

기본연구 2008-20

GIS를 이용한 유역별 수질오염물질 배출부하량 배분방법 사례연구

- 병천천수계를 중심으로 -

오혜정 · 송동하 · 김재훈

발 간 사

물은 인간의 생활을 위하여 절대적으로 필요할 뿐만 아니라 지구상에 존재하는 모든 동·식물의 생존을 위해 필수적이다. 그러나 오늘날 산업발달과 급속한 인구증가로 많은 물이 사용된 후 수질오염으로 이어져 이용가능한 물의 양은 점점 부족해지고 있는 반면, 생활수준 향상에 따른 물 사용량의 증가와 보다 깨끗한 물 수급의 욕구는 지속적으로 증대하고 있는 실정이다.

공공수역의 수질관리를 위하여 그간 추진된 사후처리 개념에 근거한 배출농도의 단편적인 규제방식은 수질개선의 한계점에 있기 때문에 하천의 환경용량 범위 내에서 오염물질부하량을 관리하는 수질총량관리제를 실시하는 단계에 이르렀다. 수질오염총량관리제는 배출부하량을 관리하는 제도로 산정된 배출부하량을 토대로 목표수질을 달성할 수 있는 유역별 환경용량이 결정되며, 이에 따라 삭감부하량 산정 즉, 삭감시설계획이 고려된다. 그러므로 하천의 효율적인 수질관리 뿐만 아니라 삭감효율성을 고려한 삭감방안 마련 등 제도의 합리적인 정착 및 시행을 위해 정확한 배출부하량 산정은 필수라고 할 수 있다.

수질총량관리제는 수계구간별로 이수목적과 생태적인 건전성을 고려하여 목표수질을 설정하고, 배출하는 오염물질의 총량을 허용부하량 이하가 되도록 관리하는 제도이다. 이러한 수질총량관리제를 도입함에 있어 사회·경제적인 여건의 미비로 그간 도입이 미루어져 오다가 한강수계의 경우 임의제로, 낙동강·금강·영산강수계는 의무제로 시행하는 특별법을 제정·공포하여 시행하고 있다.

그러나 현재의 배출부하량 산정에 있어 많은 시행착오를 겪고있는 실정이며 특히, 소유역별 배출부하량 산정시 행정구역별 배출부하량을 단순히 토지면적비에 의해 배분하고 있어 오염원이 특별히 존재하지 않는 소유역이라 할지라도 삭감을 해야하는 대상유역으로 나타나고 있

어 삭감시설을 계획함에 있어 과도한 재정투자 및 과학적인 환경용량 산정에의 문제 등 다소 문제점이 발생하고 있다.

이러한 시점에서 하천관리의 기준이 되는 기준유량 시점의 배출부하량 산정방법 및 유역별 부하량 배분기법, 그 외에 배출부하량 산정시 고려해야 할 사항 등을 연구하여 병천천수계를 대상으로 기술적으로 적용한 것은 시기적으로나 내용적으로 매우 돋보이는 연구결과라 할 수 있다.

끝으로 본 연구를 수행하는 과정에서 많은 자문과 협조를 아끼지 않은 관계 전문가와 현황 조사에 노력한 관계 공무원에게 깊은 감사의 뜻을 표한다. 무엇보다도 여러 가지 어려운 여건에서도 GIS를 이용한 유역별 수질오염물질 부하량 배분기법 연구에 최선을 다한 오혜정 책임 연구원과 함께 연구한 연구진의 노고에 고마움을 전한다. 모쪼록 충남 총량관리 미시행지역의 부하량 산정시 활용 등 유역관리 정책 수립에 있어서 많은 이해와 관련시책 및 후속연구에 유익한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

2008년 12월 31일

충남발전연구원장 김용웅

연구요약

1. 연구 배경 및 목적

수질오염총량관리제는 배출부하량을 관리하는 제도로 산정된 배출부하량을 토대로 목표수질을 달성할 수 있는 유역별 환경용량(허용부하량)이 결정되며, 이에 따라 삭감부하량 산정 즉, 삭감시설계획이 고려된다. 그러므로 하천의 효율적인 수질관리 뿐만 아니라 삭감효율성을 고려한 삭감방안 마련 등 제도의 합리적인 정착 및 시행을 위해 정확한 배출부하량 산정은 필수라고 할 수 있다.

그러나 현재의 배출부하량 산정 결과를 보면 기준유량 시점(現 기본방침 상 BOD₅ 기준 저수기)의 배출부하량이라기 보다는 연평균 개념의 배출부하량을 일괄적으로 산정토록 함으로써 산정값이 과대할 뿐만 아니라 이는 곧 과대한 허용부하량을 할당하는 결과를 초래하고 있는 실정이다. 또한, 소유역별 배출부하량 산정시 행정구역별 배출부하량을 단순히 토지면적비에 의해 배분하고 있어 오염원이 특별히 존재하지 않는 소유역이라 할지라도 삭감을 해야하는 대상유역으로 나타나고 있고, 소유역별 배출부하량이 하천의 수질 및 유달부하량과 상관관계가 적은 경우가 다소 발생하고 있다.

그러므로 하천관리의 기준이 되는 기준유량 시점의 배출부하량 산정방법 및 유역별 부하량 배분기법, 그 외에 배출부하량 산정시 고려해야 할 사항 등이 검토되어야 할 것으로 판단하였다.

2. 주요 연구내용

본 연구에서는 현행 '수계오염총량관리기술지침'의 부하량 산정 및 배분방법의 문제점을 도출하고, GIS 속성 및 공간정보를 활용하여 유역으로부터의 오염원 분포를 고려한 비강우시 배출부하량 산정 및 배분에의 개선방안을 제시하였다. 이를 위하여 병천천수계를 연구대상유역

으로 선정하여 각종 유역환경 자료 및 오염원 자료, GIS 속성 및 공간자료를 구축하였으며, 이를 활용하여 비강우시의 유역별 배출부하량을 산정하였고, 배분방법을 제시하였다. 개선된 방법은 향후 수질오염총량관리제도의 배출부하량 산정 및 허용부하량 산정시 활용 가능할 것으로 판단되며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하기 위하여 비강우시를 기준으로 오염원그룹별로 배출부하량을 배분하였고, 그 결과를 하나의 주제도로 합산하여 최종적인 배출부하량 분포 지도를 완성하였으며, 이를 필요에 따라 단위유역, 소유역 등의 주제도를 이용하여 유역단위의 배출부하량 산정에 활용하였다.

GIS를 이용한 비강우시 배출부하량은 소유역별 점오염원의 배출특성을 잘 나타내고 있으므로, 이를 이용하여 유역특성을 고려한 점오염원의 삭감대책 마련이 가능하다고 판단된다. 따라서 유역별 배출부하량이 비교적 정확하게 정량적인 산정이 가능한 비강우시기를 기준으로 배출부하량, 허용부하량, 삭감부하량을 산정하여 계획을 수립하고, 단계적으로 점오염원의 삭감방안이 없는 유역의 경우를 우선적으로 비점오염원을 포함하여 계획을 수립하는 방안을 고려해 볼 수 있다.

GIS를 이용한 단위면적당 BOD₅ 배출부하량을 소유역별로 비교해보면, 비강우시의 경우 병천A06 소유역이 $6.7\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{일}$ 로 가장 높은 것으로 나타났고, 병천A01 소유역은 $1.2\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{일}$ 로 가장 낮게 나타났다. 따라서 병천A06 소유역의 경우 비교적 점오염원이 밀집한 유역임을 간접적으로 알 수 있다. 또한, 오염원그룹별로 살펴보면, 비강우시의 경우 생활계가 58.0%로 가장 많은 비율을 차지하였다.

단순면적비를 적용하여 배출부하량을 산정했을 경우와 GIS를 이용하여 배출부하량을 산정했을 경우를 비교해보면, 총 BOD₅ 배출부하량이 GIS를 이용했을 경우 더 크게 나타났고, 두 방법에 의한 총 배출부하량 값의 차이는 $107.3\text{kg}/\text{일}$ 로 나타났다. $9,500\text{m}^3/\text{일}$ 용량의 천안병천 공공하수처리시설의 삭감량이 $77.6\text{kg}/\text{일}$ 임을 감안하면 이 차이는 매우 큰 오차를 의미한다. 이처럼 배출부하량의 유역별 배분이 잘못되었을 경우 유역별 허용부하량이 적절히 산정될 수 없으며, 이는 유역별 삭감목표량 산정 및 삭감계획 수립에 영향을 미칠 수 있다. 향후 보다 정확한 오염원 자료가 조사되고 DB관련 시스템이 구축될 경우 좀 더 정확한 유역별 배출부하량을 산정할 수 있을 것이라고 판단된다.

GIS를 이용하여 산정한 배출부하량과 단순면적비를 적용하여 산정한 총 배출부하량의 편차

는 3.3%로 나타났으나, 소유역별로는 4.2%~150.0%까지 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 실제 병천A07 소유역의 경우 토지계 오염원 이외에 별도의 오염원이 존재하지 않으므로 점오염원의 배출부하 특성을 반영하는 비강우시에 큰 오차를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하면 오염원 위치 특성이 매우 잘 반영되고, 결과 값이 현실에 가깝게 개선되는 것으로는 것으로 판단된다.

GIS를 이용한 비강우시 배출부하량과 BOD_5 수질농도, 유량, 유달부하량과의 각각의 상관관계를 살펴보면 배출부하량과 유달부하량과의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났으며, 회귀식의 결정계수(R^2)는 0.81로 신뢰할 만한 수준인 것으로 나타났다. 이처럼 GIS를 이용하여 산정한 유역별 배출부하량 값의 정확성과 신뢰도는 매우 높은 것으로 판단된다. 따라서, 유역별 배출부하량의 보다 정확한 산정을 위해서 GIS를 이용한 배분, 합산 방식은 매우 유용한 것으로 나타났다. 이처럼 본 연구에서 제시한 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하는 방법은 정확하면서 간편하게 산정이 가능하며, GIS 공간분석을 통하여 보다 정확히 어느 지점에서 또는 어느 행정구역의 어떤 오염원으로부터 오염물질이 출발하였는지를 알 수 있다. 산정방법은 오염원그룹별로 각각 모듈화하여 계산하였고, GIS를 기반으로 개발하였기 때문에 대상유역이 변경될 경우에 전체변경이 아닌 유역도 변경만으로도 부하량을 재산정할 수 있어 매우 효율적이라고 할 수 있다.

3. 결론 및 정책 제언

본 연구에서는 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 환경기초시설, 토지계 등에 대한 지번도와 연계한 오염원의 위치를 기반으로 비강우시의 배출부하량을 산정 및 배분하였다. 그러나 생활계의 경우 지번도에 기반한 정확한 위치를 통해 산정한 것이 아니므로 향후 지번의 인구통계조사, 물사용량 등의 정보가 추가된다면 다른 오염원과 마찬가지로 지번단위의 부하량 산정이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 기술지침상의 개인하수처리시설의 경우 부하량 원단위는 가정인구 발생부하원단위나 건축물용도에 따른 영업장 오수발생 표준농도를 획일적으로 사용하고 있어 현실과 다르게 산정이 되는 문제를 야기하기 때문에 개인하수시설을 처리용량에 따라 그룹화하여 실측 조사를 하고, GIS를 이용한 개인하수시설의 설치지점과 처리용량에 대한 정보수집을 한다면 보다 현실적인 배출부하량 산정이 가능할 것으로 판단된다.

관거배출부하량 계산부분에 대하여 살펴보면, 수계오염총량관리기술지침에서는 향후 비점

오염원의 관리를 대비하여 환경기초시설로 유입되는 생활계, 산업계 등의 관거유입부하량을 일단위로 산정한 결과와 환경기초시설의 일단위 운영자료인 관거이송부하량과의 비율을 산정하여 하수관거 등의 이송경로에서의 누출을 계산하도록 하고 있다. 그러나 강우를 고려하여 하수관거에서의 월류를 고려한 물수지를 계산하는 것은 매우 불확실하므로 계산방법을 SWMM 등의 모델을 이용한 산정방법으로 개선하는 것이 필요하다고 판단된다. 이미 이에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으므로 향후 도입여부를 고려해 볼 수 있을 것이며, 관거배출 부하량의 산정방법에 대한 개선 및 추가연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

현 기술지침은 비점오염원의 부하량 산정시 원단위법을 적용함에 따라 시간적 변화와 공간적인 유역의 특성변화를 전혀 고려하고 있지 못하기 때문에, 비점오염원에 대한 부하량 산정의 불확실성을 야기할 수 있다. 또한, 기준유량과 비점부하의 배출특성과의 연계성에 대한 연구자료의 부족 등으로 인해 비점오염부하 삭감량 추정 및 처리효율에 대한 불확실성 등의 문제가 계속적으로 발생할 수 있다. 따라서 비점오염 관련 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 향후 GIS를 이용한 지속적인 자료수집을 통하여 시간적 해석이 가능한 유역모델을 도입하는 방안을 고려해 볼 수 있고, 이를 현 기술지침과 연계하는 방안에 관한 연구가 이루어져야 한다고 판단된다.

우리나라는 현재 진행되고 있는 업종별 배출허용기준의 설정 및 배출허가갱신체제가 정착되기 이전까지는 미국의 NPDES와 유사한 형태로 총량관리제를 통합적 점오염원관리체제로 운영하고, 이 기간 동안 비점오염원 관리제도의 정비 및 현실적으로 적용 가능한 관리기술을 개발하는 방안을 고려해 볼 수 있다고 판단된다.

차 례

발간사

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	3
제2절 연구의 범위 및 방법	4
1. 연구의 범위	4
2. 연구방법	6
3. 용어의 정의	7

제2장 연구동향

제1절 국내·외 수질총량관리의 동향	9
1. 국내수질총량관리 시행체계	9
1) 도입배경 및 개념	9
2) 시행절차	10
2. 해외사례	14
1) 미국	14
2) 일본	20
3) 중국	22
3. 국내·외 추진사례 비교	22
제2절 오염부하량 산정 연구동향	25

1. 원단위 산정 관련 연구사례	25
2. 부하량 산정 관련 연구사례	26
1) 집중형 방식에 의한 접근	26
2) 분포형 방식에 의한 접근	28
3) 지리정보체계의 활용	29
3. 수질오염총량관리 방안 관련 연구사례	35

제3장 연구대상지역의 물환경 현황

제1절 유역의 일반특성	37
제2절 하천의 수질 및 유량 현황	42
1. 측정지점 현황	42
2. 측정결과	44
1) 측정지점별 수질	44
2) 측정지점별 유량	46
제3절 수질오염원 현황	48
1. 생활계 오염원	49
1) 인구현황	49
2) 생활계 사용유량	50
2. 축산계 오염원	52
3. 산업계 오염원	52
4. 양식계 오염원	54
5. 매립계 오염원	55
6. 토지계 오염원	56
제4절 환경기초시설 현황	57

제4장 수질오염물질부하량의 산정

제1절 발생부하량	60
1. 산정방법	60

1) 생활계	60
2) 축산계	61
3) 산업계	61
4) 양식계	61
5) 매립계	62
6) 토지계	62
2. 산정결과	63
1) BOD ₅	64
2) TN	66
3) TP	67
제2절 배출부하량	68
1. 산정방법	68
1) 생활계	68
2) 축산계	69
3) 산업계	69
4) 양식계	70
5) 매립계	70
6) 토지계	70
2. 산정결과	70
1) BOD ₅	72
2) TN	73
3) TP	75
제3절 기존 오염부하량 산정방법의 문제점	76
1. 유역별 오염원 및 부하량 배분	76
2. 토지계 부하량	79
3. 축산계 비점배출부하량	81
4. 기타	82

제5장 유역별 부하량 산정의 개선방법 및 적용

제1절 유역별 부하량 산정의 개선방법	85
----------------------------	----

1. 입력자료의 구축	85
1) 공간정보자료의 작성	85
2) 속성자료의 구축	91
2. 유역별 배출부하량 배분방법	94
1) 부하량 산정에의 기준시점	95
2) 위치기반 오염원정보 구축방법	97
3) 유역별 오염원그룹별 배출부하량 배분방법	98
제2절 연구대상지역에의 적용	107
1. 유역별 배출부하량	107
1) 그룹별 배출부하량	109
2. 개선 전·후의 비교 및 분석	112

제6장 결론 및 제언

1. 요약 및 결론	117
2. 정책제언	119

참고문헌	121
------------	-----

표 차 례

<표 2-1> 한국, 미국, 일본의 총량관리제도의 비교	24
<표 2-2> 수질 및 유량예측을 위한 GIS 적용 유역모델 사례	33
<표 3-1> 연구대상지역의 행정구역 현황	38
<표 3-2> 연구대상지역의 지방2급하천 현황	39
<표 3-3> 연구대상지역의 해당 단위유역 행정구역 점유율	40
<표 3-4> 연구대상지역의 읍·면별 소유역 점유율	41
<표 3-5> 수질 및 유량 측정지점 현황	44
<표 3-6> 소유역별 인구현황	50
<표 3-7> 소유역별 물사용유량	51
<표 3-8> 행정구역별 축산현황	52
<표 3-9> 읍·면별 폐수발생량 및 방류량	53
<표 3-10> 폐수처리유형 현황	54
<표 3-11> 양식시설 종류별 시설면적 및 사료사용량	55
<표 3-12> 매립시설 현황	55
<표 3-13> 행정구역별 토지현황	56
<표 3-14> 소유역별 토지지목현황	57
<표 3-15> 환경기초시설 현황	58
<표 3-16> 환경기초시설의 유량 및 수질	59
<표 4-1> 가정인구 발생부하원단위 및 영업인구의 오수발생농도원단위	60
<표 4-2> 축산계 발생부하원단위	61
<표 4-3> 양식시설 발생부하원단위	62
<표 4-4> 토지계 지목별 연평균발생부하원단위	62
<표 4-5> 그룹별 BOD ₅ 발생부하량	65
<표 4-6> 그룹별 TN 발생부하량	66
<표 4-7> 그룹별 TP 발생부하량	67
<표 4-8> 그룹별 BOD ₅ 배출부하량	73

<표 4-9> 그룹별 TN 배출부하량	74
<표 4-10> 그룹별 TP 배출부하량	75
<표 4-11> 연구대상지역의 리별 중복 소유역 현황	78
<표 5-1> 연구대상지역의 GIS data	86
<표 5-2> 고도 및 지형정보의 활용분야	88
<표 5-3> 연구대상지역의 속성자료	92
<표 5-4> 공공하수처리시설의 방류유량 및 수질	93
<표 5-5> 비강우시 개선 전·후 BOD ₅ 배출부하량 비교	113
<표 5-6> 비강우시 개선 전·후 BOD ₅ 배출부하량의 비교편차	114
<표 5-7> 유달률의 비교	116

그림 차례

[그림 1-1] 연구대상지역	5
[그림 1-2] 연구수행 체계도	7
[그림 2-1] 제1차 총량관리계획기간의 수질총량관리 목표수질	12
[그림 2-2] 우리나라 수질총량관리제 시행체계	13
[그림 2-3] 오염수계 지정과정	15
[그림 2-4] TMDL의 허용부하량 할당 및 수질 관리 대안의 수립과 평가단계	17
[그림 3-1] 연구대상지역의 수계도	38
[그림 3-2] 연구대상지역의 하천모식도	39
[그림 3-3] 연구대상지역의 소유역도	42
[그림 3-4] 하천의 수질 및 유량 측정지점	43
[그림 3-5] 병천천수계의 하천별 수질변화	45
[그림 3-6] 병천천수계의 하천별 유량변화	47
[그림 3-7] 행정구역별 인구현황	49
[그림 3-8] 행정구역별 생활계 사용유량	50
[그림 4-1] 유역별 발생부하 비율	63
[그림 4-2] 단위면적당 유역별 발생부하량	64
[그림 4-3] 오염원별 발생부하 비율	64
[그림 4-4] 유역별 배출부하 비율	71
[그림 4-5] 단위면적당 유역별 배출부하량	71
[그림 4-6] 오염원그룹별 배출부하 비율	72
[그림 4-7] 현 지침상 소유역별 배출부하량 산정과정	76
[그림 4-8] 연구대상지역의 리경계도	77
[그림 4-9] 연간 배출부하량 배출특성	80
[그림 4-10] 부하량 산정 기준시점에 따른 할당부하량 및 삭감부하량 특성	82
[그림 5-1] 연구대상지역의 토지이용현황도	87
[그림 5-2] 연구대상지역의 DEM	89

[그림 5-3] 연구대상지역의 편집지적도	90
[그림 5-4] 하수처리구역 및 시설물도	91
[그림 5-5] GIS를 이용한 지번별 배출부하량 산정절차	94
[그림 5-6] 주소정제를 통한 지번코드 생성과정	97
[그림 5-7] GIS를 이용한 지번도와 오염원 속성자료의 결합	98
[그림 5-8] GIS를 이용한 지번도와 오염원 속성자료의 결합	99
[그림 5-9] 오염원 정보를 Coverage로 변환한 모습	100
[그림 5-10] 오염원 정보 Coverage를 Grid로 변환한 모습	100
[그림 5-11] 각 격자별로 오염부하량을 배분하는 모습	101
[그림 5-12] 축산계 오염원 위치도	102
[그림 5-13] 산업계 오염원 위치도	103
[그림 5-14] 연구대상지역의 '수계오염총량기술지침'상의 토지유형별 토지이용도	104
[그림 5-15] 매립계 오염원 위치도	105
[그림 5-16] 환경기초시설 위치도	106
[그림 5-17] GIS를 이용한 BOD5 배출부하량 산정절차	107
[그림 5-18] 비강우시 소유역별 BOD5 배출부하량	108
[그림 5-19] GIS를 이용한 비강우시 단위면적당 BOD5 배출부하량	109
[그림 5-20] 생활계 BOD5 배출부하량	110
[그림 5-21] 산업계 BOD5 배출부하량	110
[그림 5-22] 축산계 BOD5 배출부하량	111
[그림 5-23] 토지계 BOD5 배출부하량	111
[그림 5-24] 환경기초시설에 의한 BOD5 배출부하량	112
[그림 5-25] BOD5 수질농도, 유달부하량, 유량의 BOD5 배출부하량과의 상관관계	115

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

오늘날 급속한 경제성장으로 인하여 물 수요가 급격히 증가하게 되었으며, 생활수준의 향상에 따라 보다 더 깨끗한 물 수요에 대한 국민들의 욕구는 지속적으로 증대되고 있는 실정이다. 물은 인간의 생존을 위해 절대적으로 필요할 뿐만 아니라 여가활동과 여러 가지 제품의 생산을 위해서도 매우 중요한 요소이다. 그러나 도시화의 팽창으로 인해 집중적인 오염을 유발하게 되었고 또한 비점오염물질을 증대시켜 물자원의 악화 및 관리를 더욱 어렵게 만들고 있는 실정이다(환경부, 2006). 따라서, 한정된 물을 효율적으로 관리하여 이용가능한 수자원을 다양하게 확보함은 물론, 생태적으로도 건전한 공공수역을 유지하거나 개선할 필요성이 대두되었다(이상진 · 오혜정 · 이은형, 2005).

공공수역인 하천의 수질관리에 있어서 수용할 수 있는 오염물질부하량을 고려하지 않는 현행 농도규제방식은 오염원이 비교적 적은 상류유역에서는 지나치게 엄격한 규제가 되고, 오염원이 과도하게 밀집한 중·하류유역에서는 오히려 관대할 수 있는 비합리적인 제도이다(환경부, 2003). 즉, 그간 추진된 사후처리 개념에 근거한 배출농도의 단편적인 규제방식은 인구와 산업시설이 과도하게 밀집되어 있는 하천의 중·하류유역에서 배출되는 오·폐수량이 많아질 경우, 각각의 개별시설에서 배출되는 수질기준(배출허용기준 및 방류수의 수질기준)을 준수하더라도 하천에 유입되는 전체 오염물질량이 늘어나 하천환경기준을 초과하여 결국 인간이 이용할 수 있는 물의 양이 부족해지거나 생태적으로 건전한 하천을 유지할 수 없는 한계에 도달할 수 있다(이상진 · 오혜정 · 이은형, 2005).

또한, 우리나라의 환경정책은 1960년대의 공해방지법 제정 이후부터 시작되었으나 보건 분야의 일부에 국한된 것이었으며, 1990년대 수질환경보전법이 제정되면서 본격적인 물자원에 대한 수질관리 정책이 추진되었으나 이 시기 역시 환경기초시설 등의 점오염원중심의 정책이 추진되어 수질개선에서 만족할 만한 성과를 얻지 못하였다(환경부, 2006).

이에 따라 하천의 환경용량 범위 내에서 오염물질부하량을 고려하는 유역관리 수단의 제도적 장치로 4대강 特別法 제정(한강 : 1999년, 낙동강 등 3대강 : 2002년)시 수질총량관리제가 도입되었으며, 각각의 특별법은 수계 내 효율적인 물관리를 위한 수변구역제도, 토지매수제도, 주민지원제도, 물이용 부담금제도, 수계관리위원회 설치 및 운영 등을 포함하고 있다.

수질오염총량관리제도는 수계구간별로 하천의 용도(상수원수, 농업용수 등), 오염원의 밀도, 지역개발정도, 환경기초시설 투자정도, 수량 및 수질, 생태적인 건전성 등을 고려하여 목표수질을 설정하고, 그 목표수질을 달성·유지하기 위해 하천유역에서 배출할 수 있도록 허용되는 오염물질의 양(허용총량)을 산정하여 해당 총량관리단위유역에서 배출하는 오염물질의 총량(배출총량)을 허용총량 이하가 되도록 관리하는 제도이다. 이는 지역개발계획과 수질관리계획을 함께 수립하여 지역사회의 持續可能性(Sustainability)을 향상시킬 수 있는 선진화된 물관리 정책수단으로 목표수질을 초과한 단위유역에서 시행되며, 시행 시 지방자치단체에서 오염물질 배출량을 줄이면 줄인 양만큼 해당지역 개발용량은 늘어날 수 있고, 이러한 수질보전의 노력 그 자체가 자치단체의 인센티브가 될 수 있기 때문에 친환경적 수질보전 및 지속가능한 개발의 추진이 가능한 제도라 할 수 있다(환경부, 2006).

한강수계의 경우 팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리종합대책을 마련하였고, 이 계획의 시행방안의 일환으로 1999년에 “한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률”을 제정함으로써 임의제 형태의 수질총량관리제를 도입하였다. 이와는 달리 낙동강·금강·영산강 수계는 의무제로 시행하는 특별법이 2002년 1월에 제정·공포하였고, 이어서 구체적인 시행에 필요한 사항을 규정하기 위한 기본방침 및 기술지침이 제정되었다. 시기적으로 다소간의 차이가 있으나 현재 각 수계 내에 위치한 광역시·도의 기본계획 및 시행계획이 수립되었고, 자치단체별 시행계획 이행평가가 이루어지고 있다.

이처럼 현재 3대강 수계에서 의무제로서 시행중인 수질오염총량관리제는 목표수질을 만족할 수 있는 유역별 배출부하량을 관리하는 제도로 무엇보다도 기준유량 시점에서 허용되는 배출부하량(배출총량)의 산정이 매우 중요하다. 이처럼 현재 3대강 수계(낙동강·금강·영산강 수계)에서 의무제로서 시행중인 수질오염총량관리제는 목표수질을 만족할 수 있는 유역별 배출부하량을 관리하는 제도로 무엇보다도 기준유량 시점에서 허용되는 배출부하량(허용총량)의 산정이 매우 중요하다. 기준유량 시점에서의 목표수질을 만족하기 위하여 산정한 목표 배출부하량은 안전율을 차감하여 단위유역별 허용부하량으로 산출되고, 이를 토대로 삭감목표량이 산출되며, 결국 오염원 그룹별, 공공시설 및 개별배출자에게 할당하는 등 직접적인 규제수단으로 이어지기 때문에 매우 중요하게 다루어져야 할 항목이다. 따라서 개별배출자에게 합리적인 할당을 하고, 효율적인 삭감계획을 수립하기 위해서는 유역별 허용가능한 배출부하량의 산정이 선행되어야 한다.

그러나 현재의 배출부하량 산정 결과를 보면 기준유량 시점(現 기본방침 상 BOD₅ 기준 저수기)의 배출부하량이라기 보다는 연평균 개념의 배출부하량을 일괄적으로 산정토록 함으로써 산정값이 과대할 뿐만 아니라 이는 곧 과대한 허용부하량을 할당하는 결과를 초래하고 있는 실정이다. 또한, 소유역별 배출부하량 산정시 행정구역별 배출부하량을 단순히 토지면적비에 의해 배분하고 있어 오염원이 특별히 존재하지 않는 소유역이라 할지라도 삭감을 해야하는 대상유역으로 나타나고 있고, 소유역별 배출부하량이 하천의 수질 및 유달부하량과 상관관계가 거의 없는 경우가 다소 발생하고 있다. 그러므로 하천관리의 기준이 되는 기준유량 시점의 배출부하량 산정방법 및 유역별 부하량 배분기법, 그 외에 배출부하량 산정시 고려해야 할 사항 등이 검토되어야 할 것으로 판단하였다.

2. 연구의 목적

수질오염총량관리제는 배출부하량을 관리하는 제도로 산정된 배출부하량을 토대로 목표수질을 달성할 수 있는 유역별 환경용량(할당부하량)이 결정되며, 이에 따라 삭감부하량 산정 즉, 삭감시설계획이 고려된다. 그러므로 하천의 효율적인 수질관리 뿐만 아니라 삭감효율성을

고려한 삭감방안 마련 등 제도의 합리적인 정착 및 시행을 위해 정확한 배출부하량 산정은 필수라고 할 수 있다.

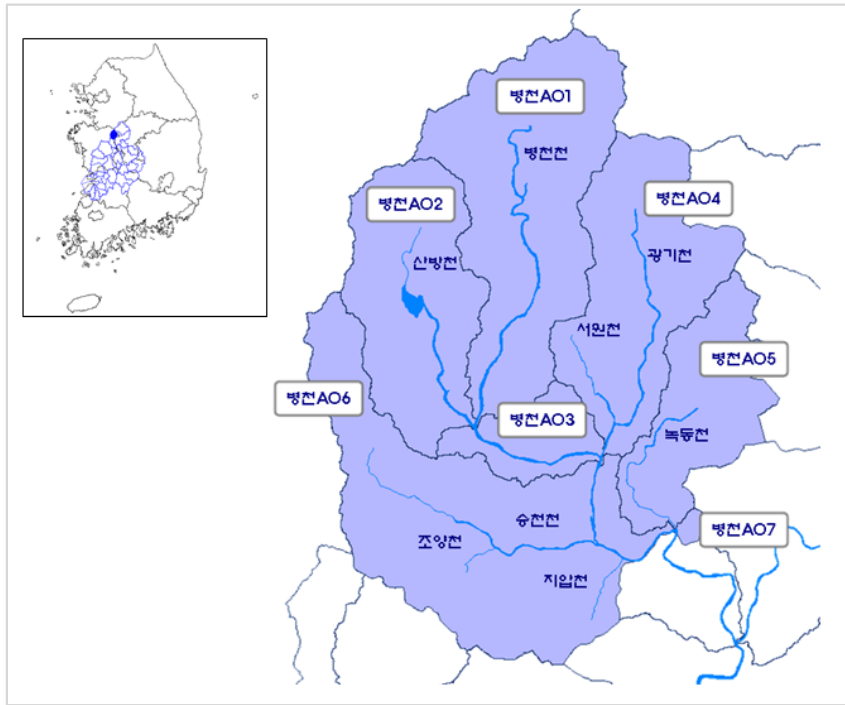
따라서 본 연구에서는 각종 유역환경조사, 오염원조사, 현 제도상 제시하고 있는 방법인 '수계오염총량관리기술지침'에 의한 부하량 산정 등을 통하여 부하량 산정 및 배분방법의 문제점을 도출하고, 그에 따른 개선방안을 제시하여 이를 향후 '수계오염총량관리기술지침'의 개정시 제안하고, 충청남도 수질오염총량관리제 미시행지역의 부하량 산정시 활용토록 하고자 한다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구에서는 수질오염총량관리제의 유역별 배출부하량 산정에 대한 개선방안을 제시하기 위하여 GIS를 이용하여 지번별 오염원 자료를 구축하고, 지번자료가 없는 경우 '리'단위의 정보를 '유역'단위의 정보로 변환할 때의 배분기법을 제시하였으며, 구축된 오염원 자료를 토대로 비강우시의 배출부하량 산정기법을 제시하였다. 이 때, 오염원 조사 및 부하량 산정시 이용된 기초자료는 2006년 12월 31일을 기준으로 조사하였으며, 대상오염물질은 현행 수질오염총량관리제의 대상항목인 BOD₅로 하였다.

본 연구의 대상유역으로는 금강의 제1지류인 미호천의 발원지로서 충청남도 천안시의 영향을 반영하는 금강의 제2지류에 해당하는 병천천수계를 선정하였다. 병천천수계는 유역면적 244.1km²로 수질오염총량관리제 시행으로 소유역별 수질 및 유량이 정기적으로 측정되고 있고, 비교적 정확한 공간정보자료 및 오염원 기초자료 등을 보유하고 있다. 따라서 병천천수계는 본 연구의 수행을 위한 검증지역으로 적합한 것으로 판단되었다.



(그림 1-1) 연구대상지역

선정된 연구대상유역의 배출부하량 산정을 통해 현 수질오염총량관리제의 배출부하량 산정 방법의 문제점을 도출하고 그의 개선을 위해 GIS를 이용한 유역별 수질오염물질 배출부하량 산정 기법을 제시하고 이를 병천천수계를 대상으로 하여 검증하였다. 본 연구의 주요 연구내용은 다음과 같다.

- 연구동향
- 연구대상유역의 오염원 및 유역환경자료 조사 등을 통한 유역특성 분석
- 연구대상유역의 '수계오염총량관리기술지침'에 의한 발생부하량, 배출부하량 산정
- 배출부하량 산정방법의 문제점 도출
- 배출부하량 산정방법 개선방안 제시
- 유역별 배출부하량 산정 개선기법 제시
- 연구대상유역에의 적용

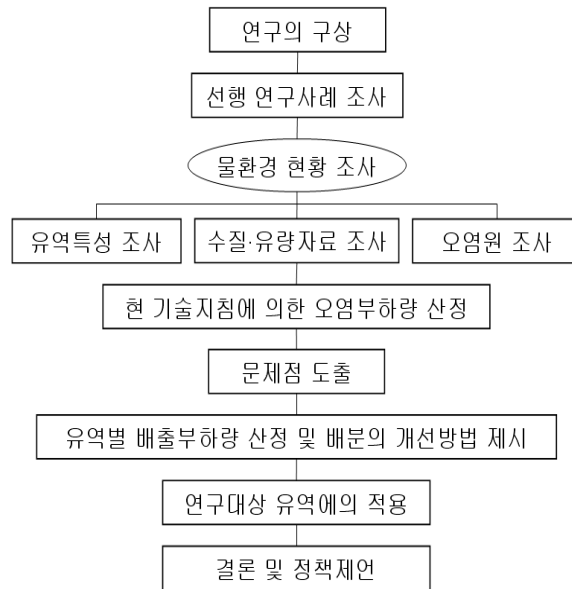
2. 연구방법

우선 국내·외 선행연구사례, 유역의 개황, 하천의 현황, 기상 및 기온, 기초 수질오염원 현황 조사, 물환경관련 관리실태 등 정부 및 충남도에서 출간된 통계, 수질오염총량관리제 관련 문헌 및 법률 그리고 Web Site를 통하여 각종 관련 자료를 조사하였다.

유역내 분포하는 각 오염원에 의한 오염부하량 산정을 위해 필요한 오염원 자료는 2006년 말을 기준으로 환경부에서 수집한 전국오염원조사자료 및 연구대상지역인 천안시의 행정자료를 통해 1차로 조사하고 해당기관을 방문하여 관계공무원과 수정·보완 등을 거친 후 확정하였으며, 최종 오염원조사 결과를 바탕으로 연구대상유역의 부하량을 행정구역별, 오염원그룹별, 소유역별로 산정하였다. 오염원조사 자료는 '리'별로 통계가 정리되어 있어서 추가로 파악이 가능한 지면단위의 조사를 최대한 병행하여 실시하였다.

모든 오염원 관련 속성자료 및 기상자료, 수리·수문자료, 수질측정자료 등은 Microsoft사의 Excel 프로그램으로 정리하여 GIS 데이터와 관계형 데이터베이스로 연결 될 수 있도록 하였다. 각종 오염원 및 유역 특성 관련 공간정보들은 지리정보시스템에 의한 공간 데이터베이스로 정리하였으며, 미국 ESRI사의 GIS 프로그램인 ArcGIS 소프트웨어의 공간분석기능을 이용하여 필요한 자료들을 새롭게 생성하였다.

현 지침에 따른 배출부하량 산정결과를 토대로 배출부하량 산정방법의 문제점을 도출하고, 그에 따른 부하량 산정방법의 개선방안을 제시하기 위해 공간분석 자료를 이용한 비강우시기의 배출부하량 산정 및 유역별 부하량 배분기법을 제시하고, 이를 연구대상유역에 적용하였다.



(그림 1-2) 연구수행 체계도

3. 용어의 정의

본 연구에서는 용어를 다음과 같이 정의하여 기술하고자 한다.

- ‘유역’이라 함은 강수가 지표수의 형태로 유입되어 합류되는 경계지점 범위 안의 해당 지역을 말한다.
- ‘총량관리단위유역’(이하 ‘단위유역’ 이라 함)이라 함은 목표수질을 설정하여야 하는 수 계구간에 영향을 주는 유역을 말한다.
- ‘소유역’이라 함은 유역환경조사, 수질모델링 등에 필요한 배수구역단위를 설정하기 위하여 총량관리단위유역을 세분한 유역을 말하며, 단위유역 내에서 제1지천의 집수유역, 본류로 유출되는 집수유역, 다른 소유역보다 지나치게 큰 유역 그리고 자치단체의 경계지역으로 나누어지는 경우 소유역으로 구분된다.
- ‘발생부하량’이라 함은 점오염원과 비점오염원으로부터 처리과정을 거치기 전 발생하는 오염물질의 양을 말한다.
- ‘배출부하량’이라 함은 발생한 오염물질이 처리시설에서 처리과정을 거쳐 삭감된 후 또

는 처리과정을 거치지 아니하고 직접 공공수역으로 배출되는 양을 말한다.

- ‘유달부하량’이라 함은 유역 내 오염물질이 공공수역의 자정작용, 조류성장 등 물질변화 과정을 거친 후 단위유역 및 소유역별의 수계구간 하단지점에 도달되는 양을 말한다.
- ‘기준유량’이라 함은 총량관리단위유역 허용부하량 산정의 기준이 되는 유량을 말한다.
- ‘오염원그룹’이라 함은 오염원들을 생활계, 산업계, 축산계, 양식계, 토지계, 매립계로 나누어 그룹화 한 것을 말한다.
- ‘목표배출부하량’이라 함은 단위유역별 기준유량 시점으로 설정된 목표수질을 만족할 수 있는 오염물질의 일배출부하량을 말한다.
- ‘허용총량(허용부하량)’이라 함은 목표수질을 달성·유지하기 위해 하천유역에서 배출할 수 있도록 허용되는 오염물질의 양(목표배출부하량에서 안전부하량을 차감한 부하량), 즉 환경용량을 말한다.

제2장 연구동향

제1절 국내·외 수질총량관리의 동향

1. 국내 수질총량관리 시행체제

1) 도입배경 및 개념

우리나라의 수질규제 정책은 방류수의 허용농도를 설정하는 농도위주의 규제와 일정 규모 이상의 오염원 입지를 제한하는 면적위주의 규제가 병행되어왔으나 이러한 일반적인 규제방식 만으로는 수질개선의 한계에 부딪치게 되었다. 따라서 과학적이고 합리적인 수질관리를 위해서는 기존의 개별 오염원이 수질에 미치는 영향을 억제하는 방식에서 일정 유역에 존재하는 모든 오염원이 수질에 미치는 영향을 종합적으로 관리하는 방식으로 전환되어야 하며, 이를 위해 수질총량관리제가 도입되었다. 수질총량관리제는 과학적 바탕위에서(Scientific), 수질관리의 효율성을 제고하고(Efficient), 각 경제 주체들의 책임성을 강화하여(Responsible), 행정목표(목표수질)를 적기에 달성하고자 하는 제도로서 목표수질 한도 내에서 단위유역과 개별 배출원에 오염물질의 배출허용 총량을 할당하고 ‘환경과 개발’을 함께 고려하여 지속가능성을 확보할 수 있는 핵심적 유역관리제도이며, 결국 공공수역의 수질보전은 물론 수자원의 이용과 관련된 지역간의 분쟁해소 및 유역공동체의 경제적, 환경적 형평과 상생을 이루기 위한 제도이다(국립환경과학원, 2004).

2) 시행절차

우리나라의 수질총량관리제는 법률제정에 이어, 환경친화적으로 토지를 이용하고 목표수질을 달성·유지하기 위하여 오염총량관리 목표, 오염총량관리 대상항목, 지방자치단체별·수계구간별 오염부하량 할당, 오염부하량의 산정방법 등을 규정하는 수질총량관리에 관한 기본방침(오염총량관리 기본방침)을 수립하여 해당 수계의 시·도지사에게 통보하고, 기본 및 시행계획수립에 필요한 수계환경자료, 오염원조사, 오·폐수량 산정방법, 오염부하량 산정방법, 수질모델링 및 허용부하량 산정방법 등 기술적인 사항을 정함을 목적으로 ‘수계오염총량관리 기술지침’을 제정한다. 이후, 하천·호소의 이용상황 및 수질상태 등을 고려하여 수계구간별 목표수질을 정하며, 광역자치단체 장은 해당지역을 기준으로 하는 수계단위의 기본계획을 수립하고, 환경부장관으로부터 승인된 기본계획에 따라 목표수질을 초과하는 유역은 자치단체별 시행계획을 수립하여 승인을 받은 후 수질총량관리를 실시하게 된다.

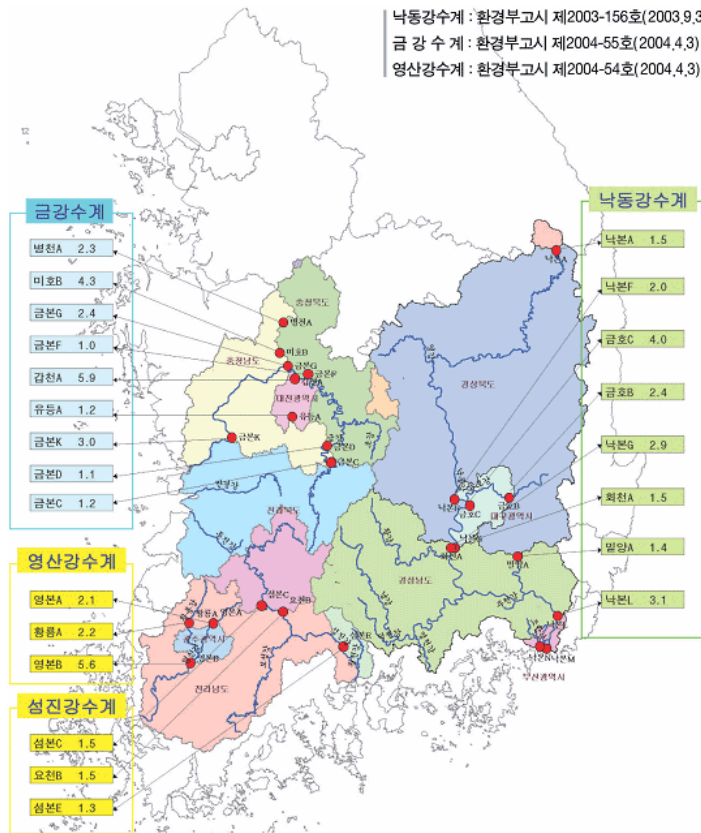
이와 같은 수질총량관리 시행절차의 첫 단계라 할 수 있는 근거법률의 제정·공포현황을 살펴볼 때, 임의제로 추진하고 있는 한강수계의 경우 “한강수계상수원수질개선및주민지원등에관한법률”이 1999년 2월 8일에 최초로 제정된 이래 현재 3차 개정(1차 2001. 1. 16, 2차 2002. 2. 4, 3차 2002. 12. 30)에 이르렀고, 낙동강수계의 경우 “낙동강수계물관리및주민지원등에관한법률”이, 금강수계의 경우 “금강수계물관리및주민지원등에관한법률”이, 그리고 영산강 및 섬진강수계의 경우 “영산강·섬진강수계물관리및주민지원등에관한법률”이 각각 2002년 1월 14일에 동시에 제정·공포되어 전국 4대강수계에 대한 유역관리중심의 물관리대책이 법적으로 뒷받침 되었으며, 수질총량관리제 실시를 위한 토대를 마련하게 되었다.

수질총량관리는 매 5년 단위의 기간을 설정하여 단계적으로 추진되며, 2010년까지 제1차 총량관리계획기간 동안 적용할 오염총량관리기본방침은 낙동강수계의 경우 2002. 10. 14(환경부 훈령 제531호)에 제정되었고, 금강수계와 영산강·섬진강 수계는 같은 날인 2002. 11. 6(각각 환경부 훈령 제535호, 환경부 훈령 제534)에 제정되었다. 한편, 오염총량관리기본방침에 따라 기술적인 사항을 정함을 목적으로 제정하는 ‘수계오염총량관리기술지침’은 국립환경과학원에서 2002년 11월에 최초로 작성한 후 일부 사항이 보완되어 2004년 6월에 1차 개정하였다. 그리

고 제2차 총량관리계획기간(2011년~2015년) 동안에 적용하는 ‘오염총량관리기본방침’ 및 ‘수계오염총량관리기술지침’은 2007년 11월에 1차 개정하였으며, 2008년 9월에 2차 개정하였다.

법률 및 기본방침에 따라 수계 내 물의 이용상황 및 수질상태 등을 고려하여 수계구간별 목표수질을 고시하게 되는데, 주요 상수원의 영향지역에서는 “환경정책기본법”시행령 별표 1의 환경기준 중 수질환경기준 II등급 이내를 달성·유지할 수 있도록 하는 것을 원칙으로 하고 있다. 또한, 수질총량관리대상 항목을 정함에 있어서 2004년부터 2010년까지를 1차 계획기간으로 설정하여 유기물 지표인 BOD₅ 1개 항목을 대상으로 하고 있으며, 2011년부터 2015년까지의 2차 계획기간에는 BOD₅ 이외에 금강수계의 경우 대청호 상류지역에는 TP 항목을 추가로 설정하였다.

계획수립 절차에 따라 기간 동안 경계지점을 기준으로 살펴보면, 목표수질을 지정할 수 있다. 그러므로 항목에 대한 포함여부를 결정하여 확정한다면 큰 무리없이 수행이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 처리순서에 따라 제1차 총량관리계획기간 동안 전국 수계별 광역시·도의 경계지점인 총량관리단위유역의 말단에 설정한 BOD₅ 항목의 목표수질 현황은 아래 그림과 같다.



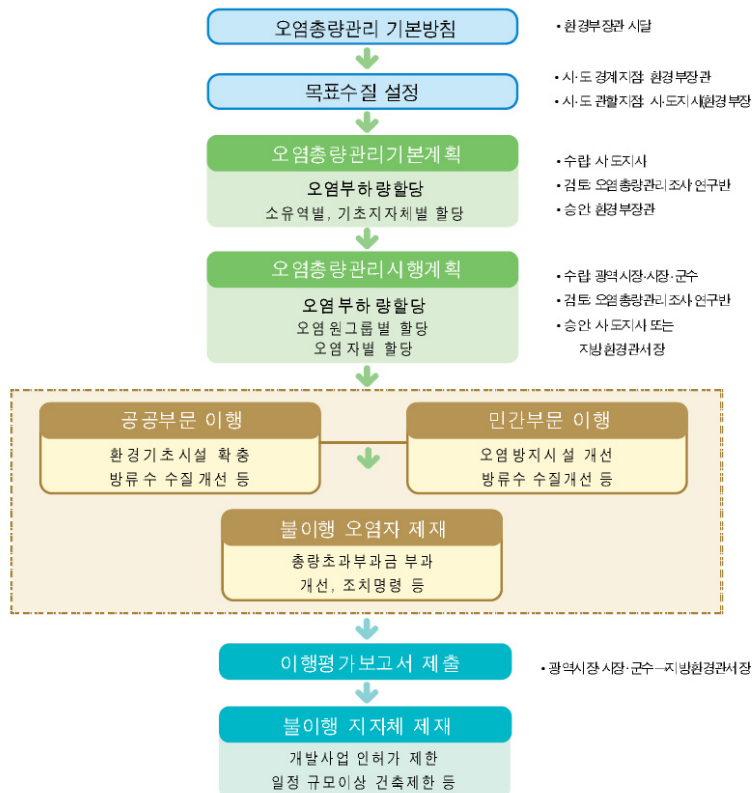
〈단위: BOD, mg/l〉

자료 : 국립환경과학원, 수질총량관리센터홈페이지, 2007.

〔그림 2-1〕 제1차 총량관리계획기간의 수질총량관리 목표수질

목표수질 설정 이후에 광역자치단체 장은 관할구역 내 총량관리단위유역을 소유역으로 세분하고 수질모델링 등을 통하여 소유역에서 배출되는 오염물질이 자정작용 등을 거친 후 목표수질 설정지점에 도달되는(유입하는) 오염물질량이 총량관리 단위유역별 목표수질을 만족할 수 있도록 자치단체별, 단위유역 및 소유역별 목표(허용)배출부하량을 산정하는 등의 오염총량관리기본계획을 수립하여야 한다. 제1차 총량관리계획기간 동안에 시행하려는 기본계획은 일부 광역자치단체가 2004년도에 완료하였으나 대부분의 광역자치단체는 2005년도에 수립을 완료하였고, 제2차 총량관리계획기간 동안 시행예정인 기본계획은 2008년~2009년까지 수립할 예정에 있다.

또한, 총량관리 시행대상인 단위유역에 포함된 자치단체장은 승인된 기본계획에 따라 소유역별 예상배출부하량(오염원 자연증감 + 개발계획 - 삭감량)을 산정하여 목표배출부하량을 차감한 삭감목표량을 오염원그룹(생활계, 산업계, 축산계, 양식계, 토지계, 매립계)별로 할당하고 이를 다시 개별오염원별로 재할당하여, 시행계획기간 동안 연차별로 배분하는 오염총량관리시행계획을 수립하여 시행하여야 한다. 이러한 시행계획은 제1차 총량관리계획기간 동안 오염총량관리의 법률적 시행시기가 자치단체별로 서로 달라 일률적으로 수립되지 않고 2004년부터 2008년까지 년차별로 수립될 전망이며, 제2차 총량관리계획기간 동안의 적용될 시행계획은 2010년에 일률적으로 완료될 예정이다. 이와 같은 현행 우리나라의 수질총량관리제의 시행체제를 개략적으로 도식화하면 [그림 2-2]와 같다.



자료 : 국립환경과학원, 수질총량관리센터홈페이지, 2007.

[그림 2-2] 우리나라 수질총량관리제 시행체계

2. 해외사례

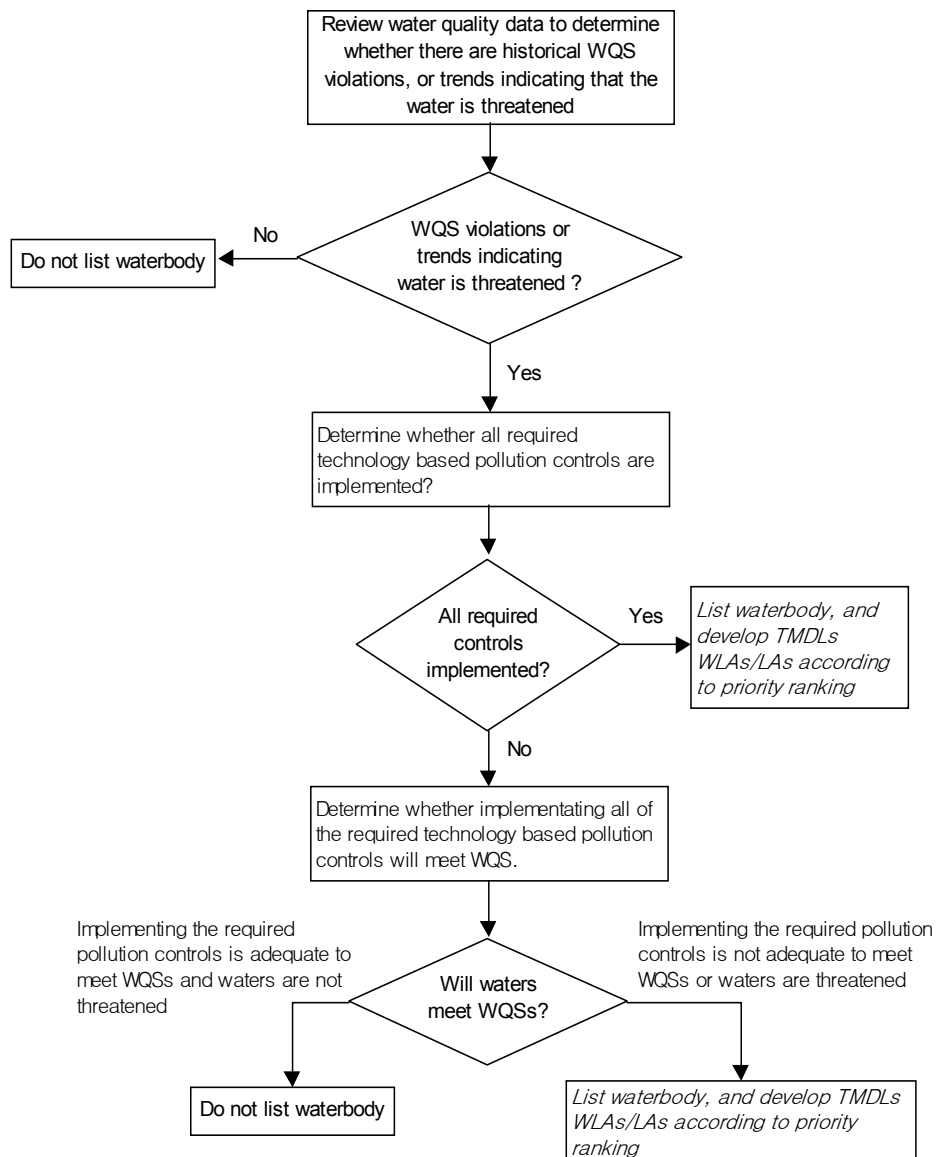
외국의 총량관리제는 오염물질부하량에 대한 직접적인 규제뿐만 아니라 배출권거래제도와 같은 경제적 유인제도 등 다양한 형태로 시행되고 있어 일반화하기는 어렵다. 그러나 직접적인 규제형태로 수질총량관리제를 실시하는 국가는 우리나라를 비롯한 미국, 일본, 중국이며, 총량관리제와 유사한 제도를 도입하는 국가는 독일, 영국, 프랑스 등의 국가로 볼 수 있고(국립환경과학원, 2005), 우리나라와 유사하게 시행하고 있는 미국, 일본, 중국을 대상으로 각 나라별, 제도의 도입 배경, 개념, 추진체제 등을 살펴보면 다음과 같다.

1) 미국

미국은 수질총량관리제도로 TMDL(Total Maximum Daily Load)을 실시하고 있다. 수질관리의 모법(母法)인 청정수법(Clean Water Act)의 303(d)조의 규정에 의거하여 전통적인 처리기술에 근거한 수질관리를 통해 해당수역의 지정목적에 적합한 수질을 달성할 수 없을 경우 오염물질의 1일 최대배출량(TMDL)을 결정하고 이 배출량 이내에서 오염물질이 배출되도록 관리하는 TMDL계획을 수립·시행하여 수질개선을 하도록 하고 있다. TMDL의 특징은 총량관리의 대상이 되는 오염원, 대상 오염물질, 지정수역 등이 매우 포괄적이라는데 있으며, 현행 체제는 연방국가라는 특성을 반영하여 환경보호청이 기본지침과 기술적 지원을 담당하고 각 주정부가 TMDL이 필요한 지역목록을 작성하여 TMDL의 시행이 필요한 수계구간에 대한 TMDL계획의 우선순위를 수립하는 형태로 되어 있다(이병국, 2005).

1972년부터 점오염원에 대하여 기술적으로 달성 가능한 배출량을 지정하여 허가하는 기술중심(Technology-based)의 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)제도를 시행하여 점오염원의 처리기술에 근거한 부하량 삭감방법 중심으로 시행되어 상당한 수질개선을 이루어왔으나, 미국 전역에 걸쳐서 20,000 지점이 넘는 약 40%정도가 수역구간의 목표수질을 달성하지 못하는 오염상태인 것으로 조사되어 TMDL제도를 1992년부터 도입하였으며, TMDL은 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원의 규제를 통해 대상 수체의 수질 기준을 만족시키는데 목적이 있다. TMDL의 대상물질은 환경기준 달성을 방해하는 원인물질로 유기물질, 질

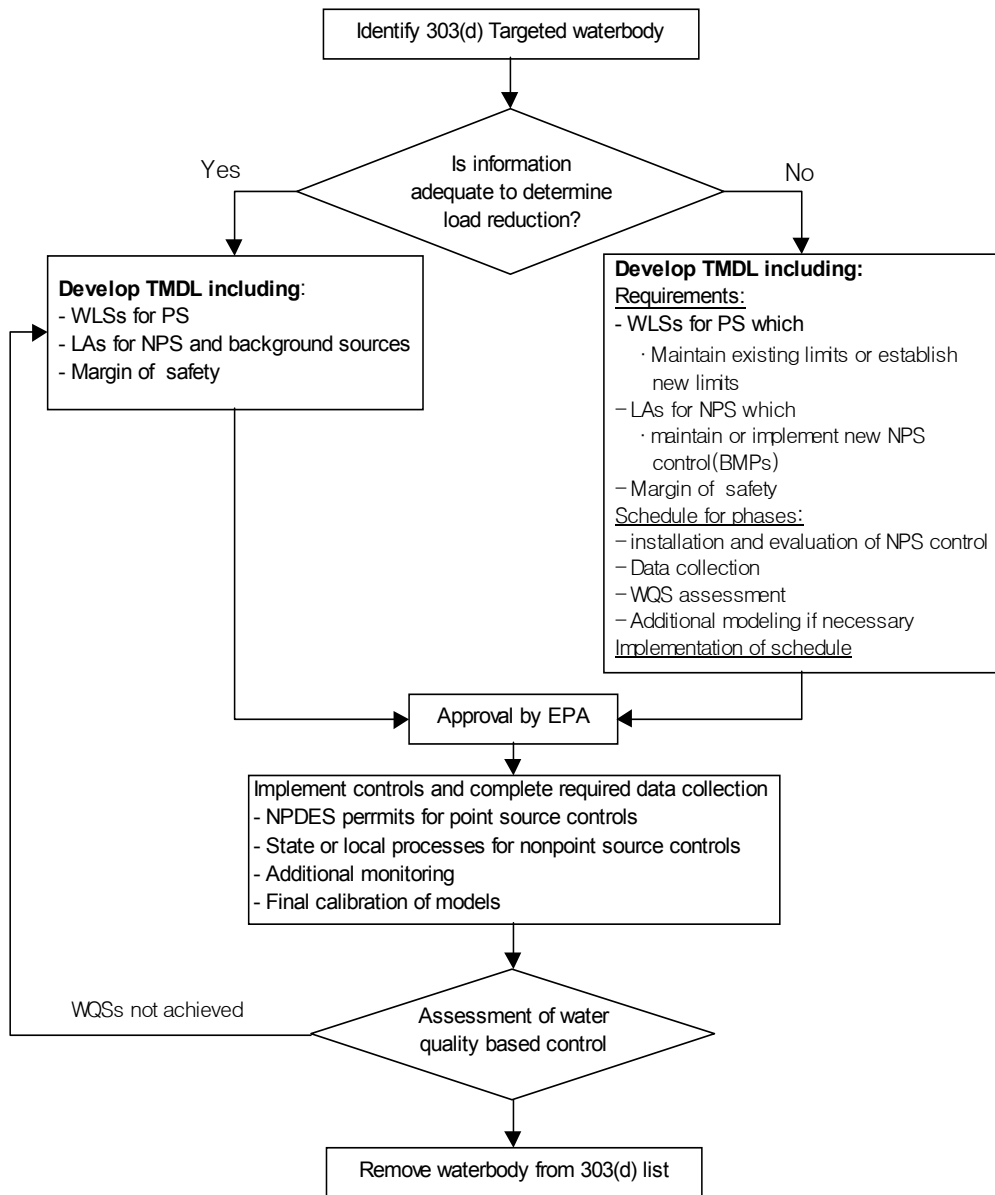
소, 인, 침전물, 유해물질 등 각 수계의 사용 용도에 따라 대상물질을 결정할 수 있으며 오염의 심각도를 고려하여 1개 또는 2가지 이상의 항목을 선정하여 총량관리를 실시하고 있다. [그림 2-3]은 오염 수체를 지정하는 과정을 나타내고 있다. 각 주정부는 정기적인 수질 조사를 통하여 오염 수체 지정을 갱신, 보완하여야 하며 이러한 지정 수체의 목록은 2년 주기로 미연방환경청(EPA)에 제출해야 한다.



[그림 2-3] 오염수계 지정과정

일반적인 TMDL의 시행과정은 먼저 주정부가 해당 주의 수역 중 목표수질을 달성하지 못하고 있거나 달성하지 못할 우려가 있는 구간을 구분하여 TMDL 대상목록을 작성하는데서 시작되고, 이 목록은 주정부가 작성하여 EPA의 승인을 받도록 되어 있으며 목록이 승인되면 목록상의 우선순위에 따라 TMDL 계획을 수립·시행하게 되는데, TMDL 실시는 주별 하천, 수역 등의 수질오염 정도 및 관리방법에 따르며 주 정부는 매 4년마다 TMDL 대상목록을 재 작성하여 EPA에 보고해야 하며 EPA는 이를 토대로 이행상황을 평가하게 된다.

[그림 2-4]는 허용부하량의 할당 및 수질 관리 대안의 수립과 평가를 위한 단계를 나타내고 있다. 오염원 저감량을 결정하기 위한 충분한 자료가 확보된 경우에는 그림의 왼쪽에 나타낸 바와 같이 비교적 간단한 방법에 의해 TMDL을 설정할 수 있다. BOD등의 일반적인 수질 항목의 이동 및 반응 기작이나 점오염원의 유입 등에 관한 모델링은 비점오염원 모델링에 비해 많은 연구가 수행되었다. 그러나 영양염류 등의 항목에 대한 충분한 자료를 확보할 수 없는 경우와 오염 현상을 해석하고 특성화시킬 수 있는 신뢰성 있는 예측모델이 없는 경우에 대해서는 단계적인 접근 방식(Phased Approach)이 요구된다. 단계적인 접근방식은 수질 감시망의 수립 및 TMDL 할당의 재평가 절차를 포함하고 있으므로 기존에 수집된 자료가 충분하지 않은 경우에 적합한 방법이다. 수질 모니터링 프로그램은 수질 기준 달성 여부, 오염물질 할당의 타당성, 사용된 모델의 보정 또는 변경, 희석 또는 오염물질 수지의 계산, 점오염원 및 비점오염원 억제 방안의 효과 분석 등을 목적으로 한다. 이러한 모니터링 프로그램이 적절히 마련되어 시행되는 경우에는 수질기준 달성여부의 평가와 수질 예측 모델링을 위한 충분한 데이터베이스를 확보할 수 있을 것이다.



(그림 2-4) TMDL의 허용부하량 할당 및 수질 관리 대안의 수립과 평가단계

(1) TMDL 설정 및 적용사례

앞서 기술한 바와 같이 각 주 정부에서 수립한 TMDL프로그램은 EPA에 제출되어 검토 및

승인 절차를 거쳐야 하며, TMDL 수립 보고서에는 다음의 사항이 반드시 포함되어야 한다.

- 해당 수체, 우선순위, 오염물질 및 오염원에 대한 설명
- 적용가능한 수질 기준 및 목표수질
- 수질 및 오염원을 고려한 수체의 자정 능력
- 비점오염원 및 배경오염원에 대한 할당부하량
- 점오염원에 대한 할당부하량
- 안전율을 고려한 할당부하량
- 계절 변화에 대한 고려
- 단계적인 TMDL 설정시 수질 모니터링 계획
- TMDL 이행 계획
- 수질 목표 달성에 대한 타당성 있는 보증
- 지역 주민의 참여
- 제출 서한

① Beaver River Watershed TMDL

Beaver River Watershed는 미국 Salt Lake시의 남쪽으로 160마일, Cedar시 북쪽으로 약 50마일 떨어진 지역에 위치하고 있으며, 유역 내 수체는 Beaver River, Minersville Reservoir, Puffer Lake, LaBaron Reservoir와 Kents Lake를 포함하고 있다. 총 유역면적은 약 320,000acre 이고, 거주 인구는 3000명 정도로 주로 Beaver시에 밀집되어 있다. 유역내 강과 호소 수질에 관한 연구는 1991년부터 1992년까지 Clean Lakes Phase I 이라는 연구가 수행되면서 유역의 비점오염원에 의한 수질의 악화 문제가 제기되기 시작하였으며, 환경질의 개선에 대한 필요성이 인식되면서 Beaver Soil Conservation District의 주도하에 수질개선 대책안이 수립되었다. 또한 이 대책안에 유역내 TMDL(Total Maximum Daily Load)설정에 관한 내용이 포함되었다.

여러 가지 수질 항목 중 Beaver 강 유역의 주요 수질 오염 물질 및 관심 대상 항목으로는 총인, 용존산소, 수온 및 유해 수초의 성장과 강가 서식 환경의 변화 등이며, 주된 오염원은 농업 활동, 도시 유출, 주택건설 및 여가 활동 등에서 기인되는 것으로 분석되었다. 특히 이 유역은 점오염원의 배출이 허용이 되지 않는 유역으로 오염원은 대부분 비점오염원의 형태로

유입된다. 이 수체는 친냉성 어류의 낚시가 주된 사용 목적이었으나, 최근에 수체의 탁도 증가 및 조류의 과다 성장으로 인한 이용가치의 저하 등이 주요 관심사로 대두되었다. 또한 이 수체의 목표 수질 기준치인 1일 평균 용존산소농도 4.0mg/L, 수온 20 °C 이상, 총인의 농도는 하천의 경우 0.05mg/L, 호수의 경우 0.025mg/L를 초과하는 경우가 발생하게 되었다. 따라서 이러한 수질 악화를 개선하기 위하여 인 농도 감소를 위한 TMDL을 설정하였다.

TMDL의 설정은 주로 기존의 측정자료를 이용한 통계분석을 통해 수행되었다. 현재 연간 8,906kg의 총인 물질이 유입되고 있으며, 수질 기준인 0.025mg/L의 수질을 만족하기 위한 TMDL은 2,719kg/yr로 계산되었다. 따라서 수질 기준의 달성을 위해서는 약 70% 가량의 총인이 제거되어야 한다. 이를 위한 대책 방안으로 심도있는 영양물질 관리 대책안을 수립하였으며, 관개용수의 효율적 이용, 강둑 보호를 위한 하천구조물의 설치, 호안 식생의 설치, 최적의 방목 관리 등을 계획하였다. 이러한 연구 결과보고서는 EPA에 제출되었으며, EPA는 이를 Beaver River watershed의 TMDL로 승인하였다.

② Rock Creek, Clinton County, Iowa TMDL

Rock Creek은 Clinton County의 동쪽에 위치하고 있으며, 16.7mi²의 유역면적을 갖고 동서 방향으로 흘러 Mississippi강으로 유입된다. 이 유역은 전체 유역면적의 약 90%가 농업지역이며, 4%는 도시지역, 나머지 6%는 산림지역으로 구성되어 있다. Rock Creek의 주요 사용목적은 수생태계 유지, 휴식처 제공, 농업 관개용수, 가정용수 및 축산용수로 사용된다. 그러나 1998년 EPA의 303(d) 목록에 의하면, Rock Creek은 매우 높은 수치의 NH₃-N과 높은 NO₂-N/NO₃-N 농도로 수질이 악화되어 이용목적을 만족시키지 못하는 것으로 나타났으며, 따라서 이 유역에 대하여 NH₃-N 항목의 TMDL 설정이 실시되었다.

분석을 위한 수질 자료는 1993년부터 현재까지 측정되고 있는 자료를 사용하였다. 이 유역에는 NH₃-N 배출 공장이 존재하고 있으며, 공장 배출수로 인하여 Rock Creek 하류부의 NH₃-N 농도는 매우 높게 나타나 수질기준을 초과하고 있다. Iowa주의 NH₃-N 수질 기준은 급성과 만성 독성농도로 구분되어 있으며, pH와 수온 및 수질의 구분에 따라 다른 값을 갖는

다. Iowa TMDL 설정 과정에서는 여름철 수온 23.8°C 와 pH 8.2 상태를 임계 조건으로 보는데 이 시기는 하천내 물질반응률이 최대가 되고, 포화 용존산소농도는 최소값을 나타낼 수 있다. Rock Creek으로 유입되는 오염물질로는 점오염원과 비점오염원을 들 수 있으며, 점오염원은 시설용량을 고려해 볼 때 영향이 매우 적어 무시할 만하다. 따라서 이 지역의 주된 오염원은 비점오염원이며 주로 오염된 지하수의 유입 및 농경지로부터의 유출에 기인하는 것으로 분석되었다. Rock Creek의 TMDL은 2단계로 구분하여 수행되었는데 1단계에서는 현재 건설중인 오염물질 처리시설인 습지의 효과 분석을 목적으로 하였으며, 2단계에서는 Rock Creek 전 수체에 걸쳐 수질 기준의 달성을 위해 수행되었다. TMDL을 위한 안전율의 계산은 별도로 할당하지 않았으며 모델링 과정에서 전체 할당부하량에 포함되도록 구성하였다. 계산 결과 최종 목표인 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 1.84 mg/L 로 Rock Creek의 rQ_{10} 유량을 $0.5\text{ft}^3/\text{s}$ 로 보면 1일 허용부하량을 약 5.0lb/day 로 계산될 수 있다. 이러한 할당부하량을 이행하기 위한 수질 관리 대책으로는 $\text{NH}_3\text{-N}$ 배출시설에서의 저감시설 설치 및 $\text{NH}_3\text{-N}$ 성분을 흡수할 수 있는 식생 식재 등의 노력이 시행되고 있다.

2) 일본

일본의 수질총량규제는 일률적인 배수규제 만으로는 수질환경기준의 달성이 어려운 경우, 해당 수역의 수질에 영향을 미치는 오염부하량을 전체적으로 감소시키는 제도이며, 기존의 농도규제 만으로는 환경기준치가 달성, 유지되지 못하는 광역의 폐쇄성수역(동경만, 이세만, 세또내해)의 수질개선을 목표로 하였기 때문에 시·공간적으로 제한하여 도입·실시되었는데 점차적으로 강화·확대되는 추세이다. 현재 화학적 산소요구량(COD)를 지정항목으로 하여 오염발생원별로 구체적인 삭감목표량을 지정하는 총량삭감계획을 시행하고 있고, 이로 인하여 아직까지 획기적인 수질개선이 이루어지지는 않았으나, 점차 개선되어 가는 것으로 평가되고 있다. 일본의 수질총량관리제도는 폐쇄성수역의 수질을 개선시키기 위하여 실행 가능한 삭감 목표량 및 달성 목표년도를 정하고 이를 지방정부와 발생원에 할당·이행하는 방식으로 이행되고 있다.

1978년에 “수질오탁방지법” 등의 일부 개정에 의해 1차 총량규제가 1979년(소화59년)에 동경만, 이세만, 세토내해를 대상으로 대상 오염물질을 화학적산소요구량(COD)으로 하였으며, 2차 총량규제는 1989년(평성원년)을 목표로 실시되었고, 제3차 총량규제는 1994년(평성6년)을 목표로 실시되었지만 수질개선이 충분치 않아 적조와 청조가 발생함에 따라서 총량규제를 계속할 필요성이 제기되어 1999년(평성11년)을 목표로 4차 총량규제를 실시하였다. 4차에 걸친 수질총량규제 계획의 실시에도 불구하고 COD 수질환경기준에 달성하지 않았으며, 적조와 용존산소 부족 등 부영양화에 따른 문제가 발생하여, 2000년부터 시행된 제5차 총량규제에서는 COD 이외에 질소와 인 항목을 추가하여 시행 중이다.

일본의 수질총량규제는 지정해역으로 유입되는 점오염원으로부터 배출되는 대상물질(COD)의 부하량을 일정부분 삭감하고자 하는 부하량 삭감제도로는 규제대상 오염원에 대해 개별적으로 배출허용량을 설정해주고 예외 없이 이를 준수토록 하는 직접 규제방식을 취하고 있는데, 일본 총량규제의 시행상의 특징은 50m³/일 이상을 배출하는 사업장이 실질적인 규제 대상이며, 시행체제상 총리에게 총량규제의 책임과 권한이 부여되어 있으며, 이러한 특징은 총량규제를 위한 지정지역이 반드시 짧은 기간 내에 적절한 수질을 유지해야 하는 상수원이 아니라 연안해역이기 때문에 수질개선대책이 국가의 모든 시책에 우선되기보다는 경제활동과 효율적으로 연계되어 추진되어야 한다는 기본인식에 근거를 둔다고 볼 수 있다.

수질총량관리 시행체제를 살펴볼 때, 내각 총리대신은 수질환경기준의 확보가 곤란한 지역에 대하여 인구·산업 성장, 폐수처리기술 수준, 하수처리율 등을 감안하여 실시 가능한 삭감 목표를 정하고 기본방침을 5년마다 수립하고 있다. 기본방침에서는 사업장에 대하여 기존시설과 신규시설로 구분하여 업종별 총량규제 배출농도기준을 최대값과 최소값으로 설정하고 발생원별 및 도도부현별 부하량 삭감목표량을 제시하게 된다. 도도부현지사는 기본방침에 따라 총량감소계획을 수립하여 환경청의 승인을 받아 해당지역 내 개별사업장에 대하여 배출농도 기준(환경청 기준이내)과 배출유량을 지정하여 COD배출량(지정된 농도×배출유량)을 할당하고, 생활계 오염부하량 삭감을 위해서 하수처리율 제고 및 처리방법 개선 등에 의한 삭감, 하천오니 준설, 초기우수 저류조 설치 등 환경개선사업 추진 등 총량관리를 시행한다. 또한, 도도부현지사는 총량규제기준대상 공장 또는 사업장 이외에도 총량감소계획의 달성을 위하여

필요한 지도 및 권고를 할 수 있으며, 총량규제제도의 실효성을 확보하기 위하여 사전조치명령, 개선조치명령, 오염부하량 측정기록 의무부과 등을 수행할 수 있다(국립환경과학원, 2005).

3) 중국

중국의 수질총량규제 제도는 급속한 경제 발전으로 오염물질 배출총량의 증가결과로 악화된 물환경 개선을 위해 1996년 수질환경목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 5년 단위로 1단계(1996~2000년), 2단계(2001~2005년), 3단계(2006~2010년)로 나누어 추진 중이다. 총량관리 대상물질은 COD, TN, TP, 유류, 시안, 비소, 수은, 납, 크롬, 카드뮴 가운데 대상유역 특성에 따라 항목을 선정하도록 하고 있으며, 총량관리 방법은 전단계 말년도의 오염물질 배출량을 기준으로 설정하여 이 기초 위에 각 항목의 지표를 설정하는 것으로 총량관리 목표가 2005년의 경우 2000년 수준으로, 2010년의 경우 2005년의 오염수준으로 배출총량을 규제하고 있다.

예로써, 동북의 랴오닝성 랴오허 유역의 수질관리목표는 2000년까지는 각 관측지점의 수질을 5급수 이상에서 5급수 이하로, 2010년까지 유역의 담저수지 수질을 2급수 이하로 유지하는 목표를 두고 있다. 수질총량관리를 위해 랴오허강 유역 각 하천의 최근 10년 기준 갈수량 평균치를 기초설계 유량으로 하여, 하천의 회석 및 자정능력을 고려한 각 지점의 COD 배출량 규제목표를 확정하여 최대허용배출량을 결정한다. 또한, 목표를 달성하기 위해 COD 배출량 예측치와 COD 최대허용배출량에 근거하여 각 하천의 배출 최소 삭감량을 확정하며, 오염배출원 관리대상은 유역내의 모든 오염원으로 하되, 생활계, 산업계, 축산계를 중점 대상으로 하고 있다. 중국의 경우 구체적 실행 사례라기보다는 수질관리 계획으로서 총량관리에 접근하고 있다고 할 수 있다.

3. 국내 · 외 추진사례 비교

우리나라에서 적용하는 총량관리는 미국이나 일본의 총량규제와는 다소 차이가 있다. 외국

의 총량규제는 수질보전의 관점에서 농도규제 방식으로는 수질기준을 달성 할 수 없을 경우 효과적으로 수질오염방지를 위하여 배출되는 총량을 규제해야 한다는 관점에서 접근하고 있는 반면, 우리나라의 총량관리는 기존의 수질목표 달성 뿐만 아니라 당해 지방자치단체 내의 환경친화적 개발까지 고려하여 오염배출량을 관리한다는 관점에서 접근하고 있다(<표 2-1>).

따라서 총량관리제도는 각 국가와 지역실정에 맞도록 그 제도를 고쳐나가야 하며 선진국의 예나 한 지역의 경우를 무리하게 확대 적용할 수 없는 특성이 있다. 이는 결국 국가나 지역의 문화, 행정, 정치, 경제상황 등 소위 총량관리에 영향을 미치는 변수들이 모두 다르기 때문이다. 해외사례를 보면 미국의 TMDL은 Clean Water Act 303(d)조에 근거하며 적용대상은 낚시와 수영이 가능한 수질이라는 미국의 수질환경기준을 달성하지 못하는 수역이며, 대상 오염물질은 해당수역별로 수질환경기준을 초과하는 오염물질이 BOD, COD, TN, TP, 중금속 등으로 다양하다(천승규, 2001).

주 정부는 후보대상 수계를 선별하여 그 목록을 2년마다 EPA에 보고하고, 이중 우선적으로 TMDL을 산정하고 추진계획을 작성하여 개발이 필요한 수계를 선정하여 EPA의 승인을 받도록 하고 있다. 미국의 경우 총량관리 목표는 당해 지역의 여건이나 문제가 되는 오염원의 특성에 따라 다양하게 설정되어 있다. 반면, 일본의 경우 절대적인 관리목표를 설정하기 보다는 현재 부하량 대비 삭감량을 설정하는 등의 상대적 목표량을 설정하기도 한다. 즉, 하천의 환경용량 등을 고려한 명확한 목표의 설정보다는 현실적으로 가능한 삭감수단을 고려한 삭감량 자체를 총량규제의 목표로 삼는다. 국내·외 수자원관리 시스템현황은 <표 2-1>과 같다.

☞ 해외 사례를 통한 시사점

- 수체의 자정능력을 수치화하여 고려한다는 점
- 비점오염원과 배경오염원(기저배출량)을 분리하여 산정한 점
- 부하량 산정시 계절변화에 대한 고려를 한 점
- 연간부하량을 가지고 총 삭감부하량을 산정하여서 오염원 특성에 따른 삭감을 가능하게 시행하고 있다는 점
- 수질목표를 유역에 따라 다원화 한 점

〈표 2-1〉 한국, 미국, 일본의 총량관리제도의 비교

구분	한국(하천)	미국(하천)	일본(해역)
명칭	오염총량관리제	Total Maximum Daily Load(TMDL)	수질총량규제
기본법	수계상수원수질개선헌법 지원등에관한법률	Clean Water act	수질오탁방지법
시행	1999년	1991년	1979년
계획 및 시행주체	시장·군수	주정부 및 자치단체	도도부현 지사
계획승인	환경부장관	EPA 청장	내각총리대신
관리목표	수질환경기준 또는 삭감목표량	수질환경기준	삭감목표량
관리지역	-4대강 및 수계에 속하는 시·군	-전역에 걸쳐 수질환경기준 을 초과하는 하천	-특정 폐쇄성 수역중 정령 으로 지정
관리물질	-기본적으로 BOD -필요시 COD, TN, TP 지정	-하천기준초과항목	-기본적으로 COD -필요시 정령으로 지정
관리대상	-기본적으로 지역내 모든 오염원(점·비점 오염원)	-하천기준초과항목	-일정규모 이상의 점오염원 (규제기준 설정)
총량삭감 기본방침	-환경부장관 -현실적(기술적)으로 삭감 가능목표를 설정하고 연차 별 삭감	-주정부 -수질에 근거한 관리 -목표달성을 위한 부하량 삭감 및 배분	-내각총리대신 -현실적(기술적)으로 삭감 가능 목표를 설정하고 연 차별 삭감
오염총량 관리계획 포함사항	-삭감목표량 -지역개발에 따른 부하량 증감 -연차별 삭감계획 -삭감방법 및 제원 -삭감기대효과	-삭감목표량 -오염원별 부하량 할당 -부하량 할당시 안전치 고 려 -삭감기대효과	-오염원별 삭감목표량 -연차별 삭감계획 -삭감방법(총량구제 대상업 종 및 규제농도, 하수도정 비 등)
인센티브	-일부 행위제한 완화 -재정적 지원	-	-

제2절 오염부하량 산정 연구동향

1. 원단위 산정 관련 연구사례

유역으로부터의 오염부하량은 오염물질을 배출하는 각 오염원에 대하여 오염원별 원단위를 적용하여 산정할 수 있다. 원단위는 개별 오염원이 하루 동안 발생가능한 오염물질량을 정량화한 것으로 우리나라에서 오염물질 발생량을 산정하기 위하여 널리 사용되는 방법이다. 그러나 이러한 오염원단위에 대한 실측자료는 매우 부족하여, 지역 특성 및 계절적 영향 등을 고려하지 않고 원단위를 사용하는 경우 실제 발생하는 오염부하량의 산정에 있어 많은 오류를 나타낼 수 있다.

한국수자원공사(1990)에서는 외국문헌상의 오염원별 원단위를 정리하여 제시한 바 있으며, 1992년에는 인구활동에 의한 오염물질 발생의 증가를 고려하고, 가축의 종류를 보다 세분화하고, 양식장에 의한 오염부하를 추가하여 원단위를 제시하였다. 환경처(1992)에서는 각 수계의 현황과 수질 오염에 영향을 미칠 수 있는 대상을 조사하고 과거자료와 비교 분석하여 원단위를 산정하였다. 한편, 용담 다목적 수질보전대책 수립을 위한 오염부하량 산정을 위한 연구에서는 소득수준의 향상에 따른 배출부하량의 증가를 고려하기 위하여 매년 BOD 원단위가 1g씩 증가하는 것으로 가정하여 원단위를 사용한 바 있다(한국수자원공사, 2000). 2001년 환경부에서는 인구에 의한 오염부하 발생원단위를 단독주택, 공동주택, 영업지역으로 구분하여 우리나라의 10개 도시지역을 대상으로 조사한 바 있으며, BOD와 TP의 경우에는 기존의 연구에서 산정된 시가인구에 대한 BOD 및 TP 발생 원단위에 비해 매우 작은 수치를 나타내고 있으며, TN의 경우에는 유사한 값을 나타내었다. 환경부의 비점오염원 조사연구사업 보고서(1995)에 의하면 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역에서 각각 3지점의 논에서 6월부터 9월까지 발생한 강우 사상 중 5-6개에 대해서 부하량을 실측하여 원단위를 산정하였고, 이는 현재 수계오염총량 관리기술지침으로 고시되어 3대강수계에 적용되고 있다. 최근 연구를 원단위 관련 연구를 살펴보면, 신동석 등(2006)은 기존 토지이용형태별 원단위 중 도로 및 대지 지목에 대하여 유량가중 강우 유출수 농도(EMC)를 고려한 원단위 개정(안)을 제시한 바 있다.

한기봉 등(2007)은 한강수계를 대상으로 축산계 오염물질 배출원단위 조사 및 축산자원화물의 배출특성을, 최종대 등(2007)은 한강수계를 대상으로 비점오염원의 오염부하 유출량을 조사하였다. 김태근 등(2007)은 SWAT을 이용하여 금강상류유역의 비점오염물질 유출특성을 연구하였으며, 서규태 등(2007)은 비점오염원 중 도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성을 조사한 바 있다. EHN, 이승환 등(2007)은 낙동강수계에서 섬유, 화학, 제지 산업을 중심으로 일반 수질오염물질 항목에 대해 업종별 공정별 유해물질의 배출특성을 조사하였으며, 이규승 등(2007)은 금강수계를 대상으로 밭 및 임야로부터의 오염물질 배출특성을 조사하였고, 윤광식 등(2007)은 영산강·섬진강 수계의 논유역을 대상으로 논 오염부하를 계측하여 수계의 기상조건 및 최근 영농 및 물관리 관행을 반영한 논오염부하 원단위를 재산정하고, 논 오염부하 관련 주요 인자를 도출하여 논오염부하 산정을 위한 범용식을 개발하였다. 그 외 정재운 등(2008)은 현재 널리 이용되고 있는 환경부의 원단위 산정시 측정 자료를 4대강 수계별로 비교·고찰하고, 영산강 수계의 2004년에 합평군 시험 논 지구에서 실측한 수문 및 수질자료를 비교하여 현 원단위의 문제점을 파악하고, 향후 원단위 산정의 개선방안을 제시하기 위하여 연구 중에 있다.

2. 부하량 산정 관련 연구사례

1) 집중형 방식에 의한 접근

오염원으로부터의 오염부하 산정을 위한 국내의 체계적인 연구는 미흡한 편이나, 최지용(1981)은 팔당호로 유입되는 오염부하량을 산정하기 위해 오염원을 인구와 가축, 산업체 그리고 자연오탁부하량으로 구분하고 각 오염원별 오염원단위를 적용하여 일일 부하량을 산정하였으며, 하천에 도달하는 부하량의 산정을 위해서는 각 오염원 별로 주어진 유달률을 적용하는 방식을 택하였다. 또한, 장정렬(1994)은 경기도 이천군 복하천 상류의 대표시험 유역을 대상으로 농촌유역에 적용할 수 있는 수질관리모형을 개발하고자 원단위와 유달률을 이용한 오염부하 계산모형과 QUAL2E 모형을 결합하여 농촌유역 수질관리모형(WQMMRA)을 개발한 바 있다. 그 외에 국립환경과학원(1992)과 한국환경정책평가연구원(1997) 그리고 경기개발연

구원(1997) 등에서도 수질개선방안 수립을 위해 점 및 비점오염원의 일일 부하량을 산정한 바 있다. 이들 연구들은 모두 점 및 비점오염원의 배출 특성을 무시하고 일일 원단위를 적용하여 부하량을 계산하므로 부하량의 시기별 변화를 구분할 수 없었다.

점오염원과 비점오염원의 배출특성을 구별하여 접근한 연구로 구분경(1988)에 의한 의암호 유역의 오염부하 산정을 들 수 있다. 여기에서는 토지이용 형태에 따라 점오염원 및 비점오염 부하로 구분하여 계절별로 산정하였다. 이때 토지 이용형태는 크게 도시 및 비도시지역으로 구분하고, 도시지역은 다시 주거지역, 상업 지역, 공업지역으로 비도시지역은 논, 밭, 산림, 기타지역으로 다시 세분하였다. 점 오염부하는 각 오염원에 대해 원단위를 적용하여 산정하였고, 비점오염부하는 도시 지역의 총 고형물 퇴적률과 비도시지역의 토양유실량 예측 공식에 근거하여 추정하였다. 하지만, 공간정보를 모두 집중형(lumped) 입력 방식인 전체유역 단위 내 각 토지이용의 비율을 이용하였기 때문에 모의 효율성은 높지만, 소유역별 국지적 특성을 반영하기는 어려움이 많았다.

유역별 오염부하량 산정을 위해 통상적으로 접근하는 방법으로 점유율에 의한 접근을 들 수 있다. 그 한 예로는 한강환경관리청(1995, 1996, 1997,1998)에서 95년 이후로 한강유역을 대상으로 각 행정구역이 특정유역에 포함되는 비율을 계산하고 이를 바탕으로 행정구역별 정보를 유역별 정보로 전환하여 부하량을 산정하는 것을 들 수 있다. 이때, 점유율에 따른 유역별 오염원으로서의 할당은 아래 <식 2-1>과 <식 2-2>와 같이 계산된다.

$$LU_{wsd\ i, k} = \sum_{j=1}^n R_{i, j} \times LU_{adm\ j, k} \quad <2-1>$$

$$PS_{wsd\ i, l} = \sum_{j=1}^n R_{i, j} \times PS_{adm\ j, l} \quad <2-2>$$

여기서, $LU_{wsd\ i, k}$ = i 유역에서의 토지 이용 k의 면적, $LU_{adm\ j, k}$ = j 행정구역에서의 토지이용 k의 면적, $R_{i, j}$ = j 행정구역에 대한 i 유역의 점유율, $PS_{wsd\ i, l}$ = i 유역에서의 오염원 l의 수, $PS_{adm\ j, l}$ = j 행정구역에서의 오염원 l의 수, i = 유역, j = 행정구역, k = 토지이용, l = 오염원, n = 유역 i에 포함된 행정구역수이다. 이의 계산과정에서 보면, 각 오염원은 행정구역의 전체 면적에 균일하게 분포하고 있다는 가정이 필요하다. 따라서, 오염원정보를 담고 있는 행정구

역의 면적이 너무 크면 그 오차가 커지게 되고, 위치가 정해진 대형 점오염원인 경우에는 이러한 방법의 적용이 곤란하다.

또한, 환경부(1998)에서 수질환경정책지원체계의 수립을 위해 한강 유역전체를 대상으로 각 리동별 오염원 자료로부터 한강유역을 다시 277개의 중유역으로 분할한 후 각 유역 내 점 오염원별 부하량 정보를 산정하였다. 이 과정에서도 역시 배수구역과 행정구역을 중첩시켜 만든 점유역을 활용하였으나, 계산의 간편성 등을 들어 점유율이 높은 배수구역으로 모든 행정구역 오염원 정보를 할당하였다. 또한, 현재 시행되고 있는 수질오염총량관리제와 중권역관리계획 역시 점유율을 이용하여 부하량을 할당하고 있는 실정이다. 리동단위의 행정구역과 유역경계가 일치하지 않고, 위치정보를 효율적으로 활용할 수 있는 지리정보체계기법이 발전하고 있는 상황에서는 이 역시 바람직한 방법이 아니다.

2) 분포형 방식에 의한 접근

소유역별 국지적 특성을 반영할 수 있는 분포형 입력방식에 의한 연구는 이명우(1989)에 의해 전주시 덕진동의 연화천 소유역을 대상으로 HSPF 모형의 기본원리를 활용하면서 격자형 입력방식을 채택한 것을 대표적으로 들 수 있다. 여기에서는 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 해상력을 가지는 각 격자별 토지이용과 표고, 경사, 토양 그리고 임상정보로부터 각 격자별 부하모형을 구축하였다. 이 연구는 주로 소유역에서의 유출특성에 대한 분석에 비중을 두고 있기 때문에 강우시에 5분 단위의 단기 유출량과 토지이용 형태가 다른 각 격자로부터 배출되는 비점오염부하량을 산정하였다. 이때, 점 오염원에 대한 영향을 배제하기 위해 강우가 없는 평상시의 수질농도의 평균값을 구하여 점 오염원에 의한 부하량을 산정하고 강우시 비점오염부하 해석을 위해 이를 제하였다. 결국, 이 연구는 단기 강우 사상 예측을 통한 비점오염특성을 해석하기 위한 것으로 점 및 비점오염을 통합적으로 비교하기는 어려운 단점을 가진다.

국립환경과학원(1992)에서는 경안천유역에 대해 행정구역정보로부터 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 해상력을 가지는 총 509개의 격자로 구성하여 각 격자별 오염부하량을 산정한 후, 이를 다시 13개의 소

유역정보로 전환하였다. 이 연구 역시 각 격자 내 점 및 비점오염원의 부하량을 원단위를 적용하여 산정하고 있어 비점오염원의 부하특성을 제대로 반영하지 못한 한계를 가지고 있다. 특히, 분포형 입력방식을 택하고 있지만 격자크기가 큰 관계로 오염원 별 분포특성을 반영하기 어렵고 행정구역 내의 모든 오염원들이 행정구역 범위 내에 균일하게 분포하고 있다는 가정에 따라 격자 별 오염원 정보로 전환하는 과정에서 오차가 커지게 된다. 또한, 격자별 정보를 다시 소유역별 정보로 전환하는 과정에서 모든 오염원들이 격자의 중심에 집중되어 있는 것으로 가정하게 되므로 유역모양이 변형되고 그 과정에서 역시 오류가 발생한다. 따라서, 해상력이 낮은 격자에 의한 면적비법은 대규모 유역에 대해 상대적인 오염상황을 판단하기 위해 사용할 때에는 유리하나 중 소규모의 하천에 대한 오염현상을 규명하기 위한 목적으로 사용하기에는 부적합한 점이 많다.

비점오염부하량 산정방법은 여러 모형에 부하량 산정기법으로 적용이 되어 왔고, 특히 격자 기반의 분포형 모형은 유역의 특성과 수문현상에 기초하여 토양침식, 오염물질의 발생 및 이동 등이 결정되는 합리적인 방법이다(나은혜 등, 2001). 토양유실량 예측공식에 근거한 비점오염모형으로는 AGNPS(Young et al., 1987), SWAT(Arnold et al., 1993) 등이 주로 이용되고 있다(Leon et al. 2001). 박연희와 박석순(2004)은 SWMM 모델을 이용하여 도시지역의 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정함수를 연구한 바 있으며, 서동일 등(2005)은 비점오염물질 부하량의 산정을 위해 토지피복지도를 이용한 SWAT 모형을 용담댐유역을 대상으로 적용한 바 있다. 연구결과는 지역별 토지이용특성 및 지형특성에 따른 오염부하원단위를 산정하는데 SWAT 모형이 효과적으로 이용될 수 있음을 시사하고 있다. 또한, 김갑수와 이종태(2006)는 중랑천 유역(도시하천)을 대상으로 SWMM 모델을 이용하여 비점오염원 부하량 및 원단위를 산정하였다. 이처럼 최근 비점오염원 부하량 및 원단위를 산정시 유역모형의 적용에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.

3) 지리정보체계의 활용

컴퓨터의 급속한 발달과 지리정보체계의 발전에 의해 1980년대부터 수문모형에 지리정보체

계가 적용되기 시작하였으며 초기의 적용은 주로 지도중첩에 의한 방법이었다. Ventrura 등(1988)은 토양도와 지형도를 이용하여 경사도와 토양 침식 능숙성을 생성하였고, Hession(1988)과 Gilliland(1987)은 유사한 방법으로 유역의 유사운송비를 분석하였으며, 그 이외에 지하수 오염가능지역 분석 등에 지리정보체계가 사용되었다(김진택, 1995). 그런데, 이들 연구들은 모두 지리정보체계의 가장 초보적인 기능 인지도 중첩에 의한 작업을 주로 하였기 때문에 수문분석과 같은 복잡한 작업을 할 수가 없었다. 그래서 수문모형을 포함하는 다양하고 광범위한 모형을 운용하기 위해서는 수질 및 유량관리와 관련된 많은 자료를 효율적으로 관리하고 제어할 수 있는 여러 종류의 데이터베이스가 이용되어야 했고 따라서 지형정보체계와 연계하여 각종 정보를 도출하고 모형의 입력 자료를 생성시키는 노력을 기울이게 되었다. 그 예로서 Zhang 등(1990)은 오염모형과 지리정보체계를 결합하여 농업화학물질 영향평가 및 관리체계(Ag CHEMS: Agricultural Chemical Impact Evaluation&Management System)를 구축하였고 Fisher(1989)와 Wolfe(1992)는 강우유출모형 HSPF와 FESHM에 지리정보체계를 적용하였다(김진택, 1995).

대표적인 지리정보체계 소프트웨어인 ARC/INFO와 IDRISI, GRASS는 지형분석도구로서 사용자로 하여금 지표데이터에 의해 유역경계와 하천망을 쉽게 분할 가능하도록 하며 지표면의 경사도를 파악하고 순서대로 정렬된 하천망을 구성할 수 있도록 해준다. 또한 표준수문모형의 입력데이터를 쉽게 준비할 수 있도록 해주고 모형의 출력결과를 뒤에 도시하거나 분석할 수 있도록 해준다(Gilliland 등, 1987; Bleecker 등, 1990; Newell 등, 1990; Orien, 1990; Zhang, 1990; Camp 등, 1993; Batelaan 등, 1993; 이요상, 1996, 재인용). 따라서 이러한 지리정보체계를 활용한 연구는 1990년대에 이르러 더욱 발전하여 대부분의 유역모형에 적용되는 수준에 이르렀으며 그 예는 <표 2-2>와 같다. 그런데 이들 중 AGNPS등 몇 가지 모형을 제외하고는 대부분 강우유출을 해석하기 위한 것이거나 토양유실량을 개별적으로 예측하는 것으로 수문과 수질을 함께 모의하는 연구는 많지 않다.

지리정보체계를 수질환경관리에 적용한 국내의 연구 역시 많지 않은 편이나 박성우 등(1983)이 수문분석에 GRASS를 이용한 연구를 통해 수문 및 수자원해석 관리에 래스터 기반의 공공용 지리정보체계인 GRASS의 적용을 검토한 바 있다. 또한 환경처(1993)에서는 지리정보

체계와 원격탐사기법을 이용한 환경정보추출 및 수질관리 응용체계와 수질정보종합 시스템을 개발하였고 심순보 등(1996)은 RS/지리정보체계기법에 의한 데이터베이스와 수질모형을 이용하여 충주저수지 오염부하량을 산정하는 연구결과를 발표하기도 하였다. 김진택(1995)은 농업비점원 오염물질 중 부유물과 TN, TP에 대해 모의할 수 있도록 반월 지역을 대상으로 GRASS와 AGNPS간의 호환모형을 개발 및 적용하였는데 이때 간격자의 해상도는 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 였다. 이 연구는 모형의 응용으로 최적관리기법의 적용에 따른 수질 및 유량의 변화를 관찰함으로써 농업비점오염의 관리방안을 검토한 것이 특징적이나 역시 비점 오염원만을 대상으로 하였다. 이요상(1996)은 이러한 단점을 극복하기 위해 충주댐 유역을 대상으로 점 및 비점오염원에 의한 오염부하 산정체계를 개발하였다. 여기에서는 IDRISI등의 지리정보체계를 사용하였고 강우시와 비강우시로 구분하여 오염부하량을 산정하였는데 점오염원에 대해서는 유역 내 오염원에 부하원단위를 적용하고 이것이 하천까지 미치는 영향에 대해 유달률을 적용하는 집중형 방식을 채택하였고 비점오염원의 경우는 비도시지역에 적용하는 AGNPS모형을 수정 보완하는 분포형 방식을 채택하였다.

그 외에 토양유실량 예측공식을 활용한 연구로 김상욱(1995)이 IDRISI를 사용하여 경안천유역에서 연간 토양 유실량을 예측한 바 있으나 이 연구는 강우인자 등을 타 연구결과로부터 인용하는 등 각 인자에 대한 적절한 값의 결정과 적용과정을 명확히 하지 않고 있다. 반면 우창호 등(1996)은 강우인자를 제외한 기타의 인자 값에 대해 자세한 접근을 하였으며 특히 급경사지에서는 사면길이 및 경사인자를 계산함에 있어 단위격자를 하나의 독립된 시험포로 가정하는 것이 좋다는 결론을 내렸다. 또한 이석민(1995), 류주형(1995), 김윤중 등(1994)과 김윤중 등(1995)은 토양 유실량 예측공식을 응용하여 강우인자를 제외한 각 인자의 곱인 토양유실계수를 통해 토양 유실량의 지역적인 차이를 검토한 바 있다. 2000년대에 들어 GIS와 정보기술 연계를 통한 자료관리 및 모형 매개변수 산출을 위한 연구들이 활발히 진행 중에 있다(Leon 등, 2000). 김경탁 등(2000, 2003)이 수행한 국산 GIS 엔진을 활용한 하천네트워크 분석 및 지표추출시스템의 개발과 하성룡 등(1996, 2006)의 최적 상수관망노선선정을 위한 GIS 연계기술 개발, 준분포형 유역모형인 HSPF의 사용을 위해 시스템 분석 및 설계, 기초데이터 수집과 DB 구축, 지형 매개변수 산정을 위한 GIS-HSPF의 통합 인터페이스 개발을 통해 HSPF 모형의 운영환경을 지원하는 정보시스템을 개발 등 다수의 연구가 진행중에 있다. 환경부(2002)에서 지

리정보체계를 기반으로 한 “소수계 수질관리 정보시스템 개발”이 되었고, 그 후 총량제가 실시됨에 따라 총량제 관련하여 GIS를 연계한 연구가 활발히 진행중에 있다. 이와 관련, 심재민(2004), 함광준 등(2005)은 수계오염총량관리기술지침(2002)의 원단위를 이용하여 GIS를 이용하여 발생부하량 산정 시스템을 개발하였다. 배명순과 하성룡(2006)은 행정구역단위의 오염원 정보를 수계단위로 배분하는 과정에서 발생하는 불확실성을 개선하고자 인구를 대상으로 토지피복정보 및 지형정보체계를 이용한 공간분포특성을 고려한 배분기법을 제안하기도 하였다.

이러한 선행연구들을 종합적으로 검토해보면 대부분의 연구들이 수문분석을 주로하거나 비도시지역에서 발생하는 비점오염원을 주로 다루고 있어 강우 및 비강우시의 유출특성과 함께 점 및 비점오염원을 통합적으로 검토하여 연중 변화되는 오염부하특성을 해석한 연구는 찾아보기 힘들다.

〈표 2-2〉 수질 및 유량예측을 위한 GIS 적용 유역모델 사례

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 - ien t 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	Brow n&Engel, 1993
		GRASS	Saginaw Bay, MI, USA	No	He et al., 1993
		GRASS	Eas t- central IL, USA	Yes	Mitch el 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	GENA MAP	UK, Netherlands	Yes	DeRoo, 1993
		GRASS	West Lafayette, IN, USA	Yes	Brow n & 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	Nex pert Object	VA Coastal Plain , USA	No	Heatwole, 1990
		ARC/ INFO	Dupin Co., NC. USA	No	Stallings et al., 1993
EPIC Erosion / Productivity 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 2-2〉 수질 및 유량예측을 위한 GIS 적용 유역모델 사례 (계속)

Model Name	Main Functions	GIS	Study Location s	Validation Study	References
DRASTIC Depth, Recharge, Aquifer, Soil, Topography , Impact, Conductivity	- grou nd water contamination suscepti- bility index	ARC/ INFO	FL, USA	No	Hatch itt & Maddox , 1993
		ARC/ INFO	GA, USA	No	Tren t, 1993
MODFLOW	- ground water flow	ARC/ INFO	MD, USA	No	Hin aman , 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/Czechosl lovakian 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-surfaces aturated flow	GRASS	West Lafayette, IN, USA	No	Chair at & Delleur, 1993 a, b
		WIS	Plynlimon , UK	Yes	Romanowicz et al., 1993
		SPANS	West Wales , UK	No	Stuart & Stocks, 1993
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

3. 수질오염총량관리 방안 관련 연구사례

이혜영과 박석순(2004)은 미국에서 우리의 오염총량관리제도와 유사한 Total Maximum Daily Load(TMDL) 산정에 널리 이용되고 있는 의사결정 지원시스템인 Watershed Analysis Risk Management Framework(WARMF)를 수도권 상수원인 팔당호에 유입되는 경안천에 적용하여 오염총량을 산정하였고, 오염총량제도의 기준유량인 저수기에 비점오염원에 대한 영향을 고려하기 힘들다는 점을 반영하기 위하여 점오염원의 일정 비율감소에 따른 비점오염원 부하량의 허용부하량을 산정하였다. Chen 등(2004)은 비점오염원까지 고려할 수 있는 TMDL 산정을 위한 의사결정 지원시스템(Decision Support System, DSS)인 WARMF를 개발하였으며, Endreny 등(2003)은 최근에 U.S. Environmental Protection Agency(US EPA)에서 강조하는 TMDL 관리모델인 Better Assessment Science for Integrating point and Nonpoint Source (BASINS)의 Hydrologic Simulation Program - FORTRAN for Windows(WinHSPF)와 Geographic Information System(GIS)를 기반으로 한 ArcView를 이용하여 TMDL 산정을 위한 유출량을 모의하였다. Kang 등(2006)은 SWAT과 TMDL 산정 모델인 TOLOS를 이용하여 경기도 수원시 발안지역의 벼농사지역을 대상으로 연별 TMDL을 산정하였다. Tufail and Ormsbee(2005)는 Louisville Kentucky에 있는 Beargrass Creek의 유역을 대상으로 하여 연역적 모형(deductive models)인 HSPF, WASP5 그리고 CEQUAL과 AI(Artificial Intelligence)기술, 즉 Artificial Neural Network(ANN)와 Genetic Algorithms(GA)과 같은 귀납적 모형(inductive models)을 비교하여 TMDL 산정하였다. 김봉석 등(2006)은 전라북도에 위치한 만경강의 수질오염총량관리를 위해 할당방법을 달리하여 시나리오별 삭감부하량과 할당부하량을 산정하고 비교하였고, 김영일과 이상진(2006)은 현재 시행중인 수질오염총량관리제도의 계획수립과정에서 발생하는 문제점들을 살펴보고 이를 개선하기 위한 방안을 제시하였다. 류동경 등(2006)은 낙동강 유역에 Biochemical Oxygen Demand(BOD)의 유기물 지표로써의 단점을 Total Organic Carbon(TOC)로 보완을 하였으며, 박재홍 등(2006)은 수질오염총량관리제도를 위한 관리대상물질에 대해서 BOD의 문제점 및 한계성을 제시하고 이화학적 수질오염지표인 Chemical Oxygen Demand(COD), DO, TN, TP 등과 생물학적 수질오염지표인 대장균군, 클로로필a의 특징들을 낙동강 수계의 본류구간 및 지류구간에 적용하여 BOD외의 수질오염지표들의 적용 타당성을 분석하였다. Culver 등(2004)은 이미 TMDL이 실행중인 Virginia의

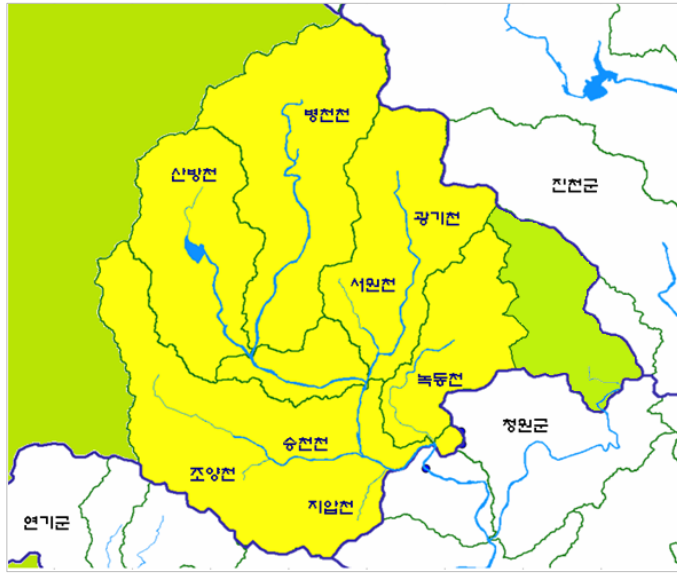
Muddy Creek과 Dry River 유역을 대상으로 HSPF를 이용하여 수량과 수질을 모의하였고, 특히 nitrate TMDL를 재산정하고 결과를 토대로 현재 실행중인 TMDL의 성공과 실패요인을 분석한 바 있다. 또한, 정은성 등(2008)은 오염총량관리제의 문제점 중 기준유량 설정방법의 불확실성과 유출의 계절적 변화를 고려하기 위해 하천유지유량 개념을 도입하여 월별로 다른 유지유량을 산정하였다. 이처럼 총량관리제가 시행됨에 따라 최근 관련된 연구가 활발히 진행 중에 있었으며, 향후 이러한 연구결과를 토대로 총량관리제의 부하량 산정 및 제도시행과정에서의 개선이 될 것으로 기대된다.

제3장 연구대상지역의 물환경 현황

제1절 유역의 일반특성

본 연구는 유역별 배출부하량 산정기법의 개선안을 제시하는 것을 목적으로 수행되었다. 병천천은 천안시의 영향을 반영하는 금강의 제 2지류로서 수질오염총량관리제가 시행됨에 따라 소유역별 수질 및 유량이 정기적으로 측정되고 있고, 비교적 정확한 공간자료 및 오염원자료 등을 보유하고 있다. 따라서 병천천수계는 본 연구의 수행을 위한 검증지역으로 적합할 것으로 판단되어 연구대상유역으로 선정하였다.

연구대상유역인 병천천수계의 유역면적은 244.1km²이며, 유입수계는 없고 모두 병천천, 미호천을 거쳐 금강으로 유출하는 수계구조를 가지고 있다. 병천천수계는 천안시 금강유역을 관류하는 병천천을 기준으로 우안에는 산방천, 승천천, 지압천 등이 합류하고, 좌안에는 광기천, 녹동천, 용두천 등이 합류하여 금강중류권역의 지류인 미호천으로 유출한다. 연구대상유역의 수계도는 [그림 3-1]에 나타난 바와 같고, <표 3-1>은 병천천수계의 행정구역 현황을 나타내고 있다.



[그림 3-1] 연구대상지역의 수계도

〈표 3-1〉 연구대상지역의 행정구역 현황

읍·면	동·리	해당 소유역
목천읍	서리, 동리, 교촌리, 서흥리, 덕전리, 송전리, 석천리, 동평리, 운전리, 남화리, 지산리, 교천리, 신계리, 천정리	병천A01, 병천A02, 병천A03, 병천A06
동면	구도리, 송연리, 화계리, 광덕리, 동산리, 행암리	병천A05
병천면	가전리, 병천리, 탑원리, 도원리, 매성리, 관성리, 봉향리, 용두리, 송정리	병천A04, 병천A05, 병천A06, 병천A07
북면	연춘리, 상동리, 은지리, 용암리, 매송리, 명덕리, 오곡리, 사담리, 전곡리, 양곡리, 남안리, 운용리, 대평리	병천A01, 병천A02, 병천A03, 병천A04
성남면	신덕리, 봉양리, 대흥리, 대정리, 석곡리, 용원리, 신사리, 대화리, 화성리	병천A03, 병천A06
수신면	속창리, 신평리, 해정리, 백자리, 발산리, 장산리	병천A03, 병천A06

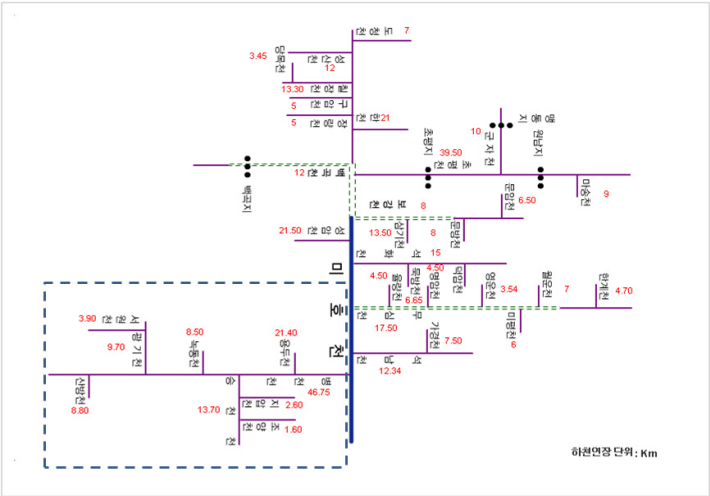
연구대상지역인 병천천수계에는 지방하천 8개소가 존재하며 하천연장 및 유역면적 등의 현황은 아래와 같다.

〈표 3-2〉 연구대상지역의 지방2급하천 현황

수 계	하 천	구 분	기 점	종 점	유로연장 (km)	하천연장 (km)	유역면적 (km ²)
금 강	병천천	지방	충남 천안 북면	충북 청원군 강외면	46.75	46.75	366.63
	산방천	지방	충남 천안시 목천읍	충남 천안시 목천읍	11.61	8.8	31.67
	광기천	지방	충남 천안시 병천면	충남 천안시 병천면	10.1	9.7	41.15
	서원천	지방	충남 천안시 병천면	충남 천안시 병천면	9.95	3.9	5.57
	녹동천	지방	충남 천안시 동면	충남 천안시 병천면	8.53	8.5	18.71
	승천천	지방	충남 천안시 목천읍	충남 천안시 수신면	18.18	13.7	60.44
	조양천	지방	충남 천안시 성남면	충남 천안시 성남면	4.2	1.6	5.3
	지압천	지방	충남 천안시 수신면	충남 천안시 수신면	3.23	2.6	2.94

자료 : 국토해양부, 국가수자원관리 종합정보시스템, 2007.

다음 그림은 연구대상유역이 포함되는 주요하천을 도식화한 것으로, 굵은 점선구간이 대상 지역내의 지방하천을 나타낸다.



〔그림 3-2〕 연구대상지역의 하천모식도

연구대상유역의 수질오염총량관리제 상 단위유역은 병천A 유역에 해당되며, 단위유역의 행정구역(읍·면) 점유율은 아래 표와 같다. 연구대상유역내 북면, 병천면, 목천읍이 차지하는 비율은 약 66.2%이고, 성남면 15.2%, 수신면 10.8%, 동면이 차지하는 비율은 약 8.0%이다.

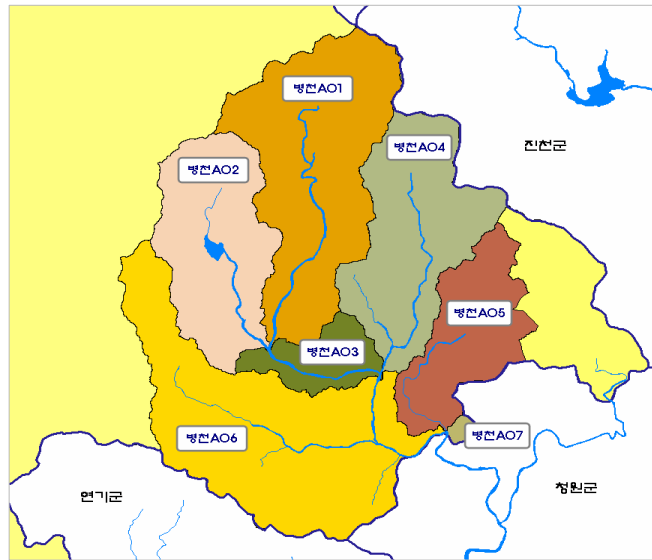
〈표 3-3〉 연구대상지역의 해당 단위유역 행정구역 점유율

단위유역코드	단위유역명	시·군	읍·면	유역내 면적(km)	점유율(%)
K1130501	병천A	천안시	동 면	19.4	8.0
			목천읍	47.8	19.6
			병천면	55.4	22.7
			북 면	58.2	23.8
			성남면	36.9	15.1
			수신면	26.4	10.8
		합 계			244.1
총 계				244.1	100.0

연구대상유역의 소유역은 병천A01, 병천A02, 병천A03, 병천A04, 병천A05, 병천A06, 병천A07로 총 7개 소유역이며, 해당 소유역에 포함되는 읍·면별 유역면적 점유율은 <표 3-4>와 같다.

〈표 3-4〉 연구대상지역의 읍·면별 소유역 점유율

시·군	읍·면·동	단위유역명	소유역코드	소유역명	유역내면적(k㎡)	점유율(%)
천안시	동면	병천A	K113050105	병천A05	19.407	2.3
	목천읍		K113050101	병천A01	0.094	1.3
			K113050102	병천A02	36.697	7.2
			K113050103	병천A03	1.337	2.0
			K113050106	병천A06	9.701	3.7
	병천면		K113050103	병천A03	6.138	6.6
			K113050104	병천A04	40.712	3.7
			K113050105	병천A05	6.532	3.4
			K113050106	병천A06	1.095	3.5
			K113050107	병천A07	0.972	2.1
	북면		K113050101	병천A01	56.688	17.9
			K113050102	병천A02	0.341	0.1
			K113050103	병천A03	1.135	3.4
			K113050104	병천A04	0.047	1.3
	성남면		K113050103	병천A03	2.038	1.4
			K113050106	병천A06	34.823	17.2
	수신면		K113050103	병천A03	0.701	2.3
			K113050106	병천A06	25.655	12.5
합 계					244.113	100.0

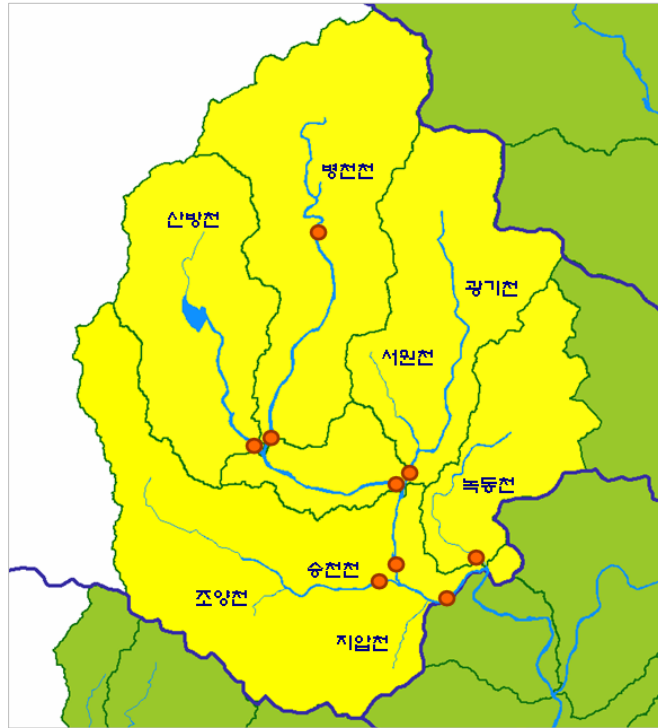


(그림 3-3) 연구대상지역의 소유역도

제2절 하천의 수질 및 유량 현황

1. 측정지점 현황

수질 및 유량의 측정자료는 천안시 수질오염총량관리시행계획 및 이행평가시 실측하였던 연구결과 중 연구대상유역에 해당하는 자료를 선택적으로 발췌하여 유달부하량 산정시 활용하였다. 단위유역인 병천A 유역내의 소유역을 중심으로 지류하천 총 9개 지점이며, 지점명 및 세부위치는 [그림 3-4]와 <표 3-5>에 나타내었다. 수질 및 유량측정 자료는 총 40회(2004. 12 ~ 2005. 8, 2006. 10 ~ 2006. 12)에 걸친 BOD₅, COD_{Mn}, TN, TP의 측정결과를 활용하였다.



(그림 3-4) 하천의 수질 및 유량 측정지점

〈표 3-5〉 수질 및 유량 측정지점 현황

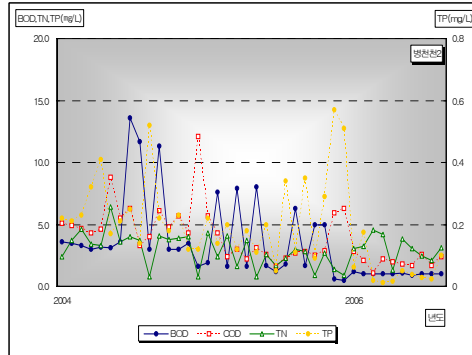
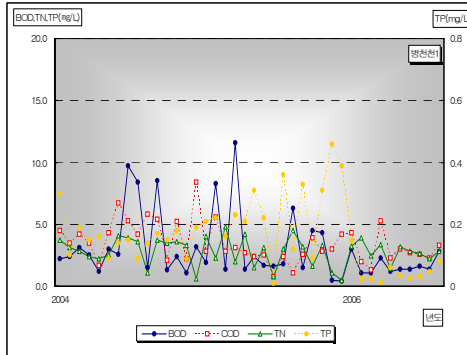
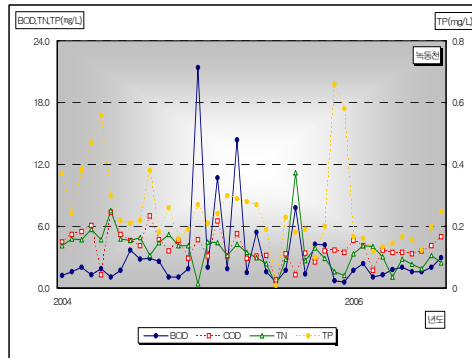
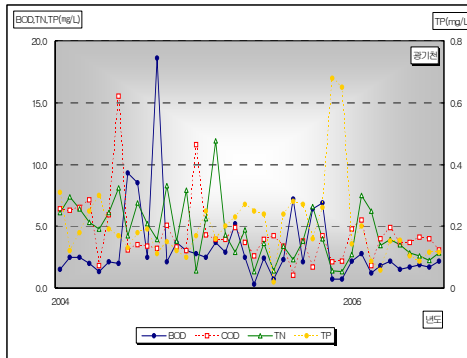
하천명	채수지점 해당구역		채수지점		
	단위구역명	소유역명	읍·면	리	비 고
산방천	병천A	병천A02	북면	연춘리	병천천 합류전 (연운교)
병천천1		병천A01	북면	연춘리	산방천 합류전 (연춘교)
병천천2		병천A03	병천면	가전리	광기천 합류전 (병천천 제2교)
광기천		병천A04	병천면	도원리	병천천 합류전 (아우내교)
병천천3		병천A03	수신면	장산리	광기천 합류후
승천천		병천A06	수신면	속창리	병천천 합류전 (발산교)
병천천4		병천A06	수신면	장산리	승천천 합류전 (남산잠수교)
녹동천		병천A05	병천면	다회리	병천천 합류전 (청강교)
병천천5		병천A07	병천면	다회리	충북 청원군 경계지점

자료 : 천안시, 수질오염총량관리시행계획, 2006. 및 천안시, 수질오염총량관리시행계획 이행평가, 2007.

2. 측정결과

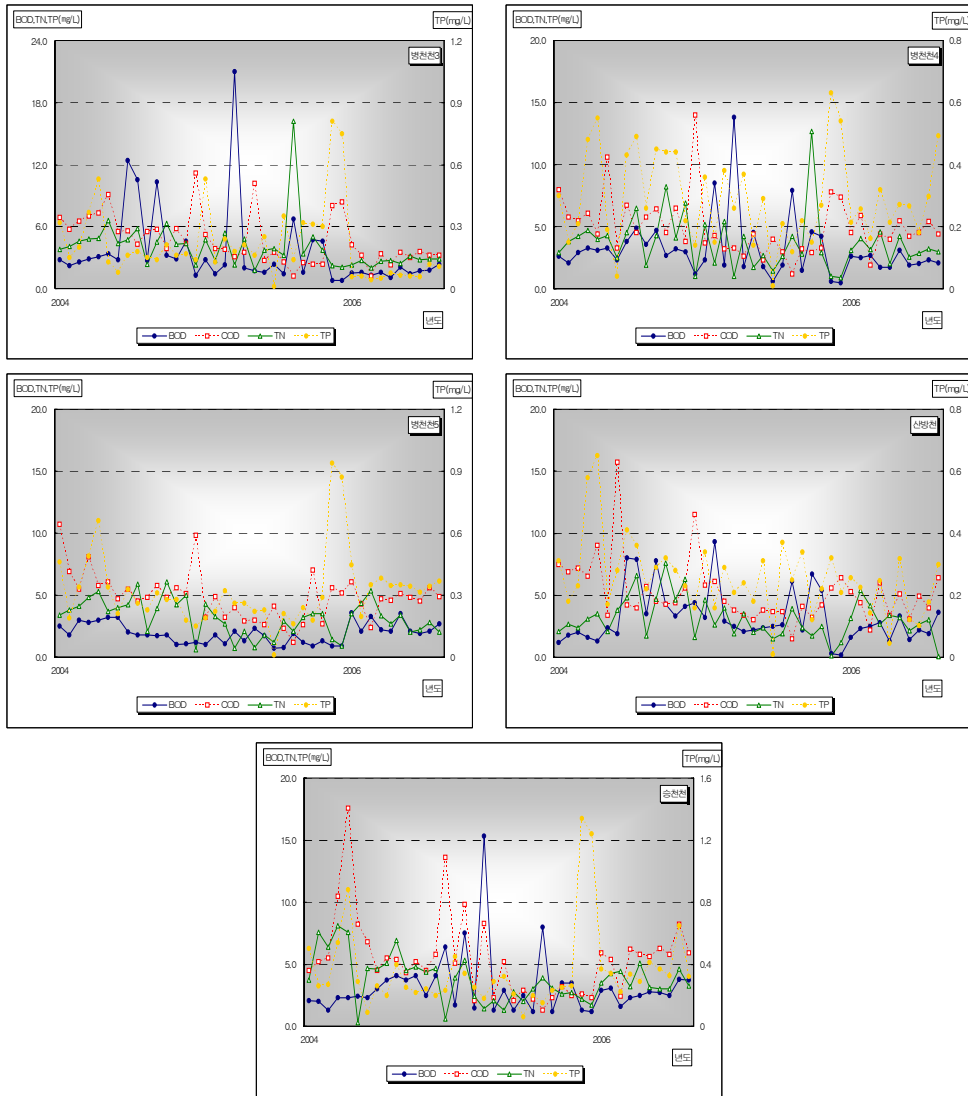
1) 측정지점별 수질

연구대상지역의 소유역별 주요 측정지점의 측정일자별 BOD₅, COD_{Mn}, TN, TP의 수질농도 변화양상은 [그림 3-5]와 같으며, 대체적으로 평~갈수기 동안 수질농도가 높아지는 경향을 보였다. 병천천 말단의 경우 BOD₅기준 II등급 수준이며, 병천공공하수처리시설 가동 및 관로정비 등에 의해 수질변화 폭이 크게 나타났고, 하천별로는 광기천, 녹동천 지점에서의 수질농도가 높은 경향을 나타내었다.



자료 : 천안시, 수질오염총량관리시행계획 및 이행평가, 2007.

(그림 3-5) 병천천수계의 하천별 수질변화



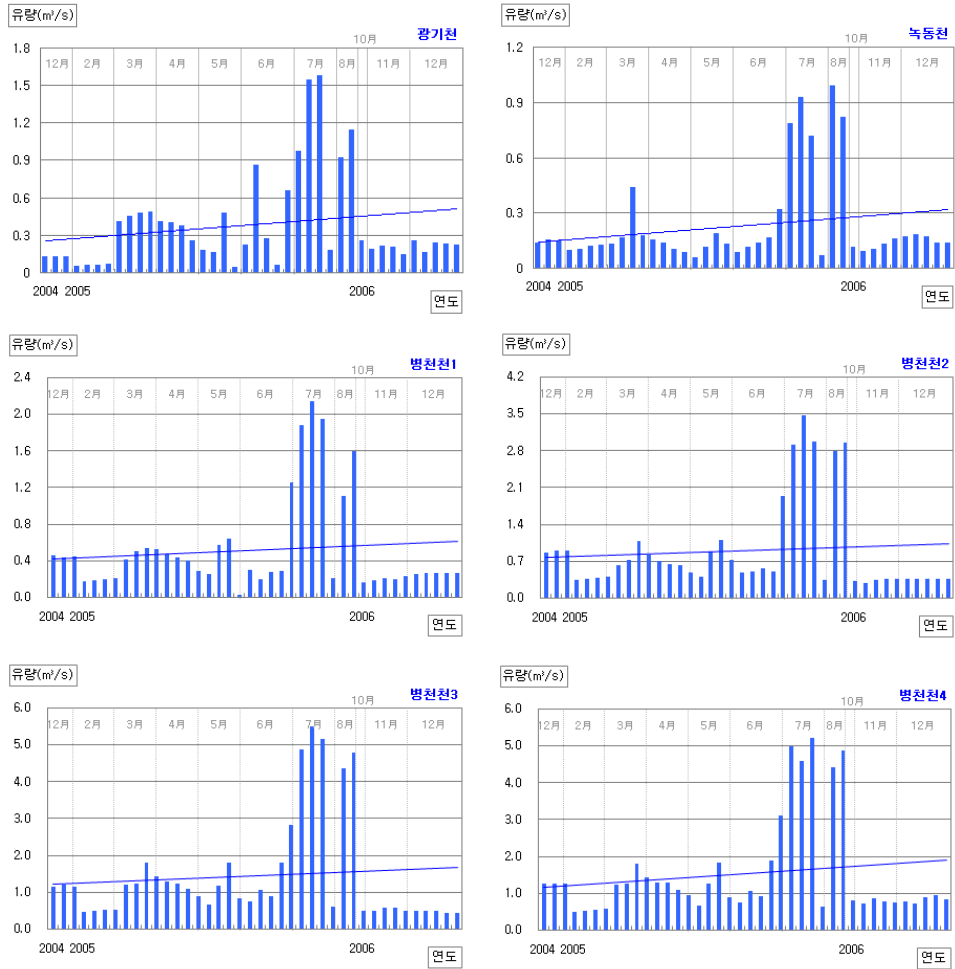
자료 : 천안시, 수질오염총량관리시행계획 및 이행평가, 2007.

〔그림 3-5〕 병천천수계의 하천별 수질변화 (계속)

2) 측정지점별 유량

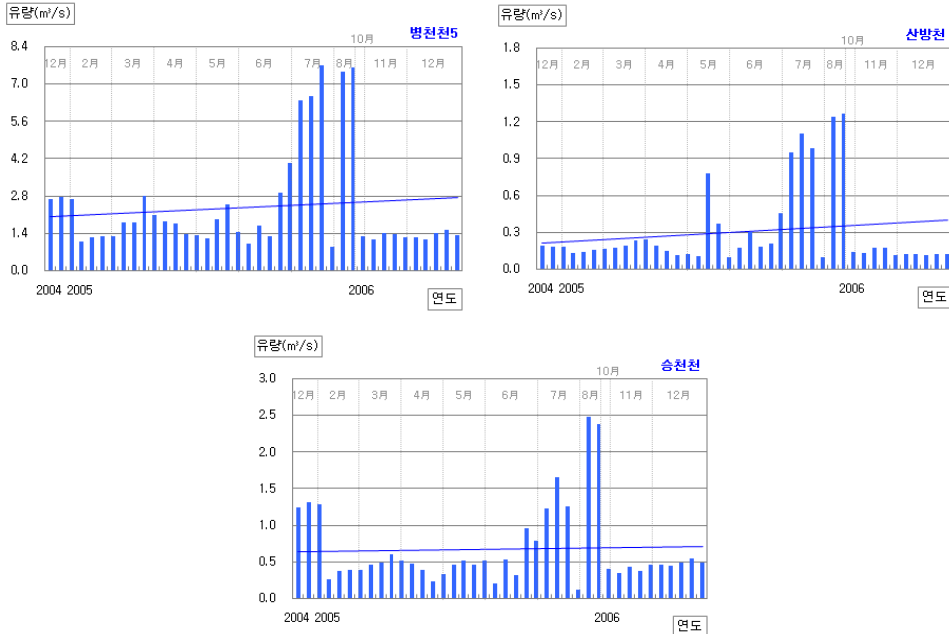
유량측정 지점에 대한 조사기간(2004.12~2005.8, 2006.10~2006.12) 동안 유량의 변화는 [그림

3-6]과 같다.



자료 : 천안시, 수질오염총량관리시행계획 및 이행평가, 2007.

(그림 3-6) 병천천수계의 하천별 유량변화



자료 : 천안시, 수질오염총량관리시행계획 및 이행평가, 2007.

(그림 3-6) 병천천수계의 하천별 유량변화 (계속)

제3절 수질오염원 현황

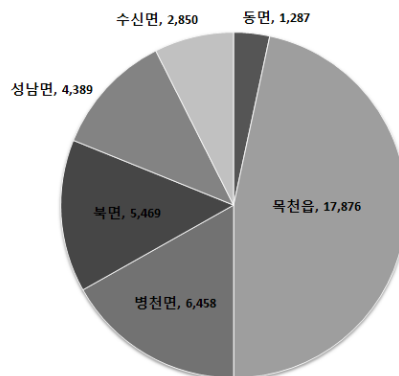
하천의 물이 오염되는 것은 외부로부터 오염물질이 유입되기 때문이며, 오염물질이 하천에 배출되는 장소를 오염원이라 한다. 오염물질의 배출원은 보통 점오염원(Point source)과 비점오염원(Non-point source)으로 구분하고 있다. 점오염원은 하수관, 배수구, 수로, 터널, 구거, 관정, 축사 등 오염물질의 발생장소 및 유출경로의 확인이 가능한 오염원으로 한 지점에서 혹은 극히 좁은 구역 내에서 오염물질이 집중적으로 배출되는 곳을 말한다. 반면, 비점오염원은 점오염원 이외의 오염원으로서 농지에 살포된 비료, 농약, 축분, 그리고 대기 강하물, 도시지역 먼지 및 폐기물 등 오염물질의 발생장소와 유출경로의 확인이 어려운 오염원으로 주로 강수시 오염물질을 일시적으로 유출시키는 곳을 말하며, 이를 면오염원(Area source)이라고도 한다.

1. 생활계 오염원

가정인구를 비롯한 각종 영업인구의 일상생활에서 배출되는 분뇨, 오수 및 잡배수 등을 생활하수라고 한다. 생활계 오염원의 주 발생원은 주거지역, 상업지구, 공공기관 및 위락시설의 일반가정, 숙박업, 식품접객업, 목욕탕업, 공장 등으로서 수세식 화장실, 목욕탕, 세면장, 주방 등에서 발생하고, 특히, 인구밀도 및 영업인구가 많은 지역에서는 단위면적당 오염물질 발생 및 배출부하량이 높은 경향을 보인다. 생활계의 주요 오염물질 항목은 유기물질, 부유물질 및 영양염류 등이다.

1) 인구현황

연구대상유역인 병천천수계의 읍·면별 인구를 살펴보면 목천읍은 전체인구의 46.6%인 17,876명이 거주하고 있으며, 그 다음으로 병천면 6,458명, 북면 5,469명, 성남면 4,389명, 수신면 2,850명, 동면 1,287명 순으로 나타났다([그림 3-7]). 인구밀도는 병천A03 소유역이 340명/km², 병천A02 소유역 271명/km², 병천A06 소유역 207명/km²로 병천A03 소유역이 인구밀도가 비교적 높은 소유역으로 나타났다(<표 3-6>).



[그림 3-7] 행정구역별 인구현황

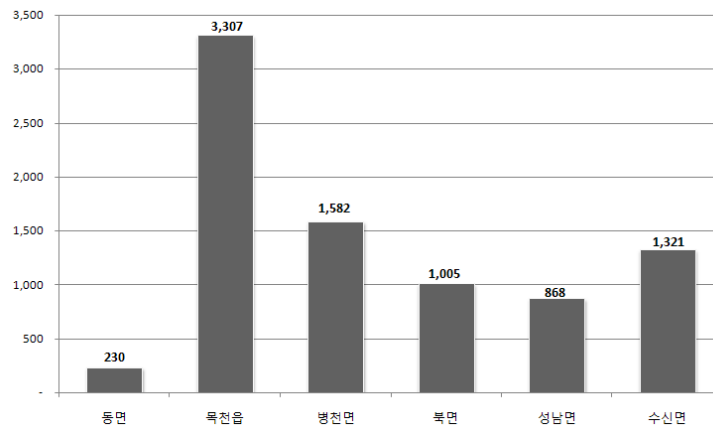
〈표 3-6〉 소유역별 인구현황

소유역명	하수처리구역 (명)		하수처리구역 外 (명)			총인구 (명)	면 적 (km ²)	인구밀도 (명/km ²)
	합류식	분류식	오수처리	단독정화	수거식			
병천A01	0	2,253	1,384	592	0	4,229	56.8	75
병천A02	0	3,278	3,394	3,358	0	10,030	37.0	271
병천A03	0	2,526	787	525	0	3,838	11.3	340
병천A04	0	14	2,585	1,103	0	3,702	40.8	91
병천A05	0	0	1,208	515	0	1,723	25.9	67
병천A06	0	2,065	8,102	4,594	0	14,761	71.3	207
병천A07	0	0	32	14	0	46	1.0	46
총 계	0	10,136	17,492	10,701	0	38,329	244.1	149

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

2) 생활계 사용유량

행정구역별 물 사용량은 읍·면별 인구와 비슷한 경향을 나타내었으며, 인구수가 가장 많은 목천읍이 전체 물 사용량의 약 39.8%인 3,306.7m³/일을 사용하는 것으로 나타났다.



(그림 3-8) 행정구역별 생활계 사용유량

가정용 물 사용량의 경우 병천A06, 병천A02, 병천A01, 병천A03 소유역의 순으로 인구와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 영업용 물 사용량은 병천A06 소유역에서 가장 많았으며, 그 외 병천A04, 병천A02, 병천A03 소유역 순으로 사용량이 많은 것으로 나타났다.

〈표 3-7〉 소유역별 물사용유량

소유역명	유형별	하수처리구역 (m ³ /일)		하수미처리구역 (m ³ /일)			총사용량 (m ³ /일)
		합류식	분류식	오수처리	단독정화	수거식	
병천A01	가정용	0.0	383.0	235.3	100.7	0.0	719.0
	영업용	0.0	22.9	25.3	10.8	0.0	59.0
합 계		0.0	405.9	260.6.0	111.5	0.0	778
병천A02	가정용	0.0	715.9	373.9	615.3	0.0	1,705.1
	영업용	0.0	98.9	57.7	74.3	0.0	230.9
합 계		0.0	814.8	431.6	689.6	0.0	1,936.0
병천A03	가정용	0.0	429.5	133.9	89.1	0.0	652.5
	영업용	0.0	19.5	135.0	58.5	0.0	213.0
합 계		0.0	449	268.9	147.6	0.0	865.5
병천A04	가정용	0.0	2.3	439.4	187.5	0.0	629.2
	영업용	0.0	0.1	239.5	102.2	0.0	341.8
합 계		0.0	2.4	678.9	289.7	0.0	971.0
병천A05	가정용	0.0	0.0	205.3	87.6	0.0	292.9
	영업용	0.0	0.0	22.9	9.7	0.0	32.6
합 계		0.0	0.0	228.2	97.3	0.0	325.5
병천A06	가정용	0.0	550.0	1,122.7	836.7	0.0	2,509.4
	영업용	0.0	61.8	589.8	268.3	0.0	919.9
합 계		0.0	611.8	1,712.5	1,105.0	0.0	3,429.3
병천A07	가정용	0.0	0.0	5.5	2.3	0.0	7.8
	영업용	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합 계		0.0	0.0	5.5	2.3	0.0	7.8
병천천 수계	가정용	0.0	2,080.7	2,515.7	1,919.2	0.0	6,515.9
	영업용	0.0	203.2	1,070.2	523.8	0.0	1,797.2
합 계		0.0	2,283.9	3,585.9	2,443	0.0	8,313.1

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

2. 축산계 오염원

가축의 사육과정에서 축산분뇨 자체와 청소과정에서 오염물질이 발생되며, 축종별 비교시 한우, 젓소, 돼지 등이 비교적 오염물질 발생부하량 및 배출부하량이 높은 편이다.

연구대상유역의 읍·면별 축산현황을 살펴볼 때, 비교적 오염원 원단위가 큰 젓소, 한우, 돼지의 경우 병천면, 성남면에서 사육두수가 많은 것으로 나타났으며, 특히 돼지의 사육두수가 많은 것으로 나타났다.

〈표 3-8〉 행정구역별 축산현황

축종	읍·면					
	동면	목천읍	병천면	북면	성남면	수신면
젓소	1,206	81	766	1,555	1,076	359
한우	349	258	1,300	758	756	649
돼지	9,460	8,007	18,770	3,734	25,194	9,433
말	6	-	-	1	-	4
산양	921	-	242	77	64	165
사슴	-	30	-	-	41	-
개	1,065	2,323	1,441	-	3,200	227
가금	313,360	13,830	198,355	85,415	223,055	129,200

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

3. 산업계 오염원

산업폐수란 공장 등에서 제품의 제조와 생산과정 중 발생하는 물을 말하며, 산업폐수는 수질오염, 중금속오염 등 주변수역에 여러 가지 악영향을 일으키는 원인이 되므로 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 등에서 지역별 배출허용기준을 설정하는 등 법률로 규제하고 있다.

연구대상유역내의 폐수배출시설은 2006년 말 기준으로 총 133개소로서 행정구역별 분포현황은 성남면이 31개소로 가장 많고, 다음으로 수신면 41개소, 목천읍 16개소, 동면 21개소, 병천면 19개소의 순이며, 북면이 5개소로 가장 적게 분포하고 있다. 충청남도에서 관할하는 폐수배출업소 중 1종 사업장은 남양유업(주)천안신공장 1개소가 있고, 2종 사업장은 없으며 나머지는 폐수배출량이 비교적 적은 3~5종 업소이다.

또한, 폐수배출시설의 일일 폐수발생량은 6,497m³에 이르고 있다. 이 중 성남면의 폐수발생량은 2,283m³/일로서 전체 폐수발생량의 35.1%를 차지하며, 목천읍의 폐수발생량은 1,752m³/일로서 27.0%를 차지하고, 수신면은 약 15.5%인 1,006m³/일, 동면은 약 13.2%인 858m³/일, 병천면은 약 7.8%인 506m³/일, 북면은 92m³/일로서 1.4%를 차지하고 있다. 발생한 폐수는 재이용 또는 증발량 등으로 상당량이 감소하여 방류하는 폐수량은 일일 3,393m³으로 폐수발생량 대비 약 52% 수준이고, 목천읍의 폐수방류량이 일일 1,555m³으로 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

〈표 3-9〉 읍·면별 폐수발생량 및 방류량

구 분	읍·면						
	동 면	목천읍	병천면	북 면	성남면	수신면	합 계
폐수발생량 (m ³ /일)	858	1,752	506	92	2,283	1,006	
폐수방류량 (m ³ /일)	825	1,555	174	16	188	635	
배출업소 (개소)	21	16	19	5	31	41	

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

폐수배출업소의 폐수처리유형은 환경기초시설로 이송처리하거나, 위탁처리, 개별처리 후 방류 등으로 구분되며, 연구대상유역의 처리유형은 위탁처리, 개별처리 후 방류, 면제승인, 재이용, 기타방법으로 처리를 하고 있으며, 대부분의 산업시설에서는 개별처리 후 방류를 하고 있다.

〈표 3-10〉 폐수처리유형 현황

구 분	위탁처리		개별처리 후 방류		면제승인		재이용		기타	
	발생량 (m³/일)	방류량 (m³/일)	발생량 (m³/일)	방류량 (m³/일)	발생량 (m³/일)	방류량 (m³/일)	발생량 (m³/일)	방류량 (m³/일)	발생량 (m³/일)	방류량 (m³/일)
동 면	24	0	833	822	0	0	1	0	0	0
목천읍	69	0	1,533	1,533	37	0	113	0	0	0
병천면	325	0	174	161	2	0	6	0	0	0
북 면	91	0	1	1	0	0	0	0	0	0
성남면	48	0	2,100	122	113	34	0	0	18	0
수신면	90	0	890	564	10	8	0	0	12	12
합 계	647	0	5,531	3,203	162	42	120	0	30	12

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

4. 양식계 오염원

양식시설은 양식어종에 따른 양식 방법에 따라 가두리식, 도전식(稻田式), 유수식(流水式) 등으로 대별된다. 호소 내에서 양식하는 가두리식은 어류의 배설물과 사료 등에 포함된 인(P) 성분이 정체수역인 호소의 부영양화를 일으키는 주요 요인이 되고 있고, 도전식은 논에 미꾸라지, 뱀장어, 참게 등을 양식하는 방법으로 사육시설의 물갈이 및 청소시 일시적으로 발생하는 어류의 배설물과 찌꺼기 등 고농도 유기물과 부유물질이 집중적으로 배출되어 수질오염을 초래하며, 유수식은 연못 등에 지하수 또는 깨끗한 계곡수를 이용하여 송어 등을 양식하는 시설로 공급되는 사료 및 어류 배설물로 유기물과 부유물질이 지속적으로 배출된다.

병천천수계내의 총 양식시설 수는 2개가 있으며, 총 시설면적은 726m²으로 모두 병천면에 위치하고 있다. 휴업중인 시설을 제외한 소유역별 양식시설의 종류별 시설면적 및 사료공급량은 <표 3-11>과 같다.

〈표 3-11〉 양식시설 종류별 시설면적 및 사료사용량

소유역코드	소유역명	가두리		도전식		유수식	
		시설면적 (㎡)	사료공급량 (kg/월)	시설면적 (㎡)	사료공급량 (kg/월)	시설면적 (㎡)	사료공급량 (kg/월)
K113050101	병천A01	-	-	-	-	-	-
K113050102	병천A02	-	-	-	-	-	-
K113050103	병천A03	-	-	-	-	-	-
K113050104	병천A04	-	-	-	-	-	-
K113050105	병천A05	-	-	500	1,240	-	-
K113050106	병천A06	-	-	91	225	-	-
K113050107	병천A07	-	-	135	335	-	-
총합계		-	-	726	1,800	-	-

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

5. 매립계 오염원

생활 및 산업계폐기물의 매립시설에서 자체 발생된 물과 강수의 영향으로 발생되는 물을 침출수라 하며 침출수에 포함된 오염물질은 유기물질을 포함한 중금속류 등이 함유되기도 한다. 연구대상유역에는 병천A01 소유역에 위치한 총 1개소(북면위생매립장)의 매립시설이 있으며, 발생된 9.51㎥/일의 침출수를 전량 직접이송하여 목천위생매립장에서 처리하고 있다.

〈표 3-12〉 매립시설 현황

소유역명	소재지	매립장명	가동개시 일자	침출수 발생유량 (㎥/일)	침출수 방류유량 (㎥/일)	방류선
병천A01	북면 오곡리	북면위생매립장	2000.2.3	9.51	9.51	목천위생매립장

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

6. 토지계 오염원

비점오염원으로 분류할 수 있는 토지계의 오염물질은 주로 강우시에 배출되고 강우량이 없거나 적은 경우에는 공공수역에 거의 배출되지 않는다. 토지현황을 2006년 기준으로 조사한 결과를 살펴보면, 연구대상유역 전체면적(244.1km²) 중 임야가 61.5%(164.7km²)로 가장 많이 차지하고 있고, 답(畓)이 14.1%, 전(田)이 9.0%의 순으로 차지하고 있다.

〈표 3-13〉 행정구역별 토지현황

읍·면	지목별 토지면적 (m ²)					
	전	답	임야	대지	목장	기타
동 면	4,685,706	6,738,989	26,975,237	2,591,762	230,464	2,030,240
목천읍	2,916,101	5,779,240	29,535,786	7,212,779	81,261	2,348,187
병천면	4,703,061	6,687,736	37,343,114	4,228,765	397,864	2,996,927
북 면	3,935,899	6,237,115	44,026,129	1,751,192	136,716	2,323,341
성남면	4,496,213	6,965,566	15,941,386	2,957,708	461,703	2,197,266
수신면	3,475,045	5,241,622	10,883,048	4,224,858	305,930	1,756,019

주) ‘잔’은 전과 과수원을 포함

‘대지’는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함

‘기타’는 광천지, 염전, 하천, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지 등을 포함

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

소유역별 총 토지면적은 병천A06 소유역이 수계 총면적의 약 25%인 약 67km²를 차지하며, 병천A01 소유역이 전체의 22%인 약 57km²를, 병천A04 소유역이 15%인 약 40km²를, 병천A02 소유역이 14%인 약 37km²를 차지하고 있다. 토지지목별 현황은 임야가 약 62.5%로 가장 많은 비율을 차지하고, 답 14.3%, 전 9.2%, 대지 8.2%, 기타 5.2%, 목장 0.7%의 순이며, 소유역별 토지지목 현황을 살펴보면 전체 전의 면적은 병천A06 소유역에서 약 35.6%, 병천A01 소유역에서 약 15.9%의 점유율을 보이며, 전체 답의 면적은 병천A06 소유역에서 약 34.5%, 병천A01 소유역에서 약 15.3%, 병천A02 소유역에서 약 11.5%, 병천A05 소유역에서 약 10.9%를 차지하고 있다. 전체 임야의 면적은 병천A01 소유역이 약 26.4%의 점유율을 보이고 있으며 병천A06 소유역이 19.1%, 병천A04 소유역에서 17.6% 점유율을, 병천A02 소유역에서 약 14.3%, 병천

A05와 미호B24 소유역에서 각각 약 9~10%의 비율을 차지하고 있다. 대지는 병천A06 소유역에서 약 39.6%, 병천A02 소유역에서 약 23.0%, 병천A03 소유역에서 약 8.5%, 병천A04 소유역에서 약 7.5%를 차지하며, 목장용지는 모든 유역에서 아주 좁은 면적을 차지하고 있다. 전, 답, 임야, 대지, 목장용지를 제외한 기타용지는 병천A06 소유역이 약 30.5%, 병천A02 소유역이 약 13.8%, 병천A04 소유역이 약 12.5%, 병천A03 소유역이 약 6.9%를 차지하고 있다.

〈표 3-14〉 소유역별 토지이용현황

소유역명	지목별 토지면적 (㎡)					
	전	답	임야	대지	목장	기타
병천A01	3,863,325	5,785,277	43,710,035	1,633,605	132,241	2,170,428
병천A02	2,044,035	4,248,719	23,582,516	5,040,235	58,123	1,918,654
병천A03	978,532	2,487,465	5,921,396	1,870,993	97,039	945,230
병천A04	3,305,358	4,061,841	28,374,101	2,583,138	322,561	1,723,321
병천A05	2,962,540	4,112,714	16,299,530	1,393,096	128,831	1,324,924
병천A06	8,604,872	13,050,238	31,560,235	8,784,112	742,992	4,206,214
병천A07	65,299	142,830	598,104	58,864	4,680	84,111
병천천수계	21,823,961	33,889,084	150,045,917	21,364,043	1,486,467	12,372,882

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

제4절 환경기초시설 현황

2006년 기준으로 연구대상유역에 소재한 환경기초시설로는 병천공공하수처리시설과 마을단위 공공하수처리시설(50㎡/일 미만 포함) 총 7개소가 있다.

〈표 3-15〉 환경기초시설 현황

소유역명	읍·면	동·리	처리시설명	시설용량 (m ³ /일)	가동개시일자			방류선
					년	월	일	
병천A06	수신면	발산리	병천공공하수처리시설	9,500	2006	11		병천천→금강
병천A01	북면	납안리	도촌마을하수처리시설	37	2001	12	20	병천천→금강
병천A02	목천읍	서흥리	문화마을하수처리시설	100	2000	3	10	산방천→병천천
병천A01	북면	운용리	운용마을하수처리시설	30	2001	3	19	병천천→금강
병천A01	북면	양곡리	양곡마을하수처리시설	38	2003	11		병천천→금강
병천A01	북면	전곡리	전곡마을하수처리시설	20	2003	11		병천천→금강
병천A06	성남면	화성리	공달원마을하수처리시설	32	2006년 재가동			병천천→금강

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

환경기초시설의 처리유형은 배수설비를 통한 관거이송과 수거차량을 이용한 직접이송으로 나뉘며, 연구대상유역의 6개의 마을단위 공공하수처리시설과 병천공공하수처리시설은 관거이송처리에 해당된다. 각 기초시설의 유량 및 수질은 <표 3-16>과 같다.

병천공공하수처리시설의 경우는 2006년 말 기준으로 관로 공사 중이었으며, 일부구간이 차집되어 시험가동 상태이었으므로 유입량이 계획유량의 1/2정도를 차지하였으며, 2008년 12월을 기준으로 계획유량을 달성할 계획이다. 마을단위 공공하수처리시설의 경우 유입하수 모두 처리되어 방류되며, 처리수질의 경우 2006년 1년간의 운영자료와 실측자료를 토대로 평균한 값으로 BOD₅ 기준 도촌공공하수처리시설은 약 10.7mg/L, 운용공공하수처리시설은 약 15.3mg/L로 방류수수질기준(10mg/L)을 다소 초과하고 있으며, 문화공공하수처리시설의 경우 약 4.3mg/L, 양곡공공하수처리시설의 경우 약 7.0mg/L, 전곡공공하수처리시설의 경우 약 8.6mg/L, 공달원공공하수처리시설의 경우 약 5.7mg/L로 방류수수질기준 이내로 나타났다. 병천공공하수처리시설의 경우 2006년 11월, 12월 시험가동 수질로 볼 때, BOD₅ 기준 약 5.1mg/L로 방류수수질기준 이내를 보이고 있다.

〈표 3-16〉 환경기초시설의 유량 및 수질

처리시설명	유량 (m ³ /일)		BOD ₅ (mg/L)		COD (mg/L)		TN (mg/L)		TP (mg/L)		비 고
	유입	방류	유입	방류	유입	방류	유입	방류	유입	방류	
병천공공하수처리시설	3,460	3,460	89.1	5.1	52.2	6.9	25.0	8.1	2.7	1.2	관거이송
도촌공공하수처리시설	27	27	74.2	10.7	47.3	10.0	20.7	13.4	6.3	3.4	관거이송
문화공공하수처리시설	24	24	102.9	4.3	75.0	8.3	28.0	16.1	3.3	1.5	관거이송
운용공공하수처리시설	27	27	42.5	15.3	29.5	16.5	13.9	14.6	4.2	3.1	관거이송
양곡공공하수처리시설	37	37	23.6	7.0	24.6	7.5	22.9	13.4	2.9	1.2	관거이송
전곡공공하수처리시설	20	20	88.6	8.6	60.3	10.6	27.6	16.3	4.1	1.8	관거이송
공달원공공하수처리시설	27	27	17.8	5.7	15.9	13.6	19.8	15.2	2.5	1.9	관거이송

자료 : 천안시, 행정자료(전국오염원조사), 2007.

제4장 수질오염물질부하량의 산정

제1절 발생부하량

1. 산정방법

오염물질 배출원을 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 매립계, 토지계 등 6개 분야로 분류하여 조사된 오염원 현황 및 분포실태에 따라 ‘수계오염총량관리기술지침’의 분야별 오염원별 원단위를 고려하여 유역별 발생부하량(BOD₅, TN, TP)를 산정하였다.

1) 생활계

생활계 발생부하량은 가정인구와 영업인구에 의한 발생부하량을 합하여 산정하였고, 이 때 가정인구의 발생부하량은 가정인구수에 발생부하원단위를 곱하고, 영업인구의 발생부하량은 오수발생유량에 오수발생농도를 곱하여 산정하였다. 그러나 일반적으로 영업인구의 건축물 용도별 오수발생농도에 대한 실측자료가 없기 때문에 물 사용량의 업종 분류에 따른 원단위를 적용(‘수계오염총량관리기술지침’상의 오수발생표준농도의 평균값)하여 산출하였다.

〈표 4-1〉 가정인구 발생부하원단위 및 영업인구의 오수발생농도원단위

구 분		BOD ₅	TN	TP
가정인구	시 가(g/인/일)	50.7	10.6	1.24
	비시가(g/인/일)	48.6	13.0	1.45
영업인구	업무용, 영업용(mg/L)	150	50	5
	육탕용(mg/L)	100	30	3

자료 : 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침, 2007(발췌정리).

2) 축산계

축산계 발생부하량은 축종별 사육두수에 대하여 고형물과 폐수로 나누어 각각의 발생부하원단위를 곱하여 산정하였다.

〈표 4-2〉 축산계 발생부하원단위

(단위 : g/두/일)

항 목	구 분	젖소	한우	말	돼지	양·사슴	개	가금
BOD ₅	합 계	556	528	259	109	10	18	5.2
	폐 수	117	67	30	32	3	4	0
	고형물	439	461	229	77	7	14	5.2
TN	합 계	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	8.4	1.1
	폐 수	63.5	40.0	26.7	14.9	4.2	5.4	0
	고형물	98.3	76.8	50.9	12.8	1.6	3.0	1.1
TP	합 계	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	1.6	0.4
	폐 수	10.7	3.5	2.3	3.3	0.2	0.3	0
	고형물	46.0	32.6	21.7	8.9	0.7	1.3	0.4

자료 : 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침, 2007.

3) 산업계

산업계 발생부하량은 폐수발생유량에 발생농도를 곱하여 산정하고, 이 때 발생농도는 각 폐수배출업소의 운영자료가 확보된 경우는 운영자료 결과를 적용하였고, 확보가 불가능한 경우는 기술지침에 의한 표준발생농도를 적용하여 산정하였다.

4) 양식계

양식계 발생부하량은 양식방법별 각각의 시설면적에 발생부하원단위를 곱하여 산정하였다.

〈표 4-3〉 양식시설 발생부하원단위

(단위 : g/m²/일)

월	가두리(이스라엘잉어)			도전양식(미꾸라지)			유수식(송어)			유수식(대하)		
	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
평균	76.68	14.96	4.15	9.79	1.90	0.55	15.31	2.99	0.83	3.18	0.62	0.17

주) 도전양식은 3~11월의 원단위를 평균한 값.

자료 : 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침, 2007(발췌정리).

5) 매립계

매립계 발생부하량은 침출수 처리시설의 실측된 침출수 발생유량에 발생농도를 곱하여 산정하였다.

6) 토지계

비점오염원으로 분류하고 있는 토지계 발생부하량은 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하원단위를 곱하여 산정하였다.

〈표 4-4〉 토지계 지목별 연평균발생부하원단위

(단위 : kg/km² · 일)

지 목	BOD ₅	TN	TP
전(田)	1.59	9.44	0.24
답(畓)	2.30	6.56	0.61
임야	0.93	2.20	0.14
대지	85.90	13.69	2.10
목장용지 ^{주)}	35.1	5.37	1.72
기타	0.96	0.759	0.027

비고 : 1) '전'은 지목별 면적 중 전과 과수원을 포함

2) '대지'는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함

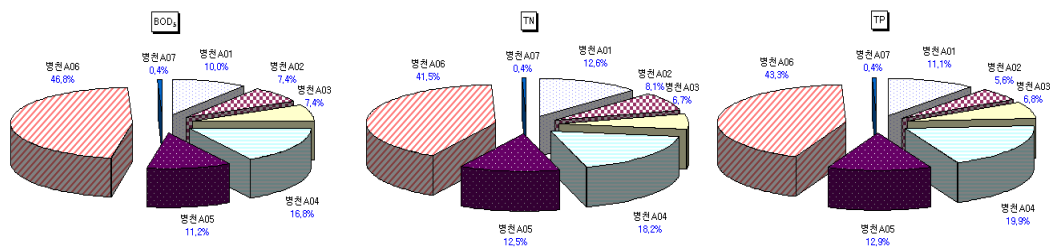
3) '기타'는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지를 포함

주) '목장용지'는 '한강수계 오염총량관리제 시행방안연구보고서(환경부, 2000)'의 원단위를 적용

자료 : 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침, 2004.

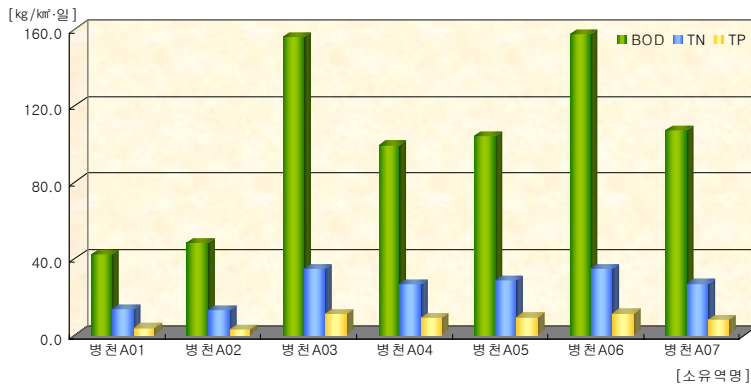
2. 산정결과

병천천수계 전체의 2006년 말 기준 수질오염물질 발생부하량은 BOD₅ 기준 23,991.3kg/일, TN 5,889.5kg/일, TP 1,802.3kg/일이다. 유역별로 오염물질 발생부하량을 살펴보면, 병천A04, 병천A05, 병천A06 소유역이 많은 비율을 차지한다. 항목별 비교시 BOD₅의 경우 병천A06 소유역이 전체 발생부하량의 46.8%에 해당하는 11,219.7kg/일, 병천A04 소유역이 16.8%인 4,041.5kg/일로 대부분을 차지하고, TN의 경우 역시 병천A06 소유역과 병천A04 유역이 전체 발생부하량의 59.7%로 가장 많은 비율을 차지하며, TP의 경우 병천A06 소유역 43.3%, 병천A04 소유역 19.9%, 병천A05 소유역 12.9%, 병천A01 소유역 11.1%, 병천A03 소유역 6.8%, 병천A02 소유역 5.6%, 병천A07 소유역 0.4%를 나타내고 있다.



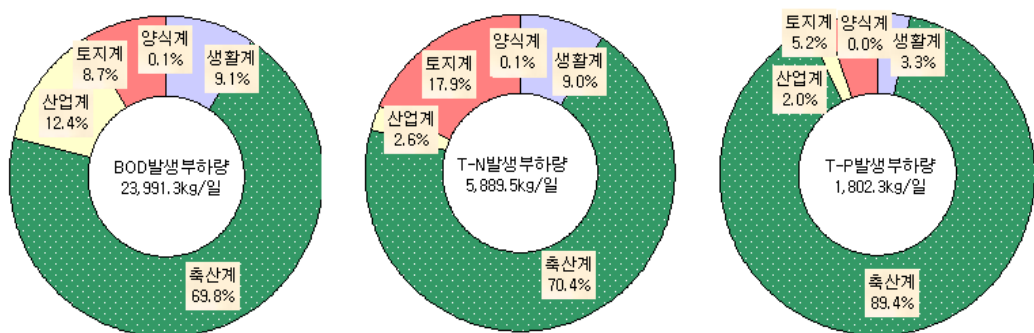
(그림 4-1) 유역별 발생부하 비율

유역별 단위면적(km²)당 수질오염물질 발생부하량은 BOD₅의 경우 병천A06 소유역이 일일 157.4kg/km²로 가장 많고, 병천A03 소유역이 155.7kg/km² 수준이며 병천A07 소유역이 106.8kg/km² 그리고 병천A05 소유역이 103.9kg/km², 병천A04 소유역이 99.2kg/km², 병천A02 소유역이 48.0kg/km², 병천A01 소유역이 42.1kg/km²이다. 이는 병천A06 소유역과 병천A03 소유역에 오염원이 가장 많이 밀집되어 있다는 것을 의미한다. 또한, TN, TP의 경우에도 BOD₅와 비슷한 양상을 보이고 있다.



(그림 4-2) 단위면적당 유역별 발생부하량

한편, 오염원별 발생부하 비율을 BOD₅기준으로 볼 때, 축산계가 차지하는 비율이 69.8%로 가장 높고, 다음으로는 산업계 12.4%, 생활계 9.1% 순이다. TN, TP의 경우 역시 축산계가 가장 큰 비율을 차지하며, 그 다음으로는 토지계가 차지하는 비율이 높다.



(그림 4-3) 오염원별 발생부하 비율

1) BOD₅

2006년 기준으로 BOD₅의 발생부하량을 산정한 결과, 생활계가 2,177.0kg/일, 축산계가 16,752.4kg/일, 산업계가 2,969.3kg/일, 양식계가 14.8kg/일, 매립계가 0.7kg/일, 토지계가

2,077.2kg/일로 산출되었다. 이를 유역별로 살펴보면, 거주인구와 산업시설이 많은 병천A03 소유역과 병천A06 소유역이 생활계와 산업계에 의한 발생부하량 및 단위면적당 발생부하량이 매우 높게 나타났으며, 가축사육두수가 많은 병천A05 소유역과 병천A06 소유역이 축산계에 의한 발생부하량 및 단위면적당 발생부하량이 가장 높게 나타났고, 기타 양식계, 매립계에 의한 발생부하량은 전체 발생부하량 대비 매우 적은 양으로 나타났다. 또한, 단위면적당 발생부하량은 병천A06 소유역의 축산계가 가장 높은 일일 99.6kg/km²로 나타났다.

〈표 4-5〉 그룹별 BOD₅ 발생부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
발생부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	2,177.0	16,752.4	2,969.3	14.8	0.7	2,077.2
	병천A01 소유역	222.2	1,951.6	13.0	0.0	0.7	200.3
	병천A02 소유역	536.5	711.1	64.7	0.0	0.0	464.5
	병천A03 소유역	222.7	1,038.4	333.8	0.0	0.0	172.5
	병천A04 소유역	232.8	3,531.7	15.3	0.0	0.0	261.9
	병천A05 소유역	91.7	2,339.6	103.7	10.2	0.0	148.8
	병천A06 소유역	868.7	7,100.8	2,425.2	1.9	0.0	823.1
	병천A07 소유역	2.3	79.1	13.6	2.8	0.0	6.1
단위면적당 발생부하량 (kg/km ² · 일)	병천천수계(합계)	8.9	68.6	12.2	0.0	0.0	8.5
	병천A01 소유역	3.9	34.4	0.2	0.0	0.0	3.5
	병천A02 소유역	14.5	19.2	1.7	0.0	0.0	12.5
	병천A03 소유역	19.6	91.5	29.4	0.0	0.0	15.2
	병천A04 소유역	5.7	86.6	0.4	0.0	0.0	6.4
	병천A05 소유역	3.5	90.2	4.0	0.4	0.0	5.7
	병천A06 소유역	12.2	99.6	34.0	0.0	0.0	11.5
	병천A07 소유역	2.4	81.3	14.0	2.8	0.0	6.2

2) TN

2006년 기준으로 TN의 발생부하량을 산정한 결과, 생활계가 527.8kg/일, 축산계가 4,147.0kg/일, 산업계가 154.9kg/일, 양식계가 3.0kg/일, 매립계가 0.4kg/일, 토지계가 1,056.4kg/일로 나타났다. 이를 유역별로 살펴보면, BOD₅ 발생부하량과 마찬가지로 병천A03 소유역과 병천A06 소유역이 생활계와 산업계에 의한 발생부하량 및 단위면적당 발생부하량이 매우 높게 나타났다으며, 병천A05 소유역과 병천A06 소유역이 축산계에 의한 발생부하량 및 단위면적당 발생부하량이 가장 높게 나타났다. 또한, 단위면적당 발생부하량 중 병천A06 소유역의 축산계가 가장 높은 24.6kg/km²·일로 나타났다.

〈표 4-6〉 그룹별 TN 발생부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
발생부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	527.8	4,147.0	154.9	3.0	0.4	1,056.4
	병천A01 소유역	50.0	498.1	3.2	0.0	0.4	193.1
	병천A02 소유역	122.0	181.4	5.6	0.0	0.0	167.9
	병천A03 소유역	52.2	255.3	20.1	0.0	0.0	64.7
	병천A04 소유역	63.1	849.6	1.0	0.0	0.0	156.9
	병천A05 소유역	23.8	588.2	11.4	2.0	0.0	110.4
	병천A06 소유역	216.1	1,753.6	113.4	0.4	0.0	359.7
	병천A07 소유역	0.6	20.9	0.1	0.6	0.0	3.7
단위면적당 발생부하량 (kg/km ² ·일)	병천천수계(합계)	2.2	17.0	0.6	4.3	0.0	0.0
	병천A01 소유역	0.9	8.8	0.1	0.0	0.0	3.4
	병천A02 소유역	3.3	4.9	0.2	0.0	0.0	4.5
	병천A03 소유역	4.6	22.5	1.8	0.0	0.0	5.7
	병천A04 소유역	1.5	20.8	0.0	0.0	0.0	3.8
	병천A05 소유역	0.9	22.7	0.4	0.1	0.0	4.3
	병천A06 소유역	3.0	24.6	1.6	0.0	0.0	5.0
	병천A07 소유역	0.6	21.5	0.1	0.6	0.0	3.8

3) TP

TP의 발생부하량은 생활계가 59.2kg/일, 축산계가 1,612.0kg/일, 산업계가 36.7kg/일, 양식계가 0.8kg/일, 매립계가 0.0kg/일, 토지계가 93.6kg/일로 산출되었다. 이를 유역별로 살펴보면, 다른 오염물질과 마찬가지로 병천A03, 병천A06 소유역은 생활계와 산업계, 축산계에 의한 발생부하량 및 단위면적당 발생부하량이 가장 높게 나타났고, 전체 TP 오염물질 발생부하량 중 축산계에 의한 발생부하량이 89.4%로 대부분을 차지하고 있다.

〈표 4-7〉 그룹별 TP 발생부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
발생부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	59.2	1,612.0	36.7	0.8	0.0	93.6
	병천A01 소유역	5.7	179.8	0.4	0.0	0.0	14.1
	병천A02 소유역	13.9	68.8	0.9	0.0	0.0	16.9
	병천A03 소유역	5.9	102.9	7.8	0.0	0.0	6.6
	병천A04 소유역	6.9	338.4	0.1	0.0	0.0	13.1
	병천A05 소유역	2.6	220.0	1.1	0.5	0.0	8.6
	병천A06 소유역	24.0	695.1	26.5	0.1	0.0	33.9
	병천A07 소유역	0.1	7.0	0.0	0.1	0.0	0.3
단위면적당 발생부하량 (kg/km ² · 일)	병천천수계(합계)	0.2	6.6	0.2	0.0	0.0	0.4
	병천A01 소유역	0.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.2
	병천A02 소유역	0.4	1.9	0.0	0.0	0.0	0.5
	병천A03 소유역	0.5	9.1	0.7	0.0	0.0	0.6
	병천A04 소유역	0.2	8.3	0.0	0.0	0.0	0.3
	병천A05 소유역	0.1	8.5	0.0	0.0	0.0	0.3
	병천A06 소유역	0.3	9.8	0.4	0.0	0.0	0.5
	병천A07 소유역	0.1	7.2	0.0	0.1	0.0	0.3

제2절 배출부하량

1. 산정방법

오염물질 배출원을 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 매립계, 토지계 등 6개 그룹으로 분류하여, 조사된 오염원 현황 및 분포실태에 따라 '수계오염총량관리기술지침'의 각 오염원별 배출계수 등을 적용하여 항목별 배출부하량(BOD₅, TN, TP)을 산정하였다.

$$\cdot \text{항목별 총 배출부하량} = \text{오염원그룹별} \sum \text{항목별 배출부하량}$$

1) 생활계

생활계의 배출부하량은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 구분하여 조사한 후 산정하였다. 유역별 생활계 오염물질의 배출경로는 개별배출원에서 직접배출 또는 처리 후 공공수역으로 배출되는 경우, 하수처리시설로 이송되는 과정에서 관거배출되는 경우, 차집된 하수가 하수처리시설에서 처리된 후 배출되는 경우를 들 수 있고, 각각의 부하량 산정방법은 아래와 같다.

(1) 개별배출부하량

하수처리구역은 발생부하량에서 하수처리시설에 연결된 관거로 유입되는 양과 분뇨처리시설에 직접 이송되는 양을 감하여 산정하였고, 하수처리시설에 연결되지 않은 개별배출원은 발생부하량에서 자체개별삭감량을 감하여 산정하였다. 그리고 하수미처리구역은 하수처리시설로의 관거유입량이 없으므로 개별배출원의 발생부하량에서 개별삭감량을 감하여 산정하되, 분뇨처리시설 등에 직접이송되는 양을 추가적으로 감하여 산정하였다.

(2) 관거배출부하량

관거배출부하량은 하수처리구역에서 처리시설로 관거이송시 누수를 통해 배출되는 양을 말하며, 관거유입량에 누수부하비를 곱하여 산정하였다.

(3) 기초시설배출부하량

기초시설배출부하량은 공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 마을단위 공공하수처리시설에서 실측한 방류유량에 수질농도를 곱하여 산정하였다.

2) 축산계

축산계 배출부하량은 축산뇨의 개별배출부하량과 가축분뇨공공 및 공동처리시설의 배출부하량을 합하여 산정하였다.

(1) 개별배출부하량

개별배출부하량은 폐수형태로 상시 배출되는 점오염원과 초지, 농경지 또는 야적지에 살포된 상태에서 강우시 배출되는 비점오염원으로 분리하여 산정된다. 이 때, 점오염원(축산뇨)의 개별배출부하량은 발생부하량에서 개별삭감량과 가축분뇨공공처리시설에 직접 이송되는 양을 감하여 산정하였다.

(2) 기초시설배출부하량

가축분뇨공공 및 공동처리시설에서 실측한 폐수방류유량에 실측농도를 곱하여 산정하였다.

3) 산업계

산업계 배출부하량은 개별배출시설과 폐수종말처리시설을 구분하여 조사한 후 개별배출부하량은 공동처리구역 외지역의 발생부하량에서 개별삭감량을 감하여 산정하였고, 공동처리구

역에서의 배출부하량은 실측한 방류유량에 방류농도를 곱하여 산정하였다.

4) 양식계

개별 양식장에서 처리시설이 거의 없고, 배출부하량이 매우 적기 때문에 발생부하량을 배출 부하량으로 산정하였다.

5) 매립계

매립계 배출부하량은 매립장침출수처리시설의 방류유량에 농도를 곱하여 산정하였다.

6) 토지계

‘수계오염총량관리기술지침’에서 정하는 방법에 따라 배출부하량은 발생부하량에서 개별 삭감량을 감하여 산정하였다.

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

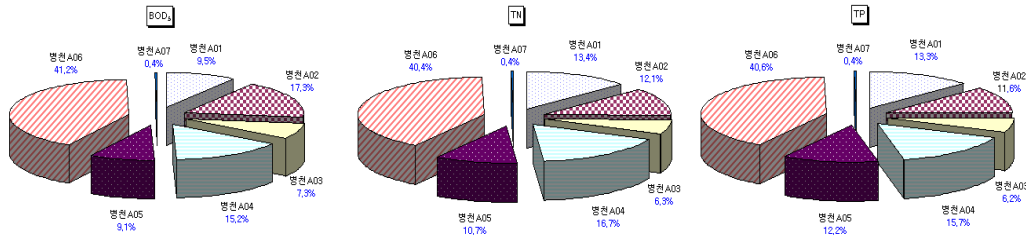
$$\text{강우배출비} = 0.1 + 0.9 \frac{\text{연간일수}(=365,366) \times \text{월유효강우량비}}{\text{월간일수}(=28,29,30,31)}$$

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

2. 산정결과

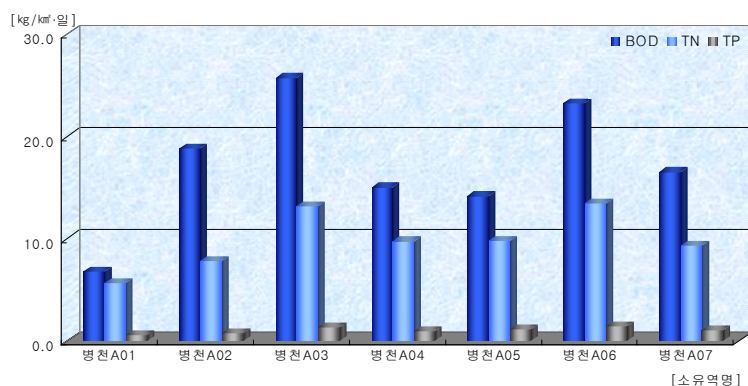
연구대상지역 전체의 2006년 말 기준 수질오염물질 배출부하량은 BOD₅ 4,022.2kg/일, TN 2,375.1kg/일, TP 241.1kg/일로 산출되었다. 유역별로 배출부하량을 살펴보면, BOD₅의 경우 병천A06 소유역이 전체 배출부하량의 41.2%에 해당하는 1,655.4kg/일, 병천A02 소유역이 17.3%인 697.0kg/일로 많은 비율을 차지하였고, TN의 경우 병천A06 소유역과 병천A04 소유역이 전체 배출부하량의 57.1%로 가장 많은 비율을 차지하였으며, TP의 경우 병천A06 소유역

이 40.6%, 병천A04 소유역, 병천A01 소유역, 병천A05 소유역, 병천A02 소유역, 병천A03 소유역, 병천A07 소유역이 각각 15.7%, 13.3%, 12.2%, 11.6%, 6.2%, 0.4%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.



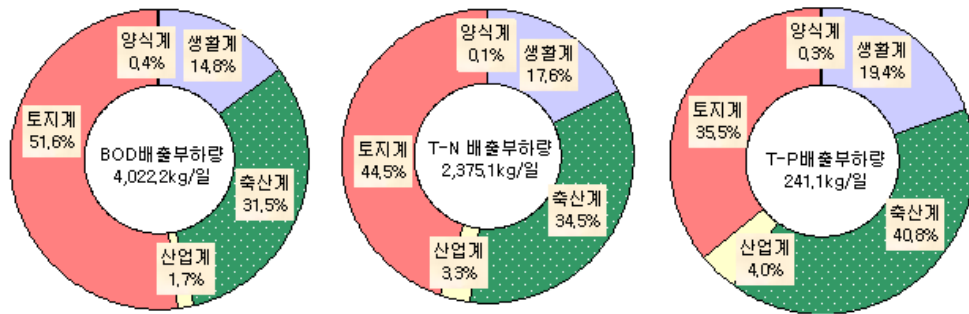
(그림 4-4) 유역별 배출부하 비율

또한, 각 유역별 단위면적(km)당 수질오염물질 배출부하량을 산출하여 비교해보면, BOD₅의 경우 병천A03 소유역이 일일 25.7kg/km²로 가장 높고, 병천A06 소유역이 23.2kg/km², 병천A02 소유역이 18.8kg/km², 병천A07 소유역 16.5kg/km², 병천A04 소유역 15.0kg/km², 병천A05 소유역 14.1kg/km², 병천A01 소유역이 6.7kg/km²이며, TN, TP의 경우 역시 BOD₅와 비슷한 양상을 보였다.



(그림 4-5) 단위면적당 유역별 배출부하량

또한, 오염원그룹별 배출부하 비율을 BOD₅ 기준으로 살펴볼 때, 토지계가 차지하는 비율이 51.6%로 가장 높고, 다음으로 축산계 31.5%, 생활계 14.8%, 산업계 1.7%, 양식계 0.4%순으로 나타났다.



(그림 4-6) 오염원그룹별 배출부하 비율

1) BOD₅

BOD₅ 배출부하량을 2006년 기준으로 산정한 결과, 생활계가 595.5kg/일, 축산계가 1,267.2kg/일, 산업계가 67.4kg/일, 양식계가 14.8kg/일, 매립계가 0.0kg/일 그리고 토지계가 2,077.2kg/일로 산출되었다. 이를 유역별로 살펴보면, 인구와 폐수배출시설이 많은 병천A02, 병천A03, 병천A06 소유역이 생활계와 산업계에 의한 배출부하량 및 단위면적당 배출부하량이 높게 나타났으며, 기타 양식계, 매립계에 의한 배출부하량은 전체 배출부하량 대비 매우 적은 양으로 나타났다. 그리고 단위면적당 배출부하량은 병천A06 소유역의 축산계가 가장 많은 7.3 kg/km² · 일로 산출되었다.

〈표 4-8〉 그룹별 BOD₅ 배출부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
배출부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	595.5	1,267.2	67.4	14.8	0.0	2,077.2
	병천A01 소유역	34.4	148.4	0.0	0.0	0.0	200.3
	병천A02 소유역	170.4	51.2	10.9	0.0	0.0	464.5
	병천A03 소유역	32.3	81.2	6.1	0.0	0.0	172.5
	병천A04 소유역	67.7	280.4	1.6	0.0	0.0	261.9
	병천A05 소유역	27.9	176.6	3.3	10.2	0.0	148.8
	병천A06 소유역	262.0	523.2	45.1	1.9	0.0	823.1
	병천A07 소유역	0.7	6.2	0.3	2.8	0.0	6.1
단위면적당 배출부하량 (kg/km ² · 일)	병천천수계(합계)	2.4	5.2	0.3	0.1	0.0	8.5
	병천A01 소유역	0.6	2.6	0.0	0.0	0.0	3.5
	병천A02 소유역	4.6	1.4	0.3	0.0	0.0	12.5
	병천A03 소유역	2.8	7.2	0.5	0.0	0.0	15.2
	병천A04 소유역	1.7	6.9	0.0	0.0	0.0	6.4
	병천A05 소유역	1.1	6.8	0.1	0.4	0.0	5.7
	병천A06 소유역	3.7	7.3	0.6	0.0	0.0	11.5
	병천A07 소유역	0.7	6.3	0.4	2.8	0.0	6.2

2) TN

2006년 기준으로 TN의 배출부하량을 산정한 결과, 생활계가 418.6kg/일, 축산계가 818.4kg/일, 산업계가 78.7kg/일, 양식계가 3.0kg/일, 매립계가 0.0kg/일 그리고 토지계가 1,056.5kg/일로 산출되었다. 이를 유역별로 살펴볼 때, 병천A06, 병천A03 소유역이 생활계, 산업계, 축산계에 의한 배출부하량 및 단위면적당 배출부하량이 높게 나타났다. 또한, 단위면적당 배출부하량 중 병천A06 소유역의 축산계가 가장 많은 4.8kg/km² · 일로 산출되었다.

〈표 4-9〉 그룹별 TN 배출부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
배출부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	418.6	818.4	78.7	3.0	0.0	1,056.5
	병천A01 소유역	26.7	98.7	0.0	0.0	0.0	193.1
	병천A02 소유역	83.9	34.8	1.1	0.0	0.0	167.9
	병천A03 소유역	24.6	53.1	6.8	0.0	0.0	64.7
	병천A04 소유역	63.0	176.0	0.7	0.0	0.0	156.9
	병천A05 소유역	23.8	110.9	6.9	2.0	0.0	110.4
	병천A06 소유역	196.0	340.9	63.0	0.4	0.0	359.8
	병천A07 소유역	0.6	4.0	0.1	0.6	0.0	3.7
단위면적당 배출부하량 (kg/km ² · 일)	병천천수계(합계)	1.7	3.4	0.3	0.0	0.0	4.3
	병천A01 소유역	0.5	1.7	0.0	0.0	0.0	3.4
	병천A02 소유역	2.3	0.9	0.0	0.0	0.0	5.7
	병천A03 소유역	2.2	4.7	0.6	0.0	0.0	3.8
	병천A04 소유역	1.5	4.3	0.0	0.0	0.0	4.3
	병천A05 소유역	0.9	4.3	0.3	0.1	0.0	5.0
	병천A06 소유역	2.8	4.8	0.9	0.0	0.0	3.8
	병천A07 소유역	0.6	4.1	0.1	0.6	0.0	4.3

3) TP

TP의 배출부하량은 생활계가 46.7kg/일, 축산계가 98.3kg/일, 산업계가 9.6kg/일, 양식계가 0.8kg/일, 매립계가 0.0kg/일, 토지계가 85.7kg/일로 산출되었다. 이를 유역별로 살펴보면, 다른 오염물질과 마찬가지로 병천A06 소유역의 배출부하량 및 단위면적당 배출부하량이 높게 나타났다. 병천A03 소유역의 경우는 배출부하량은 크지 않으나 단위면적당 배출부하량이 높게 나타났으므로 오염물질이 밀집되어 있음을 알 수 있다.

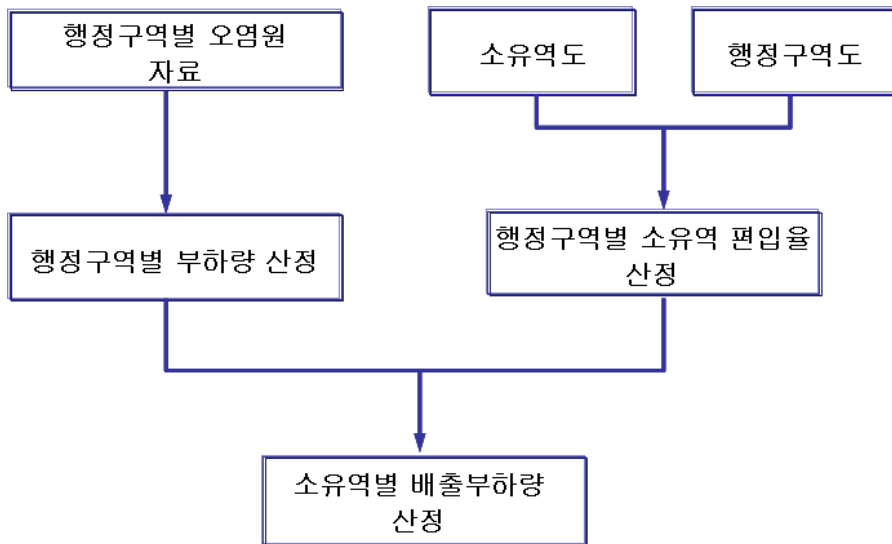
〈표 4-10〉 그룹별 TP 배출부하량

구분 \ 그룹		생활계	축산계	산업계	양식계	매립계	토지계
배출부하량 (kg/일)	병천천수계(합계)	46.7	98.3	9.6	0.8	0.0	85.7
	병천A01 소유역	3.1	11.1	0.0	0.0	0.0	17.9
	병천A02 소유역	9.5	4.0	0.1	0.0	0.0	14.3
	병천A03 소유역	2.7	6.7	0.9	0.0	0.0	4.7
	병천A04 소유역	6.9	21.7	0.1	0.0	0.0	9.2
	병천A05 소유역	2.6	12.8	0.9	0.5	0.0	12.5
	병천A06 소유역	21.9	41.6	7.5	0.1	0.0	26.8
	병천A07 소유역	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.3
단위면적당 배출부하량 (kg/km ² · 일)	병천천수계(합계)	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4
	병천A01 소유역	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3
	병천A02 소유역	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4
	병천A03 소유역	0.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.4
	병천A04 소유역	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2
	병천A05 소유역	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
	병천A06 소유역	0.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.4
	병천A07 소유역	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.3

제3절 기존 오염부하량 산정방법의 문제점

1. 유역별 오염원 및 부하량 배분

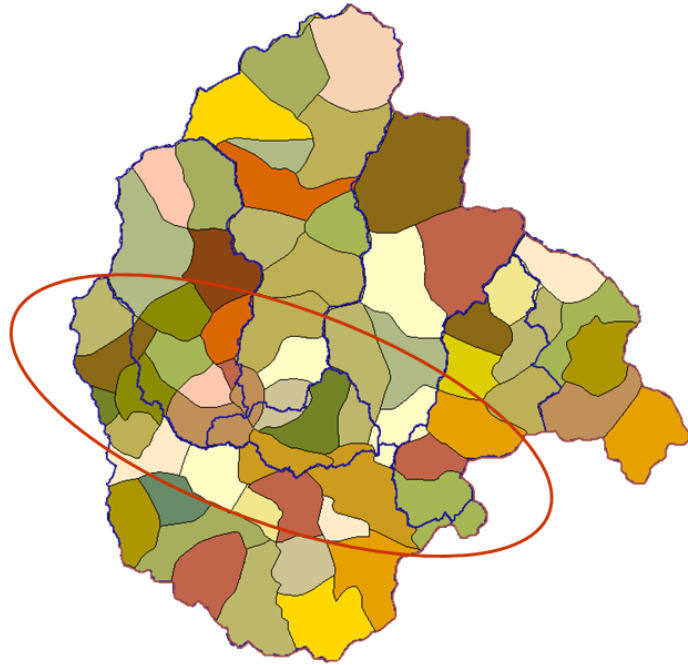
현 기술지침의 배출부하량은 행정구역별 오염원 기초조사를 바탕으로 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 양식계, 매립계 등 오염원그룹별로 각각 산정한다. 이렇게 행정구역별로 산정된 배출부하량을 소유역 단위나 세유역 단위로 합산할 경우 단순토지면적비에 의한 행정구역별 소유역의 편입율을 산정하여 그 비율에 따라 배출부하량을 배분하여 합산하는 방식으로 유역별 배출부하량이 산정된다(그림 4-7).



[그림 4-7] 현 지침상 소유역별 배출부하량 산정과정

그러나 대부분의 리경계와 소유역경계가 일치하지 않을 뿐만 아니라 [그림 4-8]에서 나타난 바와 같이 연구대상유역에서 역시 오염원이 밀집되어 있는 15개리의 경우 한 개의 리가 2~3개의 소유역에 걸쳐있는 것을 볼 수 있다(<표 4-11>). 행정구역의 소유역 편입율은 행정구역과 소유역과의 단순면적비를 사용함으로써 공간적인 정확성이 떨어지는 문제점이 있다. 이 방식

은 예를 들어 유역경계부가 주로 산림인 경우에 타 유역으로 오염물질이 전혀 배출되지 않음에도 불구하고, 일부 산림지역이 타 유역에 포함되어 이 면적에 해당하는 오염물질이 영향을 미치지 않는 소유역으로 배분되는 문제가 발생한다. 또한, 유역별로 배출부하량과 하천수질과의 상관관계가 성립하지 않는 문제가 발생할 수 있다.



[그림 4-8] 연구대상지역의 리경계도

〈표 4-11〉 연구대상지역의 리별 중복 소유역 현황

리	소유역	점유율(%)	리	소유역	점유율(%)
가천리	병천A03	99.08	신계리	병천A02	44.37
	병천A04	0.92		병천A06	55.63
교천리	병천A02	23.92	연춘리	병천A01	60.07
	병천A06	76.08		병천A02	22.75
동산리	미호B24	35.31		병천A03	17.18
	병천A05	64.69	용암리	병천A01	99.08
병천리	병천A03	25.80		병천A04	0.92
	병천A04	74.20	운전리	병천A02	64.25
상동리	병천A01	61.68		병천A03	35.75
	병천A03	38.32	장산리	병천A03	10.75
서흥리	병천A01	1.17		병천A06	89.25
	병천A02	98.83	탑원리	병천A03	7.57
석천리	병천A01	0.76		병천A04	72.21
	병천A02	99.24		병천A05	7.05
송정리	병천A05	68.89		병천A06	13.16
	병천A06	12.50	화성리	병천A03	64.62
	병천A07	18.61		병천A06	35.38

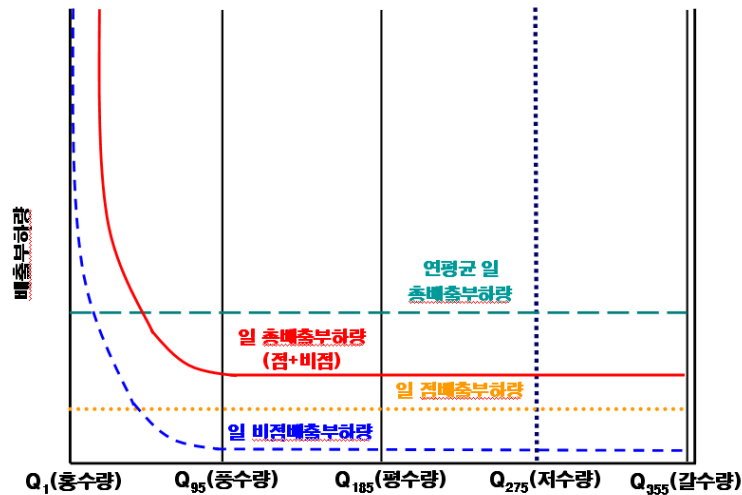
이와 같은 유역별 배분에의 문제를 해결하기 위해서는 오염원의 공간분포 특성을 고려하기 위하여 GIS를 이용하여 오염원의 위치도를 작성하고, 이를 유역도와 중첩하여 오염원이 영향을 미치는 소유역에 배출부하량이 합산되도록 하여야 한다. 따라서 지번도를 활용하여 오염원의 위치를 추적하고 이에 기반하여 각 오염원 위치에 오염부하량을 배분한 다음, DEM을 이용하여 소유역도를 제작하여 각 소유역별 부하량을 합산할 수 있도록 하여야 한다. 본 연구에서는 GIS와 편집지적도를 활용하여 오염원 공간분포 특성을 고려한 오염원그룹별 배분방법을 설정하였고, 그에 따라 소유역별 배출부하량 산정 및 배분방법을 제시하였다.

2. 토지계 부하량

현 기술지침에서는 토지계 발생 및 배출부하량을 산정하기 위하여 지목별 연평균발생부하원단위를 제시하고 있다. 따라서 토지계의 연평균 발생부하량은 지목별 면적에 각각의 발생부하원단위를 곱하면 그 자체가 발생부하량으로 직접 산출됨에도 불구하고 현 지침에서는 산출된 발생부하량에 강우배출비를 곱하여 토지계 발생부하량으로 산출하도록 하고 있다. 그러나 강우배출비를 적용하면 발생부하량이 아니라 배출부하량이라고 볼 수 있으므로, 토지계의 발생부하량은 지목별 연평균발생원단위에 토지면적을 곱하여 산정하여야 한다고 판단된다.

하천의 이수(利水)상 유량의 규모와 유량변동 특성을 평가하기 위해 사용되는 유황곡선(flow duration curve 또는 discharge duration curve)은 1년간 매일 측정된 하천의 일평균유량을 크기 순서대로 나열하여 작성한 곡선이며, 강수량, 유역면적, 지형, 지질, 식생 등에 따라 형상이 서로 다르다. 작성한 유황곡선 상에서 95, 185, 275, 355 번째에 대응하는 각각의 유량을 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이라 하며, 현행 수질오염총량관리제의 BOD₅ 배출부하량은 기준유량을 저수량(Q₂₇₅)으로 설정하고, 이때의 배출부하량을 산정하여 단위유역 및 소유역의 오염부하량을 할당하도록 하고 있다. 좀 더 엄밀히 말하면, 현행 수질총량관리제는 단위유역 하천말단의 저수량 시점을 기준으로 목표(허용)배출부하량을 일최대배출부하량 개념으로 산정하게 되는데, 하천의 유량은 강수량과 상당히 밀접한 관계가 있으며, 하천의 저수량 시기는 대부분 강수량이 없거나 극히 적은 상태이다. 즉, 이 시기에는 강우와 직접적인 관계에 있는 비점오염원의 토지계 발생부하량은 하천에 거의 유입하지 않아 토지계 배출부하량은 극히 적다고 볼 수 있다. 또한, 우리나라의 일반적 강우특성을 볼 때, 연중 일일 10mm 이상 강우일은 약 30~35일 정도이고, 토지계의 오염물질이 직접적으로 공공수역에 이르게 되는 초기강우의 약 1시간을 고려한다면 연중 30~35시간 정도에 불과하다는 결론에 도달하게 되며, 강우량이 약 50mm 이상의 집중호우 일에는 비점오염배출부하량 관리가 사실상 어렵기 때문에 제외하고, 연속적인 강우시기에 초일을 제외한 강우일 등을 제외한다면 실제적으로 비점오염원을 관리할 수 있는 강우일이 많지 않다. 특히 연구대상유역(도시+농촌지역)의 경우 비점오염원 발생원은 거의 대부분 임야 또는 농경지로서 배출부하량 관리가 사실상 불가능한 점이 함께 고려되어야 한다.

수질오염총량관리 제1차 계획기간에는 기준유량을 저수량으로 설정하고 있기 때문에 단위 유역별 저수량 시기의 목표수질을 만족할 수 있는 배출부하량을 산정하여야 함에도 불구하고 저수량 시기에 공공수역인 하천과 호소에 이르지 않는 오염물질이 포함되도록 하고 있다. 실제 토지계 오염물질의 배출부하량은 주로 강우시에 공공수역으로 유입되고 비강우시기는 유입될 가능성이 매우 희박하지만, 기술지침의 토지계 배출부하량은 지목별 발생부하원단위에 강우배출비를 곱하여 월별 배출부하량을 산정한 후 연간 일평균량을 적용토록 하고 있다. 그러나 수질오염총량관리제는 계절별·월별 목표배출부하량을 설정하여 관리하는 것이 아니라 기준유량의 이상의 유황조건에서 목표수질을 만족할 수 있도록 기준유량 시점의 목표배출부하량을 일최대배출부하량 개념으로 산정하여 관리하기 때문에 월별 배출부하량 산정은 큰 의미가 없다. 또한, 평수량 미만인 저수량 시기에는 강수량이 거의 없어 토지계 오염물질이 공공수역으로 유입될 가능성이 매우 희박하지만 일평균 배출부하량을 산정하여 적용한다면 배출부하량이 과대하게 산정될 수 있다([그림 4-9]).



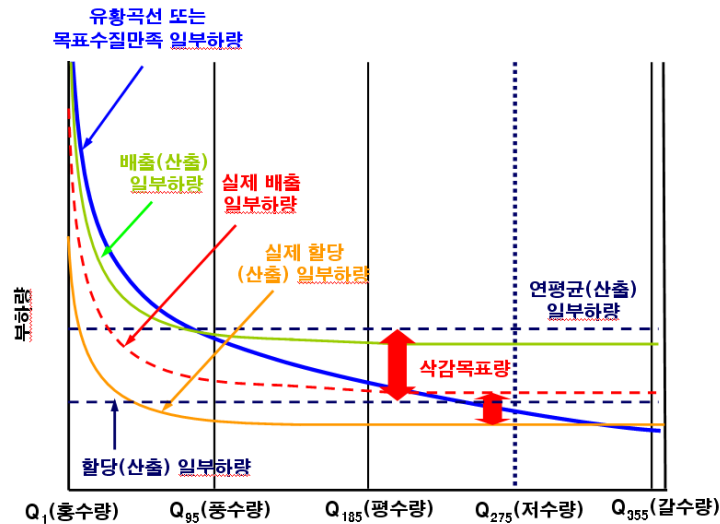
[그림 4-9] 연간 배출부하량 배출특성

기준유량의 시점에서 목표수질을 만족하기 위하여 산정한 목표배출부하량은 안전율을 차감하여 단위유역별 허용부하량으로 산출되고, 결국 오염원 그룹별, 개별배출자에게 할당하여 직

접적인 규제수단으로 이어지기 때문에 매우 중요하게 다루어져야 할 항목이다. 그러므로 기준 유량인 저수량 시점에서 공공수역에 유입하지 않는 배출부하량은 별도로 구분할 필요가 있다. 10mm/일의 강우량을 현 기술지침상에서 하천의 수질에 영향을 미치는 유효강우량으로 정의하고 있기 때문에(국립환경과학원, 2007), 오히려 비점오염원의 발생부하량이 공공수역에 거의 유입하지 않는 10mm/일 미만의 비강우시기와 공공수역에 유입할 수 있는 10mm/일 이상의 강우시기를 구분하여 산정할 필요가 있다고 본다. 본 연구에서는 기준유량 시점의 배출부하량을 산정하기 위하여 토지계 배출부하량을 비강우시기로 산정하였다.

3. 축산계 비점배출부하량

현 기술지침에서 비점배출부하량은 강우배출비를 고려한 토지계의 배출부하량을 산정하고, 가축분이 초지, 농경지, 야적지에 살포된 상태에서 강우시 배출되는 비점오염원을 추가적으로 월별 산정한 값에 관거월류부하량을 합하여 산정한 후, 日비점배출부하량은 일별 또는 월별 산정된 연간 비점배출부하량 총량을 365일로 나누어 日평균치를 적용토록 하고 있다. 그러나, 축산분에 의한 비점배출부하량 역시 저수량 시기에 빗물의 영향으로 비점오염원이 공공수역으로 유입된다는 전제 하에 기준년도의 배출부하량을 산정한다면 목표연도의 기준배출부하량(허용총량)과 연결되고, 또한 모델링에 의한 기준배출부하량 산정시 동일한 조건이 적용되기 때문에 결국 단위유역 및 소유역별 목표수질을 만족할 수 있는 日배출부하량보다 과대하게 산정될 수밖에 없고, 과대하게 산정된 부하량 만큼을 실제 유역 내에서 배출한다면 당연히 목표수질을 초과할 수밖에 없다고 판단된다([그림 4-10]). 그러므로 축산분의 경우에도 토지계와 마찬가지로 강우시기와 비강우시기를 구분하여 산정할 필요가 있다고 판단된다. 본 연구에서는 축산계 배출부하량을 기준유량 시점 시기인 비강우시기로 산정하였다. 물론 궁극적으로 가장 합리적인 대안을 도출하기 위해서는 하천의 유량변화에 따라 오염물질 배출부하량을 관리하여야만 모든 조건에서 수질농도를 만족할 수 있게 된다는 결론에 도달하게 되나, 현실적으로 매우 어렵기 때문에 풍수기, 평수기, 저수기, 갈수기 등 시기별로 배출부하량을 관리하거나, 최소한 우기(강우시기)와 건기(비강우시기)로 나누어 배출부하량을 관리하고 그에 따른 삭감 대책은 점배출부하량과 비점배출부하량을 구분하여 관리하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



(그림 4-10) 부하량 산정 기준시점에 따른 할당부하량 및 삭감부하량 특성

4. 기타

기타 앞서 기술한 문제점 이외에 배출부하량 산정에 있어서의 불확실성을 야기하는 또 다른 문제점들이 있다. 관거배출부하량 산정부분에 대하여 살펴보면, 수계오염총량관리기술지침에서는 향후 비점오염원의 관리를 대비하여 환경기초시설로 유입되는 생활계, 산업계 등의 관거 유입부하량을 일단위로 산정한 결과와 환경기초시설의 일단위 운영자료인 관거이송부하량과의 비율을 산정하여 하수관거 등의 이송경로에서의 누출을 계산하도록 하고 있다. 그러나 강우를 고려하여 하수관거에서의 월류를 고려한 물수지를 계산하는 것은 매우 불확실하므로 계산방법을 SWMM 등의 모델을 이용한 산정방법으로 개선하는 것이 필요하다고 판단된다. 이미 이에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으므로 향후 도입여부를 고려해 볼 수 있을 것이다.

또한, 현 기술지침은 비점오염원의 부하량 산정시 원단위법을 적용함에 따라 시간적 변화와 공간적인 유역의 특성변화를 고려하고 있지 못하고 있기 때문에, 비점오염원에 대한 부하량 산정의 불확실성을 야기할 수 있다. 특히, 현 상태에서 문제가 되는 것은 토지이용을 논, 밭, 산림, 골프장, 대지 등으로 대별하고 각 토지용도별로 원단위를 추정하고 이에 근거하여

비점부하량을 추정하는 매우 단순한 방식을 채용하고 있다는 사실이다(국립환경과학원, 2004). 또한, 기준유량과 비점부하의 배출특성과의 연계성에 대한 연구자료의 부족, 비점오염부하 삭감량 추정 및 처리효율에 대한 불확실성 등의 문제점이 있다. 이처럼 획기적인 비점부하량 추정방법이 도입되지 않는 한 다음과 같은 비점오염원 관리와 직접적으로 연관된 문제에 대한 의문은 지속적으로 제기될 수 밖에 없을 것이다. 수질오염총량관리에 있어서 점오염부하량과 비점오염부하량을 동일한 수치로 다루어야 하는가의 문제이다. 점오염원에 의한 부하 특히 하수처리시설로부터의 배출량은 배출유량과 대상 오염물질의 배출농도로부터 계산된 실측값이다. 반면 비점부하량은 토지이용별로 기존의 연구자료를 바탕으로 추정한 원단위(단위 면적당 일간 오염물질의 양)에 근거하여 추정된 값으로 지역적 특성은 물론이고 강우와 연관된 배출특성을 전혀 반영하지 못하는 일종의 대표적 수치이다. 만일 점오염부하량 1kg/일과 비점오염부하량 1kg/일을 동일하게 취급하는 경우 약간의 비점오염부하량 삭감을 통해 확보된 부하량을 상당하는 점오염원 증가(이는 직접적으로 지역개발과 연관됨)에 사용될 수 있음을 의미한다. 현재의 수질오염총량관리제에서는 분명한 언급은 없지만 기술지침(국립환경과학원, 2004)이나 지금까지 승인된 총량관리계획을 보면 점오염부하량과 비점오염부하량을 등가로 취급하고 있음을 볼 수 있다. 비점오염부하량을 삭감하고 이 삭감량을 점오염원 개발에 사용하면 실제 수질에 미치는 영향은 동일해야 하지만 비점오염원은 강우패턴에 따라 하천수질에 영향을 미치고 강우가 없는 시기에는 실질적으로 하천에 영향을 주지 않기 때문에 비록 점오염부하량과 비점오염부하량이 동일하더라도 수질에 미치는 영향은 크게 다를 수 있음이 자명하다.¹⁾ 이는 기존의 NPDES라는 강력한 점오염원관리체계에 근거하되 이를 통해 관리가 불가능한 비점오염원 관리를 통합적 관점에서 수행하기 위해 TMDL을 도입한 미국과는 달리 우리나라의 총량관리제는 점오염원 및 비점오염원을 포괄하는 통합적 관리체계를 우선 만들어 놓고 이를 지원하는 구체적인 점오염원 관리수단을 정비해 나가는 형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 현재 진행되고 있는 업종별 배출허용기준의 설정 및 배출허가갱신체제가 정착되기 이전까지는 미국의 NPDES와 유사한 형태로 총량관리제를 통합적 점오염원관리체제로 운영하고, 이 기간 동안 비점오염원 관리제도의 정비 및 현실적으로 적용 가능한 관리기술을 개발하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 이와 더불어 비점오염 관련 연구가 지속적으로 이루어져야

1) 이러한 이유에서 실제 점오염부하량과 비점오염부하량 간의 거래가 이루어지는 경우 서로 다른 거래비율을 적용한다(Kiesser, 2002).

하며, 향후 GIS를 이용한 지속적인 자료수집을 통하여 시간적 해석이 가능한 유역모델을 도입하는 방안을 모색해 볼 수 있고, 이를 현 기술지침과 연계하는 방안에 관한 연구가 이루어져야 한다고 판단된다.

제5장 유역별 부하량 산정의 개선방법 및 적용

제1절 유역별 부하량 산정의 개선방법

1. 입력자료의 구축

1) 공간정보자료의 작성

본 연구의 수행을 위한 지리정보주제도는 환경부 및 국토해양부, 천안시의 최근 구축된 Database를 주로 이용하였으며, 대상 유역인 병천천수계에 대하여 필요한 자료를 추출하여 사용하였다. 이 때 사용된 좌표체계는 TM 좌표계를 사용하였다. 각각의 주제도를 동일한 좌표계를 사용하게 함으로써 GIS 소프트웨어의 중첩기능(overlay)에 의해 공간분석이 가능하도록 하였으며, 모형의 입력자료로 사용하기 위해서 모든 공간자료는 격자형으로 변환하여 사용하였다. 그리고 오염원들이 하천에 미치는 영향을 평가하기 위해 하천의 수질 및 수리·수문 정보, 기상자료를 데이터베이스로 구축하였다. 확보된 자료 내용은 <표 5-1>에 나타난 바와 같다.

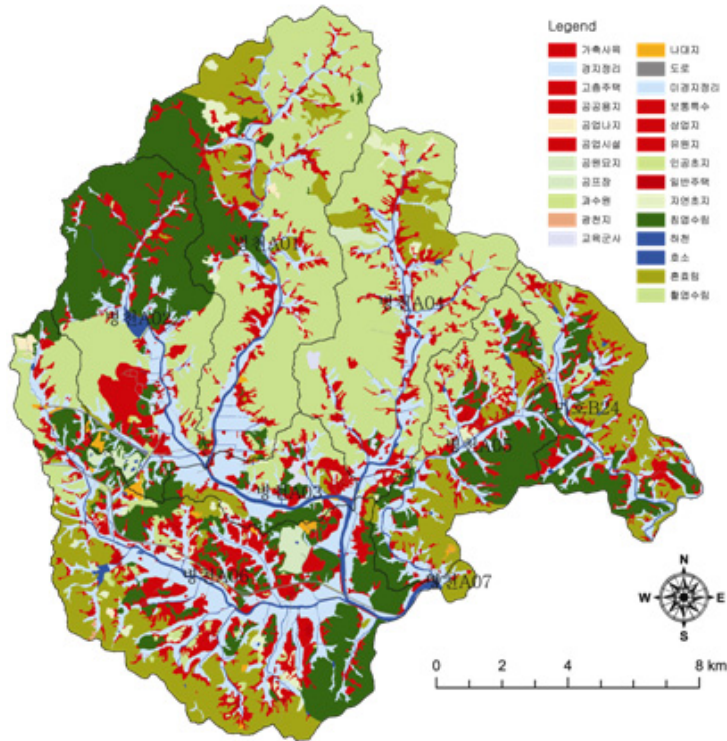
〈표 5-1〉 연구대상지역의 GIS data

분 류	주 제 도	형 태
행정구역도	시도, 시군구, 읍면, 동리	Polygon
배수구역도	단위유역, 소유역, 배수구역	Polygon
수계도	수계, 독립수계	Polygon
하천도	하천, 하천구간, 모델링 소구간	Polyline
측정지점	수질, 유량, 기상, 댐수질, 수위, 지하수, 강우, 토양 측정지점	Point
환경기초시설	공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 마을단위 공공하수처리시설	Point
기타	취수장, 정수장, 산업단지	Point
	토지이용현황도	Polygon
	DEM (Digital elevation model)	Grid
	편집지적도	Polygon
	하수처리구역, 시설물도	Polyline

(1) 토지이용현황도

토지이용은 지표의 성질을 나타내는 것으로 토양유실분석에서 토양침식에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 본 연구에서 토지이용현황도는 국토지리정보원에서 구축한 토지이용 특성 정보를 활용하였으며, [그림 5-1]은 연구대상유역인 병천천수계를 중심으로 한 토지현황도이다.

연구대상유역에 나타난 25개의 토지이용현황 유형은 전, 답, 임야, 대지, 기타의 5개 유형으로 재분류하여 비점오염부하량 산정 및 배출부하량 배분에의 기초자료로 활용하였다. 병천천 상류의 경우에는 주로 산림지역이며, 하류의 경우는 대부분이 도시지역으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.



(그림 5-1) 연구대상지역의 토지이용현황도

(2) Digital Elevation Model

공간상에 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 DEM(Digital Elevation Model)이라고 한다. DEM의 개발 초기에는 지형의 기복을 모델화하기 위해 사용되었으나 현재는 이외에도 다른 속성들의 연속적인 변화를 나타내기 위하여 사용되고 있다.

DEM을 이용하여 지형을 나타내는 방법은 수학적기법과 이미지기법으로 구분할 수 있으며, 이미지기법은 다시 선형모델과 포인트모델로 분류된다. 선형모델은 주로 지형을 등고선으로 표현하는데 주로 사용되며, 포인트모델은 규칙적인 격자배열로 이루어진 고도행렬을 사용하는 방법과 벡터의 위상구조를 가지며 불규칙한 배열로 이루어진 TIN(Triangular Irregular Network)을 사용하는 방법이 있다. TIN모델은 대표적인 GIS Tool인 ESRI(Environmental

System Research Institute)사의 ArcInfo 등의 많은 GIS 소프트웨어에서 사용되고 있는 방법이다. <표 5-2>는 이와 같은 고도 및 지형정보를 활용하여 구할 수 있는 분야이다.

〈표 5-2〉 고도 및 지형정보의 활용분야

분 야	내 용
분수계 결정	유역의 분수계를 찾아내어 배수구역을 구분
능선과 하천 유로 추적	DEM을 사용하여 능선과 하천의 유로를 추적
경사도/사면안정도	고도행렬 또는 TIN을 사용하여 경사도 및 사면 방향 결정
등고선도	고도행렬을 적당한 고도계급으로 재분류하고, 계급에 따라 다른 색 또는 색의 진하기를 달리하여 등고선도 작성
절토/성토량 측정	공사 전·후의 DEM을 이용하여 공사로 인한 절토량 또는 성토량 계산

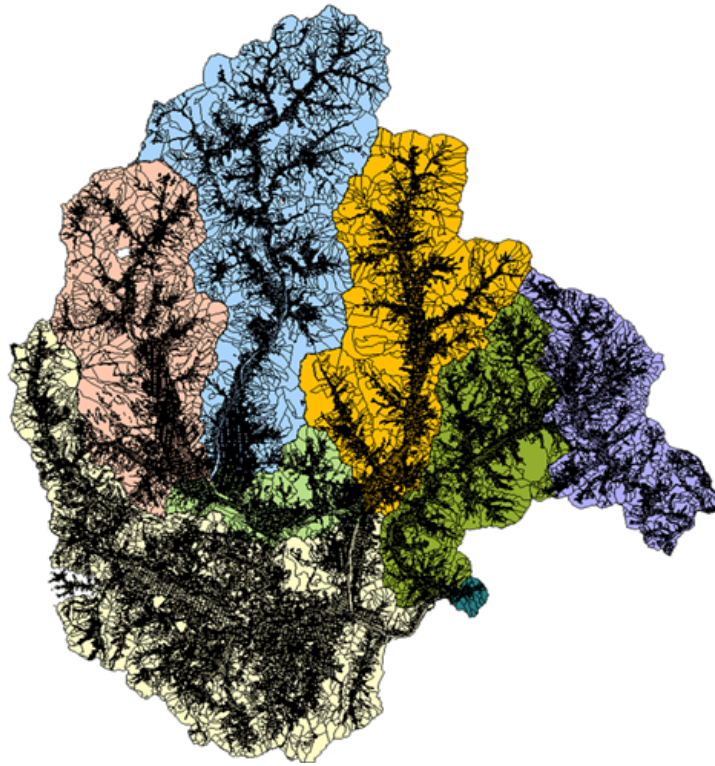
본 연구에서는 이러한 고도 및 지형정보를 이용하여 병천천수계의 배수구역을 소유역과 비교하였으며, 유역별 배출부하량 산정시 자료로 활용하였다. [그림 5-2]는 연구대상지역의 TIN 정보를 나타내고 있으며, 이를 이용하면 연구대상유역은 총 7개의 소유역으로 구분된다.



[그림 5-2] 연구대상지역의 DEM

(3) 편집지적도

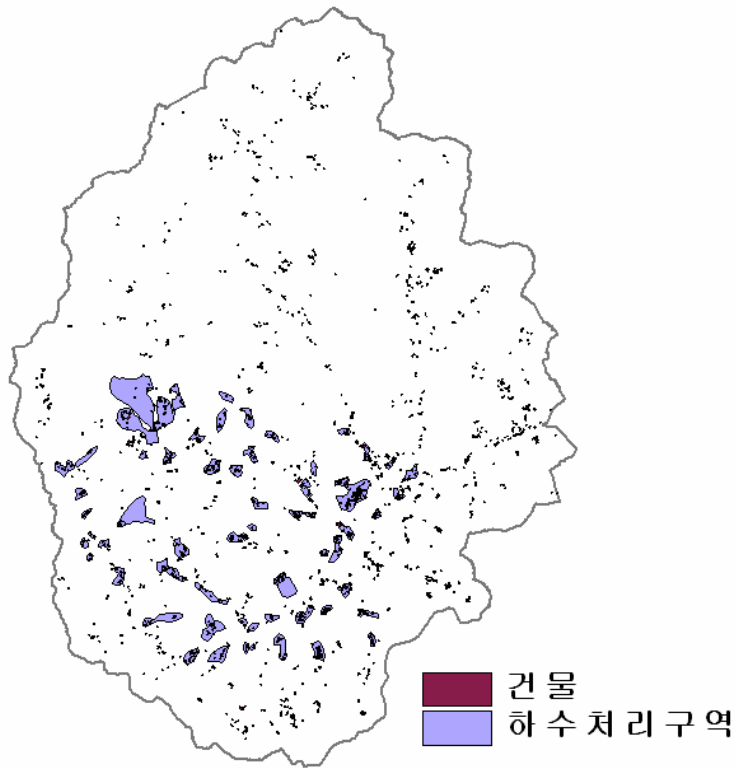
연구대상유역내 지번별 오염원 특성을 파악하고자 최근 시·군별로 구축된 한국토지정보체계(KLIS)의 편집지적도를 활용하였다. 본 지적도의 속성정보인 지번과 지번별 오염원 정보의 속성을 연결하여 오염원의 분포현황을 파악하고자 하였다.



[그림 5-3] 연구대상지역의 편집지적도

(4) 하수처리구역도 및 시설물도

생활계 부하량의 배출경로 및 인구밀도를 고려한 배출부하량 배분을 위해 하수처리구역도와 건물의 시설물도를 활용하였다.



[그림 5-4] 하수처리구역 및 시설물도

2) 속성자료의 구축

부하량 산정을 위해 필요한 정보는 오염원 정보와 원단위 정보 그리고 기타 환경기초시설 관련정보, 부하량 배분관련 자료로 구분하여 구축하였다. 이때 오염원 정보는 오염원그룹별로 조사하여 크게 점오염원과 비점오염원 자료로 구분하였으며, 이들 오염원으로부터 발생 및 배출되는 오염물질부하량을 계산하기 위해 필요한 원단위 데이터베이스도 구축하였다. 구축한 자료 내용은 <표 5-3>에 나타난 바와 같다.

〈표 5-3〉 연구대상지역의 속성자료

대분류	중분류	소분류
오염원 현황	인구현황	리·동별 인구, 하수처리/미처리 인구, 분류/합류/오수처리/단동정화/무처리 인구 등
	물사용량	가정용, 영업용, 업무용, 욕탕용 물사용량 등
	축산현황	리·동별, 지번별 한우, 젓소, 돼지, 가금, 말, 양, 사슴, 개 사육두수(허가, 신고, 미규제)
	폐수배출업소 현황	소재지(지번), 방류수역, 업종코드, 물공급량, 물사용량, 폐수발생량, 폐수배출량, 방류수 수질 등
	양식장 현황	소재지, 양식어종, 사료사용량, 시설면적, 방류유량, 방류수질 등
	토지이용현황	리·동별 지목별 면적
환경기초시설 현황	공공하수처리시설 현황(마을단위 포함)	소재지(지번), 시설용량, 처리인구, 유입·방류유량, 유입·방류수질 등
	분뇨처리시설현황	
	오수처리시설현황	

(1) 오염원 관련자료

점오염원의 발생부하량과 배출부하량 산정에 필요한 오염원 속성정보는 환경부 및 지자체의 2006년 데이터베이스를 이용하였고, 지번단위의 주소정보를 이용하여 가능한 오염원(허가 및 신고단위의 축산시설, 폐수배출시설, 매립시설, 양식시설)의 경우는 지번별 부하량을 산정하였으며, 700m³/일 이상 폐수배출시설의 방류유량과 수질은 2006년 천안시 수질오염총량관리시행계획 이행평가시 실측한 자료를 활용하였다.

비점오염원 속성정보는 환경부 및 지자체의 2006년 지번 데이터베이스를 이용하였으며, 대상지내 지번별 오염원 특성을 파악하고자 최근 시·군별로 구축된 한국토지정보체계(KLIS)의 편집지적도를 활용하였다. 속성정보인 지번과 지번별 오염원 정보의 속성을 연결하여 오염원의 분포현황을 파악하였다.

(2) 환경기초시설 관련 자료

병천공공하수처리시설, 마을단위공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 오수처리시설 등의 환경기초시설의 데이터베이스는 2006년 천안시 수질오염총량관리 시행계획 이행평가시 실측한 자료와 환경부의 오염원조사 자료의 운영자료를 활용하여 구축하였다. 공공하수처리시설의 방류유량 및 수질자료는 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 공공하수처리시설의 방류유량 및 수질

처리시설명	시설용량 (m ³ /일)	방류유량 (m ³ /일)	방류수질농도 (mg/L)			
			BOD ₅	COD _{Mn}	TN	TP
도촌공공하수처리시설	37	27	5.5	4.9	12.310	0.770
문화공공하수처리시설	100	20	3.1	7.2	23.170	2.240
운용공공하수처리시설	30	27	17.0	29.5	18.600	1.580
양곡공공하수처리시설	38	37	5.0	10.1	16.270	1.490
전곡공공하수처리시설	20	17	11.7	22.4	27.750	3.800
병천공공하수처리시설	9,500	3,460	5.2	6.9	8.06	1.160

자료 : 천안시, 2006 수질오염총량관리 시행계획 이행평가, 2007.

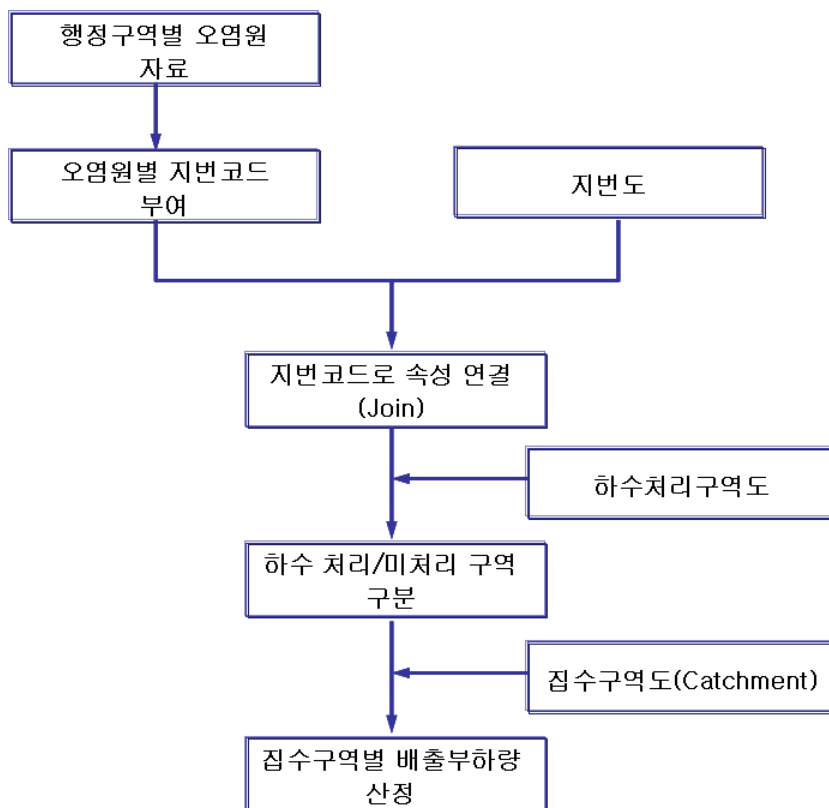
(3) 오염부하량 배분 관련자료

오염부하량을 점오염원의 위치에 배분하는데 있어서 주거지역의 주거형태에 따라 가중치를 적용하였다. 지도상으로는 단독주택, 다가구주택, 다세대주택, 연립주택, 아파트가 동일하게 한 점의 형태로 표현되지만 각 주거지 점 위치에 주거하는 인구는 다를 수 밖에 없다. 따라서, 각 주거위치 포인트에 해당하는 가구수의 비율을 이용하여 아파트와 같은 인구 고밀도 지역에 보다 많은 생활계 부하량을 배분하기 위해 2006년 기준의 인구 및 건축 통계를 이용하여 주거형태에 대한 비율을 구하였다. 따라서 연구대상구역의 거주지역 각 위치 포인트를 아파트와 다세대/다가구/연립주택의 2가지로 분류하였으며, 아파트의 동에 해당하는 포인트는 아파트가 아닌 주거지 포인트 보다 13.0배 가중치를 적용하여 보다 부하량이 많도록 배분하였다. 이러한 방식은 인구밀도를 이용하여 도시지역 내에서도 인구밀도가 높은 지역에 보다 많은 부하량이 배출되는 것을 고려하기 위한 것이다.

2. 유역별 배출부하량 배분방법

GIS를 이용하여 배출부하량을 산정하고 배분하는 것은 오염원기초자료의 지번자료를 최대한 활용하여 오염원의 공간적 위치정보를 정확하게 구축하는 것이 관건이다. 이 과정은 오염원자료에 포함된 지번자료(속성자료)와 디지털로 구축된 지번도(공간자료)를 이용하여 공간적인 위치에 기반한 오염원정보를 구축한 후 하수처리구역도와 같은 추가적인 지도정보를 통해 오염원에 대해 새로운 속성정보를 구축하는 것이다.

오염원에 대한 공간적인 위치정보를 구축하여 하수처리구역 내 포함여부를 확인한 후 미처리지역의 개인하수시설의 오수배출량을 산정하고, 오염원이 위치한 집수구역에 유입하는 소유역을 파악하여 해당 소유역에 부하량이 합산되어 산정될 수 있도록 하였다.



(그림 5-5) GIS를 이용한 지번별 배출부하량 산정절차

1) 부하량 산정에의 기준시점

배출부하량은 현 수질오염총량관리제도의 기준유량인 저수량(Q_{275}) 시점, 즉, 강우의 영향이 미미한 시점(이후 ‘비강우시’라 함)을 기준으로 하여 산정하였다. 이 때, 오염물질 배출원을 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 매립계, 토지계 등 6개 그룹으로 분류하였으며, 조사된 오염원 현황 및 분포실태에 따라 실제 조사된 배출량 이외의 자료는 ‘수계오염총량관리기술지침’의 각 오염원별 배출계수 등을 적용하여 항목별 배출부하량(BOD_5 , TN, TP)을 산정하였다.

(1) 생활계

생활계의 배출부하량은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 구분하여 조사한 후 산정하였다. 유역별 생활계 오염물질의 배출경로는 개별배출원에서 직접배출 또는 처리 후 공공수역으로 배출되는 경우, 하수처리시설로 이송되는 과정에서 관거배출되는 경우, 차집된 하수가 하수처리시설에서 처리된 후 배출되는 경우를 들 수 있고, 각각의 부하량 산정방법은 아래와 같다.

① 개별배출부하량

하수처리구역은 발생부하량에서 하수처리시설에 연결된 관거로 유입되는 양과 분뇨처리시설에 직접 이송되는 양을 감하여 산정하였고, 하수처리시설에 연결되지 않은 개별배출원은 발생부하량에서 자체개별삭감량을 감하여 산정하였다. 그리고 하수미처리구역은 하수처리시설로의 관거유입량이 없으므로 개별배출원의 발생부하량에서 개별삭감량을 감하여 산정하되, 분뇨처리시설 등에 직접이송되는 양을 추가적으로 감하여 산정하였다.

② 관거배출부하량

관거배출부하량은 하수처리구역에서 처리시설로 관거이송시 누수를 통해 배출되는 양을 말하며, 관거유입량에 누수부하비를 곱하여 산정하였다.

③ 기초시설배출부하량

기초시설배출부하량은 공공하수처리시설, 분뇨처리시설, 마을단위 공공하수처리시설에서 실측한 방류유량에 수질농도를 곱하여 산정하였다.

(2) 축산계

축산계 배출부하량은 축산노의 개별배출부하량과 가축분뇨공공 및 공동처리시설의 배출부하량을 합하여 산정하였다.

① 개별배출부하량

개별배출부하량은 폐수형태로 상시 배출되는 점오염원과 초지, 농경지 또는 야적지에 살포된 상태에서 강우시 배출되는 비점오염원으로 분리하여 산정되는데, 축산분의 경우 농지 등에 환원되는 경우 토지계 배출부하량에 반영되고, 소각, 해양배출 등은 유역내 배출부하량과 직접적인 관련성이 없기 때문에 산정에서 제외하였다. 이 때, 점오염원(축산노)의 개별배출부하량은 발생부하량에서 개별삭감량과 축산폐수공공처리시설에 직접 이송되는 양을 감하여 산정하였다.

② 기초시설배출부하량

가축분뇨공공 및 공동처리시설에서 실측한 폐수방류유량에 실측농도를 곱하여 산정하였다.

(3) 산업계

산업계 배출부하량은 개별배출시설과 오·폐수종말처리시설을 구분하여 조사한 후 개별배출부하량은 공동처리구역 외지역의 발생부하량에서 개별삭감량을 감하여 산정하였고, 공동처리구역에서의 배출부하량은 실측한 방류유량에 방류농도를 곱하여 산정하였다.

(4) 양식계

개별 양식장에서 처리시설이 거의 없고, 배출부하량이 매우 적기 때문에 발생부하량을 배출부하량으로 산정하였다.

(5) 매립계

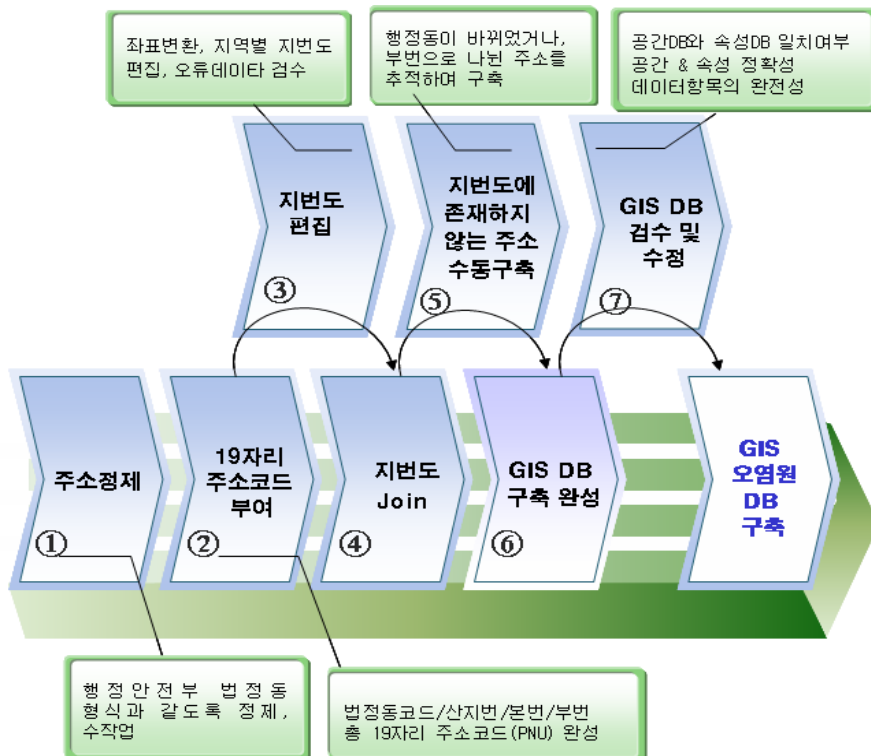
매립계 배출부하량은 매립장침출수처리시설의 방류유량에 농도를 곱하여 산정하였다.

(6) 토지계

기준유량인 저수기(Q_{275}) 시기에는 강우량이 거의 없어 토지계 배출부하량 또한 거의 없다고 볼 수 있으나, '수계오염총량관리기술지침'에서 정하는 방법에 따라 10mm/일 미만 강우시에 적용되는 발생부하량의 10%를 적용하여 배출부하량을 산정하였다.

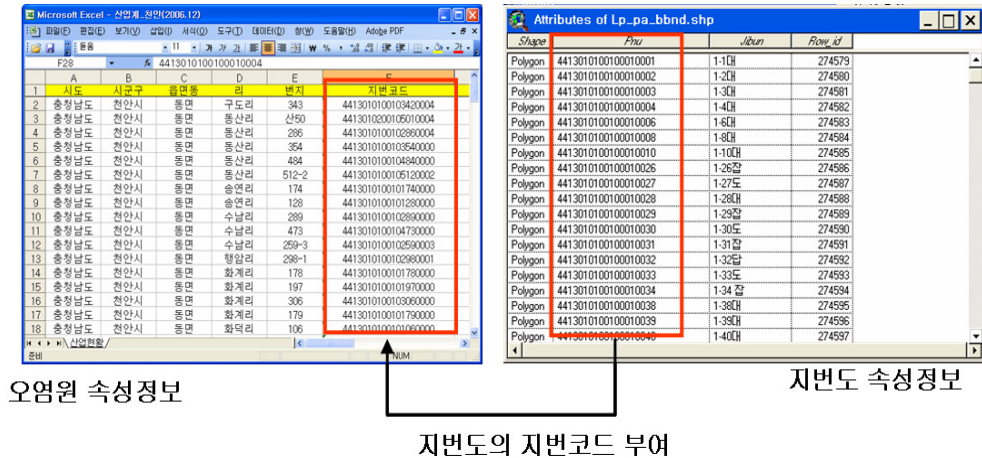
2) 위치기반 오염원 정보 구축방법

오염원의 공간적 위치를 파악하기 위해 먼저 행정구역별로 작성된 오염원 정보에서 주소를 파악하여 디지털 파일 형태의 지번도로 부터 해당 주소의 지번코드(19자리 숫자코드 : 행정구역코드 10자리+임야 여부 1자리+본번지 4자리+부번지 4자리)를 생성하였다. 이들 오염원의 지번코드를 지번도에서 해당 주소의 지번코드와 매핑하여 개별 오염원의 위치를 파악하였다 ([그림 5-6]).



[그림 5-6] 주소정제를 통한 지번코드 생성과정

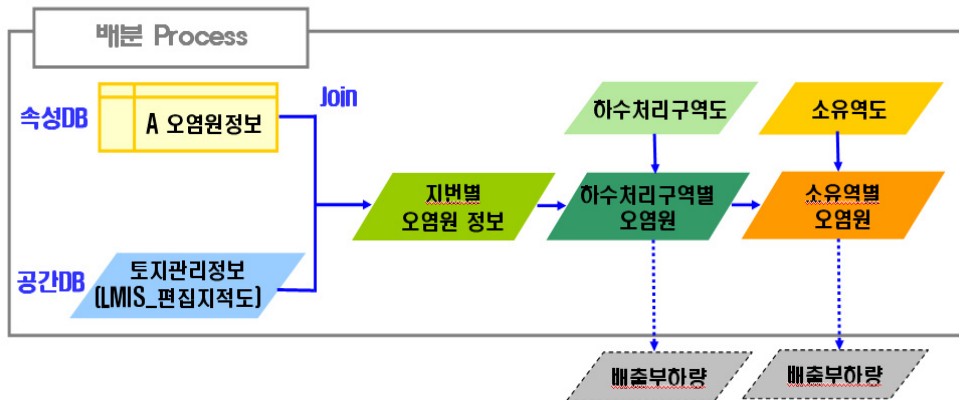
부여된 오염원의 지번코드와 지번도의 지번코드를 공통필드로 하여 GIS의 결합(Join) 기능을 통해 지번도와 오염원 속성정보를 연결하였다([그림 5-7]). 이렇게 오염원 정보를 지번도와 연결하여 축산계, 산업계, 매립계, 양식계, 환경기초시설의 위치 정보를 구축하였다.



(그림 5-7) GIS를 이용한 지번도와 오염원 속성자료의 결합

3) 유역별 오염원그룹별 배출부하량 배분방법

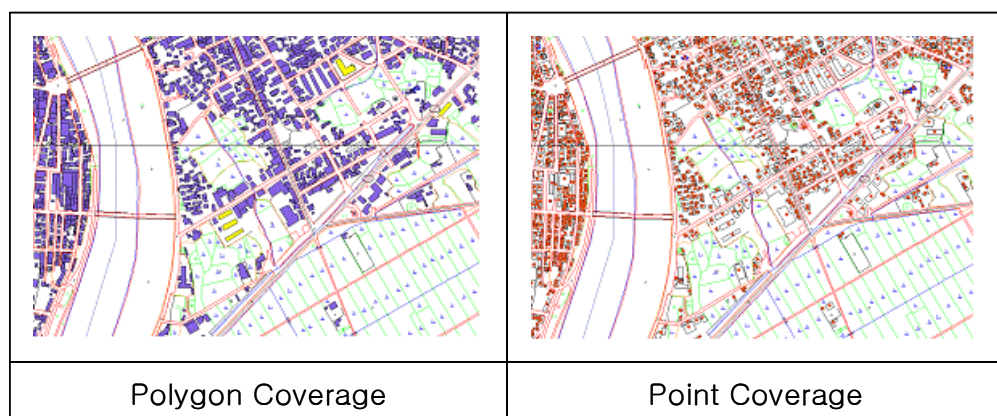
배출부하량 배분은 DSA(Distributed Source- based Allocation) 기법을 적용하였으며, 이 기법은 편집지적도, DEM 등 GIS 공간자료를 이용하여 오염원의 공간분포 특성을 최대한 고려하여 배분하는 것을 말한다. 이러한 방법을 통해 각각 오염원그룹별로 배출부하량을 배분하고 그 결과를 하나의 주제도로 합산하여 최종적인 배출부하량 분포지도를 완성하고, 이를 필요에 따라 소유역, 세유역 등의 주제도를 이용하여 유역단위의 배출부하량을 산정하는데 활용하였다([그림 5-8]).



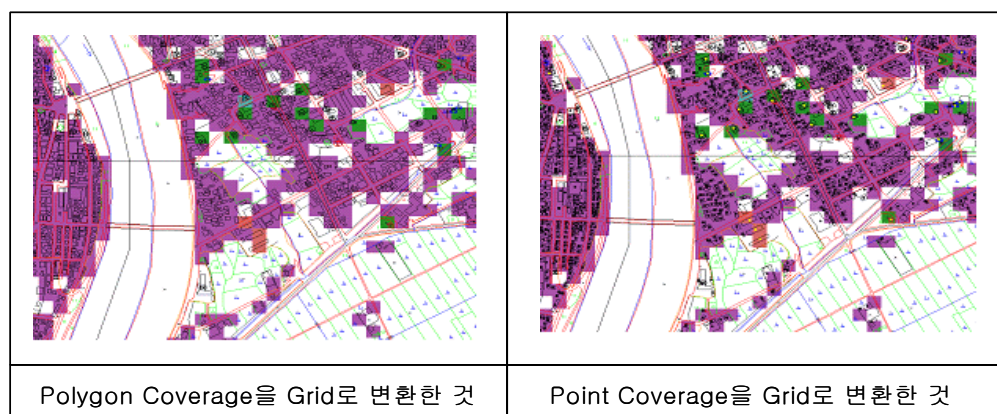
(그림 5-8) GIS를 이용한 지번도와 오염원 속성자료의 결합

(1) 생활계

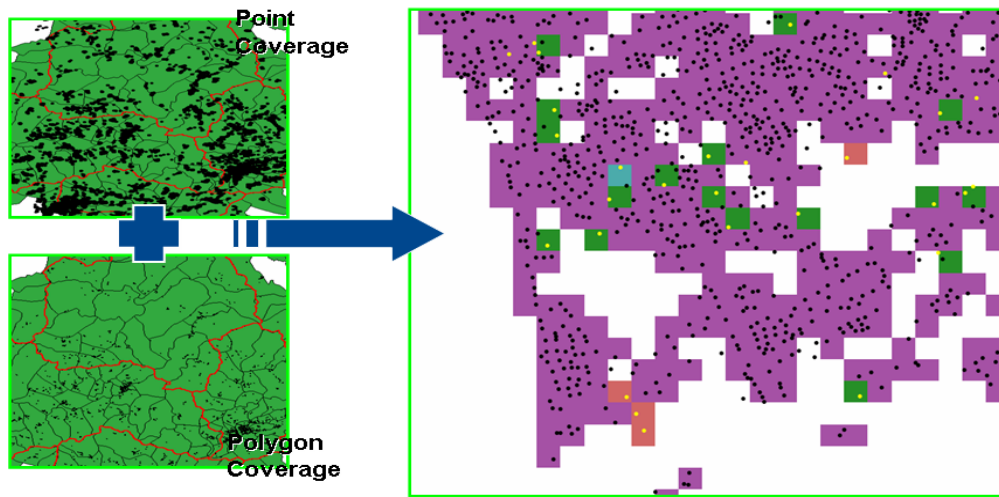
생활계 배출부하량은 오염원 위치별로 부하량 산정이 쉽지 않고 공공하수처리시설과 연계하여 오염물질이 배출되기 때문에 행정구역별로 계산된 생활계 배출부하량(환경기초시설로 방류하는 배출부하량을 제외)을 이용하여 시설물도에 배분하였다. 시설물도는 1:5000 수치지 형도에서 시설물 정보를 Polygon 및 Point Coverage로 변환하는 작업을 수행하여 제작하였다([그림 5-9]). 이후 다시 해당 Polygon을 주거지 속성을 갖는 Grid(30m×30m 또는 10m×10m 격자)로 변환하는 작업을 수행하였다([그림 5-10]). 이후 각 행정구역별 배출부하량 정보를 시설물도의 특성에 따라 각각 Polygon, Point Coverage와 연결하여 각 격자별로 가중치를 두어 배출부하량을 배분하였다([그림 5-11]). 이 때, 아파트와 기타 건물로 구분하여 추출하였는데 이는 아파트는 단독주택이나 다세대주택, 연립주택 등에 비해 배출부하량이 높기 때문에 인구 밀도를 고려하여 배출부하량을 배분하기 위한 것이다.



(그림 5-9) 오염원 정보를 Coverage로 변환한 모습



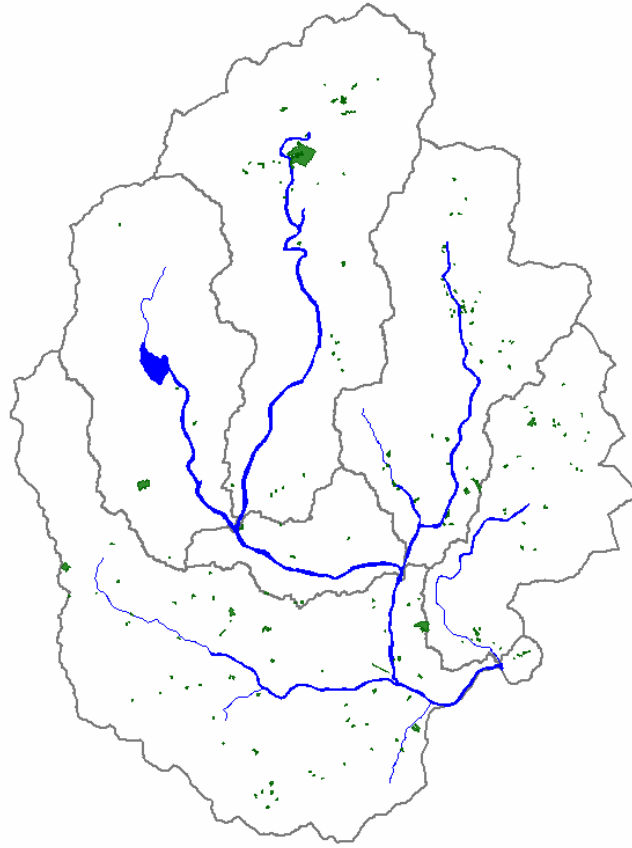
(그림 5-10) 오염원 정보 Coverage를 Grid로 변환한 모습



(그림 5-11) 각 격자별로 오염부하량을 배분하는 모습

(2) 축산계

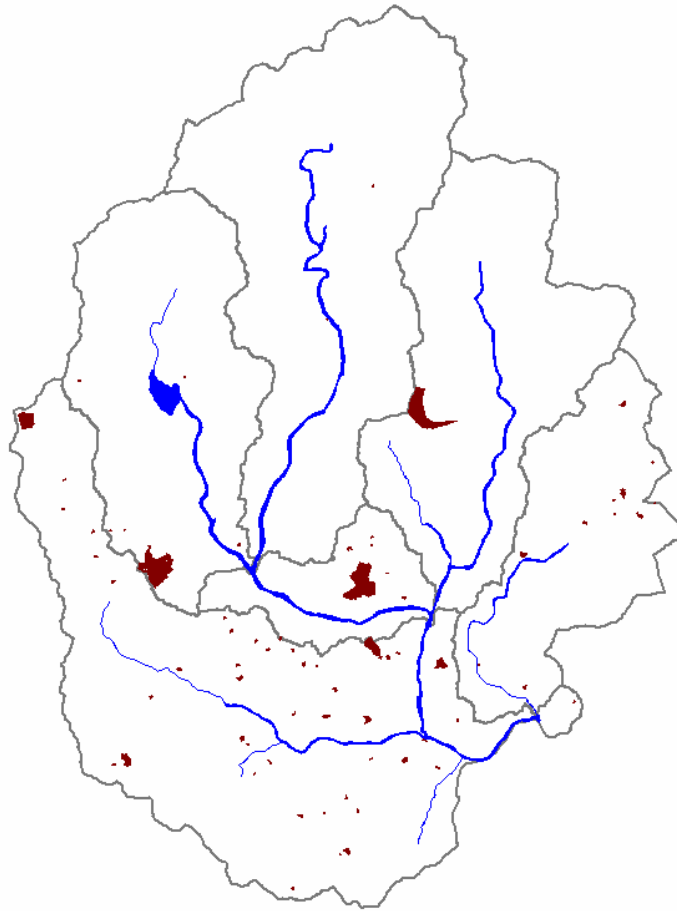
축산계는 오염원 기초자료의 축사주소를 이용하여 지번코드를 생성하고, 지번도의 지번코드와 연결하여 위치를 파악하였다([그림 5-12]). 이 때 허가 및 신고대상 이상의 축사는 지번자료를 토대로 오염원 위치에 속성을 연결하여 각각의 배출부하량을 산정하고 배분하였으며, 간이 및 미규제 축산시설은 지번단위의 조사가 불가능하므로 리별 축산시설에 의한 배출부하량을 파악한 후 축산계 오염원 위치의 속성을 토대로 토지이용현황 중 축산시설의 입지로서 가능한 지역의 토지비율로 배분하였다. 이처럼 산정된 각각 축사의 배출부하량을 축산계 오염원 위치에 속성을 연결하여 개별 축사에 의한 소유역별 배출부하량 지도를 생성하였다.



[그림 5-12] 축산계 오염원 위치도

(3) 산업계

산업계는 공장과 음식점 등의 폐수배출시설의 지번단위 주소를 이용하여 지번도의 지번코드와 연결하여 위치를 파악하였다([그림 5-13]). 개별 폐수배출시설의 배출부하량을 산정하고 산정된 결과를 산업계 오염원의 위치에 속성을 연결하여 개별산업체에 의한 소유역별 BOD_5 배출부하량 지도를 생성하였다.



(그림 5-13) 산업계 오염원 위치도

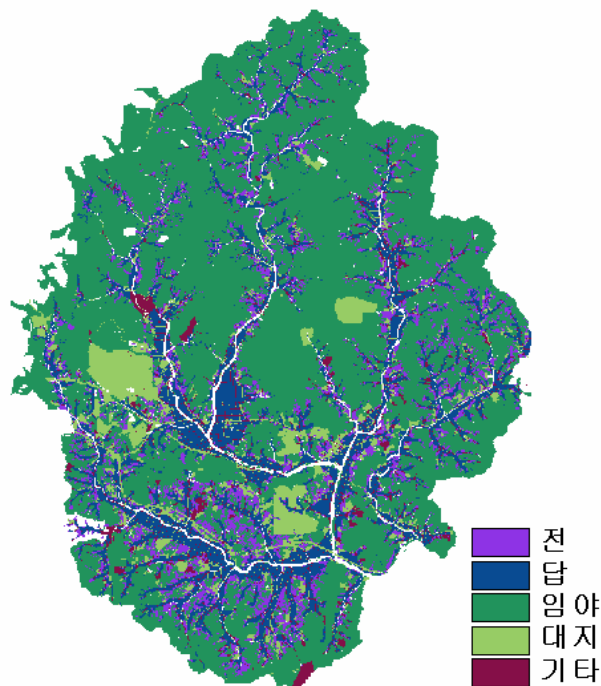
(4) 토지계

기존에 GIS를 이용한 소유역별 토지계 배출부하량을 산정하는 것은 환경부 토지피복 중분류도의 분류항목을 이용하여 산림지역과 도시지역의 비율을 고려하여 보완하는 방식이었다. 그러나 본 연구에서는 행정구역별로 산정된 토지계 배출부하량을 다시 유역의 토지이용도에 배분하여 소유역별로 합산하여 산정하는 방식으로 전환하였다.

토지계 배출부하량은 오염원기초자료의 행정구역별 지목현황 자료를 사용하여 배출부하량을 산정하고 있다. 따라서, 지번도의 지목을 ‘수계오염총량관리기술지침’상의 토지이용인 전,

답, 임야, 대지, 기타로 재분류를 하여 행정구역별 토지이용현황을 파악할 수 있도록 주제도를 생성하였다([그림 5-14]). 이렇게 생성된 주제도에 행정구역도를 이용하여 행정구역별로 '수계 오염총량관리기술지침'상의 토지이용별 면적을 산정한 다음, 행정구역별 토지계 배출부하량을 배분하였다. 배분하는 방식은 행정구역별로 토지이용의 배출부하량 배분비율이 '수계오염총량관리기술지침'에 나와 있는 원단위의 상대적인 비율과 같도록 배분하였다.

'수계오염총량관리기술지침'상의 BOD₅ 원단위 값을 보면 전 : 답 : 임야 : 대지 : 기타 = 1.59 : 2.30 : 0.93 : 85.90 : 0.96이다. 따라서 예를 들어 행정구역 천안시 북면 상동리의 토지계 배출부하량이 1,000g/일라고 가정했을 때, 전, 답, 임야, 대지, 기타의 배출부하량 기여율이 1.59 : 2.30 : 0.93 : 85.90 : 0.96이 되도록 상동리의 다섯 종류의 토지이용에 각각 17.3, 25.09, 10.14, 936.95, 10.47g/일을 먼저 배분하고, 지번도를 전, 답, 임야, 대지, 기타의 다섯 종류로 재분류한 지도를 10mX10m의 격자형 지도로 바꾸고, 각 토지이용에 배분된 배출부하량을 개별 격자에 배분되도록 하였다([그림 5-9~11]).



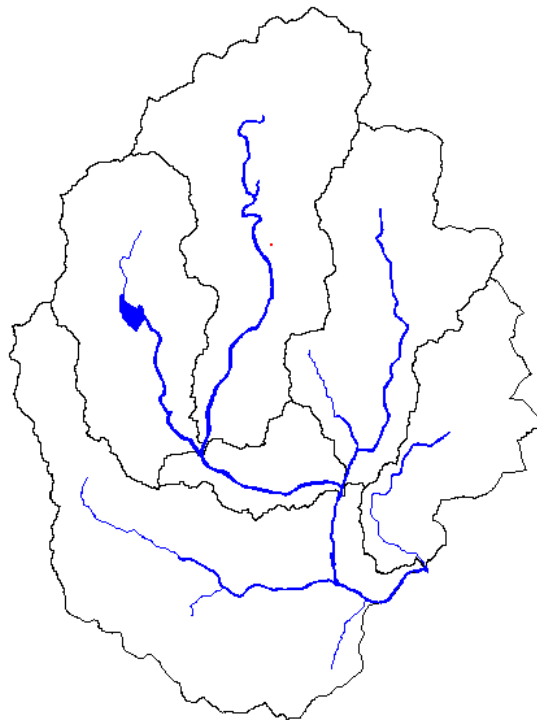
[그림 5-14] 연구대상지역의 '수계오염총량기술지침'상의 토지유형별 토지이용도

(5) 양식계

양식시설은 주소를 이용하여 위치를 파악하되, 2개 이상의 소유역에 걸쳐있는 경우는 확인 후 구분하여 지번코드를 생성하고, 지번도의 지번코드와 연결하여 위치를 파악하여 배출부하량을 배분하였다.

(6) 매립계

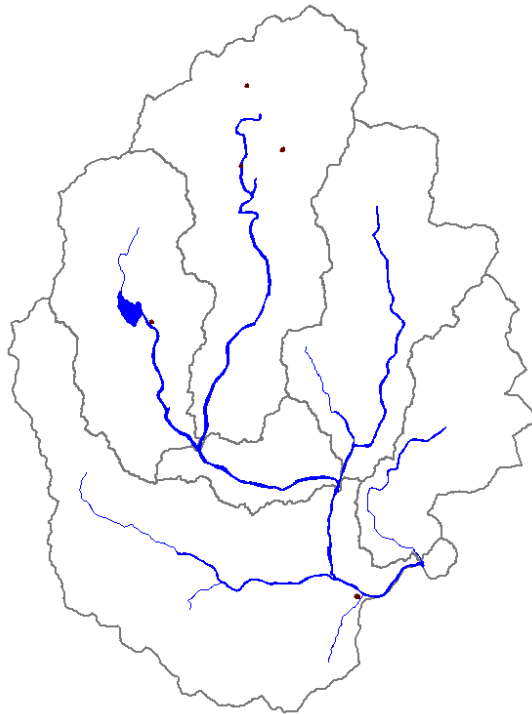
매립시설은 시설 주소를 이용하여 지번코드를 생성하고, 지번도의 지번코드와 연결하여 위치를 파악하였으며, 최종방류구의 위치를 파악하여 배분하였다. 연구대상유역에는 총 1개의 매립시설(북면위생매립장)이 위치하고 있다.



[그림 5-15] 매립계 오염원 위치도

(7) 환경기초시설

환경기초시설은 산업계, 축산계, 매립계와 마찬가지로 지번단위의 조사가 가능하므로 환경기초시설의 주소를 이용하여 지번코드를 생성하고, 지번도의 지번코드와 연결하여 위치를 파악하였으며, 연계처리 여부 및 최종방류구의 위치를 파악하여 확인하였다. 그 결과 2006년 기준으로 총 6개의 환경기초시설이 병천천수계에 입지해 있었다. 환경기초시설은 다른 오염원과 달리 하천근처에 입지해 있고 방류부하량이 많아 하천의 수질이 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 환경기초시설은 시설의 위치보다는 해당 방류수계로 유하하도록 방류구를 환경기초시설의 최종위치로 정해야 방류수계 소유역에 대한 정확한 부하량 산정이 가능하다.

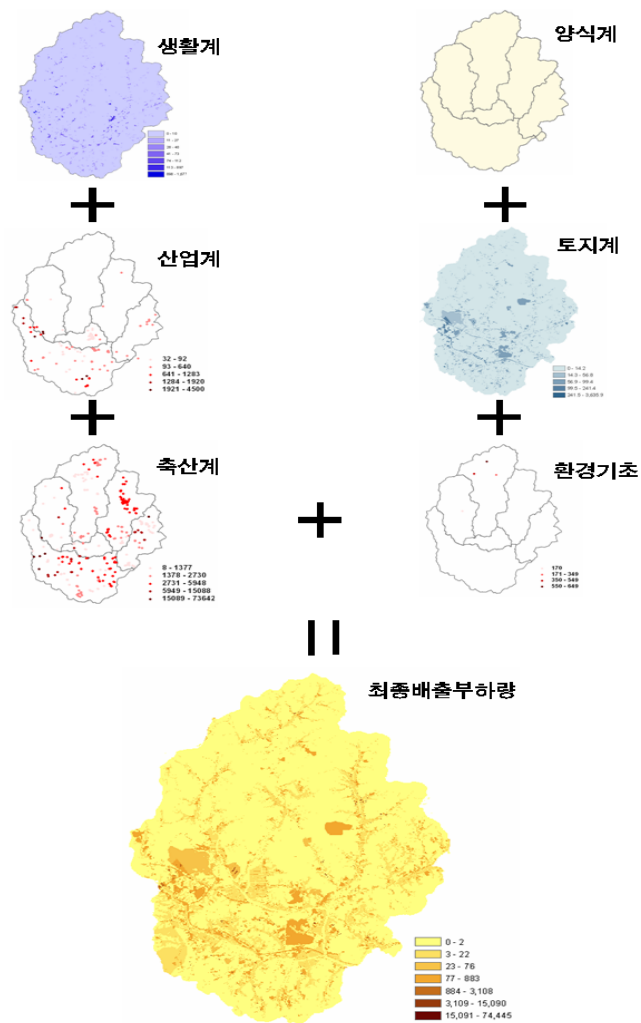


[그림 5-16] 환경기초시설 위치도

제2절 연구대상지역에의 적용

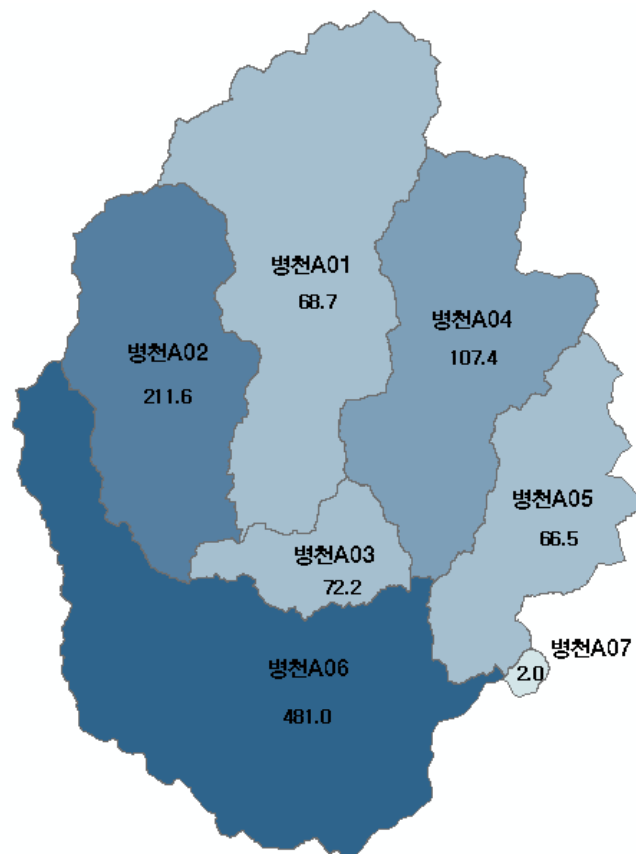
1. 유역별 배출부하량

오염원그룹별 배출부하량 배분결과를 하나의 주제도로 합산하여 최종적인 배출부하량 분포 지도를 완성하고, 이를 필요에 따라 단위유역, 소유역 등의 주제도를 이용하여 유역단위의 배출부하량 산정에 활용하였다([그림 5-17]).



[그림 5-17] GIS를 이용한 BOD₅ 배출부하량 산정절차

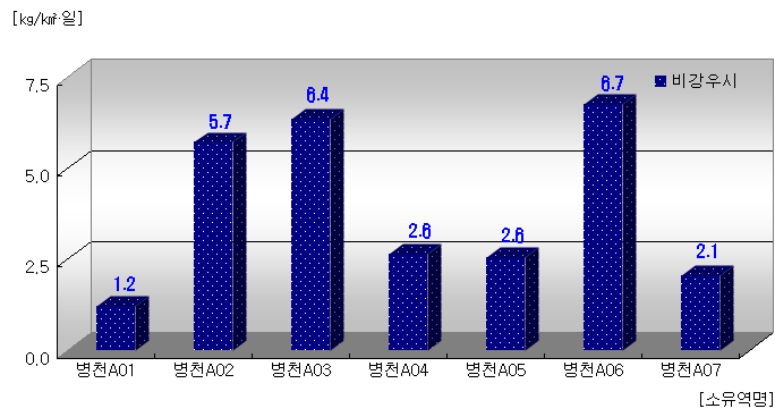
GIS를 이용한 소유역별 배출부하량 분포는 [그림 5-18]에 나타내었으며, 결과를 살펴보면 GIS를 이용한 비강우시 배출부하량의 경우 소유역별 점오염원의 배출특성을 잘 나타내고 있으므로, 이를 이용하여 유역특성을 고려한 점오염원의 삭감대책 마련이 가능하다고 판단된다. 따라서 유역별 배출부하량의 비교적 정확한 정량적 산정이 가능한 비강우시기를 기준으로 배출부하량, 허용부하량, 삭감부하량을 산정하여 계획을 수립하고, 단계적으로 점오염원의 삭감 방안이 없는 유역의 경우를 우선적으로 비점오염원을 고려하여 계획을 수립하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 또한 비점오염원의 시간별, 공간별 배출부하량의 정량적인 산정이 가능한 시점에 비점배출부하량을 포함하는 방안도 고려해 볼 수 있을 것이다.



(Unit : kg/일)

[그림 5-18] 비강우시 소유역별 BOD₅ 배출부하량

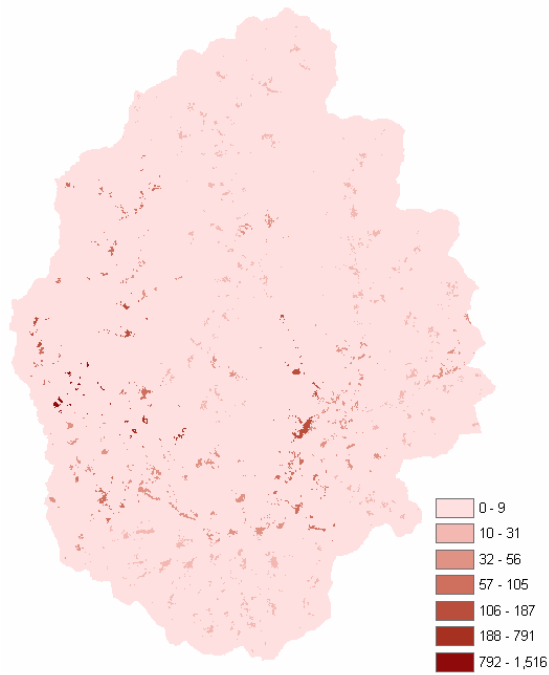
단위면적당 BOD₅ 배출부하량을 소유역별로 비교해보면, 병천A06 소유역이 6.7kg/km²·일로 가장 높은 것으로 나타났으며, 병천A01 소유역이 1.2kg/km²·일로 가장 낮게 나타났다. 따라서 병천A06 소유역의 경우 비교적 점오염원이 밀집한 유역임을 간접적으로 알 수 있다.



[그림 5-19] GIS를 이용한 비강우시 단위면적당 BOD₅ 배출부하량

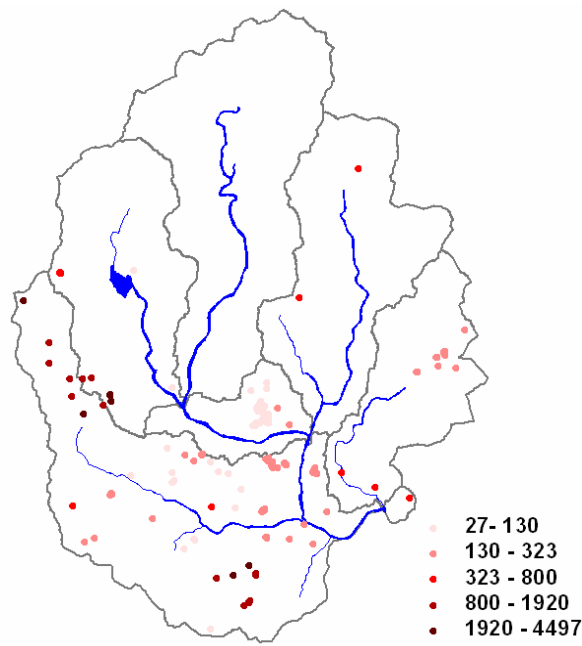
1) 그룹별 배출부하량

GIS를 이용하여 위치에 기반을 두어 오염원그룹별 생활계, 축산계, 산업계, 토지계, 환경기초시설의 배출부하량을 산정하였으며, 각각의 결과는 [그림 5-20~24]에 도식화하여 나타내었다. 대부분 오염원그룹별 배출원이 병천천 하류부분에 밀집되어 있는 것으로 나타났다.



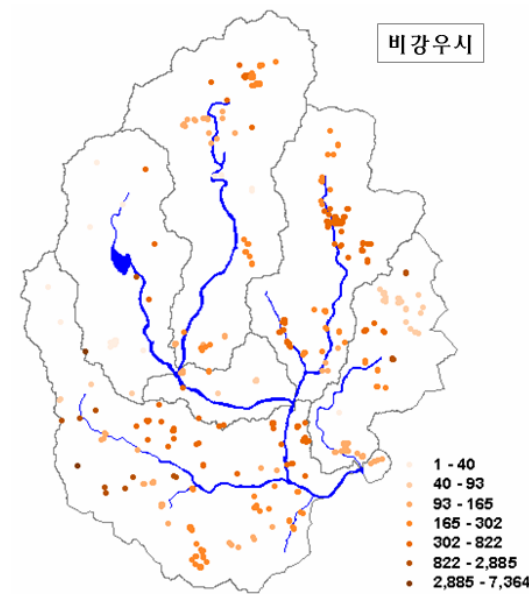
(Unit : kg/일)

(그림 5-20) 생활계 BOD₅ 배출부하량



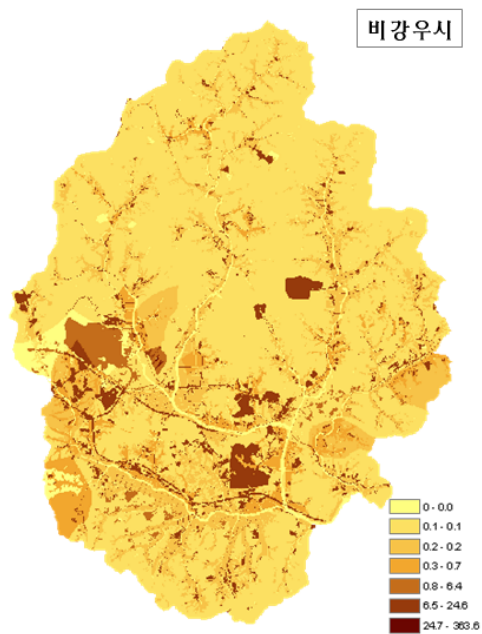
(Unit : kg/일)

(그림 5-21) 산업계 BOD₅ 배출부하량



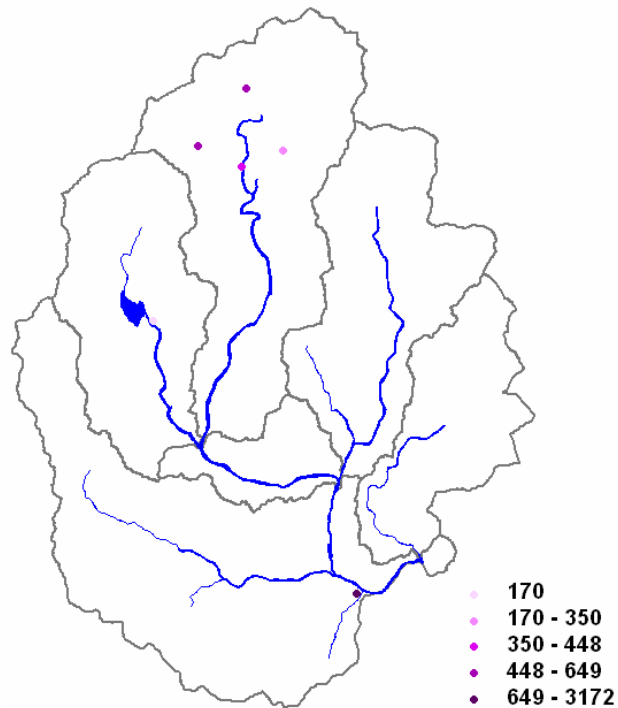
[그림 5-22] 축산계 BOD₅ 배출부하량

(Unit : kg/day)



[그림 5-23] 토지계 BOD₅ 배출부하량

(Unit : kg/day)



(Unit : kg/day)

[그림 5-24] 환경기초시설에 의한 BOD₅ 배출부하량

2. 개선 전 · 후의 비교 및 분석

비강우시기에 동일한 오염원 자료를 토대로 단순면적비를 적용했을 경우와 GIS를 이용하여 배출부하량을 산정했을 경우를 비교해보면, 총 BOD₅ 배출부하량은 GIS를 이용했을 경우 더 크게 나타났다. 연구대상유역에서 두 방법에 의한 배출부하량 값의 차이는 107.3kg/일로 나타났다으며, 이는 단순면적비로 계산한 총 배출부하량의 약 11%에 해당하는 값으로 유역별 오차가 큰 것으로 나타났다. 비강우시 배출부하량은 점오염원의 배출특성을 매우 잘 반영하므로 점오염원의 공간분포 특성 및 배출특성을 고려하여 유역별 배출부하량을 산정하면 그 결과가 보다 개선될 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 두 방법에 의한 절대값의 차이는 오염원이 유역 경계에 많이 밀집한 병천A06 소유역이 50.8kg/일로 가장 크게 나타났다.

〈표 5-5〉 비강우시 개선 전·후 BOD₅ 배출부하량 비교

소유역명	단순면적비 적용		GIS 이용		차이 (D-B) (kg/일)	비고 (개선 후 부하량 증감)
	배출 부하량(B) (kg/일)	단위면적당 배출부하량 (kg/km ² · 일)	배출 부하량(D) (kg/일)	단위면적당 배출부하량 (kg/km ² · 일)		
병천A01	63.1	1.1	68.7	1.2	5.6	△
병천A02	232.2	6.3	211.6	5.7	20.6	▼
병천A03	58.5	5.2	72.2	6.4	13.7	△
병천A04	111.9	2.7	107.4	2.6	4.5	▼
병천A05	75.6	2.9	66.5	2.6	9.1	▼
병천A06	430.2	6.0	481.0	6.7	50.8	△
병천A07	5.0	5.1	2.0	2.1	3.0	▼
병천천수계	976.5	4.0	1,009.4	4.1	107.31)	△

1) 병천A01~병천A07 소유역별 배출부하량 차이의 절대값 합계

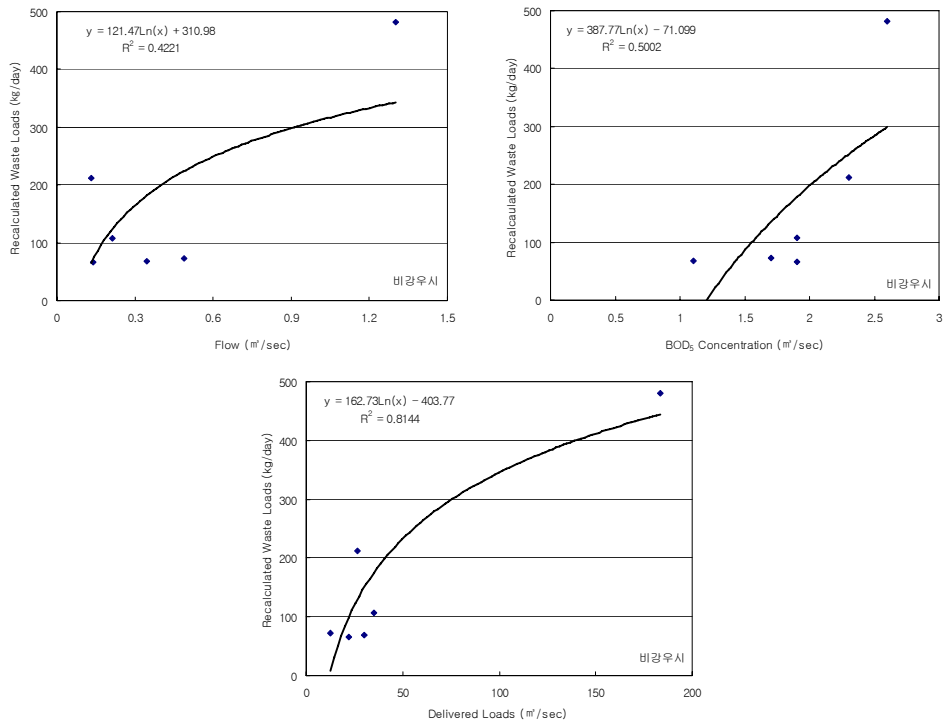
비강우시기의 GIS를 이용하였을 경우와 단순면적비를 적용했을 때의 편차와 GIS를 이용하였을 경우를 단순면적비 적용 총 배출부하량과 합계를 일치시켜 배출부하량을 유역별로 배분했을 경우의 편차를 살펴보면 <표 5-6>과 같다. GIS를 이용하여 산정한 배출부하량과 단순면적비를 적용하여 산정한 총 배출부하량의 오차는 3.3%로 나타났으나, 소유역별로는 4.2%~150.0%까지 오차가 발생하였으며, 그 오차가 큰 것으로 나타났다. 또한, 총합의 편차를 0.0%로 조정했을 경우 역시 소유역별 오차가 5.1%~160.2%로 매우 크게 나타났다. 병천A07 소유역의 경우 토지계 오염원 이외에 별도의 오염원이 존재하지 않으므로 점오염원의 배출부하 특성을 반영하는 비강우시에 더 큰 오차를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하면 오염원 위치 특성을 매우 잘 반영하는 것으로 판단된다.

〈표 5-6〉 비강우시 개선 전·후 BOD₅ 배출부하량의 비교편차

소유역명	배출부하량 (kg/일)			차이 (kg/일)		비교편차 (%)	
	단순면적비 적용(B)	GIS 이용 (D)	GIS 이용 (D*) ¹⁾	D-B	D*-B	D-B / D×100	D*-B / D*×100
병천A01	63.1	68.7	66.5	5.6	3.4	8.2	5.1
병천A02	232.2	211.6	204.7	20.6	27.5	9.7	13.4
병천A03	58.5	72.2	69.9	13.7	11.3	19.0	16.2
병천A04	111.9	107.4	103.9	4.5	8.0	4.2	7.7
병천A05	75.6	66.5	64.3	9.1	11.3	13.7	17.9
병천A06	430.2	481.0	465.3	50.8	35.1	10.6	7.5
병천A07	5.0	2.0	1.9	3.0	3.1	150.0	160.2
병천천수계	976.5	1,009.4	976.5	32.9	0.0	3.3	0.0

1) GIS를 이용하여 산정된 배출부하량을 단순면적비를 이용한 배출부하량의 총합계로 합계를 일치시켜 수정한 부하량

GIS를 이용한 비강우시 배출부하량과 BOD₅ 수질농도, 유량, 유달부하량과의 각각의 상관관계를 살펴보면 배출부하량과 유달부하량과의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났으며, 회귀식의 결정계수(R²)는 비강우시 0.81로 신뢰할 만한 수준인 것으로 나타났다([그림 5-25]). 이처럼 GIS를 이용하여 산정한 유역별 배출부하량 값의 정확성과 신뢰도는 매우 높은 것으로 판단된다. 따라서, 유역별 배출부하량의 보다 정확한 산정을 위해서 GIS를 이용한 배분, 합산 방식은 매우 유용한 것으로 나타났다.



[그림 5-25] BOD₅ 수질농도, 유달부하량, 유량의 BOD₅ 배출부하량과의 상관관계

또한, <표 5-7>에 나타난 바와 같이 현 지침에 의한 비강우시 배출부하량의 경우 병천A01 소유역의 경우 유달률이 1.04로 산출되었는데, 이는 단순면적비를 적용하여 유역별 배출부하량을 배분할 때 오차가 발생할 수 있다는 것을 보여준다. 유달률은 소유역별 허용부하량을 산정할 때 매우 중요한 인자로 작용한다. 따라서 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정한다면 유역별 유달률의 정확성이 개선될 것이라 판단된다.

〈표 5-7〉 유달률의 비교

소유역명	배출부하량 (kg/일)			유달부하량 (kg/일)		유달률		
	면적비/ 강우	면적비/ 비강우	GIS/ 비강우	강우	비강우	면적비/ 강우	면적비/ 비강우	GIS/ 비강우
병천A01	383.2	63.1	68.7	263.6	65.9	0.69	1.04	0.74
병천A02	697.0	232.2	211.6	87.9	26.0	0.13	0.11	0.12
병천A03	292.2	58.5	72.2	74.5	5.0	0.26	0.09	0.07
병천A04	611.5	111.9	107.4	121.2	20.9	0.20	0.19	0.19
병천A05	366.9	75.6	66.5	56.3	15.8	0.15	0.21	0.18
병천A06	1,655.4	430.2	481.0	336.1	176.9	0.20	0.41	0.37
병천A07	16.0	5.0	2.0	-	-	-	-	-
총 합계	4,022.2	976.5	1,009.4	939.6	310.5	0.23	0.32	0.30

그러므로 본 연구에서 제시한 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하는 방법은 정확 하면서 간편하게 산정이 가능하며, GIS 공간분석을 통하여 보다 정확히 어느 지점에서 또는 어느 행정구역의 어떤 오염원으로부터 오염물질이 출발하였는지를 파악할 수 있다. 이는 오염 원그룹별로 각각 모듈화하여 계산하였고, GIS를 기반으로 개발하였기 때문에 대상유역이 변경될 경우에 전체변경이 아닌 유역도 변경만으로도 부하량을 재산정할 수 있어 매우 효율적이라고 할 수 있다.

제6장 결론 및 제언

1. 요약 및 결론

본 연구에서는 현행 '수계오염총량관리기술지침'의 부하량 산정 및 배분방법의 문제점을 도출하고, GIS 속성 및 공간정보를 활용하여 유역으로부터의 오염원 분포를 고려한 비강우시 배출부하량 산정 및 배분에의 개선방안을 제시하였다. 이를 위하여 병천천수계를 연구대상유역으로 선정하여 각종 유역환경 자료 및 오염원 자료, GIS 속성 및 공간자료를 구축하였으며, 이를 활용하여 비강우시의 유역별 배출부하량을 산정하였고, 배분방법을 제시하였다. 개선된 방법은 향후 수질오염총량관리제도의 배출부하량 산정 및 허용부하량 산정시 활용 가능할 것으로 판단되며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하기 위하여 비강우시를 기준으로 오염원그룹별로 배출부하량을 배분하였고, 그 결과를 하나의 주제도로 합산하여 최종적인 배출부하량 분포지도를 완성하였으며, 이를 필요에 따라 단위유역, 소유역 등의 주제도를 이용하여 유역단위의 배출부하량 산정에 활용하였다.
2. GIS를 이용한 비강우시 배출부하량은 소유역별 점오염원의 배출특성을 잘 나타내고 있으므로, 이를 이용하여 유역특성을 고려한 점오염원의 삭감대책 마련이 가능하다고 판단된다. 따라서 유역별 배출부하량이 비교적 정확하게 정량적인 산정이 가능한 비강우시기를 기준으로 배출부하량, 허용부하량, 삭감부하량을 산정하여 계획을 수립하고, 단계적으로 점오염원의 삭감방안이 없는 유역의 경우를 우선적으로 비점오염원을 포함하

여 계획을 수립하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 또한 비점오염원의 시간별, 공간별 배출 부하량의 정량적인 산정이 가능한 시점에 비점배출부하량을 포함하는 방안도 고려해 볼 수 있을 것이다.

3. GIS를 이용한 단위면적당 BOD_5 배출부하량을 소유역별로 비교해보면, 비강우시의 경우 병천A06 소유역이 $6.7\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{일}$ 로 가장 높은 것으로 나타났고, 병천A01 소유역은 $1.2\text{kg}/\text{km}^2 \cdot \text{일}$ 로 가장 낮게 나타났다. 따라서 병천A06 소유역의 경우 비교적 점오염원이 밀집한 유역임을 간접적으로 알 수 있다.
4. GIS를 이용하여 소유역별 배출부하량을 산정한 결과를 오염원그룹별로 살펴보면, 비강우시의 경우 생활계가 58.0%로 가장 많은 비율을 차지하였다.
5. 단순면적비를 적용하여 배출부하량을 산정했을 경우와 GIS를 이용하여 배출부하량을 산정했을 경우를 비교해보면, 총 BOD_5 배출부하량이 GIS를 이용했을 경우 더 크게 나타났다. 두 방법에 의한 총 배출부하량 값의 차이는 $107.3\text{kg}/\text{일}$ 로 나타났다. $9,500\text{m}^3/\text{일}$ 용량의 천안병천공공하수처리시설의 삭감량이 $77.6\text{kg}/\text{일}$ 임을 감안하면 이 숫자는 매우 큰 오차를 의미한다. 이처럼 배출부하량의 유역별 배분이 잘못되었을 경우 유역별 허용부하량이 적절히 산정될 수 없으며, 이는 유역별 삭감목표량 산정 및 삭감계획 수립에 영향을 미칠 수 있다. 향후 보다 정확한 오염원 자료가 조사되고 DB관련 시스템이 구축될 경우 좀 더 정확한 유역별 배출부하량을 산정할 수 있을 것이라고 판단된다.
6. GIS를 이용하여 산정한 배출부하량과 단순면적비를 적용하여 산정한 총 배출부하량의 편차는 3.3%로 나타났으나, 소유역별로는 4.2%~150.0%까지 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 실제 병천A07 소유역의 경우 토지계 오염원 이외에 별도의 오염원이 존재하지 않으므로 점오염원의 배출부하 특성을 반영하는 비강우시에 큰 오차를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하면 오염원 위치 특성이 매우 잘 반영되고, 결과 값이 현실에 가깝게 개선되는 것으로는 것으로 판단된다.

7. GIS를 이용한 비강우시 배출부하량과 BOD₅ 수질농도, 유량, 유달부하량과의 각각의 상관관계를 살펴보면 배출부하량과 유달부하량과의 상관관계가 가장 높은 것으로 나타났으며, 회귀식의 결정계수(R^2)는 0.81로 신뢰할 만한 수준인 것으로 나타났다. 이처럼 GIS를 이용하여 산정한 유역별 배출부하량 값의 정확성과 신뢰도는 매우 높은 것으로 판단된다. 따라서, 유역별 배출부하량의 보다 정확한 산정을 위해서 GIS를 이용한 배분, 합산 방식은 매우 유용한 것으로 나타났다. 이처럼 본 연구에서 제시한 GIS를 이용하여 유역별 배출부하량을 산정하는 방법은 정확하면서 간편하게 산정이 가능하며, GIS 공간분석을 통하여 보다 정확히 어느 지점에서 또는 어느 행정구역의 어떤 오염원으로부터 오염물질이 출발하였는지를 알 수 있다. 산정방법은 오염원그룹별로 각각 모듈화하여 계산하였고, GIS를 기반으로 개발하였기 때문에 대상유역이 변경될 경우에 전체변경이 아닌 유역도 변경만으로도 부하량을 재산정할 수 있어 매우 효율적이라고 할 수 있다.

2. 정책제언

1. 본 연구에서는 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 환경기초시설, 토지계 등에 대한 지번도와 연계한 오염원의 위치를 기반으로 비강우시의 배출부하량을 산정 및 배분하였다. 그러나 생활계의 경우 지번도에 기반한 정확한 위치를 통해 산정한 것이 아니므로 향후 지번의 인구통계조사, 물사용량 등의 정보가 추가된다면 다른 오염원과 마찬가지로 지번단위의 부하량 산정이 가능할 것으로 판단된다.
2. 또한, 기술지침상의 개인하수처리시설의 경우 부하량 원단위는 가정인구 발생부하원단위나 건축물용도에 따른 영업장 오수발생 표준농도를 획일적으로 사용하고 있어 현실과 다르게 산정이 되는 문제를 야기하기 때문에 개인하수시설을 처리용량에 따라 그룹화하여 실측 조사를 하고, GIS를 이용한 개인하수시설의 설치지점과 처리용량에 대한 정보 수집을 한다면 보다 현실적인 배출부하량 산정이 가능할 것으로 판단된다.
3. 관거배출부하량 계산부분에 대하여 살펴보면, 수계오염총량관리기술지침에서는 향후

비점오염원의 관리를 대비하여 환경기초시설로 유입되는 생활계, 산업계 등의 관거유입부하량을 일단위로 산정한 결과와 환경기초시설의 일단위 운영자료인 관거이송부하량과의 비율을 산정하여 하수관거 등의 이송경로에서의 누출을 계산하도록 하고 있다. 그러나 강우를 고려하여 하수관거에서의 월류를 고려한 물수지를 계산하는 것은 매우 불확실하므로 계산방법을 SWMM 등의 모델을 이용한 산정방법으로 개선하는 것이 필요하다고 판단된다. 이미 이에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으므로 향후 도입여부를 고려해 볼 수 있을 것이며, 관거배출부하량의 산정방법에 대한 개선 및 추가연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

4. 현 기술지침은 비점오염원의 부하량 산정시 원단위법을 적용함에 따라 시간적 변화와 공간적인 유역의 특성변화를 전혀 고려하고 있지 못하기 때문에, 비점오염원에 대한 부하량 산정의 불확실성을 야기할 수 있다. 또한, 기준유량과 비점부하의 배출특성과의 연계성에 대한 연구자료의 부족 등으로 인해 비점오염부하 삭감량 추정 및 처리효율에 대한 불확실성 등의 문제가 계속적으로 발생할 수 있다. 따라서 비점오염 관련 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 향후 GIS를 이용한 지속적인 자료수집을 통하여 시간적 해석이 가능한 유역모델을 도입하는 방안을 고려해 볼 수 있고, 이를 현 기술지침과 연계하는 방안에 관한 연구가 이루어져야 한다고 판단된다.

5. 우리나라는 현재 진행되고 있는 업종별 배출허용기준의 설정 및 배출허가갱신체제가 정착되기 이전까지는 미국의 NPDES와 유사한 형태로 총량관리제를 통합적 점오염원관리체제로 운영하고, 이 기간 동안 비점오염원 관리제도의 정비 및 현실적으로 적용 가능한 관리기술을 개발하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 이와 더불어 향후 GIS를 이용한 지속적인 자료수집을 통하여 시간적 해석이 가능한 유역모델을 도입하는 방안을 모색해 볼 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 국립환경과학원, 수계오염총량관리기술지침, 2007
2. 환경부, 금강수계오염총량관리기본방침, 2007
3. 환경부, 금강수계물관리및주민지원등에관한법률, 2007
4. 환경부, 오염총량관리제도 해설, 2003
5. 환경부, 수질오염총량관리 업무편람, 2004
6. 국립환경과학원, 개발과 보전을 함께하는 선진 “수질오염총량관리제도”, 2006
7. 천안시, 천안시오염총량관리시행계획, 2007
8. 천안시, 천안시오염총량관리시행계획 2006이행평가, 2007
9. 이상진 · 오혜정 · 이은형, 충청남도 삽교호수계의 수질총량관리제 시행방안 연구, 2005
10. 심재민, GIS를 이용한 하천오염부하량 산정시스템 개발에 관한 연구, 2004
11. 김계현, GIS 기반의 도시오염부하산정시스템 구축에 관한 연구, 2003
12. 김재훈, 관거월류수 영향과 시간단위 변화를 고려한 분포형 유역모형 개선으로 도시비점오염 특성 분석, 서울대학교 박사학위논문, 2006
13. 송동하, 일일오염부하량 예측을 위한 분포형 유역 모형 개발, 서울대학교 박사학위논문, 1998
14. 이은형, 오염총량관리제 지원을 위한 수질모델링 기법의 개발, 충남대학교 환경공학과 박사학위논문, p.144-158, 2002
15. 김종원 · 최영국 · 이종열, 하천유역별 오염총량관리제도의 도입에 따른 지역경제 및 토지이용변화 전망과 정책과제, 국토연구원, 2004
16. U.S.GS, 2005, Water Resources and the Urban Environment, Lower Charles River Watershed, Massachusetts
17. U.S.EPA, Guidance for Water Quality-Based Decisions : The TMDL Process, Appendix D, (<http://www.epa.gov/OWOW/tmdl/decisions>)

18. U.S.EPA, 2005, Clean Charles 2005 Water Quality Report
19. 국립환경과학원, 수질오염총량관리제도의 외국사례(미국), 2005.
20. 국립환경과학원, 수질총량관리 외국제도 소개, 2005.
21. 국립환경과학원, 수질총량관리센터
(<http://www.nier.go.kr/nierdepart/wmr/m1/menu01.html#b>), 2004
22. 이병국, 미국 TMDL 소개, 한국수자원학회지 제38권 제3호 통권 제146호, 2005.
23. 천승규, 금강수계 오염총량관리제 시행방안 연구, 2001
24. 윤 성규, "21세기를 향한 한국의 물관리 정책방향", Proceedings of International Seminar on Integrated Watershed Management Toward 21st Century, 2001
25. 김 계현, GIS개론, 대영사, 1998
26. Tim, U.S. and R. Jolly, , "Evaluating Agricultural Nonpoint source Pollution Using Integrated Geographic Information System and Hydrologic/Water Quality Model", Journal of Environmental Quality, Vol. 23, p.25-35, 1994
27. Novotny and Olem, Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, 1994
28. Novotny, V., "Delivery of Suspended Sediment and Pollutants from Nonpoint Source suring Overland Flow", Water Respurce Bulletin, Vol. 16, No. 6, p.1057-1065, 1980
29. 최의소 · 조광명, 환경공학, 청문각, 1991
30. 서동일, 금강유역 하천 수질 보전을 위한 수질 조사, 1999
31. Anderson J.R., E.E.Hardy,J.L. Roach, and R.E. Witmer. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remort Sensor Data. U.S. Geological Survey, Professional Paper, Reston, Virginia, 1976
32. EPA, Basin 4.0 description, 2008
33. 박연희 · 박석순, 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염부하량 산정함수 연구, 대한환경 공학회지, p.1070-1078, 2004
34. EPA, Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source Ver.2.0, 1998
35. J. Kittle, Jr., M. Gray, P. Duda, R. Dusenbury, A Tool for the Generation and Analysis of Model Simulation Scenarios for Watersheds(GenScn), 2001

36. 환경부 · 한국토지공사, 주택단지 내 상수 · 오수발생량 원단위 산정 및 하수처리시설 소요비용 연구, 2001
37. 최현상, GIS와 연계한 추계학적 하천수질 분석, 경북대학교 토목공학과 석사학위논문, 1997
38. 김계현, "GIS를 활용한 수질오염 관리", 한국수자원학회지, 제31권 제1호, 1998
39. 백창현, GIS를 이용한 대청호의 수질관리시스템 구축, 경북대학교 토목공학과 석사학위논문, 1999
40. 허인량 · 이건호 · 최지용 · 정의호 · 이용석, "한강상류 유역 수질보전에 관한 연구(II)", 한국물환경학회지, 제15권 제3호, p.305-314, 1999.
41. 이현동 · 안재환 · 김운지 · 배철호, "강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정", 한국물환경학회지, 제17권 제3호, p.313-326, 2001
42. 환경부, 소수계 수질관리 정보 시스템 개발(총량 규제 정책지원시스템 수립), G7최종보고서, 2002
43. 김영일 · 이상진, 수질오염총량관리 계획수립의 개선방안에 관한 연구, 한국물환경학회지, 제22권 제6호, 2006.11
44. 정재운 외 9명, 논으로부터 배출되는 영양물질 오염부하량 원단위 산정방법 개선방안 검토, 한국물환경학회지, 제24권 제3호, p.291-296, 2008.5
45. 정은성 외 3명, 하천유지유량을 이용한 일최대 오염허용부하량 산정방안, 한국물환경학회지, 제24권 제3호, p.317-327, 2008.5
46. 배명순 · 하성룡, GIS를 이용한 수계단위 오염원정보 구축, 한국물환경학회지, 제24권 제3호, p.136-141, 2006.4
47. 심재민, GIS를 이용한 하천오염부하량 산정 시스템 개발에 관한 연구, 강원대 정보과학 석사학위논문, 2004
48. 함광준 · 김준현 · 심재민, GIS를 이용한 유역별 오염부하량 산정시스템의 개발, 환경영향평가학회지, 제14권 제3호, p.97-107, 2005
49. 김갑수 · 이종태, 중랑천 비점오염원 부하량 및 원단위 산정, 대한환경공학회지, 28권 8호, p.813-819, 2006.8
50. 서동일 · 김종성 · 유경미, 토지피복지도를 이용한 비점오염물질 부하량 산정을 위한

- SWAT 모형의 적용, 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, p.423-428, 2005
51. 한기봉 외 13, 축산계 오염물질 배출원단위 조사 및 축산자원화물의 배출특성 조사, p.361-370, 2007
 52. 최중대 외 9명, 비점오염원의 오염부하 유출량 조사, p.371-379, 2007
 53. 김태근 외 7명, 비점오염모델링 기술을 이용한 유역 오염물질 배출해석, p.155-167, 2007
 54. 서규태 외 7명, 도시노면 및 공업지역으로부터의 오염물질 배출특성 조사, p.393-407, 2007
 55. 이승환 외 10명, 산업계 오염원 발생원단위 및 배출특성조사에 관한 연구, p.419-427, 2007
 56. 이규승 외 11명, 밭 및 임야로부터의 오염물질 배출특성조사, p.469-478, 2007
 57. 윤광식 외 5명, 논으로부터 배출되는 오염부하 특성조사 및 오염부하 산정범용식 개발, p.507-516, 2007
 58. 이창희, 기술적 한계를 고려한 팔당호 상류유역에서의 단계적 수질오염총량관리제 시행 방안, 경기논단, 2007
 59. Kiesser. M. S., Moving beyond the bells whistles: Implementation plan formulation for a Kalamazoo River/Lake Allegan phosphorus TMDL, in National TMDL Science and Policy 2002
 60. 신동석 외 7명, 비점오염부하량 평가기법 연구(1), 국립환경과학원, 2006
 61. 백대희, · 하성룡, 유역오염원 수질거동해석을 위한 GIS 기반 정보시스템 개발, 한국지리 정보학회지 9권 4호, p.34-44, 2006
 62. 김경탁 · 이홍래 · 김동구, 하천정보의 관리와 활용을 위한 지리정보시스템 개발, 한국수 자원학회논문집, 33(1), p.961-966, 2000
 63. 김경탁 · 최윤석 · 박동선 · 이정일, Network 컴포넌트 구현을 통한 수자원시스템 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 2003 학술발표회 논문집(2), p.951-954, 2003
 64. 하성룡 · 김주환, 광역상수도 관로노선 및 수도시설의 적지선정 시스템 구축, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, p.605-610, 1996
 65. Leon, L. F., E.D. Soulis, N. Kouwen, G.J. Farquhar., Nonpoint source pollution; a distributed water quality modeling approach, Water research 35, p.997-1007, 2001

66. Kiesser. M. S., Moving beyond the bells whistles: Implementation plan formulation for a Kalamazoo River/Lake Allegan phosphorus TMDL, in National TMDL Science and Policy 2002
67. 이해영 · 박석순, 오염총량관리를 위한 의사결정 지원시스템 적용, 한국물환경학회지, 20(2), p.151-156, 2004
68. Chen, C. W., Herr, J. and Weintraub, L., Decision suport system for stakeholder involvement., Journal of Environmental Engineering, 130(6), p.714-721, 2004
69. Endreny, T. A., Somerlot, C. and Hassett, J. M., Hydrograph sensitivity to estimates of map impervious cover: a WinHSPF BASINS case study, Hydrological process, 17, p.1019-1034, 2003
70. 국토해양부, 국가수자원관리 종합정보시스템, 2007
71. 한국수자원공사, 다목적댐수질조사보고서, 1990
72. 환경부, 한국토지공사, 주택단지 내 상수 · 오수발생량 원단위 산정 및 하수처리시설 소요비용 연구, 2001
73. 한국수자원공사, 용담다목적댐 건설사업 수질보전대책 보고서, 2000
74. 환경처, 수질보전장기 종합계획 수립, 1992
75. 한국수자원공사, 다목적댐 수질예측에 따른 오염저감 최적화방안에 관한 연구(2차), 1992
76. 김정탁 · 이홍래 · 김동구, 하천정보의 관리와 활용을 위한 지리정보시스템 개발, 한국수자원학회논문집, 33(1), p.961-966, 2000
77. 김정탁 · 최윤석 · 박동선 · 이정일, 2003, Network 컴포넌트 구현을 통한 수자원시스템 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 2003 학술발표회 논문집(2), p.951-954
78. 하성룡 · 김주환, 광역상수도 관로노선 및 수도시설의 적지선정 시스템 구축, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, p.605-610, 1996
79. Leon, L. F., E.D. Soulis, N. Kouwen, G.J. Farquhar. 2001. Nonpoint source pollution; a distriduted water quality modeling approach. Water research 35:p.997-1007

■ 집 필 및 자 문 ■

연구책임 : 충남발전연구원 환경생태연구팀 오혜정 책임연구원

공동연구 : (주)E&WIS 송동하 대표

(주)E&WIS 김재훈 박사

연구자문 : KAIST 건설 및 환경공학과 신항식 교수

대전발전연구원 자치정책연구부 정환도 박사

대전대학교 환경공학과 배병욱 교수

중부대학교 도시행정학과 최정석 교수

기본연구 2008-20 · GIS를 이용한 유역별 수질오염물질 배출부하량 배분방법 사례연구

글쓴이 · 오혜정, 송동하, 김재훈 / 발행자 · 김용웅 / 발행처 · 충남발전연구원

인쇄 · 2008년 12월 31일 / 발행 · 2008년 12월 31일

주소 · 충청남도 공주시 금홍동 101 (314-140)

전화 · 041-840-1204(직통) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1129

ISBN · 978-89-6124-061-1 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.