

기획연구 2008-16

GIS와 연계한 충청남도 물통합관리 방안

송동하 · 이상진 · 김영일 · 김홍수 · 정우혁

발 간 사

도시 및 산업의 발달, 축산업의 증가 등으로 많은 물을 사용하고 배출하여 주변지역이 오염됨으로써 이용가능한 물의 양은 점점 적어지고 있는 반면, 생활수준의 향상으로 보다 더 깨끗한 물의 수요는 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 물의 순환체계로 볼 때, 이용된 대부분의 상수는 하수로 이어진다. 따라서 보다 깨끗한 상수원의 확보는 물론 건전한 생태계 유지를 위하여 발생한 하수는 일정한 처리시설에서 처리하여 배출하여야 할 필연성을 갖게 된다.

하수처리의 기원은 바빌론과 고대 그리스 시대까지 거슬러 올라간다. 이러한 초기의 하수처리는 강이나 개울물의 이용과정에서 하수로 인한 콜레라나 장티푸스 등의 수인성(水因性) 질병을 예방하기 위함이었다. 근대적인 하수도는 19세기가 되어서야 서구에 도입되었고, 처리수의 재활용과 하천을 깨끗하게 유지하여 거주민의 심미적 안정과 삶의 질 향상을 추구할 목적으로 하는 효과적인 하수처리방법은 20세기 중반이 되어서야 시작되었다.

우리나라는 상수원(上水源)으로 주로 하천수 및 호소수를 이용하고 있으며, 상수원의 주요 오염원은 대부분 생활하수이다. 이에 따라 인구가 밀집된 읍단위 이상의 중·대도시 등에서 배출되는 생활하수는 대부분 공공하수처리시설을 설치하여 집중적으로 처리하고 있다. 그러나 충청남도의 경우 다른 광역자치단체에 비하여 공공하수처리시설의 설치가 부족하여 하천과 호소의 수질개선에 많은 어려움을 겪고 있다. 뿐만 아니라 공공하수처리시설을 자치단체가 설치하고 관리함에 있어서 종합적인 관리체계의 검토가 부족한 가운데 진행되고 있어 여러 가지 문제점을 내포하고 있는 현실이다. 이러한 시기에 공공하수처리시설의 일원화된 설치 및 운영관리체계의 토대를 마련하고 최적의 관리방안을 도출하여, 향후 하수처리시설의 효율적인 설치 및 관리방안을 제공하기 위한 본 연구는 매우 의미가 있다고 볼 수 있다.

끝으로 본 연구를 수행하는 과정에서 많은 자문과 협조를 아끼지 않은 관계 전문가와 현황 조사에 노력한 공공하수처리시설 운영자에게 깊은 감사의 뜻을 표한다. 무엇보다도 여러 가지 어려운 여건에서도 충청남도의 공공하수처리시설 운영관리 실태를 분석하고 관리방안에 관한 연구에 최선을 다한 송동하·이상진 박사와 함께 연구한 연구진의 노고에 고마움을 전한다. 본 연구의 결과가 하수처리시설의 설치과정과 유역관리에 있어서 많은 이해와 관련시책 및 후속 연구에 유익한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

2008년 12월 31일

충남발전연구원장 김용웅

연구요약

1. 연구 배경 및 목적

하천의 수질개선대책을 수립하기 위해서는 하천의 물리적·생태적 특성을 정확하게 파악하는 것이 필요하며, 수질은 다양한 환경인자에 영향을 받게 되므로 종합적인 현황 분석을 통해 하천관리 방안을 도출할 필요가 있다. 기존의 수질정책의 한계점으로 드러난 오염원에 대한 농도규제 방안을 보완한 유역관리 중심의 수질 정책이 이루어짐에 따라 유역에 관련된 방대한 분량의 자료를 관리하고 종합적으로 분석하는 시스템이 절실히 요구되고 있다. 이러한 시점에서 충청남도 물통합관리 계획은 하천관리의 실효성 부족을 극복하고 뉴패러다임의 수질정책을 실현하기 위한 최적의 방안이라고 볼 수 있다.

그간 4대강 개선을 위한 정부와 지방자치단체의 노력으로 수질·유량 등의 하천자료와 호소 자료 그리고 유역 오염원 자료들이 축적·생산되고 있다. 이렇게 지속적으로 쌓여가는 귀중한 자료들의 가치는 활용에 따라 수질개선에 핵심이 될 수도 있으며, 전혀 가치가 없는 일회성 자료가 될 수도 있다. 또한 기존의 하천 수질개선대책은 하천 평가, 수질 예측, 계획 수립이 긴밀하게 상호작용하기에는 부족한 부분이 많았다. 이러한 시점에서 물통합관리 계획은 유역의 자료를 바탕으로 분석·예측·검증·평가 등의 하천·유역관리 통합기능을 수용할 수 있는 효율적이고 과학적인 시스템이 절실히 요구되고 있다.

2. 주요 연구내용

연구의 주요 내용과 범위는 GIS기반의 정보시스템 구축 방안 및 오염총량관리 지원에 필요한 세부 실천계획을 수립하는 것이다. 본 연구에서 다루어지는 주요 내용은 7가지로 구분되며 각각의 내용은 물통합관리의 정의, 물통합관리의 요소, 충청남도 물통합관리 계획 검토,

GIS를 이용한 유역관리 사례 및 시사점, 충청남도 물통합관리 방안 수립, 단계별 이행계획 수립, 과제별 세부사업이다. 가장먼저 물통합관리의 정의를 통해 연구의 목적과 취지를 구체화 하였으며, 이를 달성하는데 있어 반드시 필요한 요소들이 무엇이 있는지 어떻게 구성되어야 하는지에 대하여 연구하였다. 그리고 현재 충청남도 물통합관리 계획의 진행 현황을 분석하였으며, 이를 뒷받침할 수 있는 방안으로 GIS를 이용한 유역관리를 제시 하였고, 이에 대한 사례와 시사점을 분석하였다. 또한 충청남도 물통합관리 방안을 수립하기 위하여 DB 구축, GIS레이어 구축, 시스템 구축, 기존 시스템과의 연계에 관련한 사항들을 분석하였다. 이를 종합하여 최종적으로는 단계별로 수립하는데 있어서 고려해야할 사항을 기술하고 세부적으로 필요한 사업들의 내용을 구체화 하였다.

3. 결론 및 정책 제언

본 연구에서는 이러한 요건에 충족할 수 있는 GIS 기반의 물통합관리 시스템을 과학적인 유역관리 체계의 최적화 방안으로 제시하였다. 이 시스템은 오염원 자료의 갱신, 수정, 검증, 시각화 등의 기능을 구현할 수 있으며, 현장과 시스템의 원격지원을 가능하게 함으로써 관리상의 효율성과 정확성을 충족할 것이다. 그리고 오염원 자료를 바탕으로 발생부하량과 배출부하량 산정 기능을 연계하여 수질오염총량관리에 활용도 가능하고, 환경부 및 국토해양부 등에서 관리 운영하고 있는 시스템과 그에 관련된 자료와도 충분한 호환성을 갖고 있어야 할 것이다. 이러한 물통합관리 시스템은 수질 예측모델과 분포형 유역모델을 통합 연계하여 개선이 필요한 지역을 선정하는 의사결정 도구로 활용이 가능하며, 장래 오염원의 변동을 고려하여 수질변화를 예측함으로써 정책계획 및 수립에 있어 직접적인 활용성을 갖게 될 것이다.

차 례

제1장 연구의 개요	1
제1절 연구 배경 및 목적	1
제2절 연구 범위와 방법	5
1. 연구 범위	5
2. 연구 방법	5
3. 용어 정의	6
제2장 물통합관리의 의의	8
제1절 물통합관리의 정의	8
1. 수질관리	8
2. 수량관리	12
3. 물통합관리	14
제2절 물통합관리의 요소	15
1. 오염원 관리	15
2. 부하량 관리	20
3. 수질 및 수량 관리	29
4. GIS DB 관리	30
제3절 충청남도 물통합관리 계획검토	34
제3장 충청남도 물통합관리 방안	37
제1절 GIS를 이용한 유역관리 사례	37
1. 국내사례	38

2. 해외사례	41
3. 시사점	51
제2절 GIS와 연계한 물통합관리 구성요소	55
1. 물통합관리 DB 구축	55
2. GIS 레이어의 구축	56
3. 물통합관리시스템 구축	57
4. 기존 시스템과의 연계	59
제3절 물통합관리의 단계적 이행방안	62
1. 목표시스템의 도출	62
2. 단계적 이행방안	82
 제4장 결론 및 제언	 92
1. 요약 및 결론	92
2. 정책제언	93
3. 연구의 한계	95
 < 참고문헌 >	 96

표 차례

<표 2-1> 오염원그룹별 점오염원 및 비점오염원 구분표	16
<표 2-2> 오염원 관련 DB의 주요 항목	17
<표 2-3> 수계별 상이한 부하량 산정로직 적용 인자	28
<표 2-4> 수리/수문 관련 DB의 주요 항목	29
<표 2-5> GIS 관련 DB의 주요 항목	32
<표 2-6> 물통합관리 관련분야의 연차별 투자계획	36
<표 3-1> 점 및 비점오염원 모형의 특징	46
<표 3-2> 수질 및 수량 예측을 위한 GIS기반 유역모델	49
<표 3-3> GIS와 연계한 물통합관리 사업내용	82

그림차례

[그림 1-1] GIS기반 물통합관리 개요	4
[그림 1-2] 물통합관리 방안 수립을 위한 절차	6
[그림 2-1] 수질의 개념	9
[그림 2-2] 오염자정용량의 개념	11
[그림 2-3] 최소기울기에 의한 기저유량 계산 개념	13
[그림 2-4] 물통합관리에 필요한 정보요소	15
[그림 2-5] 주소 정제를 통한 지번코드 생성과정	18
[그림 2-6] 지번도와 오염원 정보 연결 과정	19
[그림 2-7] 오염부하량의 정의	20
[그림 2-8] 생활계 오염물질 배출구조	22
[그림 2-9] 축산계 오염물질 배출구조	23
[그림 2-10] 산업계 오염물질 배출구조	24
[그림 2-11] 토지계 오염물질 배출구조	25
[그림 2-12] 양식계 오염물질 배출구조	26
[그림 2-13] 매립계 오염물질 배출구조	27
[그림 2-14] GIS DB의 활용과정	33
[그림 3-1] 모니터링 및 프로그램과 GIS의 관련성	52
[그림 3-2] GIS와 모형의 결합수준 (Source : Tim and Jolly, 1994)	54
[그림 3-3] 물통합관리에 필요한 DB내역	56
[그림 3-4] GIS DB 설계 및 구축과정	57
[그림 3-5] 물통합관리시스템의 기능 개요	58
[그림 3-6] GIS와 연계한 물통합 정보제공 기능	59
[그림 3-7] 물통합관리에 필요한 환경자료 연계 방안	60

[그림 3-8] 해당 자료별 연계항목 및 통합DB 구축 방안	61
[그림 3-9] 목표시스템의 정의	62
[그림 3-10] 목표시스템의 대 기능과 중 기능	63
[그림 3-11] 오염부하량 산정시스템 기능도	64
[그림 3-12] 오염원 자료 입력화면	64
[그림 3-13] 기상청 강우데이터 입력화면	65
[그림 3-14] 행정구역별 유역 편입을 입력화면	65
[그림 3-15] 환경 설정	66
[그림 3-16] 발생 부하량 산정 화면	67
[그림 3-17] 배출 부하량 산정 화면	68
[그림 3-18] PDA기반 현장조사 시스템 세부 기능	69
[그림 3-19] PDA기반 현장지원 시스템 기능 정의	69
[그림 3-20] PDA기반 현장지원 시스템 자료 전송 모식도	70
[그림 3-21] PDA기반 현장지원 시스템의 상세기능 정의	71
[그림 3-22] GIS와 QUAL2E의 결합을 통한 유역모델링 절차	72
[그림 3-23] GIS를 이용한 QUAL2E용 element의 구획	73
[그림 3-24] GIS를 이용한 QUAL2E 입력자료의 생성과정 요약	74
[그림 3-25] GIS기반 분포형 유역모형 흐름도	75
[그림 3-26] 물통합 정보 웹시스템 예시 화면	77
[그림 3-27] GIS를 이용한 정보검색 결과 화면 예시	78
[그림 3-28] H/W 및 S/W 구성도	79
[그림 3-29] 물통합관리시스템 구축을 위한 고려사항	80
[그림 3-30] 물통합관리 정보센터 구축을 위한 발전방향	81

제1장 연구의 개요

제1장 요약

수질과 수량의 물통합관리를 위해 필요한 다양한 정책적 과제 중에서 유역관리 개념의 근본적인 관리 방안이 대두됨에 따라 방대한 정보의 효율적인 관리가 요구되었다. 따라서 본 연구는 GIS를 도입하여 물관련 정보를 체계적으로 관리하기 위한 정보시스템의 도입 및 이를 통한 오염총량관리 지원체계 구축에 필요한 세부 실천계획을 수립하는 것을 목표로 한다. 연구의 범위는 물통합관리의 정의와 요소, 충청남도 물통합관리 계획 검토, GIS를 이용한 유역관리 사례 및 시사점, 충청남도 물통합관리 방안 수립, 단계별 이행계획 수립, 과제별 세부사업 내용 수립에 대하여 그 내용을 구체화 하였다.

제1절 연구 배경 및 목적

하천은 유수와 유로로 이루어져 있으며, 강우량과 그 시간적·지역적 분포, 유역의 지형, 지질, 지피의 상황이 하천의 특성을 만들어 내며 하천은 자연물만일 수는 없고 항상 자연과 인공의 조화 하에 존재한다(김희중 1993). 하천생태계는 물을 매개로 수체의 수리적 특성과 수체 내에서 이루어지는 물리·화학적, 생물학적 기작에 의해 생산자와 소비자의 종류가 특징지어지고 이들 간의 상호작용을 통해 물질의 이동과 에너지의 흐름이 발생한다. 따라서 하천을 효과적으로 관리하기 위해서는 하천의 물리적·생태적 특성을 제대로 파악하는 것이 필요하다. 하천의 사행도와 하상경사, 유속, 하폭과 수심 등은 하천의 물리적 특성을 결정하며, 생태적 특성은 여울과 소의 분포 그리고 보와 낙차공 등과 같은 인공구조물의 존재 여부, 하변 및 하상의 재료와 하천의 연중 유량변화 및 수질상태와 같은 환경인자에 영향을 받게 되므로 이러한 종합적인 현황 분석을 통해 하천관리방안을 도출할 필요가 있다.

수계로 유입되는 화학물질은 크게 자연적인 원인과 인위적인 원인에 의한 것으로 구분되며,

자연적인 원인이란 화산이나 자연 습지 등과 같이 인간의 활동과 무관한 경우를 말하며, 비점 오염원의 배출특성과 유사하다. 반면, 인위적인 원인은 인간의 활동과 관련 있는 것으로 그 특성에 따라 다시 점 또는 비점오염원으로 구분한다. 점오염원은 하수관 등과 같이 특정경로를 통해 상시적으로 수계로 유입되는 것을 말하며 주로 도시하수 또는 산업폐수 등이 이 범주에 속한다. 비점오염원은 유입경로가 확실히 구분되지 않거나, 간헐적으로 유입되는 오염원으로 농경지 또는 삼림지역 등과 같은 토지이용 특성과 관계가 깊고, 대기중의 먼지나 강우에 의해 수계로 유입되는 오염물질도 이러한 범주에 속한다(Novotny, V. and H. Olem, 1994).

이들 오염 부하량이 하천의 특정 지점에 어느 정도 영향을 주는지에 대한 평가는 유역의 토지이용과 오염물질의 발생 및 이동 과정의 관계를 분석함으로써 가능하다. 하지만 이들의 변화 과정에 대한 이해는 아직 초보적인 수준에 머무르고 있으며, 심지어 유역에 분포하는 각종 오염원이 어디에 분포하고 있는지에 대한 정보마저 파악이 제대로 안된 것이 현실이다(송동하 1999). 결국 수질의 효율적인 관리를 위해서는 이들 오염원의 정확한 위치에 대한 정보와 이들이 배출하는 오염물질에 대한 자료의 조사가 선행되어야 한다. 다음에 이들 오염원이 수계에 도달하는 과정에서 영향을 받게 되는 유역의 각종 요인들의 변화에 따른 수질의 변화를 조사·분석하는 것이 필요하다. 즉, 각각의 오염원에서 발생하는 각종 오염물질은 하천생태계에 영향을 주게 되므로 하천생태계는 복잡한 내부기작을 포함함과 동시에 유역과 상류 수질의 특성 그리고 하천저질의 특성 등과 어우러져 하나의 전체 시스템을 형성하게 된다. 따라서 하나의 하천생태계를 이해하기 위해서는 반드시 유역전체의 차원에서 하천생태계가 담당하고 있는 특성과 역할의 분석이 필요하다. 또한, 하천생태계가 유지되는 물리·화학적 환경요인과 생물학적 구성요소 그리고 그들 간의 상호작용에 대한 고찰을 통해 하천생태계와 주변생태계 간의 구조 및 기능적인 관계를 분석하고 이를 하천관리에 응용해야 한다. 이를 위해 하천생태계와 주변유역에서 이루어지는 여러 가지 기작들을 서로 연결시키고 이를 적절한 수식으로 표현한 수학적 모형을 이용하면 복잡한 전체과정을 통합적인 시각에서 이해할 수 있게 된다(송동하, 1999).

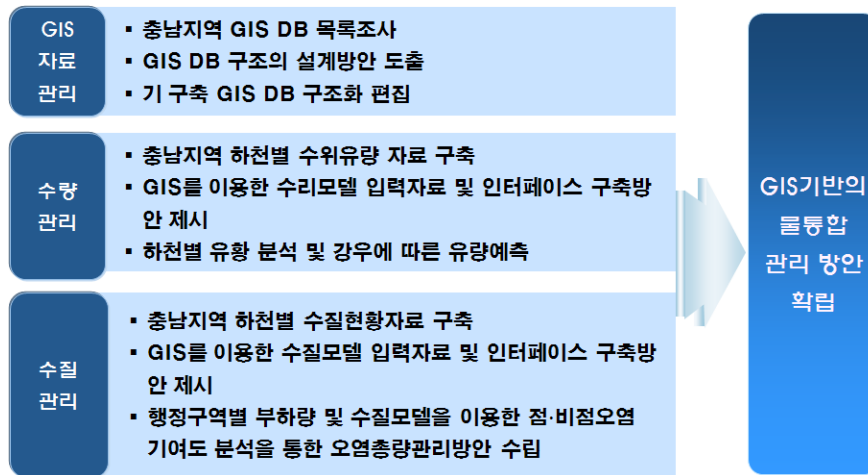
결국, 하천의 수질개선대책을 수립하기 위해서는 개별 오염원이 하천에 미치는 영향에 대한 기여도를 수질모델링 과정을 통해 분석하고 각각의 영향을 최소화하기 위한 관리대안들을 도

출하여야 한다. 또한, 이들 수질관리대안들을 도입하였을 때 각 하천의 중점관리구간에서 목표수질을 달성하게 되는지 여부를 다시 수질모형을 통해 평가하여 각 오염원별 수질관리대안을 확정하게 된다.

이러한 수질관리대안에 있어 중심이 되는 수질정책은 오염원 관리이며 지난 수십년 동안 환경부에서는 오염원에 대한 배출농도를 중심으로 규제를 실시하였으나 최근에는 오염원의 증가로 인해 배출농도 규제의 한계를 인식하고 이를 극복하기 위해 4대강 특별법을 제정하였다. 이 법의 근간은 유역관리를 통한 수질관리를 기초로 하며 오염총량 관리제도의 도입을 통해 오염원을 관리하는 내용이 포함되어 있다. 하지만, 여전히 물 통합관리라는 관점에서는 수량과 수질을 분리하여 관리하는 근본적인 문제점을 안고 있었다.

이런 상황에서 최근 충청남도에서는 물 관리 기구들이 분산되어 운영됨에 따른 하천관리의 실효성 부족을 극복하고 뉴패러다임의 수질정책을 실현하기 위해 지자체로는 처음으로 물 관리업무 통합·조정을 통한 효율적 물관리 체계 구축을 위해 '07. 5월 이후 복지환경국에 『물 통합 관리본부』를 설치하여 운영 중에 있다. 이러한 물통합관리본부의 발족과 더불어 충남지역에 적용되고 있는 오염총량관리제의 효율적 관리와 수량과 수질을 통합적으로 관리하는 물 통합관리 세부실천계획의 수립이 요구되고 있으며, 유역차원의 방대한 정보를 효율적으로 다루기 위해서는 GIS의 도입을 통한 물통합관리 방안의 수립이 필요하게 되었다.

이에 따라 본 연구에서는 물통합관리를 위해 필요한 다양한 정책적 과제 중에서 GIS의 도입을 전제로 물관련 정보를 체계적으로 관리하기 위한 정보시스템의 도입 및 이를 통한 오염총량관리 지원체계 구축에 필요한 세부 실천계획을 수립하는 것을 목표로 한다.



[그림 1-1] GIS기반 물통합관리 개요

제2절 연구 범위와 방법

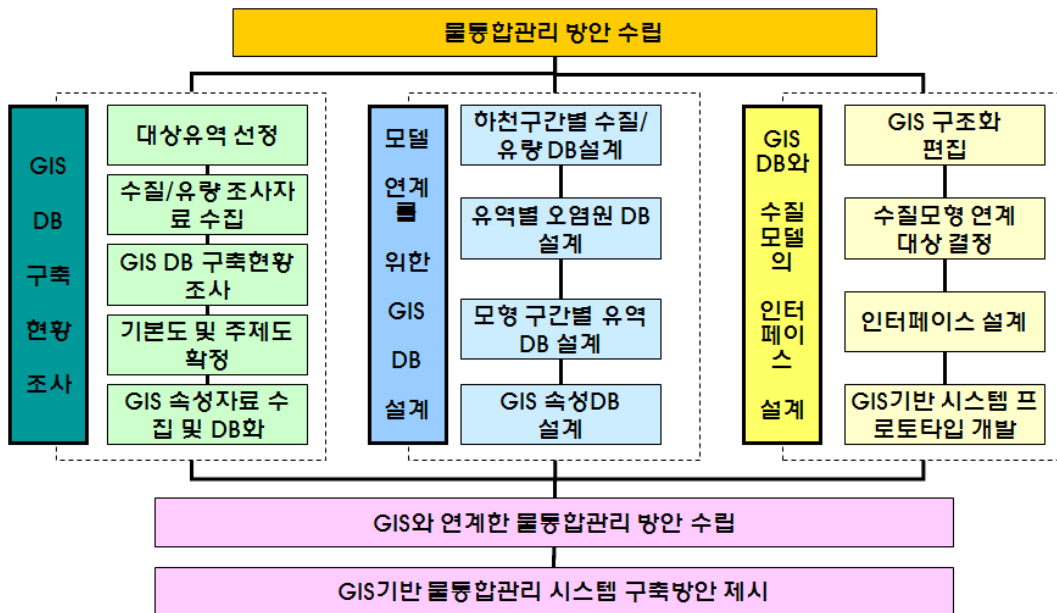
1. 연구 범위

본 연구는 GIS기반의 정보시스템 구축 방안 및 오염총량관리 지원에 필요한 세부실천계획을 수립하는 것을 그 범위로 한다. 본 연구에서 다루어지는 주요 내용은 다음과 같다.

- ㉠ 물통합관리의 정의
- ㉡ 물통합관리의 요소
- ㉢ 충청남도 물통합관리 계획 검토
- ㉣ GIS를 이용한 유역관리 사례 및 시사점
- ㉤ 충청남도 물통합관리 방안 수립
- ㉥ 단계별 이행계획 수립
- ㉦ 과제별 세부사업 내용

2. 연구 방법

기존에 수질 및 유역관리를 위해 필요한 자료들과 이를 GIS 기반으로 활용하기 위한 각종 기본도 및 주제도 그리고 GIS를 이용한 시스템 구축을 위해 필요한 데이터의 범위 및 구축, 활용방안 등을 정의하고 이를 통한 물통합관리 방안 수립을 위해 필요한 세부정보시스템의 도출과 이의 단계별 실천방안을 제시하고자 한다.



[그림 1-2] 물통합관리 방안 수립을 위한 절차

3. 용어 정의

본 연구에서는 독자의 이해를 돕기 위하여 다음과 같이 용어를 정의하고 기술하고자 한다.

- 유역이란 하천이나 호소 또는 습지의 특정지점으로 물이 모여드는 전체 땅의 공간을 말한다.
- 지리정보체계(GIS; Geographic Information System)는 다양한 정보의 수집, 저장, 분석과 출력을 위한 하드웨어, 소프트웨어, 자료, 인력, 조직 및 제도적 장치의 체계들을 모두 포함하며, "지리적으로 참조 가능한 모든 형태의 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 조정, 분석 및 출력할 수 있도록 설계된 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 지리적 자료 그리고 인적자원의 통합체"로서 정의한다(ESRI, 1994).
- 환경기초시설에는 공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 산업폐수종말처리시설, 농공단지처리시설, 축산폐수공공처리시설 등 배출업소의 개별처리가 아닌 처리시설로서 폐·하수가 수거 또는 배수설비를 통해 이송되어 유입되는 모든 처리시설을 포함한다(폐수배출시

설조사표에 등재되는 위탁처리시설 제외).

- 개별배출수란 환경기초시설로 이송하는 배수설비로 유입되지 않고 개별적으로 배출 또는 배제되는 유출수를 말한다.
- 관거누수는 관거불량 부위로부터 유출되는 오염물질의 누수를 말한다.
- 미처리배제수란 환경기초시설의 처리시설용량 부족으로 환경기초시설에서 미처리되는 배제량을 말한다.
- 관거월류수란 우기시 관거용량 부족으로 합류식 관거에서 발생하는 월류수(CSOs, combined sewer overflows), 분류식 관거에서 발생하는 월류수(SSOs, sanitary sewer overflows)를 말한다.

제2장 물통합관리의 의의

제2장 요약

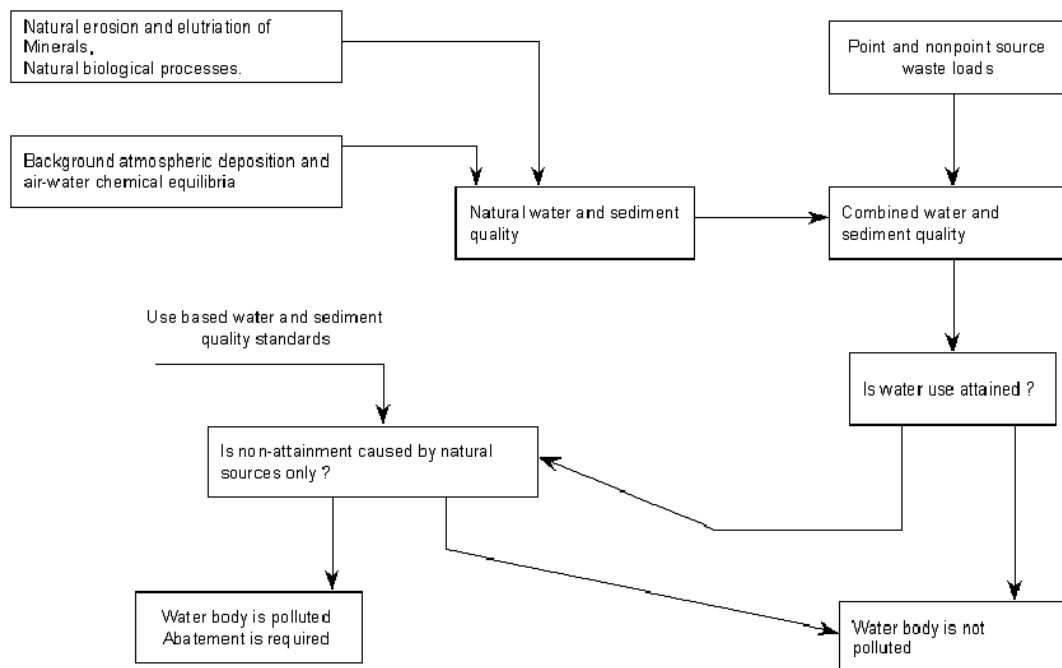
본 장에서는 물통합관리를 위한 수질관리 및 수량관리 방안에 대하여 기본적인 개념에 대하여 정립을 하였으며, 이를 기반으로 물통합관리 계획을 수립하는데 있어 단계적으로 요구되는 조건들에 대하여 정의하고 계획 수립의 기본적인 틀을 마련하였다. 물통합관리에 필요한 전반적인 구성 요소를 수집 및 수립하는데 있어서 세부적인 요건 사항들을 도출하였으며, 현재 수립되어 있는 충청남도 물통합관리 계획을 검토하고 이에 대한 개선이 필요한 사항을 분석하였다.

제1절 물통합관리의 정의

1. 수질관리

수질오염은 자연적 오염원과 인위적 오염원으로부터 수계로 유입되는 오염물질량과 유량에 의해서 결정되며, 유역에서 배출되는 오염물질의 부하량은 유하 과정에서 물리적, 화학적, 생물학적 작용과 같은 다양한 자정작용에 의해 감소된 후 하류부에 영향을 주게 된다(Novotony, V and H. Olem, 1994). 오염을 인지하는 정도는 개인에 따라 차이가 나지만 통상적으로 정의되는 오염이란 '자원의 실제적 이용이나 이용계획 또는 가능성에 해를 줄 수 있는 인간 자신 또는 인간의 활동으로 인해 야기된 자원(대기와 땅, 물)의 물리적 또는 화학적, 방사능적, 생물적 질의 변화'를 말한다(Novotony, V and H. Olem, 1994). 이러한 정의에 따라 수질오염을 정의하면 아래 [그림 2-1]과 같다. 즉, 수질오염은 점 및 비점 오염원에 의해 야기된 수질변화로 인해 물의 사용이 부적합한 경우에 사용되는 용어로 자연적인 침식과정 등을 통해 수체로 유입된 물질에 의해 야기된 수질변화는 수질오염으로 간주하지 않는다.

또한, 오염제어라는 관점에서는 인간의 활동에 의해 발생된 오염물이라 할지라도 각종 규제를 통해 또는 공학적인 처리 등을 거쳐 유입량이 줄어든 상태에서 이들 중 일부가 수체에 유입되게 되므로 만약 그 양이 생태계의 자정능력이나 그 수체에 적용된 수질기준을 만족하는 범위 내에 있다면 더 이상의 오염부하를 줄일 필요가 없는 것으로 판단한다. 즉, 수체의 수질기준 달성여부를 판단기준으로 하는 오염제어의 경우에는 수체로 유입되는 부하량이 오염자정용량(waste assimilative capacity, WAC)의 범위 내에 있거나 하면 그 지역의 오염원들이 배출 허용기준을 준수하는지 여부만을 감시하면 된다(송동하, 1999).



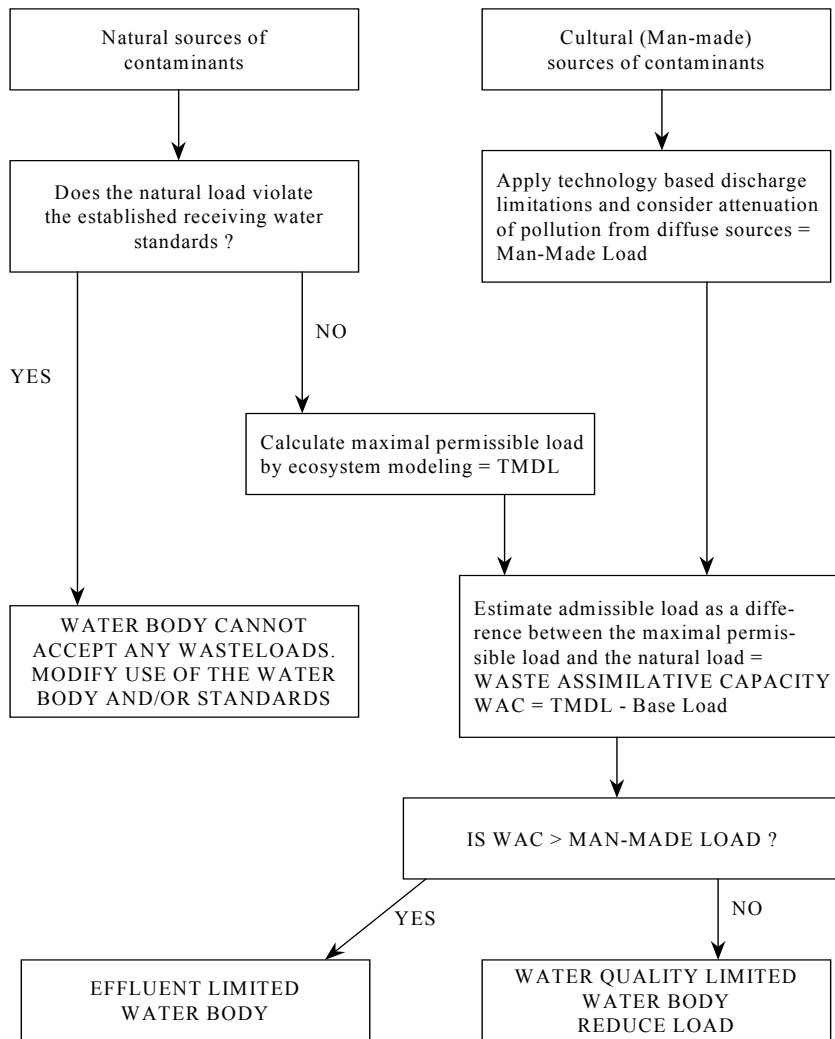
[그림 2-1] 수질의 개념

(Source : Novotony, V and H. Olem, 1994, p.15)

이러한 판단을 내리기 위해서는 생태계의 자정능력을 고려한 최대 허용 부하량인 일일 최대 허용 부하량(Total Maximum Daily Load, TMDL)을 생태계 모형 등을 통하여 결정할 필요가 있다. 이 일일 최대 허용 부하량은 수체로 유입되는 전체 부하량을 고려 대상으로 하므로 여기에는 더 이상의 관리가 사실상 불가능한 자연적인 부하량도 포함된다. 따라서, 오염부하에 대

한 삭감정도를 결정하기 위해서는 일일 최대 허용 부하량에서 자연적인 부하량을 제외한 오염 부하량을 계산하는 것이 필요하고 이를 오염자정용량(WAC)이라 한다. 이렇게 결정된 오염자정용량은 다시 그 지역에서 인간의 활동으로 인해 유발되는 오염 부하량(man-made load)과 비교함으로써 추가적인 오염부하의 삭감이 필요한지 여부를 결정하게 된다(Novotny, V and H. Olem, 1994). 즉, 오염자정용량이 인간에 의한 부하량보다 큰 경우에는 폐수배출허용기준을 준수하는 것만으로도 충분한 수질을 유지할 수 있는 것으로 판단하며, 반대인 경우에는 추가적인 오염 부하량의 삭감을 계획할 필요가 있다(그림 2-2 참조).

즉, 오염 부하량의 삭감을 계획하기 위해서는 먼저 수체로 유입되는 물질의 부하를 자연적인 과정에 의한 화학물질 유입과 인위적인 활동에 의한 오염부하로 구분해야 한다. 더욱이 이들로부터 발생된 물질은 다양한 경로를 통해 수체로 유입되어 수질을 결정한다.



[그림 2-2] 오염자정용량의 개념
(Source : Novotny, V. and H. Olem, 1994, p. 17)

이를 좀 더 자세하게 살펴보면, 손상되지 않은 산림 등에서 발생하는 표면 유출수나 기저유출에 의한 부하는 자연적인 부하라 하며, 이들 토지이용이 농경지나 대지 등으로 전환되어 이들 지역에 존재하는 점 오염원에서 발생하는 배출수나 강우에 의해 발생하는 각종 유출수에 의한 부하는 인위적인 부하라 한다. 이러한 부하량들이 수체로 유입되어 수질을 결정하게 되는데, 인위적으로 발생된 부하량 중 수체의 오염자정용량의 범위를 벗어나는 경우에만 수체가

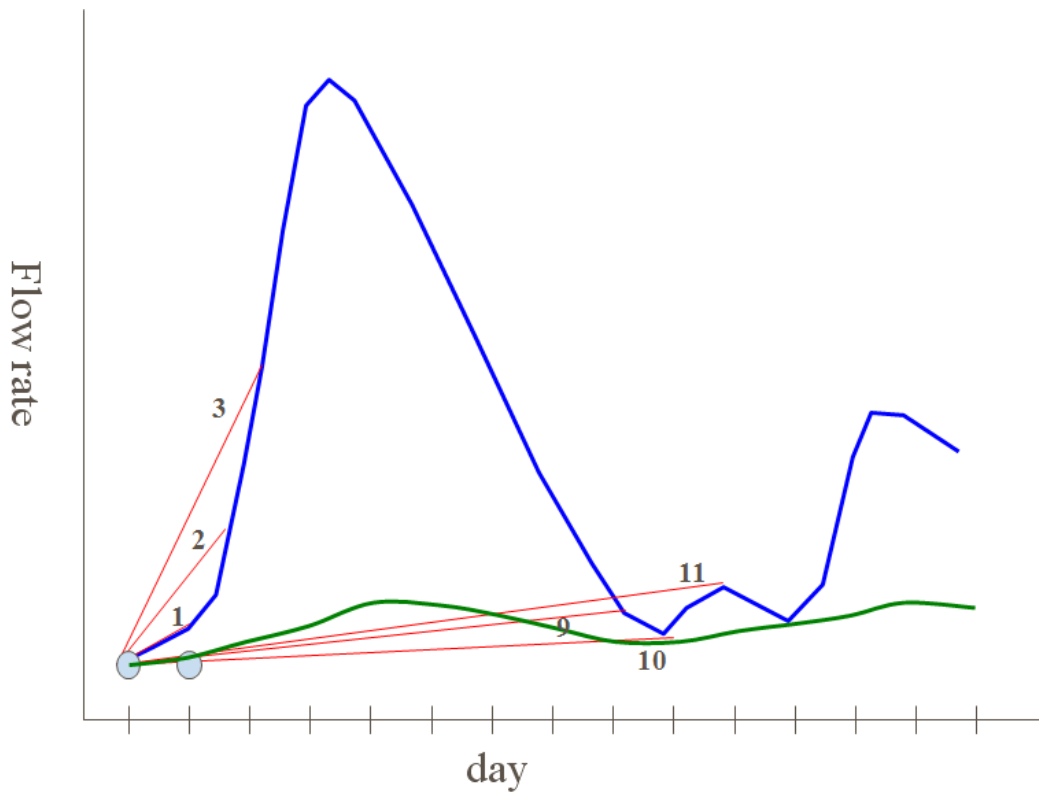
오염되었다고 하는 것이다. 결과적으로 수질관리란 이와 같이 수질기준을 초과한 수체에 대해 인간의 인위적 부하량을 줄이기 위한 대책수립의 전반적인 과정으로 이해할 수 있다.

2. 수량관리

하천에서의 수질변화를 관찰하기 위해서는 우선 하천을 흐르는 유량에 대한 분석이 필요하다. 하천의 유량은 유역의 특성에 지배적인 영향을 받는데 유역의 형상계수(shape factor)나 하천밀도, 평균고도 등과 같은 기하학적 특성 뿐 아니라 토지이용 형태와 수리·수문 특성을 결정짓는 토양 및 식생특성 등에 의해 유량이 결정된다. 이때, 하천을 흐르는 유량을 좀 더 자세히 구분해 보면 지하수 등을 통해 비교적 일정한 양이 흘러 들어오는 기저유량과 강우시에 지표나 지표하 흐름을 형성하여 일시에 순간적으로 흘러드는 직접 유출량 그리고 농업용수 등의 목적으로 유역 외부로부터 도수해 오는 유량과 유역에 분포하는 인간 또는 가축과 같은 점 오염원에 의해 배출되는 오·폐수 등으로 구성되어 있다.

하천 유량의 구성요소 중 강우에 의해 직접적인 영향을 가장 많이 받는 직접유출량의 변화는 비점 오염원의 유출특성과도 큰 상관을 가진다. 즉, 유역의 토성, 식생, 토지이용상황 그리고 지형과 기상 상태에 따라 매우 복잡한 반응이 발생한다. 하천 유량을 형성하는 또 하나의 요소인 기저 유량은 강우시에 토양이나 지하수에 충전된 물이 일정한 지체시간을 가지면서 하천으로 유출되는 양으로 비강우시 유량을 주로 결정한다.

각 하천별 기저 유량의 산정을 위해 수위 관측지점의 일별 유출량을 자료로부터 외부 유출입 유량을 제외하여 순전히 유역에서 발생하는 유량을 분리한 후 Oivera(1996)가 제안한 최소 기울기 개념(Concept of minimum slopes)에 의해 기저 유량을 분리할 수 있다(그림 2-3).



[그림 2-3] 최소기율기에 의한 기저유량 계산 개념

따라서, 하천 내 유량을 산정하기 위해서는 직접유출량과 기저유량과 같은 각각의 요소들과 관련한 실측자료 및 적절한 예측자료가 필요하며 이에 대한 적절한 평가를 바탕으로 물통합관리를 실현할 수 있게 된다.

3. 물통합관리

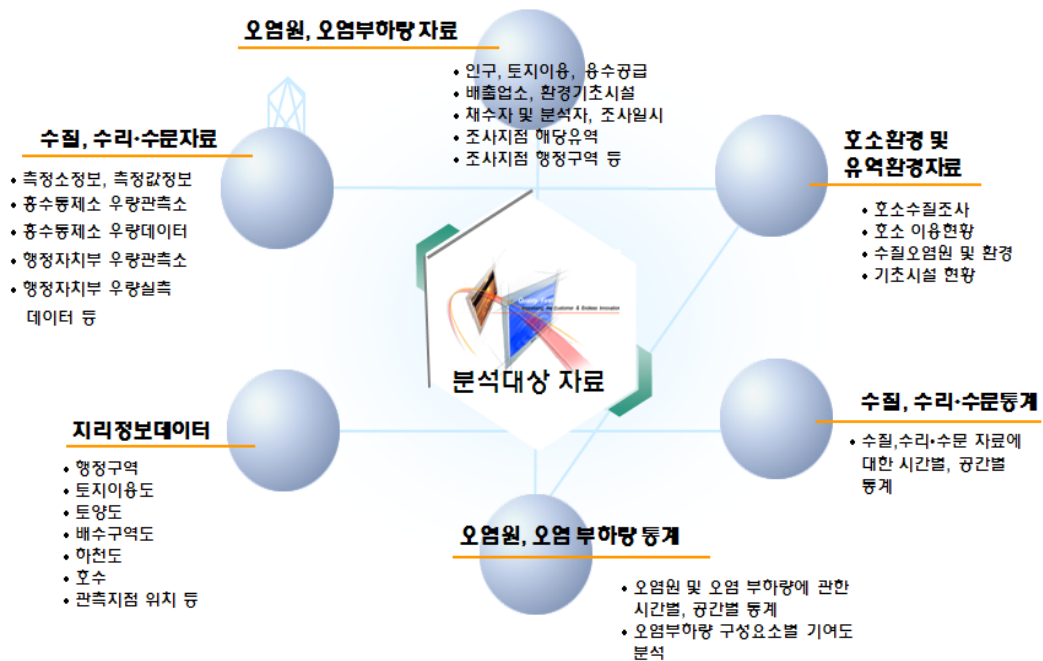
유역이란 하천이나 호소 또는 습지의 특정지점으로 물이 모여드는 전체 땅의 공간을 말한다. 유역의 규모에 있어 가장 큰 것은 물이 강이나 그 지천을 통해 바다로 빠져나가는 모든 공간을 가르키는 대유역 또는 강유역이다. 보기를 들면 한강유역, 낙동강유역, 압록강유역, 황하강유역, 아마존강유역 등이다(송동하, 이도원, 2002).

유역 수질보전계획 수립은 유역의 기초 자료를 수집하고 참여자를 결정하는 유역관리 기반 구축에서부터 유역계획을 지속적으로 보완 개선하는 것까지 8단계로 구분해 볼 수 있다. 1단계로서 유역관리 기반구축 단계는 유역범위 설정, 참여자 선정, 수질관리계획 자료 수집 및 자료평가, 유역관리 능력 검증 실시 등이 이에 속한다. 2단계와 3단계는 유역 관리조직 구성과 유역계획 입안에 사용 가능한 예산 확보를 포함한다. 4단계는 유역 및 개별 단위유역 내에서 향후 토지이용변화 예측을, 5단계는 유역의 목표 설정단계로서 유역에 영향을 줄 수 있는 대유역 및 중유역의 관리목표 분석, 각 단위유역을 위한 구체적인 관리 목표 발전, 단위유역의 목표가 기존 지구설정과 결합될 수 있는지 평가, 단위유역 내에서 토지이용 패턴 전환 필요성 결정 등을 포함한다. 6단계는 유역 및 단위유역 계획을 발전시키는 단계로서 유역지표 선택, 광범위한 유역분석과 필요시 단위유역 조사 실시, 단위 유역 및 수로 관리 지도 준비, 기타 단위 유역관리 도구 적용 등을 포함한다. 7단계는 유역 및 단위유역 계획을 채택하여 실행하는 단계이고 마지막으로 8단계는 유역 및 단위유역 계획을 보완하는 단계이다.

결과적으로 수질관리계획은 대유역 계획의 큰 틀 속에 주민 참여가 가능한 적정유역을 기반으로 하는 유역계획이 수립되어야 비로소 실질적인 효과를 발휘할 수 있다. 즉, 유역은 지역사회가 기반을 두고 있는 현장이며, 주민 모두가 관심을 가지고 모일 수 있는 공동의 목표를 제공한다. 특히 유역의 생산품인 물은 일상생활에서 필수불가결하기 때문에 유역에 거주하며 물을 이용하고 있는 주민의 참여를 배제한 수질관리란 있을 수 없다(환경부, 2003). 따라서 본 연구에서는 물통합관리에 필요한 각종 정보와 이의 효과적인 수집 및 활용이 가능한 정보시스템의 구축을 중심으로 세부실천계획을 도출하고자 한다.

제2절 물통합관리의 요소

물통합관리에 필요한 각종 정보요소는 아래 [그림 2-4]와 같으며 이들 정보를 크게 구분하여 보면 오염원 정보와 오염부하량 그리고 수질 및 유량과 같은 측정자료와 이에 대한 위치정보를 관리할 수 있는 GIS 정보로 구분할 수 있다.



[그림 2-4] 물통합관리에 필요한 정보요소

1. 오염원 관리

바람직한 물통합관리를 위해서는 우선적으로 오염원에 대한 정보를 확보하여야 하는데, 국립환경과학원에서 정의한 점오염원과 비점오염원은 <표 2-1>과 같이 세분되어 있다(국립환경과학원, 2007).

〈표 2-1〉 오염원그룹별 점오염원 및 비점오염원 구분표

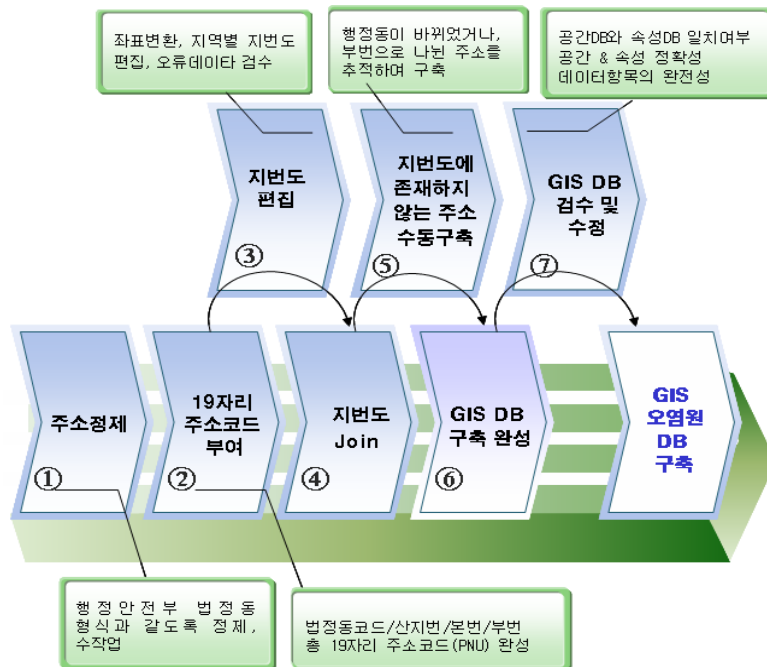
오염원 그룹	점오염원	비점오염원
생활계	가. 개별배출수: 생활하수가 환경기초시설로 유입되지 않는 구역의 가정 및 영업장으로부터 공공수역으로 배출되는 생활계 배출수 나. 환경기초시설 방류수: 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 생활계 방류수 다. 생활계 관거누수 및 미처리배제수	가. 생활계 관거월류수
축산계	가. 개별배출수: 개별축사로부터 처리 또는 미처리되어 공공수역으로 배출되는 폐수 성상의 축산계 배출수 나. 환경기초시설 방류수 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 축산계 방류수 다. 축산계 관거누수 및 미처리배제수	가. 개별배출수: 개별축사로부터 자원화처리 또는 미처리되어 농지에 살포된 후 주로 강우에 의존하여 배출되는 고형물 성상의 축산계 배출수 나. 축산계 관거월류수
산업계	가. 개별배출수: 개별배출시설로부터 처리되어 공공수역으로 배출되는 산업계 배출수 나. 환경기초시설 방류수 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 산업계 방류수 다. 산업계 관거누수 및 미처리배제수	가. 산업계 관거월류수
토지계	가. 환경기초시설 방류수 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 토지계 방류수 나. 토지계 관거누수 및 미처리배제수	가. 개별배출수: 환경기초시설로 연결된 관거로 유입되지 않는 구역의 토지계 배출수 나. 토지계 관거월류수
양식계	가. 개별배출수: 개별양식장으로부터 처리 또는 미처리되어 공공수역으로 배출되는 양식계 배출수 나. 환경기초시설 방류수 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 양식계 방류수 다. 양식계 관거누수 및 미처리배제수	가. 양식계 관거월류수
매립계	가. 개별배출수: 개별 침출수처리시설로부터 처리되어 공공수역으로 배출되는 매립계 배출수 나. 환경기초시설 방류수 : 공공수역으로 방류되는 환경기초시설의 매립계 방류수 다. 매립계 관거누수 및 미처리배제수	가. 개별배출수: 침출수처리시설을 갖추지 않은 비위생매립지로부터 공공수역으로 배출되는 매립계 배출수 나. 매립계 관거월류수

결과적으로 오염원 정보의 효과적인 관리를 위해서는 아래 <표 2-2>와 같은 오염원의 정보를 DB화 하고 이를 GIS와 연계하여 위치정보와 함께 관리할 필요가 있다.

〈표 2-2〉 오염원 관련 DB의 주요 항목

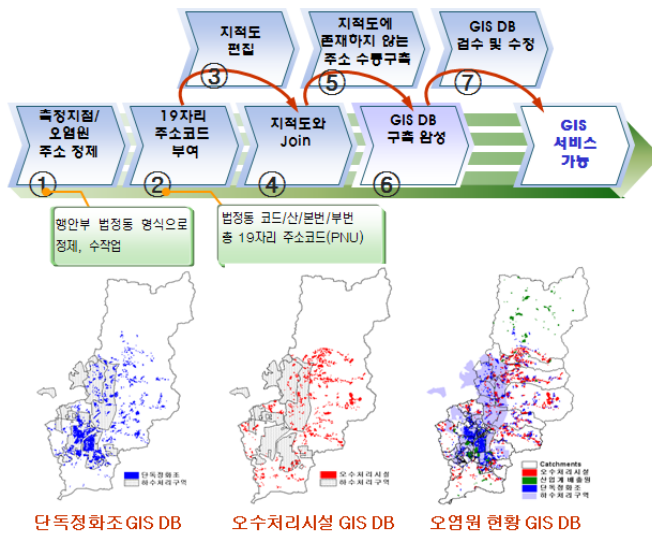
구 분	주 요 항 목
오 염 원 DB	가. 인구(세대), 주거, 생활오수 발생량, 오염부하량(BOD 기준), 원단위 나. 가축별 사육두수(두), 축산폐수 발생량, 오염부하량, 원단위 다. 산업폐수 발생량, 오염부하량, 원단위 라. 음식점, 세차장 등 폐수 배출업소의 폐수 배출량 조사
처리 시설 DB	가. 환경기초시설 : 하수종말처리장, 분뇨처리장, 축산폐수공동처리장, 폐수종말처리장 등의 위치와 처리수량 및 처리농도 나. 오수처리시설 : 오수처리시설 등의 위치와 처리수량 및 처리농도

이때, 오염원 자료를 GIS와 연계하기 위해서는 지번자료를 최대한 활용하여 오염원의 공간적 위치정보를 구축하는 것이 바람직하다. 이 과정은 오염원자료에 포함된 지번과 디지털로 구축된 지번도를 이용하여 공간적인 위치에 기반한 오염원정보를 구축한 후 하수처리구역도와 같은 추가적인 지도정보를 통해 오염원에 대해 새로운 속성정보를 구축하는 것이다. 이를 좀 더 상세하게 설명하면, 오염원의 공간적 위치를 파악하는 것은 먼저 행정구역별로 작성된 오염원 정보에서 주소를 파악하여 지번코드(19자리 숫자코드 : 행정구역코드 10자리+임야 여부 1자리+본번지 4자리+부번지 4자리)를 생성한다. 이들 오염원의 지번코드를 지번도에서 해당 주소의 지번코드와 매핑하여 개별 오염원의 위치를 파악하게 된다(그림 2-5)(충남발전연구원, 2008).



[그림 2-5] 주소 정제를 통한 지번코드 생성과정
(충남발전연구원, 2008)

부여된 오염원의 지번코드와 지번도의 지번코드를 공통필드로 하여 GIS의 결합(Join) 기능을 통해 지번도와 오염원 속성정보를 연결한다(그림 2-6). 이렇게 오염원 정보를 지번도와 연결하여 산업계, 매립계, 하수처리시설, 양식계 오염원의 위치 정보를 구축하게 된다.

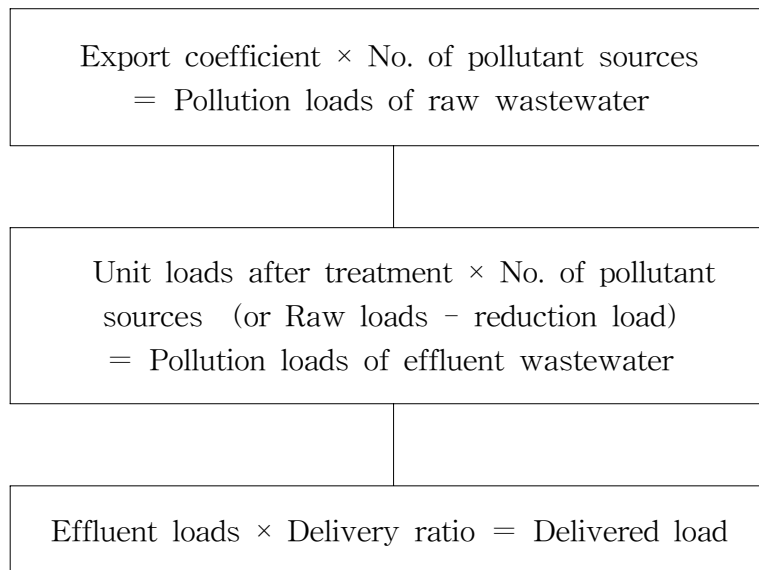


구축방안
<ul style="list-style-type: none"> 개인하수시설, 폐수배출업소, 충남 하천모니터링 지점 등 16개 시군의 지번별 오염원 GIS DB
고려사항
<ul style="list-style-type: none"> 하수처리구역 정보를 통한 처리구역 포함여부 지번별 오염원의 오염총량관리 단위 유역, 소유역 정보 시군의 개인하수 관리대장과 연계 데이터의 표준화

[그림 2-6] 지번도와 오염원 정보 연결 과정 (충남발전연구원, 2008)

2. 부하량 관리

유역내 존재하는 오염원으로부터 발생된 오염물은 수체에까지 도달하는 과정에서 유역의 특성이나 지천의 자정능력 등에 의해 그 양이 변하게 되며 수체에 도달된 오염부하량이 다시 하천을 유하하면서 여러 가지 오염현상을 유발하게 된다(서윤수 등 1992; 우효섭 등 1995). 이때, 오염원으로부터 발생하는 오염물질 총량을 발생 부하량이라 하고 폐수처리장과 같은 환경기초시설을 통하여 삭감된 후 배출되는 오염물질량을 배출 부하량이라 한다. 또한, 배출 부하량이 소형 지천을 통하여 대상 수역까지 유입되는 과정에서 자정되어 다시 감소되는데, 이때 대상지점까지 도달된 부하량을 유달 부하량이라 한다(김승우 등 1997). [그림 2-7]은 이를 개념적으로 나타낸 것으로 오염원의 전체 수에 오염 원단위(개별 오염원당 일일 오염물질 배출량)를 곱하여 발생 부하량을 추정하고 여기에 부하량 삭감정도를 고려하여 배출 부하량을 산정한 다음, 마지막으로 배출 부하량에 추정된 유달률을 곱하면 하천에 유입되는 유달 부하량이 계산된다(우효섭 등 1995).



[그림 2-7] 오염부하량의 정의 (송동하, 1999)

가. 생활계

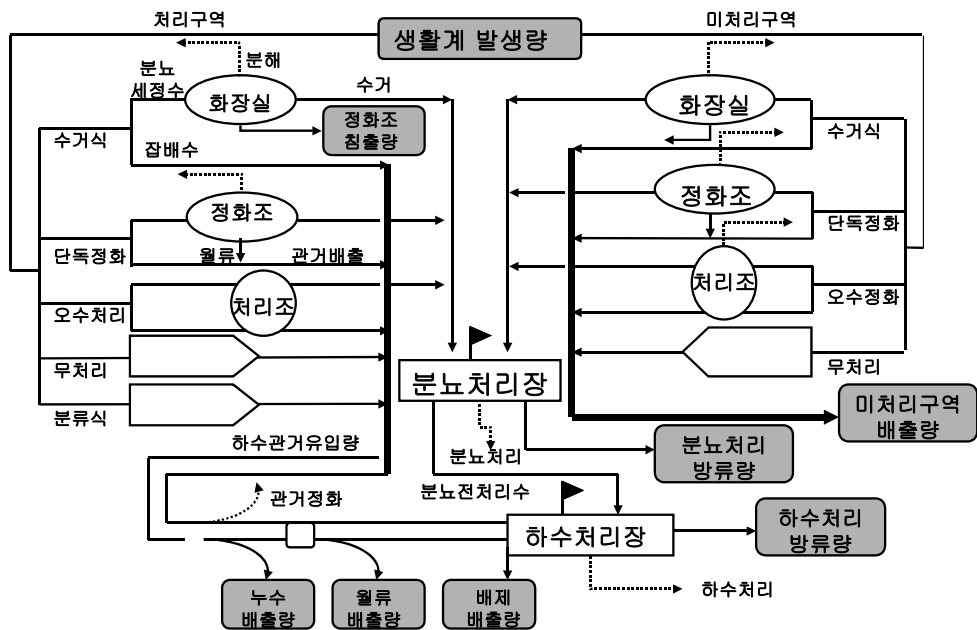
우선, 가정인구의 발생부하량은 가정인구에 발생부하원단위를 곱하여 산정하며 발생원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 수계오염총량관리기술지침에서 제시하는 발생원단위를 적용하게 된다(국립환경과학원, 2007).

가정인구발생부하량 = 가정인구수 × 가정인구발생부하원단위

가정인구분뇨발생부하량 = 분뇨발생부하비 × 가정인구발생부하량

가정인구잡배수발생부하량 = (1 - 분뇨발생부하비) × 가정인구발생부하량

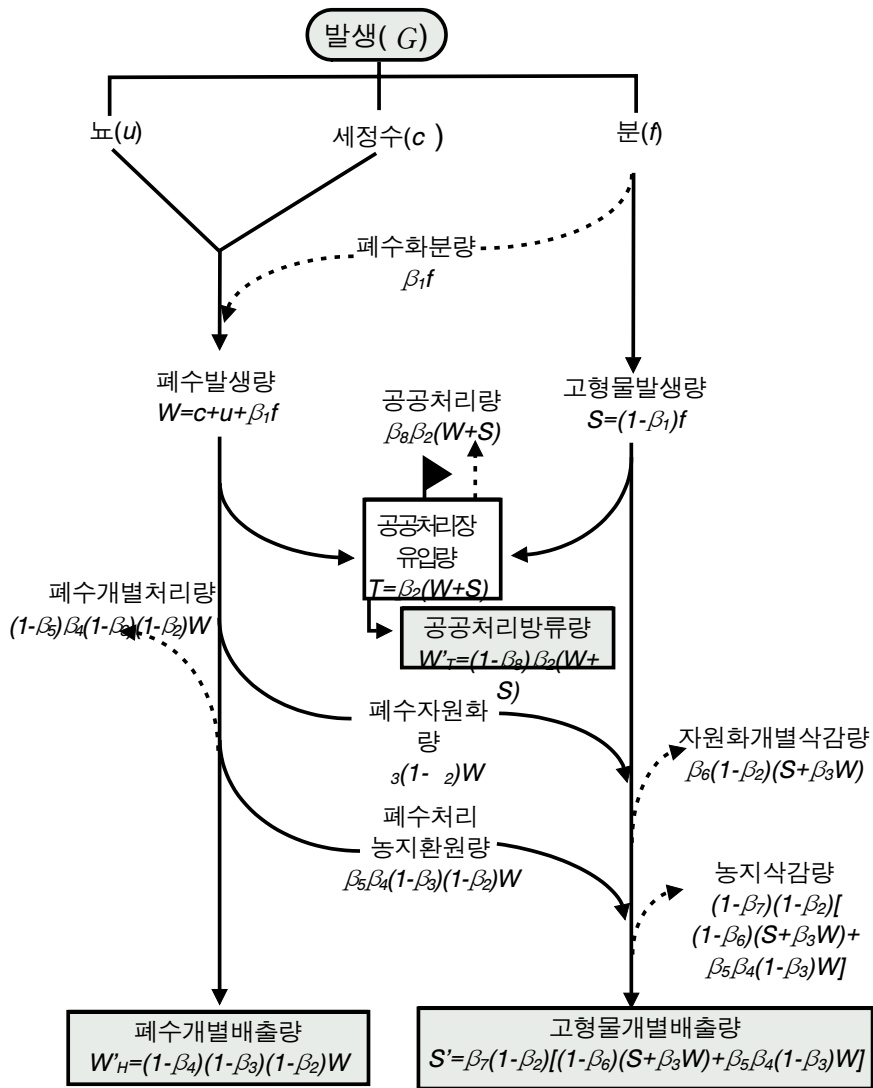
생활계 배출원은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 처리구역은 우수와 오수를 함께 배제하는 합류식 관거 사용인구와 우수와 오수를 분리하여 배제하는 분류식 관거 사용인구로, 미처리구역은 재래식화장실(수거식), 단독정화조, 오수처리시설 사용인구로 세분하여 산정하며 그 절차는 아래 [그림 2-8]과 같다.



[그림 2-8] 생활계 오염물질 배출구조

나. 축산계

축산계의 경우에도 발생부하량은 기본적으로 원단위법에 의해 산출하며, 배출원의 경우는 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 각 구역에서 축종, 법적규제 규모 및 개별처리 유형별로 세분화 하고, 오염물질의 배출성상은 액상의 폐수와 고형물로 세분화 하여 아래 [그림 2-9]와 같은 배출구조에 따라 부하량을 산정한다(국립환경과학원, 2007).

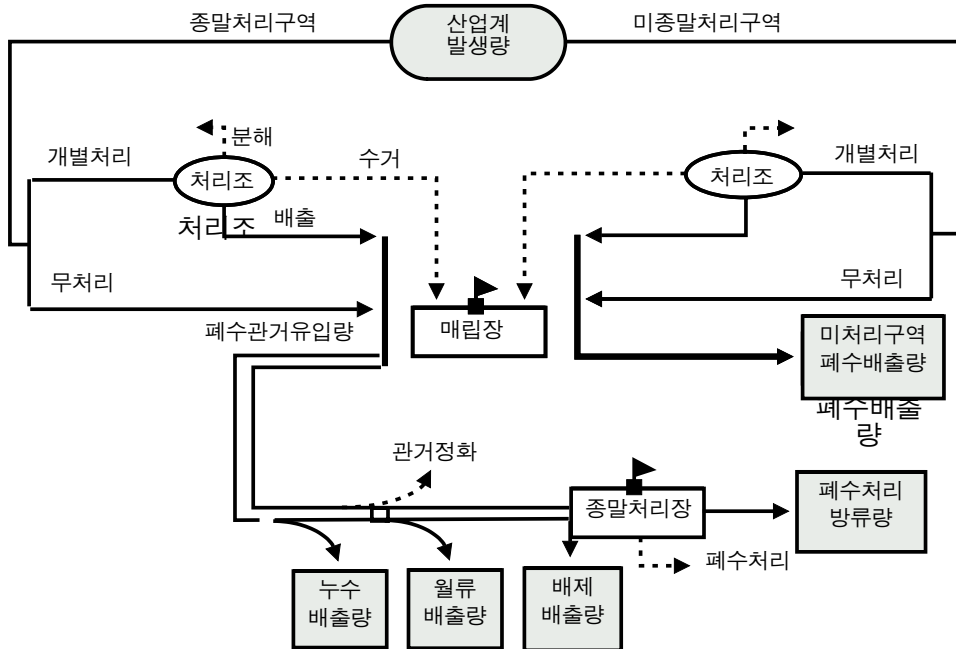


[그림 2-9] 축산계 오염물질 배출구조

다. 산업계

산업계의 발생부하량은 폐수발생유량에 발생농도를 곱하여 산정하며, 배출원은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 각 구역에서 업종에 따라 세분화 한다. 이때, 개별 배출시설에서의 오염물질 배출경로는 환경기초시설로의 이송, 개별처리, 개별배출로 세분하

며, 환경기초시설로 이송된 폐수는 처리 후 공공수역으로의 직접방류와 병합처리시설(주로 하수처리시설)로의 연계처리로 구분하여 산정한다(국립환경과학원, 2007).



[그림 2-10] 산업계 오염물질 배출구조

라. 토지계

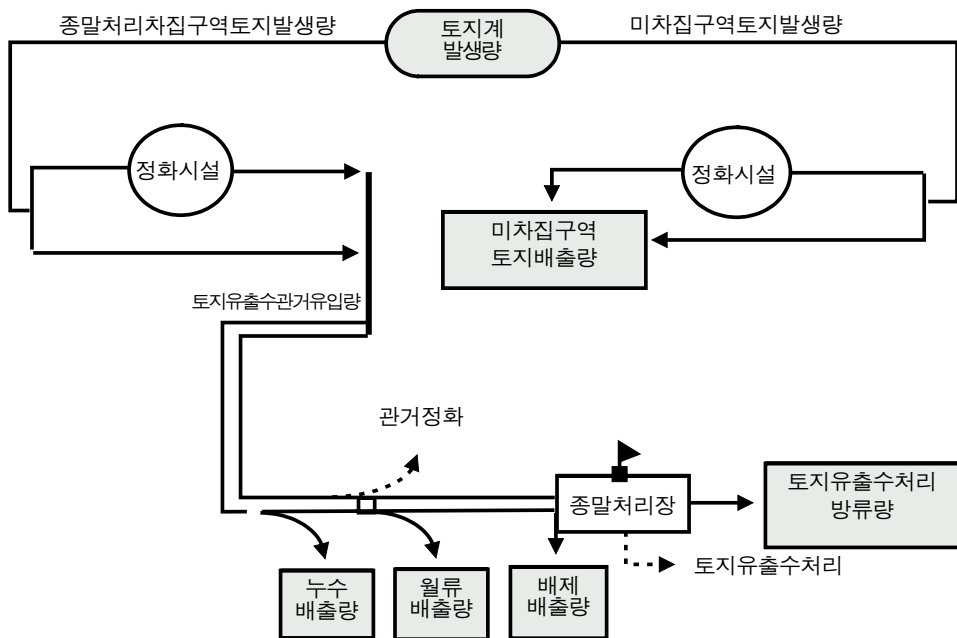
토지계 발생부하량은 실측조사가 가능하면 유량과 수질을 연속 측정하여 수문곡선(hydrograph)과 오염부하곡선(pollutograph)을 도출하여 이로부터 월별 부하량을 산정하나, 실측이 어려울 경우에는 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하원단위 및 강우배출비를 적용하여 다음의 산식으로 월별 발생부하량을 개략적으로 산정할 수 있다(국립환경과학원, 2007).

토지계 발생부하량 = $\sum(\text{지목별면적} \times \text{지목별연평균발생부하원단위} \times \text{강우배출비})$

$$\text{강우배출비} = 0.1 + 0.9 \frac{\text{연간일수}(=365,366) \times \text{월유효강우량비}}{\text{월간일수}(=28,29,30,31)}$$

$$\text{월 유효 강우량비} = \frac{10\text{mm/일 이상 강우고의 강우량 월합계}}{10\text{mm/일 이상 강우고의 강우량 연합계}}$$

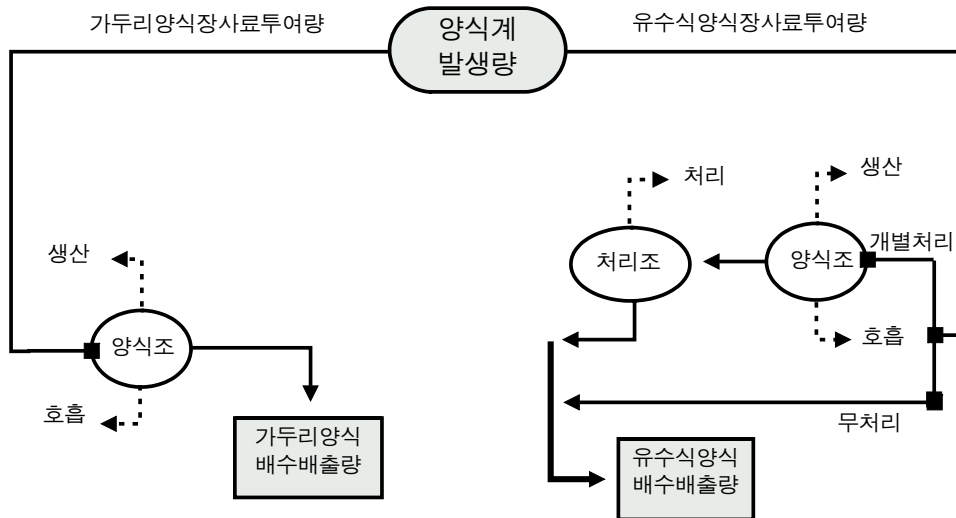
토지계 배출원은 토지로부터 유출된 오염물질이 합류식관거 또는 분류식관거에 침투되어 환경기초시설로 유입되는 차집구역과 미차집구역으로 대분하여 각 구역에서 지목에 따라 세분하고, 토지에서의 오염물질 배출경로는 개별처리, 환경기초시설로의 이송, 개별배출로 구분하여 아래 [그림 2-11] 같은 배출구조에 따라 배출부하량을 산정한다(국립환경과학원, 2007).



[그림 2-11] 토지계 오염물질 배출구조

마. 양식계

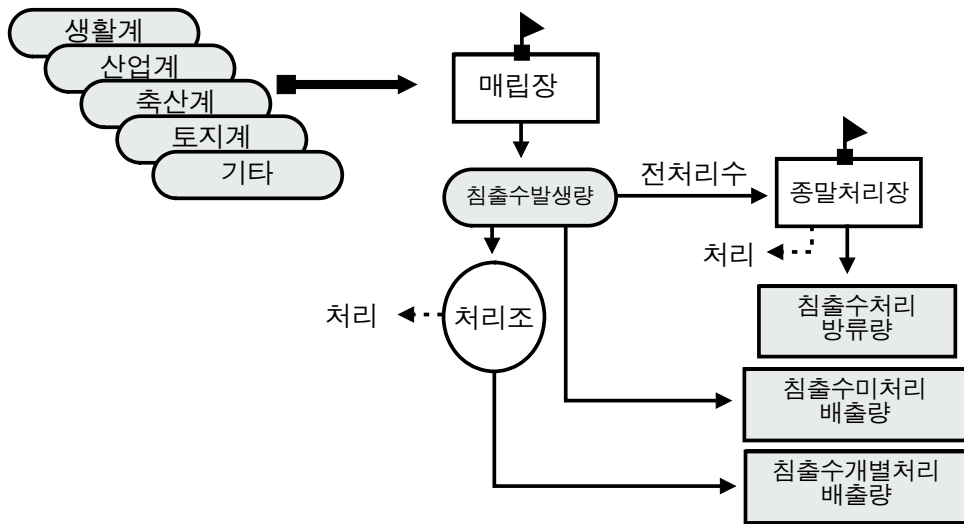
양식계 배출원은 양식어종 및 양식유형에 따라 세분하고, 양식장에서의 오염물질 배출경로는 개별처리, 종말처리장으로서의 이송, 개별배출로 구분하여 아래 [그림 2-12]와 같은 배출구조에 따라 배출부하량을 산정한다(국립환경과학원, 2007).



[그림 2-12] 양식계 오염물질 배출구조

바. 매립계

매립계 배출원인 침출수의 오염물질 배출경로는 개별처리, 환경기초시설로의 이송, 개별배출로 세분하고, 환경기초시설로 이송된 매립장침출수는 처리 후 공공수역으로의 직접방류와 병합처리시설(주로 하수처리시설)로의 연계처리로 구분하며, 처리구역에서 관거로 유입된 오염물질의 배출경로는 (1) 생활계의 배출경로와 같이 관거저류변화, 관거누수, 관거월류 및 배제, 관거이송, 방류로 세분하여 아래 [그림 2-13]같은 배출구조에 따라 배출부하량을 산정한다(국립환경과학원, 2007).



[그림 2-13] 매립계 오염물질 배출구조

사. 부하량 산정시 유역특성 반영 인자

유역별로 부하량을 산정하는 과정에서는 아래 <표 2-3>과 같은 인자들은 유역의 특성을 반영하는 과정에서 별도의 로직을 적용하여야 하는 경우가 있으므로 적절한 방법에 의해 부하량을 산정할 필요가 있다.

〈표 2-3〉 수계별 상이한 부하량 산정로직 적용 인자

분석 구분	수계별 상이한 산정 로직 항목
방류량 분석	이송 유량비를 적용
	이송 유량, 부하량 비를 각각 적용
생활계 직접이송비 산정	직접이송량 / (수거식 + 수세식)
	직접이송량 / (수거식 + 수세식 + 분류식)
오수처리 개별 삭감량	개별삭감대상량 * 오수처리삭감부하비
	개별삭감대상량 * 오수처리삭감부하비 * 0.45
토지계 지목 구분	기타 지목에 하천을 포함
	기타 지목에 하천을 포함하지 않음
매립계 개별 배출	발생량-직접 이송량-개별 삭감량-관거 유입량
	발생유량 * 방류농도 (수거나 관거 시에는 0)
매립계 관거유입 누수 월류비	누수비 월류비 적용
	누수비 월류비 미적용
토지계 관거누수 월류 산정	관거유입량 * 우기시 누수비 * 유효강우일수비
	관거유입량 * 누수비 * (1 - 유효강우일수비) + 관거유입량 * 누수비 * 유효강우일수비

3. 수질 및 수량 관리

물통합관리를 위해서는 각 하천별 수질 정보 뿐 아니라 수량에 대한 정보를 DB화 하여 관리하는 것이 필요하며 하천의 수리적 특성을 결정짓는 인자로는 하천구간별 하천단면도와 경사 및 조도를 들 수 있으며 이와 함께 하천 구간별 유속과 유량 그리고 수위자료 등을 DB화 하여야 한다. 그 외에도 기온과 강수량 등의 수문자료와 각 측정지점의 위치 정보 및 해당지점에서의 관측자료를 DB화 하여야 한다(<표 2-4> 참조).

〈표 2-4〉 수리/수문 관련 DB의 주요 항목

구 분	주 요 항 목
수리/수문 DB	가. 하천 수리특성 : 유속, 유량, 수위, 하천단면적, 경사도, 조도 등 나. 수문특성 : 기온, 강수량 등 다. 정수장, 취수장, 댐, 수질측정지점, 수위/유량측정지점, 기상관측지점 등 위치 라. 측정지점별 수질, 수위, 유량 자료

4. GIS DB 관리

지리정보체계는 자료를 데이터베이스 내에서 수치형태로 처리하므로 많은 양의 자료를 빠른 시간동안에 처리할 수 있으며, 자료 층들을 다양한 관점으로 통합, 중첩, 모형화함으로써 새로운 정보를 손쉽게 생성해 낼 수 있다는 장점이 있다. 그런데, GIS는 사용자나 연구자들에 의하여 나름대로의 고유한 체계 명칭 등을 지니고 있으며, 다양한 분야로 발전함에 따라 적용하는 대상이나 사용목적에 맞는 여러 이름들을 지니고 있다. 하지만, 이들은 지도정보의 처리 측면(Map View), 데이터베이스 처리측면(Database View)과 공간분석의 측면(Spatial analysis View) 등의 세 가지 관점에서 공통적 기능을 가진다. 즉, 지도정보의 처리측면에서는 지도의 제작 관리 그리고 출력수단으로서의 GIS기능을 가지며, 데이터베이스의 관점에서는 공간자료의 효율적인 관리와 추출이 주요 관심사가 된다. 마지막으로 공간분석의 수단이라는 측면에서는 지리적 자료의 분석과 모형기능을 강조한 것으로 이러한 견해는 다른 정보체계와 GIS를 구분시키는 주요한 밑바탕이 되고 있다(이범희, 1998).

지리정보체계를 활용하기 위해서는 자료의 수집, 자료의 처리 및 관리, 자료분석, 정보의 제시 등 네 단계를 거치게 된다(EPA, 1992). 이때, 수집되는 자료는 크게 위치자료(Spatial data)와 속성자료(Attribute data)로 구분된다. 위치자료는 사상 또는 대상물의 위치에 관한 자료이며, 특히 그림으로 표현되는 경우가 많으므로 도형자료(Graphic data)라고도 하고, 속성자료는 대상을 설명하는 자료로서 비도형자료(Nongraphic data)라고도 한다(EPA, 1992; 이범희, 1998). 이들 자료의 수집방법은 기존의 자료를 사용하는 방법과 필요에 의하여 작업자가 직접 구하는 방법이 있다. 기존자료의 이용이란 공공기관이나 민간기관을 통하여 제작 배포하는 자료를 사용하는 것을 말하나, 아직 우리나라에서는 예산 및 기술의 문제로 인하여 원활하게 이루어지고 있지 않은 부분이다. 지리정보체계의 구성을 위해 자신이 필요한 자료를 직접 제작해야 하는 경우가 있는데, 이때 위치자료의 취득을 위해서는 항공사진, 지상측량, GPS(Global Positioning System) 및 위성사진을 이용할 수가 있다. 또한, 속성자료는 행정기관에서 발행되는 통계연보의 자료들이 주로 사용된다(이범희, 1998).

다음으로 자료의 처리과정은 GIS 데이터베이스내에 영구적으로 저장할 수 있는 형태로 자

료를 변환하는 과정을 말한다. 이곳에서 다루는 도형자료는 일반적으로 래스터(raster) 또는 격자(grid) 형태와 벡터(vector) 또는 폐곡선(polygon) 형태로 구분된다. 래스터 자료란 좌표에 의하여 정의된 셀(cell)의 집합으로 각 셀을 속성 값에 따라 독립적으로 기록하는데 반하여 벡터자료의 경우 점, 선, 면의 세 가지 형태로 점은 셀과 비슷하나 면적이 없으며, 선과 면은 서로 연결되는 X, Y좌표의 집합이나 좌표를 주어진 속성과 연결시킬 수 있다. 예를 들어 원을 그림으로 표현하는 경우, 래스터 형태는 전체 면을 격자로 구분하여 원을 구성하는 각 격자마다 별도의 값을 지정하는 방법이라면, 벡터 형태는 중심점과 반지름의 값만을 기억하는 방법으로 특징 지을 수 있다(EPA, 1992; 이범희, 1998).

자료의 변환이란 지도, 사진, 통계도표 등을 컴퓨터가 인식할 수 있는 저장매체에 수록하는 자료매체의 변환과정과 다른 시스템에서 사용하던 자료를 자신의 시스템에 맞게 변환하는 구조의 변환 과정을 말한다. 여기에는 오차의 보정 과정, 위상 및 속성의 연결과정, 자료의 통합 외에도 필요에 따라 서로 다른 투영법과 좌표계를 선정하여 변환하는 과정 등이 포함된다. 자료관리는 前段階에서 수집 처리된 자료들을 체계적으로 재구성하여 저장함으로써 시스템을 효율적으로 사용할 수 있게 하며, 자료의 검색, 갱신 및 추가 등의 작업이 편리하도록 준비하는 과정이다. 일반적으로 초기의 자료관리는 파일단위로 저장하나 규모가 커짐에 따라 데이터베이스의 사용이 필수적이다. 이때, 데이터베이스의 완벽화, 비중복화, 구조화는 정보의 체계적 저장을 위한 세 가지 요소이며, 보안성과 자료의 안전한 보관 등은 자료 관리시 주의하여야 할 사항들이다(이범희, 1998).

수집된 자료는 분석과정을 거치게 되는데, 이는 GIS의 가장 중추적인 기능이며, 앞에서의 모든 작업들이 자료분석을 위한 준비 과정이었다고 말할 수 있을 정도로 중요하다. 자료의 분석과정들을 살펴보면 부울논리(Boolean Logic)에 의한 자료의 검색과 재분류과정을 통하여 자신의 조건에 맞는 대상을 선택하도록 하고, 지도중첩과정을 통하여 새로운 주제도를 작성해 낸다. 이때, 각 coverage가 갖고있는 위치 및 속성 값들에 대하여 기초적인 수학적 연산(+, -, *, / 등), 부울논리연산 (AND, OR, XOR, NOT), 상대비교(<, [=, >, >=, eq, ne) 등을 적용하여 그 결과에 의한 새로운 coverage를 생성시킬 수 있으며, 집합관계(포함, 비포함 등)를 이용하여, 適地分析 등을 시행할 수 있다. 이외에도 3차원 지형자료를 근간으로 지형분석을 하고, 자

료의 집합이 어떤 값을 중심으로 분포되어있는가를 나타내는 통계분석을 실시할 수도 있으며, 도로망이나 상하수도 관망 등을 통한 네트워크분석을 수행하여 최단거리 및 자원의 할당문제 등을 처리할 수 있다(이범희, 1998).

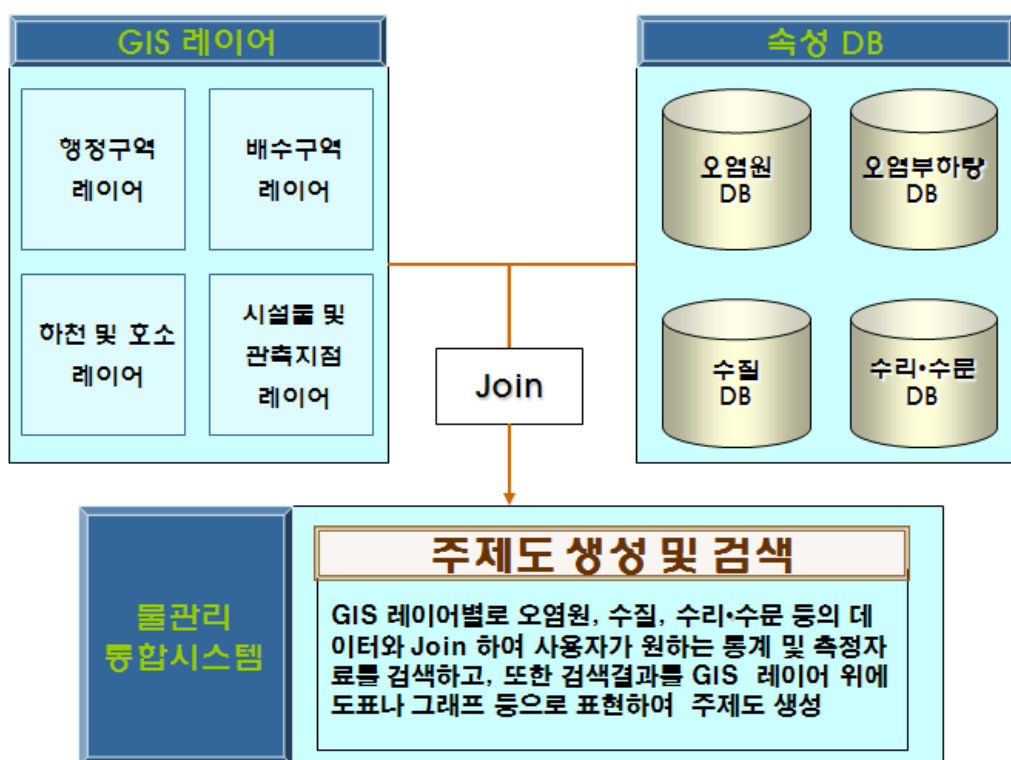
마지막으로 분석된 자료들은 정보출력이란 과정을 통해 자료의 처리결과를 사용자가 이해할 수 있는 형태로 변환하여 제시하거나 다른 시스템으로 전송할 수 있는 형태로 만들어 진다. 이 경우 자료의 처리가 사람으로부터 기계로의 의사 전달이라면, 정보의 출력은 기계로부터 사람으로의 의사전달을 의미한다. 이 경우 GIS는 도형자료와 속성 자료들을 통합하여 사용하므로 이들의 제시를 위해서는 주제도, 지형분석도, 시설물도 및 차트 등의 지도형태와 도표, 그래프 등의 형태를 많이 이용하게 되며, 결과를 제시할 때에는 선명성, 판독의 용이성, 시각적 대조 및 균형 등을 통해 GIS에서 산출된 결과를 사용자들에게 효과적으로 전달될 수 있도록 출력을 설계할 필요가 있다(이범희, 1998).

지리정보체계가 가지는 공간정보 처리 기능과 유사한 기술들로는 컴퓨터그래픽(Computer Graphics), CADD(Computer Aided Design /Drafting), 도면관리시스템, AM/FM (Automated Mapping/Facility Management), 데이터베이스 관리시스템(Database Management System), 원격탐사(Remote Sensing), GPS(Global Positioning System) 등이 있다.

충청남도의 물통합관리를 위해서는 아래 <표 2-5>와 같이 하천의 특성에 영향을 미치는 토지이용도와 토양도 등의 자료가 필요하게 되며 이들 수치지도들은 오염원과 오염부하량 DB 등의 속성DB와 결합하여 물관리통합시스템의 다양한 주제도를 제공하게 된다(그림 2-14 참조).

〈표 2-5〉 GIS 관련 DB의 주요 항목

구 분	주 요 항 목
수치지도	가. 도로망, 하천망, 유역도, 행정구역도, 토지이용도, 토양도, 공장 위치도, 지형도, 처리장별 처리구역도



[그림 2-14] GIS DB의 활용과정

제3절 충청남도 물통합관리 계획검토

그간 국내의 물관리는 이·치수에 중점을 둔 量的관리와 오염에 대처하는 質的관리로 분리하여 접근함으로써 중앙정부에서는 국토해양부와 환경부 및 농림수산식품부와 같이 3부에서 담당하고 있고, 충청남도의 경우에도 3국 7과(11담당)에서 담당하는 등 다원화되어 있었다. 이로 인해 각 부서별 분장사무에 의해 단위사업별로 추진하게 되고 결과적으로는 부서 간 유사업무의 중복도 발생하고 새로운 업무 및 시의성 사안이 발생한 경우에는 신속한 대처도 어려운 형편이다. 예를 들어 하천유지관리업무를 치수방재과와 수질관리과에서 각각 업무를 관리하고, 농촌생활용수의 경우도 농촌개발과와 수질관리과에서 담당하며, 축산분뇨·폐수 관리는 축산과와 수질관리과에서 관리하고 있어 이에 대한 개선이 필요하였다.

이에 따라 충남도청에서는 물 관리업무의 통합·조정 기능의 도입을 통한 효율적인 관리체계를 구축하기 위하여 '07. 5월 복지환경국에 『물 통합 관리본부』 설치하였다. 관리본부에서는 팀을 하천팀과 호소팀, 상수도팀과 하수도팀으로 구분하고 각 팀은 “맑고 깨끗한 하천수관리”, “농업용수원 관리강화로 안정적 용수공급”, “먹는 물의 안정적 공급으로 삶의 질 향상”, “생활하수 처리율 제고로 수질오염예방”을 목표로 설정하였으며 관리대상별, 추진업무별 영역과 책임소재를 분명히 하고 궁극적으로는 “건강한 자연환경”을 조기에 달성하기 위하여 「물 통합관리 세부실천계획」을 수립하여 추진 중에 있다(충청남도 복지환경국, 2008).

이중 본 연구와 관련이 있는 팀의 세부추진계획을 살펴보면, 우선 하천팀의 경우는 하천의 자연자정능력 범위내로 배출 오염부하량 저감 및 친자연형 하천으로 정비하여 먹 감고 놀 수 있는 생태하천 조성을 모토로 2011년까지 주요하천 수질을 II등급으로 개선하는 것을 목표로 하고 있다. 전체 사업기간은 1986 ~ 2011까지이며, 총사업비는 45,460억원으로 아래와 같이 12개 분야를 주요사업으로 삼고 있다.

- 소하천정비사업, 하천정비(치수방재과)
- 자연순환형 친환경 가축분뇨처리시스템 구축(축산과)
- 수질오염 배출사업장 지도점검(환경관리과)
- 생태하천 복원사업(수질관리과)

- 가축분뇨 공공처리시설 설치(수질관리과)
- 금강수계 수질오염총량제 추진(수질관리과)
- 수질오염사고 예방대책 추진(수질관리과)
- 오수·분뇨 및 가축분뇨 지도점검(수질관리과)
- 하천 수질검사 및 측정망 운영(보건환경연구원)
- 수계구간별 오염물질배출 특성 조사·분석 및 대안제시(수질총량관리센터)
- 유역별 수량 등 기초조사(수질총량관리센터)
- 광산폐수 등 광해물질 관리(광해방지사업단)

호소팀에서는 안전하고 고품질의 농산물 생산을 위한 농업용수원의 수질개선과 농업용수의 안정적 공급으로 영농기반 구축 및 생산성 제고를 모토로 2011년까지 농업용수원 저수지 수질 IV등급 달성을 목표로 하고 있다. 사업기간은 1994 ~ 2014 이며 총사업비는 2,198.1억원으로 아래와 같이 9개 분야를 주요사업으로 삼고 있다.

- 농업용 저수지 수질개선(농촌개발과)
- 간월·부남호 수질개선사업(농촌개발과)
- 저수지 퇴적물 준설(농촌개발과)
- 친환경농업육성으로 농경폐수 유입 저감(농산과)
- 수변지역 산림의 녹색댐 기능제고(산림녹지과)
- 수질오염 배출사업장 지도점검(환경관리과)
- 개인하수처리시설 및 가축분뇨시설 지도점검(수질관리과,축산과)
- 호소 수질측정망 운영(보건환경연구원)
- 호소별 오염물질 특성조사분석 및 대안제시(수질총량관리센터)

그에 따른 연차별 투자계획 중 물통합관리 관련분야의 계획은 아래 <표 2-5>과 같다.

〈표 2-6〉 물통합관리 관련분야의 연차별 투자계획

(단위 : 억원)

사 업 명	사업량	사업비		연차별 투자계획				비고
		총예산	기투자	2008	2009	2010	2011이후	
계	9식	1,114.8	45	25	37	27.5	980.3	
금강수계수질 오염 총량제	9개 시·군	124	24	11	27	27	35	하천팀
수질오염사고 예 방 대 책	1회/년	9	3	0.3	0.3	0.3	5.1	하천팀
수계구간별오염 물질 배출특성조사	1회/년	0.8	-	0.2	0.2	0.2	0.2	하천팀
유역별수량 등 기 초 조 사	25유역	3	-	1.5	1.5			하천팀
농업용저수지 수 질 개 선	1식	36	16	12	8			호수팀
간월 부남호 수질개선	2식	942	2				940	호수팀

충청남도 물통합관리 계획의 특징은 기존의 개별부서에서 진행되어왔던 사업을 4개의 팀으로 구분하여 각 팀에서 중점적으로 진행할 사업들에 대해 종합적으로 계획을 수립하였다는 것을 들 수 있을 것이다. 하지만 이들 계획들은 물의 통합관리라는 관점에서 접근하고 있긴 하나 여전히 기존의 계획들을 종합한 것이라고 할 수 있다. 즉, 각 팀별 사업들의 추진근거에 대해 과학적인 자료를 제시하거나 사업추진 결과에 따른 수질개선효과를 체계적으로 평가할 수 있는 정책적 수단은 없이 지속적인 모니터링만 강조하고 있다고 보여진다. 결과적으로 본 연구에서 검토하고 있는 GIS와 연계한 충청남도의 물통합관리 계획에서는 충청남도에서 계획하고 있는 6개 분야 사업에 대한 평가나 추진근거의 마련에도 도움이 될 수 있는 내용이 포함될 필요가 있다.

제3장 충청남도 물통합관리 방안

제3장 요약

본 장에서는 물통합관리 방법론을 모색하기 위하여 오염부하량 산정, 수질평가 모형, 유역비점 모형, GIS를 이용한 유역관리 모형, 수질관리방안 수립 연구로 구분하여 국내외 사례와 해외의 사례를 체계적으로 분석하였다. 이를 통해 도출된 각각의 분야에 대한 분석 결과를 바탕으로 충청남도에 적합한 GIS를 이용한 유역관리 모형을 도출하였으며, 이를 달성하기 위해 필요한 구성요소들의 구축과 연계 방안에 대하여 서술하였다. 그리고 물통합관리시스템 구축과정에서 단계적으로 수행하는 경우, 요구되는 사항과 고려되어야 할 부분들에 대하여 구체적으로 제시하고 정책결정에 반영할 수 있도록 하였다.

제1절 GIS를 이용한 유역관리 사례

일반적으로 하천 수질관리계획은 크게 네 부분으로 나누는데 첫번째 부분은 계획지역내의 인구·산업 그리고 토지이용계획에 따른 물의 유용한 사용계획을 설정하고, 설정된 물의 사용계획을 달성할 수 있도록 수질지침을 확립하는 것이다. 두 번째 부분은 각각의 오염원별로 배출현황을 검토한 후 유역 및 수질모형을 이용해서 장래의 수질을 예측하는 것이다. 세 번째 부분은 장래의 물 이용계획에 따른 수질목표 달성을 위한 수질개선 대안의 분석 및 평가를 한 후, 네 번째 부분은 대안분석 및 평가로부터 나온 결과에 의해서 효율적인 수질관리 대책을 강구하는 것이다. 과거의 수질관리 대책 수립과정을 살펴보면 주로 점원에 대한 통제를 통해서 수질관리 목적을 달성하려고 했지만 근래에 와서는 비점원의 영향이 하천 수질에 미치는 영향이 상당히 증가했기 때문에 수질관리 계획수립과정에서 비점원의 통제전략도 필요하게 되었다. 따라서, 물관리 통합시스템의 개발을 위해 이와 관련한 기존 연구사례는 크게 오염부하량 산정연구와 수질평가 모형연구, 유역 비점 모형, GIS를 활용한 유역관리 모형, 마지막으로 수질관리방안 수립연구로 구분하여 살펴보고자 한다.

1. 국내사례

가. 오염 부하량 산정

오염원으로부터의 오염부하 산정을 위한 국내의 체계적인 연구는 미흡한 편이나, 국립환경연구원(1992)에서는 경안천 유역에 대해 행정구역 정보로부터 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 격자별 정보로 전환한 후 각 격자별 오염부하량이 유하하는 과정에서 변화되는 유달부하량을 유달계수식을 이용해 산정하였다. 또한, 하성룡(1993) 등은 농경유역으로부터 오염부하 장기유출해석에 관한 연구를 통해 행정구역별로 얻어진 환경정보를 유역정보로 변환하고 유역의 사회 경제적인 요인, 기술적 요인 및 자연적인 배출특성을 포괄적으로 고려한 모형을 개발한 바 있다. 장정렬(1994)은 경기도 이천군 복하천 상류의 대표시험 유역을 대상으로 농촌유역에 적용할 수 있는 수질관리모형을 개발하고자 원단위와 유달률을 이용한 오염부하계산모형과 QUAL2E 모형을 결합하여 농촌유역 수질관리모형(WQMMRA)을 개발하였다(송동하, 1999). 그리고 박승우 등(1997)은 반월저수지 유역에 6곳의 수문계측망을 설치하고 수문조사와 수질자료를 수집·분석하고, 토지이용상태, 영농형태 등에 따른 농업비점오염의 부하량을 측정하는 연구를 수행하였다.

나. 수질평가 모형

수질모형을 이용한 국내의 연구로는 한강유역의 환경보전대책(1983)과 서울시 수질오염감축대책(1988), 남한강 수질보전대책(1988) 등에서 QUAL2E 모형을 이용하여 장래의 수질을 예측하여 오염부하삭감대책 등을 수립한 사례를 들 수 있다. QUAL2E 모형을 사용한 또 다른 연구들로는 안태홍(1988)이 수중보가 하천수질에 미치는 영향을 분석하는 데 사용하였으며, 김종상(1989)은 충주호 유입지천들에 대한 반응계수를 고찰하여 모형의 민감도 분석을 실시하였다. 송동하(1993) 역시 한강분류를 대상으로 가장 최소비용으로 수질을 관리할 수 있는 방안을 수립함에 있어 QUAL2E 모형을 적용하였다.

호수에 주로 적용되는 WASP4를 사용한 사례를 보면, 홍선관(1991)이 회동저수지의 부영양

화를 평가하기 위해, 서울대 토목공학과 수공학 연구실(1994)에서는 팔당호의 수질 및 상수 취수구 이전 필요성 등을 평가하기 위해 이를 사용하였다. 또한, 홍대벽(1995)은 시화호의 연간 수질변화를 평가함에 WASP4를 활용하였다.

다. 유역 비점 모형

국내의 농업 비점원 오염에 관한 연구로는 서승덕 등(1983)이 농업용수의 수질을 측정하여 농업용수 수질환경을 조사 분석하였으며, 임봉수 (1984)는 경기도 고양 등에 대해 비점원 오염 원 배출양상을 비교 검토한 바 있으며, 구본경 (1988)은 토지이용형태가 비점원 오염에 미치는 영향을 연구하였으며, 이수길 (1991)은 수영강 유역에서 유량과 오염물질 부하량 회귀식을 구하였으며, 홍성구 등(1989)과 신동석 (1990)은 경기도 화성시의 농경지에서의 질소와 인의 유출에 관하여 조사 분석하였고, 김한태 (1993), 장정렬 (1994)은 경기도 이천의 농업유역에 대한 비점원에 따른 수질오염 특성과 유달률 등에 대해 연구하였고, 정우혁(2007)은 퇴적물에서 용출되는 비점부하량을 산출하였다.

한편, 농업 비점원 오염모형에 관련한 연구로는 박승우 등 (1988), 김진택(1989)에 의해서 ANSWERS 모형과 수정 USLE 모형이 국내 농업유역에 적용되어 유역으로부터의 유출 및 토양유실량 추정에 이용되었으며, 이명우 (1990)는 소유역에서 토지이용상태 변화에 따른 수질 예측에 HSPF 모형을 이용하였으며, 이운산 (1992)은 USLE 모형을 이용하여 유사에 부착된 총인 및 총질소에 대하여 연구한 바 있다.

이외에도 한국수자원공사 수자원연구소(1992, 1993)에서는 방대한 양의 입력자료의 추출과 정으로 인하여 큰 어려움을 겪던 분산형 강우-유출모형의 대유역 적용시의 문제점을 지리정보 시스템에 의하여 해결하려 하였으며, 이를 위한 데이터베이스 시스템의 활용방안을 제시하였다.

라. GIS를 이용한 유역관리 모형

GIS를 수질 환경관리에 적용한 국내의 연구는 많지 않은 편이나, 엄무섭(1991)이 ERDAS를

이용하여 지형정보를 해석하고, 유출모형에 적용한 예가 있으며, 정 (1992)은 지리정보시스템을 이용한 간척자원 데이터베이스 구축 및 농어촌 용수이용합리화에 관한 연구를 실시하였다. Kim 등(1993)은 PC ARC/INFO와 SLAMM (Source Loading and Management Model)을 이용하여 도시지역의 비점오염원의 영향을 해석하였고, 건설기술연구원과 박성우 등 (1993)은 수문분석에 GRASS를 이용한 연구를 통해 수문 및 수자원 해석관리에 래스터 기반의 공공용 GIS 시스템인 GRASS의 적용을 검토한 바 있다. 환경처 등(1993)에서는 GIS와 원격탐사기법을 이용한 환경정보 추출 및 수질관리 응용시스템과 수질정보 종합시스템을 개발하였고, 김진택 (1995)은 반월지역을 대상으로 GRASS와 AGNPS간의 호환모형을 개발 및 적용하였다. 또한, 강금석(1995)은 PC ARC/INFO와 SWMM을 결합하여 안양천 유역의 수문현상 해석과 비점오염원의 해석을 위한 기초작업을 수행하였으며, 김윤택 등(1995)이 충주호 주변의 비점원오염에 대해 GIS를 이용하여 정량적인 분석을 한 바 있다. 박승기 등(1996)은 소규모 농업지역에서 토지이용자료를 GIS를 이용하여 추출하고 토지이용별 원단위 비점원부하량을 산정하여 실측한 비점원부하량과 비교하였고, 심순보 등(1996)은 RS/GIS 기법에 의한 데이터베이스와 수질모형을 이용하여 충주저수지 오염부하량을 산정하는 연구결과를 발표하였다. 이요상(1996)은 충주댐 유역의 오염부하 산정 시스템을 개발함에 있어 IDRISI 등의 GIS를 사용한 바 있다. 최근에는 환경부에서 수질환경정책수립지원 시스템을 전국을 대상으로 개발하고 있는 중이며 1999년의 환경기술연구개발사업의 내용에 "소수계 수질관리 정보시스템 개발"이 포함될 정도로 종합적인 수질관리를 위한 GIS 활용방안이 다각적으로 검토되고 있다(송동하, 1999).

마. 수질관리방안 수립연구

수질 종합관리를 위한 국내에서의 연구는 1990년대에 들어와서 본격적으로 시작되어 왔으나 아직도 수환경 생태계에 대한 종합적이고 체계적인 오염실태조사 및 자료가 축적되어 있지 못한 실정이며, 환경오염에 대한 영향평가 분석이 미비하여 효율적인 수질관리 대책 마련이 어려운 실정이다. 수질관리를 위한 연구는 학계와 정부 등의 노력으로 진행되어 많은 수질분석 자료들이 발표되고 있다. 심순보 등(1992)은 도시하천의 수자원 최적 활용을 위한 종합수질관리 시스템 개발을 위하여 미호천, 무심천, 대전천 등에 대한 오염실태를 조사하기도 하였으며(Moon, C.H., et al., 1994), 허인량 등(1995)은 송천 상류수계의 수질 및 오염부하량 분포에

관한 연구를 수행하였고, 농림수산부(1992, 1993)는 농어촌용수 환경관리에 관한 연구를 수행하여 농어촌지역의 오염실태와 대책을 제시하였다.

정종관(1986)은 한강본류의 수질환경기준 유지를 위해 각 지천의 본류 유입지점에서 하수처리를 할 경우, 수체의 물리적 특성을 고려할 때 가장 비용효과적인 하수처리 대상 지천을 결정하기 위해 오염부하 삭감량과 삭감소요 비용에 관한 일반한계를 선형계획 문제로 만들어 전산처리하여 최적해를 구하였다. 또한, 이병국(1987)이 수질예측 모델의 결과를 최적화 기법에 응용하여, 경제적인 수질관리를 하는데 필요한 자료의 제시 및 정책의 효과를 평가하는 수질관리의 기틀을 마련하는 것을 목적으로 QUAL2E 모델을 중랑천에 적용하여 수질을 예측하고 이를 바탕으로, 선형계획기법과 혼합정수계획법, 그리고 Fuzzy Set 개념을 이용한 선형계획에 의한 수질관리기법을 제시하였다. 여기에서도 용존산소농도를 지표변수로 하고, 오염 배출원에만 국한된 삭감방안만을 고려하였다.

그 외에 이두곤(1990)에 의해 총량규제에 대한 방안을 연구하였으나, 비용최소화를 목적으로 한 것이 아니라 삭감량에 대한 검토만을 중심으로 연구한 것이다. 또한, 유량증가에 의한 수질개선방안에 대한 연구보고서로 한강 하천 유지유량 조사연구보고서(1990)가 있으며, 송동하(1993)는 한강본류를 대상으로 팔당댐으로부터의 유량증가를 고려한 상태에서 최소비용이 소요되는 수질관리방안을 혼합정수계획에 의해 수립하였다. 최근에는 환경부에서 수질환경정책수립지원 시스템을 전국을 대상으로 개발하고 있다.

2. 해외사례

가. 오염 부하량 산정

외국의 오염 부하량 산정연구는 대부분 비점 오염원의 부하량에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 이는 점 오염원의 경우 대부분 처리 시설을 통해 대상 수체로 유입되므로 대개 측정자료를 이용하여 쉽게 부하량을 산정할 수 있고 그 기여도도 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 비점 오염원의 부하량 산정 모형은 단위 농도 또는 원단위 모형(constant concentration or unit loads)과 표 모형(spreadsheet), 통계모형(statistical), 회귀모형(rating curve or regression)

그리고 축적/세정모형(buildup/wash-off)과 같이 5가지로 구분된다.

이중 단위 농도모형은 유출이 발생했을 때는 각각의 오염물질이 동일한 농도를 가진다는 가정에서 출발한다. 예를 들면, 연간 유출량(annual runoff volume)에 연간 농도를 곱함으로써 연간 오염물 부하량을 계산한다. 이러한 접근 방식은 오염 부하량의 산정에 있어 수리 모형과 쉽게 결합할 수 있다는 장점을 가진다. 즉, 도시 지역에 적용되는 비점 오염원 모형의 하나인 SWMM Extran Block에서 복잡하게 계산된 유량정보에 농도를 곱함으로써 간단히 비점 오염원에 의한 부하량을 산정한다(Donigian et al., 1991). 원단위 모형은 좀 더 쉬운 개념으로 연간 단위면적 또는 단위길이 당 부하량으로 정의된다. 하지만 이는 현장조건에 크게 좌우되고 수문 조건 등에 따라서도 달라지므로 많은 연구결과가 있지만(EPA, 1973; EPA, 1976a; McElroy et al., 1976), 한 지역의 결과를 다른 지역에 옮겨 적용하는 것은 매우 어렵다(Donigian et al., 1991).

많은 공학 계산에서는 예외를 포함하지 않는 수질분석에 기반한 복잡한 표(spreadsheet) 분석 기법을 사용하고 있다(Quenzer, 1998). 표에 의한 비점 오염원 부하량 모형에서는 대개 강우 심(precipitation depth)과 유출계수(runoff coefficient)의 곱으로 유출량을 산정하고 여기에 단위 농도를 곱하여 부하량을 산정한다. 이때, 유출계수는 토지이용에 따라 달라지도록 고려하거나 SCS 방법이 사용된다. 따라서, 이 모형의 장점은 토지이용이 혼재되어 있는 경우에 토지이용에 따른 오염물 농도와 현장조사에서 획득된 총 부하량과 유량 가중치 농도를 쉽게 고려할 수 있다는 장점을 가진다(Walker et al., 1989; Donigian et al., 1991, 재인용).

EPA의 통계법은 사상 평균 농도(Event Mean Concentration; EMC) 값이 일정한 것이 아니라 대수정규 빈도분포(lognormal frequency distribution)를 하는 것으로 가정한다. 따라서, 지표 유출량의 대수정규 분포특성과 결합시켜 지표 유출 부하량 분포를 도출한다. 이 방법은 저장과 처리를 고려한 몇 가지 연구에 의해 좀 더 분석적으로 발전했다(Di Toro and Small, 1979; Small and Di Toro, 1979; Donigian et al., 1991, 재인용). 이에 따라 이 방법은 미국 환경청의 NURP 연구의 주요 스크리닝 도구(screening tool)로 사용되었고(EPA, 1983), 하수 월류수(Driscoll, 1981) 연구와 고속도로 유출수 연구(Driscoll, 1989)에도 적용되었다(Donigian et al., 1991).

회귀 모형은 부하량과 EMC 값을 유역과 지형학적 그리고 수문학적 특성 간의 상관성에 대한 연구(McElroy et al., 1976; Miller et al., 1978; Brown, 1984)에서 사용되었고USGS의 연구

(Tasker and Driver, 1988; Driver and Tasker, 1988)가 중요한 예가 될 수 있다. 이 모형은 농도 또는 부하량을 유량과 회귀 분석하여 상관곡선(rating curve)을 만들어 사용하는 것이다. 이는 SWMM이나 HSPF 모형 등에서 채택하고 있다(Donigian et al., 1991).

축적/세정 모형은 고형물의 축적에 따른 건기의 오염물질 축적이 강우 사상에 의해 세정되는 기작을 기술하기 위해 시도된다(Donigian et al., 1991 Quenzer, 1998 재인용). 여기서 축적이라는 것은 건기 동안에 발생하는 모든 복잡한 과정을 대표하는 것으로 침적과 바람에 의한 침식 그리고 거리 청소 등이 포함된다. 이와 같이 건기에 축적된 고형물은 강우에 의해 세정되어 하천에 영향을 미치는 것으로 표현한다. 이 개념은 SWMM 모형(Metcalf and Eddy et al., 1971) 뿐만 아니라 STORM과 USGS 그리고 HSPF에서도 차용하고 있다(Huber, 1985).

나. 수질평가 모형

수체의 수질을 평가하거나 예측하는 모형은 크게 통계적 모형과 수학적 모형으로 구분된다. 이중 수질자료를 모아 그 통계적 특성을 검토하는 시도는 Ledbetter(1914)나 Gunnesson(1963)에 의해 수질과 유량과의 관계를 이용한 하천의 수질변화 예측이 시초라 할 수 있다. 그 결과 수질과 유량 사이에는 1년을 주기로 하는 타원형의 관계가 있는 것을 발견하여 월별의 수질평가를 시도하였다(김정현, 1991). 그 후 장기의 수질자료가 모아짐에 따라 자기상관, 회귀분석, Fourier 급수, Vector 해석 등 여러 가지 수학적 기법에 응용하기 시작하여 수온, DO 등에 대해서 이러한 기법을 이용한 수질평가가 시작되었다. 이러한 시도들은 대상수계의 수질을 구성하는 요소들을 상수가 아닌 어떤 분포를 갖는 확률변수로 간주하는 통계적 모형으로서 수학적 인 조건의 변화가 필요할 때 적용하기가 어렵고 장기간의 수질측정자료를 필요로 하는 단점이 있다(장정렬, 1994).

수질모형의 경우는 1925년 Streeter-Phelps의 용존산소 농도 수지에 관한 모형을 시점으로 계속 발전되어 왔다. 이후 Thomas(1948)는 수중 유기물 변화 기작에서 산화과정에 침전을 첨가하였으며, O'Connor(1962)는 확산(Dispersion)에 의한 물질이동을 고려하였다. 또한, Camp(1963)는 침전물로부터의 유기물의 재부유 과정(Resuspension)과 수중식물의 광합성에 의한 용존산소 증가 항을 첨가하였다. O'Connor와 Di Toro(1968, 1970)는 광합성에 의한 산소 생산을 사인곡선 반주기(Half-Cycle)의 Fourier Series를 이용하여 일주변화를 나타내고 질소

산화 산소요구량(NOD)과 침전물 산소요구량(SOD)을 용존산소 변화에 포함시켰다. 1970년에는 TWDB(Texas Water Development Board)에 의해 DOSAG I 모형이 개발되었는데, 여기서는 유량과 온도조건의 다양한 변화에 대해서도 DO농도변화를 쉽게 계산할 수 있으며, 포기과정, BOD, 그리고 NOD의 변화기작을 포함하고 있다. 이와 동시에 TWDB의 지원으로 Masch et al.(1970)가 QUAL- I 모형을 개발하여 점 오염원과 비점 오염원에 의한 영향을 모두 포함할 수 있게 되었다(박석순, 1993). 이상의 여러 인자를 종합적으로 고려하여 미국 EPA 수자원국에서 1985년 기존의 Qual II/SEMCOG를 변형 보강한 QUAL2E 모형을 개발하였다(Brown and Thomas, 1985). 이는 수체내 확산, 이류, 구성인자의 반응 및 상호작용, 오염원 생성, 분해, 침전 등에 관한 식으로 구성되어 있다. 또한, Qual II에서 고려되지 못한 유기질소, 유기인을 포함하여 15개 수질항목을 의사화 할 수 있으며, 물질수지 균형식에서 농도-시간의 미분항이 포함되어 정상상태(steady-state)에 도달하는 시간이 많이 걸리는 단점을 보완하여 PC용으로 개발된 것이다(송교욱, 1992). 하지만, QUAL2E는 수초나 부착조류에 의한 용존산소 변화와 부유조류 사멸시 발생하는 유기물(BOD) 그리고 오염된 하천에서 많이 일어나는 탈질화(Denitrification) 과정이 포함되지 않아 수질변화에 이들의 영향이 크게 작용하는 하천에 적용하는데 한계가 있다(Park and Uchrin, 1990).

또한, 영양단계 지표에 의한 저수지 수질 및 부영양화를 주로 예측하는 모형으로 Minlake와 WQRRS 그리고 WASP 등이 있는데, WASP 모형은 1981년 EPA의 Great Lake Program의 일부로 DiToro 등에 의해서 처음 개발되었으며, 수 차례의 적용을 통한 수정과 보완을 거쳐 1987년에 수체내 독성물질의 거동까지도 분석 가능한 WASP4가 발표되고 현재에는 WASP5로 발전되었다. 이 모형은 호수, 강, 하구 등을 포함한 여러 가지 수체에 대해 수체의 이동 및 일반 또는 독성물질의 이동과 상호반응에 대한 시물레이션이 가능하며, 모델링의 기본 단위가 구획(compartment)이므로 대상 수체를 1에서 3차원까지 그 크기와 방향을 자유롭게 조절할 수 있다는 장점이 있다.

다. 유역 비점 모형

유역관리에 대한 대표적인 모형으로 U.S EPA내의 Environmental Research Laboratory, Center for Exposure Assessment Modeling (ERL-CERM)에서 유기오염물질과 독성 유기오염 물질에 대한 유역수문과 수질모의를 하는 HSPF(Barnwell, et al., 1981; Bicknell, et al., 1984; Johanson, et al., 1984 Bicknell, 1993)를 들 수 있다. 그 외에 도시지역을 대상으로 한 대표적 유역모형으로는 SWMM(Storm Water Management Model)이 있고, 농촌지역에 대해서는 ACTMO, ARM, UTM, CREAM, ANSWER, AGNPS, SWRRB, SWAT와 STORM 등이 있다.

농업 면오염원 관리모형의 대표격인 AGNPS는 미국 농무성(Agricultural Research Agency;ARS)이 미네소타지역 수질관리연구소(Minnesota Pollution Control Agency; MPCA) 및 토양보전국(Soil Conservation Service; SCS)와 공동으로 개발하였으며, 농업유역으로부터의 강우사상에 의한 유출, 유사, 총인, 총질소 및 COD 성분 등의 추정을 위해 개발된 분포형 매개변수모형으로서 적용유역 크기의 다양함 등의 장점으로 현재 여러 나라에서 사용되고 있다(김진택, 1995).

이들 수질관리 모델들을 이용하여 오염부하의 분배문제, 오염물질에 대한 운송 문제 및 화학응집에 따른 내부 반응에 의한 Risk 문제, 하천수질과 불확실성 상태분석을 위한 모델개발, 중금속 문제 등에 대해 질 높은 연구를 하고 있고 수질오염 상태와 오염에 대한 대책을 강구하기 위한 이화학적 연구도 활발히 진행되고 있다(Peirce, 1980 연상호, 1996, 재인용).

〈표 3-1〉 점 및 비점오염원 모형의 특징

Class	Model	Parameters	Characteristics
Point-source model	WASP5 (1983-)	Temp, DO, NH ₃ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , BOD, O-N, O-P, Chl-a, Three conservative constituents, Toxic material	<ul style="list-style-type: none"> - select one-, two- or three- dimensional simulations - Divide segment to across the river and with depth according to waterbody characteristic and application purpose - Organized three parts which are hydraulic, pollutant, toxic material part - Estuary and lake model
	QUAL 2E (1972-)	DO, BOD, Chl-a, O-N, NH ₃ , NO ₃ , NO ₂ , O-P, D-P, Coliform, Temperature, Arbitrary nonconservative constituent, Three conservative constituent	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive and versatile stream water quality model - Easy to partition and adaptability - One-dimensional model - Transverse sectional diffusion
	WQRRS (1978-)	DO, BOD, NH ₃ , NO ₃ , NO ₂ , Temp, SS, Alkalinity	<ul style="list-style-type: none"> - One-dimensional model - Organized three parts which are stream, lake, hydraulic part
Nonpoint-source Model	STORM (1974-)	Suspended solids, Settleable solids, BOD, Total coliforms, ortho-phosphate, Nitrogen	<ul style="list-style-type: none"> - only hourly precipitation inputs are possible - dry-weather flows can also be simulated
	AGNPS (1986-)	Run-off, Erosion and Sediment transport, Chemical transport(N, P, COD)	<ul style="list-style-type: none"> - Operates on a cell basis. - Estimates of runoff water quality from agricultural watersheds different size.
	ANSWERS (1981-)	Nutrients(N, P), Total particulate	<ul style="list-style-type: none"> - Watershed to be subdivided into a grid of square elements - Element sizes ranges from one to four hectares - Easier modification of existing program code algorithms
	UTM-TOX (1983-)	Lead, Cadmium, Zinc, Copper, Sulfur	<ul style="list-style-type: none"> - Calculates dispersion of pollutants emitted from point, area or line sources - Ignores the interaction between chemicals and sediment in stream
	PRZM (1984-)	Pesticide application on soil or on the plant foliage are considered in the chemical transport simulation	<ul style="list-style-type: none"> - One-dimensional, dynamic, compartmental model - Divided into the hydrology and chemical transport - Simulate chemical movement in unsaturated zone within and immediately below the plant root zone
	HSPF (1984-)	Run-off flow, Sediment loads, Nutrients, Pesticides, Toxic chemicals, other quality constituent concentrations	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibility in solving a wide range of water quantity and quality problems using a single model - Convenient data management features that save time - Modular program structure which facilitates program changes and additions for special applications
	GLEAM (1987-)	Hydrology, Pesticides, Erosion/Sediment yield	<ul style="list-style-type: none"> - Soil divided into various layer - Applied in a wide range of climatic regimes

라. GIS를 이용한 유역관리 모형

컴퓨터의 급속한 발달과 지리정보시스템의 발전에 의해 1980년대부터 수문모형에 지리정보 시스템이 적용되기 시작하였으며, 초기의 적용은 주로 지도 중첩에 의한 방법이었다. Ventura 등 (1988)은 토양도와 지형도를 이용하여 경사도와 토양침식능 속성을 생성하였으며, Hession 등 (1988)과 Gilliland (1987)는 유사한 방법으로 유역의 유사운송비를 분석하였으며 그 이외에 지하수오염 가능지역분석 등에 지리정보시스템이 사용되었다(김진택, 1995).

그런데, 다양하고 광범위한 모형을 운용하기 위해서는 수질관리와 관련된 많은 자료를 효율적으로 관리하고 제어할 수 있는 여러 종류의 데이터베이스가 이용되어야 하므로, 지형정보시스템과 연계하여 각종 정보를 도출하고 모형의 입력자료를 생성시키는 노력을 기울이고 있다. 그 예로서 Zhang 등 (1990)은 오염모형과 GIS를 결합하여 농업화학물질 영향평가 및 관리체계 (Agricultural Chemical Impact Evaluation and Management System, AgCHEMS)를 구축하였고, Fisher (1989)와 Wolfe (1992)는 강우유출모형 HSPF와 FESHM에 GIS를 적용하였다(김진택, 1995 송동하, 1999, 재인용). Sasowsky와 Gardner (1991)는 SPUR(Simulation of Production and Utilization of Rangelands) 모형의 입력 계수를 생성하기 위해 GIS와 결합시켰고, Vieux (1991)는 농업유역에서의 지표유출과 비점원오염 해석을 위하여 분산형 수문모형과 GIS를 결합하였다. Rewerts와 Engel (1991)은 ANSWERS모형의 입력자료의 구성에 GIS를 이용하여 모형의 입력자료의 구성에 있어서의 효율성에 대해 비교하였으며, Srinivasan (1992)은 유역의 비점원오염을 분석하기 위해 AGNPS모형과 GIS를 결합한 바 있다. Arnold (1992)는 SWAT모형에 GIS를 연결시켜 입력자료의 구성과 출력자료에 대한 통계적 분석을 할 수 있도록 하였다(Srinivasan, et al., 1996; 강금석, 1998).

Shamsi와 Schneider (1993)는 SWMM과 ARC/INFO 및 ERDAS(Earth Resource Data Analysis System)를 결합하여 유역의 개발에 따른 유출특성의 변화를 살펴보았으며, Depodesta 등(1993)은 Geo/SQL과 HEC-2를 결합하였다. Meyer 등(1993)은 raster GIS와 RUNOFF를 결합하여 실제유역에 적용하였으며, 특히 Bhaskar 등(1992)은 지리정보시스템에서 제공하는 분석기능을 이용하여 직접관측에 의하여 입력할 수 없는 각 모형의 계수를 추정

해내는 방법을 설명하고 있다. 최근에 들어와서는 유역의 위상처리를 통한 GIS기법과 강우/유출모의를 위한 HEC-1 및 TR-20모형과의 연계를 가능케 한 WMS(Watershed Modeling System)가 개발되어 수문모의를 위한 모형의 결합 예를 제시(Brigham Young University, 1996)하고 있으나, 이는 고도자료를 이용한 수문모의의 산정에 효율적인 반면 위성자료나 기타 속성자료와의 통계적 연산에는 미흡한 기능을 지니고 있어 이에 대한 개선의 여지를 남겨두고 있다(이범희, 1998).

대표적인 GIS package인 ARC/INFO와 IDRISI, GRASS는 지형분석 도구로서 사용자로 하여금 지표 데이터에 의해 유역경계와 하천망을 쉽게 분할할 수 있도록 해주기도 하고, 지표면의 경사도를 파악하고 순서대로 정렬된 하천망을 구성할 수 있도록 해준다. 또한 표준 수문모형의 입력데이터를 쉽게 준비할 수 있도록 해주고, 모형의 출력결과를 뒤에 도시하거나 분석할 수 있도록 해준다(Gilliand M.W., et al., 1987, Bleecker M., et al., 1990, Newell, C.J., et al., 1990, Obrien, L.G., 1990, Zhang, H., et al., 1990, Camp, C.V., et al., 1993, Batelaan, O.F., et al., 1993, 이요상, 1996, 재인용). 따라서, 이러한 지리정보시스템을 활용한 연구는 1990년대에 이르러 더욱 발전하여 대부분의 유역모형에 적용되는 수준에 이르렀으며 그 예는 아래 표 2-2와 같다(송동하, 1999). 이중 미국 환경청에서 개발된 Basins(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) v.20은 미국 수질보전법 제 303(d) 항에 의거 각 주에서 점 및 비점오염원에 의한 오염부하량에 대한 일일 총 허용부하량을 산정하는데 주로 활용되는 모형이다.

〈표 3-2〉 수질 및 수량 예측을 위한 GIS기반 유역모델

Model Name	Main Functions	GIS	Study Locations	Validation Study	References
ACRU Agricultural Catchment Research Unit	- runoff hydrograph generation and routing - sediment yields	ARC/INFO	Natal, South Africa	No	Kienzle, 1993
AGNPS	- runoff volume and peak rate - sediment and nutr- ient yields	ARC/INFO	Westmoreland Co., VA, USA	No	Hession, 1990
		Geo/SQL	North-central MIN, USA	No	Yoon et al, 1993
		GRASS	West Lafayette, IN, USA	Yes	Brown & Engel, 1993
		GRASS	Saginaw Bay, MI, USA	No	He et al., 1993
		GRASS	East-central IL, USA	Yes	Mitchel et al., 1993
		IDRISI	Austria	No	Klaghofer et al., 1993
		VirGIS	VA, USA	No	Flagg et al., 1990
ANSWERS Area Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation	- runoff hydrographs - sediment yields - BMP evaluation	GENAMAP	UK, Netherlands	Yes	DeRoo, 1993
		GRASS	West Lafayette, IN, USA	Yes	Brown & Engel, 1993
SWRRB-WQ Simulator for Water Resources in Rural Basins-Water Quality	- surface runoff - sediment yields - pesticide fate	GRASS	Lower Colorado River Basin, USA	No	Rosenthal et al., 1992
GLEAMS Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems	- loss of pesticides to the root zone	Nexpert Object	VA Coastal Plain, USA	No	Heatwole, 1990
		ARC/INFO	Dupin Co., NC. USA	No	Stallings et al., 1993
EPIC Erosion/Produ ctivity Impact Calculator	- sediment yields	IDRISI	Austria	No	Klaghofer et al., 1993
SLOSS Sediment LOSS	- soil loss per unit area - sediment yields	VirGIS	Westmoreland Co., VA, USA	Yes	Tim et al., 1990

〈표 3-2〉 수질 및 수량 예측을 위한 GIS기반 유역모델 (계속)

Model Name	Main Functions	GIS	Study Locations	Validation Study	References
DRASTIC Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography, Impact, Conductivity	ground water contamination susceptibility index	ARC/INFO	FL, USA	No	Hatchitt & Maddox, 1993
		ARC/INFO	GA, USA	No	Trent, 1993
MODFLOW	- ground water flow	ARC/INFO	MD, USA	No	Hinaman, 1993
		GENAMAP	Amsterdam, Netherlands	No	Olsthoorn, et al, 1993
		ARC/INFO	OR, WA, USA	No	Orzol & McGrath, 1993
		ARC/INFO	FL, USA	No	Richards et al., 1993
		ARC/INFO	Austrian/Czechoslovakian border	No	Stibitz et al., 1993
PSRM Penn State Runoff Model	-runoff hydrograph generation	ERDAS	Union Co., PA, USA	Yes	Shami, 1993
PUMPS Pesticide User Management Planning System	- index for ground water contamination potential	ARC/INFO	Suffolk Co., DE, USA	No	Pickus & Hewitt, 1992
RASA USGS Regional Aquifer Systems Analysis	- ground water flow	ARC/INFO	VA Coastal Plain, USA	No	Focazio, 1990
TOPMODEL	- surface runoff resulting from overland and near surface saturated flow	GRASS	West Lafayette, IN, USA	No	Chairat & Delleur, 1993 a, b
		WIS	Plynlimon, UK	Yes	Romanowicz et al., 1993
		SPANS	West Wales, UK	No	Stuart & Stocks, 1993
BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources	-development of total maximum daily loads (TMDLs)	ARC/View	USA	Yes	US. EPA, 1996
TR-20, TR-55 SCS Technical Report20, 55	- peak runoff rate	ARC/INFO	NJ, USA	No	Cahill et al., 1993
		ERDAS	Baldwin Co., AL, USA	Yes	Luker et al., 1993
		GRASS	Spearfish, SD, USA	No	Vieux & Kang, 1990

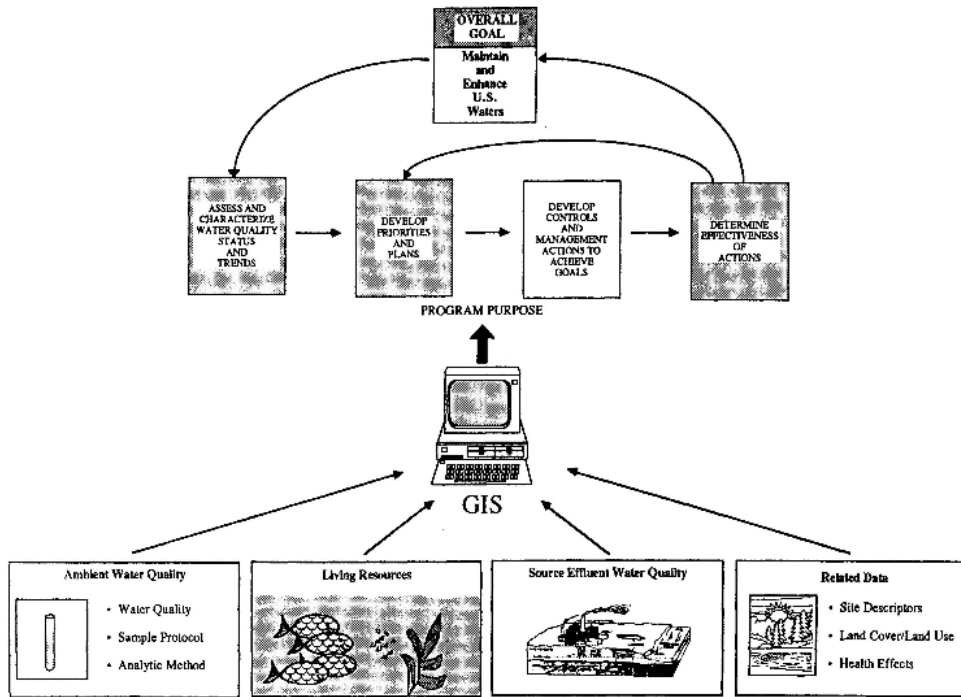
(Source : Kim 1995, pp. 7-8 송동하, 1999, pp.33-34.)

마. 수질관리방안 수립연구

수질관리방안을 연구한 외국의 사례로는 Thomann과 Sobel에 의해 수질목표를 달성하는데 소요되는 비용을 최소로 하는 것, 즉 비용효과분석(cost effective analysis)을 통해 최적대안을 도출한 것이 있다. 여기에서 오염부하량 삭감방안은 단지 오염 배출원에만 국한되며, 도관을 통한 오염물질의 이동, 하천유량의 증가, 하천내 포기시설의 설치 등은 포함되지 않았다 (Thomann, R. V. and M.J. Sobel, 1964, p.9-p.36 정종관, 1986, 재인용). 또한, Graves 등은 수체 상황이 유리한 지역으로 오염물질을 도관을 통해 이동시킨 후 처리하는 규제방안을 논의하였으며, 정적상태에서 생각했기 때문에 언제 이러한 제거를 수행해야 하는 지에는 언급이 없다 (Graves, F.W. 1969 Thomann, R.V. 1972 재인용). 위의 두 논문 모두 용존 산소가 지표변수로 사용되었다.

3. 시사점

지리정보체계의 발전은 컴퓨터 과학기술의 발전과 맞물려 세계각국을 비롯한 국내의 정부 기관, 개인 기업체, 관련 학술분야 등에서 이의 적용이 활발히 진행되고 있으며, 그 적용성도 인정되고 있다(연상호, 1990 김성준, 1996 송동하, 1999). 이러한 추세에 따라 수질관리 분야에서도 오염원의 관리 등의 문제에 대해 효율적인 대책 수립과 시행을 위해 [그림 2-17]과 같이 시간적, 공간적 각종 오염의 발생상황 파악과 감시, 그리고 예측 등을 지리정보체계에서 통합적으로 운영하려는 많은 사례가 있다.

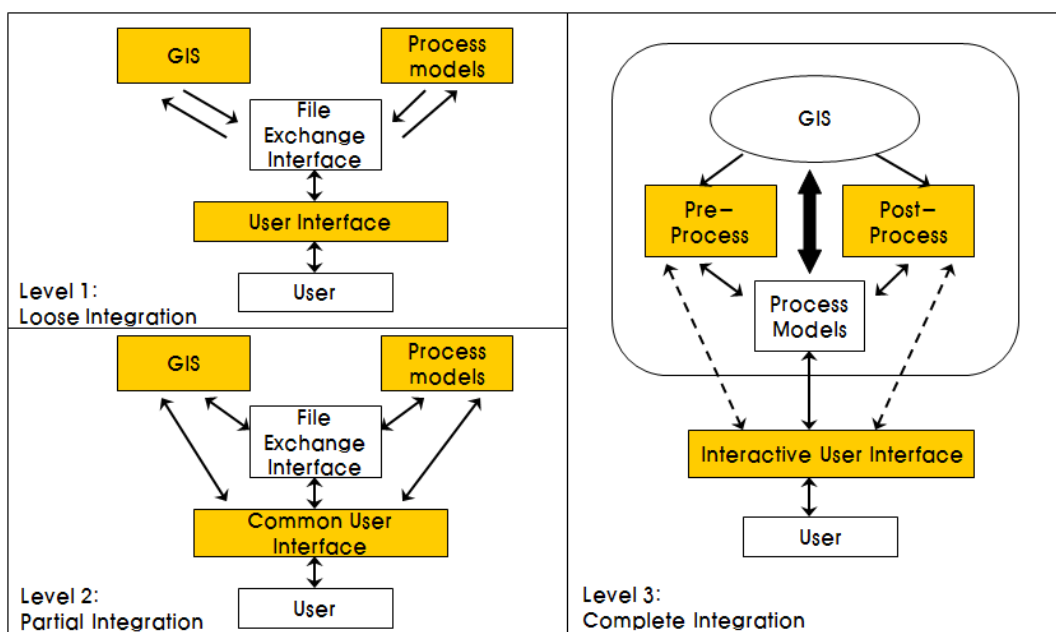


[그림 3-1] 모니터링 및 프로그램과 GIS의 관련성

(Source : EPA, 1992, p. 5-2)

그런데, 이들을 GIS와 환경모델링이 결합방식에 따라 구분하여 보면 크게 세가지 유형이 있다(그림 2-18). 첫째는 GIS 자료 구조와 환경 모형이 개별적으로 진행되는 단순 결합(ad hoc integration)으로 이는 자료의 처리는 GIS 에서 이루어지고 처리된 자료를 환경 모형의 입력자료로 변환한 후 모형의 결과를 다시 받아 GIS상에서 표현하는 방법으로 Al-Abed와 Whiteley(1995)가 HSPF 입력자료의 작성을 위해 GIS 에 저장된 정보를 처리하는 유역 관리 모형을 개발한 것을 들 수 있고, 국내에서는 송동하(1999)에 의해 경안천을 대상으로 일일 오염부하량을 예측하는 분포형 유역모형의 개발이 여기에 해당한다. 둘째는 GIS와 환경모형간의 부분적인 결합(partial integration)이 있다. 이는 두 체계가 개별적으로 작동한다는 점에서 단순 결합과 유사하나 환경모형의 입력자료와 예측결과를 GIS상에서 처리하여 표현할 수 있는 과정을 포함하고 있는 것이 다르다. 이러한 연구는 기존의 수질 및 유역 모형을 GIS와 연계하려는 시도로 지리자원분석체계(GRASS)를 이용한AGNPS, GLEAMS 등 유역 모형의 인

터페이스개발(Geter, et al., 1995)과 Arc/Info의 Grid 프로그램에 의한 AGNPS모형과의 연구 (Tim and Jolly, 1994) 등을 들 수 있다. 여기에서는 사용자가 GIS 내에서 모형의 입력 자료를 커버리즈 속성 값으로 입력하고 모형의 결과치는 역시 GIS내에서 그래프나 표, 지도 등으로 다시 표현할 수 있도록 구성되어 있다. 셋째는 모형의 개발이 GIS내에서 이루어진 것으로 사용자가 GIS 환경에서 모형에서 요구하는 각종 자료의 저장과 활용 그리고 실행 등을 행할 수 있는 완전 결합(complete integration)이다. 이는 지난 10여년간 중요한 연구과제였고 최근 연구에서는 수리적 과정과 하천의 물 수지 예측, 하천수의 오염물 농도 예측과 유역에서의 비점 오염원 부하를 평가하는데 GIS를 활용하는 시도가 있었다(Maidment, 1992; Stuart and Stocks, 1993; Olivera and Maidment, 1996; Ye, 1996; Maidment, et al., 1996; Mizgalewicz, 1996; Saunders, 1996; Benaman et al., 1996). 이와 같은 접근을 시도한 국내 연구는 경기도(2003)의 하천수질개선대책연구에서 경기도내 주요하천을 대상으로 ArcInfo에서 구동하는 분포형 유역 모형을 통해 하천수질관리 대책을 평가한 것을 들 수 있다. 또한 분포형 유역모형은 1단계 수질오염총량제도에서 사용되던 방식의 행정구역에 따른 집중형 유역모형과 달리 개선된 2단계 수질오염총량제도에 적용성이 뛰어나다. 이와 같이 충청남도에서도 이러한 접근을 통해 오염 총량관리를 비롯한 각종 하천수질개선 대책에 대한 평가를 실시하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.



[그림 3-2] GIS와 모형의 결합수준 (Source : Tim and Jolly, 1994)

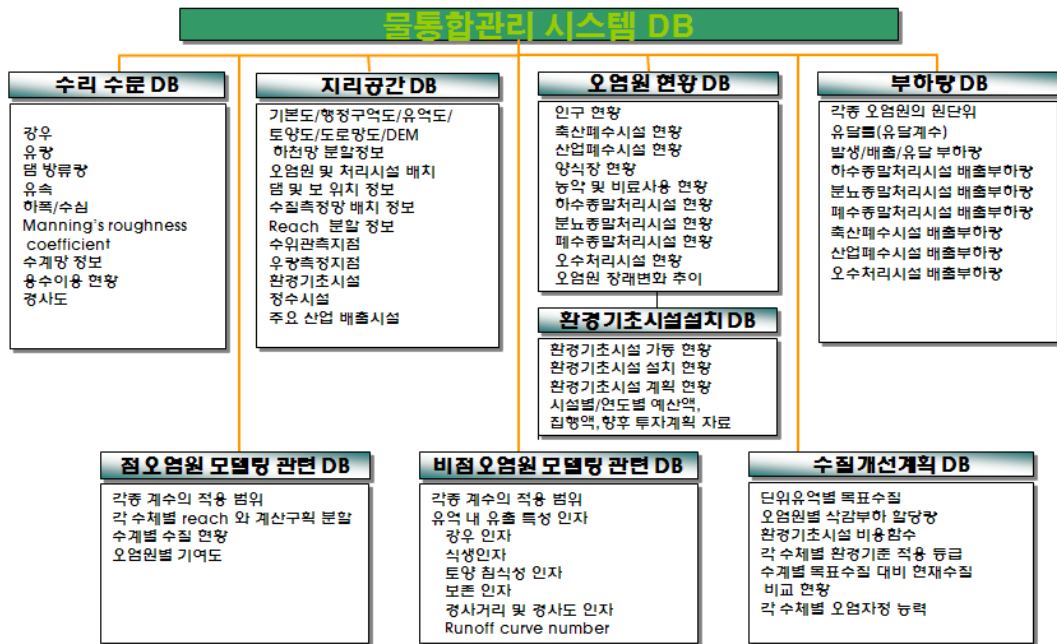
제2절 GIS와 연계한 물통합관리 구성요소

점 및 비점오염원에 의한 하천의 수질변화를 예측하고 각각의 오염원별 수질기여도를 평가하기 위해서는 개별 오염원의 공간적인 위치정보와 함께 다양한 조건에서 발생하는 오염부하량 예측을 위해 인구수나 가축사육 두수 등 각종 행정 정보 등이 광범위하게 요구된다. 또한, 우리나라는 여름철에 폭우가 쏟아지고 하수관거의 보급률도 높지 않은 편이라 강우 특성에 따라 하천에 미치는 오염부하는 크게 변화한다. 따라서 강우의 영향을 고려하여 유역 내 수문변화를 모의할 필요가 있으며 그로 인한 하천의 유량 및 수질변화 추적이 요구된다.

이와 같이 물통합관리를 위해 요구되는 다양한 공간 및 속성정보를 효과적으로 다루기 위해서는 GIS를 활용하는 것이 바람직하며 오염원 및 오염부하량 정보를 위치정보와 함께 관리하게 되면 분포형 유역모형을 활용하여 오염원별 오염기여도를 평가할 수도 있다. 특히, 충청남도에서 분포하는 대부분의 하천은 오염총량관리제를 의무적으로 실시하고 있어 각 오염원별 부하량을 할당할 필요가 있으므로 이러한 관점에서 물통합관리에 필요한 구성요소들을 검토하고자 한다.

1. 물통합관리 DB 구축

정보시스템에 포함될 데이터베이스의 종류 및 그 구성내용은 아래 [그림 3-3]에서 보는 바와 같이 크게 수리수문 DB, 지리공간 DB, 오염원 현황 DB 등의 8가지로 구분되며, 각각의 정보들은 표준화 절차를 거쳐 DB화 하게 된다.



[그림 3-3] 물 통합 관리에 필요한 DB내역

2. GIS 레이어의 구축

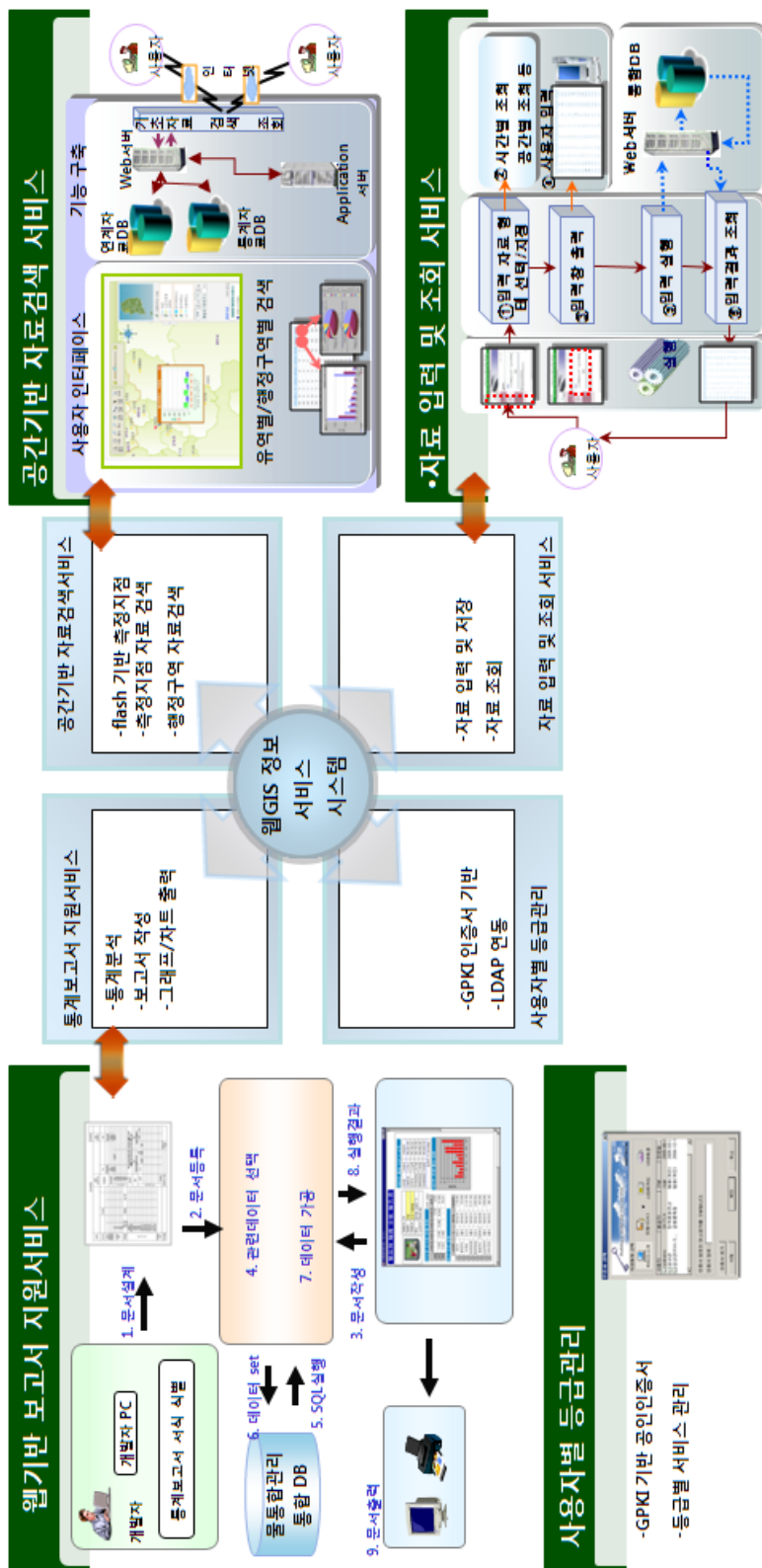
앞서 살펴본 바와 같이 물통합관리를 위해서는 GIS를 통해 위치자료와 속성자료를 연계시켜 관리하는 것이 바람직하며 필요한 GIS 레이어는 아래 [그림 3-4]와 같은 과정에 따라 최적화 과정을 거쳐 GIS DB로 구축하여야 한다.



[그림 3-4] GIS DB 설계 및 구축과정

3. 물통합관리시스템 구축

물통합관리시스템은 GIS 기반으로 물관련 정보들을 효과적으로 관리하고 업무수행과정에
서 필요로 하는 각종 보고서식을 지원할 수 있으며 유역별 수량 등 기초조사 사업 등을 통해
축적되는 수질 및 유량 정보들을 효과적으로 입력할 수 있는 기능을 구비하여야 한다(그림 3-5
참조).



[그림 3-5] 맞춤형합관리시스템의 기능 개요

또한, 물통합관리시스템은 GIS 기반으로 하천정보는 물론 오염원의 위치와 수질 및 유량측정 위치를 포함하여 각 측정지점에서의 관측자료에 대한 검색이나 시계열 분석이 가능하여야 하며 측정자료에 대한 통계분석 자료를 확인하고 항공사진을 통한 각종 오염원의 위치 등을 시각적으로 확인할 수 있는 기능과 아울러 현장에서 이루어지는 물관련 업무들을 지원할 수 있는 기능들을 갖출 필요가 있다(그림 3-6).

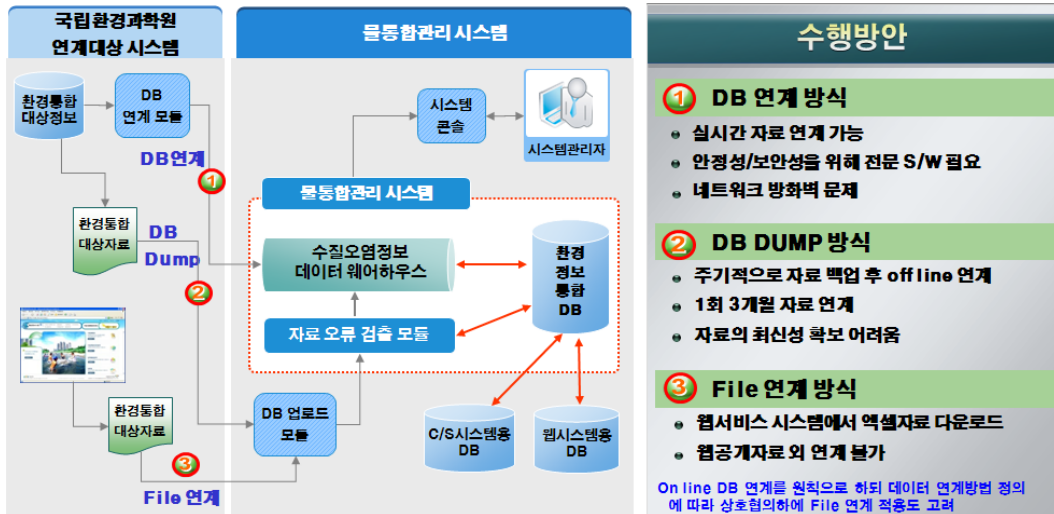


[그림 3-6] GIS와 연계한 물통합 정보제공 기능

4. 기존 시스템과의 연계

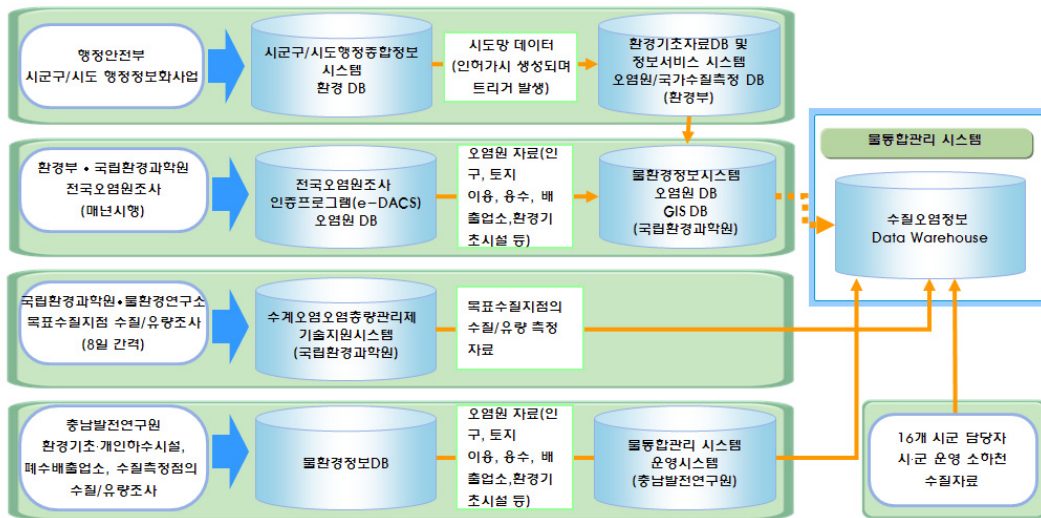
충청남도에서 구축하려고 하는 물통합관리시스템은 기존에 국립환경과학원에서 운영하고 물환경정보시스템이나 오염총량관리지원시스템에서 활용하고 있는 GIS DB 및 오염원 정보와 국가에서 운영하고 있는 수질 및 수량 측정망의 과거자료를 연계하고 각 시군구에서 자체적으로 추진하고 있는 수질 및 수량 측정자료들을 통합적으로 관리할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 기존의 정보시스템과의 연계가 필요하며 그 연계 방안으로는 File을 통한 연계와 주기적인 DB dump 방식 그리고 실시간 DB 연계 방식이 있는데 각 시스템의 특성

을 반영하여 적절한 연계방식을 통해 DB를 연계하여야 한다. 다만, 최근에 유관 시스템간 DB는 주로 EAI와 같은 실시간 DB 연계 툴을 이용하여 연계하므로 보안 등을 감안하여 연계 툴의 도입을 통해 유관 기관의 정보시스템에서 필요로 하는 DB를 연계하여 충청남도에 적합한 통합DB를 구축하는 것이 바람직할 것이다.



[그림 3-7] 물통합관리에 필요한 환경자료 연계 방안

시도 및 시군구 환경행정정보시스템을 통해 연계할 항목으로는 폐수배출업소에 대한 인·허가 정보를 들 수 있으며 이는 환경부의 환경통합DB를 거쳐 국립환경과학원의 물환경정보시스템에 축적되므로 이 시스템을 통해 충청남도에 적합한 물통합관리 Data warehouse를 구축하도록 하는 것이 향후 지속적인 DB관리 측면에서 유리할 것으로 판단된다. 또한 폐수배출업소 조사시스템과 수계오염총량관리 시스템에 축적되는 오염원 자료와 목표지점별 수질 및 유량 측정자료도 연계하여 운영하는 것이 지속적인 DB확보 측면에서 바람직하고 충남발전연구원과 시군구 등에서 개별적으로 관측하는 수질 및 유량 정보도 DB화하여 관리하게 되면 명실상부한 DW를 구축할 수 있을 것이다.



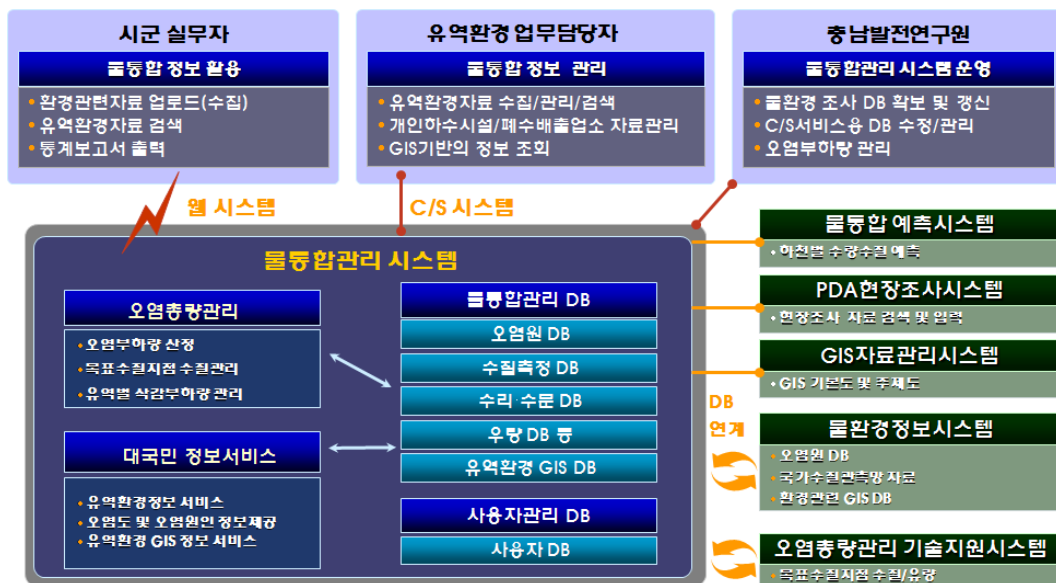
[그림 3-8] 해당 자료별 연계 항목 및 통합DB 구축 방안

제3절 물통합관리의 단계적 이행방안

1. 목표시스템의 도출

가. 목표시스템 및 기능정의

물통합관리를 위해서는 아래 [그림 3-9]와 같이 기존의 수질 및 유량 관측자료 DB, 각종 오염원 DB를 서비스 하고 관리하는 GIS 기반의 물통합관리시스템을 중심으로 물통합 예측시스템, PDA 현장조사시스템 등과 DB 연계를 통해 유역 내 오염원현황의 체계적인 관리가 가능하도록 구성하는 것을 목표로 한다.



[그림 3-9] 목표시스템의 정의

물통합관리시스템의 운영은 충남발전연구원에서 담당하는 것이 바람직하다고 판단되며, 유역환경업무담당자들이 물통합 정보를 관리하기 위해서는 C/S기반의 유역모델링 기능을 포함하고 시군 실무자들과 대국민 서비스를 위해서는 웹서비스가 가능한 형태의 시스템으로 구성하는 것이 필요하다.

목표시스템의 기능은 정보검색, 지도검색, 자료관리, 보고서 작성 등 7개의 대 기능과 32개의 중 기능으로 구성되며 세부구성내역은(그림 3-10)과 같다.



[그림 3-10] 목표시스템의 대 기능과 중 기능

나. 오염부하량 자동산정 프로그램

오염총량관리란 유역에 분포하는 개별 오염원으로부터 발생하는 부하량을 과학적으로 관리하는 것을 의미하며 이를 위해서는 각 오염원별 발생 및 배출부하량의 산정이 필요하다. 이를 위해 전국오염원자료와 물사용량 등의 각종 입력자료를 효과적으로 관리하고 수계오염총량관리지침에 따라 오염부하량을 자동으로 산정하는 프로그램을 도입함으로써 효과적인 오염총량관리를 실현할 수 있다.

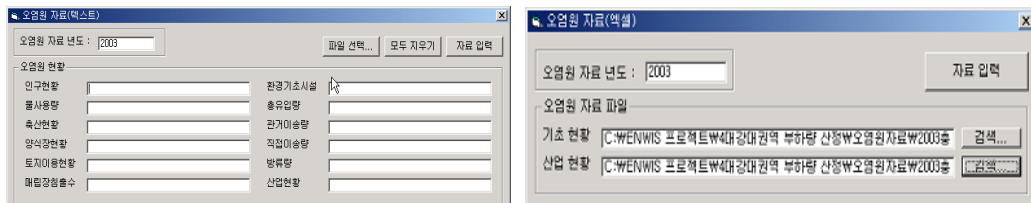
오염부하량 자동산정을 위해 필요한 세부기능은 아래 <그림 3-11>과 같다.



[그림 3-11] 오염부하량 산정시스템 기능도

1) 입력자료 구축

오염부하량 자동산정을 위해서는 우선적으로 오염원의 정보가 필요하다. 오염원 정보는 전국오염원 조사자료의 형식을 그대로 활용하는 것이 바람직하며 통상적으로 텍스트 파일 형식 또는 엑셀 파일의 형식으로 자료들이 관리되고 있기 때문에 이들 두 가지 형식으로 작성된 파일을 모두 입력받을 수 있도록 구성하여 자료의 형식에 따라 선택이 가능하도록 하는 것이 바람직하다(<그림 3-12> 참조).



[그림 3-12] 오염원 자료 입력화면

(좌: 텍스트 파일형식, 우: 엑셀 파일 형식)

수계오염총량관리기술지침에 의해 비점오염원의 부하량을 산정하기 위해서는 월별 강우량 정보가 필요하다. 이를 별도로 분석하여 입력자료를 구축하기 보다는 기상청에서 관리하는 기상자료 형식을 그대로 입력자료로 받아서 해당 관측소를 지정하면 월별 강우량 비율을 계산하도록 하면 효과적으로 비점오염원의 부하량을 산정할 수 있다. 즉, 기상청에서 관리하는 파일 형식으로 연도별 강우 자료를 입력하여 강우배출비를 자동산정하는 기능을 아래 <그림3-13>과 같이 구성할 수 있다.

[그림 3-13] 기상청 강우데이터 입력화면

통상 오염원 정보는 행정구역별로 조사되므로 산정된 부하량 역시 행정구역별 부하량이 되며 이를 유역별 정보로 변환하기 위해서는 행정구역별 유역편입을 자료가 필요하다. 이는 GIS를 이용하거나 기존에 정의된 각 유역과 행정구역간 편입을 정보를 이용해야 하며 이 자료 역시 엑셀과 텍스트의 두 가지 형식으로 관리되고 있어 이를 선택하여 입력하도록 하는 것이 필요하다.

[그림 3-14] 행정구역별 유역 편입을 입력화면

2) 오염부하량 산정을 위한 환경설정

앞서 각 유역별로 오염부하량 산정 과정에서 유역의 특성에 따라 산정로직에 있어 약간씩 차이가 날 수 있다는 설명을 한 바 있다. 통상적으로 충청남도에 적합한 오염부하량 산정로직을 지정하여 계산하도록 하여야겠지만 입력자료의 조건에 따라 그 방식을 변경할 수 있도록 하는 것이 향후 확장성을 위해 더 바람직하므로 환경설정 기능을 갖추는 것이 더 바람직할 것으로 판단된다. 또한 오염부하량 산정방법의 개선과 변경이 이루어짐에 따라 이용자가 산정식과 논리식의 수정이 가능하도록 프로그램이 구성되어야 할 것이다.

산정 환경 설정

수계 선택 : 금강 수계

방류량 분석

- ☒ 미송 유량 비를 적용
- ☐ 미송 유량, 부하량 비를 각각 적용

생활계 직접미송비 산정

- ☒ 직접미송량 / (수거식 + 수세식)
- ☐ 직접미송량 / (수거식 + 수세식 + 분류식)

생활계 오수처리 개별 삭감량 산정

- ☒ 개별삭감대상량 * 오수처리삭감부하비
- ☐ 개별삭감대상량 * 오수처리삭감부하비 * 0.45

토지계 지목 구분

- ☒ 기타 지목에 하천을 포함시킨다.
- ☐ 기타 지목에 하천을 포함시키지 않는다.

매립계 개별 배출

- ☒ 발생량 - 직접미송량 - 개별 삭감량 - 관거 유입량
- ☐ 발생유량 * 방류 농도 (수거나 관거 시에는 0)

토지계 관거누수, 월류 산정

- ☒ 관거유입량 * 우기시누수비 * 유효강우일수비^2
- ☐ 관거유입량 * 누수비 * (1-유효강우일수비) * 관거유입량 * 누수비 * 유효강우일수비

적용

[그림 3-15] 환경 설정

3) 오염부하량 산정 및 출력

전국오염원 자료와 유역별 특성에 따른 환경설정이 끝나면 수계오염 총량관리 기술지침에 따라 충청남도의 환경 특성과 입력자료의 구축 수준에 따라 아래와 같은 고려사항을 반영하여 오염원별 발생 및 배출 부하량을 자동적으로 계산할 수 있도록 구축한다.

- 물사용량 : 총사용량은 있고, 합류식/분류식/오수처리/단독정화/수거식의 물 사용량 정보가 없는 경우 처리방법은 총 물 사용량을 인구 비율을 적용하여 합류식/분류식/오수처리/단독정화/수거식의 물 사용량을 환산.
- 직접이송비 : 직접이송량에서 유입원이 정화조 오히려 생활계 수거 분뇨로 나뉘어져 기재되어 있는 경우 직접이송비 산정 시 수세식과 수거식을 구분하지 않고 정화조 오히려 생활계 수거 분뇨의 합을 사용.
- 산업계 : 발생유량 산정시 폐수발생량 값이 누락된 경우 폐수방류량을 발생량으로 계산함.(폐수방류량도 없으면 오류)
- 양식계 : 양식장의 종류가 유수식일 경우 어종이 송어, 대하, 기타에 따라서 원단위를 적용하고, 기타일 경우에는 송어 원단위와 대하 원단위의 평균값을 적용함.

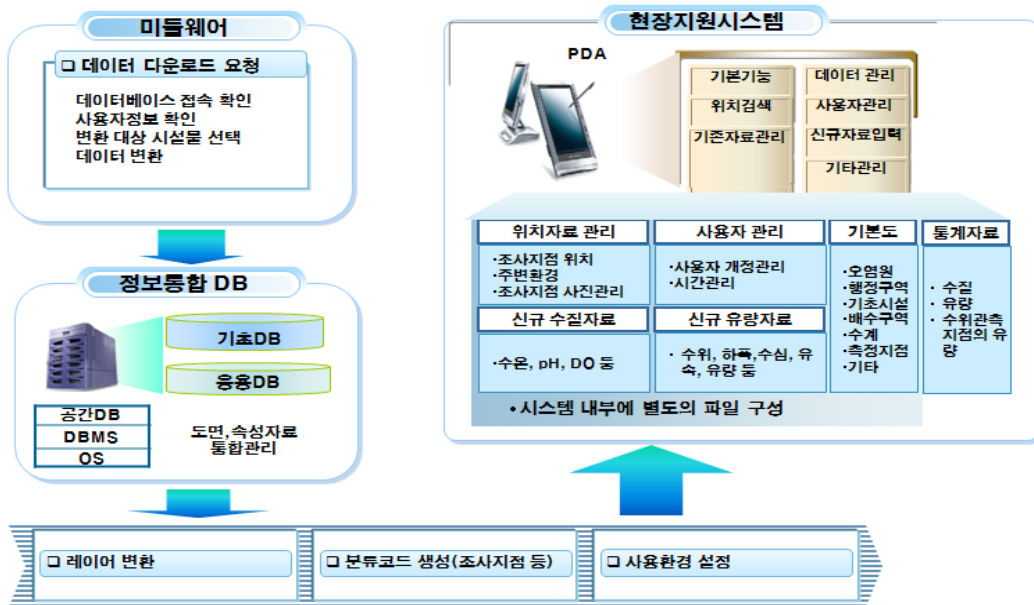
발생부하량산정	
산정년도	2003
<input type="button" value="산정"/> <input type="button" value="닫기"/>	
생활계 발생부하	
축산계 발생부하	
산업계 발생부하	
토지계 발생부하	
매립계 발생부하	
양식계 발생부하	

[그림 3-16] 발생 부하량 산정 화면

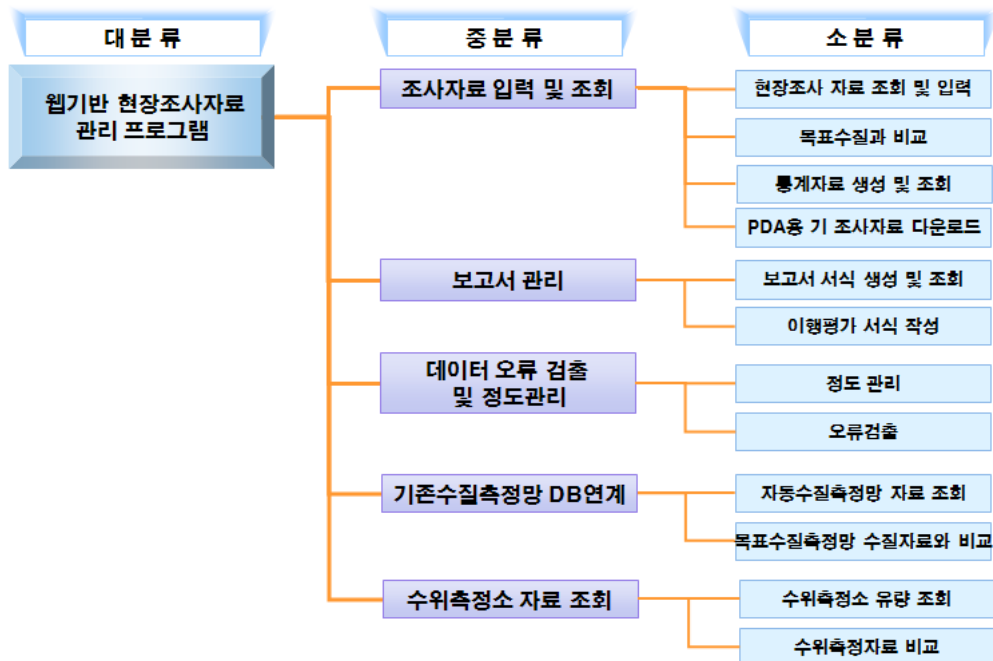
[그림 3-17] 배출 부하량 산정 화면

다. PDA기반 현장지원 기능

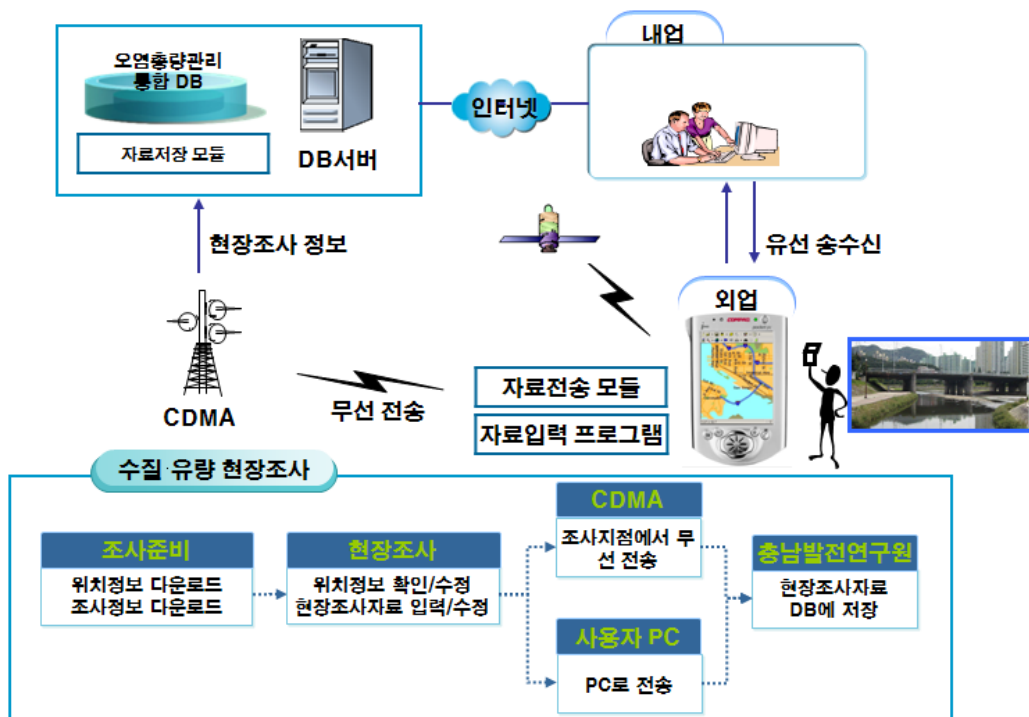
PDA 기반의 현장조사시스템은 종이지도와 조사표를 이용한 기존의 방식에서 벗어나 조사의 정확도 유지와 간소화, 입력오류의 방지 및 전산화 된 조사자료의 생성으로 DB 구축비용 및 시간을 최소화할 수 있어 매우 유용하며, DB 서버로부터 무선을 통해 데이터를 전송받아 조사를 수행하여 조사된 데이터는 다시 유/무선을 통해 서버로 전달하는 방식으로 운영한다 (그림 3-18 ~ 3-22 참조).



[그림 3-18] PDA기반 현장조사 시스템 세부 기능



[그림 3-19] PDA기반 현장지원 시스템 기능 정의



[그림 3-20] PDA기반 현장지원 시스템 자료 전송 모식도

-

[illegible]

수질

I D 3

자료 X: 240608 102292

자료 Y: 256515.174751

도입 전역

날짜 2000-05-27

pH 7.05

DO 2.05

비고

시료번호 A-301

날짜 입력

온도 22.6

EC 220

확인 취소

- 사지점 관리(검색, 조회, 인)



- 신규 추가 및 데이터 입력



- 조사지점을 찾아 가는데 편리한 기능

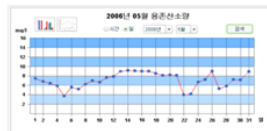
세종특별자치시
수위: ~140.5
평상: 0.0

인천광역시
수위: ~127.0
평상: 0.00

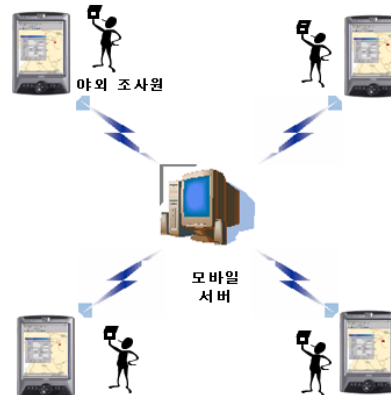
서울특별시
수위: ~127.0
평상: 0.00

경주시
수위: ~127.0
평상: 0.00

부산광역시
수위: ~129.0
평상: 0.00



- 조사된 데이터의 시각화
- 과거데이터(계절별, 공간별) 추세 분석
- 조사 데이터 현장 정도관리



- 실내 : 유선을 통신망을 활용한 데이터 동기화
- 현장 : 무선(CDMA) 통신망을 활용한 데이터 동기화
- 야외 조사원 관리 및 조사지점의 효율적 관리

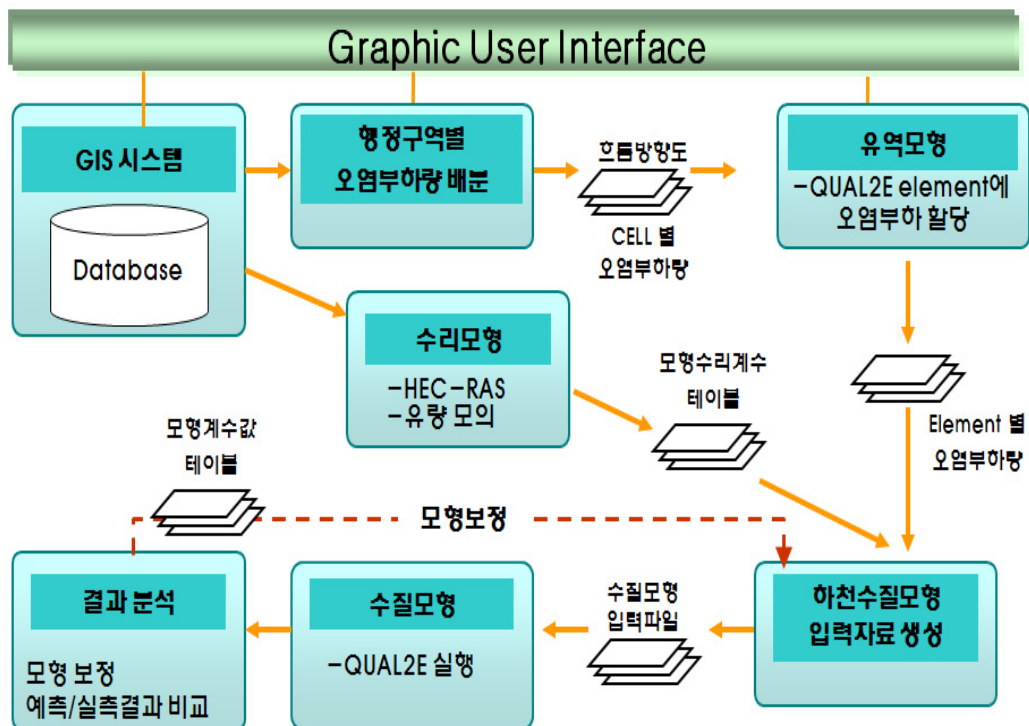
[그림 3-21] PDA기반 현장지원 시스템의 상세기능 정의

라. GIS기반 유역모델링

GIS기반 유역모델링을 위해서는 우선 충청남도에 적합한 모델을 선정하여야 한다. 일반적으로 오염총량관리계획 수립을 위해서는 QUAL2E 모델을 사용하고 있으므로 본 연구에서도 이를 활용하는 방안과 GIS기반 분포형 모델을 활용하는 방안에 대해 검토하였다.

1) QUAL2E를 활용한 유역모델링

GIS DB로부터 추출되는 정보들을 통해 HEC-RAS 및 QUAL2E의 입력자료를 자동생성시키고 이를 이용한 유역모델링 절차를 요약하면 아래 [그림 3-22]과 같다.

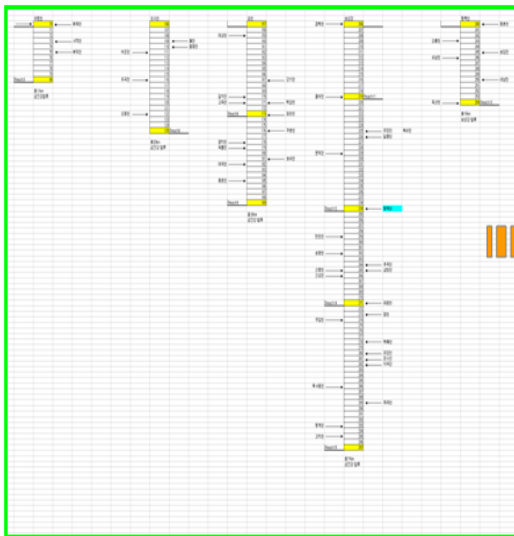


[그림 3-22] GIS와 QUAL2E의 결합을 통한 유역모델링 절차

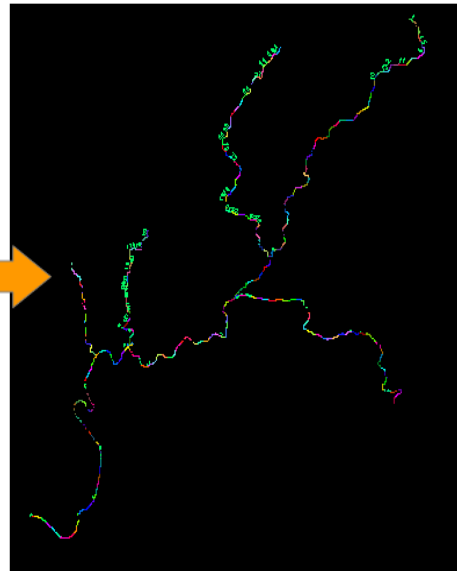
기본적으로 QUAL2E는 element 단위로 모의하기 때문에 우선 하천을 일정단위로 구획하는 것이 필요한데 하천도(Line)를 이용하여 원하는 단위간격으로 구획하는 자동프로그램을 작성할 수 있으며, 단위길이(통상 1km)로 나누어진 각각의 element와 DEM을 이용하여 각 element별로 유하하는 소유역도를 제작한다(그림 3-24).

이런 방식으로 QUAL2E의 element별로 유입되는 배출부하량의 산정이 가능하다. 즉, 하나의 행정구역이 여러 개의 유역으로 나뉘어져 있더라도 오염부하량은 흐름방향에 따라 직접적인 영향을 주는 하천 element에서 합산이 이루어진다. 결과적으로 각 element에 유입되는 배출부하량을 결정하면 이를 QUAL2E에서는 point source 형태의 입력자료로 처리하여 하천의 수질을 모의한다. 또한 각 element의 오염부하량 통계 작성의 편의를 위해 각 element에 유입하는 오염부하량이 배출되는 행정구역명과 소유역도의 소유역명을 함께 저장하도록 하여 시나리오 분석 시 오염원의 삭감을 용이하게 할 수 있도록 GIS프로그램을 작성할 수 있다.

기존 Element 분할 방법



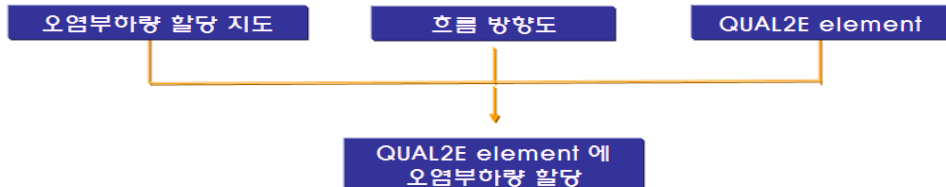
GIS를 이용한 Element 자동 분할



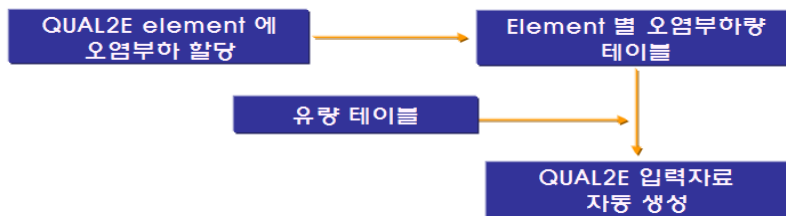
[그림 3-23] GIS를 이용한 QUAL2E용 element의 구획



- 행정구역도에 행정구역별 오염부하량 DB 연결
 - 행정동/법정리 형태로 오염부하량 자료 연결
- 토지피복도 재가공
 - 수치지도에서 시설물들을 추출하여 환경부 대분류 토지피복도 재가공
- 거주지에 오염부하량 할당
 - 행정구역 내 거주지에 오염부하량을 Cell별로 할당
- 각 Cell별 오염원별 오염부하량 할당
 - 30*30m cell별 오염부하량 할당



- QUAL2E element 자동 구축
 - 수치지도에서 하천을 1 km 간격으로 자동구획
- 흐름방향도 작성
 - 수치고도모형(DEM)에서 유역의 흐름 방향 산정
- Element에 오염원별 오염부하량 할당
 - 각 cell별 오염부하량 할당 지도로부터 흐름방향에 따라 flowaccumulation 함수에 의한 각 element에 오염원별 오염부하량 할당

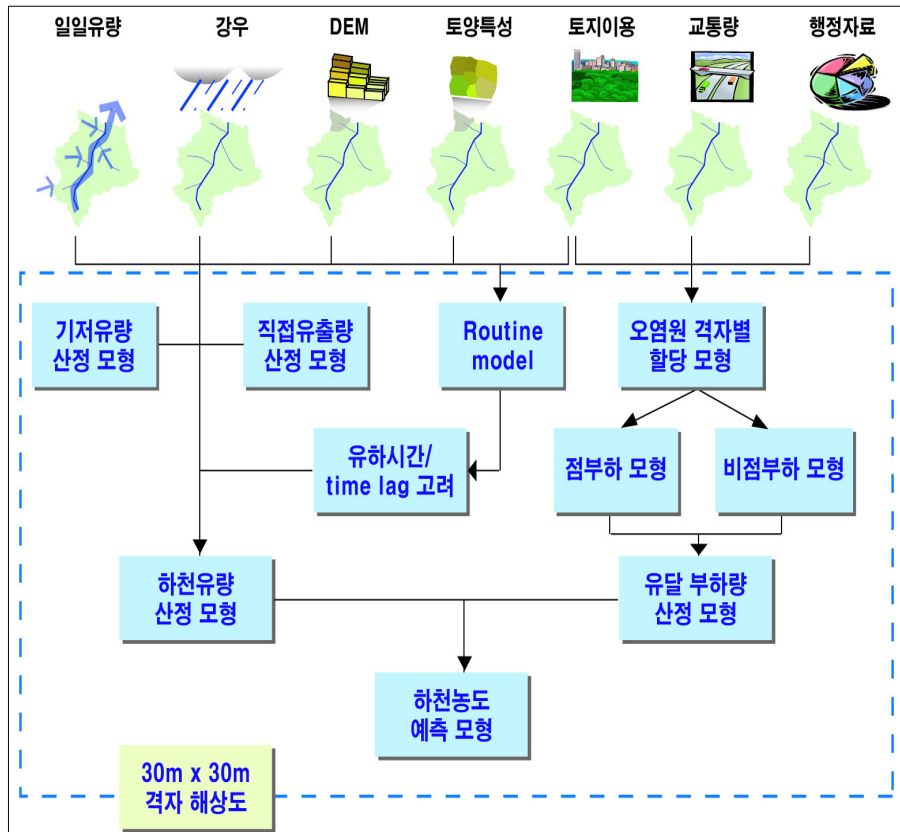


- Element별 오염부하량 테이블 생성
 - 각 element의 오염부하량을 테이블로 정리
- QUAL2E 입력자료 생성
 - Element별 오염부하량 테이블과 유량 테이블을 이용하여 QUAL2E 입력파일 자동 생성

[그림 3-24] GIS를 이용한 QUAL2E 입력자료의 생성과정 요약

2) 분포형 유역모형을 활용한 유역모델링

GIS 기반의 분포형 유역모형은 강우에 의한 직접유출량의 산정을 포함하여 1일 단위의 time lag를 고려한 하천유량 및 유달부하량 산정이 가능한 동적모형이다. 모형의 입력자료는 GIS 주제도(행정구역도, 유역도 등)와 오염원 등의 각종 속성자료를 요구한다. 또한, 공간분석 기능을 활용하여 유역 및 하천 내에서의 유달과정에서 발생하는 자정작용 등을 고려한 수질에 측을 실시하며, 일일 강우에 따른 직접유출 및 유하시간을 계산하고 기저유출량의 분석을 통한 일일 단위 하천유량의 모의가 가능하다. 공간적 해상도는 인공위성 TM 영상 및 수치지도도(DEM)와 동일한 30m × 30m를 주로 적용하며 구비되는 GIS DB의 해상도에 따라 변경은 가능하다(그림 3-25 참조).



[그림 3-25] GIS기반 분포형 유역모형 흐름도

가) GIS에 기반한 유역 및 수질자료 구축

하천으로 유입되는 오염물질별 부하량 산정을 위해서는 우선적으로 상류 유역 내에 분포하는 각종 점·비점오염원의 분포현황을 파악하여야 하며, 현재의 수질에 대한 검토가 필요하다. 이중 오염원 현황 정보는 기본적으로 행정구역별 오염원 자료 형태로 존재하므로, 이들 정보를 GIS와 결합하기 위해서는 행정구역 수치지도를 활용한다.

나) 하천유량 예측

하천에서의 수질변화를 관찰하기 위해서는 우선 하천을 흐르는 유량에 대한 분석이 필요하다. 하천을 흐르는 유량을 좀 더 자세히 구분해 보면 지하수 등을 통해 비교적 일정한 양이 흘러 들어오는 기저유량과 강우 시에 지표나 지표하 흐름을 형성하여 일시에 순간적으로 흘러드는 직접 유출량 그리고 농업용수 등의 목적으로 유역 외부로부터 도수해 오는 유량과 유역에 분포하는 인간 또는 가축과 같은 점 오염원에 의해 배출되는 오·폐수 등으로 구성된다.

따라서 하천 내 유량을 산정하기 위해서는 이들 각각의 요소들에 대한 적절한 예측이 포함되어야 하며 이에 대한 적절한 평가를 바탕으로 점 및 비점오염원에 의한 하천 수질에의 영향을 파악할 수 있다.

다) 오염원별 오염부하량 산정

GIS 기반으로 구축된 행정정보 및 주제도를 활용하여 도시와 비도시 지역이 혼재된 지역에 분포하는 점 및 비점오염원으로부터 강우 및 비강우시에 배출되는 오염물질의 일일부하량을 발생 및 배출 그리고 유달부하량으로 구분하여 산정한다.

라) 지체시간을 고려한 하천수질예측

각 하천구간별 유량과 개별 오염원에 의한 하천구간별 유달부하량 총량을 계산하면 각 하천구간에서의 수질예측이 가능하다. 이때, 상류유역에서 발생된 부하량이 하천의 특정지점까지 흘러가는 과정에서 유량과 마찬가지로 유하시간에 의한 지체가 발생하게 되며 오염물질 지체시간을 고려한 하천구간별 수질을 예측한다.

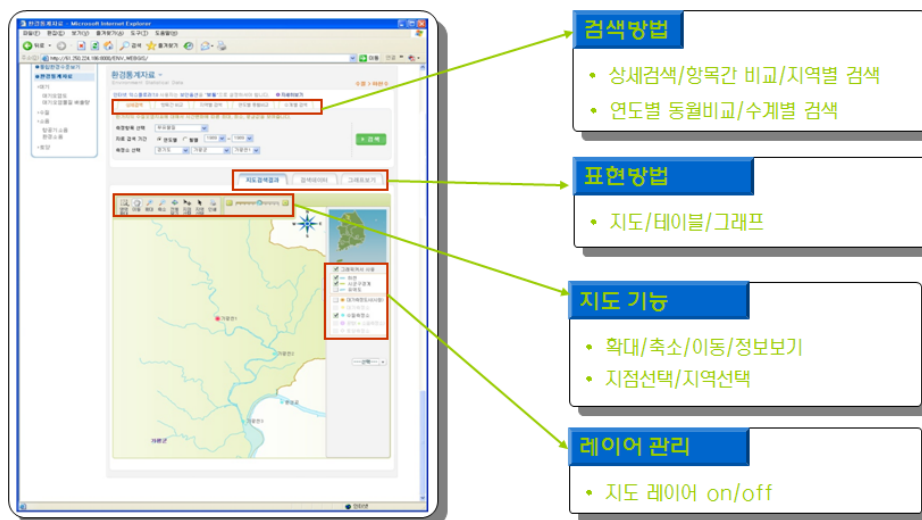
마) 하천 자정계수의 자동보정 및 수질예측결과 검증

자정계수는 토지이용형태별 자정계수와 하천구간별 자정계수로 구분된다. 이중 하천구간별 자정계수의 민감도가 더 높기 때문에 자동보정을 통해 계수 값을 결정한다. 즉, 각 수계 내의 수질측정지점 위치를 GIS 주제도로 작성하고 이 지점에 영향을 주는 소유역을 구분한 후에 각 측정위치에서 관측된 측정날짜를 자동으로 선택하여 그 날의 하천유량 및 수질을 예측하고 그 값을 관측 치와 비교하여 계수 값을 증감시켜나가는 보간법에 의한 자동보정방식을 적용한다.

마. GIS기반 물통합 정보서비스

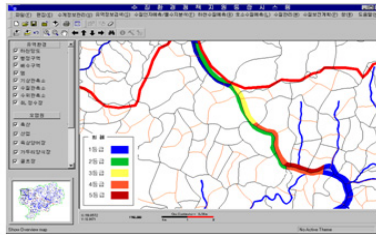
물통합 정보서비스(Web)운용 시 사용주체(실무자, 도민)별 서비스 내용 및 권한을 차등 부여하여 서비스 하는 것이 바람직하고, GIS 기반의 서비스를 제공함으로써 실무자는 유역의 오염정보를 지도상에서 조회할 수 있고 수질예측결과를 효과적으로 디스플레이 하여 물통합관리방안의 수립 시 기초자료로 활용할 수 있으며, 도민은 거주지의 오염현황 조회 및 각종 환경정보를 습득할 수 있으므로 대국민 서비스 측면에서의 만족도를 향상 시킬 수 있다.

GIS기반의 정보검색 및 그 결과에 대한 화면예시는 아래 [그림 3-26] ~ [그림 3-27]과 같다.

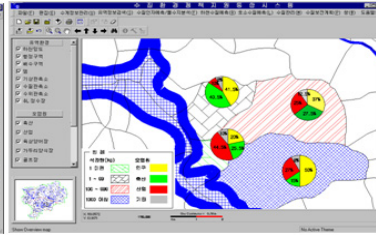


[그림 3-26] 물통합 정보 웹시스템 예시 화면

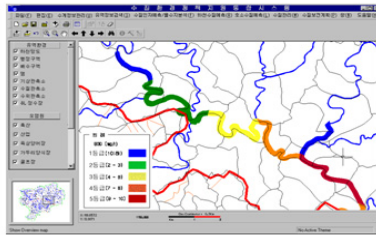
하천구간별
수질조치



행정구역별
오염원
기여도 조회



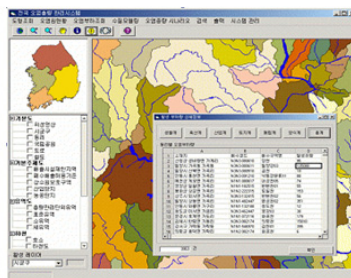
하천구간별
수질 예측
결과 조회



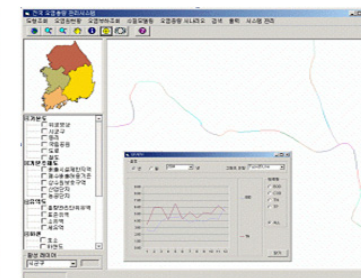
수질모형의
보정 및 검증



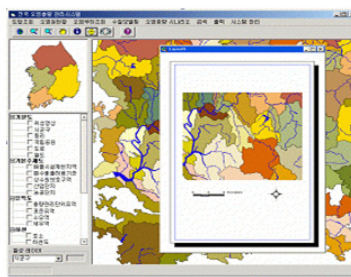
오염부하량
조회



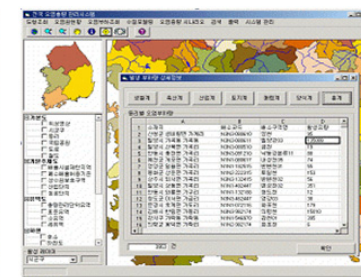
부하량삭감에
따른 수질예측



지도 출력



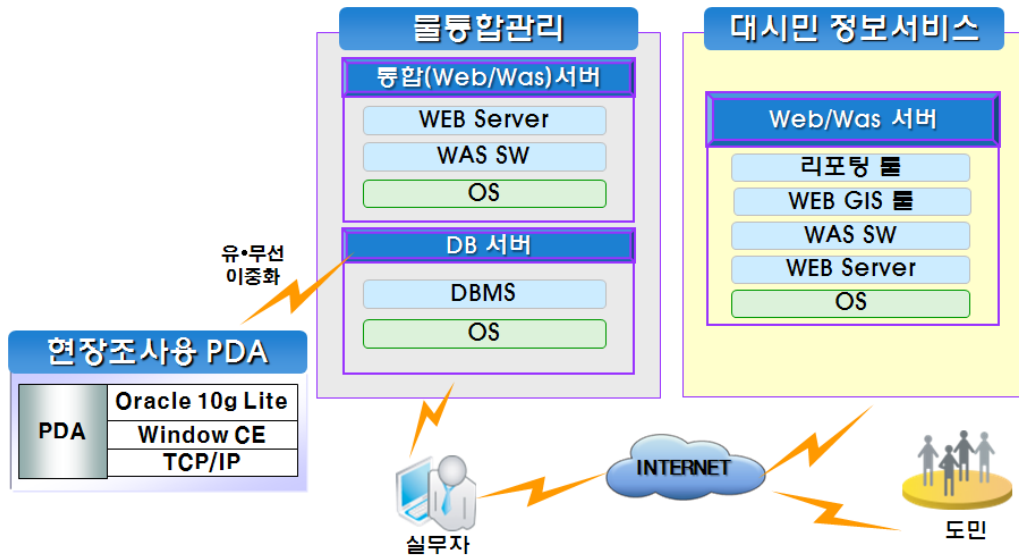
하천구간별
부하량 조회



[그림 3-27] GIS를 이용한 정보검색 결과 화면 예시

바. 소요 하드웨어 및 소프트웨어

물통합관리시스템은 물통합관리 업무 담당자를 대상으로 하는 내부시스템과 대시민 정보공개를 위한 정보서비스 시스템으로 구분되어 운영하여야 한다. 내부시스템에서는 PDA를 통해 현장에서 조사된 자료와 각종 GIS 등 DB를 탑재할 수 있는 DB서버가 필요하며 GIS기반의 각종 정보서비스는 통합 웹서버를 통해 제공하는 것이 바람직하다. 대시민 정보서비스를 위해서는 별도의 웹서버를 도입하고 다양한 통계정보 서비스가 가능토록 웹리포팅 툴을 도입하는 것이 필요하다. 이를 통해 여러 형식의 표나 그래프 기반의 물통합 정보 및 웹 GIS를 통한 위치검색 기능 제공이 가능할 것이다(그림 3-28).



[그림 3-28] H/W 및 S/W 구성도

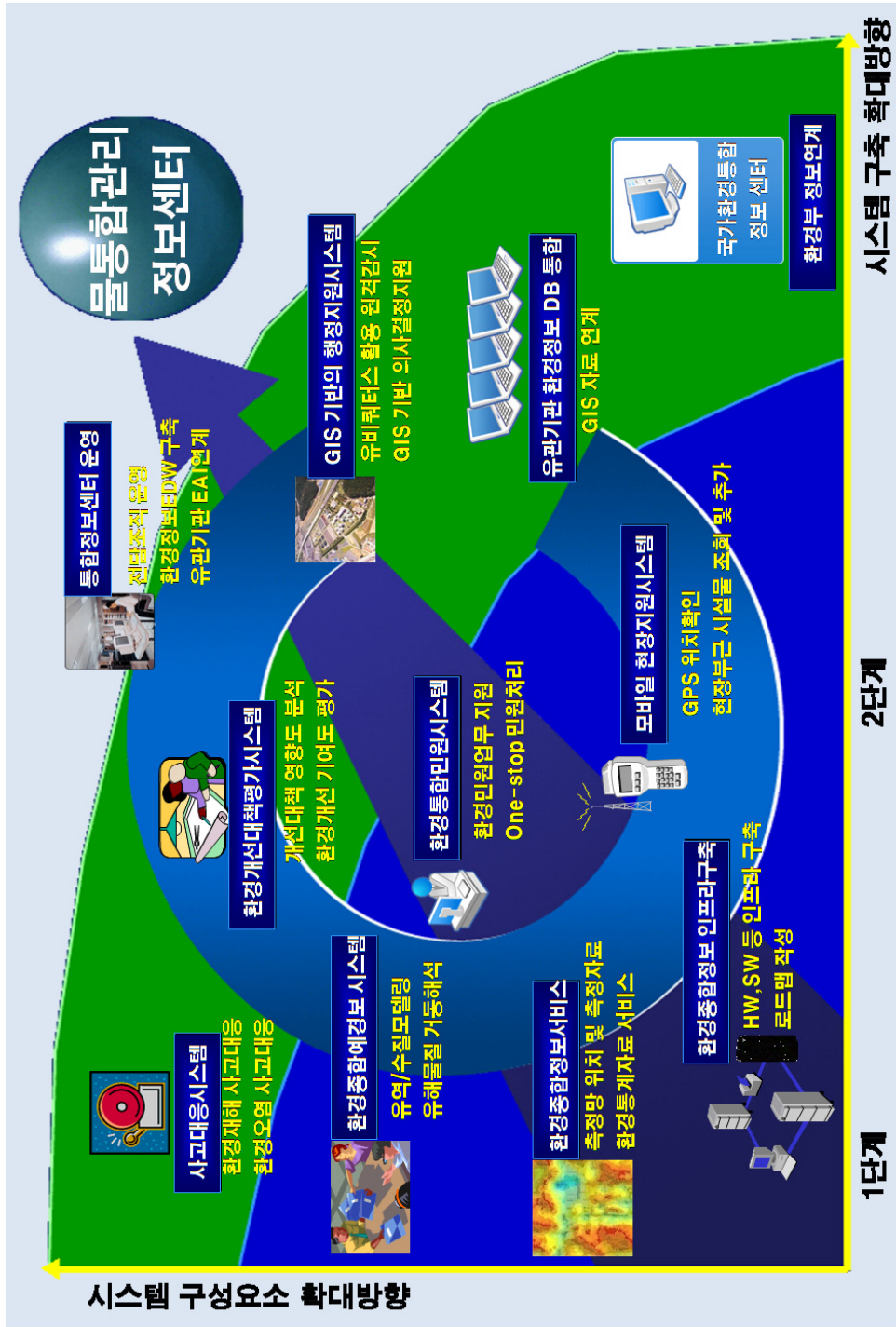
사. 기타 고려사항 및 향후시스템 발전방향

물통합관리시스템은 향후 구축될 필요가 있는 물통합센터에서 운영하는 것이 바람직하며 운영에 필요한 적절한 자원(인력, 장비 등)과 운영조직체계를 갖출 필요가 있다. 시군의 오염원정보와 같이 물통합관리에서 핵심적인 자료들은 지속적인 현행화가 가능토록 기능을 구

현하고 단순히 정보의 입력에만 그치는 것이 아니라 시군 담당자들도 입력된 자료를 손쉽게 활용할 수 있는 수단을 제공하여야 할 것이다. 특히, 충청남도의 많은 시군은 수질오염총량관리 의무지역이므로 이에 대한 업무지원이 가능하도록 하는 것은 물통합관리시스템의 활용도를 높이는데 필수적인 요소이다. 또한, 물통합관리시스템의 활성화 및 통합센터의 원활한 운영을 위해서는 하천의 수량 및 수질에 대한 주기적인 조사와 새로운 오염원 DB의 관리 및 갱신이 꾸준히 이루어져야 할 것이다.

시군 오염원정보 갱신	• 시군의 업무 담당자가 오염원 기초자료 정보를 물통합관리 시스템에 입력·수정하여 당시 최신의 자료를 유지할 수 있는 기능 및 환경부 보고용 오염원 기초자료 검색 및 추출 기능 개발
웹기반 보고서 작성 지원	• 수질오염정보 웹 시스템에 웹기반의 보고서 작성 틀을 탑재하여 시군 수질관리 업무담당자의 업무를 지원하고, 수질측정자료의 차트, 그래프 기능지원을 통해 다양한 보고서 양식 작성 가능
수질오염총량관리 업무지원	• 수질오염총량관리를 지원하기 위한 행정구역별/소유역별 부하량 산정 결과, 수질모델링 및 수질 개선계획 수립지원, 오염총량관리를 위한 대장작성 업무지원, 목표수질 달성여부 확인 기능 개발
현장조사 업무 지원	• 하천현장조사 결과를 실시간으로 송수신하여 DB로 구축하고, 개인하수시설 점검결과, 오염원 단속을 위한 위치확인 등의 현장업무 지원기능 개발
시스템간 자료 연계 자동화	• 환경부 및 소속 산하기관의 시스템, 행정안전부 시도행정통합정보시스템 등 오픈라인 연계대상 시스템을 자동연계로 변경 • 연계의 안정성과 보안을 위해 EAI나 ETL 등 도입 필요
웹GIS기반의 정보제공	• C/S 기반의 정보제공은 Client 프로그램이 설치된 사용자만 접속이 가능하고 다양한 사용자가 접속하여 시스템의 활용도를 높이기 위해서는 웹GIS 틀을 이용한 정보제공이 필요
운영 인프라 구축	• 물통합관리 시스템의 안정적 운영을 위한 별도의 서버 및 네트워크 체제 구축

[그림 3-29] 물통합관리시스템 구축을 위한 고려사항



[그림 3-30] 물통합관리 정보센터 구축을 위한 발전 방향

2. 단계적 이행방안

가. 이행방안 요약

〈표 3-3〉 GIS와 연계한 물통합관리 사업내용

사 업 명	세부내용	사업비		연차별 투자계획				비고
		총예산	기투자	2008	2009	2010	2011이후	
계	-	32.8	0	4.7	5.7	12.6	12.6	
수계구간별오염 물질 배출특성조사	1회/년	0.8	-	0.2	0.2	0.2	0.2	기존 계획
유역별 수량 등 기초조사	25유역	3	-	1.5	1.5			기존 계획
충청남도 물통합관리시스템 구축	물통합DB 구축	6	-	3.0	3.0			기존 계획
	지번도 기반 부하량 산정	3	-		1.0	2.0		신규
	PDA 현장조사	5	-			3.0	2.0	신규
	GIS 기반 유역 모델링	3	-			3.0		신규
물통합센터 구축	오염총량 관리 지원시스템	6	-			3.0	3.0	신규
	상수원 오염 사고대응 시스템	6	-				6.0	신규
	센터 운영					1.4	1.4	신규

나. 세부 사업내용

1) 수계구간별 오염물질 배출특성조사

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 수계구간별 오염물질 배출특성에 따른 분류 및 분석 - 오염물질 배출특성 분석을 통한 삭감시설 설치 및 대안마련 	
프로젝트 기간: 매년	프로젝트 비용: 80,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 수질오염원 배출특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 오염하천 오염원 현지조사 및 분석 - 25개 유역 대상(금강수계 9개, 그 외 유역 16개) • 하천구간별 개선대책 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 수계별 유량 등 기초조사 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 수질오염 중점관리 대상지역의 확인 • 현장조사 정보에 의한 오염원 관리 • 현실적인 하천관리 방안 수립 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 오염원에 대한 사전분류 • 오염원 위치정보 확인 	

2) 유역별 수량 등 기초조사

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 유역별 유량, 수질 등 하천 기초조사 - 정기적인 유역특성 조사로 수질보전정책 자료 확보 및 제공 	
프로젝트 기간: 2년	프로젝트 비용: 300,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 유량 및 수질 측정 <ul style="list-style-type: none"> - 하천 오염원 현지조사 및 분석 - 25개 유역 대상(금강수계 9개, 그 외 유역 16개) • 유역별 기초자료 조사내용 <ul style="list-style-type: none"> - 수질측정지점, 수위/유량측정 지점, 기상관측지점 등 위치 조사 - 측정지점 별 수질, 수위, 유량 조사 • 유역별 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 하천구간별 수리특성 - 기온, 강수량 등 수문특성 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 하천의 수리/수문 및 수질 특성 파악 • 물통합 DB 구축을 위한 기초자료 확보 • 충청남도 분포 하천의 특성분석 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 표준화된 조사지침 마련 • 현지조사 외에 유관기관 자료 확보 • 정기적인 조사로 자료의 현재성 확보 	

3) 물통합DB 구축

과제내용	- 물통합관리를 위한 수량·수질 및 오염원과 GIS DB 구축	
프로젝트 기간: 2년	프로젝트 비용: 600,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 수리수문 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 강우, 유량 등 수리수문 DB • 지리공간 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 물통합관리를 위한 행정구역도, 지번도, 토양도, 도로망도 등 GIS DB • 오염원 현황 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 인구현황, 축산폐수시설현황, 산업폐수시설 현황 등 오염원 DB • 환경기초시설설치 DB 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 환경기초시설 가동/설치/계획 현황 - 시설별/연도별 예산액, 집행액, 향후 투자계획 자료 • 부하량 DB <ul style="list-style-type: none"> - 각종 오염원의 원단위, 유달률, 발생/배출/유달 부하량 DB • 모델링 관련 DB <ul style="list-style-type: none"> - 점오염원 모델링 관련 DB 구축 - 비점오염원 모델링 관련 DB 구축 • 수질개선계획 DB <ul style="list-style-type: none"> - 단위유역별 목표수질, 오염원별 삭감부하 할당량, 각 수체별 환경기준 적용 등급 등 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 유역 현황 조사 자료들의 활용성 및 적용성 확보 • 방대한 자료의 효율적인 관리 가능 • 물통합관리를 유역 통합DB 구축 • 위치 기반의 오염원 관리기반 확보 • GIS기반 통합DB를 이용한 과학적인 유역관리 체계 구축 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • GIS DB 구축 시 위치자료와 속성 자료 연계 • 유관기관의 GIS DB 연계 구축 • 지번도를 활용한 오염원 위치확인 • 배출부하량 산정 프로그램 연계성 • 분포형유역 모형 연계성 • 수질예측 모델과의 자료 연계성 • 통합운영시스템과의 연계성 • 최신 DB의 지속적인 수정과 갱신방안 	

4) 지번도 기반 부하량 산정

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 수계오염총량관리기술지침에 따른 각 오염원별 발생 및 배출부하량 산정 - 지번도를 이용한 오염원별 위치정보 활용 	
프로젝트 기간: 2년	프로젝트 비용: 300,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 지번도를 이용한 오염원별 위치정보 확인 <ul style="list-style-type: none"> - 지번도를 이용하여 생활계 및 축산계와 산업계 위치정보 확인 - 오염원의 지번코드 생성 후 지번도와 매핑으로 개별오염원의 위치 파악 • 오염원별 폐수발생유량 산정 • 오염원별 발생 및 배출부하량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 수계오염총량관리기술지침에 따른 오염원별 발생 및 배출부하량 산정 - 오염원의 위치 및 유하거리에 따른 유역별 배출부하량 산정 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 배출부하량 산정과정 단축 • 배출부하량의 효율적인 검증 • 위치에 기반한 오염원 및 오염부하량 정보관리 • 오염원 변화에 따른 수질변화예측을 통한 오염총량관리 실시 • 유하특성을 고려한 유역별 오염부하량 분석 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 충청남도의 유역환경특성 반영 • 지번별 오염원의 오염총량관리 단위 유역, 소유역 정보확인 • 지번도내 하수처리구역 정보 활용 • 사용자에 의한 배출부하량 산정식 변환 • 수량·수질 GIS DB 활용성 • 오염원 GIS DB 활용성 • 분포형유역 모형 연계성 • 수질예측 모델과의 자료 연계성 • 통합운영시스템과의 연계성 	

5) PDA 현장조사

과제내용	- 현장조사시 PDA를 이용한 기존 정보 조회 및 신규 정보 온·오프라인 추가/갱신	
프로젝트 기간: 2년	프로젝트 비용: 500,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 조사자료 입력 및 조회 <ul style="list-style-type: none"> - 현장조사 자료 조회 및 입력 - 목표수질과 비교 - 통계자료 생성 및 조회 - PDA용 기 조사자료 다운 • 보고서 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 보고서 서식 생성 및 조회 - 이행평가 서식 작성 • 데이터오류 검출 및 정도관리 <ul style="list-style-type: none"> - 정도관리 및 오류검출 • 기존 수질측정망 DB 연계 <ul style="list-style-type: none"> - 자동수질측정망 자료 조회 - 목표수질측정망 수질자료와 비교 • 수위측정소 자료 조회 <ul style="list-style-type: none"> - 수위측정소 유량 조회 - 수위측정자료 비교 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 조사의 정확도 유지와 간소화 가능 • 야외조사원 관리 및 조사지점의 효율적 관리 • 전산화된 조사자료의 생성으로 DB 구축비용 및 조사시간 최소화 가능 • 개별정보시스템 활용도 향상 • 지자체 행정 업무지원 제고 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 기능정의 시 현장상황 충분히 고려 • 무선통신 방식 정의 필요 • 업무지원시스템과 연계 	

6) GIS기반 유역 모델링

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - QUAL2E 및 분포형 유역모형에 의한 하천구간별 수질예측 - 오염원 변화에 따른 향후 수질예측 	
프로젝트 기간: 1년	프로젝트 비용: 300,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 하천구간별 수질예측 <ul style="list-style-type: none"> - GIS DB로부터 입력정보 자동 추출 - 수질모의를 위한 입력자료 구축 - QUAL2E에 의한 정적수질예측 - GARAM에 의한 25개 유역의 오염원별 오염기여도 분석 • 오염원 변화에 따른 향후 수질예측 <ul style="list-style-type: none"> - 오염원 변화에 따른 유역구간별 수질 모의 - 오염이 심각한 구간에 대한 오염원별 기여도 분석 • 시나리오별 수질예측 <ul style="list-style-type: none"> - 오염원 관리 시나리오에 따른 수질 변화예측 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 목표지점별 수질초과여부 확인 • GIS에 기반한 분포형 유역모델링에 의한 오염원별 기여도 분석 • 수질예측에 따른 향후 유역관리 방향 제시 • 수질예측 과정의 간소화 • 보다 과학적인 예측 시스템 구축 • 배출부하량 산정의 정확도·정밀도 향상 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 모델링 기간 및 대상구간 사전 정의 • 하천구간별 수리특성자료 확보 • 배출부하량 산정 프로그램과의 연계성 • 수량·수질 GIS DB 활용성 • 오염원 GIS DB 활용성 • 통합운영시스템과의 연계성 	

7) 오염총량관리지원 시스템

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 오염총량관리를 위한 목표수질 관리지점별 유달부하량 산정 - 삭감량 결정 및 이행평가 지원 	
프로젝트 기간: 2년	프로젝트 비용: 600,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 목표수질 관리지점별 유달부하량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 유역별 배출부하량 관리 - 행정구역별 배출부하량 관리 • 삭감량 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 유역별 삭감부하량 평가 - 행정구역별 오염총량할당 • 이행평가 지원 <ul style="list-style-type: none"> - 행정구역별 오염총량달성여부 확인 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 시군별 오염총량관리이행평가 지원 • 목표지점별 삭감부하량 산정 지원 • 행정구역별 오염총량달성여부 확인 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 국립환경과학원 오염총량관리지원시스템과 연계 • 수질·유량 측정 및 현장 상황과의 부합성 • 수질오염총량관리 계획과의 연계성 • 하수도정비계획과의 연계성 • 하천정비계획과의 연계성 • 삭감사업의 달성 가능한 실효성 • 삭감계획 예산 확보 방안 	

8) 상수원 오염사고 대응 시스템

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 상수원 오염물질 유출사고에 따른 수계 오염확산 예측 - 오염방재를 위한 의사결정 지원 및 방재자원 관리 	
프로젝트 기간: 1년	프로젝트 비용: 600,000,000 원(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> • 상수원 오염물질 유출사고에 따른 수계 오염확산 예측 <ul style="list-style-type: none"> - 오염사고 유형분석 - 오염물질특성DB 구축 및 검색 - 오염사고 구간의 3차원 확산 모델링 - 시간별 오염확산 및 피해가능 지역 분석 • 오염방재를 위한 의사결정 지원 및 방재자원 관리 <ul style="list-style-type: none"> - 피해우려지역 도출 - 피해예상지역 인근의 방재자원 정보 확인 - 피해예상지역 인근의 방재자원 정보 확인 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 상수원 오염사고 피해 최소화 • 상수원 오염사고의 신속한 방재 • 방재기관간 협업 • 방재자원의 효율적 활용 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 국립환경과학원의 화학물질사고대응시스템과 연계 • 방재조직의 정보 공유 • 방재조직간 시스템 공동 운영 	

9) 센터 운영

과제내용	<ul style="list-style-type: none"> - 물통합관리를 위한 정보시스템 운영 - 오염총량관리 기술지원 등 	
운영기간: 2010년 이후 매년	운영비용: 140,000,000 원/년(VAT 포함)	
주요과업	기대효과/고려사항	
<ul style="list-style-type: none"> ● 시스템 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 물통합DB 등 현행화 - 유역관리 모델링 수행 ● 하천조사 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 오염원 조사 - 유량·수질 조사 ● 하천관리 대안마련 <ul style="list-style-type: none"> - 오염관리 중점대상 하천 선정 - 오염부하량 변화예측 - 하천특성별 수질관리 방안 제시 	<p><u>기대효과</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 하천전문 인력에 의한 물통합관리 ● 과학적인 하천관리 ● 물통합관리의 지속적인 실현 <p><u>고려사항</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 물통합관리 전문인력 확보 ● 충남발전연구원과 지식 공유 ● 시민의 지속적인 참여 유도 	

제4장 결론 및 제언

제4장 요약

본 연구를 통하여 GIS를 활용한 물통합관리 방안에 대하여 검토하여 수질 및 유량 관측자료와 오염원 정보를 DB화함으로써 구역내의 오염원의 체계적인 관리를 위한 청사진을 제시하였다. 또한 수질오염총량관리에 효율적으로 활용이 가능하도록 GIS 기반의 유역자료를 구축하고 유역관리의 목표달성을 체계적으로 관리 할 수 있는 물통합관리 시스템을 제시하였다. 이러한 시스템의 구축이 가능한 기술력을 갖추고 있는 전문가와 전문조직을 바탕으로 충청남도에 적합한 물통합관리 도구를 마련한다면 도정 주요사업에 대한 계획기능을 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 요약 및 결론

본 연구에서는 지자체 최초로 물 통합 관리본부를 운영하고 있는 충청남도에서 필요로 하는 수질 및 유량 등에 관한 방대한 자료의 효율적인 관리를 위해 GIS를 활용한 물통합관리 방안 에 대해 검토하였다. 특히 관리본부에서는 팀을 하천팀과 호소팀, 상수도팀과 하수도팀으로 구분하고 「물 통합관리 세부실천계획」을 수립하여 “건강한 자연환경”을 조기에 달성하기 위한 노력을 경주하고 있다. 이런 시점에서 각 팀별 사업의 추진근거를 확보하고 물통합관리 및 수질오염총량관리제의 운영에 중요한 기초자료로의 활용이 가능하고 도정 주요사업에 대한 계획기능을 강화할 수 있도록 GIS기반 물통합관리시스템의 구축을 중심으로 그 기능과 필요한 정보 및 소요예산에 대해 검토해 보았다.

GIS기반 물통합관리시스템의 구축과정에는 기존의 수질 및 유량 관측자료와 오염원 정보의 DB화가 포함되며 이는 결국 구역내의 오염원 현황의 체계적인 관리가 가능하도록 기반을 마련하는 것이다. 또한, 유역 및 수질관리를 위한 GIS DB를 정의하고 GIS기반의 수질 및 유량 등 기초자료 관리시스템을 구축함으로써 수계오염총량관리를 위한 오염원별 오염부하량의 산

정과 이행계획 수립시 부하량 자료 검토가 가능할 것이며 각 목표지점에서의 목표수질 달성여부를 과학적으로 확인할 수 있는 체계를 구축해야 한다. 이와 더불어 물통합관리에 필요한 각종 정보들에 대해 대국민 수질통합정보 서비스를 제공함으로써 도민의 알권리를 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 정책제언

외국의 경우 기존의 방대한 Database를 활용하여 Desktop이나 UNIX platform에서 GIS를 기반으로 통합한 형태의 SPUR, ANSWERS, AGNPS, HSPF, SWAT, BASINS 등의 결과물이 다양하다. 그런데, 국내의 경우는 주로 Desktop GIS를 기반으로 환경 관련 모형을 데이터베이스(DB)와 연계시키고 그래픽 사용자 인터페이스(GUI) 등을 통하여 구현하는 방법을 주로 시도하고 있다. 하지만 이를 통해 구축한 정보시스템을 통하여 수질관리를 하기에는 GIS 형태 및 일반 데이터베이스 형태로 구축되어 있는 수질모형 및 관리 대안 수립을 위한 정보의 양적, 질적 수준이 현저히 낮아 외형적인 GUI는 갖추어져 있으나 실질적인 유역 차원의 수질관리 대안을 제시하는 기능 구현은 되고 있지 않다.

특히, 인구가 조밀하게 분포하고 있고 토지이용형태가 편이한 국내 여건상 수질관리를 위한 유역의 크기가 미국 등 외국과는 달라야 하며 이에 따라 구비되어야 할 자료의 수준 또한 달라야 한다. 이러한 점에서 현재 국내 기술 수준은 수질관리에 필요한 각종 속성DB 및 GIS DB를 구축할 수 있는 능력은 갖추었다고 할 수 있으나 이들 DB를 효과적으로 활용할 수 있는 GIS 기반 유역모델링 및 수질정책수립지원 기능을 구현하는 부분에서는 전문가의 노하우가 절대적으로 필요하다. 무엇보다도 우리 여건에 맞는 효율적인 수질관리 및 GIS기반 정보서비스 체계의 구성 및 활용을 위하여 어떠한 내용들이 어떠한 양적, 질적 수준으로 데이터베이스를 채워야 하는 지에 대한 충분한 이해를 바탕으로 관련 자료를 확보하고 미확보시에는 이를 대체할 수 있는 방안을 함께 제시할 수 있어야 한다.

앞서 살펴본 국내의 연구개발 사례들의 경우, 수질종합관리 대책 수립부문에서는 대부분 짧은 기간 기존 정보들의 수집에 급급한 나머지 각 정보들에 대한 정확도를 평가하거나 부족한 정보들을 새로이 생성하는 작업에는 매우 제한적이었다. 뿐만 아니라, 각종 행정관련 DB의 양

식이나 그 내용이 표준화되어 있지 못해 이를 적절한 형태로 가공하는 데 많은 애로가 있고 결과적으로 연구의 질이 저하되는 결과를 초래하기도 했다. 또한, 대상지역이 광범위하여 소하천의 유출 및 수질변화 특성을 설명하기 위한 구체적인 정보 - 토지이용의 지역적 분포, 각종 오염원의 위치 그리고 토양 및 임상정보 등 - 의 부족으로 소하천에 대한 관리방안 수립에 제한이 많았다. 그 외에 비점오염원의 유출특성과 그 부하량의 시기별 변화 등이 고려되지 않아 점 및 비점 오염원을 포함하고 수질 및 수량을 통합적으로 관리할 수 있는 물통합관리 시스템으로 인정하기가 어렵다.

지리정보체계에 기반한 통합모형의 구축을 위해서 필요한 기술로는 수질 모니터링, 수문 및 수질 모델링 등 수질 관리와 직접적인 관련 있는 과학 분야들에 대한 기술들과 이를 통합 정보 시스템으로 구축하기 위한 GIS 연계 및 GUI 구현 관련 소프트웨어 개발 부문을 들 수 있다. 특히, 수질 관리와 직접적인 관련이 있는 수질 모니터링 및 모델링 분야의 기술은 수질의 현황 및 인과관계를 분석할 수 있는 연구와 관련해서 발전하였다. 초기에는 외국의 기술을 국내에 적용하여 대안을 찾는 연구가 주로 행해졌으나, 최근에는 국내에서 실질적으로 활용 가능한 연구가 중심이 되고 있다. 특히 수질 관리를 유역 차원에서 접근하여 점오염원 이외에 비점오염원을 모형 등에서 고려하기 위한 시도들이 다양하게 이루어지고 있으며 이와 더불어 GIS를 기반으로 하는 통합 체계에 대한 요구도 증폭되고 있다.

이러한 상황에서 국내의 기술수준을 외국과 비교해본다면 물 관련 정보를 GIS 데이터베이스 기반으로 구축할 수 있는 관련 정보기술력은 충분히 확보된 상태라고 할 수 있다. 더불어 수질 관리를 GIS 기반의 통합 정보시스템으로 구현하는데 필요한 GIS, 원격탐사, 클라이언트/서버 데이터베이스, 사용자 인터페이스 등의 정보기술은 현재 시스템통합 분야에서는 보편화되어 있다. 이와 같은 여건을 고려해 볼 때 정보, 기술적인 문제보다는 이 기술들을 활용하는데 필요한 적합한 정보를 양적, 질적으로 구축하는 것이 중요하다. 따라서 자료 생산에서부터 수질 모델링과 GIS의 연계를 원활히 할 수 있는 현실적인 체계를 다양한 과학 및 정보기술을 정돈하고 통합하여 구체적으로 제시할 수 있는 설계 및 관리 기술을 확보한 전문기관 및 전문업체와의 협업을 통해 지리정보체계에 기반한 물통합관리시스템의 개발을 진행하는 것이 반드시 필요한 상황이다. 이를 통해, 충청남도에 적합한 물통합관리 도구를 마련하고 도정 주요 사업에 대한 계획기능을 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 연구의 한계

본 연구에서는 생활계, 축산계, 산업계, 환경기초시설, 토지계 등에 대한 지번도와 연계한 오염원의 위치를 기반으로 지번단위의 부하량 산정과 이를 GIS 기반의 정보시스템을 통해 하천관리 및 물통합관리가 가능토록 하기 위한 접근 방안에 대해 제시하였다. 하지만, 구체적으로 충청남도에서 보유하고 있는 각종 정보를 실제로 확인하지 않고 필요한 정보를 중심으로 관련DB를 구축하거나 연계하는 방안을 제시한 것으로 보유정보의 유무에 따라 해당 정보를 신규로 제작하여야 하는 경우도 발생할 수 있다.

참고문헌

1. 강금석, 1995, 지리정보시스템을 결합한 SWMM, 서울대학교 석사학위 논문.
2. 국립환경과학원, 2007, 제2단계 수계오염총량관리기술지침.
3. 경기도, 경기도 하천수질개선대책연구용역, 2004.
4. 김계현, Stephen S. Ventura, 1993, GIS를 이용한 도심지 NON POINT SOURCE 오염물질 평가 연구, 한국 GIS학회지, 제 1 권 제 1 호.
5. 김상욱, 1995, 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
6. 김성근, 1993, DAM유역의 오염부하량유달율에 관한 고찰, 영남대학교 석사학위논문.
7. 김성준, 1996, 농촌소유역 하천수질관리를 위한 GIS 응용, The Journal of GIS Association of Korea, Vol.4, No.2, pp.147-157.
8. 김승찬, 1995, 대청호 유입 오염부하량 산정, 충북대학교 석사학위논문.
9. 김윤중 외 4인, 1994, 금강유역 토양유실 분석을 위한 GIS 응용연구, The Journal of GIS Association of Korea, Vol.2, No.2, pp. 165-174.
10. 김윤중, 유일현, 김원형, 류주형, 이영훈, 민경덕, 1995, GIS를 이용한 충주호주변의 비점원 오염분석 연구, The Journal of GIS Association of Korea, 3(1): 1-18.
11. 김정현, 1991, 수질관리, 동화기술.
12. 김진택, 1995, 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원 정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
13. 김지훈, 1998, 지리정보시스템을 이용한 SWAT/GRASS 모형의 적용, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
14. 문경환, 1992, 경안천 수질 및 오염부하 유출특성에 관한 연구, 서울대학교 보건대학원 석사학위논문.
15. 박석순, 1993, 하천모델의 원리와 활용방법(STREAM, STRESS 모형 이론과 메뉴얼).
16. 성기준, 1993, 하천수질모형의 비교·분석에 관한 연구- AUTO-QUAL, QUAL2E, WASP4를 대상으로 -, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
17. 송교욱, 1992, 낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문.

18. 송동하, 1993, 비용최소화 기법에 의한 하천의 수질관리 방안연구-한강본류구간을 대상으로-, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
19. 송동하, 1999, 일일 오염 부하량 예측을 위한 분포형 유역모형 개발, 서울대학교 박사학위논문.
20. 송동하, 이도원. 2003. 통권9호(3.4월). 통합유역관리를 위하여. UNEP. pp. 12~ 13.
21. 연상호, 1990, 리모트센싱과 GIS의 통합 및 그 적용기법에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.
22. 우창호, 황국웅, 1996, GIS를 이용한 대규모 단지 개발지의 토양유실량 추정을 위한 USLE의 인자값 결정과 적용 방법에 관한 연구-목표시 부주산을 대상으로-, 한국조경학회지, Vol.24, No.3, pp.115-132.
23. 윤성희, 1996, 수질에 영향을 미치는 유역인자에 대한 통계분석법과 GIS를 이용한 분석 - 한강유역을 대상으로 -, 서울대학교 석사학위논문.
24. 이범희, 1998, 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
25. 이수길, 1991, 농촌에서의 비점오염물질이 하천 수질에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
26. 이연선 외 11, 1991, 한강 유역을 중심으로 한 환경관리 기술 개발(I)-하천관리 기술 개발을 위한 배출 및 유달계수 산정을 중심으로-, 국립환경연구원.
27. 이요상, 1996, GIS를 이용한 저수지 유역의 오염부하 산정 시스템 개발, 충북대학교 박사학위논문.
28. 장정렬, 1994, 농촌유역 수질관리모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
29. 정동일 외, 1990, 수질환경기준 달성 최적화 방안에 관한 연구(II), 국립환경연구원 보,제 12 권.
30. 정우혁, 2007, 모래캡핑(Capping)과 영가철(Fe_0)을 이용한 오염퇴적물 복원에 관한 연구, 한남대학교, 석사학위논문.
31. 한국 환경과학 연구 협의회, 1991, 영양염류 원단위 산정에 관한 연구.
32. 우효섭 등, 1995, 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용, 한국수자원공사.
33. 최지룡, 1995, 비점오염원 조사연구사업, 한국환경기술개발원.
34. 홍대벽, 1995, 시화호의 환경특성과 동적모형에 의한 수질관리방안에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문.

35. 홍성구, 1989, 농경지로부터의 오염물질 유출부하특성 - TKN 및 TP를 중심으로 -, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
36. 환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업-2차중간보고서.
37. 환경부, 1995, 수질정보 종합관리 시스템 개발-수역 수질관리를 위한 수질예측 모형과 의사결정 지원시스템 개발에 관한 연구.
38. Arnold, J. G., 1992, Spatial Scale Variability in Model Development and Parameterization: Ph. D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN. 183p.
39. Arnold, J.G., J.R. Williams, A.D. Nicks, and N.B. Sammons. 1990. SWRRB, a basin scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M University Press, College Station, TX.
40. Benaman, J., N.E. Armstrong and D.R. Maidment, 1996, Modeling of Dissolved Oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and Geographic Information Systems, Center for Research in Water Resources, Austin, TX 78712-4497.
41. Bicknell, B.R., J.C. Imhoff, J.L. Kittle, Jr., A.S. Donigan, and R.C. Johanson. 1993, Hydrologic Simulation Program-FORTRAN (HSPF): Users Manual for Release 10. Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
42. Donigan, A.S. Jr. and W.C. Huber, 1991, Modeling of Nonpoint Source Water Quality in Urban and Non-urban Areas, EPA/600/3-91/039, Environmental Research Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA.
43. Goodchild, M.F., B.O. Parks and L.T. Steyaert, Environmental modeling with GIS, ESRI.
44. Jorgensen, S.E. , 1994, Fundamentals of Ecological Modelling (2nd Ed.), Elsevier Science Publishing Company Inc.
45. Jorgensen, S.E., 1995, State-of-the-art management models for lakes and reservoirs, Lakes & Reservoirs and Management, Vol. 1, 79-87
46. McDonnell, J., H. Green, B. Hill, T. McShea, B. McGlynn, S. Wechsler, 1996a, Evaluation of Nonpoint Source Removal by Best Management Practices, Annual Report, October 1, 1995 to January 1, 1996, State University of New York Research Foundation.
47. McDonnell, J.J., J.B. Stribling, L.R. Neville, D.J. Leopold (eds), 1996, Watershed Restoration Management-Physical, Chemical, and Biological Considerations-, American Water Resources Association, Syracuse, New York.

48. Novotny, V. and H. Olem, 1994, *Water Quality - Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
49. Park, S.S., and C.G. Uchrin, 1990, *Water Quality Modeling Study of the Matchaponx Brook(NJ, USA): Application of QUAL2E Model*, Kor. J. Lim., 23(2); 85-98.
50. Quenzer, Ann Marie, 1998, *A GIS Assessment of the Total Loads and Water Quality in the Corpus Christi Bay System*, Center for Research in Water Resources, Austin, TX 78712-4497.
51. Rewerts, C. C. and B. A. Engel, 1991, *ANSWERS on GRASS: Integrating a Watershed Simulation with a GIS*: American Society of Agricultural Engineers Paper 91-2621, ASAE, St. Joseph, MI.
52. Ronald, J. Eastman, 1993, *IDRISI Manual Version 4.1*, Clark University Graduate School of Geography.
53. Srinivasan, R., 1992, *Spatial Decision Support System for Assessing Agricultural Non-Point Source Pollution Using GIS*: Ph. D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN, 224p.
54. Srinivasan,R. & Engel,B.A., 1994,*A Spatial Decision Support System for Assessing Agricultural Nonpoint Source Pollution*. *Water Resources Bulletins* AWRA. Vol30(3).p441-452
55. Srinvasan, R., B. W. Byars, and J. G. Arnold, 1996, *SWAT/GRASS Interface Users Manual*, USDA-ARS, Temple, Texas.
56. Tim, U.S. and R. Jolly. 1994. "Evaluating Agricultural Nonpoint-Source Pollution Using Integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality Model." *Journal of Environmental Quality*, 23: 25-35.
57. Udora S. tim and Robert Jolly, 1994, *Evaluating Agricultural non-point source pollution using Integrated Geographic Information Systems and Hydrologies/Water Quality*, *Journal of Environmental Quality*.Vol. 23, January.
58. US EPA, 1991, *Guidance for Water Quality-Based Decisions: The TMDL Process*, EPA 440/4-91-001, Environmental Research Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
59. US EPA, 1993, *Guidance Specifying Management Measures for Sources of Nonpoint Pollution in Coastal Waters*, EPA-840-B-92-002, Environmental Research Lab., U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
60. US EPA, 1996, *TMDL Program Implementation Strategy (Draft)*, Environmental Research Lab., U.S. Environmental Protection Agency.

61. Vieux, B. E., 1991, Geographic information systems and non-point source water quality and quantity modeling, *Hydrol. Resources* 5 : 101-103
62. Vieux, B. E., Needham. S. 1993. Nonpoint pollution model sensitivity to grid-cell size. *Journal of Water Resources Planning and Management* 119:141-157.
63. Wolfe M.L., 1992, GIS-assisted input data set development for the finite element storm hydrograph model (FESHM), *Applied Engineering in Agriculture*, 8(2), pp. 221-227.
64. Zhang, H, C.T. Haan and D.L. Nofziger, 1990, Hydrologic modeling with GIS; An overview, *Applied Engineering in Agriculture*, 6(4), pp. 453-458.

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 이앤위즈(주) 송동하 대표이사
충남발전연구원 수질총량관리센터 이상진 센터장

공동연구 · 충남발전연구원 수질총량관리센터 김영일 전임책임연구원
충남발전연구원 수질총량관리센터 김홍수 전임연구원
충남발전연구원 수질총량관리센터 정우혁 전임연구원

기획연구 2008-16 · GIS와 연계한 충청남도 물통합관리 방안

글쓴이 · 송동하, 이상진 외 3인 / 발행자 · 김용웅 / 발행처 · 충남발전연구원
인쇄 · 2008년 12월 31일 / 발행 · 2008년 12월 31일
주소 · 충청남도 공주시 금홍동 101 (314-140)
전화 · 041-840-1201(직통) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1219
ISBN · 978-89-6124-078-9 93500

<http://www.cdi.re.kr>

©2008. 충남발전연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.
무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 이 연구는 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.