

분포형 공간정보를 이용한 유역단위 오염원정보 구축

배명순^{1*} · 하성룡²

Acquisition of Watershed-based Pollution Source Information using Spatial Distributed Geo-Information

Myoung-Soon BAE^{1*} · Sung-Ryong HA²

요 약

최근 우리나라는 유역단위의 수질관리정책의 새로운 도구로서 수질오염총량관리제를 도입하여 시행하고 있다. 수년의 준비에도 불구하고, 본격적인 시행초기인 시점에서 수질오염총량관리제의 성공적인 정착을 위해서는 해결해야할 여러 현안문제들이 나타나고 있는 실정이다. 오염원의 공간 배분은 지역개발계획에 있어서 매우 민감한 사항이며, 합리적인 수질오염총량관리의 수행을 위해서는 유역단위의 오염원정보의 구축이 필요하다. 이를 위하여 행정구역단위의 오염원 정보를 유역 단위로 배분하는 과정이 필요한데, 본 연구는 기존의 단순면적비를 이용한 오염원의 공간배분 (simple area-based allocation; SAA)기법에서 발생하는 불확실성을 개선하고자 수행되었다. 오염원정보의 공간적 분포특성을 분석하기 위하여 토지피복정보 및 GIS를 이용하였으며, 오염원의 공간분포특성을 고려한 오염원배분(spatial distribution-based allocation; SDA)기법을 제안하였다. 연구결과 SAA의 한계점을 명확히 파악할 수 있었으며, 본 연구에서 제안한 SDA의 개선효과와 활용가능성을 입증하였다. 도시지역 등 오염원이 행정구역내의 특정지역에 집중되어있는 경우는 기존의 SAA에 비하여 오염원 공간정보의 불확실성을 크게 개선할 수 있음이 증명되었다. 이러한 결과는 수질오염총량관리제의 효과적인 분석기법으로 활용성을 기대할 수 있으며, 불확실성으로 인한 개발과 보전간의 갈등을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 수질오염총량관리제, 오염원 공간분포특성, 오염원 배분, 유역관리

ABSTRACT

The Total Maximum Daily Load(TMDL) Act just implemented as a new tool of watershed based water quality management, in Korea. Thus, there are a number of pending questions to resolve for successful settlement of the TMDL. The allocation of pollution source is a exceedingly sensitive issue on local development planning. The simple area-based allocation (SAA) is conventional method to allocate the administrative pollution information to watershed

2006년 11월 20일 접수 Received on November 20, 2006 / 2006년 12월 14일 심사완료 Accepted on December 14, 2006

1 국립환경과학원 금강물환경연구소 Geum-River Watershed Management & Research Center

2 충북대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

* 연락처 E-mail : bms1409@hanmail.net

based information. The SAA has a limitation that it can't consider the characteristics of spatial distribution of pollution source and it has caused more uncertainty of TMDL. This study was performed to reduce the uncertainty of watershed-based pollution information using the spatial distribution-based allocation(SDA). In the specific area where pollution source is concentrated such as urbanized region, it has been certified that SDA could reduce a tolerance of pollution information dramatically. As a result of study, SDA is expected a effective tool for TMDL and to solve the conflict between development and protection.

KEYWORDS : Spatial Distribution-based Pollution Source Allocation, TMDL, Watershed Management

서 론

우리나라는 2004년 낙동강수계를 시작으로 본격적인 수질오염총량관리제가 시행되고 있다. 수질오염총량관리제는 총량관리단위유역별 목표수질을 설정하고, 이를 달성할 수 있는 배출가능 오염물질의 양을 설정하여 관리하는 제도이다(국립환경과학원, 2006). 기존의 농도 규제 체제에서는 법정 방류수질만 만족하면 오염원의 증가를 제재할 수 있는 대책이 없어 무분별한 오염원의 증가와 수질악화를 초래하였고, 이에 대한 대안으로 수질오염총량관리제가 도입되었다. 수질오염총량관리제는 수계별로 배출 가능한 오염물질의 양을 지정하여 관리하는 제도이기 때문에 오염원의 무분별한 증가와 수질악화를 예방할 수 있는 직접적이고 효과적인 정책이기는 하나 지역의 개발과 직접적으로 관련되기 때문에 합리적이고 과학적인 분석기법이 요구되어 진다(환경부, 2003). 현재는 수질오염총량관리제의 도입·적용단계로서 행정 및 기술적인 사항에 대한 불확실성을 개선할 수 있는 방안이 요구되어지고 있는 상황이다.

기술적인 개선요구 사항 중 기초오염원의 조사 및 유역단위의 오염원정보 배분은 가장 기본적인면서 중요한 사안 중에 하나이다. 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원, 2004)에서는 지면단위별 오염원을 조사하도록 규정하고 있으며, 지면단위 조사가 어려운 경우에 동리단위로 조사하고 이를 소유역으로 정리하도록 규정하고 있다. 그러나 현재의 행

정체계에서 지면단위의 오염원조사는 어려울 실정이며, 수질환경보전법에 의거한 전국오염원조사의 기초행정단위가 동·리단위로 되어있다. 유역중심의 수질관리정책인 수질오염총량관리제도에서는 유역단위 오염원정보가 요구되는데, 2개 이상의 유역에 포함되어진 동·리의 경우 현지조사의 어려움으로 행정구역도와 유역도를 중첩하여 산출한 점유율을 이용하는 단순면적비 방법으로 오염원정보를 배분하고 있다. 단순면적비에 의한 배분(simple area-based allocation; SAA)은 오염원의 분포특성을 고려하지 못하기 때문에 개발 가능성이 없는 지역에 개발계획을 할당하거나 반대로 개발계획이 있는 지역의 개발할당을 부여하지 않아 지역 개발에 어려움을 겪는 문제점을 나타내고 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 SAA가 이용되어지는 근본적인 요인은 벡터형 공간정보가 가지는 공간분석기능의 제한성과 분포형 공간정보를 확보하기 어렵기 때문이다. 즉, 오염원의 공간적 분포특성은 벡터형 공간자료로 표현하기가 어렵고, 따라서 행정구역내 오염원의 분포가 균일하다는 가정하에 단순면적비율로 배분하게 된 것이다. 벡터형 공간정보의 표현 제한성을 극복할 수 있는 방안이 위성영상의 분석을 통한 래스터형 공간정보의 활용이다.

기존의 연구에서도 래스터형 공간정보를 이용하여 오염원의 공간분포, 오염물질의 유출과정 등을 분석하기도 하였다. 그러나 이러한 연구는 위성영상 등으로부터 추출한 토지피복도에 오염물질 원단위 또는 강우의 유출

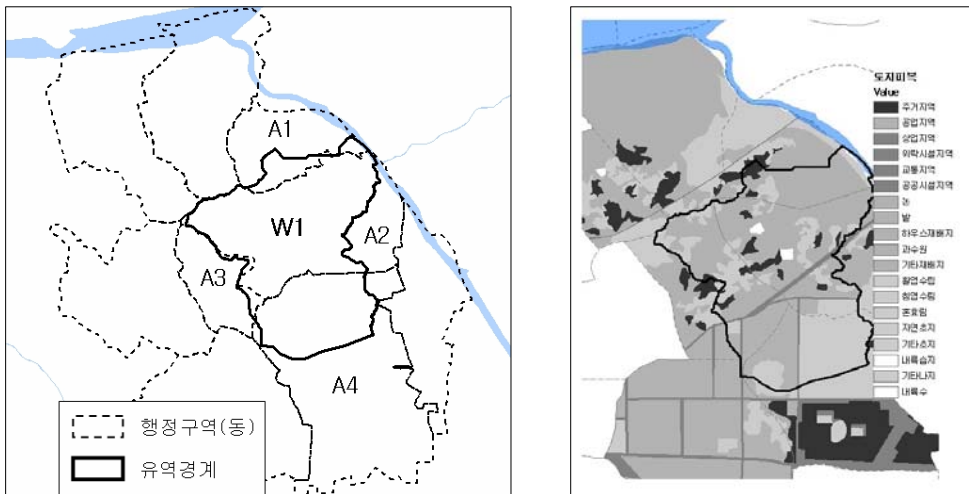
특성을 적용하여 토지계에서 유출되는 비점 오염물질의 공간적 분포 및 유출특성을 분석하는데 그치고 있다(정동일, 1998; 부기동 등, 1999). US EPA 등의 유역모델을 활용하는 경우도 있으나(김성준 등, 2000; 김철과 김석규, 2002; 김경탁과 최윤석, 2006) 모델을 입력자료, 매개변수 등이 복잡하고 불확실성이 많아 수질오염총량관리제와 같이 지역개발과 직결되어 객관적인 분석결과가 필요한 분야에 적용하기가 어렵다. 또한 토지계 이외의 생활계나 산업계 등의 오염원자료에 대하여는 오염원의 공간적인 분포를 고려하지 못하는 한계점을 가지고 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 개선하고자 래스터 구조의 토지피복정보와 행정구역별 오염원정보를 결합하여 공간적 분포특성을 고려한 오염원의 공간배분(Spatial distribution-based allocation; SDA) 기법을 제안하고자 수행하였다. 연구 수행을 위하여 0차원의 점(point)적 구조의 오염원정보와 2차원의 면(polygon)적 구조의 토지피복정보를 중첩분석하여 유역단위 오염원정보를 구축하였다.

연구방법

1. 단순면적비에 의한 오염원배분(SAA)

현재 환경부에서 수질환경보전법에 따라 실시하고 있는 전국오염원조사의 기초단위는 법정동·리이며, 조사항목은 인구, 토지이용현황, 기타수질오염원, 환경기초시설, 용수공급현황 등의 기초현황과 산업 및 축산현황을 조사하고 있다. 이러한 오염원조사 자료는 수질오염총량관리제의 기초자료로 사용되어 행정구역별, 유역별 오염물질의 발생 및 배출부하량을 산정하게 된다. SAA의 경우 오염원의 공간적 분포특성을 고려하지 않고 단순한 면적비를 사용하기 때문에 유역별 오염원정보에 적지 않은 오차가 발생하게 되며, 유역별 오염원정보를 이용하여 분석하는 수질모델링, 유역별 환경용량, 및 지역의 개발 및 수질관리정책에 까지 영향을 미치게 된다.

SAA는 특정 유역(W_i)에 속한 행정구역별 점유율과 오염원정보(PA_i)를 이용하여 해당 유역의 오염원정보(PW_i)를 산정하게 된다. 그림 1(a)에서 유역 W_1 은 A_1, A_2, A_3 및 A_4 의



(a) 행정구역 및 유역 경계

(b) 토지피복도

FIGURE 1. 유역정보를 구축하기 위한 공간정보

$$P_{W1} = (P_{A1} \times S_{W1}^{A1}) + (P_{A2} \times S_{W1}^{A2}) + (P_{A3} \times S_{W1}^{A3}) + (P_{A4} \times S_{W1}^{A4}) \quad (1)$$

$$S_{W1}^{Ai} = \frac{W1 \text{에 속한 } Ai \text{의 면적}}{Ai \text{의 면적}} \quad (2)$$

행정구역을 포함하고 있으며, W1의 오염원 정보는 다음 식에 의하여 산출된다.

그림 1(b)에서 행정구역 A1, A2 및 A3은 오염원이 공간적으로 골고루 분포되어있는 반면 행정구역 A4는 유역 W1에 포함된 지역은 주로 공업지역과 기타나지로 구성되어 있으며 주거지역은 대부분 W1 이외의 유역에 위치하고 있다. 즉, 유역 W1에 포함된 행정구역 A4의 주거인구는 거의 존재하지 않음에도 불구하고 단순한 면적점유율로 계산하게 될 경우는 이 점유율에 의해 주거인구정보가 배분되기 때문에 유역 W1에 존재하는 주거인구(PW1^{A4})가 실제보다 많게 계산되어 지는 문제점을 가지고 있다. 이는 W1의 인구정보의 오류 및 이로 인한 오염물질의 양을 산정하는데 오차를 크게 하는 요인으로 작용하게 된다.

2. 공간분포특성을 고려한 오염원배분(SDA)

GIS는 공간정보에 대한 색인, 질의, 중첩 등의 분석기능을 지니고 있는데, 다양한 정보를 통합하여 2차적 정보를 생성하기 위해서 주로 사용되는 기능이 중첩분석이다. McHarg(1969)는 적지분석 등에 사회 및 환경·기술적인 요인을 결합시키는 방법으로 중첩공간분석 개념

을 제안하였고, 이후 GIS가 지닌 정보처리의 정확성, 대용량의 정보수용 능력, 공간 분석능력 등을 이용하여 McHarg의 공간분석기법이 대폭 개선되었고 다양한 수학적 공간연산이 가능해졌다(Congalton과 Kass, 1992). 중첩된 정보에 대한 수학적 연산이나 공간적 위치에 따라 특성을 분석하는 경우에 주로 래스터형 구조의 공간정보가 이용된다.

본 연구에서는 행정구역별 오염원정보와 래스터구조의 토지피복정보를 결합하여 공간분포특성을 가진 행정구역별 오염원정보를 구축하였고, 다시 유역도와 결합한 후 질의분석을 통하여 유역별 오염원정보를 구축하였다. 그림 2는 본 연구에서 수행한 SDA 개념도이다. 텍스트 구조(DB)의 오염원정보와 벡터(vector)구조의 행정구역도를 결합하고 이를 래스터 구조의 공간정보로 변환한 후 토지피복도와 중첩분석(merge)하여 행정구역, 오염원 및 토지피복 정보를 포함하는 래스터 구조의 복합공간정보를 생성한다. 이 복합공간정보로부터 질의(query)를 이용하여 유역별 오염원정보를 추출하게 된다. 즉, 특정유역(W_i)에 속한 행정구역별(A_i), 토지피복별(C_v) 오염원 정보를 구축하게 된다. 본 연구에서는 지형정보 분석을 위하여 ARC/INFO의 GRID 모듈과 AML을 사

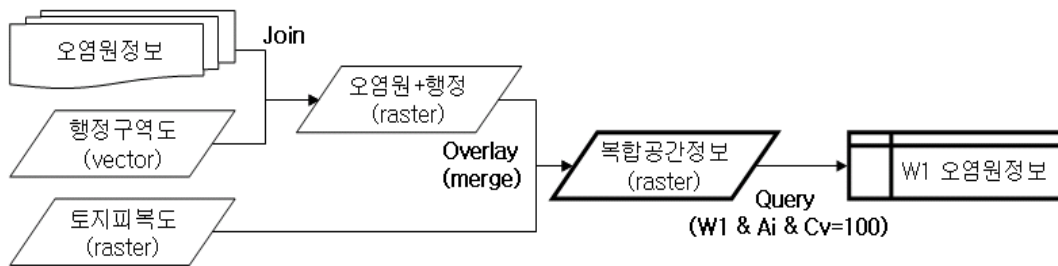


FIGURE 2. 공간분포특성을 고려한 오염원배분 과정

용하였다(ESRI, 1995).

토지피복정보는 래스터형 구조를 가지고 있으며, 행정구역정보와 결합할 경우 행정구역별 토지피복별 격자(cell)의 수를 산출할 수 있다. 즉, 행정구역별 인구수(P_{Ai})를 행정구역별 주거지역에 해당되는 격자의 수(N_{Ai}^{C11})로 나누면 그 행정구역의 주거지역 셀의 단위인구수(U_{Ai}^P)를 산출할 수 있다. 여기에 W1에 속하는 i 행정구역의 주거지역 셀의 수($W1 \cap A_i \cap C_V=11$)를 곱하게 되면 W1에 포함된 i 행정구역의 인구수를 계산할 수 있다(식 (3)).

$$P_{W1} = \sum_{i=1}^n \{count(W1 \cap A_i \cap C_V=11) \times U_{Ai}^P\} \quad (3)$$

$U_{Ai}^P = P_{Ai} / N_{Ai}^{C11}$, i 행정구역의 주거지역 셀(C_{11})당 오염원 수

N_{Ai}^{C11} , i 행정구역의 주거지역 셀($C_V=11$)의 수

결과 및 고찰

1. 기초정보

본 연구에서는 법정동·리별 오염원자료와 행정구역도, 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도, 수질오염총량관리 소유역도의 지형자료를 기초정보로 사용하였다. 수질오염총량관리 기본계획 수립당시의 오염원정보는 행정동·리 단위로 조사되었으며, 여러 개의 법정동·리

가 하나의 행정동·리로 구성되어 있는 지역은 유역별 오염원 배분과정에서 보다 큰 불확실성을 초래할 수 있기 때문에 행정동·리와 법정동·리를 별도로 적용하여 그 차이를 분석하였다. 오염원 종류는 생활계 인구를 대상으로 하였다. 토지피복도는 주거지역, 공업지역, 논, 밭, 과수원, 골프장, 자연초지 등 23개의 항목으로 분류되어 있으며 5m×5m의 해상도를 가진다.

본 연구는 금강수계 미호천에 접해있는 청주시 일원을 대상으로 수행하였다. 그림 3에서 W1 소유역은 청주시를 관통하는 무심천의 말단부근에 위치하고 있다. W1에 포함된 행정동으로는 강서2동과 송정동을 포함하고 있으며 법정동으로는 문암동, 송절동, 화계동, 봉명동을 포함한다. 행정동인 강서2동은 문암동을 비롯하여 총 13개 법정동으로 구성되어 있으며, 송정동은 봉명동과 송정동 2개의 법정동으로 구성되어 있다.

2. SAA 결과

수질오염총량관리에서는 법정동·리를 기준으로 구축하도록 규정하고 있으나 일부 지역의 경우 행정동·리로 구축되어 있거나 법정동·리와 혼재되어 있기도 하다. 행정동·리와 법정동·리의 공간구조상의 차이에 의한 오염원정보의 오차를 분석하기 위하여 행정동(강서2동, 송정동)을 대상으로도 오염원 공간배분을 수행하였다. 오염원정보는 생활계 인구를 대상으로 하였으며 행정구역별 인구, 점유율 및 단순

TABLE 1. 토지피복 분류 항목

분류항목(코드, C _v)	분류항목(코드, C _v)	분류항목(코드, C _v)	분류항목(코드, C _v)
주거지역(11)	논(21)	활엽수림(31)	내륙습지(51)
공업지역(12)	밭(22)	침엽수림(32)	연안습지(52)
상업지역(13)	하우스재배지(23)	혼효림(33)	채광지역(61)
위락시설지역(14)	과수원(24)	자연초지(41)	기타나지(62)
교통지역(15)	기타재배지(25)	골프장(42)	내륙수(71)
공공시설지역(16)		기타초지(43)	해양수(72)

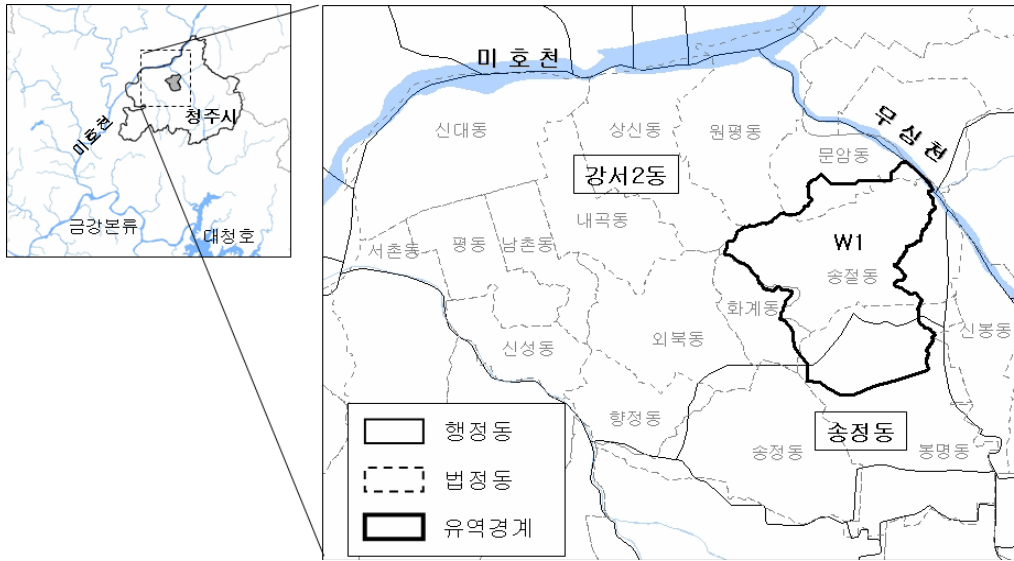


FIGURE 3. 연구대상 지역

TABLE 2. 단순면적비에 의한 W1유역의 인구수

행정동	행정구역 인구수	W1 유역		법정동	행정구역 인구수	W1 유역	
		점유율	인구수			점유율	인구수
강서2동	4,795	14.33	687	문암동	268	20.6	55
				송절동	482	78.9	380
				화계동	265	10.1	27
송정동	36,736	16.13	5,925	봉명동	36,522	29.3	10,701
계			4,280				11,163

면적비에 의한 W1유역의 인구를 분석한 결과는 표 2와 같다.

행정동을 기준으로 하였을 경우 W1의 인구수는 4,280명이었으나 법정동을 기준으로 하였을 경우 11,163명으로 2배 이상의 차이를 보였다. 특히, W1에 포함된 행정동기준의 송정동 인구가 5,925명인 반면 법정동기준의 인구는 10,701명으로 많은 차이를 보였다. 그러나 표 2의 W1유역에 속한 봉명동 인구는 실제로는 거의 존재하지 않는 오염원정보이다. W1유역에 속한 봉명동지역은 대부분이 산업시설이 위치한 공업지역이며 주거지역은 W1유역 밖에 밀집되어 있다.

3. SDA 결과

표 3은 법정동을 기준으로 SDA를 적용하여 산출한 W1유역의 인구 오염원정보 결과이다. 분석결과 W1유역내의 인구는 520명으로 표 2의 결과와는 매우 큰 차이를 보였다. 특히 저밀도로 주거지역이 분포되어있는 문암동, 송절동, 화계동보다 고밀도 아파트단지에 인구가 집중되어 있는 봉명동에서 매우 큰 차이를 보였다. 그림 1(b)에서 봉명동의 주거지역이 대부분 W1유역 외부에 존재한다는 것을 감안할 때 단순면적비에 의한 오염원배분은 행정동, 법정동에 관계없이 많은 오차를 내포하게 되는 것이 입증되었다. 이는 오염원이 행정구역

TABLE 3. SDA에 의한 유역별 인구수

법정동	인구수 (P_{Ai})	주거지역 셀수 (N_{Ai}^{CH})	셀당 인구수 (U_{Ai}^P)	W1 유역	
				주거지역셀수 ($count\{W_1 \cap A_i \cap C_{II}\}$)	인구수 (P_{Ai}^{W1})
문암동	268	2,985	0.0898	1,193	107
송절동	482	4,605	0.1047	3,619	379
화계동	265	2,455	0.1079	288	31
봉명동	36,522	44,053	0.8290	4	3
계	37,537	54,098		5,104	520

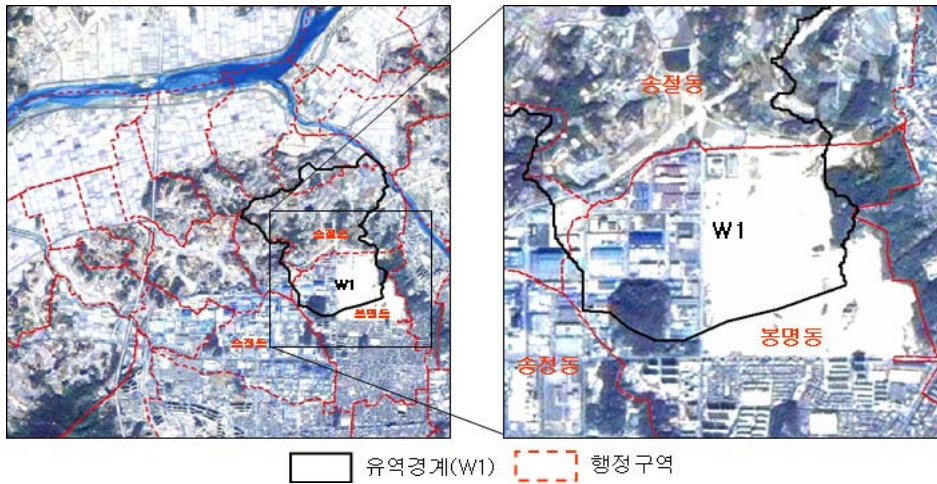


FIGURE 4. 오염원 오차분석을 위한 고해상도 위성영상

전체에 균등하게 산재되어 있는 지역보다 한국에 집중되어있는 지역에서는 단순면적비에 의한 오염원배분이 보다 큰 오차를 유발할 수 있다는 것을 의미한다. 현실적으로 생활계, 축산계, 산업계 등 주요 오염원은 균락을 이루어 분포하고 있기 때문에 공간적 분포를 고려하지 않을 경우는 이러한 오차가 발생할 수밖에 없다.

4. 고찰

표 2에서 W1유역에 포함된 것으로 분석된 송정동 및 봉명동의 오염원정보(인구수)는 실제 상황과 매우 큰 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 그림 4에서 봉명동의 경우 W1유역에 포함되어있는 지역은 공업단지 및 나대지

로 구성되어 있으며 주거지역은 W1유역 밖에 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 식 (3)에서 $[W1 \cap A_{봉명동} \cap CV=11] = 0$ 이며, SAA기법은 행정동기준의 경우 4,280명, 법정동기준의 경우는 11,163명의 오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 행정동보다 법정동의 경우가 오차가 크게 발생하였으나, 이는 연구 대상지역의 고유한 토지이용 특성에 기인한 것이다. 연구 대상지역의 연구결과를 토대로 단순면적비 오염원배분보다 공간분포특성을 고려한 오염원배분이 어느 정도의 정확성을 향상시켰는가를 정량화하는 것은 큰 의미가 없다. 이는 지역적 특성에 따라 전혀 다른 결과를 나타낼 수 있기 때문이며, 다만 본 연구의 결과 단순

면적비의 경우 지역적 특성에 따라 20배 이상의 오염원정보의 오차를 유발할 수 있으며, 오염원의 공간분포특성을 고려한 오염원배분이 보다 현실과 유사하다는 것으로 그 의미를 부여할 수 있다.

수질오염총량관리제에서 기초 오염원의 정보는 매우 중요하다. 실제로는 520명이 거주하는 W1유역에 10,701명이 거주하는 것으로 지나치게 많게(거짓양성) 분석되었다는 것은 W1유역의 개발여건을 과도하게 제한 할 수 있다. 반대로 W1 인근유역에서는 그 오차만큼 오염원이 과소평가(거짓음성)되었을 것이며, 개발이 과도하게 허용될 가능성이 있다. 이러한 거짓양성이나 거짓음성은 유역별 목표수질을 설정하고, 그 목표수질을 달성할 수 있도록 오염물질의 총량을 관리하는 수질오염총량관리제에서 적지 않은 불확실성을 초래하고 제도의 목적을 달성하는데 보다 많은 시행착오를 유발할 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용된 법정동 공간자료는 지적도를 기준으로 작성된 것으로 청주시에서 제공받아 사용하였다. 지적도를 기준으로 한 법정동 공간자료는 기존의 행정동뿐만 아니라 법정동 공간자료와도 공간적 차이를 보이고 있는데, 이러한 공간정보의 표준화도 불확실성을 감소시키기 위해 반드시 해결해야 할 사안 중에 하나이다. 토지피복정보는 환경부에서 제공하는 5m×5m의 고해상도 토지피복도를 사용하여 2차원적 토지이용정보를 충분히 만족시킬 수 있다고 할 수 있으나 주거형태(단독주택, 공동주택 등), 축사 및 산업시설의 규모 등 3차원적인 정보를 파악하지 못하는 한계점이 있다. 보다 정확한 유역단위별 오염원정보를 구축하기 위해서는 이러한 3차원적 공간정보의 지속적인 구축이 필요하다.

결 론

본 연구에서는 행정구역단위의 오염원정보를 유역단위로 배분하는 과정에서 기존의 단

순면적비에 의한 오염원배분방법을 개선하여 오염원의 공간분포 특성을 고려한 오염원배분 기법을 제안하였다. 오염원의 2차원적 공간분포특성을 파악하기 위하여 환경부의 중분류 토지피복도를 사용하였으며, 행정구역별 오염원정보와 결합하기 위하여 GIS의 중첩분석 기능을 사용하였다. 연구 대상지역에 대하여 분석한 결과 오염원이 저밀도로 비교적 균등하게 산재되어 있는 지역에서는 기존방법과 큰 차이를 보이지 않았으나, 오염원이 고밀도로 특정지역에 밀집되어 있는 경우 행정동 및 법정동에 관계없이 유역별 오염원정보를 구축하는데 많은 정확도 향상을 가져오는 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 오염원의 공간배분기법의 효과는 대상지역의 특성에 따라 다르게 나타난다. 본 연구의 결과는 지역개발과 직접적이고 밀접한 관계를 가지고 있는 수질오염총량제의 불확실성을 크게 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서 제안한 SDA 기법이 보다 효율적으로 적용되기 위해서는 첫째, 행정구역 및 유역경계 등에 대한 지형공간정보의 표준화와 둘째, 아리랑2호 인공위성과 같은 고해상도의 위성영상을 이용한 정밀토지피복도가 필요하다. 또한, 점(point) 구조의 오염원정보에 대한 공간정보화도 시급히 해결되어야 할 사안이다. **KAGIS**

참 고 문 헌

- 국립환경과학원. 2004. 수계오염총량관리기술지침.
- 국립환경과학원 수질총량관리센터. 2006. <http://tmdl.nier.go.kr/>
- 김경탁, 최윤석. 2006. HyGIS와 SWAT의 연계 시스템 개발, 한국지리정보학회지 9(3):136-145.
- 김성준, 이윤아, 이남호, 윤광식, 홍성구. 2000. GIS와 RS를 이용한 비점오염원 모형의 적용에 관한 연구, 한국지리정보학회지 3(4):63-72.
- 김철, 김석규. 2002. GIS를 이용한 주암호 유역의 오염부하량 산정 및 수질모의, 한국지리정보학회지 5(3):87-98.

- 부기동, 조명희, 권봉겸. 1999. GIS와 위성영상을 이용한 수질 오염인자의 공간변화 분석, 한국 지리정보학회지 2(3):60-70.
- 정동일. 1998. 지리정보체계를 이용한 오염물질 유출해석 및 삭감량 배분에 관한 연구. 고려대학교 대학원 박사학위논문.
- 환경부. 2003. 수질오염총량관리 업무편람.
- Congalton, Russel G. and G. Kass. 1992. The ABCs of GIS: an introduction to geographic information systems. J. Forestry, 90(11):13-20.
- ESRI. 1995. Using GRID with ARC/INFO.
- McHarg I. 1969. Design with Nature, The Natural History Press, Garden city, N.Y.

