

GIS기반의 오폐수 분석에 관한 연구

GIS-based Water Pollution Analysis

이철용^{1)*}, 김계현²⁾, 박태옥³⁾

Cholyoung Lee, Kyeheun Kim, Taeog Park

- 1) 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정 khsakura82@inhaian.net
- 2) 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 교수 kyehyun@inha.ac.kr
- 3) 한국전과진흥원 정보통신교육단장 topark@korpa.or.kr

요 약

현재 한강수계를 제외한 3대강 수계에서 수질오염총량관리제도가 의무제로써 시행되고 있다. 그러나 과학적 타당성과 외국의 성공사례들로 하여금 한강수계에 대해서도 수질오염총량제도를 의무제화 하려는 시도가 추진되고 있고 있는 실정이다. 이 제도가 한강수계에도 도입된다면, 한강권역에 포함되는 모든 지자체는 해당 유역에서 하천으로 유입되는 배출부하량을 할당받은 할당부하량 이하로 관리하여야만 정해진 유역의 목표수질을 달성할 수 있으며, 배출부하량 관리를 계획한대로 이행하지 못한 지자체는 범칙금 내지는 행정제재를 받게 된다. 따라서 체계적이고 과학적인 모니터링 및 분석 수단이 필요하다.

이 연구는 환경부 고시 한강기술지침에 의거하여 GIS를 이용하여 인천일대의 오폐수 발생부하량 및 배출부하량을 제시하고 과학적인 오염물질 삭감방안을 모색하는 것을 목적으로 진행되었다. 생활계, 산업계, 축산계, 양식계의 4 가지로 분류된 점오염원과 토지 이용 분류에 따른 비점오염원에 대한 각각의 발생부하량을 GIS를 통해 산정하고, 모든 오염원별로 처리경로를 고려하고 처리시설별, 방법별 삭감 효율을 반영하여 배출부하량을 산정하여 GIS상에서 제시하고 분석하였다. 인천일대는 인근지역에 비해 인구밀도가 높고 산업단지가 발달하여 생활계와 산업계 오염원에 의한 발생부하량 및 배출부하량이 많았으며, 특정 오염물에 대해서는 삭감 계획이 필요함을 확인할 수 있었다. 따라서 수질오염총량관리제도에 대비하고 실제 수질 개선을 위하여 본 연구의 결과를 바탕으로 수질관리를 위한 시스템의 보완 및 삭감계획의 수립에 관한 연구가 필요하다.

1. 서 론

물은 인간 활동의 대부분에 이용되고 있는 자원이다. 현대 사회가 급격히 고도화, 산업화 되어가며 그 이용량이 계속하여 증가하고 있고 이와 비례하여 오폐수의 양도 증가하고 있는 실정이다. 만약, 물의 양이 무한하다면 자정능력도 무한하

여 관리와 보전의 필요가 없겠으나 물은 유한한 자원이고 자정능력에도 한계가 있으므로 반드시 관리와 보전 대책이 필요하다.

그리고 현재 현대 사회에 완전히 진입하면서 인간 생활에 의해 발생하는 수질오염물질이 하천의 자정능력의 한계를 넘어서는 수준에 이르러 더 이상 수질과 하

천 보호에 대해 방관할 수 없는 상황에 봉착해 있다. 이와 관련하여 환경부에서는 수질과 하천 보호를 위하여 그동안 생활하수, 산업폐수 등에 대해 배출허용기준으로써 허용농도를 설정하여 배출농도를 규제하여 보전을 꾀하려 했으나, 농도는 유량에 민감하게 변화하는 등 여러 가지 문제점을 안고 있었고, 개선 및 보전 실적도 기대에 미치지 못했다.

따라서 환경부는 이런 문제점을 해결하고 적극적인 수질 개선과 하천 보호를 위하여 “오염총량관리계획지침(1999년)”을 고시하여, 현재 금강수계, 영산강수계, 낙동강수계의 3대강 수계에 대하여 의무제로써 오염총량관리를 실시하고 있다. 한편, 한강수계의 경우는 현재 임의제로써 시행중에 있으며 의무제로의 정책 추진이 이루어지고 있는 실정이다.

오염총량관리제란, 오염물질의 총량을 관리하는 것으로써 기존의 농도 관리와 달리 절대적인 오염물질 내의 배출부하량을 관리함으로써 유량 변화에 따른 농도 변화의 맹점을 극복하고 실제적 수질 개선에 이바지할 것으로 기대하여 도입된 제도이다. 미국이나 일본에서는 이미 오래전에 농도에 의한 관리의 한계를 인지하고 오염총량관리제를 시행하고 있다. 그리고 우리나라에서도 이런 흐름에 발맞추어 3개 수계뿐만 아니라 한강수계도 이 제도에 포함시켜 전 국토에 대해 오염총량관리제를 시행, 효율적인 수질 관리와 개선을 이루고자 하는 방향으로 정책이 진행되고 있는 실정이다.

오염총량관리제도가 한강수계에 대해서도 의무제로써 실시된다면 한강수계에 포함되어있는 모든 지방행정자치단체도 각 지역에서 하천으로 유입되는 총 오염물질 배출부하량을 할당 받은 할당부하량 이하로 관리하여야만 정해진 유역의 목표수질을 달성할 수 있으며, 혹 반대의 경우에 대해서는 발생한 오염물질에 대한 개선을

위한 범칙금 내지는 행정제재를 받게 된다.

한편, 인천은 한강의 하류와 서해연안의 수질에 직접적인 영향을 줄 수 있는 지역으로써 한강수계의 말단에 위치한다. 앞에서 언급한대로 현재 오염총량관리제도의 대상지역은 아니지만, 이후 의무제로 실시된다면 이 지역 역시 관리 대상 지역이 될 것으로 본다. 인천은 인구가 밀집하고 산업화가 빠르게 진행된 광역시 중에 하나다. 따라서 그 수질오염물질의 양과 오염정도에 대해서 크게 우려되는 지역이지만, 수질오염총량제가 실시되지 않고 있어 실제로 오염물질의 발생부하량과 배출부하량에 대한 정량적인 분석 연구가 미흡한 지역이다. 즉, 오염총량관리제도의 도입에 대비, 체계적인 관리 계획의 수립이 필요한 지역이다.

따라서 이 연구는 인천 일대에서 발생하는 총 오염물질의 발생부하량 및 배출부하량을 산정하고 경향을 분석하여, 앞으로의 오염물질 삭감계획에 필요한 자료를 제공하고 인천 일대 수질 관리 방안을 모색하는데 이바지하고자 진행되었다.

2. 연구내용

2.1 연구대상지역

연구대상지역은 그림 1.의 인천 일대로써 소유역을 기준으로 정하였으며 검은 선은 행정경계를 나타내고 초록 선은 소유역의 경계를 나타낸다. 폴리곤의 색깔로써 각 소유역을 쉽게 구분할 수 있는데, 인천의 서구, 계양구, 부평구와 부천시, 김포시의 일부를 묶는 굴포천 소유역과 인천의 동구, 중구, 남구, 남동구, 연수구와 시흥시를 묶는 인천 소유역이 대상 지역이다.

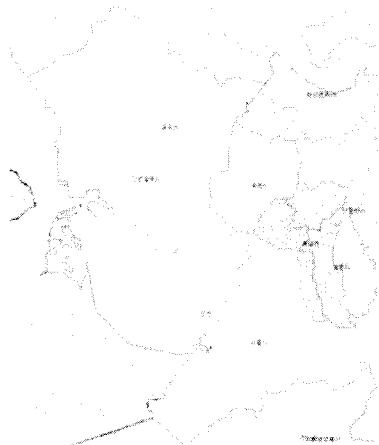


그림 1. 연구대상지역

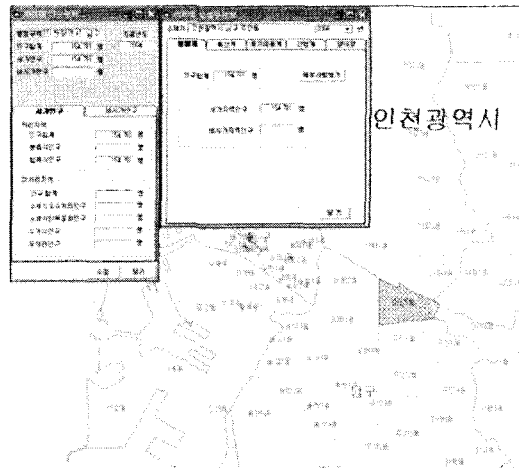


그림 2. 발생부하량 산정을 위한 속성정보의 예

2.2 연구방법

발생부하량 산정은 연구대상지역의 2004년 오염원 현황자료를 기초로 인구, 가축, 폐수배출시설, 양식장, 토지이용 등 오염원별로 고시된 환경부 발생원단위를 사용하여 이루어졌다. 생활계, 산업계, 축산계, 양식계로써 4가지로 분류된 점오염원과 토지이용을 통한 비점오염원에 대하여 소유역 내 포함되어있는 법정동·리별로 발생부하량을 산정하였다. 일부 유역경계와 법정동·리가 일치하지 않는 곳에 대해서는 분할에 대한 점유율을 반영하였고, 분할된 면적이 7% 미만일 경우 분할된 면적자체를 오차로 가정하여 분할면적이 큰 유역에 포함하는 것으로 계산하였다.

점오염원에 대한 발생부하량 산정은 다음과 같은데, 인구에 의한 발생부하량은 인구를 시가화인구와 비시가화인구로 구분하여 각각의 인구를 가정 인구과 영업장 인구로 나누어 원단위를 적용하였다. 축산에 의한 발생부하량은 축종별로 분 및 노에 대해 별도로 추정된 발생원단위를 적용하였다. 폐수배출시설에 의한 발생부하량은 개별 폐수배출시설의 표준산업분류별 발생원단위를 적용하여 산정하였으며, 양식에 의한 발생부하량은 양식장의

시설면적에 발생원단위를 곱하여 산정하였다. 비점오염원에 대한 발생부하량은 해당지역의 지목별 토지면적에 따른 발생원단위를 적용하여 산정하였다. 그림 2.는 발생부하량 산정을 위해 구축한 GIS에 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지이용계의 오염원을 속성정보로써 입력하고 폴리곤을 선택함으로써 조회한 모습의 예이다.

배출부하량은 모든 오염원별로 처리경로를 고려하여 처리시설별 또는 방법별 삭감효율을 고려하여 산정하였다. 각 처리시설과 방류경로에서의 처리효율은 하수종말처리시설, 분뇨처리시설, 축산폐수공공처리시설, 폐수종말처리시설 등 공공

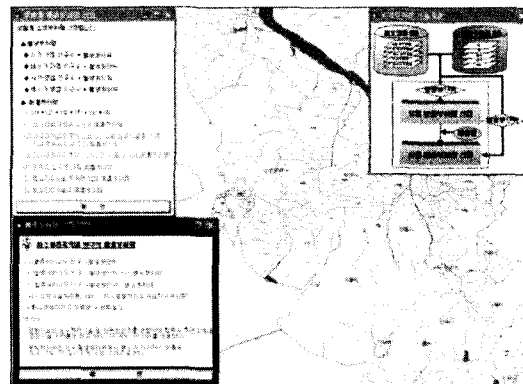


그림 3. 시스템 내 발생부하량 및 배출부하량 산정 과정

처리시설의 배출량은 실측치를 사용하였으며, 정화시설, 축산폐수처리시설, 폐수배출시설 등 개별처리시설의 처리효율은 기준처리율, 방류수 수질기준, 배출허용기준을 적용하였다. 그림 3은 발생부하량 및 배출부하량을 산정하는 과정의 이해를 돕기 위해 만든 창으로써 시스템 내에서 조회한 모습이다.

2.3 연구결과 및 고찰

각 소유역별로 BOD(화학적산소요구량), T-N(총질소), T-P(총인)의 발생부하량과 배출부하량을 생활계, 축산계, 산업

계, 양식계의 점오염원과 토지이용의 비점오염원에 따라 구분하여 구했고 표 1.부터 표 4.까지로써 보여주고 있다.

표 1.과 표 2.를 통해 두 소유역에서 생활계 오염원에 의한 발생부하량이 BOD, T-N, T-P의 모든 환경지표에 대해 가장 많은 부분을 차지, 유역 수질 환경에 절대적인 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었고, 오염총량관리제의 삭감 계획에 있어 논의되어야 할 가장 중요한 오염원임을 인지할 수 있었다. 특히 굴포천 소유역의 경우는 전체 발생 T-N에 대해 생활계 부하량이 대부분을 차지하고 있어 이에 대한 체계적인 삭감 계획 역시 필요하다고

표 1. 굴포천 소유역에서의 발생부하량

	BOD(Kg/day)	BOD(%)	T-N(Kg/day)	T-N(%)	T-P(Kg/day)	T-P(%)
생활계	106,108	78.11	22,306	85.60	2,549	79.98
축산계	2,008	1.48	534	2.05	212	6.65
산업계	21,499	15.82	1,538	5.90	222	6.97
양식계	204	0.15	41	0.16	11	0.34
토지이용	6,017	4.44	1,639	6.29	193	6.06
합계	135,836	100.00	26,058	100.00	3,187	100.00

표 2. 인천 소유역에서의 발생부하량

	BOD(Kg/day)	BOD(%)	T-N(Kg/day)	T-N(%)	T-P(Kg/day)	T-P(%)
생활계	75,168	70.94	16,075	56.61	1,836	67.55
축산계	1,625	1.53	440	1.55	171	6.29
산업계	21,719	20.50	10,144	35.72	468	17.22
양식계	1,160	1.10	232	0.82	62	2.28
토지이용	6,283	5.93	1,504	5.30	181	6.66
합계	105,955	100.00	28,395	100.00	2,718	100.00

표 3. 굴포천 소유역에서의 배출부하량

	BOD(Kg/day)	BOD(%)	T-N(Kg/day)	T-N(%)	T-P(Kg/day)	T-P(%)
생활계	32,373	91.12	5,880	80.96	691	78.97
축산계	53	0.15	134	1.84	12	1.37
산업계	1,395	3.93	799	11.00	113	12.91
양식계	204	0.57	41	0.56	11	1.26
토지이용	1,504	4.23	410	5.64	48	5.49
합계	35,529	100.00	7,264	100.00	875	100.00

표 4. 인천 소유역에서의 배출부하량

	BOD(Kg/day)	BOD(%)	T-N(Kg/day)	T-N(%)	T-P(Kg/day)	T-P(%)
생활계	14,690	57.96	2,055	25.24	240	22.12
축산계	74	0.29	112	1.37	10	0.92
산업계	8,608	33.96	5,367	65.92	728	67.10
양식계	401	1.58	232	2.85	62	5.71
토지이용	1,571	6.20	376	4.62	45	4.15
합계	25,344	100.00	8,142	100.00	1,085	100.00

본다. 산업계 오염원에 의한 발생부하량은 두 소유역 모두에서 그 다음으로 큰 부분을 차지하고 있었다. 특히 인천 소유역의 경우 산업계 오염원에 의해 발생하는 T-N의 양이 다른 지표나 굴포천 소유역에 비해서도 약 35%로써 발생부하량 중 유난히 큰 부분을 차지하고 있었고, 이 지역에 대해서는 T-N에 대한 관리도 필요하다고 본다. 정확한 원인 규명을 통해 산업계 오염원에서 발생하는 오염부하의 삭감방향을 결정해야할 것이다. 양식장이나 가축에 의한 발생부하량은 그다지 많지 않았으며, 토지이용을 이용하여 산정해본 비점오염원에 의한 발생부하량은 모든 환경지표에 대해 전체 발생부하량 중 5 ~ 6% 정도로 나타났으며 대체로 두 소유역에 있어 고른 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 도로나 건축물의 확장, 건설로 인해 불투수층의 증가가 이루어지면 이 또한 커질 수 있으므로 주의가 필요하다.

표 3.과 표 4.를 통해 두 소유역에서의 배출부하량을 확인할 수 있었는데, 전체적으로 발생부하량이 처리 과정을 거치면서 그 양이 많이 줄었다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 여전히 생활계 오염원에 의한 배출부하량이 절대적으로 많아 하천 오염의 주원인이 되고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 굴포천 소유역의 경우, 경기도 일대와 인천 서구, 계양구 일부지역이 하수 미처리 지역으로 남아있어 인천 소유역에 비해 오염처리 효율이 낮아 배출부하량에 있어 전체 중에서 약 91%를 차지하고 있음을 알 수 있었다. 이에 대한 처리시설 확충이나 분뇨 수거율 제고 등의 대책을 수립하여 삭감에 힘써야할 것이다. 한편, 산업계 오염원에 의한 배출부하량의 경우, 특히 T-N의 배출부하량이 굴포천 소유역에서 799 Kg/day, 인천 소유역에서 5,367 Kg/day 로써 각각의 발생부하량 1,538 Kg/day, 10,144 Kg/day 에

대해 오염처리 효율이 50% 미만인 것으로 확인되었다. 이로 인해 인천 소유역에서 배출되는 T-N의 경우, 산업계 오염원에 의한 배출부하량이 생활계 오염원에 의한 배출부하량을 역전한 것을 확인할 수 있었고, 이에 대한 원인규명과 대책이 시급하다. 그 외의 다른 오염원에 대한 배출부하량은 생활계, 산업계에 비해 미비하여 큰 영향을 주고 있지 않다고 판단된다.

한편, 인천 소유역에서 산업계 오염원에 의한 T-P의 배출부하량이 발생부하량보다 많은 것을 확인할 수 있었다. 이는 입력과정에서 일부 산업계 관련 회사 정보가 누락되어 발생한 오차로 보이는데, 이를 통해서 정확한 모니터링 체계를 통한 신뢰성 있는 데이터의 수집이 정확한 분석을 위해 무엇보다 중요하다는 것을 다시 한 번 확인할 수는 기회가 되었다. 단순히 기존의 유역청에 의해 소극적으로 수집된 데이터를 이용한 분석에는 분명히 한계와 오차가 따른다. 따라서 지자체의 지원으로 하여금 건설하고 정확한 데이터 베이스의 구축을 가능하게 하여 신뢰성 높은 분석과 대책 마련될 수 있도록 해야 한다.

3. 결 론

이 연구를 통해 인천 일대의 발생부하량과 배출부하량을 GIS기법을 이용하여 확인하였고, 간단히 고찰해보았다. 인천 일대는 급격한 도시화와 산업화가 그 원인이 되어 많은 오염물이 발생, 배출되고 있음을 확인할 수 있었다. 인천에도 몇 년 안에 수질오염총량관리제가 본격적으로 시행될 것으로 예상되는데, 지금부터 이에 대한 대비가 필요하다. 이를 위해 무엇보다 효율적인 목표수질의 관리를 위한 환경모니터링 자료의 구축 및 삭감계획의 마련이 있어야 한다. 우선 정확한 하천수질 및 유량 측정 자료와 하천생태계 조사

자료를 바탕으로 한 환경 모니터링 자료를 구축하고 GIS를 통해 체계적이고 과학적인 관리를 해야 할 것이다. 또한 이를 근거로 하여 하수종말처리장의 고도처리, 관거정비사업을 통한 관거배출 저감, 비점오염원 삭감계획, 자연형 하천정비사업 등의 삭감 계획을 세워 결과적으로 인천 일대의 수질 개선을 가능하게 해야 할 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 서해연안환경연구센터에서 지원한 연안역 수질통합관리시스템 사업의 일환으로 추진되었으며, 사업의 원활한 추진을 위하여 도움을 주신 서해연안환경연구센터 실무자 분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이혁(2005). GIS 기반의 통합유역관리 시스템 구축 방법에 관한 연구, 석사학위논문, 인하대학교.
2. 황의호, 김계현, 이광야(2002). GIS 기반의 수질,수문 모델의 연계시스템 개발에 관한 연구, 환경공학학회 학술대회논문집.
3. 최지용(2002). 우리나라 오염총량관리제 특성 및 발전방안, 수질관리 세미나 자료집, pp. 25-45.
4. 국립환경연구원(2002). 수계오염총량관리 기술지침.
5. 환경부(2001). 한강수변구역관리 기본계획 및 설계.
6. 환경부(1999). 한강수계 오염총량관리계획수립지침(고시 1999-143호)