

〈2004년 2월 서울대학교 박사학위 논문〉

하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석

엄 명 철

농업기반공사 농어촌연구원 선임연구원



1. 서 론

우리나라에서는 1970년대 들어 대단위 간척사업과 함께 간척 농지와 배후 농경지의 농업용수 확보를 목적으로 집수유역의 최 말단인 하구 또는 해면을 체절하고 해수를 담수화하는 하구담수호를 조성하기 시작하였으며, 현재 금강호와 영산호를 비롯하여 삽교호, 아산호 등이 이미 건설되어 서해안 지역의 주요한 수자원으로 활용되고 있다 (권순국 등, 1990).

그러나 최근 들어 유역에서의 도시화와 공업화의 급진전, 축산 및 양식업의 팽창, 비환경친화적 영농에 따른 오염물질 배출량의 증가로 인해 유역으로부터의 오폐수 유입량 및 부하량이 급증하여 하구, 연안 등의 수질악화 위험이 높아졌으며, 특히 1996년 시화호의 수질오염이 사회적 문제로 대두되면서 하구담수호의 수질오염 가능성에 대한 국민들의 우려가 매우 커졌다 (윤춘경, 함중화, 2000; 농업기반공사, 2002).

일반적으로 하구담수호는 상류역의 호수에 비해 넓은 유역을 가지고 있으며 인근 지역에 대규모의 농경지, 축산시설, 도회지, 공업단지 및 양식장이 위치하여 유기오염이나 독성오염은 물론 부영양화에도 취약한 입지적 조건을 가지고 있다. 또한 연안에 인접한 유역은 주로 상수원으로 이용되는 중상류역에 비해 오염원의 관리는 물론 환경기초시설의 투자가 낮아 적절한 처리 없이 오염물질이 유입되고 있으며, 담수화 이후에도 해양과 간척지의 염분침출로 인한 염분성층으로 물의 수직순환이 억제됨에 따라 심층수의 혐기화와 그에 따른 오염물질 용출이 문제가 되고 있다. 이러한 하구 담수호를 수질오염에 안전하게 유지하여 지속적

인 용수공급원으로 활용하기 위해서는 호소의 주된 오염원인 상류로부터 유입되는 오염물질에 대한 부하량 삭감이 우선되어야 한다.

오염물질의 배출은 오염원의 형태 뿐만 아니라 개별 오염원의 발생형태 및 제거시설의 처리현황에 따라 수역으로 유입되는 물질량이 달라지며, 특히 강우의 영향에 의한 시기별 배출량의 변화가 크다. 따라서 정확한 오염물질 배출량을 산정하기 위해서는 오염원마다의 발생형태를 구분하고 개별처리시설의 제거율, 하수종말처리장으로서의 이동과정에서 하수관에서의 침전 및 퇴적, 누수, 월류량 등에 의한 변화량 등 오염물질이 수역으로 유입되는 동안의 제거 및 변동량 등을 면밀하게 고려해 주어야만 유역으로 배출되는 오염물질량을 정확히 산정할 수 있다.

본 연구에서는 유역에서 발생하는 오염물질의 제거 및 배출특성을 파악하고, 오염총량제 적용을 위한 합리적인 오염물질량 산정을 위해 오염부하량 산정모형을 구축하였다. 오염부하량 산정모형에서는 오염원별로 발생형태, 처리시설 형태 및 제거율, 수계까지의 이동에 따른 변화량 등을 분석하므로써 오염물질의 발생원에서부터 수계에 유입되기까지의 모든 과정에 대한 오염물질 변화량을 산정한다.

또한 향후 조성될 새만금 하구담수호의 상류유역을 대상으로 오염부하량 산정모형을 적용하여 수계로 유입되는 오염물질량을 분석하고, 모형의 보정 및 검증을 실시하여 모형의 적용성을 검토하였으며, 오염물질 삭감시나리오를 구성하여 각종 수질개선 대책에 따른 오염물질 배출량의 변화를 비교함으로써 모형의 응용성을 평가하고자 한다.

2. 오염부하량 산정모형 개발

가. 물질 배출구조

유역 내에 존재하는 오염원으로부터 발생된 오염물질은 수체까지 도달하는 과정에서 유역의 특성이나 지천의 자정능력 등에 의해 그 양이 변하게 되며 수체에 도달된 오염부하량이 다시 하천을 유하하면서 여러 가지 오염현상을 유발하게 된다 (서운수 등, 1992).

이 때 오염원으로부터 발생하는 오염물질 총량을 발생부하량 (generation load)이라 하고 폐수처리장과 같은 환정기초시설을 통하여 삭감된 후 유역으로 배출되는 오염물질량을 배출부하량 (discharge load)이라 한다. 또한 배출부하량은 소형 지천을 통하여 하천수계까지 도달되는 과정에서 자정되어 다시 감소되는데, 이 때 하천수계까지 도달된 부하량을 유달부하량 (delivery load)이라 하며, 유달부하량에 대한 배출부하량의 비를 유달율 (delivery ratio)이라 한다 (김승우 등 1997).

유역에서의 오염물질 발생원은 크게 인구, 축산, 산업체, 토지 이용, 양식장, 온천 등으로 분류되며, 오염원에서 발생한 오염물질량은 각각 개별처리시설 및 공공처리시설을 거친 후 유역으로 배출된다. 배출된 부하량은 배출지점에서 하천수계로 이동되는 과정에서 희석, 침전, 탈착 등의 물리적 작용 및 취수, 배수 등의 인위적 작용을 거친 후 최종적으로 하천으로 유입되게 된다.

본 연구에서는 유역내의 이러한 오염물질 발생원에서 생성된 발생부하량과 처리시설에서 삭감된 후 유역으로 배출되는 배출부하량, 유역내에서의 변화과정을 거친 후 최종적으로 하천수계로 유입되는 유달부하량을 산정하였다.

나. 생활계 부하

인구에 의해 발생하는 생활계 오염물질은 분뇨(night soil)와 잡배수(waste)로 구분된다. 하수처리구역에서는 가정 및 사업장에서 발생한 오염물질은 개별처리시설을 거친 후 분뇨처리장 및 하수관거로 이동된다. 분뇨수거식 처리형태에서는 분뇨는 분뇨처리장으로 이송되거나, 농경지배출, 정화조 내의 증발 및 침투 등의 과정을 거치며, 잡배수는 곧바로 하수관거로 배출된다. 단독정화조에서는 분뇨는 수거식과 동일한 처리과정을 거치게 되며 일부만이 하수관거로 배출되고, 잡배수는 곧바로 하수관거로 배출된다. 하수정화조 설치지역에서는 분뇨와 잡배수가 동시에 정화조로 유입되어 간단한 정화처리 후, 슬러지는 분뇨처리장으로 이송되고, 방류수는 하수관거로 배출되게 된다. 무처리와 분류식관거에서는 인구에 의해 발생한 분뇨와 잡배수 모두가 곧바로 하수관거로 배출되게 된다. 하수미처리구역에서는 처리구역에서 하수관거로 유입되는 양이 곧바로 유역으로 배출되는 양이 된다.

하수관거로 유입된 생활계 오염물질은 관거 불량에 의해 하수

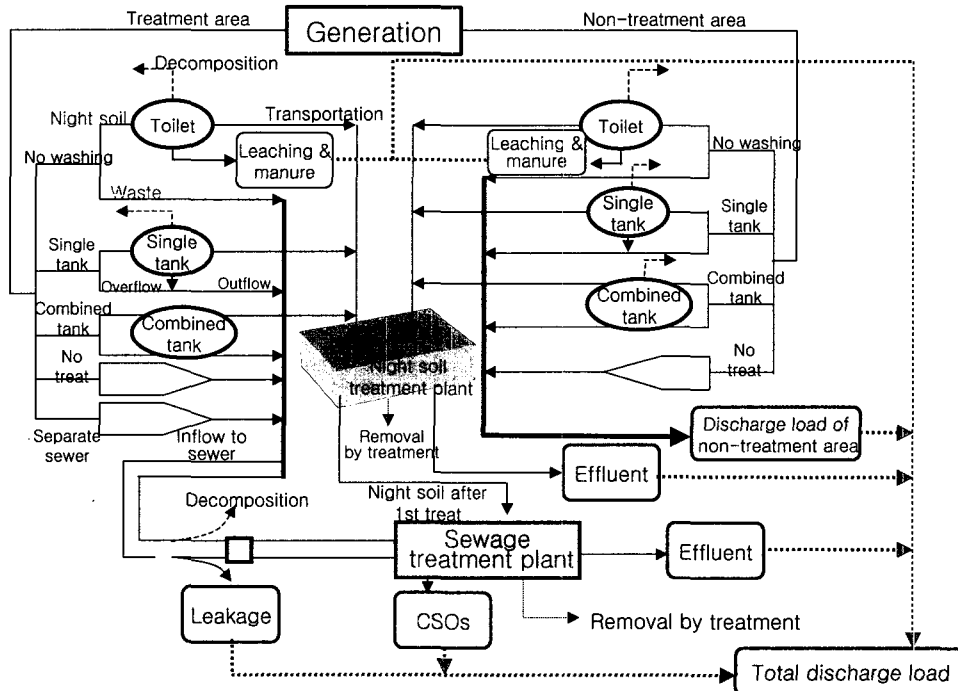


그림 1 생활계오염물질 배출구조

가 누수되거나, 외부의 불명수가 유입되기도 하며, 하수처리장 용량 이상의 하수가 유입될 때는 처리장에 도달하기 전에 곧바로 수계로 배출된다. 또한 하수관거내에서의 오염물질의 침전 및 분해작용 등 여러 가지 오염물질 변화과정을 거치게 된다 (국립환경연구원, 2002)

다. 축산계 부하

각 사육농가에서 발생된 가축분뇨는 생물학적 폐수처리 및 자원화 시설을 거쳐 인근 농경지로 환원되거나 축산폐수 공공처리 시설을 거쳐 수역으로 배출되게 된다. 축사에서 발생하는 부하는 가축의 분(feces)과 뇨(urine), 축사 세정수(washing water)에 기인한다. 이 중 뇨와 세정수 및 축분에 포함된 폐수량이 축산폐수(waste water)가 되며, 폐수화분량(portion of waste water)을 제외한 축분의 양이 고형물질량(waste solid)이다. 축사에서 발생된 축산폐수는 먼저 축산폐수공공처리장(treatment plant)으로 유입되며, 자원화시설이나 폐수개별처리시설(treatment facility)을 통해 자원화되거나 처리 삭감되며, 개별처리시설에서 발생된 슬러지는 다시 농경지로 환원되게 된다. 그 외의 축산폐수는 유역으로 배출되는 점원배출량으로 작용한다.

축산고형물 역시 먼저 축산폐수공공처리장으로 유입되며, 위탁처리에 의해 유역 밖으로 배출되거나 자원화시설을 통한 처리, 농경지 환원 등에 의해 오염물질이 처리된다. 유역으로 배출되는 축산고형물은 공공처리방류량 및 농경지 배출량, 미처리 배출량 등이며, 이는 강우시에 집중적으로 수역으로 유입되는 비점원의 형태를 띄게 된다.

그림 2는 축사에서 발생된 가축분뇨가 수역으로 배출되기까지의 오염물질 부하과정을 나타낸 것이다 (국립환경연구원, 2002).

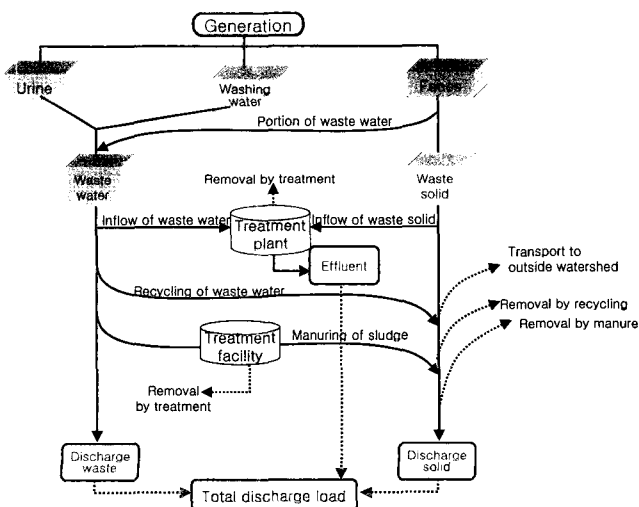


그림 2 축산계 오염물질 배출구조

라. 산업계 부하

산업체에서 발생된 산업계 오염물질의 배출경로는 폐수종말처리장 및 하수종말처리장, 농공단지 오폐수처리장 등의 환경기초 시설로의 이송, 개별처리, 개별배출로 세분된다. 개별처리시설(treatment facility)를 거친 산업폐수는 직접 수계로 배출되거나, 관로를 통해 환경기초시설로 이송되어 처리되는 두 가지의 형태가 있다. 환경기초시설로 이송된 폐수는 처리 후 수계로 직접 방류되거나, 병합처리시설이 있는 경우에는 연계처리되어 수역으로 유입된다.

환경기초시설로의 이송과정에서 발생하는 관거의 누수 및 합류식 하수관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs), 불명수의 유입 등의 오염물질 변화과정은 생활계 부하의 경로와 동일한 과정을 거치게 된다.

마. 토지이용계 부하

토지이용계 부하는 토지이용형태에 따라 그 발생 및 배출량이 달라진다. 토지이용 형태는 크게 논(paddy), 밭(upland), 임야(forest), 대지(urban), 기타(others)로 구분되며, 개별 토지이용에 따라 오염물질이 발생하여 수계로 배출된다.

토지이용에 의해 발생된 오염물질은 개별정화처리시설을 갖춘 경우를 제외하고는 대부분 발생량 전량이 수계로 배출된다. 그러나 시가지의 종말처리시설 차집구역에서는 일부 비점오염물질이 하수관거로 침투되어 종말처리장에서 처리되기도 한다 (국립환경연구원, 2002).

바. 양식장 및 온천부하

양식장에서 발생된 오염물질은 양식조에서 곧바로 수역으로 배출된다. 개별처리시설을 갖춘 일부 유수식 양식장에서는 간단한 정화처리 후 수역으로 배출된다.

그러나 본 연구에서는 양식장에서 배출되는 부하는 발생량 전량이 배출되는 것으로 가정하였다.

온천에서 발생하는 부하는 개별 온천시설의 이용객 수 및 시설 용량에 의해 오염물질량이 결정된다. 온천에서 발생된 오염물질은 간단한 개별 정화시설을 거친 후 곧바로 수역으로 배출되게 된다.

3. 모형의 적용

오염물질 배출구조 분석을 위한 오염부하량 산정모형을 새만금유역에 적용하였다. 새만금유역의 1998년 오염원자료를 이용하여 오염원을 항목별로 분류하여 모형의 입력자료로 구성하고,

모형의 적용성을 평가하기 위하여 모형의 보정 및 검증을 실시하였으며, 민감도분석을 통해 모형구축에 사용된 계수의 반응도를 분석하였다.

가. 배출부하량

새만금유역에서 배출되는 오염물질량은 생활계, 축산계, 산업계, 토지이용, 양식장, 온천 등으로 오염원별로 구분하여 리동별로 산정하였으며, 강우 유출에 따른 시기별 배출특성을 분석하기 위하여 월별로 배출량을 산정하였다.

유역으로 배출되는 오염물질 배출량은 처리시설 없이 직접 수역으로 배출되는 양 및 개별처리시설을 거치는 동안 배출되는 양, 환경기초시설의 오염원별 방류량을 모두 합하여 계산하였다.

1) 생활계

새만금 유역내의 생활계 배출유량은 개별처리시설 및 가정에서 방류되는 양이 309,753 m³/day이며, 환경기초시설에서 방류되는 양이 165,275 kg/day로서 생활계 총 배출유량은 475,031 m³/day이다.

생활계 BOD 배출량은 42,454 kg/day이며, 이 중 개별배출량은 40,654 kg/day이고 환경기초시설 방류량은 1,800 kg/day이다. T-N 부하량은 개별배출량이 10,963 kg/day이고, 환경기초시설방류량이 3,158 kg/day로서 총 배출량은 14,121

kg/day이며, T-P 배출부하량은 개별배출량 1,350 kg/day, 환경기초시설 방류량 246 kg/day로서 총 배출량은 1,596 kg/day이다.

생활계 배출부하량은 시기별 강우유출에 따른 변화가 크지 않았으나, 대체적으로 6~9월의 배출량이 다른 시기에 비해 조금 높은 것으로 나타났다.

2) 축산계

개별처리 배출량과 공공처리장 방류량을 합산한 축산계 배출량은 총 8,252 m³/day이며, 시기별로는 강수량이 많은 6~9월에 배출량이 갈수기인 11~2월에 비해 10배 이상 높은 것으로 계산되었다. 배출부하량은 BOD가 17,598 kg/day, T-N이 10,062 kg/day, T-P가 1,287 kg/day로서 배출량과 마찬가지로 6~9월의 배출비율이 높게 나타났다. 축산계 배출량은 축산폐수에 의한 점원 배출보다는 자원화 처리되거나 농경지로 퇴비화되는 축산고형물의 배출비율이 훨씬 높아, 강우 유출의 영향을 받는 비점원의 특성이 강하게 나타나는 것으로 계산되었다.

3) 산업계

새만금유역에서 배출되는 산업폐수 배출량은 130,750 m³/day이며, 배출부하량은 BOD 5,023 kg/day, T-N 2,351 kg/day, T-P 258 kg/day이다. 산업계 부하의 배출은 시기별로 큰 차이 없이 연간 일정하게 배출되는 점원의 특성을 나타내었다.

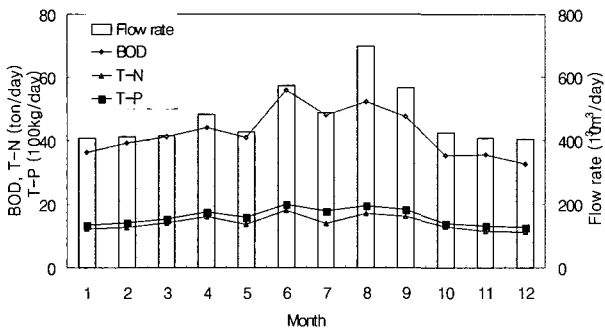


그림 3 생활계 월별 배출부하량

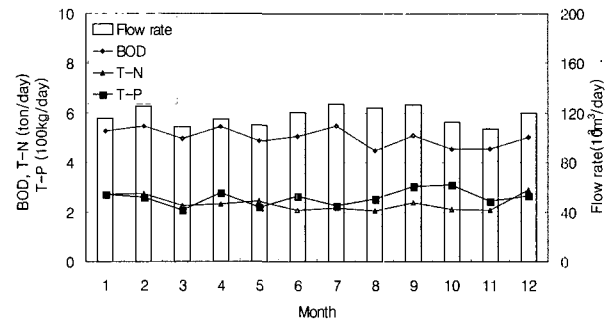


그림 5 산업계 월별 배출부하량

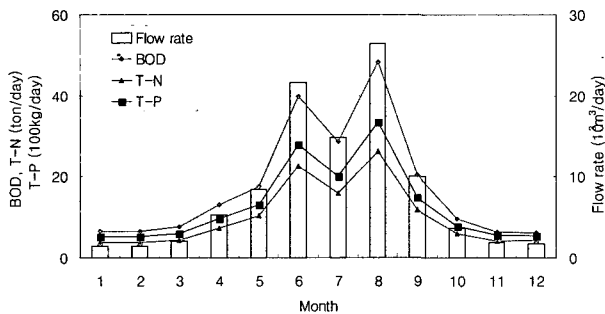


그림 4 축산계 월별 배출부하량

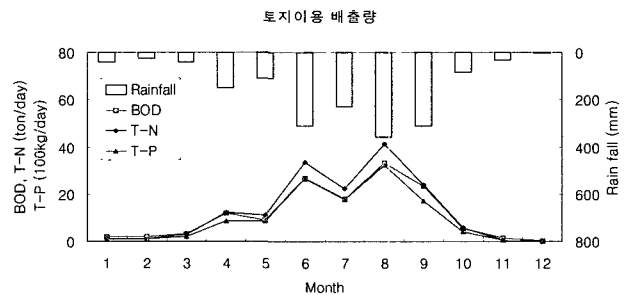


그림 6 토지이용에 따른 월별 배출부하량

4) 토지이용

새만금유역내 토지이용에 의한 배출부하량은 BOD 11,430 kg/day, T-N 13,044 kg/day, T-P 1,001 kg/day이며, 시기별로는 강수량이 많은 6월~9월의 배출율이 갈수기인 12월~3월에 비해 훨씬 높은 것으로 나타났다. 하수관거 설치구역에서의 관거침투량 및 관거배출량은 토지이용 발생량에 비해 극히 미미한 것으로 나타났다.

5) 양식장

새만금 유역내 양식장에서 배출되는 오염물질량은 BOD 11,314kg/day, T-N 2,201 kg/day, T-P 607 kg/day이다. 양식형태별로는 BOD, T-N, T-P 모두 유수식, 가두리, 기타 형태 비율이 각각 26%, 38%, 36%로서 가두리 양식장에서의 오염물질 배출비율이 높게 나타났다.

특히 유수식과 기타 형태의 양식장에서는 양식어의 활발한 성장에 따른 사료투여량이 많은 시기인 6월~11월의 오염물질 발생량이 치어가 갓 들어오는 시기인 12월~3월에 비해 월등히 높은 것으로 나타났다.

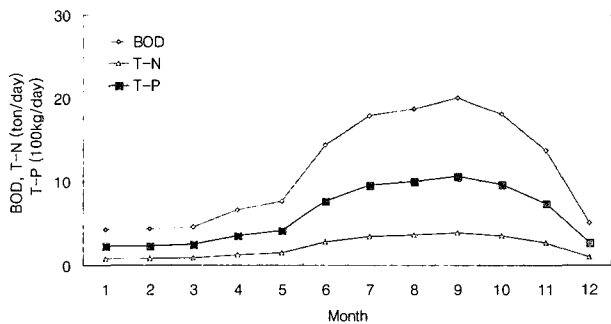


그림 7 양식장 월별 배출부하량

나. 유달부하량

수질 실측치가 있는 7개의 세부 소유역에 대해, 유량과 수질농도를 곱하여 실측 유달부하량을 산정하고, 이를 회귀식을 이용하여 수질항목별 자정계수를 표 1과 같이 산정하였다.

표 1 수질항목별 자정계수

Item	Self purification parameter
BOD	$k_{BOD} = 2.0 \times \sqrt{(A/Q)} \times F^{2.6}$
T-N	$k_{TN} = 0.5 \times \sqrt{(A/Q)} \times F^{2.6}$
T-P	$k_{TP} = 0.2 \times \sqrt{(A/Q)} \times F^{1.6}$

A : Area (ha), Q : Runoff (m³/day), F : Shape factor

실측유달부하량과 회귀식으로 구한 자정계수를 이용하여 산정한 계산유달부하량의 결정계수는 BOD와 T-N 0.34, T-P 0.27로서 조금 낮게 나타났다. 소유역별, 시기별로 실측치와 계산유달부하량을 비교한 결과, 부하량이 낮은 M-02 및 M-05-1 소유역에서는 실측치와 계산치가 잘 일치하였으나, 부하량이 높은 M-08과 D-02-0 소유역에서는 계산치가 실측치에 비해 훨씬 높게 나타났다. 이는 실측 수질농도가 월 1회만 측정된 값이어서, 유달부하량의 계산값이 월별 대표성을 갖지 못하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 향후 강우시를 포함한 연속적인 수질측정값과 여러 소유역에 대한 수질실측이 추가된다면, 신뢰성 있는 자정계수의 산정이 가능하리라 생각된다.

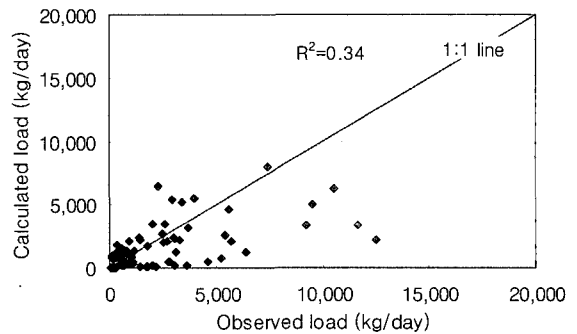


그림 8 BOD 유달부하량

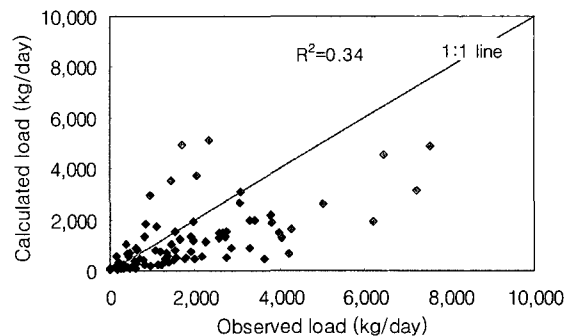


그림 9 T-N 유달부하량

4. 모형의 응용

오염부하량 산정모형의 응용성을 평가하기 위하여, 향후 조성 예정인 새만금 담수호의 용수 사용시기인 2012년을 기준으로 오염물질량 삭감 시나리오를 설정하여 시나리오에 따른 오염물질 발생량 및 배출량을 산정하고, 이를 비교 평가하되 각종 수질개선 대책에 따른 오염부하량 산정모형의 반응을 검토하였다.

가. 오염물질 삭감 시나리오

오염부하량 산정모형의 적용성을 평가하기 위한 오염물질 삭감 시나리오는 2012년까지 현재의 환경기초시설 이외는 아무런 대책을 실시하는 않는 무대책의 경우와 오염물질 배출량 삭감을 위해 상류유역에 수질개선 대책을 실시하는 경우 등 총 3가지로 구성하였다. 먼저 시나리오-A는 2012년까지 오염원은 증가하지만 1998년 현재의 환경기초시설이 그대로 유지되는 경우로서 아무런 추가대책이 적용되지 않는 경우이다. 시나리오-B는 새만금유역에 실현 가능성이 높은 수질대책을 실시하는 경우이며, 시나리오-C는 미처리 가축분뇨 전량 자원화 등 실현가능성이 낮은 대책까지 포함시키는 경우이다.

나. 오염부하량 산정결과

2012년의 발생부하량은 시나리오-A에서는 BOD 446,562 kg/day, T-N 89,852 kg/day, T-P 26,446 kg/day로서 1998년의 BOD 396,991 kg/day, T-N 83,903 kg/day, T-P 23,746 kg/day에 비해 각각 12.5%, 7.1%, 11.4%가 증가하였다.

그러나, 시나리오-B와 시나리오-C에서는 BOD 발생부하량이 시나리오-A에 비해 약 9.3%가 줄어든 404,850 kg/day로 나타나 가축사육두수의 추세변화에 따른 부하량 감소를 반영하고 있다. T-N 발생량은 77,517 kg/day이고, T-P는 22,460 kg/day로서, 시나리오-A에 비해 각각 13.7% 및 14.1%가 줄어들어, 가축사육두수 추세 및 농경시비량 변화에 따른 오염물질 발생량이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

배출부하량은 시나리오-A에서는 BOD 99,641 kg/day, T-N 48,058 kg/day, T-P 34,808 kg/day로서 1998년에 비해 BOD는 13.4%, T-N 14.9%, T-P 17.9%가 증가하는 것으로 나타나, 새만금 상류유역에 대해 수질개선을 위한 대책을 실시하지 않는다면 수질오염도가 1998년 현재보다 상당히 증가할 것으로 판단된다.

시나리오-B의 배출부하량은 BOD 68,332 kg/day, T-N 34,808 kg/day, T-P 3,881 kg/day로서, 시나리오-A에 비해 각각 31.4%, 27.6%, 30.7% 감소하는 것으로 나타났으며, 시나리오-C는 BOD 66,689 kg/day, T-N 33,070 kg/day, T-P 3,567 kg/day로서 시나리오-B에 비해 약 0.4~1.8% 더 삭감율이 높은 것으로 계산되었다. 이러한 결과는 오염부하량 산정모형이 수질개선 대책에 따른 오염물질 삭감효과를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

발생부하량에 대한 삭감부하량의 비인 오염물질 제거율 역시

시나리오-A에서는 BOD 77.7%, T-N 46.5%, T-P 78.8%였으나, 시나리오-B에서는 55.1~83.1%, 시나리오-C는 57.3~84.1%로 훨씬 높게 나타났다.

생활계 오염물질의 제거율은 시나리오-A에서는 BOD 56.8%, T-N 31.4%였으나, 시나리오-B와 시나리오-C에서는 73.2%, 46.0%로서 시나리오-B에 비해 14.6~15.4% 높게 나타나 생활계 대책 중 하수처리장 추가설치 및 하수관거 정비에 따른 오염물질 삭감량의 변화를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 특히 생활계 T-P 오염물질의 제거율은 시나리오-B가 57.9%인데 비해, 모든 하수처리장에 대해 고도처리시설이 설치되는 시나리오-C는 58.4%로서 0.5% 정도 높게 나타나, 하수 고도처리시설 설치에 따른 오염물질 삭감효과를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

축산계 부하량 역시 시나리오-B에서는 삭감율이 BOD 93.1%, T-N 81.2%, T-P 92.9%였으나, 미처리 가축분뇨를 전량 자원화시키는 대책이 실시되는 시나리오-C에서는 각각 94.2%, 86.0%, 95.1%로서 1.1~4.8% 정도 높게 나타났다. 위와 같이 오염부하량 산정모형은 가축사육두수 감소 및 농경시비량 저감 등 오염 발생원의 감소 뿐만 아니라, 환경기초시설 설치, 하수관거 정비, 하수고도처리시설 설치, 가축분뇨 자원화 등 각종 수질개선대책에 따라서도 변화되는 오염물질 배출량을 합리적으로 잘 재현하고 있는 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 유역에서 발생하는 오염물질의 제거 및 배출특성을 파악하고, 오염총량제 적용을 위한 연간 오염물질량의 합리적인 산정을 위해 오염부하량 산정모형을 구축하였다. 오염부하량 산정모형에서는 개별 오염원의 발생형태, 처리시설 형태 및 제거율, 오염물질량의 시기별 배출특성 및 배출량을 분석하고, 이를 통해 실제로 하천 수계에 도달하는 오염물질량을 시기별로 산정하였다. 모형의 적용을 위해 현재 새만금 간척사업을 통해 새로이 조성될 예정인 새만금호의 상류유역을 대상으로 각각의 오염원별로 모형의 보정을 실시하였으며, 모형의 검증 및 적용계수의 민감도 분석을 실시하였다. 새만금 담수호의 용수 사용시기인 2012년까지 실시되는 각종 수질개선 시나리오에 따른 오염물질 저감량을 분석하여 모형의 응용성을 평가하였다.

모형의 적용결과 오염부하량 산정모형은 가축사육두수 감소 및 농경시비량 저감 등 오염 발생원의 감소 뿐만 아니라, 환경기초시설 설치, 하수관거 정비, 하수고도처리시설 설치, 분뇨오니수거율 향상, 가축분뇨자원화 등 기존 원단위모형에서 고려하지

못했던 세부적인 수질대책에 대해서도 오염물질 삭감량의 변화를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 또한 강우 유출에 따른 시기별 오염부하량의 변동에 대해서도 오염원별로 합리적으로 계산하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 향후 오염총량제가 본격적으로 실시되는 시기에 각종 오염원으로부터 수계로 유입되는 오염물질량을 합리적으로 산정하기 위해서는, 본 연구에서 구축된 오염부하량 산정모형이 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 권순국, 유명진, 방기웅, 고덕구, 1990, 담수호의 수질예측 및 부영양화 방지에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 10(4), pp.159-171.1.
2. 국립환경연구원, 2002, 수계오염총량관리기술지침.
3. 국무조정실, 농림부, 환경부, 해양수산부, 전라북도, 2001, 새만금 관련 관계부처 검토자료.
4. 김승우, 박석순, 김희성, 1997, 특정수계권역의 수질총량규제 방안 연구, 한국환경정책·평가연구원.
5. 농업기반공사 농어촌연구원, 2002, 새만금호 수질관리 및 수환경 개선 조사연구(Ⅲ).
6. 농업기반공사, 농어촌연구원, 2002, 새만금 수질예측 모델연구 (I).
7. 서윤수 외 21인, 1992, 한강유역을 중심으로 한 환경관리 기술개발-팔당호 및 경안천유역을 중심으로-, 국립환경연구원.
8. 윤춘경, 전지홍, 함종화, 2001, SWMM과 회귀분석법에 의한 유역의 오염부하량 산정 비교, 한국물환경학회지, 17(2), pp.157-168.
9. 윤춘경, 함종화, 2000, SWMM과 WASP5 모형을 사용한 하구담수호의 수질예측, 한국환경농학회지, 19(3), pp.252-258.