

연구논문

토지이용의 공간적 다양성에 따른 GIS 기반 오염부하 산정에 관한 연구  
- 왕숙천 유역을 중심으로 -

김경순\* · 김계현\*\* · 권오준\*\*\*

(주)그린텍환경컨설팅\*, 인하대학교 지리정보공학과\*\*, 인하대학교 지리정보공학과\*\*\*

(2005년 8월 16일 접수, 2005년 10월 4일 승인)

A Study of GIS-based Estimation of Pollutant Loads in  
Accordance with Spatial Landuse Variation

- Focussing on Wangsook Watershed -

Kyoung-Soon Kim\* · Kye-Hyun Kim\*\* · Oh-Jun Kwon\*\*\*

Greentech Environmental Consulting Co., Ltd.\*,

Department of Geoinformatic Eng., Inha University\*\*

Department of Geoinformatic Eng., Inha University GIS Lab\*\*\*

(Manuscript received 16 August 2005; accepted 4 October 2005)

Abstract

The scheme to classify pollution sources in Korean TMDL planning has been pointed out too much complex to implement practically because of requiring a wide range of items to be collected from a field. Within a deficient situation to collect field data, the mathematical scheme that focuses only on counting an uniform area ratio of the different land uses to estimate of pollutant loads from individual sub-catchments has been used without taking into account of the spatial characteristics of major land uses as well as the locations of pollution sources in each sub-catchment. It would cause to significant level of errors to estimate the pollution loads. Therefore, this study proposes a renovated scheme that can be adopted more easily to classify pollution sources in the watershed and reduce the estimation errors in the spatial distribution of pollution sources by introducing a spatial analysis based on digital land cover maps.

In order to estimate a unit area to calculate the uniform pollution load, the pollution response unit area that is locating spatially at the same place and having same land use is identified through the application of GIS overlay technique. Unlikely existing conventional method to

calculate the pollution load based on equal distribution of pollutants for each administrative boundary, it is assumed that the pollution load from household and livestock sources are generated and washed off from only residential areas. While, pollution from business population comes from commercial area and industrial load from wastewater discharge facilities are from industrial areas.

From comparison of the calculated results from the existing the method and the proposed one, it is found that although the estimation of pollution load from sub-catchment in the case of the existing conventional method application results in negligible difference in total pollution amounts from the whole area of Wangsook watershed as a study area, significant difference of pollution load among sub-catchment in which pollution response unit areas are diverse, however, appears in the case of the application of the renovated scheme.

Key words : Pollutant Load, Overlay, Spatial Analysis, Landcover Map

## 1. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

하천의 수질은 토지이용현황에 따른 오염원의 구성과 그 밀도, 처리시설 등에 따라 달라진다. 즉, 토지이용 분류상 주거지역에서는 각 가정의 생활하수 및 분뇨 배출, 공업지역에서는 각 산업장의 폐수 배출, 상업지역에서는 영업활동으로 인한 오염물질이 하천으로 배출되어 수질오염의 주원인이 되고 있다. 이와 같은 수질오염을 효과적으로 개선하기 위해서는 정확한 오염원의 위치와 분포의 파악 및 체계적 관리가 필수적이다. 그러나 대부분의 오염원 분석과 오염부하 산정은 행정구역별로 이루어지기 때문에 오염원의 위치정보와 토지이용의 특성이 충분히 반영되고 있지 못하며, 또한 행정구역별 오염부하를 유역 또는 수계별로 적용할 경우 오염원의 분포밀도가 고려되지 않고 면적비로 구분하기 때문에 많은 오차를 유발하게 된다. 이는 중소수계의 수질관리대책 수립하는 수질예측치 산정 등에 있어서 더욱 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 오염원의 분포와 현황을 정량적으로 분석할 수 있고, 분석결과를 효과적으로 처리할 수 있는 GIS를 이용한 수질환경정보 관리에 대한 요구가 높아지고 있다.

그러므로 본 연구의 목적은 주제도들을 중첩하여

생성된 폴리곤을 기반으로 오염부하를 산정하여 위치 정확도를 보다 향상시키고 생활계 등의 오염원 분류체계를 보다 단순화하여 수질오염총량관리제 시행 등 유역관리를 위한 오염부하 산정방법의 개선방안을 제시하는 것이다.

### 2. 연구방법

본 연구에서는 오염부하 산정에 필요한 주제도를 도출하여 구축하고 구축된 주제도를 중첩하여 생성된 폴리곤을 기반으로 오염부하를 산정하여 기존의 수학적 오염부하 산정방법과 비교·분석하였다. 즉, 기존의 GIS를 이용한 오염부하 산정방법은 주로 수학적 오염부하 산정 방법에 의해 오염부하를 산정한 후 리동에 등분포하도록 배분하여 리동별 오염부하량을 산정하거나, 유역에 포함되는 각 리동의 점유율을 가지고 유역별 오염부하량을 산정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 오염이 발생·배출되는 지역을 좀더 정확히 알 수 있도록 여러 주제도들을 중첩해서 만들어진 폴리곤별로 오염부하를 산정하였다. 그리고 리동 점유율을 적용하여 계산하는 기존의 수학적 방법에 의해 산정된 값과 본 연구방법에 의해 산정된 값의 차이를 유역별로 비교하여 유역 크기와의 관계를 분석하였다.

## II. 기존의 수학적 오염부하 산정

### 1. 기본개념

그림 1은 현재 우리나라에서 일반적으로 적용하는 유역의 오염부하 발생 및 배출부하량의 산정절차를 모식적으로 나타낸 것으로서(정동일, 1998), 오염부하 평가는 대상유역내의 사회·경제활동 및 토지이용의 권역을 중심으로한 자연활동의 평가로부터 이루어질 수 있다. 따라서 오염부하의 산정은 배수구역내 오염원에 오염부하 원단위를 적용하여 오염부하를 산정하고 있다. 그러나 일반적으로 유역의 분할은 임의의 수질기준점(또는 수질측정지점)을 중심으로 구분된 경계인 반면, 오염원 등의 자료는 행정구역별(시·도, 시·군, 읍·면·동, 리)로 수집 및 정리되고 있으므로 대상유역의 오염원을 일차적으로 행정구역을 중심으로 수집·정리한 후 일련의 공학적 변환과정을 통하여 편집·정리하고 있다(Kelly *et al.*, 1987, Nakagami, 1987).

### 1) 행정구역별 오염원 형태 파악 및 발생부하량 산정

유역내 오염부하의 발생원인은 사회·경제활동과 그 규모에 의한 것으로서, 이에 관한 정보는 행정구역별 오염원 형태로 수집된다. 즉, 유역으로부터의 오염물질 발생은 크게 생활계, 가축계, 산업계, 토지이용계, 양식계로 나누어지며, 이에 따른 각 행정구역 및 오염발생원별 발생부하량의 산정은 오염원별 규모에 발생부하 원단위를 곱함으로써 산출된 것이 지금까지의 기준적인 평가방법이다. 그러나 실제 각 지역의 오염부하는 처리시설 설치정도와 처리율에 따라 큰 차이를 보이며, 결과적으로 배출부하량의 지역적 차이를 유발시킨다.

### 2) 행정구역별 배출부하량 산정

행정구역별 배출부하량은 해당지역의 오염원별 처리체계와 발생원 규모에 수질항목별 오염부하 원 단위 또는 처리효율을 고려하여 산정한다.

### 3) 유역별 배출부하량 산정

유역으로부터 배출되는 오염부하량은 행정구역 단위별로 산정된 배출부하량 정보를 유역단위의 배출부하량 정보로 전환시켜야 한다. 이를 위해서는 유역변환계수의 도입이 필요하다. 유역변환계수란 행정구역 단위로 산출된 오염물질 배출부하량을 유역을 중심으로 환산하기 위한 기술계수를 의미하는 것으로, 1차적으로 대상유역내에 포함된 각 행정구역별 오염물질 배출부하량이 구역의 공간내에서 균등하게 분포한다고 가정하면 대상공간의 면적비로 산출이 가능하다. 산출된 유역변환계수를 행정구역단위의 오염물질 배출부하량에 곱하여 유역단위의 오염물질 배출부하량을 산출할 수 있다. 그러나 실제적으로는 인구, 축산 등 각 오염원이 행정구역에 균등하게 분포하고 있지 않기 때문에 현재의 방법으로 유역별 오염원이나 오염부하를 산정할 경우 많은 오차를 유발하는 단점이 있다.

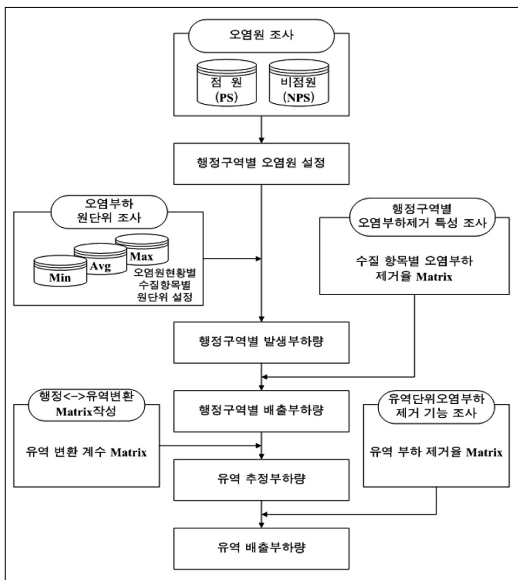


그림 1. 유역내 오염물질 발생 및 배출부하량 산정 흐름도

## 2. 수학적 오염부하 산정

오염부하량의 산정을 위해서는 적어도 오염원별로 발생된 대상물질이 어떤 처리경로를 거쳐 최종적으로 공공수역으로 방류되는지 파악되어야 한다. 일반적인 배출경로는 「하수도법」(환경부, 2003) 및 「오수분뇨및축산폐수의처리에관한법률」(환경부, 2003)에 명시된 법적인 처리경로를 기준으로 할 때 다음과 같이 정리할 수 있다.

즉, 대상물질이 발생원에서 처리되지 않고 직접 방류되는 경우, 발생원에서 개별처리시설을 거쳐 방류되는 경우, 환경기초시설을 거쳐 방류되는 경우 등 여러 경로를 거쳐 공공수역으로 배출된다. 여기서 '처리시설'은 발생원에 설치된 처리시설로 단독정화조, 오수처리시설(단독정화조와 오수처리시설은 통칭하여 이하 '정화시설'), 축산폐수처리시설, 산업폐수처리시설 등이며 각 처리시설별로 처리시설의 특성과 운전상태에 따라 삭감되는 처리율은 다를 수 있다. '이송시설'은 발생원에서 처리된 오염물질을 다른 처리시설로 이송하는 것으로 분류식, 합류식 하수관거 또는 탱크로리 등이며, 발생원 또는 처리시설로부터 환경기초시설로 이송되는 동안 오염부하가 감소될 수 있다. '환경기초시설'은 하수종말처리시설, 마을하수도처리시설, 분뇨처리시설, 축산폐수공공처리시설, 산업폐수종말처리시설 등이며, 각 처리시설별로 처리시설의 특성과 운전효율에 따라 삭감되는 처리율은 다를 수 있다. '연계처리'는 분뇨처리시설의 하수종말처리시설로의 연계처리, 축산폐수처리시설의 하수종말처리시설로의 연계처리, 폐수종말처리시설의 하수종말처리시설로의 연계처리 등이며 추가로 처리되는 단계별로 오염부하는 추가로 삭감된다.

현재 국내에서 수질관리를 위한 오염부하 산정은 한강수계의 경우 '한강수계 오염총량관리계획수립지침(환경부 고시 1999-143호)'을 적용하고 있으며, 낙동강·금강·영산강수계는 수계오염총량관리기술지침(국립환경연구원, '04. 8)에 근거하여 산정하고 있다.

본 연구에서는 대상수계가 한강수계의 지류인 왕

숙천이므로 한강수계 오염총량관리계획수립지침을 적용하였다. 다음은 '한강수계 오염총량관리계획수립지침'에 의한 각 오염원별 발생부하 및 배출부하산정과정을 개략적으로 서술한 것이다.

### 1) 발생부하량 산정

발생부하량은 다음 식과 같이 조사된 오염원 자료에 표 1의 발생원단위를 곱하여 산정하였다.

$$\text{발생부하량} = \sum(\text{인구수, 사육두수 등}) \times \text{오염원별 발생원단위}$$

### 2) 배출부하량 산정

배출부하량은 오염물질 배출구조 및 처리특성에 따라 다음과 같이 구분하여 산정한다.

표 1. 오염원별 발생원단위

| 오염원                   |                       | BOD                              | TN               | TP              |                |               |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 인구<br>(g/인·일)         | 시가화                   | 가정<br>영업                         | 50<br>26         | 10.5<br>8.0     | 1.2<br>0.7     |               |
|                       |                       | 비시가화                             | 가정<br>영업         | 49<br>26        | 13.2<br>8.0    | 1.5<br>0.7    |
|                       | 산업(g/m <sup>3</sup> ) |                                  | 업종별 발생원단위 적용     |                 |                |               |
|                       | 축산<br>(g/두·일)         | 젖소                               | 합계               | 556.2           | 161.82         | 56.65         |
| 분<br>뇨                |                       |                                  | 117.09<br>439.11 | 98.28<br>63.54  | 46.00<br>10.65 |               |
| 합계                    |                       |                                  | 528.0            | 116.8           | 36.14          |               |
| 한우                    |                       | 분<br>뇨                           | 460.56<br>67.44  | 76.76<br>40.04  | 32.62<br>3.52  |               |
|                       |                       | 말                                | 합계               | 259.2           | 77.6           | 23.98         |
|                       |                       |                                  | 분<br>뇨           | 229.14<br>30.06 | 50.92<br>26.68 | 21.64<br>2.34 |
| 돼지                    |                       |                                  | 합계               | 109.0           | 27.7           | 12.24         |
|                       |                       | 분<br>뇨                           | 76.80<br>32.20   | 12.80<br>14.90  | 8.96<br>3.28   |               |
|                       |                       | 토지<br>(kg/km <sup>2</sup><br>/일) | 전(밭)             | 1.59            | 9.44           | 0.24          |
| 답(논)                  |                       |                                  | 2.30             | 6.56            | 0.61           |               |
| 임야                    |                       |                                  | 0.93             | 2.20            | 0.14           |               |
| 대지                    |                       |                                  | 85.90            | 13.69           | 2.10           |               |
| 기타                    | 0.960                 |                                  | 0.759            | 0.027           |                |               |
| (목장)                  | 35.1                  |                                  | 5.37             | 1.72            |                |               |
| 양식(g/m <sup>2</sup> ) | 가두리                   | 86.0                             | 10.5             | 5.4             |                |               |
|                       | 유수식                   | 38.4                             | 5.2              | 0.9             |                |               |

(1) 인구

인구에 대한 배출부하량은 하수처리구역과 하수미처리구역으로 구분하여 산정하며, 하수미처리구역은 수거식변소 사용인구, 오수정화시설 사용인구, 단독정화조 사용인구 등으로 구분하여 산정한다.

(2) 축산

축산에 의한 배출부하량은 축종(젓소/한우/말/돼지/양/사슴/가금), 공공처리/개별처리, 개별처리인 경우 법적규제 구분(허가/신고/신고미만)과 축분 및 폐수처리 처리방법(폐수처리/자원화처리/미처리) 등을 고려하여 산정한다.

(3) 산업

산업폐수로부터의 배출부하량은 개별배출시설의 폐수처리시설 실적을 기초로 개별배출시설에서 직접 방류하는 경우와 환경기초시설을 통한 방류로 구분하여 산정한다. 단, 폐수 중 관외의 처리시설을 통해 위탁처리 하는 양 및 하수종말처리시설로 연계되어 처리되는 양은 배출부하량 산정에서 제외한다. 매립장 침출수에 의한 대상물질의 배출부하량은 별도로 산정하여 전체 배출량에 포함한다.

(4) 양식

양식장으로부터 유발되는 배출부하량은 배출경로 별로 처리시설을 거치지 않고 직접 방류하는 경우와 처리시설을 거쳐 방류하는 경우로 구분하여 산정한다.

(5) 토지

토지에 의한 배출부하량은 발생원단위가 토지이용에 따른 연간 10mm 이상 강우에 대한 실제 배출량을 기준으로 설정되었으므로 발생부하량에 기준유량인 저수기 동안 10mm 이상의 강우빈도를 고려하여 산정한다.

III. 토지이용의 공간적 다양성을 이용한 오염부하 산정 방법

1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 그림 2와 같이 우리나라 중

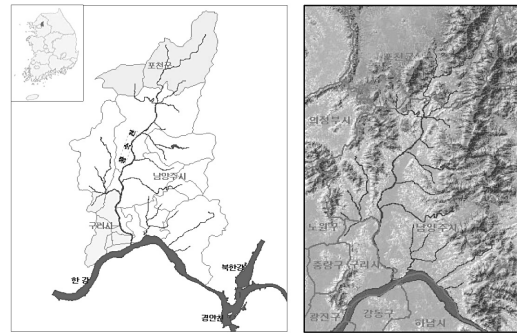


그림 2. 연구 대상지역의 행정경계 및 지형

서부에 있는 경기도의 동북부지역에 위치한 왕숙천 유역으로 한강의 제1지류로서 경기도 포천시 내촌면 신탐리를 기점으로 하여 남양주시를 지나 구리시 토평동까지 약 37km에 달한다. 행정구역으로는 구리시 8개동 전체, 남양주시 중 화도읍, 수동면, 조안면을 제외한 지역인 12개 읍면동, 포천시의 내촌면, 소흘읍의 일부 지역이다.

왕숙천은 한강과 합류 후에는 서울특별시의 상수취수원인 암사취수장 등 7개의 취수장이 위치하고 있어 왕숙천의 수질관리문제는 포천시, 구리시, 남양주시 등 3개 지방자치단체 뿐만 아니라, 잠실상수원을 취수원으로 이용하고 있는 서울특별시, 인천광역시까지 이해관계가 얽혀 있는 곳으로 그 중요성을 더하고 있으며, 특히 팔당호하류~잠실수중보 구간에는 왕숙천 이외에 특별한 오염원이 거의 없어 잠실수중보의 수질은 상류 팔당호 수질과 왕숙천에 의해 거의 결정된다.

그러나 남양주시의 택지개발 등으로 인해 인구가 급증함에 따라 왕숙천의 수질이 급격히 악화되어 정부에서는 왕숙천을 중점관리 대상수역으로 선정하여 세부 보완대책 등을 강구하고 있는 실정으로 정밀한 오염원 분석이 필요한 유역이다.

2. 데이터베이스 구축

1) 도형데이터베이스

연구 대상지역의 수치자료가 존재하는 경우는 원

시자료를 가지고 재구축 하였으며, 수치자료가 존재하지 않는 하수처리구역도나 시가비시가화구분도 등은 한강수계 하수관거정비 시범사업 타당성조사보고서(환경관리공단, 2002)와 도시계획 재정비 보고서(남양주시, 1998; 남양주시, 2003)의 자료를 원시자료로 하여 shapefile 형태로 구축하였다. 도형 데이터베이스 구축 현황은 표 2와 같다.

표 2. 도형DB 구축내역

| 구분  | 자 료 명          | 축척       | 자료형태 | 원시자료              |   |
|-----|----------------|----------|------|-------------------|---|
| 기본도 | 행정구역도          | 1:25K    | 면    | 국립지리원             |   |
|     | 하천도            | 1:25K    | 면    | 국립지리원             |   |
| 주제도 | 토지피복도          | 1:25K    | 면    | 환경부               |   |
|     | 유역도            | 1:50K    | 면    | 환경부 DEM           |   |
|     | 하수처리구역도        | -        | 면    | 그림파일<br>(시군별 보고서) |   |
|     | 시가비시가화구분도      | -        | 면    |                   |   |
|     | 폐수배출허용기준구분도    | -        | 면    | 환경부               |   |
|     | 수질측정지점         | -        | 점    |                   |   |
|     | 환경<br>기초<br>시설 | 분뇨처리시설   | -    |                   | 점 |
|     |                | 하수종말처리시설 | -    |                   | 점 |
|     | 축산폐수공공처리시설     | -        | 점    |                   |   |

## 2) 속성데이터베이스

속성데이터베이스는 환경부에서 제공하는 2003년 12월 말 기준으로 작성된 오염원자료를 이용하여 구축하였으며, 인구, 축산, 폐수배출업소, 양식장, 토지이용현황 등의 오염원 현황, 처리시설, 환경기초시설, 수질현황자료 등을 구축하였다. 속성 데이터베이스 구축 현황은 표 3과 같다.

## 3. 오염부하 산정방법

### 1) 공간정보와 오염원정보의 통합

위에서 살펴본 바와 같이 생활계, 축산계, 산업계, 양식장, 토지계의 각 오염원별 오염부하를 산정하는데 필요한 주제도를 도출한 후 도출된 시가비시가구분도, 하수처리구역도, 폐수배출허용기준구분도, 토지피복도와 기본적으로 필요한 정보인 행정구역도, 유역도 등의 주제도를 벡터자료인 폴리곤 형태로 구축하였다.

GIS는 서로 다른 레이어를 중첩하여 각각의 레이어가 가지고 있는 정보를 합칠 수 있으나 폴리곤이 중첩될 때 경계가 똑같이 중첩되지 않을 경우 슬리버

표 3. 속성DB 구축내역

| 대분류 항목         | 중분류 항목     | 소분류 항목  |
|----------------|------------|---|
| 오염원현황<br>(리동별) | 인 구        | 리동별 인구합계, 시가 비시가별 인구소계, 시가 · 비시가별 하수처리지역(분류식인구, 합류식인구) 시가 · 비시가별 하수미처리지역(수세식 오수처리인구, 수세식 단독정화 인구, 수거식인구, 무처리인구) |
|                | 축 산        | 리동별 사육두수(한우, 젃소, 돼지, 개, 말, 양, 사슴, 가금) 법적규제구분(허가대상, 신고대상, 신고미만) 축분뇨 처리방법(퇴비화, 톱밥발효, 저장액비 등)                      |
|                | 산 업        | 업소명, 소재지, 업종, 표준코드, 주생산품, 폐수발생량, 배출량 등  |
|                | 양 식 장      | 양식장명, 소유주, 소재지, 양식어종, 면허기간, 시설면적  |
|                | 토지이용       | 논, 밭, 임야, 대지, 목장, 골프장, 기타 지목별 면적  |
| 처리시설           | 오수처리시설     | 시설명, 설치일, 업종, 시설용량 등  |
| 환경 기초시설        | 분뇨처리시설     | 처리장별 시설명, 소재지, 시설용량, 방류량, 유입수(BOD, TN, TP), 방류수(BOD, TN, TP) 등  |
|                | 하수종말처리시설   |   |
|                | 축산폐수공공처리시설 |   |
| 수질현황           | 수질측정지점     | 측정소명, 측정일, 유량, BOD, TN, TP  |

(Sliver)라는 쪼개진 많은 폴리곤이 생성되어 부정확한 공간분석으로 인한 잘못된 정보를 도출하게 되므로(김계현, 2004) 행정구역도를 표준형태(Template)로 하여 각 레이어의 경계를 수정·편집한 후 그림 3과 같이 중첩함으로써 결과레이어에 중첩된 모든 레이어의 속성을 가지도록 하였다.

공간정보와 오염원자료를 통합하기 위하여 중첩 결과레이어에 생활계의 경우는 인구현황, 오수처리시설, 축산계는 축산현황, 산업계는 폐수배출시설, 양식장계는 양식장현황의 오염원 데이터를 행정코드나 법정동리를 주키로 하여 join하였다. 생활계의 가정인구의 경우에는 모든 리동에 데이터가 존재하므로 완전 join이 되지만, 영업인구나 축산, 산업, 양식의 경우에는 모든 리동에 데이터가 존재하지는 않으므로 outer-join을 하였다(Henry F. Korth et al, 1999). 그 결과 중첩 결과레이어는 모든 레이어의 도형정보와 함께 오염원 정보를 가지게 되므로 이를 이용하여 오염부하를 산정하였다.

## 2) 공간정보 분석에 의한 오염부하 산정

공간연산에 의한 오염부하는 중첩 결과레이어를 가지고 한강수계 오염총량관리계획수립지침을 적용하여 각 오염원별로 오염부하를 산정하였다. 이 때 가정인구는 주거지역, 영업인구는 상업지역, 축산은 주거지역, 산업은 공업지역, 그리고 양식에 의한 오염부하는 양식장이 위치하는 리동에서 발생 되고 배출되는 것으로 고려하였으며, 토지계는 논, 밭, 임야, 대지, 골프장, 기타지역에서 오염물질이 발생되고 배출되는 것으로 고려하여 산정하였다.

오염부하 산정시 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 각 토지이용별 배출지역에 할당하기 위하여 먼저 각 리동에서의 토지이용별 면적합 즉, 각 리동의 주거지역, 상업지역, 공업지역의 각각의 면적합을 구한 후 각 폴리곤이 차지하는 면적비인 주거면적비, 상업면적비, 공업면적비 등의 분류면적비를 구하였으며 구하는 식은 다음과 같다(식 1).

$$\text{분류면적비} = \frac{\text{각 폴리곤의 면적}}{\text{각리동의토지이용별면적합}} \quad (\text{식 1})$$

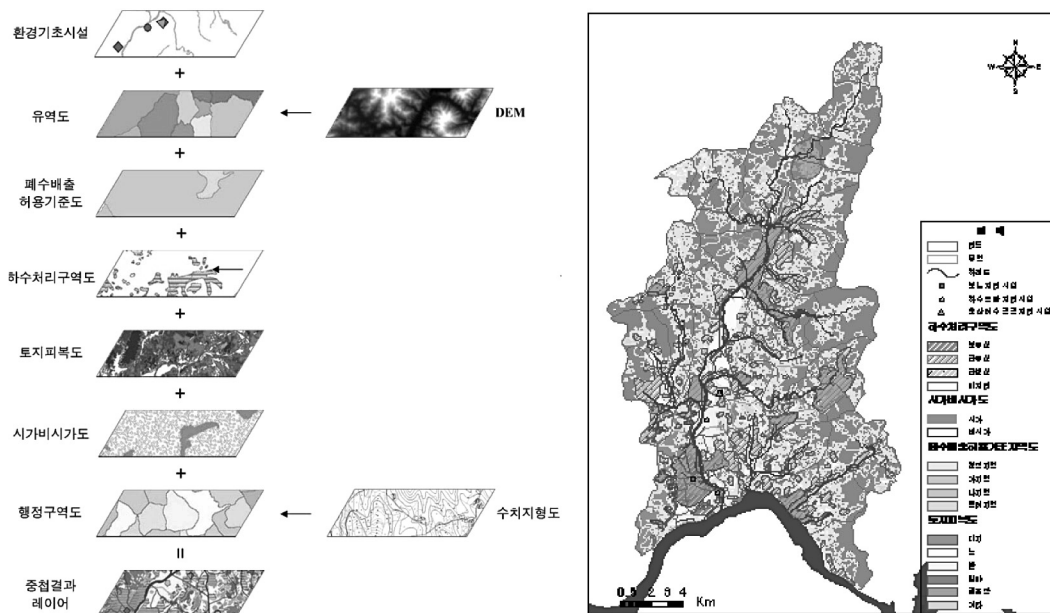


그림 3. 오염부하 산정을 위한 레이어 중첩(좌) 및 중첩 결과레이어(우)

#### (1) 발생부하량 산정

생활계의 가정인구에 의한 발생부하량은 토지피복도의 중분류 항목에서 주거지역을 선택하여 시가지지역, 비시가지지역을 구분하여, 발생원단위를 적용하여 오염부하를 계산한 후, 각 리동의 주거지역의 지목별 분류비를 곱하여 주거지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였다. 영업인구에 의한 발생부하량은 오수처리시설의 시설용량을 가지고 산정하였는데 하루에 한사람이 100L를 발생시키고 시설용량이 처리용량의 1.5배로 설계되었다고 보아 시설용량/100/1.5를 영업인구로 보았으며, 시가지지역과 비시가지지역의 발생원단위가 동일하므로 토지피복도의 중분류 항목에서 상업지역을 선택하여 계산한 후, 각 리동의 상업지역의 분류면적비를 곱하여 상업지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였다.

축산에 의한 발생부하량은 토지피복도의 주거지역을 찾아 각 리동의 축종별 사육두수에 발생원단위를 적용하여 부하량을 계산한 후, 각 리동의 주거지역의 지목별 분류비를 곱하여 주거지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였다.

산업에 의한 발생부하량은 토지피복도의 공업지역을 찾아 각 리동의 폐수배출시설의 폐수발생량에 원단위를 곱하여 부하량을 계산한 후 각 리동의 공업지역의 분류면적비를 곱하여 공업지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였으며, 양식에 의한 발생부하량은 양식장의 시설면적에 오염원단위를 곱해서 부하량 산정 후 리동면적비를 곱해서 양식장이 위치한 리동의 각 폴리곤에 배분하였다.

토지에 의한 발생부하량은 26개로 분류되어있는 토지피복도를 대지, 논, 밭, 임야, 골프장, 기타, 목장의 7가지 항목으로 재분류하였으나 현재의 토지피복도에는 목장이 따로 분류되지 않아 목장을 제외한 6개 항목으로 분류하여 각 폴리곤의 면적에 해당 지목에 대한 원단위를 곱하여 산정하였다.

#### (2) 배출부하량 산정

인구에 의한 배출부하량은 시가화지역/비시가화

구역, 가정/영업, 하수도처리/비하수도처리, 분류식 하수관거/합류식하수관거, 수세식/수거식, 오수정화/단독정화, 미처리 등의 발생원 구분과 배출경로를 고려하여 산정하였다. 그 중 하수처리지역 내 인구의 경우를 보면 시가지지역과 비시가지지역의 발생원단위가 다르므로 레이어에서 주거지역 $\cap$ 시가 $\cap$ 분류식이나 주거지역 $\cap$ 시가 $\cap$ 합류식 등의 속성검색을 통하여 대상 폴리곤을 검색하여 추출한 후, 선택된 폴리곤에서 리동별 인구수에 각각의 원단위와 분류면적비를 곱하여 산정하였다.

축산에 의한 배출부하량은 발생부하량과 마찬가지로 토지피복도의 주거지역을 찾아 각 리동의 축종, 공공처리/개별처리, 법적규제 구분과 축분 및 폐수처리 처리방법 등을 고려하여 산정한 후, 각 리동의 주거지역의 분류면적비를 곱하여 주거지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였다.

산업폐수로부터의 배출부하량은 폐수배출시설의 방류량과 폐수배출시설 허용기준을 이용하여 산정하므로 토지피복도의 공업지역을 찾아 폐수배출시설허용기준구분도를 이용하여 산정한 후, 각 리동의 공업지역의 분류면적비를 곱하여 공업지역에 속한 각 폴리곤에 값을 배분하였다.

양식장에 의한 배출부하량도 발생부하량과 동일하게 부하량 산정 후 리동면적비를 곱해서 양식장이 위치한 리동의 각 폴리곤에 배분하였으며, 토지에 의한 배출부하량도 평수기인 경우는 발생부하량과 같다고 보아 각 폴리곤의 면적에 해당 지목에 대한 원단위를 곱하여 산정하였다.

## IV. 수학적 오염부하량 산정과의 비교 분석

기존의 오염부하 산정은 주로 엑셀에서 수학적으로 계산되고 있는데, 산정방법이 매우 복잡하고 어려우며, 리동별로 산출하므로 오염원의 리동별 오염부하량은 산정할 수 있지만 리동내에서의 오염부하량의 분포는 알 수 없다. 하지만 본 연구방법에 의한 오

염부하 산정은 오염원 데이터를 속성으로 가지고 있는 도형정보를 이용하여 계산하므로 GIS 도구를 이용하여 각 오염원별 오염부하량의 리동에서의 분포 위치를 나타낼 수 있었다. 즉, 기존의 오염부하량 산정은 행정구역의 최소단위인 리동별로 계산하지만, GIS를 이용하여 산정시에는 여러 가지 정보를 가진 주제도를 중첩하여 만들어진 각 폴리곤별로 계산되므로 오염원의 위치를 좀 더 정확히 나타낼 수 있었다. 또한 오염부하 산정에 필요한 각종 정보를 GIS를 이용하여 도형정보와 연계구축하여 산정함으로써 구역별 오염부하량 산정시에는 리동면적비를 이용하여 산정하는 기존의 수학적 방법과 비교하여 많은 차이가 있었다.

본 연구방법에 의해 산정된 값과 수학적 방법에 의해 산정한 값의 차이와 구역 크기의 관계를 알아보기 위하여 그림 4와 같이 각각 5개, 14개, 28개로 구분된 구역에 대하여 산정한 생활계 BOD 발생부하량은 표 4에서 표 6과 같으며, 구역별 절대값의 합을 비교하여 그림 5에 나타내었다. 생활계 BOD 발생부하량을 비교한 결과를 보면 5개 구역으로 구분한 경우는 차이의 절대값의 합이 959kg/일, 14개 구역으로 구분한 경우는 2,943kg/일, 28개 구역으로 구분한 경우는 5,841kg/일로 구역 구분의 수가 많아질수록 차이의 절대값의 합은 점점 커졌다. 즉, 구역이 점점 세

표 4. 5개 구역별 부하량 비교 (단위: kg/일)

| 구역 | 공간분석방법( $\alpha$ ) | 수학적방법( $\beta$ ) | $ \alpha - \beta $ |
|----|--------------------|------------------|--------------------|
| 가  | 961                | 1,205            | 244                |
| 나  | 3,619              | 3,358            | 261                |
| 다  | 1,613              | 1,511            | 102                |
| 라  | 16,591             | 16,898           | 307                |
| 마  | 5,982              | 5,937            | 45                 |
| 합계 | 28,766             | 28,909           | 959                |

표 5. 14개 구역별 부하량 비교 (단위: kg/일)

| 구역 | 공간분석방법( $\alpha$ ) | 수학적방법( $\beta$ ) | $ \alpha - \beta $ |
|----|--------------------|------------------|--------------------|
| A  | 274                | 325              | 51                 |
| B  | 565                | 421              | 144                |
| C  | 122                | 459              | 337                |
| D  | 458                | 286              | 172                |
| E  | 1,187              | 1,120            | 67                 |
| F  | 149                | 198              | 49                 |
| G  | 1,825              | 1,754            | 71                 |
| H  | 1,613              | 1,511            | 102                |
| I  | 1,542              | 1,590            | 48                 |
| J  | 1,888              | 2,617            | 729                |
| K  | 1,711              | 1,986            | 275                |
| L  | 11,450             | 10,705           | 745                |
| M  | 1,909              | 1,963            | 54                 |
| N  | 4,073              | 3,974            | 99                 |
| 합계 | 28,766             | 28,909           | 2,943              |

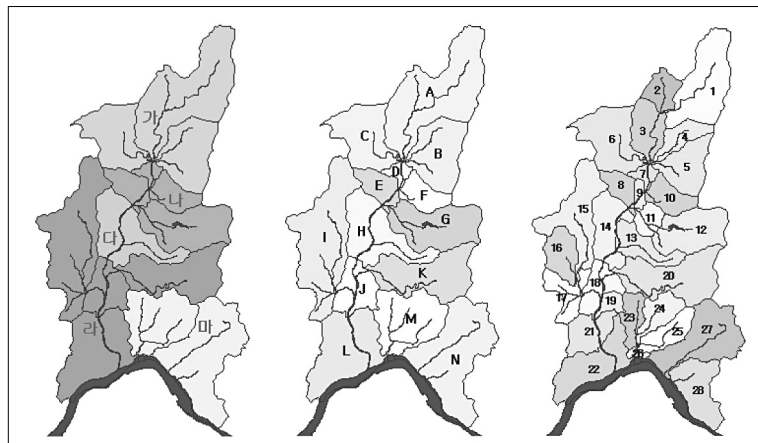


그림 4. 5개 구역(좌) 14개 구역(중), 28개 구역(우)

표 6. 28개 구역별 부하량 비교 (단위: kg/일)

| 구역 | 공간분석방법( $\alpha$ ) | 수학적방법( $\beta$ ) | $ \alpha - \beta $ |
|----|--------------------|------------------|--------------------|
| 1  | 162                | 159              | 3                  |
| 2  | 35                 | 45               | 10                 |
| 3  | 77                 | 121              | 44                 |
| 4  | 198                | 84               | 114                |
| 5  | 367                | 337              | 30                 |
| 6  | 122                | 459              | 337                |
| 7  | 458                | 286              | 172                |
| 8  | 435                | 904              | 469                |
| 9  | 752                | 216              | 536                |
| 10 | 149                | 198              | 49                 |
| 11 | 909                | 700              | 209                |
| 12 | 916                | 1,054            | 138                |
| 13 | 548                | 765              | 217                |
| 14 | 1,065              | 746              | 319                |
| 15 | 934                | 970              | 36                 |
| 16 | 139                | 245              | 106                |
| 17 | 469                | 375              | 94                 |
| 18 | 1,821              | 2,564            | 743                |
| 19 | 67                 | 53               | 14                 |
| 20 | 1,711              | 1,986            | 275                |
| 21 | 4,798              | 3,829            | 969                |
| 22 | 6,652              | 6,876            | 224                |
| 23 | 66                 | 171              | 105                |
| 24 | 1,672              | 1,418            | 254                |
| 25 | 153                | 282              | 129                |
| 26 | 18                 | 92               | 74                 |
| 27 | 3,387              | 3,252            | 135                |
| 28 | 686                | 722              | 36                 |
| 합계 | 28,766             | 28,909           | 5,841              |

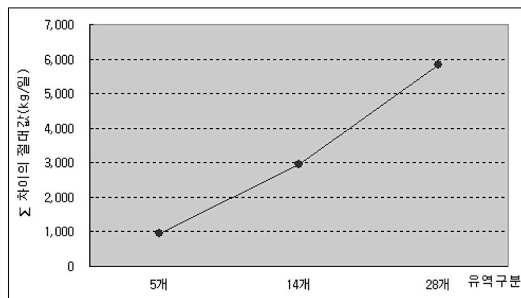


그림 5. 차이의 절대값의 합과 구역크기의 관계

분화 될수록 차이의 절대값의 합이 증가하는 추세를 보여주고 있는데, 이는 구역이 세분화될수록 리동이 여러 구역으로 나누어지게 되므로 차이가 점점 커지고 있음을 알 수 있다. 그러므로 본 연구방법에 의한 오염부하 산정은 수질오염총량관리를 위하여 세부구역에 대한 오염부하량의 공간적 할당시 오차를 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 결론

본 연구에서는 토지피복도 등의 공간분석을 통해 오염원 분류체계를 보다 단순화하고, 오차유발의 난점 등을 해결할 수 있는 오염부하 산정방안을 제시하고 그 결과를 기존의 방법과 비교하였다. 연구로부터 얻어진 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 배수구역별 오염부하 산정방법은 사전에 산정된 값을 면적비로 각 배수구역에 할당하여 얻은 값이기 때문에 많은 오차를 유발하게 되고, 토지이용의 특성을 충분히 반영하지 못하는 단점이 있었다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법은 토지피복도 및 행정구역도 등 도형정보의 중첩을 이용하여 오염원별 공간적 분포를 정량적으로 해석할 수가 있어 보다 정확한 오염부하 산정이 가능함을 보여주었다. 즉, 한 행정구역(리·동)에서 인구 등의 오염원은 등분포하게 존재한다는 기존의 방식에서 토지피복도상의 주거지역에는 생활계의 가정인구 및 축산계, 상업지역에는 생활계의 영업인구, 공업지역에는 산업계가 분포하는 것으로 가정함으로써 보다 정밀한 오염밀도의 산정이 가능하였다. 또한 배수구역과 하수처리구역이 일치하지 않는 경우에도 도형정보의 중첩을 통해 배출수계를 구분할 수 있어 각 구역에서 배출되는 오염부하를 효과적으로 산정할 수 있었다.

둘째, 시가화·비시가화 구분, 하수처리구역·비하수처리구역 구분, 합류식 하수도·분류식 하수도 구분, 폐수배출허용기준 지역구분 등의 지형정보를 구축·응용함으로써 현행 생활계 및 토지계의 오염원 분류체계 및 조사항목을 보다 단순화 할 수 있어

수질관리 업무의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 생활계의 경우 각 리·동별 인구만 수집하여도 각종 공간정보를 이용할 경우 오염부하 산정에는 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다. 또한 토지피복도를 이용하여 토지이용목적별 오염원단위에서 제시하고 있는 항목으로 분류하여 산정하면 리·동별이 아닌 토지이용에 따른 폴리곤별로 산정되므로 비점오염원의 발생위치를 파악할 수 있고, 특히 토지이용현황은 별도로 자료를 수집하지 않아도 될 것으로 판단된다.

셋째, 오염원 및 오염부하를 주거지역, 공업지역, 상업지역 및 농업지역 등 토지이용별 폴리곤으로 산정함으로써 오염원의 정확한 위치 파악이 가능하고, 각 폴리곤으로부터 수질측정지점(목표지점)까지의 유달과정 해석(유달율 산정 등)에 있어 정량적인 접근이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

국립환경연구원, 2004, 수계오염총량관리기술지침.  
 김계현, 2004, 공간분석, 두양사.  
 남양주시, 1998, 2016 남양주시 도시기본계획.  
 남양주시, 2003, 남양주 도시계획 재정비.  
 정동일, 1998, 지리정보체계를 이용한 오염물질 유출해석 및 삭감량 배분에 관한 연구, 고려대

학교 박사학위청구논문.  
 환경부, 2003, 하수도법.  
 환경부, 2003, 오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률.  
 환경부, 1999, 한강수계 오염총량관리계획수립지침 (고시 1999-143호).  
 환경관리공단, 2002, 한강수계 하수관거정비 시범사업 타당성조사보고서(구리시).  
 환경관리공단, 2002, 한강수계 하수관거정비 시범사업 타당성조사보고서(남양주시).  
 Kelly, D. *et al.*, 1987, Developing a Strategic Assessment and Planing Framework for the marine Environment, J. Env. Mgt., 25, 219-230.  
 Nakagami, K., 1987, Optimal Process of the Development of the Residential Area in the Coastal Zone, Proc. Coastal Zone ww Div/ASCE, Seattle, May, pp. 26-29.  
 Henry F. Korth, Arbraham Silberschatz, and S. Sudarshan, 1999, Database System Concepts 3rd,ed, The McGraw-Hill Companies, Inc.