Journal of Environmental Research Institute
A Study on Discharge Load Characteristics of Pollution Source in Juam Lake Basin Area and It's Management Method
Chonnam Nat'l. Univ. Vol. 9, pp.25-34 2009

주암호 유역의 오염원 배출부하 특성과 관리방안 연구

백병천†, 김철규

전남대학교 건설・환경공학부

A Study on Discharge Load Characteristics of Pollution Source in Juam Lake Basin Area and It's Management Method

Byeong-Cheon Paik†, Cheol-Kyu Kim

Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University

ABSTRACT

For the efficient water quality preservation and secure water resource of Juam lake, discharge load characteristics of pollution source in Juam basin area and it's management methods were investigated in this study. BOD 6,205.7 kg/d, T-N 3,594 kg/d and T-P 387.6 kg/d discharge loads from Juam basin area in 2007 were decreased to BOD 6,193.6 kg/d, T-N 3,594.0 kg/d, T-P 386.2 kg/d in 2010, respectively. The amounts of reduced point source of BOD, T-N and T-P by an advanced wastewater treatment operation were 33.5 kg/d, 10.5 kg/d and 26.2 kg/d, respectively. Vegetation system and denitrification beds for the forest field non-point source management, and soil treatment system for the building and road site non-point source management were simulated. The amounts of reduced non-point source from the forest field were BOD 133.1 kg/d, T-N 258.9 kg/d, and T-P 20.8 kg/d, and them from the building and road site were BOD 363.0 kg/d, T-N 34.3 kg/d, T-P 9.7 kg/d, respectively.

Key words : Juam lake, Discharge Load, Poit Source, Non-point Source, Management

I. 서론

주암 다목적댐은 보성강 수계의 주암호와 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, 주암호 상류의 동복천 수계에는 광주광역시의 상수원 전용 공급을 위해 건설한 동복댐이 있다. 이와 같이 주암댐 및 동복댐의 물은 광주·전남 지역의 주민생활이나 공·농업활동에 기반이 되는 중요한 수자원의 역할을 하고 있다. 그래서 주암호 및 동복호의 수질보전은 이 지역의 매우 주요한 관심사항이다.[1)2)3)]

하지만, 현재 주암호 및 동복호 유역으로 배출되는 내·외부 오염원의 오염물질로 말미암아 호소의 수질은 점점 악화되고 있는 실정이다. 특히, 매년 심화되고 있는 호소의 부영양화로 인해 여름마다 조류가 과잉 번식할 뿐만 아니라 여름철에 연녹색의 조류가 호소표면에 넓게 떠있을 때는 용수사용자인 시민들에게 시각적으로 불쾌감을 주어 광주·전남 상수원인 주암호 및 동복호 유역에 대한 시민들의 신뢰도를 저하시키고 있다.[4)5)6)]

한편, 주암호 및 동복호 유역으로 배출되는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 점오염원은 특성상 오염원의 발생특성과 관리의 용이성 때문에 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이며, 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기초시설들이 매년 확충되었다. 즉, 비점오염원의 경우에는 거의 대부분이 환경기준에 의한 규제대상이 아니며 오염원이 넓게 분포하고 확인이 불분명하여 관리가 어렵기 때문에 최근까지 비점오염원보다는 점오염원의 오염물질 배출저감에 초점이 맞추어져 왔다.[6)7)]

하지만, 증가하는 점오염원의 배출부하 저감기술 한계와 관리 및 발생특성이 불분명한 비점오염원에서 발생하는 오염물질의 배출부하에 대한 기술적인 관리대안이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 동복호를 포함한 주암호의 효율적인 수질보전과 안정적인 수자원의 확보를 위해 주암호 및 동복호 유역의 오염원에 대한 배출부하 특성을 분석하고, 이에 따른 효과적인 관리대안들을 분석하였다.

II. 내용 및 방법

2.1 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 다음과 같이 행정구역 구분과 소유역 구분으로 나눌 수 있다.

Fig 1. Classification of juam lake basin area.

행정구역으로는 담양군, 보성군, 순천시, 화순군 4개의 시·군으로 구성되어 있으며, 총 14개면, 160개리가 해당된다.

그리고 대상지역의 유역구분은 Fig 1과 같이 동복A와 보성B로 구분할 수 있으며, 보성강 수계인 전라남도 순천시 대광리에 위치한 주암댐과 전라남도 화순군 이서면 서리에 위치한 동복댐의 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.[8)]

2.2.2 오염원 현황 및 전망

오염원 현황은 과거년도 5개년도(2003년~2007년)를 조사하였으며, 기술지침에 따라 점오염원과 비점오염원으로 구분하였고, 점오염원은 생활계, 축산계, 산업계 및 양식계로 구성되며 토지계 및 기타 오염원은 비점오염원으로 구분하였다.[9)] 한편 기술지침에 따라 점오염원과 비점오염원에 대하여 행정구역과 배출원별로 조사하였으며 환경기초시설에 대해서도 조사하였다.

오염원 전망은 조사 결과를 이용하여 오염원의 변화추세를 분석하였으며, 이 결과를 근거로 향후 2010년까지의 오염원을 등차급수법 등의 과학적·수학적 방법을 이용하여 전망하였다.

2.3 오염원 오염물질 배출량 산정

오염원 배출량 산정은 조사된 주암호 유역의 오염원 현황자료를 기초로 하여 2007년도 부하량 및 장래 2010년도 오염 부하량을 산정하였다.

오염물질 배출량은 수계오염관리기술지침(2008)에 따라 오염원별로 구분하여 산정하였다. 각 오염원의 배출량은 월별 또는 일별로 배출원에 따라 산정한다.

배출원배출량 = 배출원(개별배출량+관거배출량+방류량-직접정화량)

배출원개별배출량 = 배출원별[발생량-개별삭감량-직접이송량-관거유입량]

오염원배출량 = 오염원별 Σ배출원배출량

비점오염원 배출량은 강우배출비와 월 유효강우량비를 고려하여 산정한 후 월별로 합산한다.

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

$$\text{월유효강우량비} = \frac{\text{10mm/일 이상 강우고의 강우량 월합계}}{\text{10mm/일 이상 강우고의 강우량 연합계}}$$

2.3.1 생활계

생활계 배출부하량은 관거배출부하량과 방류부하량의 합으로 산정을 하며 관거배출부하량과 방류부하량 산정은 다음과 같이 산정한다.

• 생활계배출부하량 = 관거배출부하량+방류부하량
• 관거배출부하량 = 관거유입부하량×관거배출부하비
• 방류부하량 = 방류유량×방류농도

2.3.2 축산계

축산계 배출부하량은 점오염원과 비점오염원의 개별 배출부하량의 합으로 산정하였으며, 점오염원과 비점오염원의 개별배출부하량 산정은 다음과 같다.[9)]

• 축산계개별배출량 = 점오염원개별배출량+비점오염원개별배출량
• 점오염원개별배출량 = 폐수발생량−폐수직접이송량−폐수개별삭감량−폐수관거유입량
• 비점오염원개별배출량 = (자원화개별삭감대상량−자원화개별식감량−고형물관거유입량+폐수처리농지환원량−농지삭감량)

2.3.3 산업계

산업계 배출부하량은 업종별 폐수발생유량과 업종별 폐수배출농도를 곱하여 산정하였다. 업종별 폐수배출농도는 수질오염총량관리기술지침상에 제시된 표준농도를 이용하여 산정하였다.[9)]

• 산업계폐수배출부하량 = Σ(업종별폐수발생유량 × 업종별폐수배출농도)

2.3.4 양식계

양식계의 특성상 발생되는 부하량이 수계로 바로 배출되므로 산정은 사료투여량 자료가 확보된 경우 양식장의 월별 사료투여량(kg/월)에 발생부하비를 곱하여 월별로 산정배출량을 산정하였다.[9)]

2.3.5 토지계

각 지목별 면적과 그에 따른 발생부하원단위를 산정하여 발생부하량을 산정한 후 관거이송량과 강우량에 따른 배출량을 합산하여 배출량을 산정하였다.[9)]

2.3.6 매립계

매립계의 경우 양식계와 동일하게 발생유량에 발생농도를 곱하여 월별로 산정하여 배출량을 산정하였다.[9)]

2.4 오염원 관리대안 적용

산출된 주암호 및 동복호 유역의 배출부하량 특성을 분석하고, 점오염원 및 비점오염원 관리대안을 설정하여 적용하고 그에 따른 효과를 분석하였다.

2.4.1 점오염원 관리대안

점오염원의 관리대안으로 설정하고자 하는 초고도처리시설은 기존의 고도처리시설에 비해 더 낮은 농도의 배출수를 처리하는 기술이다. 처리시설의 특성은 다음과 같다.

- 오존 반응조에서 난분해성 유기물의 일부를 역분해성 유기물로 전환하여 활성탄 처리조에서 유기물의 생물분해 및 잔존한 난분해성 유기물의 흡착·제거가 이루어 짐 (Fig 2)

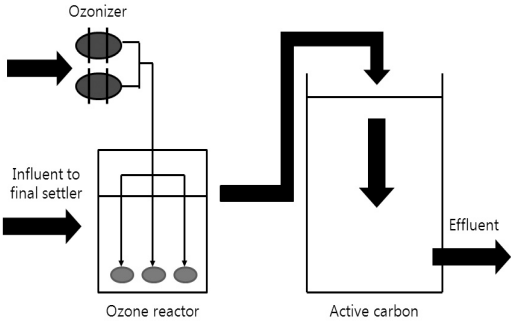

Fig 2. Diagram of organic removal.

- 생물반응조를 무산소조·호기조 3단으로 직렬 배치한 후 유입수를 균등 유입시키고, 각 단에서의 고형물량이 동량 되도록 반응조 용량을 설정
- 무산소조에서의 질소 유출이 1/3이 억제되어 질소 제거율이 향상되며, 후탈질조에서 메탄올을 첨가해 탈질함으로 질소 제거율 향상(Fig 3)
- 생물처리단 말단과 모래여과 앞의 2개소에서 PAC를 첨가하여 인을 제거

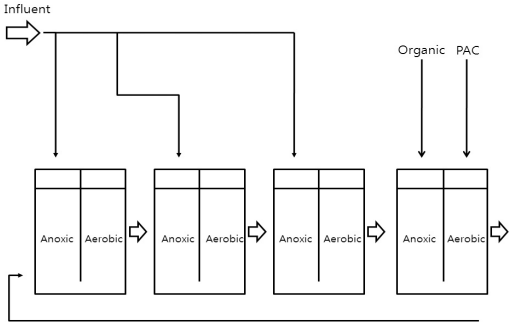

Fig 3. Diagram of nitrogen removal.

이러한 특성을 통해 BOD는 1.0 ppm, COD는 3.0 ppm, TN은 3.0 ppm, TP는 0.02 ppm 이하의 수질을 얻을 수 있다.

2.4.2 비점오염원 관리대안

비점오염원의 관리대안은 임야와 대지에 의한 처리방법을 설정하고자 한다. 임야에 대한 관리대안으로 식생수로와 Denitrification beds에 의한 처리, 대지에 대한 관리대안은 토지정화기술이며, 특성은 다음과 같다.

- 식생수로는 강우시 토양의 침식을 줄이기 위해 수로에 식생을 도입하는 것으로서 부유고형물과 금속과 같은 오염물질 제거에도 효과적이고 침투과정에 의해 박테리아도 제거되며, 강우유출수량 조절기능도 가짐[10]
- Denitrification beds는 지표수로 유입되는 질소를 식물의 뿌리, 톱밥, 나무껍질 등의 여재로 만든 수로에 통과시킴으로서 여재 속에 있는 유기물을 이용하여 질산염을 질소가스로 변환하여 제거하는 기술로서 낙농업 농가와 비닐하우스 등의 소규모 폐수를 처리와 소규모 하천에 적용[10]
- 토지정화기술은 강우시 도로 및 노면 등에서 유출되는 유출수를 차집하여 토양에 통과시킴으로서 토양내 미생물을 이용하여 유출수의 오염물질을 저감시키는 기술이며, 소하천 적용 가능[10]

III. 결과 및 고찰

3.1 오염원 배출부하량

3.1.1 BOD 배출부하량

오염원별 주암호 유역 내 총 BOD 배출부하량은 Table 1과 같다. 생활계 배출부하량은 2007년도 791.3 kg/일에서 2010년도 715.8 kg/일로, 축산계 배출부하량은 2007년도

745.2 kg/일에서 2010년도 745.2 kg/일로 동일하게 전망되었다.

반면, 토지계의 배출부하량은 2007년도 3,058.4 kg/일에서 2010년도 3,121.8 kg/일로, 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.

3.1.2 T-N 배출부하량

오염원별 주암호 유역 내 총 T-N 배출부하량은 Table 2와 같다. 생활계 배출부하량은 2007년도 265.5 kg/일에서 2010년도 242.3 kg/일로, 축산계 배출부하량은 2010년도까지 375.8 kg/일로 동일하게 전망되었다.

반면, 토지계의 배출부하량은 2007년도 2,652.1 kg/일에서 2010년도 2,656.4 kg/일로, 증가하는 것으로 전망되었다. 산업계 배출부하량은 6.2 kg/일, 양식계 배출부하량은 313.3 kg/일, 매립계 배출부하량은 0.0 kg/일로 2010년도까지 동일하게 전망되었다.

3.1.2 T-P 배출부하량

오염원별 주암호 유역 내 총 T-P 배출부하량은 Table 3과 같다. 생활계 배출부하량은 2007년도 63.5 kg/일에서 2010년도 61.0 kg/일로, 축산계 배출부하량은 2010년도까지 39.5 kg/일로 동일하게 전망되었다.

반면, 토지계의 배출부하량은 2007년도 197.6 kg/일에서 2010년도 198.7 kg/일로, 증가하는 것으로 전망되었다. 산업계 배출부하량은 0.4 kg/일, 양식계 배출부하량은 86.6 kg/일, 매립계 배출부하량은 0.0 kg/일로 2010년도까지 동일한 것으로 전망되었다.

Table 1. Discharge load(BOD) of each pollution sources

Type	Population				Livestock				Industrial			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	791.3	766.1	740.5	715.8	745.2	745.2	745.2	745.2	9.3	9.3	9.3	9.3
Type	Aquaculture				Land				Landfill			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	1,601.5	1,601.5	1,601.5	1,601.5	3,058.4	3,079.3	3,100.4	3,121.8	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 2. Discharge load(T-N) of each pollution sources

Type	Population				Livestock				Industrial			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	265.5	257.8	249.9	242.3	375.8	375.8	375.8	375.8	6.2	6.2	6.2	6.2
Type	Aquaculture				Land				Landfill			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	313.3	313.3	313.3	313.3	2,652.1	2,653.6	2,655.0	2,656.4	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 3. Discharge load(T-P) of each pollution sources

Type	Population				Livestock				Industrial			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	63.5	62.7	61.8	61.0	39.5	39.5	39.5	39.5	0.4	0.4	0.4	0.4
Type	Aquaculture				Land				Landfill			
Year	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Load (kg/day)	86.6	86.6	86.6	86.6	197.6	198.0	198.3	198.7	0.0	0.0	0.0	0.0

3.2 주암호 유역의 배출부하 특성

3.2.1 점오염원 배출부하 특성

점오염원에 가장 큰 기여를 하는 생활계의 배출경로인 하수처리장의 부하량 분석 결과 BOD의 경우 유입대비 방류부하량의 처리효율은 92.5%(90.5~9 3.2%)를 나타냈다. 하지만, T-N과 T-P의 경우 50%미만의 처리효율을 보였으며, 일부 하수처리장의 경우 유입에 비해 방류부하량이 높은 것으로 나타났다.

따라서, 안정적인 처리를 보이는 BOD에 비해 불안정적인 처리를 보이는 T -N과 T-P의 저감방안이 필요하다.

3.2.2 비점오염원 배출부하 특성

오염부하량을 산정한 결과 계별 부하량 중 비점오염원에 해당하는 토지계와 축산계의 부하량이 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 토지계는 지속적으로 증가하고 있는 것으로 전망되었다.

따라서, 주암호의 안정적인 수질을 위해 비점오염원인 토지계와 축산계에 관한 관리가 필요하며, 특히 토지계에서 가장 큰 면적을 차지하는 임야와 부하량 원단위가 큰 대지에 관한 관리가 필요하다.

3.3 오염원 관리대안 분석

3.3.1 점오염원 관리대안 분석

점오염원 관리대안에 해당하는 초고도처리시설 도입은 Fig 4와 같이 기존하수처리장의 초고도처리시설의 도입과 신규 설치될 하수처리장의 초고도처리시설도입할 경우의 저감효과를 분석하였다.

기존하수처리장과 신규하수처리장의 초고도처리시설을 도입할 경우 수질항목별 삭감부하량은 다음과 같다.

BOD의 경우 기존에 비해 33.5 kg/일, T-N의 경우 10.5 kg/일, T-P의 경우 26.2 kg/일이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 기존하수처리구역에 적용한 것이므로 하수처리구역을 확대할 경우 더 많은 오염부하 삭감 효과를 얻을 수 있다.

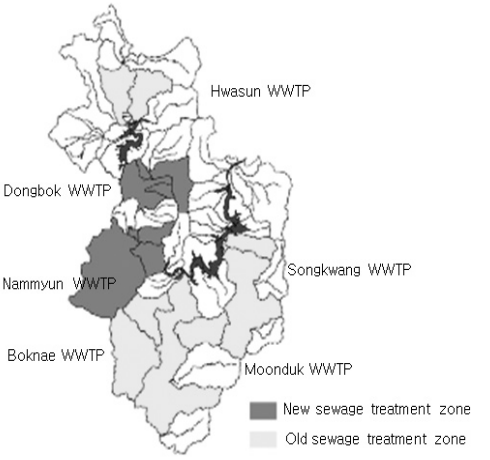

Fig 4. Old and new sewage treatment zone of juam lake basin area.

3.3.2 비점오염원 관리대안 분석

비점오염원 관리대안 중 토지계 면적에 80% 이상을 차지하는 임야에 대한 식생수로와 Denitrification beds의 비점오염원 저감시설을 도입하였고, 토지계의 발생부하 원단위 중 다른 지목에 비해 약 40~100배나 부하량이 큰 대지에 대한 토지정화시설 도입에 따른 효과를 분석하였다.

주암호 유역 총 임야면적 중 식생수로 및 Denitrification beds를 적용할 수 있는 임야의 면적은 294.27 km^2이다. Denitrification beds는 소규모 하천 및 축산농가에 적용가능하므로 임야면적 중 축산계 배출부하량이 전체 부하량 중 상위 50 %이상을 차지하는 면적에 대해서는 Denitrification beds를 적용하였으며, 나머지 면적에는 식생수로를 적용하였다. 이에 따른 효과는 다음과 같으며, 유역도는 Fig 5와 같다.

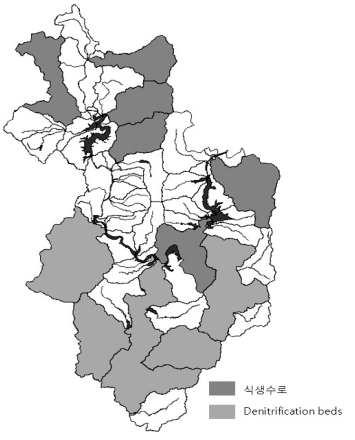

Fig 5. Management method for forest field of juam lake basin area.

식생수로에 의해 저감되는 효과는 BOD 32.1 kg/일, T-N 115.4 kg/일, T-P 5.6 kg/일이었으며, Denitrification beds의 저감효과는 BOD 101.0 kg/일, T-N 143.5 kg/일, T-P 15.2 kg/일이었다.

임야에 대한 비점오염원 관리방안에 따른 저감효과는 BOD 133.1 kg/일, T-N 258.9 kg/일, T-P 20.8 kg/일이었다.

대지에 대한 관리대안의 효과는 다음과 같으며, 유역도는 Fig 6과 같다.

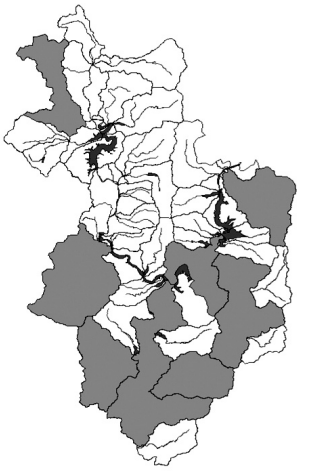

Fig 6. Management method for road of juam lake basin area.

주암호 유역 총 대지면적 중 토지정화기술을 기술을 적용할 수 있는 대지의 면적은 7.86 km^2이며, 이에 따른 저감효과는 BOD 363.0 kg/일, T-N 34.3 kg/일, T-P 9.7 kg/일이었다.

IV. 결 론

본 연구에서 수행한 주암호 유역의 오염원 배출부하 특성과 관리방안에 관한 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 주암호 유역의 2010년 BOD, T-N, T-P 배출부하량은 6,193.6 kg/일, 3,594.0 kg/

일, 386. 2kg/일로 각각 전망되었다.

2. 주암호 유역 내 배출부하량은 토지계를 제외한 모든 계에서 2010년까지 감소하거나 동일한 것으로 전망되었으며, 주암호의 수질개선을 위해 점오염원의 저감기술과 더불어 배출부하량이 증가하는 것으로 전망된 비점오염원 제거 및 관리를 통한 비점오염원 부하량 감소가 필요한 것으로 나타났다.
3. 주암호 유역의 초고도처리시설 도입에 의한 점오염원 관리대안 적용 시 BOD의 경우 기존에 비해 33.5 kg/일, T-N의 경우 10.5 kg/일, T-P의 경우 26.2 kg/일이 감소하는 것으로 나타났다.
4. 임야에 의한 비점오염처리를 위해 식생수로와 Denitrification beds 적용시 BOD 133.1 kg/일, T-N 258.9 kg/일, T-P 20.8 kg/일이 감소하는 것으로 나타났으며, 대지에 의한 비점오염원처리를 위해 토양정화기술을 적용할 경우 BOD 363.0 kg/일, T-N 34.3 kg/일, T-P 9.7 kg/일이 감소되는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부지정 전남지역환경기술개발센터의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사, 주암호 수질관리 전략개발에 관한 연구, 최종보고서, 한국수자원공사(1998).
2. 광주·전남발전연구원, 주암호 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구, 최종보고서, 광주·전남발전연구원(1999).
3. 한국수자원공사, 주암댐 비점오염물질 유입특성 및 저감방안(1차년도), 최종보고서, 한국수자원공사(2003).
4. 김정현 외 3인, 영산강대권역 주요호소의 조류 발생현황 조사(I), 영산강수질검사소(2000).
5. 한국수자원공사, 주암댐 비점오염물질 유입특성 및 저감방안(2차년도), 최종보고서, 한국수자원공사(2004).
6. 환경부 수질보전국, 비점오염원관리 업무편람, 환경부(2006).
7. 영산강·섬진강수계관리위원회, 소유역(함평천) 관리방안 마련, 최종보고서, 국립환경연구원 영산강 물환경 연구소(2004).
8. 광주광역시 상수도사업본부, 동복호 수질보전 종합대책, 최종보고서, 광주광역시 상수도사업본부(2006).
9. 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침(2008).
10. The University of Sydney, Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources Handbook 2002, The University of Sydney(2002).