

새만금유역의 배출부하 특성

Characteristics of Discharged Loads from Saemangeum Watershed

정재운* 장정렬** 최강원*** 임병진****

Jung, Jae Woon · Jang, Jeong Ryeol · Choi, Kang Won · Lim, Byung Jin

이영재***** 강재홍***** 박혜린***** 조소현*****

Lee, Young Jae · Kang, Jae Hong · Park, Hye Lin · Cho, So Hyun

Abstract

For efficient water quality management of Saemangeum lake, it is very important to accurately analyze discharged load characteristics using investigated pollution sources data from Saemangeum watershed. Investigation of pollution sources was conducted from 2003 to 2007. In this study, pollution sources are largely classified into human population, livestock, industry, and land use. Discharged loads of BOD, T-N and T-P from classified pollution sources were calculated by Korea TMDL (Total Maximum Daily Load) technical guideline. The calculated results showed that the major sources of BOD and T-N were land use, human population, livestock, and industry in order. However, the major sources of T-P were livestock, land use, human population, and industry in order. Our results clearly show that pollution sources of the priority management for water quality enhancement in the Saemangeum lake has represented land use and livestock.

* 국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구원 (sustainwater@korea.kr)

** 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원 (wgjang@ekr.or.kr)

*** 한국농어촌공사 농어촌연구원 수석연구원 (kwchoi@ekr.or.kr)

**** 국립환경과학원 영산강물환경연구소 영산강물환경연구소장 (limbj@me.go.kr)

***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소 유역환경연구과장 (nier@korea.kr)

***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구원 (acacia00@korea.kr)

***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구원 (awant101@korea.kr)

***** 국립환경과학원 영산강물환경연구소 연구원 (shcho35@korea.kr)

키워드 : 배출부하량, 새만금, 오염원,
BOD, T-N, T-P

I. 서론

우리나라는 1970년대부터 대단위 간척사업을 통해 간척농지와 배후 농경지의 농업용수 확보를 목적으로 유역의 최말단인 하구 또는 해면을 체절하고 해수를 담수화하는 하구담수호를 조성하기 시작하였으며, 이미 금강호, 영산호, 삼교호, 아산호 등이 건설되어 주요 수자원으로 활용되고 있다(권순국 등, 1990). 새만금호 역시 2010년 4월 방조제 준공 후 다양한 목적으로 활용될 예정이다. 하지만 새만금호를 비롯한 이와 유사한 하구담수호의 경우 집수유역의 최말단에 위치해 있어 각종 오염물질들이 유입되고 있다. 특히, 최근 들어 급속한 인구증가와 도시발달, 산업의 고도화에 따라 오염물질 배출량이 상승하여 유역으로부터의 오염부하 유입량이 증가하고 있어 하구, 연안 등의 수질악화가 가속화 되고 있는 실정이다. 실례로 1996년 시화호 수질오염이 사회적 문제로 부각되면서 하구담수호의 수질오염에 대한 국민들의 관심이 매우 커졌다(윤과 함, 2000). 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 하구담수호 상류유역으로부터 유입되는 오염부하량을 감소시키는 것이 무엇보다 중요하며, 오염시작량을 감소시키기 위해서는 오염원관리를 통한 배출원 관리가 중요하다. 뿐만아니라 오염원 조사를 통한 배출부하량의 정량적 산정과 산정된 배출부하량 자료를 이용하여 오염원별 관리대상 우선순위 선정이 필요하다.

배출부하량이란 발생부하량(점오염 또는 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질 양)이 처리 후(또는 무처리) 공공수역으로 배출되는 오염물질의 양을 의미하며, 현재 환경부에서는 전국적으로 오염원조사 및 배출부하량을 산정하고 있다. 환경부에서는 유역에서 배출되는 오염원은 생활계, 산업계, 축산계, 토지계,

매립계, 양식계로 분류하고 있다(국립환경과학원, 2007). 생활계 배출부하량은 유역에서 거주 및 활동하는 인구로부터 발생하여 배출되는 오염부하량이고, 산업계 배출부하량은 산업시설, 축산계 배출부하량은 소, 돼지, 가금 등의 가축, 토지계 배출부하량은 논, 밭, 임야, 대지, 도로, 매립계 배출부하량은 매립계, 양식계 배출부하량은 양식시설로부터 발생되어 배출되는 부하량을 의미한다.

현재 배출부하량 산정 및 특성에 관한 연구는 다양한 연구자들에 의해 수행되었는데, 이 등(2004)이 동진강 정읍천 유역의 배출부하량 자료를 이용하여 BOD, T-P, T-N 유달율을 산정하였고, 황과 박(2005)은 금강수계 천안시 권역을 대상으로 오염원 조사를 실시하고 배출부하량을 산정 후 추세분석을 통하여 미래 금강유역에 대한 배출부하량을 산정하였다. 또한, 임 등(2007)은 대전광역시외의 배출부하특성을 분석한 후 이에 대한 저감방안에 대한 연구를 수행하였고, 김 등(2007)과 한 등(2008)은 각각 불투수층 토지이용에 대한 배출원단위 분석과 가축의 유기성 오염물 발생에 따른 배출부하 원단위 산정에 대한 연구를 수행하였다. 최 등(2008)은 영산강수계 총량관리단위유역의 배출부하량과 단위유역 말단의 수질자료를 이용하여 상관성 분석을 실시

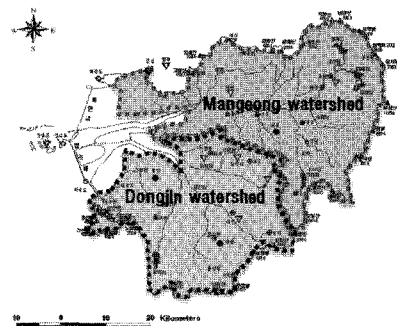


Fig. 1. Location of Study Site

Table 1. Annual Change of Point Source Pollution in Saemangeum Watershed

Watershed	Mangeong	Dongjin	Reclaimed tidal land	Etc.	Total
Area (km ²)	1,571	1,034	401	313	3,319

하였고, 농어촌연구원(2009)에서는 배출부하량 자료를 HSPF 오염원 자료로 입력하여 모델링 검보정을 수행한 바 있으며, 박과 오(2010)는 배출부하량에 대한 강우영향 분석에 관한 연구를 수행하였다. 오염원 자료를 통해 산정된 배출부하량은 특정유역의 배출부하 특성, 실측수질과의 통계분석, 모델링 입력자료 등 다양한 분야에 활용되고 있으며, 이러한 결과물들은 향후 국내 수계의 효율적 수질관리를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만 현재까지 새만금 상류유역 전체를 대상으로 오염원 조사, 배출부하량 산정 및 특성에 관한 연구는 매우 부족하다. 본 연구는 2003년부터 2007년까지 오염원조사를 통해 배출부하량을 산정하고, 산정된 배출부하량자료를 이용하여 새만금상류유역의 오염부하 배출특성을 분석한 후 새만금호의 효율적 수질관리를 위한 우선순위 관리대상 오염원을 제안하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 조사지구 현황

본 연구의 조사지구는 새만금 유역이다. 새만금 유역은 만경강 유역, 동진강 유역, 인근의 서해안 일부 유역 및 새만금 간척개발지로 구분된다. 유역의 면적은 3,319km²이고, 만경강과 동진강의 유역면적은 각각 1,571km²와 1,034km²이며, 전체 유역면적의 78.5%를 차지하고 있다. 서해안 유역은 전체 유역면적의

9.4%인 313km²를 차지하며, 새만금 내부 간척 개발지는 401km²로써 12.1%를 차지하고 있다. 새만금유역은 전주시를 비롯한 5개시와 3개군으로 구성되고, 완주군이 전체 유역의 21.7%인 719.3km², 정읍시가 19.9%인 661.8km²를 차지하며, 고창군이 1.5%인 51.29km²로 가장 작은 구성비를 갖고 있다. 새만금 전체 유역의 유역도는 Fig. 1과 같다.

2. 오염원 조사

새만금 유역에 대한 오염원조사는 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계로 구분하여 2003년부터 2007년까지 조사하였다. 조사방법은 제2단계 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2007)에 규정된 방법과 양식에 따라 조사하였다.

3. 배출부하량 산정

유역 내에 존재하는 오염원으로부터 발생된 오염물은 수체에 도달하는 과정에서 유역의 특징이나 지천의 자정능력에 의해 그 양이 변하게 되며 여러 가지 오염현상을 유발하게 된다(이 등, 2004). 이때 오염원으로부터 발생하는 오염물질총량을 발생부하량이라하고, 폐수처리장과 같은 환경기초시설을 통하여 일정부분 제거된 후 배출되는 오염물질량을 배출부하량이라고 한다.

본 연구에서는 배출부하량을 산정하기 위해서 우선 새만금 유역의 오염원을 조사하였으며, 조사된 오염원 자료를 이용하여 제2단계

수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2007)에서 제시된 배출부하량 산정방법을 이용하여 배출부하량을 산정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 오염원 조사 결과

가. 점오염원

새만금 유역의 연도별 오염원은 Table 2와 같다. 새만금 유역의 인구현황은 2003년 약 1,424천명에서 2007년 약 1,379천명으로 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며, 인구감소에 따른 물 사용량도 2003년 549,000m³/day에서 2007년 533,000m³/day로 감소하는 경향을 나타냈다. 산업 활동으로 인한 산업폐수 발생량은 2003년 236,401m³/day에서 2005년 233,218m³/day로 감소하다가 이후 증가하는 경향을 보였다. 이는 2005년 이후 지역경제의

활성화를 위하여 공단조성 및 공단의 활성화 방안 등이 수회에 걸쳐 수립되어 산업체 수가 점차 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

축종별 사육두수를 살펴보면, 한우의 경우 2003년 105,000두에서 2004년 79,000두로 감소하다가 이후 꾸준히 증가하는 경향을 보였지만, 젓소의 경우 2003년 22,000두에서 2007년 18,000두로 감소하는 경향을 보였다. 돼지의 경우 연도별로 불규칙한 증감현상을 나타냈다. 한편, 가금류의 경우 조류인플루엔자의 영향으로 2005년과 2006년에 사육두수가 급감하다가 2007년에 다시 급증하는 경향을 보였다.

나. 비점오염원

비점오염원 발생은 토지이용에 따라 가장 큰 영향을 받으며, 같은 토지이용이라도 기상 특성과 각종 유역특성에 따라 그 발생정도가 다르다(이 등, 2004). 새만금 유역의 토지이용현황은 Table 3과 같고, 산림과 논이 많은

Table 2. Annual Change of Point Source Pollution in Saemangeum Watershed

Sources	2003	2004	2005	2006	2007
Human population (person)	1,424,073	1,404,091	1,384,953	1,379,745	1,379,652
Water use (m ³ /day)	549,185	541,398	535,023	532,404	533,821
Korean beef cattle (head)	105,423	79,160	99,413	97,776	113,334
Milk cow (head)	22,962	20,785	18,901	17,574	18,520
Pig (head)	766,315	759,482	711,441	732,746	747,228
Chicken (head)	16,254,780	15,352,090	11,726,060	8,898,537	14,738,262
etc. (head)	7,842	18,411	9,499	28,675	32,489
Industrial waste water (m ³ /day)	236,401	228,797	233,218	239,462	265,419

Table 3. Annual Change of Nonpoint Source Pollution in Saemangeum Watershed

<Unit: km²>

Sources	2003	2004	2005	2006	2007
Upland	289	290	289	287	285
Paddy	913	912	914	908	902
Forest	1,205	1,203	1,203	1,201	1,199
Lot	271	276	279	285	291
etc.	363	370	363	363	365

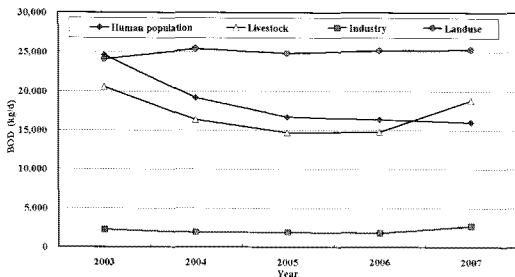


Fig. 2. Annual Change of BOD Load Discharged from Saemangeum Watershed

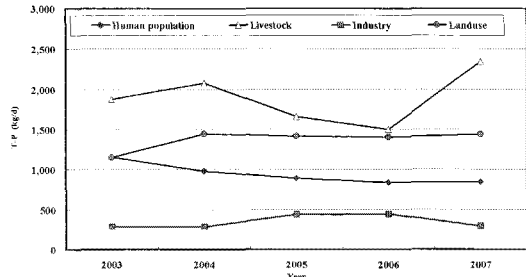


Fig. 3. Annual Change of T-P Load Discharged from Saemangeum Watershed

부분을 차지하고 있다. 토지이용변화는 연도 별로 큰 증감폭은 보이지 않았다.

2. 배출부하량

가. BOD 배출부하량

Fig. 2는 새만금 유역의 조사기간(2003~2007년)동안 오염원별 BOD 배출부하량을 나타낸 것이다. 연도별 생활계 평균 BOD 배출

부하량은 18,592kg/day로 나타났고, 축산계, 산업계, 토지계의 연도별 평균 BOD 배출부하량은 각각 17,057, 2,102, 24,982kg/day로 나타났다(Table 4). 조사기간 동안 BOD 배출부하량 변화 패턴을 살펴보면 생활계 BOD 배출부하량의 경우 2003년을 기준으로 2007년까지 인구감소로 인해 꾸준히 감소하는 경향을 보였고, 축산계 BOD 배출부하량의 경우 2003년부터 2006년까지 감소하다가 2007년에

Table 4. BOD Load Discharged in Accordance with Pollution Sources from Saemangeum Watershed

(Unit: kg/d)

Year	Human population	Livestock	Industry	Landuse
2003	24,635	20,568	2,240	24,105
2004	19,174	16,389	1,896	25,431
2005	16,723	14,686	1,916	24,875
2006	16,382	14,799	1,752	25,177
2007	16,045	18,845	2,706	25,321
Average	18,592	17,057	2,102	24,982

Table 5. T-P Load Discharged in Accordance with Pollution Sources from Saemangeum Watershed

(Unit: kg/d)

Year	Human population	Livestock	Industry	Landuse
2003	1,157	1,876	281	1,150
2004	979	2,077	281	1,443
2005	887	1,658	437	1,415
2006	839	1,502	442	1,404
2007	845	2,341	286	1,438
Average	941	1,891	345	1,370

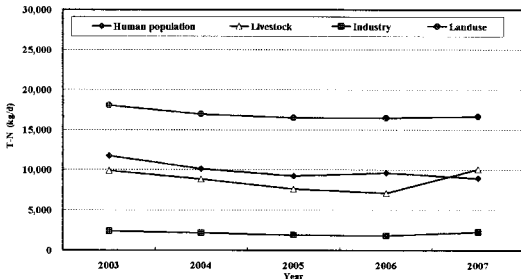


Fig. 4. Annual Change of T-N Load Discharged from Saemangeum Watershed

다시 증가하는 경향을 보였다. 또한 토지계와 산업계의 경우 연도별 BOD 배출변화는 일정한 패턴을 유지하였다. 한편, 새만금 유역의 오염원별 BOD 배출부하량 기여율은 토지계, 생활계, 축산계, 산업계 순으로 나타났다. 이에 따라 향후 새만금호의 수질개선(BOD 기준)을 위한 오염원별 우선순위는 토지계로부터 발생하는 비점오염원 처리에 중점을 두어야 할 것으로 판단된다.

나. T-P 배출부하량

조사기간 동안 새만금 유역의 오염원별 T-P 배출부하량은 Fig. 3과 같다. 새만금 유역의 연평균 T-P 배출부하량은 생활계의 경우 941kg/day로 나타났고, 축산계는 1,891 kg/day, 산업계 및 토지계는 각각 345kg/day와 1,370kg/day로 나타났다(Table 5). 연도별 생활계 T-P 배출부하량 변화 패턴은

BOD 배출부하량과 유사하게 꾸준히 감소하는 경향을 보였고, 축산계 T-P 배출부하량은 연도별로 반복적인 증감현상을 보였다. 토지계 T-P 배출부하량은 2003년을 기준으로 2004년에 증가하였다가 이후 일정하게 유지되었으며, 산업계의 경우 연도별로 일정한 변화를 보였다. 오염원별 T-P 배출부하량의 기여율은 축산계, 토지계, 생활계, 산업계 순으로 작아졌다. 한편, BOD 배출부하량과 달리 T-P 배출부하량의 경우 축산계에서 T-P 배출부하량이 가장 높게 나타났는데 이는 다른 오염원에 보다 축산계에서 배출되는 분뇨의 인 함량이 높기 때문인 것으로 판단되며, 새만금 유역의 T-P 배출부하량을 줄이기 위해서는 축산계를 집중 관리해야 될 것으로 판단된다.

다. T-N 배출부하량

새만금 유역의 조사기간 동안 오염원별 T-N 배출부하량은 Fig. 4와 같다. 연평균 T-N 배출부하량은 생활계는 9,938kg/day로 나타났으며, 축산계, 산업계, 토지계의 T-N 배출부하량은 각각 8,718, 2,109, 16,904kg/day로 조사되었다(Table 6). 연도별 토지계 및 생활계 T-N 배출부하량은 2003년에 가장 컸으며, 이후 감소하다 일정하게 유지되는 경향을 보였으며, 산업계 T-N 배출부하량은 연도별로 일정하게 유지되었다. 한편, 축산계 T-N 배출부하량의 경우 2003년 이후로 감소하다

Table 6. T-N Load Discharged in Accordance with Pollution Sources from Saemangeum Watershed

Year	Human population	Livestock	Industry	Landuse
2003	11,756	9,912	2,396	18,026
2004	10,108	8,846	2,185	16,912
2005	9,225	7,620	1,869	16,459
2006	9,651	7,130	1,837	16,497
2007	8,951	10,083	2,259	16,625
Average	9,938	8,718	2,109	16,904

2007년에 오염원(가축사육두수)의 증가로 인해 T-N 배출부하량이 증가하는 경향을 보였다. 오염원별 T-N 배출부하량 기여율은 토지계, 생활계, 축산계, 산업계 순으로 컸으며, 향후 T-N 배출부하량 저감을 위해서는 토지계에서 발생하는 비점오염에 처리에 중점을 두어야 할 것으로 판단된다.

합리적인 추세분석 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 2009년도 농어촌연구원에서 시행한 새만금호 수질예측모델연구의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 새만금호의 효율적 수질관리를 위해 2003년부터 2007년까지 새만금 상류유역의 오염원을 조사하였고 환경부 수계오염총량관리기술지침에 의거하여 배출부하량을 정량적으로 산정하였다. 산정된 배출부하량 자료를 이용하여 오염원별 배출특성을 파악하고 새만금 상류유역의 주요 관리대상 오염원을 제안하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) BOD 배출부하량 및 T-N 배출부하량에 큰 영향을 미치는 오염원은 토지계로 나타났으며, T-P 배출부하량에 큰 영향을 미치는 오염원은 축산계로 나타났다.

2) 환경부 수질오염총량관리 대상물질이 BOD와 T-P임을 고려해 볼 때, 새만금유역 및 호소의 성공적 수질오염총량제 실현과 만족할 만한 수질개선을 위해서는 토지계로부터 발생하는 비점오염원 및 축산계에 대한 집중관리가 필요할 것으로 판단된다.

하지만, 본 연구의 결과는 2003부터 2007년까지의 오염원 자료를 대상으로 산정된 배출부하량자료만을 이용하여 새만금유역의 배출부하특성을 고찰하였기 때문에 향후 좀 더 정확한 새만금유역의 배출부하특성을 파악하기 위해서는 새만금에 조성될 간척지 토지이용, 각종 오염원에 대한 예측, 이를 바탕으로한

참고문헌

1. 국립환경과학원, 2007, 제2단계 수계오염총량관리 기술지침.
2. 권순국, 유명진, 방기웅, 고덕구, 1990, 담수호의 수질예측 및 부영양화 방지에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 10(4), pp.159~171.
3. 김미리, 신동석, 강형석, 류덕희, 2007, 불투수성 토지이용에 대한 배출원단위 분석, 서울시연구, 8(2), pp.187~196.
4. 농어촌연구원, 2009, 새만금 수질예측 모델연구.
5. 박준대, 오승영, 2010, 수질오염총량관리 배출부하량에 대한 강우영향 분석연구, 수질보전 한국물환경학회지, 26(4), pp.648~653.
6. 윤춘경, 함종화, 2000, SWMM과 WASP5 모형을 사용한 하구담수호의 수질예측, 한국환경농학회지, 19(3), pp.252~258.
7. 이경보, 김종천, 박지혜, 이덕배, 김종구, 2004, 동진강 정읍천 유역 오염부하량 평가, 한국환경농학회지, 23(1), pp.41~45.
8. 임수빈, 이재근, 정우혁, 정환도, 2007, 수질오염총량관리에 따른 대전광역시 오염부하량 배출 특성에 관한 연구, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집, pp.893~899.
9. 전라북도, 2008, 전라북도 통계연보.
10. 최문수, 고은택, 김옥선, 이수형, 장남익, 2008, 영산강수계 총량관리단위유역 배출부하량 및 수질변동 분석, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동총계학술발표회 논문집, pp.588~589.
11. 한준석, 윤지현, 한기봉, 2008, 닭, 오리, 말, 사슴, 염소 및 양에 의한 유기성 오염물 발생에 따른 배출부하 원단위 산정, 유기물자원화, 16(2), pp.66~73.
12. 황병기, 박주혁, 2005, 금강수계 천안시권역에 대한 오염원 조사 및 부하량 산정, 상명대학교 공학기술연구소 pp.1~7.