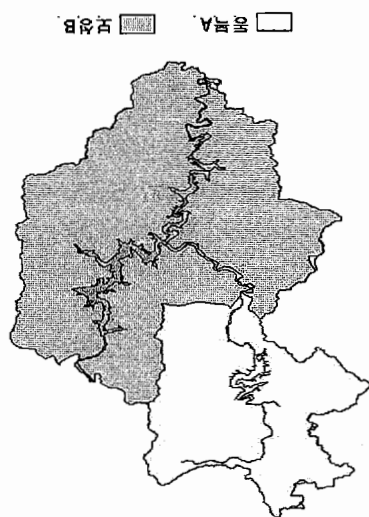
수자원의 개발은 1960년대를 기점으로 수자원의 효율적인 이용을 위해 각종 수리시설이 건설되었으며, 대형 인공 저수지가 필요에 의해서 만들어졌다. 특히, 중앙 다목적댐은 보성강 수계의 중앙호와 이사천 수계의 상사호를 동시에 개발하여 두 저수지를 도수터널로 연결함으로써 수자원의 보전·개발·이용의 효율성을 높인 유역변경식 댐이다. 이 댐의 물은 광주시를 비롯한 인근도시 및 공단지역의 생활용수와 공업용수로 주로 사용되고 있으며, 이밖에도 농업용수와 수력발전 등으로 일부분이 이용되고 있다. 또한, 중앙호 상부의 동북천 수계에는 광주광역시와 양호전용 공단을 위해 건설한 동북댐이 있다. 이와 같이 중앙댐 및 동북댐의 물은 광주·전남 지역 주민생활이나 공·농업활동에 기반이 되는 중요한 수자원의 역할을 하고 있다. 그래서 중앙호 및 동북호의 수질보전은 이 지역의 매우 중요한 관건사항이다.^{1,2,3)}

하지만, 현재 중앙호 및 동북호의 내·외부에 서 유입되는 오염물질로 만미암아 호소의 수질은 점점 악화되고 있는 실정이다.^{4,5)} 특히, 매년 산화되고 있는 호소의 부영양화로 인해 여름마다 조류가 파잉 번식할 뿐만 아니라 여름철에 연못의 조류가 호소표면에 넓게 떠있을 때는 용수사용자인 시민들에게 시각적으로 불쾌감을 주거나 상수도에 대한 시민들의 신뢰도를 저하시키고 있다.⁶⁾

한편, 중앙호 및 동북호로 유입되는 오염물질은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원은 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이고 비점오염원은 비점오염원에 비해 관리가 용이하기 때문에 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기준시설들이 매년 확충되었다.^{7,8)} 즉, 비점오염원의 경

본 연구의 대상지역은 다음과 같이 행정구역 구분과 소유권 구별로 나눌 수 있다. 행정구역으로는 담양군, 보성군, 순천시, 화순군 4개의 시·군으로 구성되어 있으며, 총 14개 면, 160개의 리가 해당된다. 그리고 대상지역의 유역구분은 Fig. 1과 같이 동북A와 보성B로 구분할 수 있으며, 보성강 수

Fig. 1. Classification of Juan Lake Basin Area.



2.1 연구대상지역

2. 내용 및 방법

우에는 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이 아니며 오염원이 쉽게 분포하고 확인이 어렵기 때문에 최근까지 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질을 정화에 초점이 맞추어져 왔다. 따라서 본 연구에서는 동북호를 포함한 중앙호의 효율적인 수질보전과 안정적인 수자원의 확보를 위해 중앙호 및 동북호로 유입되는 오염원과 오염물질의 양을 파악하고, 우수유출수 등

계인 전라남도 순천시 대광리에 위치한 주암댐과 전라남도 화순군 이서면 서리에 위치한 동북댐의 유역으로 한다.

2.2 오염원 현황 및 전망

2.2.1 오염원 정의

오염물질은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원(Point Source)은 생활하수처리장과 같이 일정한 장소나 시설에서 일정한 양의 오염물질이 지속적으로 배출되는 오염원이며, 비점오염원(Non-point Source)은 농경지와 같이 오염물질이 넓은 면적에 공간적으로 분포하는 오염원으로 정의된다.^{1, 2, 9)}

2.2.2 오염원 현황

오염원 현황은 과거년도 5개년도(2001년~2005년)를 조사하였으며, 기술지침에 따라 점오염원과 비점오염원으로 구분하였고, 점오염원은 생활계, 축산계, 산업계 및 양식계로 구성되며 토지계 및 기타 오염원은 비점오염원으로 구분하였다.¹⁰⁾ 한편 기술지침에 따라 점오염원과 비점오염원에 대하여 행정구역과 배출원별로 조사하였으며 환경기초시설에 대해서도 조사하였다.

2.2.3 오염원 전망

오염원 전망은 조사 결과를 이용하여 행정구역별 오염원 변화추세를 분석하였으며, 이 결과를 근거로 향후 오염총량관리 기간에 대해 오염원을 등차급수법 등의 과학적·수학적 방법을 이용하여 전망하였다.

2.3 오염부하량 산정

오염부하량 산정은 조사된 주암호 유역의 오

염원 현황자료를 기초로 하여 2005년도 부하량 및 장래 2010년도 오염 부하량을 산정하였다.

오염물질 배출량은 발생부하량(BOD₅)과 배출부하량(BOD₅)으로 구분하여 오염원별, 소유역별로 구분하여 산정하였다.

주암호 유역의 오염원에 의해 발생하는 발생유량 및 발생부하량 산정시 적용하는 발생원단위는 Table 1~3과 같으며, 각 계별로 발생원단위를 적용하여 산정하였다.¹⁰⁾

2.3.1 생활계

가정인구의 발생부하량은 가정인구에 Table 1의 발생부하원단위를 곱하여 산정하였다.

영업인구의 발생부하량은 오수발생유량에 오수발생농도를 곱하여 산정하고, 오수발생농도에 대한 실측자료가 없는 경우는 수질오염총량관리 기술지침에 나온 영업장의 표준발생농도를 곱하여 산정한다.¹⁰⁾

2.3.2 축산계

축종별 가축사육두수에 Table 2와 같이 축종별로 발생부하 원단위를 곱하여 산정하였다.¹⁰⁾

$$\text{축산폐수발생부하량} = \sum (\text{축종별사육두수} \times \text{축종별축산폐수발생부하원단위})$$

$$\text{축산고형물발생부하량} = \sum (\text{축종별사육두수} \times \text{축종별축산고형물발생부하원단위})$$

$$\text{축산계발생부하량} = \text{축산폐수발생부하량} + \text{축산고형물발생부하량}$$

2.3.3 산업계

유량에 농도를 곱하여 산정하며, 농도는 실측치 또는 수계기술지침에서 제시된 업종별 발생농도로 산정하였다.¹⁰⁾

$$\text{축산계발생부하량} = \sum (\text{업종별폐수발생유량} \times \text{업종별폐수발생농도})$$

2.3.4 양식계

사료투여량 자료가 확보된 경우 양식장의 월별 사료투여량(kg/월)에 발생부하비를 곱하여 월별로 산정하였으며, 사료투여량 자료 미확보 시 양식장의 시설면적에 시설면적기준 발생부하 원단위를 곱하여 산정하였다.⁴⁾

$$\text{토지계발생부하량} = \sum (\text{지목별면적} \times \text{지목별연평균발생부하원단위} \times \text{강우배출비})$$

$$\text{강우배출비} = 0.1 + 0.9 \frac{\text{연간일수}(=365,366) \times \text{월유효강우량비}}{\text{월간일수}(=28, 29, 30, 31)}$$

$$\text{월유효강우량비} = \frac{10\text{mm/일 이상 강우고의 강우량월합계}}{10\text{mm/일 이상 강우고의 강우량연합계}}$$

양식계발생부하량 = 시설면적 × 발생부하원단위

2.3.6 매립계

매립시설의 운영자료를 바탕으로 침출수 발생유량에 발생농도를 곱하여 월별로 산정하였다.⁴⁾

2.3.5 토지계

각 지목별 면적과 Table 3과 같이 지목별 연평균 발생부하 원단위와 강우배출비를 적용하여 다음의 산식으로 월별 발생부하량을 산정하였다.⁴⁾

$$\text{매립계발생부하량} = \text{침출수발생유량} \times \text{침출수발생농도}$$

Table 1. Unit Loading factor of Domestic Source

Type	Domestic Population (g/인/일)			Rate of Sewage Loading		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Vrban	50.7	10.6	1.24	0.45	0.8	0.8
Rural	48.6	13.0	1.45			

Table 2. Unit Loading factor of Livestock Source

unit: g/head/day							
Item	Dairy cattle	Native cattle	Horse	Pig	Goats · Deer	Dog	Fowl
BOD	556	528	259	109	10	18	5.2
T-N	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	8.4	1.1
T-P	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	1.6	0.4

Table 3. Unit Loading factor of Land Source

unit: kg/km ² · day			
Land Source	BOD	T-N	T-P
Dry Paddy	1.59	9.44	0.24
Rice Paddy	2.30	6.56	0.61
Forest Field	0.93	2.20	0.14
Building Site	85.90	13.69	2.10
Etc	0.960	0.759	0.027

* "Dry Paddy" = 'Dry Paddy' + 'Orchard'

* "Building Site" = 'Building Site' + 'Ractory Site' + 'School Site' + 'Road Railway' + 'Sporting Facilities site' + 'Recreation area' + 'Religions site' + 'Historiral sute'

* "Etc." = 'Kwangchean site' + 'Saltern' + 'Bank' + 'Marsh' + 'Water Reservoirs' + 'Park' + 'Grave Yard' + 'Mischellaneous site'

2.4 비점오염원부하 특성 분석

강우시 비점오염원부하를 조사하기 위한 지점 선정은 Fig. 2에서 보듯이 보성강댐과 검백천, 검백천 합류 후의 3지점으로 선정하였다. 조사시기는 강우가 발생하는 시점부터 완료되는 시점까지 조사를 실시하였으며, 분석항목은 BOD, COD, SS, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, T-N, $\text{PO}_4\text{-P}$, T-P, SS이며, 수질오염공정시험방법을 이용하여 분석하였다.¹¹⁾



Fig.2 . Sampling Point of Juam Lake.

3. 결과 및 고찰

3.1 오염원 현황 및 전망

조사된 각 오염원의 현황 및 전망은 Table. 4와 같다.

인구의 경우, 2010년까지 감소하는 것으로 전망되었다. 축산의 경우, 발생부하원단위가 큰 한우, 젖소, 돼지는 감소하는 것으로 전망되었다. 또한, 토지계의 경우, 발생부하원단위가 큰 대지의 지목이 개발사업 등의 영향으로 지속적으로

증가하는 것으로 전망되었다. 그리고 산업계와 양식계, 매립계의 경우 2005년도와 동일하게 전망되었다.

3.2 오염부하량

3.2.1 발생부하량

오염원별 주암호 유역 내 총 BOD 발생부하량은 제시된 Table 5와 같다. 생활계의 발생부하량은 2005년도 1,347.7 kg/일에서 1,161.1 kg/일로, 축산계의 발생부하량은 2005년도 8,393.5 kg/일에서 2010년도 8,325.4 kg/일로 각각 감소하는 것으로 전망되었다.

반면, 토지계의 발생부하량은 2005년도 3,121.5 kg/일에서 2010년도 3,228.7 kg/일로 증가하는 것으로 전망되었다. 그리고 산업계, 양식계 및 매립계는 각각 1,109.3 kg/일, 1,601.5 kg/일, 15.7 kg/일로 2010년까지 동일한 것으로 전망되었다.

3.2.2 배출부하량

오염원별 주암호 유역 내 총 BOD 배출부하량은 Table 6과 같다. 생활계 배출부하량은 2005년도 845.0 kg/일에서 2010년도 715.8 kg/일로, 축산계 배출부하량은 2005년도 751.4 kg/일에서 2010년도 745.2 kg/일로 발생부하량과 동일하게 감소하는 것으로 전망되었다.

반면, 토지계의 배출부하량은 2005년도 3,014.7 kg/일에서 2010년도 3,121.8 kg/일로, 발생부하량과 동일하게 증가하는 것으로 전망되었다. 산업계 배출부하량은 9.3 kg/일, 양식계 배출부하량은 1,601.5 kg/일, 매립계 배출부하량은 0.0 kg/일로 2010년도까지 동일하게 전망되었다.

Table 4. Present and Forecast of Each Pollution Sources

Pollution Sources		2001	2005	2010	Pollution Sources		2001	2005	2010
Population		28,594	25,488	21,898	Industrial waste water(m ³ /day)		244.9	447.2	447.2
Livestock (head)	Fowl	35,989	86,821	93,471	Aquaculture Farm Area(m ²)		22,783	34,339	34,339
	Dogs	2,141	5,598	6,952	Land (km ²)	Dry Paddy	44.13	44.47	44.29
	Pigs	15,849	13,640	12,419		Rice paddy	75.88	76.10	75.06
	Deer	156	1,678	1,545		Forest Field	625.10	624.30	623.11
	Goats	2,627	6,880	6,841		Building site	26.12	26.70	28.00
	Dairy Cattle	1,209	1,263	1,205		Etc.	55.96	53.87	54.95
	Native Cattle	12,428	10,875	10,964		Total	827.08	825.44	825.41
	Total	70,399	126,755	133,399	Leachate Occurrence (m ³ /day)		1.44	1.44	1.44

Table 5. Occurrence Load of Each Pollution Sources

Type	Population		Livestock		Industrial		Aquaculture		Land		Landfill	
Year	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Load (kg/day)	1,347.7	1,161.1	8,393.5	8,325.4	1,109.3	1,109.3	1,601.5	1,601.5	3,121.5	3,228.7	15.7	15.7

Table 6. Discharge Load of Each Pollution Sources

Type	Population		Livestock		Industrial		Aquaculture		Land		Landfill	
Year	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Load (kg/day)	845.0	715.8	751.4	745.2	9.3	9.3	1,601.5	1,601.5	3,014.7	3,121.8	0.0	0.0

3.2.3 오염부하량 분석

Table 5와 6에서 보듯이 주암호 유역 내 총 발생·배출부하량은 토지계를 제외한 전 오염원에서 감소 및 동일한 것으로 전망되었다. 토지계의 경우 이와 반대로 지속적으로 증가하는 것으로 전망되었으며, 주암호 유역에 지속적으로 확충되고 있는 점오염원 제거시설로 미루어 보아 토지계의 지속적인 증가는 비점오염원에 의한 오염으로 분석된다.

비점오염원의 경우, 특히 강우에 의한 영향이 가장 크므로 강우에 따른 주암호 유역의 비점오염원의 특성 규명이 필요하다.

3.3 강우시 주암호 비점오염원부하 특성 분석

3.3.1 강우시 주암호 수질분석

Fig. 3~4는 강우시 비점오염원부하에 따른 강우, 유량, BOD, COD, SS의 관계를 나타낸 그래프이다.

Fig. 3는 BOD와 COD를 나타낸 그래프로서 강우시 주암호 유역의 BOD, COD는 강우시작과 함께 농도의 상승을 나타냈으며, 강우강도 최고치에서 가장 높은 수질을 나타냈다. 분석된 평균 BOD는 1.8 mg/ℓ (1.2~4.3 mg/ℓ), COD는 2.6 mg/ℓ (1.7~5.7 mg/ℓ)로 나타났다.

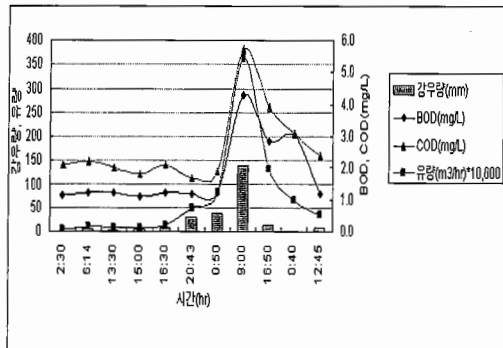


Fig. 3. Change in BOD and COD concentration after rainfall.

Fig. 4는 SS의 변화를 나타낸 것이며, Fig. 3의 BOD, COD처럼 강우시작과 함께 주암호 유역의 농도가 상승하는 것으로 나타났으며, 비슷한 패턴을 보이는 것을 알 수 있었으며, 평균 SS 농도는 161.0 mg/ℓ (6~369 mg/ℓ)이었다.

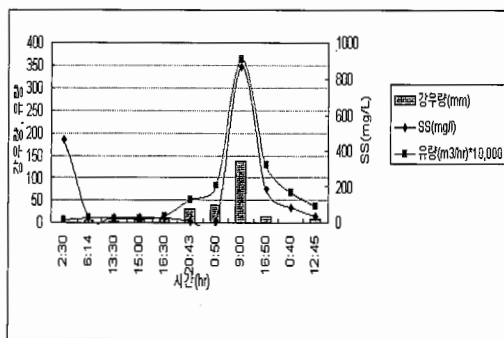


Fig. 4. Change in SS concentration after rainfall.

Fig. 5~6은 강우시 강우, 유량, T-N, T-P의 관계를 나타낸 그래프로써 Fig. 5에서 T-N은

강우시작과 함께 감소하던 추세선이 증가하는 추세를 나타냈다. 분석된 질산염계열의 T-N, NH₃-N, NO₃-N의 평균 농도는 각각 0.769 mg/ℓ (0.603~0.937 mg/ℓ), 0.029 mg/ℓ (0~0.11 0 mg/ℓ), 0.518 mg/ℓ (0.3~0.6 mg/ℓ)이었다.

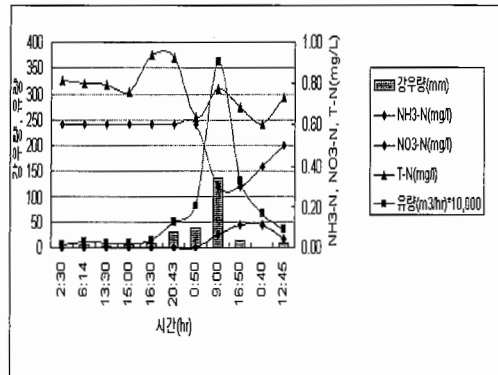


Fig. 5. Change in T-N concentration after rainfall.

Fig. 6에서 보듯이 T-P는 강우시작과 함께 수질이 상승하는 것으로 나타났으며, BOD, COD, SS와 같은 패턴을 보였다. 인산염계열의 T-P, PO₄-P의 평균 농도는 각각 0.026mg/ℓ (0.018~0.034 mg/ℓ), 0.009 mg/ℓ (0~0.024 mg/ℓ)이었다.

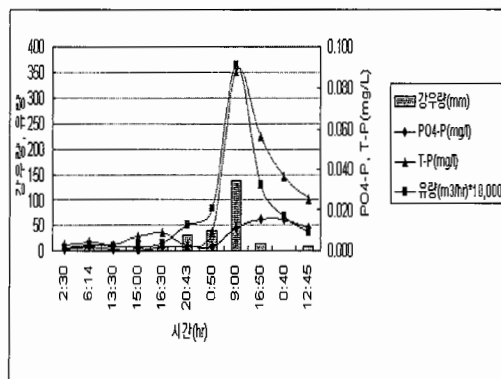


Fig. 6. Change in T-P concentration after rainfall.

3.1.2 강우시 주암호 수질 특성

Fig. 3~6에 제시된 것처럼 강우시 주암호 유역의 유량변화는 강우가 진행됨에 따라 유량이 증가하고 감소되는 것으로 나타났으며, 이는 일반적인 하천 유출특성을 보여주고 있다.

또한, 강우강도에 따른 항목별 주암호 유역의 수질농도 증·감의 차이는 있었으나, 강우 시작과 함께 증가하는 경향을 보였으며, 강우종료 약 2시간 이후에 안정화되는 것을 알 수 있었다.

수질분석 결과, 건기에 비해 강우시에 BOD는 5~40배, TP는 2~15배, TN는 2~300배의 오염부하량이 유입되는 것으로 나타났다. 강우강도에 따른 오염물질의 배출에 차이가 있지만, 영시작과 함께 건기보다 많은 양의 유기물과 영양염류가 배출되는 것을 알 수 있었다.

또한, 강우시작과 동시에 오염물질농도가 상승하는 것으로 미루어 보아 초기 강우유출수의 농도가 높은 것을 알 수 있다. 또한, 주암호 유역 내 비점오염원의 처리를 위한 초기 강우유출수 의 처리가 중요하다는 것을 알 수 있다. 그리고 TP의 오염부하량의 변동이 큰 것으로 미루어 보아 경작지의 농약 및 비료의 사용이 많은 것을 유추할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 주암호 유역의 오염원 부하량과 비점오염원 유출특성에 관한 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 주암호 유역의 오염원 중 인구와 축산은 2010년까지 감소하는 것으로, 탈생부하량 원 단위가 큰 토지계의 대지 지목은 증가하는 것으로, 산업계·양식계·매립계는 동일한 것

참고 문헌

1. 한국수자원공사, "주암호 수질관리 전략개발에 관한 연구", 한국수자원공사(1998).
2. 광주광역시 상수도사업본부, "동북호 수질보전 종합대책", 광주광역시 상수도사업본부
3. 광주·전남발전연구원, "주암호 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구", 광주·전남발전연구원(1999).

사사

본 연구과제는 환경부지정 전담지역환경기술허가센터의 연구비 지원에 의해 수행한 연구과제입니다.

2. 주암호 유역의 총 BOD 오염물질 발생량은 총 15,441.7kg/일로 감소하는 것으로, 총 배출부하량은 2005년 6,221.9 kg/일에서 6,193.6 kg/일로 감소하는 것으로 전망되었다.
3. 주암호 유역 내 총 발생·배출부하량은 토지계를 제외한 전 오염원에서 감소 및 동일한 것으로 전망되었고, 이와 반대로 지속적으로 증가하는 토지계의 발생·배출부하량 증가는 비점오염원에 의한 오염으로 분석된다.
4. 주암호 유역은 강우시 건기에 비해 BOD는 5~40배, TN는 2~15배, TP는 2~300배의 오염부하량이 유입되는 것으로 나타났으며, 강우시작과 동시에 오염물질농도가 상승하는 것으로 미루어 보아 초기 강우유출수의 농도가 높은 것으로 나타났다.

4. 한상근, “보성강댐 유역과 주암호역 수질의 계절적 변화”, 순천대학교 석사학위 논문 (1993).
5. 국립환경연구원 호소수질연구소, “호소 부영양화 방지 대책에 관한 연구(Ⅱ)-안동호, 주암호를 중심으로”, 국립환경과학원 (1992).
6. 김정현 외 3인, “영산강대권역 주요호소의 조류 발생현황 조사(I)”, 영산강수질검사소 (2000).
7. 한국수자원공사, “주암댐 비점오염물질 유입 특성 및 저감방안(1차년도)”, 한국수자원공사 (2003).
8. 한국수자원공사, “주암댐 비점오염물질 유입 특성 및 저감방안(2차년도)”, 한국수자원공사 (2004).
9. 영산강·섬진강수계관리위원회, “소유역(함평천) 관리방안 마련”, 국립환경연구원 영산강 물환경 연구소 (2004).
10. 국립환경과학원, “수계오염총량관리기술지침”. 국립환경과학원 (2004).
11. 최규철 외 7인, “수질오염공정시험방법주해”, 동화기술 (2005).

