

발간등록번호
11-1480523-003058-01

 환경부
NIER-RP2016-409

수질오염총량관리 시행지역의 탄력적 공간범위 적용에 관한 연구

물환경연구부 유역총량연구과

안기홍, 박지형, 김용석, 이재관, 김옥선, 김석규, 오승영, 한미덕, 이성준, 황하선

A Study on the Efficient of Method for Implementation in TMDL

Kihong Ahn, Jihyeong Park, Yongseok Kim, Jaekwan Lee, Oksun Kim,
Seokgyu Kim, Seungyoung Oh, Mideok Han, Sungjun Lee, Hasun Hwang

Watershed and Total Load Management Research Division
Water Environment Research Department
National Institute of Environmental Research

2016



국립환경과학원
NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RESEARCH

목 차

목차	i
표목차	iii
그림목차	iv
Abstract	v
I. 서 론	1
II. 연구내용 및 방법	2
1. 오염총량관리 대상지역 현황 및 문제점 조사	2
2. 오염총량관리 대상지역의 공간범위 특성 분석	2
3. 오염총량관리 시행계획 수립지역의 관리현황 분석	2
4. 탄력적 공간범위 적용(안) 마련 및 효과 분석	2
III. 연구결과 및 고찰	4
1. 오염총량관리 대상지역 현황 분석	4
가. 오염총량관리 대상지역 현황	4
나. 사례를 통한 문제점 조사	5
2. 오염총량관리 대상지역의 공간범위 특성 분석	7
가. 분석변수 설정	7
나. 요인분석을 이용한 공통요인 추출	10
다. 군집분석을 이용한 오염총량관리 대상지역 유형화	12
3. 오염총량관리시행계획 수립지역의 관리현황 분석	15
가. 시행계획 수립지역의 할당부하량 관리현황	15
나. 시행계획 수립 및 이행평가 용역비용 분석	18
4. 탄력적 공간범위 적용(안) 마련	19
가. 탄력적 공간범위의 적용 기준(안) 설정	19

목 차

나. 탄력적 공간범위의 적용(안) 마련	20
5. 탄력적 공간범위 적용에 따른 효과 분석	21
가. 관리적 측면	21
나. 경제적 측면	22
IV. 결 론	24
참 고 문 헌	26

표 목 차

<Table 1> Implementation situation of TMDL	4
<Table 2> TMDL formulation region	5
<Table 3> Cases that are difficult to fomulate action plan	6
<Table 4> Items for analyzing the characteristics of spatial extent in TMDL region	9
<Table 5> The minimum, maximum, and average of items	9
<Table 6> Result of factor analysis	11
<Table 7> Result of cluster analysis	14
<Table 8> Characteristics of each cluster	15
<Table 9> Management situation of implementation evaluation(2014 year) ..	16
<Table 10> Change approval subject of TMDL plan	16
<Table 11> Contents of increased allocation load compared to second master plan in the three river	17
<Table 12> Support cost of action plan and evaluation of local governments	18
<Table 13> Setting detail criteria of spatial extent vulnerable area	20
<Table 14> Comparison of TMDL plan in vulnerable area	22
<Table 15> Cost cutting by integrated implementation of TMDL region	23

그 립 목 차

<Figure 1> Dendrogram using Ward linkage 13

Abstract

Korea government introduced a system for the management of Total Maximum Daily Load(TMDL) in 1998 and had been implement in all the major river basins from 2004. TMDL is a regulation system that controls the quantity of pollutants discharged from each watershed nationwide to be within the scope of load allocation, by means of setting a water quality target achievable at each end site of watersheds, calculating load allocation permissible to achieve the target.

The water quality targets of river basin are notified by the Minister of Environment, governors or mayors. And every governor and mayors should formulae a TMDL master plan for achieving the water quality targets. In particular, local governments that exceed their water quality targets should formulae also an annual implementation plan.

The developing regions of TMDL implementation plan should reduce pollution load to achieve water quality targets including 5~10% margin of safety. But some regions are difficult to reduce the safety pollution load because of their area and land use type(ex, forest, farmland, etc).

In this study, we analyzed the spatial characteristics of 347 TMDL regions for identifying vulnerable of reduction conditions, made criteria of TMDL vulnerable regions and management methods. To analyze spatial characteristics, we selected 12 items considering the pollutant scale and reduction. The 12 items were used as variables for the factor analysis and were extracted into 3 common factors explained as pollutant scale, reduction possibility and easiness. The 3 factors score were used as variables for the cluster analysis, 347 TMDL regions were classified into 4 clusters according to the regional characteristics. Cluster 3, 4 are groups of small pollutant scale and cluster 2, 4 are groups with weak conditions on pollutant reduction. When evaluating factor scores overall, cluster 4 emerged as the weakest

group for TMDL and cluster 3 emerged as the second weakest group.

We set the criteria of selection for identifying vulnerable regions in cluster 3 and 4, the criteria are set differently by dividing regions below 1 km² and regions with less than 10 km². Depending on the criteria, we selected 20 vulnerable regions to apply flexible and efficient implementation of TMDL. We proposed the management methods to apply safety factor as 0% and integrate vulnerable regions with large regions. It is expected that the proposed method will have administrative and economic effects.

I. 서 론

오염총량관리는 단위유역 말단 지점에 목표수질을 설정하고, 목표수질을 달성하기 위해 허용된 오염부하량 범위를 결정하는 오염총량관리기본계획(이하 '기본계획'이라 한다)을 수립한다. 수립된 기본계획 토대 위에서 목표수질을 달성하지 못한 단위유역 내 지자체는 안전율(5% 또는 10%)을 고려하여 연차별로 오염부하량을 할당하는 오염총량관리시행계획(이하 '시행계획'이라 한다)을 수립하고, 이에 대한 시행계획의 매년 이행사항을 평가하여야 한다.

하지만 시행계획 수립 대상지역으로 편입되더라도 삭감대상이 되는 오염원이 매우 작거나 존재하지 않을 경우, 안전부하량에 해당되는 만큼의 삭감계획을 수립할 수 없어 시행계획 수립이 불가하거나 어려운 경우가 발생할 수 있다. 환경부는 이러한 지역에 대해 '삭감계획 수립 제외지역 선정 가이드라인(2009)'을 두어 삭감계획 제외지역 선정에 대한 기준을 제시하고 있지만 그 기준이 명확하지 않아 해당 가이드라인이 제대로 이용되지 않고 있는 실정이다.

따라서 오염원 규모가 매우 작거나 일정 규모 이상이라도 대부분 임야, 농경지 등으로 이루어져 지역 특성상 삭감계획 수립이 곤란한 지역(이하 '오염총량관리 취약지역'이라 한다)에 대해서는 목표수질을 달성하는 범위 내에서 시행계획 수립이 가능하도록 하는 제도적 안전장치가 필요하다.

이에 본 연구에서는 통계기법인 요인분석과 군집분석을 이용하여 오염총량관리지역의 특성을 분석하고, 오염총량관리 현황분석을 통해 오염총량관리 추진이 어려운 취약지역을 구분하는 기준을 마련하자 한다. 또한 오염총량관리 취약지역에 대한 원활한 시행을 위해 합리적인 시행방안을 제시하고자 한다. 더불어 본 연구에서 제시한 방안의 오염총량관리 시행에 있어 행정·관리적 측면과 경제적 측면에서 효과를 분석하여 그 효율성을 평가하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 오염총량관리 대상지역 현황 및 문제점 조사

현행 오염총량관리 대상지역(이하 '총량관리지역')의 설정범위에 대해 정의하고 3대강(낙동강, 금강, 영산강·섬진강, 이하 '3대강'이라 한다) 수계는 2단계, 한강 및 진위천 수계는 1단계 기본계획 자료를 토대로 총량관리지역의 현황을 조사한다. 시행계획 수립 시 삭감계획 수립이 어려워 자체적으로 시행계획 수립이 불가하거나 곤란한 지역에 대해 사례를 조사하고 시행계획 수립 시 한계점 및 문제점을 도출한다.

2. 오염총량관리 대상지역의 공간범위 특성 분석

총량관리지역의 공간범위 특성과 관련된 변수는 서로 복잡하게 연관되어 있어 직접적인 해석이 어려우므로 공통요인을 추출하고 해당 특성을 파악하기 위해 요인분석을 실시한다. 요인분석에서 얻어진 요인점수를 바탕으로 유형구분을 위해 많은 연구에서 활용되고 있는 군집분석을 실시하여 대상지역을 유형화한다.

3. 오염총량관리 시행계획 수립지역의 관리현황 분석

시행계획 수립지역의 '14년 시행계획 대비 이행평가 결과를 분석한다. 할당부하량 변경내용 조사를 통해 군집별 관리현황을 분석하고, 문제점을 도출한다. 또한, 오염총량관리 시행에 따른 시행계획 수립 및 이행평가에 지원되는 용역비 소요비용(기금지원)을 분석한다.

4. 단력적 공간범위 적용(안) 마련 및 효과 분석

총량관리지역의 공간범위 특성 분석으로부터 오염총량관리 공간범위 취약

II. 연구내용 및 방법 ■

지역 지정을 위한 기준(안)을 설정하고, 취약지역에 합리적으로 적용가능한 탄력적 시행방안을 마련한다. 또한, 오염총량관리 취약지역에 대하여 관리적, 경제적 측면에서 탄력적 공간범위 적용 전과 적용 후를 비교하여 관리효과를 분석한다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 오염총량관리 대상지역 현황 분석

가. 오염총량관리 대상지역 현황

총량관리지역은 집수구역 기반으로 단위유역을 구분하여 목표수질을 설정하고, 해당 단위유역 내에서 수질모델링, 오염부하량 등 관리가 용이하도록 소유역으로 구분된다. 소유역에 대한 효율적 관리를 위해 면적이 매우 작은 지역은 통합하고 하나의 소유역에 둘 이상의 지자체가 포함되는 경우는 각각 관할지역으로 분할하여 관리하고 있다.

집수구역 기반의 단위유역과 행정구역의 불일치로 하나의 단위유역에 여러 지자체가 포함(최대 8개)될 수 있으며 지자체별로 해당 지역에 대한 오염총량 관리계획의 수립 및 평가를 수행한다. 본 연구에서는 단위유역 내 지자체를 ‘총량관리지역’으로 정의하였다.

2015년 현재, 3대강수계는 2단계, 한강 및 진위천수계는 1단계 오염총량관리를 추진 중이며, 129개 단위유역, 135개 지자체, 368개 지역에서 오염총량관리를 시행하고 있다. 이 중 목표수질을 초과한 시행계획 수립지역은 97개 단위유역, 121개 지자체, 285개 지역이 해당된다. 대상물질은 BOD, T-P이며, 금강수계 대청호 상류지역을 제외한 지역과 진위천 수계는 BOD만 시행하고 있다. <Table 1>에 오염총량관리 추진현황을 나타내었고, <Table 2>에 총량관리지역 현황을 나타내었다.

<Table 1> Implementation situation of TMDL.

구분	한강수계			3대강수계		진위천 수계
	임의제	1단계 ¹⁾	1단계 ²⁾	2단계	3단계	
단계기간	'03.8.1 ~ '12.12.31	'13.6.1 ~ '20.12.31	'04.8.1 ~ '10.12.31	'11.1.1 ~ '15.12.31	'16.1.1 ~ '20.12.31	'12.1.1 ~ '20.12.31
대상물질	BOD	BOD, T-P	BOD	BOD, T-P ³⁾	BOD, T-P	BOD

1) 강원, 충북, 경북 등 시행유보, 2) 수계 및 지자체별 단계적 시작, 3) 금강수계 대청호 상류에 한하여 적용

<Table 2> TMDL formulation region.

(단위 : 개소)

수계	기본계획수립		시행계획수립					
	단위 유역	지자체	단위유역			지자체		
			계	BOD	T-P	계	BOD	T-P
한강	32	28(85)	32	30	31	28(85)	28(82)	28(82)
낙동강	41	43(117)	30	10	30	36(85)	23(29)	36(85)
금강	32	32(93)	22	17	5	28(65)	22(51)	9(14)
영산강·섬진강	23	24(65)	12	11	8	21(42)	20(38)	18(30)
진위천	1	8(8)	1	1	-	8(8)	8(8)	-
계	129	135(368)	97	69	74	121(285)	101(208)	91(211)

기본계획 수립년도 : 3대강 2010년, 한강 2013년, 진위천 2012년
 () : 총량관리지역

나. 사례를 통한 문제점 조사

(1) 사례조사

오염총량관리 시행계획 수립 시 적용 가능한 삭감방법의 한계로 시행계획 수립이 곤란하여 원활한 오염총량관리 시행이 어려운 경우가 종종 있다. 이런 경우, 기본계획 수립과정에서 안전부하량 삭감을 고려하여 할당부하량을 배분, 기본계획을 수립한다. 하지만 기본계획 수립 이후, 수질개선사업지역이 목표 수질을 초과하여 추가로 시행계획을 수립해야 하는 경우, 안전부하량에 대한 삭감계획을 수립해야 하나 삭감대상이 되는 오염원이 없거나 농경지, 임야 등으로 이루어져 삭감계획 수립이 곤란한 경우도 있다.

삭감계획 수립이 곤란한 지역에서의 시행계획 수립 사례를 조사하여 <Table 3>에 나타내었다. 삭감계획 수립이 곤란한 지역의 대부분은 수질개선 사업지역이 시행계획 수립지역으로 추가로 편입된 경우였다. 사례 1은 기본 계획 수립과정에서 시행계획 수립 대상지역으로 지정되어 안전부하량에 대한 삭감부담을 해소하여 할당부하량을 배분하였으나, 시행계획 수립과정에서 오염원의 증가로 동일 단위유역 내 다른 지자체와 할당부하량을 조정할 경우이다. 사례

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

2는 삭감여력이 없어 '삭감계획 수립 제외지역 선정 가이드라인'을 적용하여 안전부하량에 해당되는 삭감계획을 제외하고 시행계획을 수립한 경우이며, 사례 3은 동일 지자체의 다른 단위유역과 할당부하량을 조정하여 시행계획을 수립한 경우이다.

<Table 3> Cases that are difficult to formulate action plan.

구분	기본계획 (kg/일)								시행계획 (kg/일)			
	기존 배출 부하 량	기준배출 부하량(a)		안전 부하 량(b)	할당부하량(a-b)			지역 개발 부하량	지역 개발 부하량	지역 개발 부하량	지역 개발 부하량	지역 개발 부하량
		지역 개발 부하량	지역 개발 부하량		계	오염원	지역 개발 부하량					
사례1	1.5	7.2	5.7	0.7	6.5	1.5	5.0	0.0	11.0	11.0	0.0	0.0
사례2	6.7	6.7	0.0	-	6.7	6.7	0.0	0.0	6.0	6.0	0.0	0.0
사례3	66.0	66.1	0.0	-	66.1	66.4	0.0	0.3	68.5	66.0	2.5	0.0

기본계획, 시행계획 : 최초로 수립된 내용(변경 미반영)

기준배출부하량 : 기본계획수립 시점(2007년)의 배출부하량

기준배출부하량 : 기준유량 조건에서 목표수질을 만족할 수 있도록 계산된 배출부하량

안전부하량 : 기준배출부하량에 안전율(5% 또는 10%)을 곱한 부하량

(2) 문제점

시행계획 수립 사례를 통해 다음과 같은 문제점을 도출하였다.

첫째, 오염원규모가 매우 적고 삭감여력이 없는 소규모 총량관리지역에 대한 합리적 시행계획 수립 방안이 필요하다.

일부 소유역만 포함되는 지자체에서는 오염원규모가 매우 적어 삭감대상량이 없거나 일정 규모 이상이라도 대부분 임야로 이루어져 안전부하량에 대한 실현 가능한 삭감계획을 수립할 수 없는 경우가 있어 시행계획 수립에 애로사항이 있다. 환경부에서는 지역특성상 오염삭감시설의 설치가 곤란한 지역을 삭감계획 수립 제외지역으로 선정하는 '삭감계획 수립 제외지역 선정 가이드라인(2009)'을 마련하였으나 그 기준이 명확하지 않아 이용사례가 많지 않았다. 대부분 기본계획에서 지역특성을 고려하여 할당하거나 계획변경을 통해 할당부하량을 증가시켜 시행계획 수립 어려움을 해소하였다.

III. 연구결과 및 고찰

둘째, 행정 및 비용낭비를 줄이는 효율적이고 경제적인 총량관리가 필요하다.

기본계획에 따른 시행계획의 수립 및 이행평가는 행정구역별로 추진되므로 시행계획 수립 대상이 되는 단위유역 내 일부 소유역만 포함되는 지자체라도 개별적으로 시행계획을 수립 및 이행평가를 실시함으로써 행정력 소모와 비용 낭비가 초래되고 있는 실정이다.

2. 오염총량관리 대상지역의 공간범위 특성 분석

총량관리지역별로 관리대상 오염원의 종류와 규모, 삭감여건, 오염기여율 등 공간범위 특성에 따라 시행여건이 다르며, 서로 복잡하고 다양한 관련성을 가지고 있어 총량관리지역의 명확한 특성 파악이 쉽지 않다.

총량관리지역의 특성(공통요인)을 보다 잘 이해하고 파악하기 위해 지역의 유형구분을 시도하였으며, 이를 위해 유형구분 연구에 많이 활용되고 있는 요인분석과 군집분석을 활용하였다. 요인분석은 많은 변수들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 특성을 지닌 변수들끼리 묶어 공통요인으로 단순하게 요약함으로써 그 특징을 쉽게 해석하고 평가할 수 있는 통계적 기법이며, 총량관리지역의 유형 분류를 위한 공통특성(요인)을 추출하기 위해 사용하였다. 군집분석은 유사성이 높은 지역끼리 분류하여 각 집단의 성격을 규명하는 통계 기법으로 요인점수를 이용하면 명료한 유형구분과 해석이 가능하다는 장점이 있다.

본 절에서는 총량관리지역의 공간범위 특성을 구성하는 요소를 나타내는 항목을 설정하고, 이 항목들에 대해 요인분석을 실시하여 공통요인을 추출한 뒤 요인점수를 이용한 군집분석을 실시하여 총량관리지역을 유형별로 구분하였다. 분석의 범위는 4대강수계 347개 총량관리지역(한강수계 단위유역 부분 시행지역 제외)이며, SPSS 통계프로그램을 이용하여 분석하였다.

가. 분석변수 설정

오염총량관리는 유역의 오염부하량 관리와 삭감을 통한 수질개선을 목표로 하므로 오염원규모와 삭감여건이 오염총량관리 시행에 있어 중요한 요소로

III. 연구결과 및 고찰

작용한다. 따라서 총량관리지역의 오염원규모와 삭감여건 파악을 위해 오염총량관리계획에서 활용 가능한 자료 중 12개 항목을 분석변수로 설정하였다. 오염원규모와 관련하여 오염원, 오염부하량, 단위유역 기여율 등을 고려하였으며, 삭감여건과 관련하여 삭감가능성, 삭감용이성 등을 고려하였다.

오염총량관리에서 오염원은 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계로 구분되며, 주요 오염원은 생활계의 인구, 축산계의 젓소, 한우, 돼지, 가금, 토지계의 대지 등이다. 이 중 축산계의 축종은 다양성으로 인해 제외하고 '면적'과 '인구'를 오염원 지표로 설정하였다.

오염부하량 지표로 '발생부하량'과 '배출부하량'을 설정하였다. '발생부하량'은 오염원과 비례하여 '면적'과 '인구' 외 오염원 규모 파악에 유용하며 '배출부하량'은 삭감 후 실제 배출되는 부하량으로 관리목표가 되는 중요한 요소이다. 총량관리지역의 오염원규모가 동일할지라도 해당 단위유역의 크기에 따라 기여율이 달라지므로 '점유율'과 '오염기여율'을 변수로 포함하였다.

삭감가능성 지표로 '대지면적율', '임야면적율', '배출율'을 설정하였다. 대부분의 오염원이 지목상 '대지'에 기인하므로 '대지면적율'이 높을수록 삭감여건은 좋을 것으로 판단하였다. 반면 '임야'는 기본방침에서 배경부하량으로 적용하여 안전부하량 삭감에서 제외하는 등 현실적으로 삭감이 어려운 실정이므로 '임야면적율'은 삭감여건 어려움을 판단할 수 있는 변수이다. '배출율'은 발생부하량 대비 그간의 삭감정도를 판단하는 기준이 된다.

삭감용이성 관련 변수로 '비점비율', '삭감율', '개발율'을 설정하였다. 비점배출부하량은 축산계와 토지계 오염원에서 주로 발생되나 대부분의 삭감은 환경기초시설 등에 의한 점배출부하량에서 이루어지고 있어 '비점비율'이 높을수록 삭감여건은 어렵다고 판단하였다. '삭감율'과 '개발율'은 실제 계획으로서 삭감계획과 개발계획이 많을수록 삭감이 용이한 지역으로 판단하였으며, 현황을 근거로 설정된 다른 변수들과의 관계를 통해 변수설정의 적절성을 검증하는 도구로 설정되었다.

설정된 12개 변수에 대한 자료는 기본계획으로부터 추출하거나 가공하였고, 측정단위가 서로 달라 분석결과에 미치는 영향을 최소화하기 위해 순위자료로 변환하여 사용하였다. <Table 4>에 총량관리지역의 공간범위 특성분석을 위해 설정된 항목을 나타내었고, <Table 5>에 항목에 대한 최대, 최소, 평균을 나타내었다.

<Table 4> Items for analyzing the characteristics of spatial extent in TMDL region.

고려 요소	항목 (단위)	항목 설명	설정사유
오염원 규모	면적 (km ²)	총량관리지역 면적	총량관리지역의 공간크기로 기본지표, 토지계 오염원
	인구 (명)	총량관리지역 인구	오염원의 기본지표, 생활계 오염원
	발생부하량 (kg/일)	6개 오염원그룹의 발생부하량	인구 외 오염원규모 파악
	배출부하량 (kg/일)	6개 오염원그룹의 배출부하량	오염총량관리 목표
	점유율 (%)	총량관리지역 면적/ 단위유역 면적	면적의 단위유역 기여율
	오염기여율 (%)	총량관리지역 배출부하량/ 단위유역 배출부하량	배출부하량의 단위유역 기여율
삭감 여건	대지면적율 (%)	대지면적/면적	인위적 오염원 평가지표, 삭감가능성의 간접지표
	임야면적율 (%)	임야면적/면적	자연적 오염원 평가지표, 삭감가능성의 간접지표
	배출율 (%)	배출부하량/발생부하량	발생부하량에서 삭감량이 많을수록 배출부하량 감소, 삭감정도 파악
	비점비율 (%)	비점배출부하량/배출부하량	환경기초시설 등 점배출부하량이 삭감용이
	삭감율 (%)	삭감계획부하량/배출부하량	실제 삭감계획에 따른 삭감여건 파악
	개발율 (%)	개발계획부하량/배출부하량	개발계획이 많은 지역이 삭감용이

<Table 5> The minimum, maximum, and average of items.

구분	면적	점유율	오염기여율	인구	발생부하량	배출부하량	대지면적율	임야면적율	배출율	비점비율	삭감율	개발율
평균	152.4	34.3	34.3	95,270	17,840	2,718	8.3	60.2	26.9	75.3	6.2	14.5
최소	0.1	0.0	0.0	0	0.5	0.5	0.0	0.0	3.5	12.1	0.0	0.0
최대	881.9	100.0	100.0	6,092,044	454,827	52,479	64.5	100.0	100.0	100.0	81.3	287.0

나. 요인분석을 이용한 공통요인 추출

(1) 요인분석 적합성 검정

요인분석은 상관관계를 바탕으로 이루어지므로 변수들 간에 일정 수준 이상의 상관성이 있어야 한다. 오염원규모 및 삭감여건과 관련된 총량관리지역의 공간 범위 12개 변수에 대해 요인분석 적합성을 확인하기 위하여 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) 검정과 Bartlett 구형성 검정을 실시하였다.

KMO 검정은 변수 간 공통요인이 존재하는지를 검정하며, KMO 측도가 클수록 요인분석에 적합하다고 판단할 수 있다. Bartlett 구형성 검정은 변수 간 유의한 상관관계가 존재하는지를 검정하며, 변수들 간의 상관행렬이 단위행렬(상관계수가 모두 0)이라는 귀무가설이 기각($p < 0.05$)되어야 한다.

검정 결과 KMO 측도는 0.785, Bartlett 구형성 검정은 유의확률(p 값) 0.000로 나타나 요인분석이 적합한 것으로 확인되었다.

(2) 공통요인 추출 방법

요인추출 방법은 입력변수의 총분산을 이용하여 정보 손실을 줄이고 변수들이 가지고 있는 총분산을 가능한 많이 설명할 수 있는 주성분법을 사용하였다.

추출할 요인 수는 고유값 크기, 스크리 도표, 설명된 총분산 등을 이용하여 결정할 수 있으나, 일반적인 방법에 따라 고유값(eigenvalue) 1.0 이상을 추출하였다.

또한, 입력변수들이 서로 상관성이 높아 여러 요인과 관련을 가짐으로서 요인 해석이 쉽지 않으므로 어느 한 요인에만 높은 관련을 갖게 하는 요인회전을 실시하였다. 요인회전 방법은 사각회전과 직각회전이 있으나 명료한 유형구분을 위해 Varimax 직각회전을 실시하여 요인 간 상관관계가 0인 독립적 요인을 추출하였다.

(3) 공통요인 추출 결과

12개 입력변수로 고유치 1이상인 3개의 공통요인이 추출되었고, 각 요인의

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

고유치는 4.960, 2.601, 2.173이며 전체분산의 81.1%를 설명하는 것으로 나타났다. <Table 6>에 요인분석 결과를 정리하여 나타내었다.

<Table 6> Result of factor analysis.

입력변수	오염원규모	삭감가능성	삭감용이성	Cronbach's Alpha
면적	.959	-.101	.084	0.969
점유율	.952	-.032	.161	
오염기여율	.946	.041	.166	
배출부하량	.877	.323	.276	
발생부하량	.823	.498	.195	
인구	.740	.455	.372	0.790
대지면적율	.017	.840	.412	
임야면적율	.045	-.836	-.273	
배출율	-.319	-.759	.177	
비점비율	-.162	-.078	-.767	0.673
삭감율	.324	.140	.713	
개발율	.091	.145	.700	
고유치	4.960	2.601	2.173	
설명분산	41.3	21.7	18.1	
누적분산	41.3	63.0	81.1	
KMO(Kaiser-Meyer_Olkin)				0.785
Bartlett's Test of Sphericity			Chi-Square	5540.529
			df(p)	66(.000)

1요인은 전체 분산의 41.3%로 가장 높은 설명변량(explained variance)을 보이며 '오염원규모'로 해석되는 요인이다. 면적, 점유율, 오염기여율, 배출부하량, 발생부하량, 인구의 '오염원규모' 관련 변수가 높은 요인적재량을 가지면서 1요인에 포함되었다. 6개 변수는 서로 양의 상관관계를 가지면서 오염원이 많은 지역이 오염부하량이 많으며 단위유역에 미치는 영향도 크게 나타나는 특성을 보여주고 있다.

2요인은 전체분산의 21.7%의 설명변량을 보이며 '삭감가능성'으로 해석되는

III. 연구결과 및 고찰

요인이다. 대지면적율, 임야면적율, 배출율의 '삭감가능성' 관련 변수가 높은 요인적재량을 가지면서 대지면적율이 낮고 임야면적율이 높을수록 토지이용형태에 따른 '삭감가능성'이 낮은 특성을 보여주고 있다.

3요인은 전체분산의 18.1%의 설명변량을 보이며 '삭감용이성'으로 해석되는 요인이다. 비점비율, 삭감율, 개발율의 '삭감용이성' 관련 변수가 높은 요인적재량을 가지면서 3요인에 포함되었다. 비점비율이 낮은 지역, 즉 점배출부하량이 많은 지역에서 삭감계획이 많으며 삭감계획이 많은 지역에서 개발계획 또한 많은 특성을 보여주고 있다. 이는 토지계, 축산계의 비점배출부하량 삭감보다 삭감이 용이한 환경기초시설 등 점배출부하량 삭감에 치우치기 때문이다.

'오염원규모'와 '삭감여건'에 따른 총량관리지역의 유형분류를 목적으로 요인분석 입력변수를 설정함에 따라 추출된 요인도 변수 설정시 고려된 요소와 유사하게 나타났다. 각 요인에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 신뢰도분석(Reliability)을 실시하였으며, 그 결과 크론바흐 알파(Cronbach's alpha)는 1요인 0.969, 2요인 0.790, 3요인 0.673로 나타나 신뢰할 수 있는 수준(0.6이상)임을 확인하였다.

다. 군집분석을 이용한 오염총량관리 대상지역 유형화

총량관리지역을 유형별로 구분하기 위해 각 요인의 설명분산을 가중치로 적용한 요인점수를 사용하여 군집분석을 실시하였다.

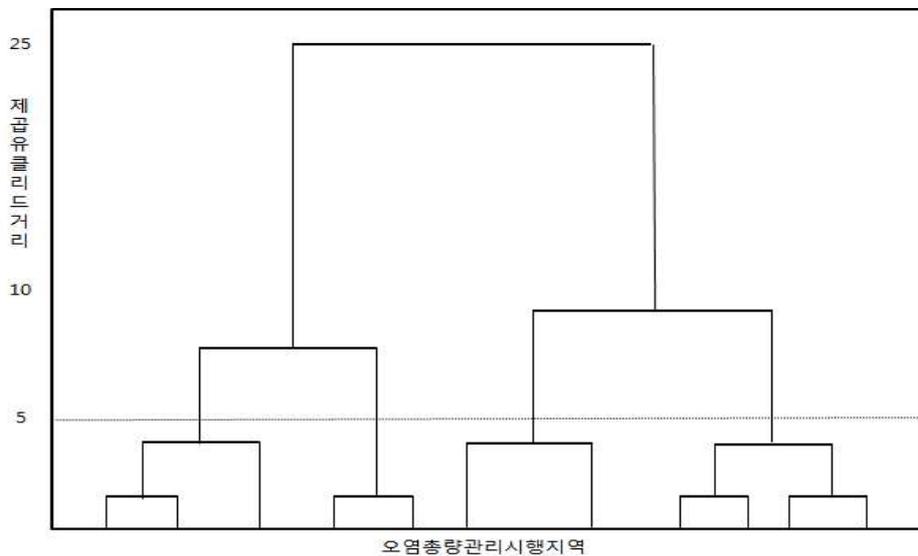
군집분석은 여러 개체(case) 중에서 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상을 하나의 집단으로 분류하고, 각 집단의 성격을 규명하는 통계분석 방법으로 유형에 따라 크게 계층적 군집분석과 비계층적 군집분석으로 구분된다.

(1) 군집의 수 결정

총량관리지역 구분을 위한 적절한 군집수를 결정하기 위해 Ward법으로 계층적 군집분석을 실시하였다. 계층적 군집분석은 개체 간 유사성에 따라 군집을 차례로 분류하여 모든 개체들의 군집 형성과정을 보여주어 군집 수 결정에 적합하다.

347개 총량관리지역에 대하여 군집분석을 실시한 결과를 <Fig. 1>의 덴드로그램

(Dendrogram)으로 나타내었다. 제곱유클리드거리는 지역 간의 유사성 정도를 정량적으로 나타내는 척도로서 거리가 작을수록 유사성이 크며 세분화되는 것을 알 수 있다. 제곱유클리드거리에 따라 총량관리지역을 2군집($d=10$), 4군집($d=5$), 7군집($d=2.5$)으로 분류 가능하나, 군집 수가 너무 많으면 각 군집의 특성 파악이 어렵고 군집 수가 너무 작으면 유형구분의 의미를 찾기 어려우므로 4군집 분류가 가장 적절 할 것으로 판단하였다.



<Figure 1> Dendrogram using Ward linkage.

(2) 오염총량관리지역 유형화

4개의 군집수를 지정하여 총량관리지역을 유형별로 분류하고 그 특성을 파악하기 위해 비계층적 군집분석(k평균법)을 실시하였다. 비계층적 군집분석은 주어진 군집개수에 따라 지정된 군집의 중심에서 가장 가까운 개체를 하나씩 포함해 가는 방법이다.

군집분석 결과, 4개의 군집은 유의확률 0.000에서 군집 간 차이가 있는 것으로 나타났으며, 군집 특성으로부터 총량관리 우선순위를 도출하였다.

1군집은 오염원규모가 크고 삭감여건이 양호한 유형으로 94개 지역(27%)이 포함되었다. 총량관리지역의 면적에 비해 오염원 및 오염부하량이 매우 많은

III. 연구결과 및 고찰

오염밀집지역이며 대지면적율이 매우 높은 시가지역이 이 그룹에 속한다. 높은 오염기여율과 삭감여건을 고려할 때 오염총량관리 1순위로 볼 수 있다.

2군집은 오염원규모가 매우 크나 삭감여건은 낮은 유형으로 94개 지역(27%)이 포함되었다. 총량관리지역의 면적은 매우 넓으나 오염밀도가 낮은 비시가지역이 이 그룹에 속한다. 넓은 면적 중 임야가 차지하는 비율이 높아 삭감여건은 낮은 편이다. 하지만 단위유역 내 높은 오염기여율을 고려할 때 오염총량관리 2순위에 해당한다.

3군집은 오염원규모가 매우 작으나 삭감여건은 보통인 유형으로 69개 지역(20%)이 포함되었다. 오염원규모는 적으나 점배출부하량 비율이 높아 삭감여력이 있는 지역이 이 그룹에 속한다. 매우 작은 오염원규모를 고려할 때 오염총량관리 3순위에 해당한다.

4군집은 오염원규모가 매우 작고 삭감여건이 가장 낮은 유형으로 90개 지역(26%)이 포함되었다. 오염총량관리 추진에 있어 어려움이 예상되는 그룹으로 오염총량관리 4순위에 해당한다.

군집중심은 요인에 대한 무게중심으로 나타나며, 군집중심 값이 클수록 오염원규모와 삭감여건 특성이 좋음을 의미한다. 공간범위 특성을 종합하여 오염총량관리 우선순위를 부여하면 오염원 규모가 큰 1, 2 군집이 높은 우선순위를 가지는 것으로 나타났다. <Table 7>에 군집분석의 결과를 나타내었고, <Table 8>에 군집별 평균을 나타내었다.

<Table 7> Result of cluster analysis.

요인 (공간범위 특성)	군집중심				F	유의 확률
	1군집 (n=94)	2군집 (n=94)	3군집 (n=69)	4군집 (n=90)		
오염원 규모	1.09	2.30	-1.98	-2.03	254.461	.000
삭감 가능성	1.68	-1.04	-.72	-.11	101.101	.000
삭감 용이성	.42	-.29	1.62	-1.38	106.660	.000
종합	3.19	.96	-1.08	-3.52		
오염총량관리 우선순위	1	2	3	4		

<Table 8> Characteristics of each cluster.

구분	오염원 규모				삭감 가능성				삭감 용이성			
	면적 (km ²)	점유 율 (%)	오염 기여 율 (%)	인구 (명)	발생 부하 량 (kg/일)	배출 부하 량 (kg/일)	대지 면적 율 (%)	임야 면적 율 (%)	배출 율 (%)	비점 비율 (%)	삭감 율 (%)	개발 율 (%)
1군집	167.0	43.9	47.8	307,279	46,855	5,955	16.4	42.8	14.7	68.6	8.5	15.2
2군집	336.0	69.8	68.7	32,676	15,913	3,249	4.1	72.2	25.3	78.2	5.4	6.0
3군집	47.2	10.8	8.7	12,175	2,362	796	7.2	58.9	38.6	65.7	11.3	35.7
4군집	26.2	5.2	3.9	2,918	1,414	256	5.1	66.8	32.2	86.6	0.8	6.5
전체	152.4	34.3	34.3	95,270	17,840	2,718	8.3	60.2	26.9	75.3	6.2	14.5

3. 오염총량관리시행계획 수립지역의 관리현황 분석

가. 시행계획 수립지역의 할당부하량 관리현황

(1) 시행계획 대비 이행사항

이행평가는 시행계획에 대한 이행사항을 매년 평가하는 것이며, 이행평가 결과 오염원, 삭감 및 개발 등 필요한 경우에 시행계획을 변경 하도록 규정(이행평가기준 제14조)되어 있어 변경이 매우 잦은 편이다. 본 절에서는 2014년 시행계획 대비 이행평가 결과를 이용하여 오염부하량 관리현황을 분석(95개 지역, '14년 이행평가 미시행지역 제외)하였다.

2014년 이행평가 결과, 연차별할당부하량 달성율은 93%로 7개 지역이 초과하였으며 지역개발부하량 달성율은 96%로 4개 지역이 초과하였다. 삭감부하량은 76%(삭감계획 없는 지역을 제외하면 28%)로 달성율이 가장 낮게 나타났다. 군집별로는 관리여건이 가장 낮게 평가된 4군집이 할당부하량 달성율(87%)과 삭감이행율(6%)이 가장 낮게 나타나 관리의 어려움을 확인할 수 있었다. <Table 9>에 2014년 기준 이행평가의 관리 상태를 나타내었다.

<Table 9> Management situation of implementation evaluation(2014 year).

군집	이행 평가 지역 수	2014년 이행평가 결과							
		달성지역 수				달성율(%) (달성지역 수/이행평가 수)			
		할당	오염 원	지역 개발	삭감	할당	오염 원	지역 개발	삭감
1	27	27	24	25	20	100	89	93(92)	74(56)
2	21	19	17	21	7	90	81	100	33(14)
3	16	15	14	15	14	94	88	94(92)	88(44)
4	31	27	26	30	31	87	84	97(96)	100(6)
계	95	88	81	91	72	93	85	96(95)	76(28)

() : 개발계획, 삭감계획이 없는 지역을 제외한 달성율

(2) 오염총량관리 계획 변경

찾은 계획변경은 관리의 어려움을 대변한다고 볼 수 있으며, 3대강수계 2단계 기본계획 수립 이후 할당부하량(BOD) 변경(증가)을 위한 기본계획 변경 건수와 사유를 분석하였다. 기본방침에 따른 오염총량관리 계획변경 사항은 기본계획 및 시행계획으로 구분되며 할당부하량 변경, 지역개발부하량 증가, 할당대상자별 할당부하량 이행시기, 개발사업 종류와 배출부하량, 삭감계획 등 매우 다양하다. <Table 10>에 오염총량관리계획 변경승인 대상을 나타내었다.

<Table 10> Change approval subject of TMDL plan.

구분	변경승인 대상
기본계획 (기본방침 제18조)	<ul style="list-style-type: none"> - 단위유역별 또는 단위유역 내 지자체별 할당부하량 변경 ※ 시행계획 승인 과정에서 변경되는 경우 제외 - 단위유역 내 지자체별 지역개발부하량 증가 - 용수이용목적 또는 단위유역의 변경 및 인위적 하천환경 변화 등으로 목표수질에 변동이 있는 경우
시행계획 (기본방침 제26조)	<ul style="list-style-type: none"> - 할당대상자별 할당부하량 및 이행시기 변경 - 개발사업의 종류, 배출부하량 초과, 개발사업 추가 - 삭감계획 변경 - 기타 기본계획에서 정하는 사항 - 이행평가 결과 시행계획 변경이 필요한 경우

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

많은 계획변경 중에서 오염부하량 관리 어려움으로 할당부하량을 증가시킨 사례를 조사하여 군집별 관리현황을 파악하였다. 할당부하량 변경은 기본계획 변경(시행계획 승인과정에서 변경 포함)사항으로 3대강수계 59개 지자체(100개 지역)에 대해 조사하였고, 시행기간이 짧은 한강 수계(2013.6 기본계획 수립)와 행정구역 변경(세종특별자치시 등)에 따른 계획 변경은 제외하였다.

할당부하량 변경(증가)은 13개 총량관리지역(12개 지자체)에서 19차례(중복 포함) 이루어졌으며, 기본계획 수립 대비 할당부하량 변경(증가)사유로는 ① 오염원의 증가(7건, 36.8%), ② 안전율 하향(10%→5%)(6건, 31.6%), ③ 지역개발사업 증가(4건, 21.1%), ④ 안전부하량 삭감 해소(2건, 10.5%)로 조사되었다. 조사결과, 할당부하량 변경(증가) 사유는 크게 목표수질 달성과 오염부하량 관리 측면으로 구분 할 수 있었다. 목표수질을 2회 연속 달성할 경우에는 안전율 5%를 적용할 수 있어 안전부하량 감소만큼 할당부하량을 증가시킬 수 있으며 31.6%(6건)가 해당되었다. 오염부하량 관리측면의 계획변경은 오염원증가, 지역개발부하량 확보, 안전부하량 삭감 부족으로 68.4%(13건)가 해당되었다.

군집별로 살펴보면 오염총량관리 여건이 가장 낮은 4군집에서 계획 변경이 가장 많이 발생하였다. 4군집의 계획변경은 모두 오염부하량 관리 어려움에서 발생되었으며 13건 중 62%(8건)에 해당되었다. <Table 11>에 3대강수계의 할당부하량 변경 내역을 나타내었다.

<Table 11> Contents of increased allocation load compared to second master plan in the three river.

군집	시행 지역 (개소)	할당부하량 변경(증가) 사유 (건수)				
		계	목표수질 달성		오염부하량 관리	
			안전율 하향	오염원 증가	지역개발부하량 증가	안전부하량 삭감 해소
1	2	4	2	1	1	0
2	4	5	3	1	1	0
3	2	2	1	1	0	0
4	5	8	0	4	2	2
계	13	19	6	7	4	2

나. 시행계획 수립 및 이행평가 용역비용 분석

2015년 기준으로 시행계획 수립 및 이행평가보고서 작성에 지원되는 용역비용을 산정하였다. 수질수생태계법과 4대강 수계법에서는 오염총량관리에 필요한 비용을 지자체에 지원하도록 규정하고 있으며, ‘오염총량관리 용역비 지원기준(2009)’에 따라 시행계획 및 이행평가 기본금에 대상유역의 면적과 인구 가산금을 더하여 지원하고 있다.

$$\text{용역비} = \text{기본금} + \text{면적 가산금} + \text{인구 가산금}$$

면적은 50km² 미만부터 300km² 이상까지 세 구간으로 구분하여 50km² 이상부터 가산금을 지원하고, 인구는 1만 미만부터 100만 이상까지 다섯 구간으로 구분하여 1만 이상부터 가산금을 지원한다. 한편 면적 10km² 미만 또는 인구 1천명 미만의 소규모지역은 별도의 소액을 지원하며 수계관리위원회 협의를 통해 조정 가능하도록 규정되어 있다.

시행계획 수립년도는 목표수질 초과에 따라 단위유역마다 다르므로 이에 따라 매년 이행평가를 실시하는 지역수도 달라진다. 따라서 용역비 지원액을 산정하기 위해 모든 시행계획수립 지자체는 대상물질에 관계없이 최초 1회 수립하고 이행평가는 단계기간(5년) 내내 실시하는 것으로 가정하였다. 121개 지자체의 오염원 규모에 따른 용역비 소요비용(기금지원)은 약 395억 원으로 산정되었으며, 오염원 규모별 세부현황은 <Table 12>에 나타내었다.

<Table 12> Support cost of action plan and evaluation of local governments.

구분	인구(명)에 따른 지자체(개소)						계	용역비* (백만원)
	1천 미만	1천~ 1만	1만~ 10만	10만~ 30만	30만~ 100만	100만 이상		
10km ² 미만	5	0	1	0	0	0	5	
10~50km ² 미만	5	5	3	4	1	0	18	
50~300km ² 미만	1	10	10	5	10	1	37	39,540
300km ² 이상	0	0	33	17	6	4	61	
계	11	15	47	26	17	5	121	

* 시행계획 및 이행평가

4. 탄력적 공간범위 적용(안) 마련

시행계획 수립대상 지역은 안전부하량에 대한 삭감계획을 포함하는 시행계획을 수립하여야 하나 삭감대상이 되는 오염원규모가 매우 적거나 삭감여건이 매우 낮은 취약지역은 삭감계획 수립 곤란으로 시행계획 수립이 어렵다. 이에 원활한 오염총량관리 추진을 위해 취약지역을 구분하는 기준을 마련하고 합리적 시행방안을 제시하고자 하였다.

가. 탄력적 공간범위의 적용 기준(안) 설정

총량관리지역의 공간범위 특성을 분석하여 오염총량관리 여건이 낮은 그룹(3, 4군집)을 분류하였으나, 해당 군집에 포함된 지역의 분포범위가 넓어 취약지역을 구분하기 위해서는 추가적인 세부기준이 필요하다.

‘삭감계획 수립 제외지역 선정 가이드라인(2009)’에서는 점유율, 임야 및 대지 배출부하량 비율 등이 삭감 제외지역 선정기준으로 사용되었고, ‘오염총량관리 용역비 지원기준(2009)’에서는 면적, 인구가 오염원 규모 평가기준으로 사용되었다. 이러한 기존의 선정 및 평가기준을 고려하여 취약지역 선정을 위해서는 오염원규모와 관련하여 면적, 인구, 발생부하량, 배출부하량 4개 항목, 삭감여건과 관련하여 대지면적율, 임야면적율, 비점비율 3개 항목을 설정하였다. 설정된 7개 항목에 대한 세부기준은 오염총량관리 여건이 낮은 3, 4군집 내 공간범위 특성 순위의 하위 20%로부터 면적 1km² 미만의 극소지역과 면적 10km² 미만의 소규모지역으로 구분하여 도출하였으며, 그 결과를 <Table 13>에 나타내었다.

설정기준에 따라 20개 지역이 취약지역으로 설정되었으며, 분석대상 지역 중 면적 1km² 미만의 극소지역은 6개 지역 중 5개 지역, 10km² 미만의 소규모지역은 40개 지역 중 15개 지역이 해당되어 소규모지역이라도 오염원규모가 큰 지역 등은 제외되었다. 군집별로는 3군집에서 5개 지역, 4군집에서 15개 지역이 해당되었다.

<Table 13> Setting detail criteria of spatial extent vulnerable area.

취약지역 구분	공간범위 취약지역 설정 기준							취약지역 설정 (개소)
	오염원 규모				삭감여건			
	면적 (km ²)	인구 (명)	발생부 하량 (kg/일)	배출부 하량 (kg/일)	대지면 적율 (%)	임야면 적율 (%)	비점비율 (%)	
극소 지역	<1	<100						5
소규모 지역	<10	<500	<200	<50	<10	55<	60<	15

나. 탄력적 공간범위의 적용(안) 마련

취약지역 지자체의 애로사항을 해소하고 원활한 오염총량관리 추진을 위해 지역 특수성을 고려한 합리적 시행방안을 제시하였다.

첫째, 총량관리지역의 안전율을 탄력적으로 적용하여 취약지역에 대해서는 안전부하량에 대한 삭감을 면제(안전율 0% 적용)하는 방안이다. 안전부하량은 단위유역 목표수질을 달성하는 기준배출부하량에 안전율을 곱한 부하량으로서 시행계획 수립지역은 10% 또는 5%의 안전율을 획일적으로 적용한다(오염총량관리 기본방침, 2016). 하지만 취약지역은 해당 단위유역 목표수질을 달성하는 조건하에서 안전율 0%를 탄력적으로 적용, 안전부하량 삭감을 면제하는 방안이 필요하다.

둘째, 공간범위 취약지역은 단위유역 내에서 면적이 가장 큰 지역과 시행계획 수립 및 이행평가를 통합하여 시행하는 방안이다. 오염원규모가 매우 적은 취약지역은 대지면적, 물사용량, 가축 사육두수 등 오염원이 기본계획 대비 조금만 증가하여도 할당부하량을 초과할 수 있으나 삭감방안이 없는 등 오염부하량 관리의 폭이 매우 좁다. 따라서 단위유역 내 면적이 가장 큰 지자체와 통합 시행을 통해 취약지역의 공간범위를 확대하면 협소한 공간범위에 기인한 애로사항이 해소될 수 있을 것이다.

셋째, 공간범위 취약지역에 해당되는 지자체는 동 단위유역 내 지자체와 협의체를 구성하여 시행계획 수립 시 기본계획과 오염원 변동 등으로 인한

할당부하량 조정 협의를 할 수 있도록 하는 방안이다. 기본방침(제19조)에 협의체를 구성할 수 있도록 명시되어 있으나 3대강수계 2단계 기간 동안 공식적인 협의체 구성 사례는 없었으며 필요시 관계자간 개별 접촉을 통해 협의·조정해온 상황이다. 따라서 유역 내 문제를 적극적으로 해소하기 위해 상호 협력과 조정 기반의 유역협의체 활성화가 필요하다.

5. 탄력적 공간범위 적용에 따른 효과분석

가. 관리적 측면

공간범위 취약지역의 안전부하량에 대한 삭감 면제, 통합시행 등으로 시행계획 수립이 곤란한 지역의 어려움이 해소되어 원활한 오염총량관리의 추진이 가능하며, 잦은 계획 변경 감소를 통해 행정 낭비를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

3대강수계의 2단계 시행계획 수립지역 중 공간범위 취약지역에 해당하는 지자체에 대하여 기존의 방법과 본 연구에서 제시하는 안전부하량 삭감 면제에 따른 시행계획 수립을 비교하여 <Table 14>에 나타내었다. 시행계획 수립 시 삭감 목표량은 기본계획 대비 오염원 및 개발계획의 변동에 따라 달라지므로 안전부하량에 대한 삭감만 고려하기 위하여 오염원, 개발계획은 기본계획과 동일하다고 가정하여 비교하였다. 기존방법으로는 안전부하량에 대한 삭감계획 수립이 실질적으로 불가능하여 시행계획 수립이 어려우나 안전부하량 삭감 면제 시에는 삭감계획에 대한 애로사항이 해소되어 조속한 시행계획 수립이 가능해진다.

또한 통합 시행 및 협의체 구성을 통해서도 단위유역 공동목표 의식 고취, 정보 공유, 지자체간 애로사항에 대한 공감대 형성을 통해 상호협력, 할당부하량을 둘러싼 지역갈등 해소, 협의조정 기간 단축 등의 관리효과를 기대해 볼 수 있다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

<Table 14> Comparison of TMDL plan in vulnerable area.

구분	지자체	기본계획						시행계획				비고
		현재배출부하량	기준배출부하량		할당부하량	안전부하량*	할당부하량	지역개발부하량	삭감목표부하량			
	계	생활계	축산계	토지계	출부하량	부하량	부하량	하량	발부하량	표부하량		
기존 방법	a	4.1	0.0	0.0	4.1	4.1	3.7	0.4	3.7	0.0	0.4	토지계 삭감곤란, 시행계획수립 어려움
	b	1.0	0.0	0.9	0.1	1.0	0.9	0.1	0.9	0.0	0.1	축산계 삭감곤란 (자원화 100%), 시행계획수립 어려움
	c	1.5	1.0	0.1	0.4	1.5	1.4	0.2	1.4	0.0	0.2	생활계 삭감곤란 (인구18명), 시행계획수립 어려움
	d	2.2	0.0	0.0	2.2	2.2	2.0	0.2	2.0	0.0	0.2	토지계 삭감곤란, 시행계획수립 어려움
	e	10.8	0.0	0.0	10.8	10.8	9.7	1.1	9.7	0.0	1.1	토지계 삭감곤란, 시행계획수립 어려움
	f	6.7	0.1	0.1	6.5	6.7	6.0	0.7	6.0	0.0	0.7	토지계 삭감곤란, 시행계획수립 어려움
제안 방법	a	4.1	0.0	0.0	4.1	4.1	4.1	0.0	4.1	0.0	0.0	
	b	1.0	0.0	0.9	0.1	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	
	c	1.5	1.0	0.1	0.4	1.5	1.5	0.0	1.5	0.0	0.0	안전부하량 삭감 면제로 시행계획 수립 가능
	d	2.2	0.0	0.0	2.2	2.2	2.2	0.0	2.2	0.0	0.0	
	e	10.8	0.0	0.0	10.8	10.8	10.8	0.0	10.8	0.0	0.0	
	f	6.7	0.1	0.1	6.5	6.7	6.7	0.0	6.7	0.0	0.0	

* 안전율 10% 적용

나. 경제적 측면

시행계획 수립대상 단위유역에 일부 소유역만 포함되는 지자체라도 시행계획 수립 및 이행평가 용역을 수행함으로써 비용낭비가 되고 있는 실정으로, 2015년 기준으로 4대강수계 BOD 시행계획 수립 지자체(100개소)에 대해 탄력적 공간범위 적용(통합 시행)에 따른 용역비용 절감효과를 분석하였다.

시행계획 수립지역 중 '오염총량관리 용역비 지원기준(2009)'에 따른 소규모 지역(면적 10km²미만 또는 인구 1000명 미만)은 15개 지자체이며, 단위유역 내 다른 큰 지자체와 통합하여 시행계획 수립 및 이행평가 용역을 수행할 경우와 개별 수행할 경우의 용역비를 비교하여 <Table 15>에 나타내었다. 용역비는 시행계획수립 지자체 수와 이행평가 횟수에 따라 달라지기 때문에, 모든

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

지역이 단계 초기에 시행계획을 수립하고 5년 내내 이행평가를 실시하는 것으로 가정하여 산정하였다.

15개 지자체가 시행계획 및 이행평가를 다른 지자체와 통합 시행할 경우, 지자체 개별 시행에 비해 약 14억 정도의 비용이 절감되는 것으로 분석되었다. 시행계획 수립시기가 단위유역마다 달라 시행계획 횟수가 늘어나거나 안전부하량에 대한 삭감비용까지 고려하면 통합 시행에 따른 비용절감 효과는 더 클 것으로 예상된다.

<Table 15> Cost cutting by integrated implementation of TMDL region.

구분	면적 (km ²)	인구(명)에 따른 지자체 수						용역비* (백만원)	
		1천 미만	1천~ 1만	1만~ 10만	10만~ 30만	30만~ 100만	100만 이상		계
개별 시행	10km ² 미만	7		1				8	30,535
	10~50km ² 미만	7	6	3	4	1		21	
	50~300km ² 미만		10	9	6	9	1	35	
	300km ² 이상			21	10	2	3	36	
	계	14	16	34	20	12	4	100	
통합 시행	10km ² 미만								29,110
	10~50km ² 미만		6	3	4	1		14	
	50~300km ² 미만		10	8	6	9	1	34	
	300km ² 이상			22	10	2	3	37	
	계		16	33	20	12	4	85	
비용절감								▼1,425	

* 시행계획 및 이행평가

IV. 결 론

본 연구에서는 우리나라 수질오염총량관리의 효율적이고 원활한 시행을 위해 총량관리 대상지역의 공간범위 특성을 파악하고 총량관리 취약지역을 구분하는 기준과 탄력적 관리방안을 도출하고자 하였다. 본 연구에서 도출한 주요 결과는 아래와 같다.

1. 4대강수계 347개 총량관리지역의 유형분류를 위한 공통특성을 파악하기 위해 요인분석을 실시하였다. 오염총량관리 시행의 주요 요소인 오염원규모 및 삭감여건과 관련된 12개 항목을 변수로 설정하여 요인분석을 실시한 결과, 81.1%의 설명변량을 가지는 3개 요인이 추출되었다. 1요인은 면적, 인구, 발생부하량, 배출부하량, 점유율, 오염기여율이 높은 요인적재량을 가져 “오염원규모”(41.3% 설명변량), 2요인은 대지면적율, 임야면적율, 배출율이 높은 요인적재량을 가져 “삭감가능성”(21.7% 설명변량), 3요인은 비점비율, 삭감율, 개발율이 높은 요인적재량을 가져 “삭감용이성”(18.1% 설명변량)으로 해석하였다.
2. 총량관리지역의 특성별 유형을 분류하기 위해 요인점수를 이용하여 군집 분석을 실시하였으며, 4개의 군집으로 분류하였다. 1군집(n=94)은 오염원 규모가 크고 삭감여건이 높은 유형(오염총량관리 1순위), 2군집(n=94)은 오염원규모는 크나 삭감여건이 낮은 유형(오염총량관리 2순위), 3군집(n=69)은 오염원규모는 매우 작으나 삭감여건은 보통인 유형(오염총량관리 3순위), 4군집(n=90)은 오염원규모가 매우 작고 삭감여건도 매우 낮은 유형(오염총량관리 4순위)으로 분류되었다.
3. 3대강수계 시행계획 수립지역에 대해 이행평가('14) 결과와 계획변경을 통해 관리현황을 분석하였다. 오염총량관리 시행 여건이 가장 낮은 4군집에서 할당부하량 초과율과 삭감미이행율이 가장 높게 나타났으며, 할당부하량 증가를 위한 계획변경도 잦아 오염총량관리 어려움을 확인 할 수 있었다.

IV. 결 론

4. 12개 변수 중 취약지역 구분을 위해 7개 주요 항목(면적, 인구, 발생부하량, 배출부하량, 대지면적율, 임야면적율, 비점비율)을 설정하였으며, 오염총량관리 시행 여건이 낮은 군집의 하위 20% 순위로부터 면적 1km² 미만의 극소지역과 면적 10km² 미만의 소규모지역으로 구분하여 항목별 세부기준을 도출하였다. 설정된 세부기준에 따라 전체 347개 분석대상지역 중 20개 지역이 취약지역으로 선정되었다.
5. 취약지역의 원활한 오염총량관리를 위해서는 일반 지역과 구별하여 탄력적인 시행방안 적용이 필요함에 따라 '안전부하량 삭감면제'와 '통합 시행' 방안을 제시하였다. 제시된 시행방안 적용에 따라 취약지역 애로사항 해소와 함께 원활한 시행계획 수립이 가능할 것으로 판단되며, 오염총량관리의 행정적 측면과 경제적 측면에서의 절감효과가 기대된다.

참 고 문 헌

1. 환경부, 2016, 수질오염총량관리 기본방침.
2. 국립환경과학원, 2014, 수질오염총량관리기술지침.
3. 환경부, 2009, 삭감계획 수립 제외지역 선정 가이드라인.
4. 환경부, 2009, 오염총량관리 용역비 지원기준.
5. 서울특별시, 2013, 한강수계 수질오염총량관리 기본계획.
6. 인천광역시, 2013, 한강수계 수질오염총량관리 기본계획.
7. 경기도, 2013, 한강수계 수질오염총량관리 기본계획.
8. 강원도, 2010, 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.
9. 경상남도, 2009, 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.
10. 경상북도, 2009, 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.
11. 대구광역시, 2009, 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.
12. 부산광역시, 2009, 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.
13. 대전광역시, 2009, 금강수계 수질오염총량관리 기본계획.
14. 충청남도, 2009, 금강수계 수질오염총량관리 기본계획.
15. 충청북도, 2009, 금강수계 수질오염총량관리 기본계획.
16. 전라북도, 2009, 금강수계 수질오염총량관리 기본계획.
17. 광주광역시, 2009, 영산강수계 수질오염총량관리 기본계획.
18. 전라남도, 2009, 영산강수계 수질오염총량관리 기본계획.
19. 전라남도, 2009, 섬진강수계 수질오염총량관리 기본계획.
20. 전라북도, 2009, 섬진강수계 수질오염총량관리 기본계획.

참 고 문 헌 ■

21. 경기도, 2010, 진위천수계 수질오염총량관리 기본계획.