

GIS와 SAS 통합기반 유역별 수질오염원 관리대책에 관한 연구

- 경상북도 낙동강 유역을 중심으로 -

배민기* · 조덕호**

*대구대학교 행정문제연구소 · **대구대학교 행정학과

I. 서론

최근 유역의 무분별한 난개발과 다양한 토지이용 등으로 인한 각종 오염원의 증가로 수질오염이 심각해지고 있으며 이는 국민경제와 보전에 위협요인이 되거나 수자원 이용과 관련된 유역 상·하류간의 대립요인이 되는 등 주요한 사회문제로 대두되고 있다. 이에 따라 환경부에서는 관련 법제를 정비하고, 주요 상수원에 수질측정망을 설치하며, 수질오염총량 관리제를 시행하는 등 수질오염 관리를 위한 다양한 노력을 하고 있다. 그러나 수질은 기후변동, 수계, 다양한 오염원 등 많은 변수들에 의해 영향을 받으며, 지점별, 계절별, 연도별로 변동하는 특성이 있기 때문에 수질을 관리하는데 어려움이 있다. 특히 오염원 관리의 경우, 오염원은 지리적인 위치정보가 매우 중요함에도 불구하고 지금까지 구축되어온 대부분의 오염원 자료는 지리정보를 포함하고 있지 않아서 수질에 영향을 미치는 유역의 오염원이 어느 위치에 얼마만큼 발생하고 있는지를 파악할 수 없었다. 따라서 거시적인 유역관리 측면에서 각 유역별로 오염원 유형에 따른 맞춤형 수질환경정책 수립이 거의 이루어지지 못하고 있다. 또한 수질개선을 위한 대책수립이 수질측정망 자료에 근거하고 있기 때문에 수질측정망에 영향을 미치는 유역별로 오염원 조사가 이루어져야 함에도 불구하고 실제로는 행정구역의 단위로 오염원조사가 이루어지고 있기 때문에 수질개선을 위해 어떤 유역의 오염원을 누가 관리해야 하는지 관리주체를 파악하기 힘들었다. 또한 기존연구에서 유형을 구분하는 방법으로는 유형구분에 적합하다고 판단되는 여러 지표를 이용하여 요인분석을 수행하여 고유치가

큰 주요 요인으로 요약하거나(정성관과 박경훈, 2000), 요인점수를 이용해서 다시 군집분석을 수행하는 방법(오연찬 외 2인, 2004)이 주로 사용되고 있다. 그러나 지리정보가 누락되어 있거나 지리정보체계와 분석프로그램이 유기적으로 연결되지 못하였으며, 동일한 요인이나 군집 안에 포함되어 있는 지표들이 실제로는 어느 지역에 어떤 값으로 분포하고 있는지를 파악하는데 미흡하였다.

따라서 본 연구에서는 경상북도의 낙동강 유역을 대상으로 각 유역의 수질오염원을 지리정보와 연결하여 수질오염원정보체계를 구축한 다음, 이를 분석프로그램과 연결하여 오염원들 간의 상관관계 및 주요 오염원 요인을 구명한 후, 분석결과를 다시 지리정보체계를 이용해 오염원 특성별 유역을 구분하여 수질오염원 특성에 따라 적합한 수질오염 개선대책을 제시하는데 목적이 있다. 본 연구결과는 맞춤형 수질환경정책을 수립하거나, 수질오염 총량제를 시행함에 있어 오염물질에 영향을 미치는 오염원을 파악하는데 활용할 수 있을 것이다. 또한 방법론적으로 지리정보 체계와 분석 프로그램을 유기적으로 연결하는 방안을 제시함으로써 방법론의 개선에 기여할 수 있을 것이다.

II. 이론적 고찰

본 연구와 관련된 기존연구를 고찰해 보면, 오연찬 외 2인(2004)이 만경강 수계의 BOD, DO, TP 등 12개의 수질측정 자료를 요인분석 및 군집분석을 이용하여 분석한 결과, 수질은 유기물 오염원, 병원성 오염원, 계절성 오염원, 하천 내부 물질변화 등 4개의 요인에 의

해 영향을 받음을 밝혔다. 그러나 오염원 자료가 아닌 수질측정 자료를 이용하였기 때문에 실제 오염원과 차이가 있으며, 오염원이 어디에 분포하고 있는지 파악하기 어려웠다. 신사철 외 4인(2002)은 한강의 경안천 유역을 대상으로 DEM 분석, 강우 분석, 인공위성자료 조화, 입상분석이 가능한 인터페이스 모듈을 개발하였다. 그러나 개발된 모듈을 통해 대상유역의 자연환경현황은 쉽게 파악할 수 있으나 유역관리를 위해 반드시 고려되어야 할 유역의 오염원 현황은 거의 파악할 수 없었다. 정성관과 박경훈(2000)은 낙동강 중·상류 지역의 주거지 면적, 도로 면적 등 12개의 오염원들을 대상으로 요인분석을 수행하여 농업, 도시, 공업오염 요인을 규명하였으며 각 요인별 공간적 분포를 파악하였다. 그러나 수질에 영향을 미치는 각 유역별로 오염원 분포를 파악하거나 오염원들 간의 관계를 규명하지는 못하였으며, 지리정보체계와 분석프로그램의 유기적 연결이 미흡하였다. 황병기와 이상호(2000)는 곡교천을 대상으로 유역의 오염원 분포 및 채수지점의 수질을 데이터베이스로 구축하고 지리정보 체계상에서 검색할 수 있도록 하였다. 그러나 오염원들 간의 관계는 규명하지 못하였으며 지리정보 체계는 단지 유역정보를 보여주기 위해서 이용되었다. 이와 같이 기존연구는 수질에 영향을 미치는 유역별 오염원들이 충분히 고려되지 못한 채 BOD, TP와 같은 환경부 수질측정망 자료를 활용하여 수질의 시기별 변동 추이를 파악하거나 요인분석과 군집분석을 적용하여 수질을 결정하는 주 요인을 파악하는 연구가 주를 이루고 있다. 또한 지리정보 체계를 이용한 연구들도 지리정보 체계를 분석 결과를 나타내는 수단으로만 주로 이용하고 있는 한계가 있었다. 따라서 본 연구는 각 유역의 수질 오염원을 지리정보와 연결하고 이를 분석프로그램과 통합하여 오염원들 간의 상관관계 및 주요 오염원 요인을 규명하고 오염원 특성별로 유역을 구분하여 그에 적합한 오염원 관리대책을 제시하고자 한다.

III. 연구방법

1. 연구대상지의 선정

본 연구는 경상북도 내 낙동강 유역을 대상으로 한

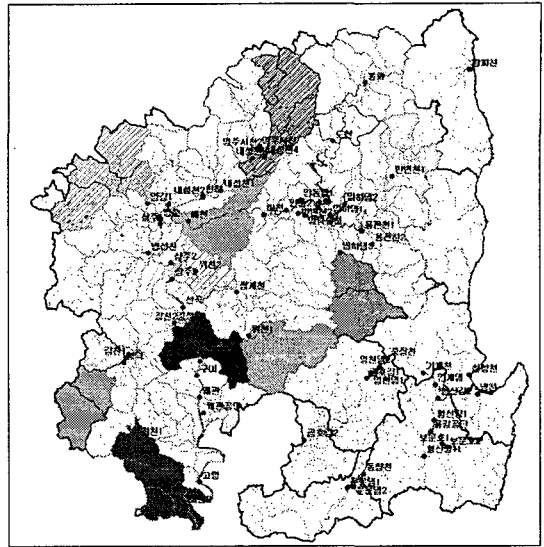


그림 1. 연구대상지

다(그림 1 참조). 낙동강 수계는 농업도시, 공업도시 등 다양한 도시유형을 지나고 있어 다양한 오염원을 가지고 있으며, 오염총량제가 가장 먼저 실시될 예정으로 있어 본 연구결과의 활용성이 높을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 낙동강유역의 소단위유역을 수질 측정 지점에 영향을 주는 38개의 유역으로 구분하여 수질 오염원 데이터베이스를 구축하였다.

2. 수질 오염원의 선정

수질 오염원은 배출장소 및 배출경로의 확인이 가능한 점오염원과 배출장소와 배출경로가 불분명할 뿐만 아니라 주로 강우에 의존하여 유출이 일어나는 비점오염원으로 구분된다(낙동강수계오염총량 관리기본방침, 2002). 본 연구에서는 생활폐수 발생량, 폐수 방류량, 양식장 면적, 돼지 사육두수, 소 사육두수, 공업지 면적, 농경지 면적, 가정용 물 사용량, 업무용 물 사용량, 영업용 물 사용량, 하수 미처리 지역물 사용량, 하수처리 지역물 사용량 등 도합 18개 항목의 수질 오염원을 대상으로 하였다. 낙동강 수계물 관리 및 주민지원 등에 관한 법률에 강우, 기후 등 자연환경으로 인한 수질 오염원이 규정되어 있지만 이는 인위적인 조절이 불가능하기 때문에 인간의 활동으로 유발되는 오염원 즉, 통제 가능한 오염원 위주로 선정하였으며, 인구수, 교통 시설면적 등 잠재 오염원보다는 직접적인 오염원을 대

상으로 하였다. 사용된 자료는 2002년 국립환경연구원의 전국오염원 조사 자료와 환경부의 토지피복분류도를 이용하였으며 건설교통부의 낙동강 단위유역도를 기준으로 오염원 데이터베이스를 구축하였다. 오염원 자료는 각 유역별 면적의 차이에 따른 오류를 제거하고 오염원간의 비교를 위해서 유역면적당(km²)으로 변환한 후 표준화시켜 사용하였다.

3. 분석방법

본 연구에서 수질오염원정보체계 구축에 사용되는 프로그램은 ArcView GIS ver. 9.01(ESRI Inc., 2004)이며 SAS Bridge for ESRI ver. 2.0(SAS Inc., 2003)을 통해 분석프로그램인 SAS ver. 9.0(SAS Inc., 2003)과 연결하였다. 상관분석을 통해 수질 오염원간의 상관관계를 분석하고, 18개의 수질오염원을 주성분방식을 이용한 요인분석을 수행하여 고유치 1.0을 기준으로 주요 오염원 요인을 추출하였다. 요인간의 관계를 명확하게 하기 위해 Varimax법 회전을 이용하였다. 요인분석결과 도출된 요인점수를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 고유치가 큰 소수의 요인만을 이용하는 데서 유발될 수 있는 오류를 최소화하기 위해 각 요인의 설명분산을 가중치로 사용하였으며(이종상, 2002), 군집의 수 감소에 따른 응집의 변화 정도를 작게 하기 위해서 요인점수의 응집계수(여운승, 2000: 629)를 기준으로 군집의 수를 5개로 결정하였다.

IV. 수질오염원 유형별 유역구분

1. 오염원들 간의 관계분석

18개의 오염들 간의 관계에 관한 Pearson의 상관분석을 수행한 결과, 같은 오염 발생원을 가진 오염원들 간의 상관관계 값이 5%의 유의수준에서 통계적인 유의성이 있는 것으로 나타났다. 즉, 비료량·농약 사용량 및 농업 용수량·폐수 방류량·산업폐수 배출업수·공업지역 면적들 간에는 상관관계수 (+)0.9 이상의 아주 높은 상관관계가 있었으며, 양식장 면적·농경지 면적은 둘 간의 상관관계를 제외하면 여타 오염원들 간의 상관관계가 통계적 유의성이 없거나 가장 낮은 오염원으로 나타났다.

2. 오염원 유형 분석

18개 오염원들의 요인구조를 규명하고 오염원의 요약을 위해 요인분석을 수행한 결과 표 1과 같이 산업계 오염원, 비점 오염원, 농축산 양식계 오염원, 생활계 오염원, 하수처리 시설계 오염원으로 명명할 수 있는 5개

표 1. 수질오염원의 요인분석 결과

| 요인명 | 오염원명 | 요인 | | | | | 공통성 |
|--------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | 요인 1 | 요인 2 | 요인 3 | 요인 4 | 요인 5 | |
| 산업계 오염원 | 폐수방류량 | 0.9855 | -0.0575 | -0.0559 | 0.0247 | -0.0309 | 0.9989 |
| | 생활폐수 발생량 | 0.9953 | -0.0565 | -0.0585 | 0.0144 | -0.0363 | 0.9987 |
| | 공업용수량 | 0.9885 | -0.0559 | -0.0585 | 0.0193 | -0.0081 | 0.9841 |
| | 공장면적 | 0.9780 | -0.0567 | -0.0275 | 0.0232 | -0.0447 | 0.9668 |
| | 산업폐수배 출업수 | 0.9793 | -0.0605 | -0.0350 | 0.1629 | 0.0238 | 0.9909 |
| 비점 오염원 | 질소질비료 사용량 | -0.0903 | 0.9489 | 0.1039 | -0.0768 | 0.1617 | 0.9513 |
| | 원예용농약 사용량 | -0.0056 | 0.9444 | 0.0180 | 0.0194 | -0.1251 | 0.9083 |
| | 제조제농약 사용량 | -0.0103 | 0.9426 | 0.0158 | -0.0054 | -0.1341 | 0.9069 |
| | 인산질비료 사용량 | -0.1463 | 0.8418 | 0.1084 | -0.0215 | 0.1600 | 0.7678 |
| 농축산 양식계 오염원 | 농경지면적 | 0.0322 | -0.1038 | 0.9503 | -0.0802 | -0.0162 | 0.9215 |
| | 양식장면적 | -0.0711 | -0.1230 | 0.9388 | -0.1313 | -0.0845 | 0.9259 |
| | 돼지사육두 소사육두수 | -0.0206 | 0.3428 | 0.8671 | 0.0866 | -0.0971 | 0.8867 |
| | 가정용 물사용량 | 0.3007 | -0.0279 | -0.0447 | 0.9341 | -0.0609 | 0.9695 |
| 생활계 오염원 | 업무용 물사용량 | -0.1386 | 0.0019 | -0.0391 | 0.9201 | -0.0859 | 0.8747 |
| | 영업용 물사용량 | 0.0736 | -0.0423 | 0.0075 | 0.9096 | -0.0474 | 0.8369 |
| 하수처리 시설계 오염원 | 하수미처리 지역물 사용량 | -0.0475 | 0.0563 | -0.0686 | -0.1261 | 0.8891 | 0.8165 |
| | 하수처리 지역물 사용량 | -0.0109 | -0.0242 | -0.0591 | -0.0348 | 0.8451 | 0.7196 |
| 고유치 | | 5.5037 | 3.6424 | 2.9427 | 2.6271 | 1.4753 | |
| 분산의 비율(%) | | 30.58 | 20.24 | 16.35 | 14.60 | 8.20 | |
| 누적분산의 비율(%) | | 30.58 | 50.81 | 67.16 | 81.76 | 89.95 | |

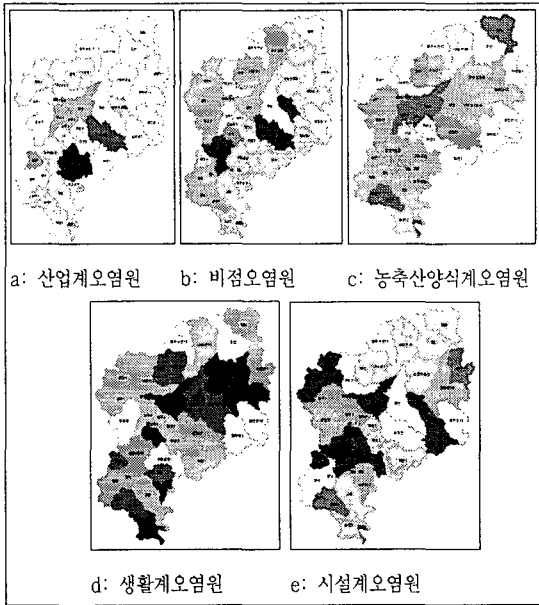


그림 2. 오염요인별 공간적 분포

의 요인으로 구성되었다. 요인의 고유치는 5.5037~1.4753으로 나타났으며, 전체 분산량의 89.95%를 설명하고 있다.¹⁾

요인분석을 통해 얻어진 요인별 요인점수의 공간적 분포는 그림 2와 같다. 산업계 오염원은 구미·왜관수위표, 비점오염원은 반변천 상하류, 감천 하류, 쌍계천 상 하류, 남대천유역, 농축산 양식계 오염원은 낙동강 상류, 현동천, 내성천, 성주댐유역, 생활계 오염원은 안동댐, 감천합류점, 광산천, 임하댐유역, 하수처리 시설계 오염원은 영강 중상류, 구미 수위표, 내성천 합류점, 감천 합류점 유역에서 뚜렷하게 나타났다.

3. 오염원 유형을 고려한 유역구분

유역별 오염원 유형의 차이를 명료하게 하고 오염원 유형별 유역구분을 위해서 요인분석에서 도출된 요인점수를 이용하여 군집분석을 수행하였으며, 오염원의 관리주체를 구분하기 위해 행정구역별로 유역분포를 파악하였다. 분석결과, 산업계 오염원 발생량이 많은 구미시, 농축산양식계 오염원 발생량이 많은 상주시, 생활계 오염원 발생량이 많은 예천군·안동시·의성군의 교차지역 및 왜관·칠곡군, 비점 오염원 발생량이 많은 의성군으로 구분되며 그 외 대부분 유역은 하수처리시설 여부가 중요한 오염원이 되는 것으로 나타났다.

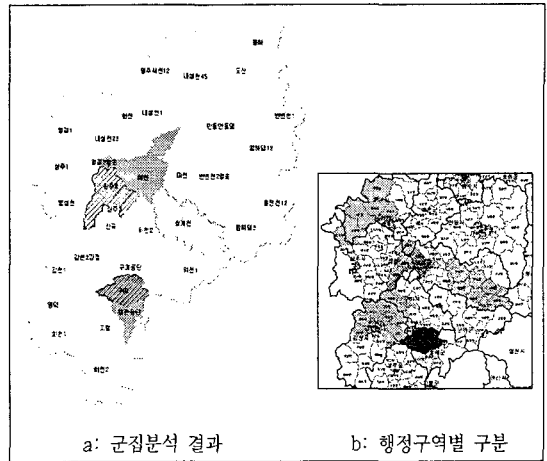


그림 3. 오염원 특성별 유역구분

그러나 하수처리 시설계 오염원의 경우, 유역별 평균의 차이에 대한 검정결과 유역간의 차이에 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다($df=4$; $F_{값}=0.415$; $p=0.964$). 결론적으로 오염원별 특성에 따라 4개의 유역군으로 구분할 수 있었으며 유역군의 공간적 분포는 그림 3과 같다.

V. 결론

본 연구 결과 경상북도 낙동강 유역의 오염원은 5가지 유형으로 요약할 수 있었으며, 오염원 특성에 따라 4개의 유역군으로 구분할 수 있었다. 산업계 오염원의 발생량이 많은 유역은 폐수의 직유입을 차단하고, 농축산양식계 오염원 발생량이 많은 유역은 분뇨·사료처리시설 및 방식을 개선하고, 생활계 오염원 발생량이 많은 유역은 물 절약 및 제이용을 확대하고, 비점 오염원 발생량이 많은 유역은 환경친화적 농법 등을 장려하고, 그 외 유역은 하수관거의 확대에 중점을 두는 등 각 유역을 관리하는 시·군별로 오염원 특성에 따라 맞춤형 수질오염원 관리대책을 수립해야 할 것이다.

주 1. SPSS를 이용하여 요인분석의 적합성을 알아보는 KMO와 Bartlett 검정을 수행한 결과, Kaiser-Meyer-Olkin 측도 = 0.541; Bartlett의 구형성 검정의 근사 카이제곱 = 2522.172; $p=0.00$ 으로서 수용할 수 있는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 신사철, 김성준, 채효석, 권기량, 이윤아 (2002) 공간정보를

- 이용한 유역관리 시스템개발. 한국지리정보학회지 5(3): 33-44.
2. 여운승 (2000) 다변량행동조사. 서울: 민영사.
3. 오연찬, 이남도, 김중구 (2004) 다변량해석기법을 이용한 만경강 수계의 수질평가. 한국환경과학회지 13(3): 234-244.
4. 이종상 (2002) 지역유형구분을 위한 요인점수의 군집분석. 국토계획 37(4): 191-199.
5. 정성관과 박경훈. (2000) 지리정보시스템을 이용한 낙동강 유역권의 광역환경분석. 한국지리정보학회지 3(1): 12-22.
6. 황병기, 이상호 (2000) 천안/아산권역 내 곡교천의 수질분석 및 지리정보체계를 이용한 유역오염원 관리방안에 관한 연구. 한국환경과학회지 9(6): 443-447.