

영산강수계 비점오염원 중점관리지역 선정에 관한 연구

이재춘 · 박혜린 · 임병진 · 이창희¹ · 이수웅² · 이용운^{3,*}

(국립환경과학원 영산강물환경연구소, ¹명지대학교 환경생명공학과,

²국립환경과학원 수질통합관리센터, ³전남대학교 환경공학과)

A Study on the Selection of Non-point Pollution Management Regions with High Priority Order in the Yeongsan River Basin. Lee, JaeChoon, HyeLin Park, ByungJin Lim, ChangHee Lee¹, SuWoong Lee² and YongWoon Lee^{3,*} (Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 500-480, Korea; ¹Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myong-Ji University, Yongin 449-728, Korea; ²Water Quality Control Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea; ³Department of Environmental Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-480, Korea)

In this study, non-point pollution sources in the Yeongsan river basin are analyzed; then, the priority regions (areas divided on a small scale) of management are selected for efficient water management of the Seungcheon and Jooksan reservoirs, which were constructed as one of the 4 major rivers restoration projects. The priority regions are decided by using the criteria of the excessive rate of target water quality, non-point pollution load per unit area, total TP load and down flow distance. The results of this study are as follows. The upper 10% of the priority regions for non-point pollution management includes YB15, YB05, YB10, YB24, YB14 and YB11 for the Seungcheon reservoir watershed, and YC24, YC25, YC30, YC34, YC22 and YC17 for the Jooksan reservoir watershed. However, a few regions in each of the Seungcheon and Jooksan reservoirs need to be selected in higher order, and the non-point pollution removal facilities in the regions need to be installed with respect to budget, urgent matter, and so on.

Key words : non-point pollution, priority regions, estimation criteria, reservoir

서 론

우리나라의 수자원 관리는 비점오염원에 비해 관리가 쉽고 가시적 효과를 기대할 수 있는 점오염원을 중심으로 이루어져 왔다. 매년 점오염원의 오염물질을 처리하기

위한 도시하수종말처리장, 산업폐수처리장 등이 확충되었고 환경기초시설의 설치에 필요한 점오염원의 배출특성이나 처리방법 등의 조사는 많이 이루어져 있다. 그러나 점오염원 위주의 관리로는 수질이 향상되지 않는 한계가 드러나면서 비점오염원에 대한 관심이 증대되고 있다. 우리나라의 경우 부유성물질(SS)에 의한 수질오염부

* Corresponding author: Tel: 062) 530-1861, Fax: 062) 530-0678, E-mail: ywlee@chonnam.ac.kr

하가 50% 이상을 차지하며, 폐쇄성 수역의 경우 영양물질의 80% 이상이 비점오염원에 의한 것으로 알려졌다(Choi, 1997). 2003년 기준으로 비점오염원을 살펴보면 수질오염에서 비점오염원이 차지하는 기여율은 4대강 수계별로 42~69% 범위로 나타났고, 2015년에는 그 기여율이 65~70%에 이를 것으로 예상된다(Ministry of Environment, 2006).

4대강 살리기 사업은 범정부차원에서 강별 종합계획을 수립하고 단기간에 예산을 투입함으로써 물 문제를 해결함은 물론 강 중심으로 국토를 재창조하는 종합 프로젝트로 알려져 있다. 4대강 살리기 마스터플랜에 의하면 영산강 살리기는 물확보, 수질개선, 생태복원 등에 집중되어 있으며 하천준설과 함께 승촌보와 죽산보가 설치되었다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 그러나 이로 인해 수생태계가 영향을 받으며 보의 설치로 홍수를 방지하고 보다 많은 물자원을 확보할 수 있게 되나, 물의 체류시간의 증가로 상대적으로 정체수역의 확대가 불가피해지며, 정체수역의 발생은 곧 수질오염을 야기시킬 우려가 있다. 그러므로 공공수역의 수환경보전을 위해 점오염원 관리뿐만 아니라 강우시 유역으로부터 유출되는 비점오염원 관리를 강화할 필요성이 있다.

최근 국내에서는 비점오염관리를 위해 필요한 비점오염 정량화에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 도시, 농촌 및 임야유역에서 강우사상별 산정된 유량가중평균농도(EMC: Event Mean Concentration)를 비교 분석하여 토지이용에 따른 SS, TCOD, TN, T-P에 대한 유출 특성을 분석하였으며(Yur *et al.*, 2005), 낙동강수계 고령지 발의 BOD 부하 원단위는 $12.25 \text{ kg km}^2 \cdot \text{day}^{-1}$, T-P의 부하 원단위는 $0.55 \text{ kg km}^2 \cdot \text{day}^{-1}$, TN의 부하 원단위는 $32.35 \text{ kg km}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ 로 제안하였다(Joo *et al.*, 2007). 노곡천유역의 산림 지역의 유출수량이 고려된 유량가중평균농도를 산정하여 비점오염물질 유출특성을 연구하였는데 그 결과 BOD $1.3 \sim 2.6 \text{ mg L}^{-1}$, COD_{Mn} $1.8 \sim 4.7 \text{ mg L}^{-1}$, TN $0.1 \sim 2.6 \text{ mg L}^{-1}$, T-P $0.12 \sim 0.49 \text{ mg L}^{-1}$, SS $2.0 \sim 16.1 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위로 산정되었다(Won *et al.*, 2009). 그리고 경안천 지역의 도로 및 주차장에서 강우사상에 따른 EMC 산정을 통해 배출부하량을 산정하고 해당 토지이용에 대한 비점오염부하량 원단위를 제시한 결과 도로가 주차장보다 더 크게 산정되었으며, 국내 원단위보다는 낮고 대부분의 국외 원단위보다 높게 나타나 토지이용 및 지역특성을 반영한 원단위 설정이 필수적임을 제시하였다(Go *et al.*, 2009). 또한 농촌지역에서는 논이 강우 저류 가능수심이 $50 \sim 60 \text{ mm}$ 이기 때문에 강우 시에 오염물질 유출은 도시지역과 다르게 강우 초기보다는 강우 중반이나

후반에 많이 일어난다고 하였다(K-water, 2004). 이 밖에도 많은 연구자들에 의해 비점오염원에 대한 정량화 연구는 많이 이루어지고 있지만 수계내 비점오염관리 지역 선정에 대한 연구는 몇몇 연구자들을 제외하고는 이루어지지 않고 있다. 충청남도 논산천 유역을 대상으로 GIS 중첩에 의해 가중치를 부여함으로써 비점오염원 관리지역 선정방법을 연구하였고(Park *et al.*, 2010), 충청남도 금강 중하류권역을 대상으로 지류하천별 유량 및 수질측정, 하천그룹화, 오염물질부하량, 배출부하밀도 등을 통해 수질개선 우선순위를 제시하였다(Lim *et al.*, 2010). 하천의 수질변화 특성을 정량화하기 위해 회귀분석을 이용하여 하천 수질의 유량에 따른 변동성을 표현할 수 있는 지표에 의한 비점오염원 관리대상지역을 선정한 바 있다(Jung *et al.*, 2011). 하지만 아직까지 비점오염원 관리대상지역 선정에 관한 연구는 초기단계에 있으며 특히, 영산강 수계의 비점오염원 관리대상지역 선정에 관한 연구는 매우 부족하다.

비점오염원의 특성상 자연적 요인에 따른 배출량의 변화가 심하며, 강우시 비점모니터링은 많은 비용과 인력이 요구되므로 모니터링을 통한 수계 전체 비점오염 관리대상지역을 선정하는 것은 현실적으로 매우 어려운 상황이다. 따라서 본 연구의 목적은 영산강 유역의 효율적인 비점오염원관리를 위해 최신 비점배출부하량 자료를 분석하여 비점오염원 중점관리지역을 선정하여 제시하는 것이다.

재료 및 방법

1. 영산강유역 현황

영산강은 우리나라 4대강의 하나로 동경 $126^{\circ}26'12'' \sim 127^{\circ}06'07''$, 북위 $34^{\circ}40'16'' \sim 35^{\circ}29'01''$ 에 걸쳐 한반도 남쪽 중서부지역에 위치한다. 영산강에 속하는 광역시도는 유역 내에서 도시화가 많이 이루어진 광주광역시와 전라북도, 전라남도이며 영산강 유역의 동쪽은 섬진강 유역, 북쪽은 동진강 유역에 접해 있으며, 나주지점을 중심으로 큰 지류가 합류하여 방사형을 이루고 있다. 총 유역면적은 $3,455 \text{ km}^2$, 본류의 총 유로연장은 129.5 km 이고 동서간, 남북간 최대길이는 각각 60.6 km , 89.9 km 이다. 영산강유역의 수질측정은 오염총량관리의 수질측정지점과 일치하는데 각 단위유역의 말단에서 수질측정이 이루어지고 있다. 오염총량관리에서 영산강 유역을 7개의 단위유역으로 구분한 현황은 Fig. 1과 같다.

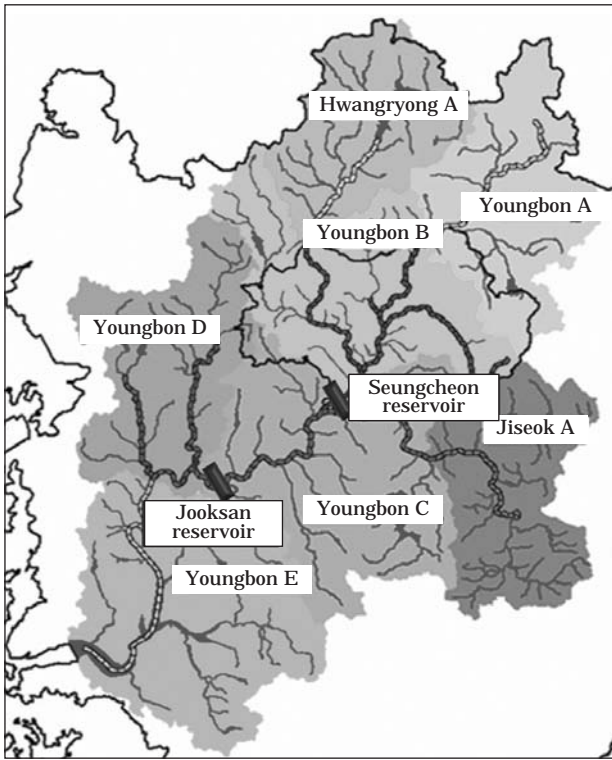


Fig. 1. Unit watersheds of the Yeongsan river basin.

2. 영산강 보 설치 현황

영산강에는 Fig. 1과 같은 위치에 승촌보와 죽산보가 설치되었다. 승촌보 유역은 단위유역 영본 A, 영본 B, 황룡 A를 포함하고, 죽산보는 영본 C, 지석 A를 포함하고 있다. 그러나 영산강 유역 내 총 7개의 단위유역 중에서 나머지 영본 D와 영본 E는 죽산보 하류에 위치하고 있어, 향후 보에 영향이 없는 지역이다. 승촌보의 관리수위는 El. 7.50 m이며, 고정보의 높이와 연장은 각각 9.0 m와 360 m이고, 가동보의 연장은 180 m로서 보의 총연장은 540 m이다. 한편 죽산보의 관리수위는 El. 3.50 m이며, 고정보의 높이와 연장은 각각 4.85 m와 423 m이고, 가동보의 연장은 184 m로서 보의 총 연장은 622 m이다.

3. 비점오염관리 우선순위 산정 및 중점관리지역 선정 방법

본 연구에서는 영산강수계의 소유역별 비점오염원관리 우선순위 산정 및 중점관리지역 선정을 위하여 「4대강 살리기 사업에 따른 비점오염원 관리 방안 연구 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)」에서 제시된 중점관리지역 선정절차, 선정기준 및 우선순위 산정방

법을 따랐으며, 그 주요내용은 다음과 같다.

1) 수계 전체 소유역별 비점오염관리 우선순위 산정 방법

어느 수계를 구성하고 있는 전체 소유역들 각각에 대한 비점오염관리 우선순위를 산정하기 위하여 첫 번째로 비점오염 저감대상물질로서 BOD와 T-P를 선정하고, 두 번째로 이에 대한 우선순위지표인 (a) BOD와 (b) T-P 단위면적당 비점부하량과 최근 3년간 (c) BOD와 (d) T-P 목표수질 초과율을 식 (1)과 같이 표준화 한 우선순위지표를 계산한다. 소유역별로 이러한 4개 항목들의 우선순위 지표들을 합산하여 합산 값이 높은 차순으로 우선순위를 설정하고, 이들 중에서 상위 10%의 소유역들을 비점오염관리 우선순위 대상지역으로 한다.

$$S_{subwatershed} = \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

여기서, S=소유역별 100점 환산점수, V=해당소유역 우선지표 사용인자에 대한 값(예: BOD 비점부하량), V_{max} =해당소유역 우선지표 사용인자의 최대값, 그리고 V_{min} =해당소유역 우선지표 사용인자의 최소값이다.

한편 목표수질 초과율은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법」 시행규칙 제10조에 따라 변환분산, 변환평균수질 그리고 평균수질을 구한 후에, 이를 이용하여 식 (5)와 같이 계산한다.

$$\text{변환분산} = \frac{\{\ln(\text{측정수질}) - \text{변환평균수질}\}^2 + \dots}{(\text{측정횟수} - 1)} \quad \text{식 (2)}$$

$$\text{변환평균수질 (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{\{\ln(\text{측정수질}) + \ln(\text{측정수질}) + \dots\}}{\text{측정횟수}} \quad \text{식 (3)}$$

$$\text{평균수질 (mg L}^{-1}\text{)} = e(\text{변환평균수질} + 0.675 \times \sqrt{\text{변환분산}}) \quad \text{식 (4)}$$

$$\text{목표수질초과율} = \frac{(\text{평균수질} - \text{목표수질})}{\text{목표수질}} \times 100 \quad \text{식 (5)}$$

2) 보내 소유역별 비점오염관리 우선순위 산정 및 중점관리지역 선정 방법

어느 보의 상류 소유역에서 배출되는 T-P비점부하량이 이 보의 T-P수질에 직접 영향을 주는 정도를 반영할 수 있는 (e) 지표값은 식 (6)으로부터 산정한다.

$$S_{subwatershed} = \frac{\text{직접영향소유역수}}{\text{전체소유역수}} \times \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \times 100 \quad \text{식 (6)}$$

여기서, 전체 소유역수는 어느 수계의 유역내 전체 소

유역수(예: 영산강의 전체 소유역수 164개)이고 직접영향 소유역수는 보별 상류에 위치한 소유역수(하류보 기준에서는 상류보내 소유역들은 제외)이다. V_{max} 와 V_{min} 은 어느 보 유역내의 소유역들 중에서 T-P 부하량의 최대값과 최소값을 각각 나타내며 V 는 계산하려는 소유역의 T-P 부하량을 의미한다. 한편 보로부터 어느 소유역까지 떨어진 (f) 유하거리를 반영하기 위해 만점을 산정한 후 최단 거리를 만점으로 하고 최장거리를 0점으로 하여 거리비에 따라 해당 소유역의 유하거리 지표에 대한 점수를 산정한다.

소유역별 비점오염관리 우선순위 산정을 위한 총 점수는 위에서 설명한 (a)부터 (f)까지의 총 6개 항목들의 합산 값이므로 소유역별 우선순위는 합산값이 높은 차순으로 우선순위를 설정하고, 이들 중에서 상위 10%의 소유역들을 어느 보내의 비점오염관리 우선순위 대상지역으로 하며, 이어서 비점오염 중점관리지역은 비점오염관리 우선대상 상위 10%의 소유역들 중에서 최상위 3개를 책정하여 제시한다 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010). 하지만 비점오염관리 우선순위 대상지역으로 상위 10%를 책정하고 이들 중에서 3개를 중점관리지역으로 제시하고 있으나, 이러한 수치는 지역 특성이나 예산 여건 등에 따라 다르게 책정할 수도 있다.

결과 및 고찰

1. 영산강 수계의 수질현황 분석

영산강 수질현황은 영산강물환경연구소에서 8일 간격으로 각 단위유역말단에서 2003년부터 2009년까지 측정된 데이터를 연평균하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1) BOD

영산강 단위유역의 BOD 수질은 Fig. 2 (a)와 같이 최근 7년간 증감을 반복하는 경향을 나타내고 있는데, 다른 유역에 비해 영본 B, 영본 C, 영본 D의 증감폭이 가장 크게 나타났다. 2009년 가장 수질이 나쁜 단위유역은 영본 B로 수질등급 약간나쁨(IV)이고, 수질이 가장 좋은 영본 E는 수질등급 약간좋음(II)에 해당한다. 모든 단위유역이 BOD목표수질을 달성하지 않는 것으로 분석되었으며 이중 목표수질에 가장 벗어나는 단위유역은 영본 A인 것으로 나타났다.

2) T-P

단위유역별 영산강의 T-P 수질변화는 Fig. 2(b)와 같다.

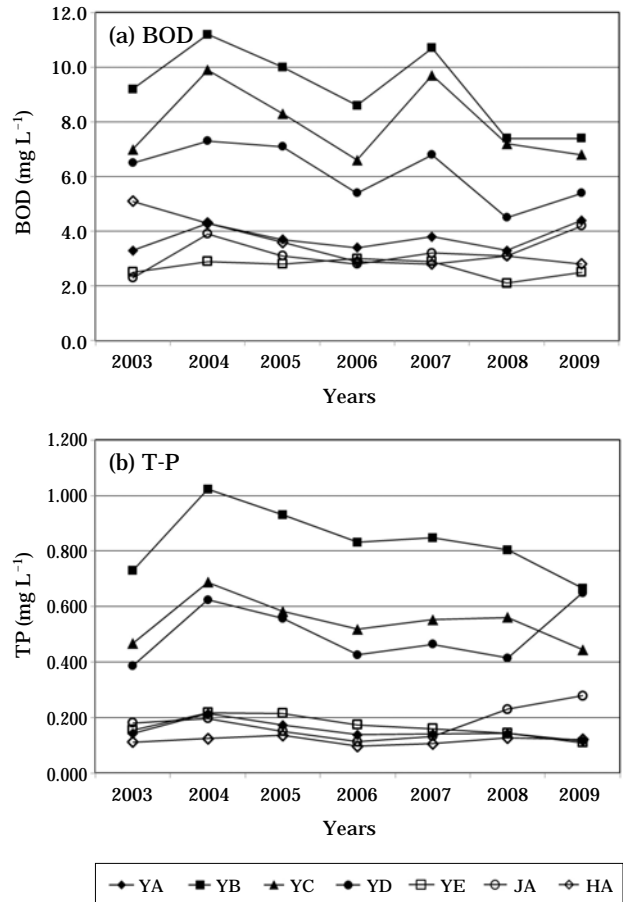


Fig. 2. Yearly change of water quality in each unit watershed. *YA, YB, YC, YD, YE=Youngbon A, B, C, D, E; JA=Jiseok A; HA=Hwangryong A.

T-P의 경우 단위유역 영본 A, 영본 E, 황룡 A는 목표수질을 달성하였고, 영본 A는 영산강유역에서 가장 수질이 좋은 단위유역으로 수질등급 보통(III)에 해당한다. 영본 B는 2004년부터 T-P의 농도가 점점 감소하였으나 수질등급은 매우나쁨(VI)으로 단위유역 중 가장 나쁜 수질을 나타냈고, 영본 D는 목표수질에 가장 벗어나는 유역으로 2006년과 비교하여 2009년에 0.269 mg L⁻¹만큼 농도가 상승하였다.

2. 영산강 유역의 오염부하량 분석

영산강 유역을 대상으로 본 논문의 연구는 2010년에 이루어졌고 이때 공인된 가장 최근의 오염총량관리 단위유역별 배출부하량 자료는 2007년을 기준으로 Tables 1, 2와 같으며 이러한 배출부하량은 「수계오염총량관리기술지침 (National Institute of Environmental Research, 2004)」에 의해 계산된 것이다 (Gwangju Metropolitan

Table 1. Status of BOD discharge loads of each unit watershed. (Unit: kg day⁻¹)

Unit watershed	Total pollution load	Point pollution load	Nonpoint pollution load					
			Total	Populations	Livestocks	Industrial facilities	Landfill sites	Land
YA	5,318.3	1,449.7	3,868.5	12.4	1,063.1	0.1	1.0	2,791.9
YB	21,572.2	9,886.2	11,685.9	810.3	738.9	21.3	0.0	10,115.4
YC	13,206.9	4,057.3	9,149.6	108.4	4,412.6	2.8	0.1	4625.7
YD	7,957.8	1,392.9	6,565.0	28.4	3,197.8	0.7	0.0	3,338.0
YE	13,511.3	2,461.4	11,049.9	48.5	6,133.3	1.0	0.0	4,867.1
JA	4,052.3	1,113.9	2,938.5	4.5	802.6	0.0	0.0	2,131.4
HA	3,280.7	665.2	2,615.5	7.0	578.5	0.7	0.0	2,029.2

*YA, YB, YC, YD, YE=Youngbon A, B, C, D, E; JA=Jiseok A; HA=Hwangryong A

Table 2. Status of TP discharge loads of each unit watershed. (Unit: kg day⁻¹)

Unit watershed	Total emission load	Point pollution load	Nonpoint pollution load					
			Total	Populations	Livestocks	Industrial facilities	Landfill sites	Land
YA	298.6	89.1	209.5	0.45	59.49	0.01	0.05	149.49
YB	1,791.1	1,444.4	346.7	27.96	37.54	1.54	0.00	279.63
YC	1,012.5	465.9	546.6	4.50	317.94	0.46	0.01	223.65
YD	420.4	63.9	356.5	0.78	187.96	0.11	0.00	167.61
YE	742.0	102.7	639.3	1.01	373.44	0.03	0.00	264.82
JA	268.8	100.1	168.7	0.23	51.53	0.00	0.00	116.93
HA	181.8	51.1	130.7	0.53	27.51	0.09	0.00	102.54

City, 2009; Jeollanam Province, 2010). 영산강 유역의 총 BOD 배출부하량은 68,899.5 kg d⁻¹, 총 T-P 배출부하량 4,715.2 kg d⁻¹로 나타났는데 BOD 비점부하량은 47,872.9 kg d⁻¹로 약 69.5%이며, T-P 비점부하량은 2,398.0 kg d⁻¹로 약 50.9%를 나타냈으며 BOD, T-P 모두 높은 비점기여율을 나타내었다. 단위유역별로는 총 배출부하량 BOD 21,572.1 kg d⁻¹로 영본 B가 가장 높으며, T-P의 경우 639.3 kg d⁻¹로 영본 E가 가장 높았다. 그리고 영본B의 T-P를 제외하고 단위유역별로 BOD와 T-P 모두 비점부하량의 비율이 점부하량에 비해 높게 나타났다.

한편 승촌보 유역의 오염물질 배출부하량은 BOD 30,171.2 kg d⁻¹과 T-P 2,271.4 kg d⁻¹이고, 이 중에서 비점기여율은 BOD 60.2%와 T-P 30.2%이며, 죽산보 유역의 경우에는 BOD 17,259.3 kg d⁻¹과 T-P 1,194.2 kg d⁻¹이고, 이 중에서 비점기여율은 BOD 70.0%와 T-P 56.7%이다. 광주광역시 포함된 승촌보 유역에 비해 대부분 농촌지역인 죽산보 유역이 비점 기여율이 상대적으로 더 높게 나타났다.

3. 목표수질초과율 분석

본 연구에서는 영산강수계의 단위유역 영본 A, 영본 B, 황룡 A의 목표수질 초과유역을 분석하기 위한 BOD 수

질기준은 “환경부 고시 제2004-54호”의 “영산강·섬진강 수계 광주시·도 경계지점의 목표수질”, T-P 수질기준은 “환경부 고시 제2008-62호”의 “영산강·섬진강수계 광주시·도 경계지점의 총인 목표수질” 고시에서 설정한 단위유역별 목표수질로 하였다. 단위유역 영본 C와 영본 D, 영본 E, 지석 A, 황룡 A는 영산강·섬진강 수계 제2단계 수질오염총량관리 기본계획의 목표수질을 반영하였다(Table 3). 목표수질 초과율을 산정하기 위해 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법」 시행규칙 제10조 총량관리 단위유역 수질 측정방법에서 명시되어 있는 수질평균 방법에 의해 최근 3년(2007년 1월~2009년 12월) 동안의 수질로 평균수질을 산정하여 영산강 수계의 수질을 평가하였다(Gwangju Metropolitan city, 2007).

영산강수계는 총 7개의 단위유역과 164개의 소유역으로 이루어져 있으며, 수질측정의 경우 각 단위유역 말단에서 측정되고 단위유역내 소유역들에 대한 수질은 측정되지 않고 있다. 따라서 각각의 소유역들에 대한 목표수질 초과율은 해당 단위유역의 목표수질 초과율과 같게 측정하였다. 영산강 수계 목표수질 초과율은 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에 나타내었다.

2007~2009년 동안의 하천 수질측정자료를 기준으로

Table 3. Excess rate of target water quality of each unit watershed.

Unit watershed	BOD			TP		
	Target water quality (mg L ⁻¹)	Average water quality (mg L ⁻¹)	Excess rate of target water quality (%)	Targetwater quality (mg L ⁻¹)	Average water quality (mg L ⁻¹)	Excess rate of target water quality (%)
YA	2.1	3.8	83.3	0.151	0.132	Achievement
YB	5.6	8.5	52.5	0.620	0.771	24.3
YC	5.2	8.0	52.9	0.428	0.523	22.1
YD	5.2	5.6	8.1	0.350	0.405	15.8
YE	2.4	2.5	3.7	0.159	0.138	Achievement
JA	2.7	3.5	28.5	0.171	0.214	25.2
HA	2.2	2.9	31.8	0.130	0.118	Achievement

목표수질과 비교하였을 때, 영산강수계내 모든 소유역이 BOD 기준을 초과하였다. 특히 영본 A의 경우 전체 소유역중 83.3%가 목표 수질을 초과한 것으로 나타났으며, 다음으로는 영본 C, 영본 B, 황룡 A, 지석 A, 영본 D, 영본 E의 순으로 목표수질을 초과하는 것으로 분석되었다(Table 3). T-P의 경우 영산강 수계내 총 100개 (61.0%)의 소유역이 목표수질을 초과한 것으로 나타났으며, 이 중 지석 A의 소유역 중 25.2%(20개 소유역)가 목표 수질을 초과하는 것으로 나타나 가장 높은 초과율을 보였다. 지석 A 다음으로는 영본 B, 영본 C, 영본 D의 순이며 영본 A, 영본 E, 황룡 A의 소유역들은 모두 목표수질을 달성하였다.

4. 단위면적당 비점배출부하량 분석

영산강 유역 내 소유역 164개의 단위면적당 비점배출부하량의 배출 특성을 분석하기 위해 면적대비 비점배출부하량을 산정하였다. 단위면적당 BOD 비점배출부하량의 경우에 Fig. 4(a)와 같이 소유역 11개가 30 kg km² · d⁻¹ 이상의 높은 부하량을 나타내었고 상위 10%에는 대부분 광주광역시가 위치한 영본 B의 소유역들이 차지하였으며, 그 밖에도 영본 E18, 영본 E20의 소유역들도 상위 10%에 해당되었다. 가장 높은 BOD 비점배출부하량을 보인 소유역은 영본 B10으로 95.1 kg km² · d⁻¹로 나타났다. 단위면적당 T-P 비점배출부하량의 경우에 Fig. 4(b)와 같이 소유역 21개가 1.0 kg km² · d⁻¹일 이상의 높은 부하량을 나타내었으며 영본 B, C, D, E에 고루 분포되어 있다. 가장 높은 T-P 비점배출부하량을 보인 소유역은 영본 E18로 3.4 kg km² · d⁻¹이고, 가장 낮은 T-P 비점배출부하량을 보인 소유역은 0.1 kg km² · d⁻¹로 영본 E36이다.

5. 영산강수계 전체 우선대상지역 선정

우선순위지표 합산 결과와 이에 따른 우선순위 분포는 Fig. 5와 같다. 수계전체 우선대상지역은 상위 10%에 해

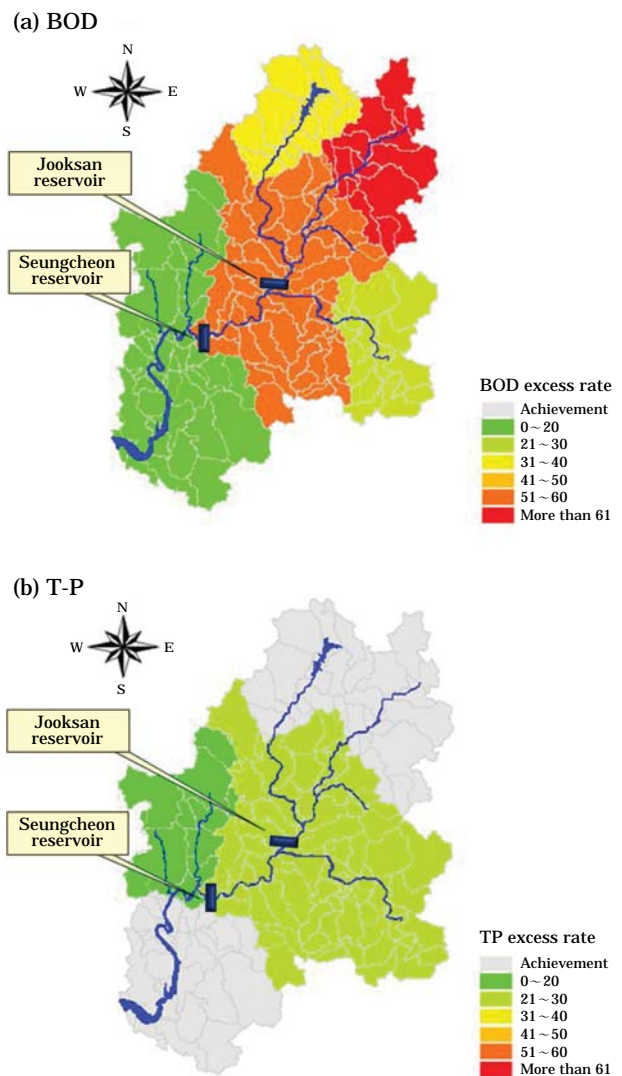


Fig. 3. Excess rate of target water quality (BOD,TP).

당하는 소유역을 중점관리지역으로 선정하였다. 그 결과 영본 B05, 영본 C24, 영본 B15, 영본 B10, 영본 B24, 영

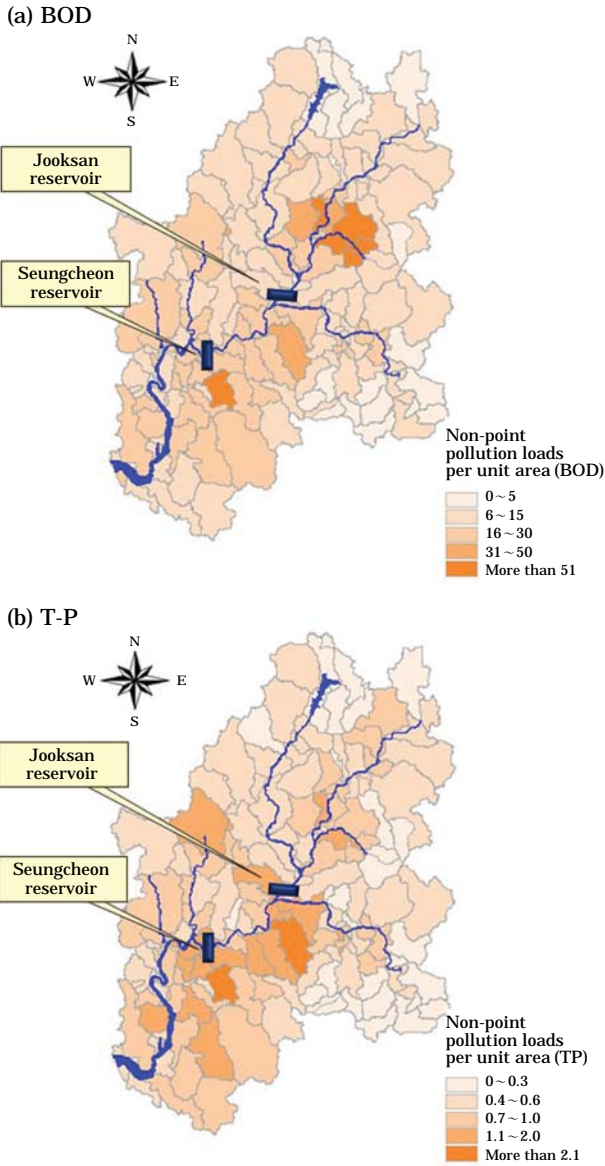


Fig. 4. Non-point pollution loads per unit area (BOD, TP).

본 B14, 영본 B09, 영본 B11, 영본 B07, 영본 C09, 영본 C25, 영본 C30, 영본 E18, 영본 B04, 영본 C12, 영본 C22 순으로 선정되었다. 영산강 수계내 보들의 수질에 영향을 미치는 단위유역 영본 B와 영본 C의 소유역들이 거의 모두이나, 영산강수계 전체 소유역들을 대상으로 함으로서 보의 수질과 전혀 연관이 없는 영본 E에 속한 소유역도 선정됨을 알 수 있다.

6. 승촌보와 죽산보의 중점관리 소유역 선정

「4대강 살리기 사업에 따른 비점오염원 관리 방안 연

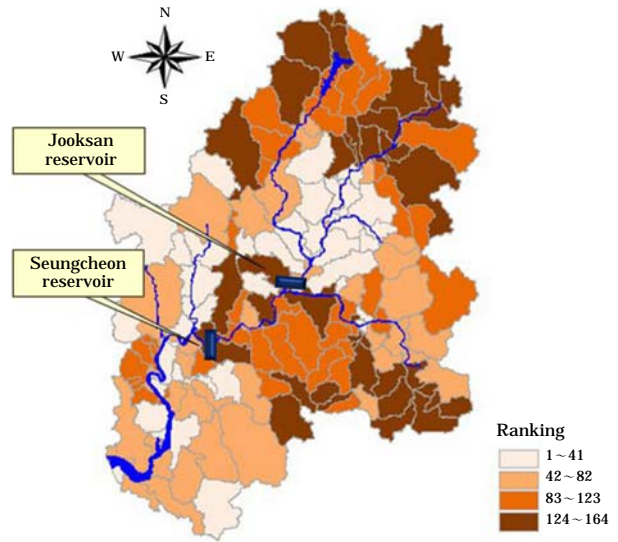


Fig. 5. Ranking of non-point pollution management regions.

Table 4. Priority grades of non-point pollution management regions by reservoir.

Rank	Seungcheon reservoir		Jooksan reservoir	
	Watershed	Score	Watershed	Score
1*	YB15	391	YC24	395
2*	YB05	382	YC25	311
3*	YB10	345	YC30	297
4	YB24	325	YC34	289
5	YB14	308	YC22	281
6	YB11	288	YC17	281

*: Priority grades of management regions

구 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)」에서 제시한 방법에 따라 보별 유역내 비점오염관리 우선대상 및 중점관리 소유역들을 선정하여 Table 4에 나타내었다. 승촌보 유역의 중점관리지역은 총 57개의 소유역들 중에서 영본 B15, 영본 B05, 영본 B10이고, 죽산보 유역의 경우에는 총 55개의 소유역들 중에서 영본 C24, 영본 C25, 영본 C30으로 나타났다. 이는 영산강수계 전체 소유역들을 대상으로 한 결과와 다른 결과를 나타냈었는데, 그 이유는 식(6)에 보여지는 바와 같이 보에 직접 영향을 주는 T-P 부하량 지표 점수 그리고 보와 소유역간 유하거리 지표 점수를 식(1)의 합산 값에 추가하였기 때문이다. 이와 같은 결과는 어느 보 유역의 소유역별 비점오염관리 우선순위 산정 및 중점관리지역 선정을 위하여 고려하는 총 6개 항목들(BOD와 T-P의 단위

면적당 비점부하량, 최근 3년간의 BOD와 T-P 목표수질 초과율, 보유역내 소유역의 T-P 총부하량, 보와 소유역간 유하거리)의 지표값 산정방법들이 유용하게 활용될 수 있음을 보여 준다. 그러나 이 중에서 유하거리에 따른 영향은 수질모델링 방법을 통해 산정하는 것이 더 합리적일 수도 있다고 판단된다.

결 론

영산강수계의 소유역별 BOD 및 T-P 단위면적당 비점 오염부하량 그리고 BOD 및 T-P 목표수질초과율, T-P 부하량, 유하거리 등을 사용하여 소유역별 비점오염관리 우선대상 및 중점관리지역 선정에 관한 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 영산강수계 전체를 대상으로 하는 비점오염관리 우선대상 소유역들은 영본 B05, 영본 C24, 영본 B15, 영본 B10, 영본 B24, 영본 B14, 영본 B09, 영본 B11, 영본 B07, 영본 C09, 영본 C25, 영본 C30, 영본 E18, 영본 B04, 영본 C12, 영본 C22의 순이었다.
- (2) 영산강수계에 설치된 2개 보들 유역에서 BOD와 T-P의 비점오염원 배출부하량은 승촌보가 각각 18,163 kg d⁻¹과 686 kg d⁻¹으로서 전체 오염배출부하량 대비 각각 60.2%와 30.2%이며, 죽산보의 경우에는 각각 12,082 kg d⁻¹과 677 kg d⁻¹으로서 전체 오염배출부하량 대비 각각 70.0%와 56.7%이다.
- (3) 이때 승촌보 유역의 비점오염관리 우선대상 소유역들은 영본 B15, 영본 B05, 영본 B10, 영본 B24, 영본 B14, 영본 B11이고, 죽산보 유역의 경우에는 영본 C24, 영본 C25, 영본 C30, 영본 C34, 영본 C22, 영본 C17로 나타났다.
- (4) 그러나 이러한 상위 10%의 소유역들 모두에 비점오염 저감시설들을 설치하는 것은 예산 등의 측면에서 곤란함으로 「4대강 살리기 사업에 따른 비점오염원 관리 방안 연구 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010)」에서와 같이 각각의 보에 최상위 순위 3개씩을 비점오염 중점관리지역으로 선정하여 비점오염저감 방안을 각각 마련하여 우선 추진할 필요성이 있다.

사 사

본 연구는 「4대강 살리기 사업에 따른 비점오염원 관

리 방안 연구」의 일부이며, 국토해양부의 연구비 지원에 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

- Choi, J.Y. 1997. A study on urban nonpoint source pollution management, Korea Environment Institute.
- Gwangju Metropolitan City. 2007. Basic plan and detailed design report for nonpoint pollution control facility installation projects.
- Gwangju Metropolitan City. 2009. Basic plan for the 2nd TMDL management in Yeongsan river, Gwangju.
- Go, S.H., S.A. Memon and C.H. Lee. 2009. Characterization of stormwater pollutants and estimation of unit loads for road and parking lot in Gyeongang Stream watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**: 689-696.
- Jeollanam Province. 2010. Basic plan for the 2nd TMDL management in Yeongsan river, Jeollanam-do.
- Joo, J.H., Y.S. Jung, J.E. Yang, Y.S. Ok, S.E. Oh, K.Y. Yoo and S.C. Yang. 2007. Assessment of pollutant loads from alpine agricultural practices in Nakdong river basin. *Korean Journal of Environmental Agriculture* **26**(3): 233-238.
- Jung, W.H., S.J. Yi, G.H. Kim and S.M. Jeong. 2011. Watershed selection for diffuse pollution management based on flow regime alteration and water quality variation analysis. *Journal of Korean Society on Water Quality*, **27**(2): 228-234.
- K-Water, Juam dam management corps, Korea water resources corporation. 2004. Inflow characteristics and decrease plan of nonpoint pollution materials for Juam dam.
- Lim, B.S., B.W. Cho, Y.I. Kim and D.Y. Kim. 2010. Application of priority order selection technique for water Quality improvement in stream watershed by relationship of flow and water quality. *Korean Society of Environmental Engineers*, p. 802-808.
- Ministry of Environment. 2005. Nonpoint source management handbook.
- Ministry of Environment. 2006. Water environment management master plan.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2009. Master plan for four major rivers restoration.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 2010. Four-river restoration project in accordance with NPS Management Study.
- National Institute of Environmental Research. 2004. Technical guidance for TMDL management.

Park, S.H., W.H. Jeong, S.J. Yi and B.S. Lim. 2010. A study for the selection method of control area of nonpoint pollution source. *Journal of Korean Society on Water Quality* **26**(5): 761-767.

Won, C.H., Y.H. Chio, J.Y. Seo, K.C. Kom, M.H. Shin and J.D. Chio. 2009. Determination of EMC and unit loading of rainfall runoff from forestry-crops field. *Journal of Korean Society on Water Quality* **25**(4): 615-623.

Yur, J.H. and G.H. Kim. 2005. Comparison of discharge characteristics of NPS pollutant loads from urban, agricultural and forestry watersheds. *Journal of Korean Society on Water Quality* **21**(2): 184-189.

(Manuscript received 10 April 2012,
Revised 1 August 2012
Revision accepted 12 September 2012)