발 간 등 록 번 호
74-6440071-000011-01

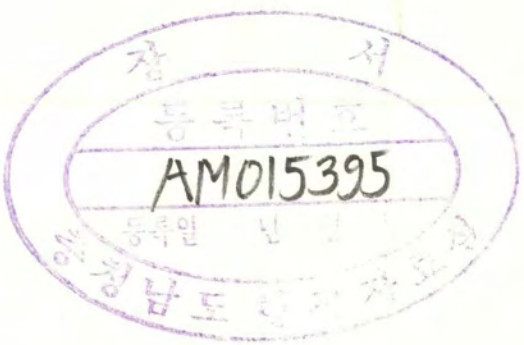


QUAL2E 模型을 利用한 小河川 管理方案 硏究

2005

충남도청행정자료실
AM015395

忠淸南道保健環境硏究院


자 료
등록번호
AM015395

발 간 등 록 번 호
74-6440071-000011-01

QUAL2E 模型을 利用한 小河川 管理方案 硏究

2005

忠淸南道保健環境硏究院

참 여 연 구 진

연구책임자	환경조사과장	노 현 웅
연 구 진	환경연구사	고 장 석
	환경연구사	김 광 진
	환경연구사	이 창 균
	환경연구사	신 인 철
	환경연구사	김 중 운
	환경연구사	백 남 출
	환경연구사	송 해 종

발 간 등 록 번 호
74-6440071-000011-01

QUAL2E 모형을 이용한 소하천 관리방안 연구

A study on the Optimum Control and Management of the regional streams using the QUAL2E Model

2005년

충청남도보건환경연구원

머 리 글

인류의 역사는 물을 다스리고 이용하는 응전의 과정을 거치면서 발전하여 왔다. 우리지역 금강도 충청전역 주민의 먹는물 수원으로의 이용은 물론, 경제, 문화 그리고 정서가 깃들어진 남한의 3대 하천 중 하나이다.

하지만, 물 이용에 의한 인구의 도시집중화, 공장가동 등으로 수질오염이 발생되어 수자원 이용가치가 떨어지는 수역이 존재하기도 한다.

물오염은 생태계 파괴뿐만 아니라 인간에게 경제적 손실과 건강피해로 이어지기 때문에 환경기준 이내로 정화시켜 하류지역으로 보내는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 일정 하천유역의 수질개선과 보호를 위해서 수질오염원과 부하량을 파악하고 수질모델링 기법을 적용하여 수질목표 설정을 위한 삭감부하량 및 자정능력 향상 방안 등 수질관리 방법을 제시하는데 목적을 두고 있다.

앞으로 이 논문이 수자원 관리에 널리 이용되어 맑은 하천 가꾸기 정책에 도움이 되길 기대한다. 아울러 본 연구사업을 추진함에 있어 각종 자료제공 등에 도움을 주신 공주시 환경보호과 직원 여러분께 감사를 드리며 채수과정 등 실험에 참여해 준 환경조사과 직원 여러분과 그리고 자료수집, 논문작성에 정성을 다한 고장석, 강현각 연구사에게 감사의 마음을 전한다.

2005년 1월

충청남도보건환경연구원장 유 갑 봉

논 문 요 약

제 1 장 서론

1. 연구목적 및 배경

하천이란 경제성장과 인구의 도시집중 및 생활수준의 향상으로 인하여 물에 대한 수요가 급증하여 사람의 생존과 경제활동에 필요한 물을 공급해 주는 것 외에도 아름다운 경관을 창출하며 자연환경으로서 쾌적함을 가져다주는 무한한 가치를 지니고 있다.

우리 나라의 물 관리 여건은 좁은 국토에 많은 인구가 거주하여 물 부족 뿐 아니라 환경용량도 작아 수질오염에 취약하며 하천은 하절기 집중적 강우의 영향으로 인해 유역으로부터의 급격한 유량증가는 물론 수질변화와 비점오염원으로부터 각종 인과 질소 같은 영양염류의 유입 가능성이 다양하다.

유역으로부터 배출되는 오염물질의 하천 및 상수원 유입을 제어하기 위한 공학적 기법 개발의 한 단계로 오염물질 배출부하량 산정 및 공간적 유출과정을 해석하는 방법과 목표수질 달성을 위한 유역별 오염물질 삭감방안을 선형기여율 해석에 의해 제시하고 2005년 8월부터 단계적으로 시행예정인 오염총량관리 계획수립의 기초자료로 활용함은 물론 지속적이고 건천성이 상시 유지되는 소하천의 수환경 관리방안을 찾고자 하였다.

2. 연구내용 및 범위

충청남도 공주시에 위치한 Ⅰ등급 환경기준설정 하천인 유구천을 대상으로 본류와 유입지천 등에 대해 수질의 변화와 강수량에 따른 이화학적 수질 특성 및 유량을 파악하고 QUAL2E 모델을 이용하여 수질예측을 실시하였다. 아울러 하천의 수질개선을 위한 적정방안을 모색하였으며 유구천의 수질오염도와 강수량에 따른 하천 유량의 변화가 하천의 수질 변화에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하고자 하였다.

제 2 장 연구동향

1. 오염총량관리제

수질오염물질총량관리제도는 하천의 용수목적, 생태계보전등에 맞는 목표수질기준을 설정하고 해당 하천수계의 유역에서 배출되는 오염부하 총량이 설정된 수질기준을 달성할 수 있도록 오염부하량을 허용량이하가 되도록 관리하는 제도이며 시행방법에 있어서 한강수계는 팔당호 상류유역 지방자치단체가 총량관리제의 실시여부를 임의 결정·시행하는 임

의적인 제도인데 반하여 금강수계와 낙동강수계는 의무적인 오염총량관리제이다.

이에 따라 금강수계에 위치한 광역자치단체는 2004년 8월까지 환경부장관의 승인을 받아 전 지역에 대한 오염총량관리기본계획 수립을 완료하여야 하며, 지방자치단체별 시행시기는 다소간의 차이가 있으나, 광역자치단체에서 수립한 기본계획에 따라 시행계획의 수립과정을 거쳐 2005년 8월부터 점진적으로 시행하여 2008년 8월부터는 금강수계내에 위치한 모든 기초자치단체는 오염총량관리제를 시행하도록 의무화하고 있다.

2. 수리·수문 및 수질예측 모델

물질수지 모델은 시스템중의 요소가 어떠한 역할을 하며 상호간에 어떠한 역할을 하고 있는 가를 파악하는 기능모델의 한 부류에 해당하는데 수량은 물론 물질의 질적변화와 경로에 따르는 수지를 통해 시스템의 기능을 파악하는 것이 모델이라고 할 수 있다.

유역으로부터의 오염물질 발생량과 수계의 수질 모의를 위해서는 해당지역의 특성을 반영할 수 있는 적합한 모델의 선택이 중요하며, 이를 위해서는 우선 모의를 수행하고자 하는 수체의 형태(하천, 하구, 호소)와 관리 대상물질의 종류 등이 결정되어야 한다.

모델은 분석의 복잡도에 따라 단순한 계산 모형, steady-state, quasi-dynamic, dynamic모델로 구분할 수 있으며, 이에 따라 요구되는 입력자료의 종류가 정해진다. 따라서 모델을 이용하여 수질상태를 파악하고자 할 때 분석의 수준에 따라 적합한 수준의 모델이 선택되어야 한다. 여기서는 수리·수문 및 수질과 비점오염원 등의 모델관계를 살펴보았다.

제3장 유구천유역 오염원 현황

1. 오염부하량 현황

오염원에 의한 발생부하 유량은 생활계에서 71.2%, 산업계에서 13.0%, 축산계, 환경기초시설, 양식장 순으로 발생되고, 축산계에 의한 발생량이 BOD 87.0%, T-N 75.0%, T-P 92.5%로 가장 높게 조사되었다.

배출부하량은 생활계의 최종배출 유량의 94.3%가 개별배출로 아직 오·하수 처리시설이 턱없이 부족한 실정으로 BOD 87.7%, T-N 67.1%, T-P 90.3%가 물리·화학·생물학적인 처리과정을 거친 후 유역에 방출되고 있으며, 이후 하천에 도달하는 BOD와 T-N의 유달부하 특성은 강수량과 유량이 풍부한 여름철이 다른 계절에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있었다.

유량과 유달부하량과의 관계는 꼭 일치하지는 않으나 유량의 증·감에 따른 유달부하량의 상관성이 비교적 높게 나타났다.

2. 유량 및 수질오염도 결과

유구천의 수질은 유구취수장까지 비교적 청정상태를 유지하지만 유구의 생활하수 영향으로 수질이 나빠지고 하류로 유하하면서 유량이 풍부한 지천들을 만나면서 조금씩 양호해지나 하류지역 생활계 하수의 유입으로 오염되어 최하류의 연평균 BOD농도 2.4mg/ℓ가 금강에 유입되고 있다.

특히 갈수기인 봄철에 오염도가 높고 유량이 풍부한 여름철에는 오염도가 낮아지며 실시간 수위와 실측 유량자료를 이용하여 구한 수문자료를 보면 동대교에서 평수량 3.331cms, 저수량 2.034cms, 갈수량 1.236cms로 나타났다.

제4장 수질모델링

1. 수질반응 계수

유구천의 수질모형 구축을 위해 실측자료를 이용하여 각 오염물질에 대한 반응계수의 보정 및 검증을 실시한 결과, 국내외 연구결과와 대체로 유사성을 보였으며, 보정 및 검증을 통해 각 오염물질 농도에 대한 모형의 예측능력을 평가한 결과 BOD, T-N, T-P 모두 대체로 예측능력이 높은 것으로 나타났다. 이중 T-P가 조금 예측능력이 떨어졌다.

2. 삭감부하량 및 할당방안

각 구간별로 목표수질 기준을 달성하기 위해서 각각의 오염원에 대해서 적절한 삭감량을 결정하였다.

금강에 유입하는 유구천 최하류의 수질이 2.0mg/ℓ이하를 유지하기 위한 각 지류하천과 본류구간의 수질목표농도를 가정하여 부하량과 삭감율을 산정한 결과, 삭감율이 가장 적은 명곡천 유역 5.0%부터 삭감율이 가장 높은 유구하수가 유입되는 지역이 80.2%까지로 지류하천은 총발생부하량의 28.2%, 본류구간은 27.4%로 총 27.9%의 발생량을 삭감시킬 수 있다면 유구천의 수질은 연중 BOD농도 2.0mg/ℓ 이하의 수질을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 삭감오염부하량 할당 방안

유역의 모든 수역을 대상으로 동시에 삭감부하량을 크게 할당하기란 시간적·경제적으로 한계에 직면할 수밖에 없지만 수역구간별 BOD 목표수질 설정을 위해서는 유역별 오염원 분포현황, 발생부하량, 배출부하량, 유달부하량, 오염물질의 총 삭감률, 그리고 다양한 측면에서 구축된 하천의 수환경 조건에 따라 설정하여야 하는데 각 오염원에 대한 배출부하량

의 삭감량 할당은 각 오염원의 특성에 따라 이루어져야 한다.

유구하수처리장의 건설과 가동으로 유구천 상류의 생활계 오염부하량은 감소할 수 있지만 나머지 지역의 읍면소재지를 경유하는 소하천들은 주민들에 의한 배출부하량이 절대적으로 큰 경우이므로 환경기초시설의 설치로 하수처리율을 높이고 축산계 오염원이 많은 지역은 축산폐수의 처리 등 적절한 배분방법이 있어야 유구천의 수질개선에 도움이 될 것으로 생각된다.

삭감량을 감안한 모의 결과, 유량이 비교적 풍부한 여름철에는 유의성이 떨어지기는 하지만 유구읍의 하수처리장 가동과 기타 면소재지의 오염부하량의 삭감을 조절할 수 있다면 유구천의 수질은 BOD농도 2.0mg/ℓ이하의 수질을 충분히 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

제5장 하천의 수질개선공법

하천수질 개선을 위해 많은 예산과 시간이 필요한 하수관망 및 하수처리장 설치에 앞서서 경제적이고 효과적으로 하천 수질을 개선할 수 있는 자연정화 공법을 소개하고 유구천 수계에 적용성을 검토하였다.

비교적 간단하고 비용이 적게 드는 접촉산화 공법, 넓은 부지가 필요하기 때문에 농촌지역에 식재가능한 수생식물이나 인공습지를 활용하는 방안 그리고 물리적인 정화방법 중 하류의 수질을 개선하는데 상당히 효과적인 정화용수를 도입하는 방법 등을 살펴보았다.

제6장 결론

BOD의 발생부하량 예측치는 비교년도보다 0.1%가 감소하였고 배출부하량은 7.6%가 증가하였다. T-N의 발생부하량은 0.2%가 증가하였고 배출부하량은 7.6%가 감소하였으며, T-P의 발생부하량은 1.3%가 증가하였고 배출부하는 1.4%가 감소된 것으로 나타났다.

따라서 유구읍 하수종말처리장 가동으로 중류지역은 지금보다 수질이 양호해질 것으로 판단되나 하류지역에서는 오염부하량이 BOD 2.0mg/ℓ을 넘고 있으므로 하류지역에 대한 환경기초시설 설치도 적극적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

하수처리율을 높이기 위해서는 부족한 환경기초시설을 보완하여 마을하수처리장을 설치하고 유구천의 수질개선 효과를 향상시키기 위해서 하수도 보급률을 향상시키는 노력이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

이 유역은 별다른 오염원은 없지만 주변의 농경지로부터 오염물질이 유출되기 때문에 수질이 악화될 가능성이 있으며, 비록 각 지천의 오염부하량은 크지 않지만 마을 단위의 소규모 오수처리시설을 건설하여 주변에서 발생하는 오수를 함께 처리하거나 각 지천의

자정능력을 향상시킬 수 있도록 자연정화 공법 및 접촉산화 공법을 적용하는 것이 좋을 것이다.

각 오염원에 대한 배출부하량 삭감량 할당은 각 오염원의 특성에 따라 이루어져야 하며, 축산계와 생활계에 의한 배출부하량이 높기 때문에 높은 비중을 차지하는 오염원 순서로 집중적으로 줄여나가면 효과적일 것이다.

아울러 유구읍 하수처리장 가동이후 상류유역은 수질개선이 가능하지만 하류 유역의 생활계 오염원에 대해서도 마을단위 소규모 오수처리시설을 설치하거나 자정능력 향상을 위한 자연정화공법을 적용하여 개선할 수도 있을 것이다.

차 례

논문요약

제1장 서 론 ····· 3

1. 연구배경 및 목적 ····· 3
2. 연구의 필요성 ····· 5
3. 연구범위 및 방법 ····· 5
4. 일반현황 ····· 6
   4.1 유역환경의 특성 및 현황 ····· 6
   4.2 수계내 지질학적 특성 ····· 7
   4.3 수계내 기후특성 ····· 7

제2장 연구방향 ····· 11

1. 오염총량관리제 ····· 11
   1.1 오염총량관리제도의 도입배경 ····· 11
   1.2 오염총량관리 기본방침 ····· 12
2. 수리 · 수문 및 수질예측 모델 ····· 16
   2.1 수리 · 수문분야 ····· 17
   2.2 수질분야 ····· 18
   2.3 비점오염 모델 ····· 21
   2.4 GIS와 수질모델의 연계 활용 ····· 23

제3장 유구천유역 오염원 및 수질오염도 ····· 27

1. 대상 및 기간 ····· 27
2. 수질조사 현황 ····· 27
   2.1 수질분석 ····· 27
   2.2 유량 ····· 28
   2.3 유량 및 수질분석 결과 ····· 30
3. 오염원 현황 ····· 37
4. 발생부하량 산정 ····· 41

4.1 발생부하량 산정 ····· 42
5. 배출부하량 산정 ····· 59
5.1 생활계에 의한 배출부하량 산정 ····· 59
5.2 축산계에 의한 배출부하량 ····· 68
5.3 산업계에 의한 배출부하량 ····· 73
5.4 양식장에 의한 배출부하량 산정 ····· 75
5.5 비점오염원에 의한 배출부하량 산정 ····· 76
6. 유달부하량 산정 ····· 79
6.1 유달율 ····· 80
6.2 오염물질 유달부하량 산정 ····· 80
6.3 유량과의 상관성 평가 ····· 86

제4장 수질모델링 ····· 91
1. QUAL2E 모형의 기본원리 ····· 91
1.1 QUAL2E 모형 선택 배경 및 적용 ····· 91
1.2 QUAL2E 모형의 개요 ····· 91
1.3 수질항목의 반응 및 상호관계 ····· 95
2. 모형의 입력자료 ····· 98
2.1. 하천의 구역화 ····· 98
2.2. 수리학적 입력자료 ····· 100
2.3 수질자료 입력 ····· 105
3. 반응계수의 보정 및 검정 ····· 110
3.1 모형의 보정 ····· 110
3.2 모형의 검증 ····· 116
4. 오염물질 삭감부하량 할당 ····· 121
4.1 오염물질 삭감목표량 설정 ····· 122
5. 장래수질예측 ····· 125
5.1 BOD ····· 126
5.2 T-N ····· 128
5.3 T-P ····· 129

제5장 하천의 수질개선 공법 ····· 135
1. 유역관리 실패원인 분석 ····· 135
2. 효과적인 유역 관리계획 수립 요소 ····· 137
3. 하천 수질개선 공법 ····· 138
3.1 하천 자연정화법의 개요 ····· 138
3.2 하천의 자연정화작용 ····· 138
3.3 하천 유형별 정화방안 ····· 139
3.4 오염이 심한 소하천 정화법 ····· 144
4. 자연정화방법의 유구천유역 적용 ····· 147
5. 비점오염원 관리 ····· 148

제6장 결론 ····· 155

참고문헌 ····· 161

부록 ····· 167

표 차례

표 1.4.1 유구천유역 2003.12월~2004.11월 강수량 ····· 8
표 2.1.1 5대강 오염총량관리제도 시행계획 ····· 11
표 2.1.2 오염총량관리제도 수립을 위한 기초자료 ····· 13
표 2.1.3 오염부하량 할당대상 개별배출원 ····· 16
표 3.2.1 수질분석 항목 및 분석방법 ····· 27
표 3.2.3 지류하천들의 계절별 수질오염도 및 유량(1) ····· 33
표 3.2.4 지류하천들의 계절별 수질오염도 및 유량(2) ····· 34
표 3.2.5 본류 지점들의 계절별 수질오염도 및 유량 ····· 36
표 3.2.6 조사대상 수계의 연평균 수질오염도 및 유량 ····· 37
표 3.3.1 Sampling 현황 및 수변구역 ····· 38
표 3.3.2 유구천유역의 인구현황 ····· 39
표 3.3.3 유구천유역의 토지이용 현황 ····· 39
표 3.3.4 유구천유역의 축산 현황 ····· 40
표 3.3.5 유구천 유역내 산업시설 현황 ····· 41
표 3.3.6 유구천유역의 양식장 현황 ····· 41
표 3.4.1 생활계 분뇨발생유량원단위, 분뇨발생유량비 및 잡배수오수전환율 ····· 43
표 3.4.2 유구천유역 생활계에서의 오·폐수 발생유량 ····· 44
표 3.4.3 생활계 가정인구 발생부하 원단위 및 분뇨발생부하비 ····· 45
표 3.4.4 유구천유역 생활계에서의 물사용량 ····· 45
표 3.4.5 생활계 영업장 오수발생 표준농도 ····· 46
표 3.4.6 생활계에서의 오염물질발생부하량 ····· 48
표 3.4.7 축종별 발생유량 원단위 ····· 48
표 3.4.8 축산분뇨 발생부하원단위 ····· 49
표 3.4.9 유구천 유역의 축산에 의한 오·폐수발생유량 및 발생부하량 ····· 49
표 3.4.10 산업시설에서의 물사용량, 폐수발생 및 방류량 ····· 50
표 3.4.11 업종별 산업폐수 표준발생농도 ····· 51
표 3.4.12 산업시설에 의한 발생유량 및 부하량 ····· 54
표 3.4.13 양식장 발생원단위 ····· 54

표 3.4.14 양식장 사료투여량 대비 발생부하비 ····· 55
표 3.4.15 양식장 발생부하 원단위 ····· 55
표 3.4.16 양식장에 의한 발생부하량 ····· 55
표 3.4.17 토지계 지목별 연평균발생부하원단위 ····· 56
표 3.4.18 토지이용에 따른 BOD발생부하량 ····· 56
표 3.4.19 토지이용에 따른 T-N 발생부하량 ····· 57
표 3.4.20 토지이용에 따른 T-P 발생부하량 ····· 57
표 3.4.21 환경기초시설에 유입되는 오염부하량 ····· 58
표 3.5.1 생활계배출원 직접이송대상계수 및 개별삭감대상계수 ····· 61
표 3.5.2 생활계에서의 배출유량 ····· 62
표 3.5.3 생활계 배출원 개별삭감비 ····· 63
표 3.5.4 생활계에서의 BOD배출부하량 ····· 67
표 3.5.5 생활계에서의 T-N 배출부하량 ····· 67
표 3.5.6 생활계에서의 T-P배출부하량 ····· 68
표 3.5.7 축산계 배출원 직접이송대상계수 ····· 70
표 3.5.8 축산폐수배출시설 방류수 수질기준 ····· 70
표 3.5.9 축산폐수처리, 자원화 및 농지유출비 ····· 71
표 3.5.10 축산계배출원에서의 직접이송부하량과 개별삭감부하량 ····· 71
표 3.5.11 축산계배출원에서의 배출원배출유량 ····· 72
표 3.5.12 축산에서의 오염물질배출부하량 ····· 73
표 3.5.13 폐수배출허용기준농도 ····· 74
표 3.5.14 산업계에서의 오염배출원개별배출량 ····· 75
표 3.5.15 토양계에서의 BOD 배출부하량 ····· 78
표 3.5.16 토양계에서의 T-N 배출부하량 ····· 78
표 3.5.17 토양계에서의 T-P 배출부하량 ····· 78
표 3.5.18 환경기초시설에서의 관거이송부하량 및 방류부하량 ····· 79
표 3.6.1 겨울철(12월~2월) 유달부하량 및 유달율(1) ····· 81
표 3.6.2 봄철(3월~5월) 유달부하량 및 유달율(2) ····· 82
표 3.6.3 여름철(6월~8월) 유달부하량 및 유달율(3) ····· 84
표 3.6.4 가을철(9월~11월) 유달부하량 및 유달율(4) ····· 85

표 3.6.5 연평균 유달부하량 및 부하율(5) ····· 86
표 4.1.1 주요 수질 모형의 개략적 특성 ····· 92
표 4.1.2 QUAL2E 모형의 제한사항 ····· 92
표 4.2.1 각 구간별 유량계수 ····· 103
표 4.2.2 수계별 종확산계수 범위 ····· 104
표 4.2.3 하천 및 수로의 조도계수의 범위 ····· 104
표 4.2.4 다양한 개수로 하상에 대한 Manning 조도계수 ····· 105
표 4.2.5 자정계수(Reaeration coefficient) f의 값 ····· 106
표 4.2.6 각 수질 인자간의 상호작용 ····· 107
표 4.2.7 수종별 탈산소계수 ····· 108
표 4.2.8 유기물 감소속도정수의 산정 예 ····· 109
표 4.2.9 하천 바닥의 평균 산소소모율 ····· 110
표 4.3.1 QUAL2E Model식에 사용된 반응상수의 보정값 ····· 111
표 4.3.2 보정 및 검정결과의 상관성 ····· 113
표 4.3.3 보정 및 검증된 반응계수의 RI 값 ····· 121
표 4.4.1 오염물질 총 삭감부하량 및 삭감율 ····· 122
표 4.4.2 유구천 유역 BOD의 목표수질 및 삭감목표량 ····· 123
표 4.5.1 2010년도 예측 BOD 발생 및 배출부하량(2010년도) ····· 126
표 4.5.2 각 하천유역별 예측 T-N 발생 및 배출부하량(2010년도) ····· 128
표 4.5.3 각 하천유역별 예측 T-P 발생 및 배출부하량(2010년도) ····· 129
표 4.5.4 2002년 대비 2010년 오염물질 증감율 ····· 130
표 4.5.5 오염부하량변화에 따른 예측수질오염농도(2010년) ····· 131
표 5.3.1 원리에 따른 하천 자연정화 방법 ····· 140
표 5.3.2 하천 유지 유량의 확보 방법 ····· 141
표 5.3.3 수중 폭기법의 장 · 단점 ····· 142
표 5.3.4 보 또는 침전지법의 장 · 단점 ····· 143
표 5.3.5 식물을 이용한 자연정화법의 종류 ····· 146
표 5.3.6 산화지법의 장 · 단점 ····· 147
표 5.3.7 자연정화공법의 비교 ····· 147
표 5.5.1 초기우수처리시설별 비교 · 검토 ····· 150

그림 차례

그림 1.4.1 유구천유역 2004년 월별 강우량(2003. 12월~2004. 1월) ····· 8
그림 3.2.1 유구천 유역의 조사지점 위치도 ····· 28
그림 3.2.2 유속-면적법에 의한 유량측정 방법 ····· 29
그림 3.2.3 유구천 동재교지점에서의 수위-유량 곡선 ····· 30
그림 3.2.4 유구천의 유황곡선 ····· 31
그림 3.2.5 유구천 수계 본류 및 각 지천의 BOD 오염도 비교(연평균) ····· 32
그림 3.2.6 유구천 수계 본류 및 각 지천의 T-N 오염도 비교(연평균) ····· 32
그림 3.2.7 유구천 수계 본류 및 각 지천의 T-P 오염도 비교(연평균) ····· 32
그림 3.2.8 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 BOD 오염도변화 ····· 35
그림 3.2.9 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 T-N 오염도변화 ····· 35
그림 3.2.10 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 T-P 오염도변화 ····· 35
그림 3.4.1 오염원별 발생유량 및 오염물질 발생부하량 ····· 42
그림 3.4.2 토지이용에 따른 오염물질 발생부하량 ····· 58
그림 3.5.1 구역별 및 오염원별 배출유량 및 오염부하량 ····· 59
그림 3.5.2 생활계 오염물질 배출구조 ····· 60
그림 3.5.3 축산계 오염물질의 배출경로 ····· 69
그림 3.5.4 산업계 오염물질의 배출경로 ····· 74
그림 3.5.5 양식계 오염물질 배출구조 ····· 76
그림 3.5.6 토지계 오염물질 배출구조 ····· 77
그림 3.6.1 유하거리에 따른 BOD 유달부하량 ····· 81
그림 3.6.2 유하거리에 따른 T-N 유달부하량 ····· 83
그림 3.6.3 유하거리에 따른 T-P 유달부하량 ····· 85
그림 3.6.4 계절별 유량과 BOD유달부하량과의 상관성 ····· 87
그림 3.6.5 계절별 유량과 T-N유달부하량과의 상관성 ····· 87
그림 3.6.6 계절별 유량과 T-P유달부하량과의 상관성 ····· 88
그림 4.1.1 하천의 수질모델링에 대한 물질수지 관계 ····· 93
그림 4.1.2 QUAL2E모형 오염물질 상호간의 반응관계 ····· 95
그림 4.2.1 유구천유역 수질모델링도 ····· 99

그림 4.2.2 유구천유역의 계절별 평균유속-유량간 상관성 ····· 102
그림 4.2.3 유구천유역의 계절별 평균수심-유량간 상관성 ····· 102
그림 4.3.1 보정시 계절별 BOD의 모의치와 실측치의 비교 ····· 112
그림 4.3.2 보정시 계절별 T-N의 모의치와 실측치의 비교 ····· 114
그림 4.3.3 보정시 계절별 T-P의 모의치와 실측치의 비교 ····· 115
그림 4.3.4 검증시 계절별 BOD의 모의치와 실측치의 비교 ····· 117
그림 4.3.5 검증시 계절별 T-N의 모의치와 실측치의 비교 ····· 118
그림 4.3.6 검증시 계절별 T-P의 모의치와 실측치의 비교 ····· 119
그림 4.3.7 갈수기, 풍수기, 평수기의 유구천 유량의 모의치와 실측치의 비교 ····· 120
그림 4.4.1 예측기준설정농도에 예측모의치와 실측치의 비교 ····· 124
그림 4.5.1 2010년도 오염부하량변화에 따른 BOD모의농도 ····· 127

제1장 서 론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구의 필요성
3. 연구범위 및 방법
4. 일반현황

제1장 서 론

1. 연구배경 및 목적

수자원의 오염은 자연수역의 수질이 인간생활 및 산업활동 등에 의해서 하천수계유역에 배출된 폐·하수 및 분뇨 등의 영향으로 화학적·물리적·생물학적으로 변화함에 따라 그 사용에 있어서 지장을 초래하는 현상을 말한다.

물은 자연계에서 기초생산자인 녹색식물의 광합성에서부터 모든 동·식물 및 미생물의 생존을 위해서 필수적이며, 인간은 생존을 위하여 물을 사용할 뿐만 아니라 생산 및 여가활동 등에 절대적인 요소이다. 인간을 포함한 모든 동·식물 및 미생물의 생존을 위한 필수재임에도 불구하고, 우리의 일상생활에서 물의 가치를 인식하지 못하고 살아온 것이 사실이다. 특히 하천은 최근의 경제성장, 인구의 도시집중, 그리고 생활수준의 향상으로 인하여 물에 대한 수요가 급증하여 사람의 생존과 경제활동에 필요한 물을 공급해 주는 것 외에도 아름다운 경관을 창출하며 가장 가까이에서 접할 수 있는 자연환경으로서 사람들에게 쾌적함을 가져다주는 무한한 가치를 지니고 있기에 정부차원에서 수자원의 적극적이고 효율적인 관리가 필요하다.

우리나라의 물관리 현황을 살펴볼 때 수문·지리적인 특성상 시간과 공간적으로 불균형이 심화되고 있는 실정이므로 한정된 수자원을 보다 효과적으로 이용하기 위하여 물의 합리적인 개발, 이용과 배분을 위한 수리·수문 정책에 치중해야 한다. 또한 각종 자료는 치수(治水)위주에서 크게 벗어나지 못하고 수환경자료의 신뢰성 및 자료 상호간에도 연관성이 부족하여 유역중심별 수환경의 계획과 관리가 어려운 실정이다.

우리 나라의 물 관리 여건은 악조건으로 좁은 국토에 많은 인구가 거주하여 물 부족 뿐 아니라 환경용량도 작아 수질오염에 취약하다. 수자원은 하천을 중심으로 개발되고 있는데 하천의 짧은 유로연장과 유역면적의 협소, 급한 경사는 수자원 확보에 상당한 어려움을 주고 있다. 특히, 산지와 구릉, 노출된 암석이 많은 하천유역의 특성과 6~9월에 편중된 강수량으로 연간 유출량의 2/3이상이 바다로 유출되어 효과적인 수자원이 이용과 관리가 어렵다.

우리 나라 연평균 강수량은 1,274㎜로 세계 평균 973㎜의 1.3배이나 강수량의 2/3가 여름 장마철에 집중되어 이용할 수 있는 물은 매우 제한적이며 평상시 하천 유수량이 적어 하천의 환경용량도 부족한 실정에 있다. 실제적으로 월별 강수량을 살펴보면 6월에서 9월까지가 900~1,300㎜로 년간 전체의 약 55%이상을 차지한다. 이러한 우리 나라 하천은 하절기 집중적 강우의 영향으로 인해 유역으로부터의 급격한 유량증가 및 수질변화의 역동성이 보고되고 있으며 이 기간동안 비점오염원으로부터 각종 인과 질소 같은 영양염류의 유입 가능성이 다양한 연구를 통해 보고 되어 오고 있다. 따라서 하절기 집중강우동안 역동

적 수질변동의 모니터링에 의한 수질 평가가 시급한 실정에 있다.

또한 금강의 수질개선을 위해서는 무엇보다도 지류하천에 대한 수질개선이 선행되어야 하며, 지류하천의 수질개선이 수반되지 않는 한 금강의 수질개선은 사실상 거의 불가능하다. 따라서 금강에 직접 유달하는 지류하천에 대한 오염물질의 항목별 특성을 조사·연구하고, 더 나아가 수환경적으로 불리한 여건에 직면하고 있는 하천에 대하여 세밀한 조사와 지속적인 연구과정을 통하여 합리적인 수환경 관리대책을 마련하여 시행할 필요가 있다고 본다. 다행히 2002년도부터 금강의 중·하류지역을 함께 고려하는 수변구역제도, 오염총량관리제도, 물이용부담금제도, 상수원지역 주민지원제도 등 금강수계를 전체로 하는 물관리 대책을 뒷받침하기 위하여 『금강수계물관리 및 주민지원등에 관한 법률』이 특별법으로 제정되어 추진되고 있다.

따라서 2005년 8월부터 단계적으로 시행예정인 오염총량관리 계획수립의 기초자료로 활용함은 물론 지속적이고 건천성이 상시 유지되는 소하천의 수환경 관리방안을 찾고자 하였다.

수질오염을 효과적으로 개선하기 위해서는 오염물질의 배출구조와 유출특성의 분석에 적합한 수질관리 모형 등을 이용하여 일정 유역내의 수질오염 상황을 정량적으로 분석하고, 그 분석 결과를 바탕으로 해당 유역에 알맞은 수질오염 개선대책을 마련할 수 있어야 한다.

유역내 오염원의 유출특성을 해석하기 위해서는 대상유역내 오염발생원의 공간적 분포 현황과 오염물질의 공간적 유출경로 그리고 하천정보가 정량적으로 파악되어야 한다. 특히 오염물질에 관한 유출경로의 해석은 지형정보를 효율적으로 운영할 수 있는 기술체계의 도입이 요구되고 있다.

우리나라의 경우 수역의 수질관리를 위한 수질보전계획은 대상유역의 생태학적 및 사회·경제학적, 기술적인 요소가 종합적으로 고려된 가운데 이루어져야 하나 오염부하 발생원으로부터 배출 및 유출경로에 관한 분석에 이르기까지 거의 모든 과정이 과제로 남아 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 유역으로부터 배출되는 오염물질의 하천 및 상수원 유입을 제어하기 위한 공학적 기법개발의 한 단계로써 하천 유역에 있어서 오염물질의 수학적 거동을 토대로 유역으로부터 오염물질 배출부하량 산정 및 공간적 유출과정을 해석하는 방법과 목표수질 달성을 위한 유역별 오염물질 삭감방안을 선형기여율 해석에 의해 제시하는 것이다.

종래의 수질관리는 주로 오염원 등 수치정보를 이용하여 수행하고 있으나 수치정보만으로는 지역의 특성을 파악할 수 없고, 또 개발행위에 따른 유역환경의 변화를 적절히 나타내거나 예측하기가 곤란하다. 한편, 농경유역 등 비점오염원의 발생과 배출구조는 대상지역의 토지이용 특성과 지형 및 수리·수문학적 특성에 따라 매우 큰 차이를 보이고 있다.

따라서 이와같은 오염물질 배출 및 거동의 구체적인 파악은 지역적인 현장조사를 기반으로 추진되어야 하나 농경지 등에서 배출되는 비점오염원에 대한 오염부하 해석은 국내외 연구결과를 토대로 한 오염물질 발생 및 배출원단위를 해당지역 에 그대로 적용하고 있어 실제와 큰 차이가 발생되고 있다.

2. 연구의 필요성

오염총량관리제 시행 방법의 개발 및 제도의 정착을 위해서는 유역관리 및 하천과 호수 등 수체의 수질관리가 우선되어야 하며, 합리적인 수질관리를 위해서는 유역 및 수계에서 물과 오염물질의 순환과정을 바르게 이해하여야 하며 이러한 작업에서는 수질오염모델의 사용이 일반화되어 있다.

우리나라의 경우 하천 및 호소에 대하여 수질모델을 적용한 연구사례가 꾸준하게 증가하고 있으나 모델을 보정하고 검증할 수 있는 자료의 축적과 관리가 부족하고, 모델에 대한 이해의 부족 그리고 이를 적극적으로 활용할 수 있는 인력의 부족 등으로 인하여 수질관리의 초보적인 검증에 국한되는 경우가 많다.

또한 하천의 수질 관리를 위해서는 하천으로 유입되는 오염원의 종류와 부하량을 정확히 파악하고 수질관리 목표에 따라 합리적으로 제어하는 것이 중요하다. 하천으로 유입되는 오염원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분하며 점오염원은 인구와 축산 및 산업시설로부터 배출되는 오염물질로 이들은 대부분 하수종말처리장, 축산분뇨처리시설 및 폐수종말처리장 등의 환경기초시설로 유입되어 처리된 후 배출되므로 오염원 성상과 부하량의 파악이 비교적 쉽고 처리 또한 용이하다.

비점오염에 의한 부하는 강우시 유역전체에서 발생하여 유입되므로 토양 및 지형의 특성, 토지 이용도에 따라 부하량과 오염물질의 종류가 다르므로 오염부하 발생량을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다.

지금까지의 수질정책은 점오염원 처리에 집중되었으므로 총 오염부하량에 대한 점오염원의 비율은 점점 감소하는 추세이며, 전체 오염원의 30%~40%를 차지하는 비점오염원의 제어가 병행되지 않는다면 수질의 개선은 기대하기 어렵다.[1] 따라서 수질개선을 위해서는 비점오염원의 발생량을 정확히 산정하는 방법에 관한 연구가 수행되어야 할 것이며 현재 우리나라에서 주로 사용되는 원단위법은 토지이용형태에 따른 평균적인 오염부하량을 나타내므로 개선의 여지를 안고 있다.

3. 연구범위 및 방법

본 연구는 충청남도 공주시에 위치한 Ⅰ등급 환경기준설정 하천인 유구천을 대상으로 하여 유구천의 본류와 본류에 유입되는 지류하천 등에 대해 수질의 변화와 강수량에 따른

이화학적 수질 특성과 유량을 파악하였으며, 도출된 수질모델링에 적용하였다. 아울러 하천의 수질개선을 위한 적정 방안을 모색하였으며 유구천의 수질오염도와 강수량에 따라 하천 유량의 변화가 하천의 수질 변화에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하고자 하였다.

양질의 수자원을 확보하기 위해서는 오염원 관리방안의 수립과 목표수질 달성을 위한 처리시설 마련, 수질개선 등 체계적인 수질관리와 주변 오염원이 수질에 미치는 영향을 파악하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 대상수역의 수질을 효과적으로 파악하고 수질모델의 적정운영을 위해서는 수변구역의 오염원에 대한 정확한 진단과 장래 수질을 예측할 수 있는 수질모델식이 필요하다.[2),3)]

따라서 하천 수질모델링에 적합한 것으로 알려진 QUAL2E 모델을 이용하여 유역의 흐름특성을 규명하고 모델의 민감도 분석을 통해 입력시 주의해야 할 매개변수를 파악, 선정하여 최적화된 모델식으로써 해당 수역과 금강유역 소하천에 대한 장래 수질예측과 관리방안을 찾고자 하였다.

보정은 모델의 계산치와 실측치가 근사되도록 구역내의 매개변수 및 상수의 값을 시행착오법으로 반복수행하면서 모델식이 유구천수역에 맞는지를 검토하였으며, 유하거리에 따른 수질농도의 변화를 파악코져 하였다.

모형식의 예측치와 실측치의 비교를 위해 각 모형의 적용항목에 대하여 절대오차평균과 상관계수를 사용하였으며, 절대오차평균은 실측치와 예측치간 오차의 크기를 나타내는 지표로서 이를 이용 전체적인 정확도를 알아보고, 상관계수는 경향과 변이를 예측하는 모형식의 정확도를 평가하는 수단으로서 거리별 오염도 예측치의 표현지표로 이용하였다.

따라서 금강으로 유입되는 지류하천인 유구천의 수계특성은 향후 오염총량관리제를 실시하기 위한 오염물질 부하량 할당과 삭감 목표량이나 유달부하량을 정량적으로 파악할 수 있는 기반구축과 개발의 한계를 결정하여 주는데 유용한 자료로 활용되었으면 한다.

4. 일반현황

4.1 유역환경의 특성 및 현황

유구천 유역은 동경 126° 53 ' 12 " ~ 127° 05 ' 53 ", 북위 36° 40 ' 36 " ~ 36° 27 ' 04 "사이에 위치하고 유역의 동단부는 공주시에서 서쪽으로 약 2.5km 거리에 있으며, 유역면적은 286.08km^{2}로 수원은 공주시 유구읍 탑곡리 봉수산(EL. 534.4m)에서 발원하여 남쪽으로 유하하면서 금천이 좌안에서 합류한 후에 계속 남하하고 덕곡천, 명곡천을 차례로 우안으로 유입시키면서 유구읍 소재지를 지나 고현천이 유입된다. 남향으로 계속 흐르는 유구천은 백교천을 우안으로 합류하고 신풍면에서 대룡천과 합수되며, 사곡면에서 마곡천과 합수되어 우성면을 동남진한 후 남향으로 바뀌면서 공주시 우성면 옥성리에서 금강 본류와 합류하는 지방 1급하천으로 길이가 약 45㎞인 환경관리기준 수질 I 등급 관리대상 하천이다[4)].

유구천 전유역에는 높이 60~80cm, 길이 50m정도의 농수로용 보가 18개소 설치되어 있

고 하상은 자갈과 굵은 모래로 이루어져 있으며 수변식생은 빈약하고 수심은 계절별로 큰 변이를 보이나 평균수심은 50cm내외이다.

강수량에 따라 직접적으로 변화하는 수심은 집중호우 전에서 30~40cm이며, 풍수기인 6, 7, 8, 9월의 수심은 70~80cm의 범위를 나타낸다. 하천 폭은 평수기에는 15~30m의 범위였으나 풍수기에는 40~50m로 약 2배정도 넓어진다.

4.2 수계내 지질학적 특성

유구천은 차령산맥과 노령산맥 사이에 위치하는 지역으로서 우리나라 전반적인 지세로 보면 비교적 저평한 지대에 흐르는 하천이다. 그러나 금강 북부의 일부지역과 남부 중앙 논산지역과의 접경지대를 제외하고는 평야가 거의 없는 실정이다.

유구천 수계의 주변 지형은 첫째, 계룡산(EL.827m)을 최고봉으로 남북방향으로 뻗는 400m이상의 고지대인 계룡산 지역은 유구천 유역의 동남쪽에 위치해 있다. 둘째, 본 수계의 북에서 서남쪽에 걸친 연미산(192m), 채죽산(175m), 사마산(308m)을 잇는 능선 및 한산(130m), 백운산(170m)을 잇는 능선, 봉황산(148m), 일락산(170m), 건지산(235m), 운암산(290m)을 잇는 능선, 봉화대(313), 355고지, 235고지를 잇는 능선, 성화산(370m)능선, 장군봉(354m)이 위치하고 있다.

유구천 유역의 지질학적 특성을 보면 계룡산 지역의 주요 모암은 화강암 및 화강 편마암과 반암 등으로 이루어져 있으며 유구천의 서북쪽에 약산과 묵방산 능선 일대 또 북동쪽인 대흥과 광정일대를 포함하여 하천 전역이 호상 편마암으로 이루어져 있다. 호상 편마암은 선캄브리아기에 형성된 암석으로 사장석 42%, 석영 30%, 흑운모 15% 백운모 10%, 석류석 2%, 자철석 1% 등으로 되어 있어[5] 모암으로부터 유래되는 구성원소에 의한 수질의 영향은 미미할 것으로 판단된다.

4.3 수계내 기후특성

유구천유역의 유황은 『한국수문조사서』(1989~1998, 건설교통부), 『유량연보』(1995~1998, 건설교통부), 『한국수문조사연보』(1999~2000, 건설교통부) 등의 자료를 활용하면 풍수량 2.31cms, 평수량 1.56cms, 저수량 1.21cms, 갈수량은 0.25cms로 보고되고 있다.[6]

강수량은 지리적 여건과 시간적 변화에 따라 변동한다. 즉 동일시간의 강수량일지라도 지리적인 위치에 따라 그 정도가 달라질 뿐만 아니라 계절에 따라 지역별 강수량 분포가 크게 다른 것이 보통이다.

우리 나라의 연간 강수량은 1,300~2,100mm이고 월별 강수량을 살펴보면 6월에서 9월까지가 900~1,300㎜로 이 기간동안의 강수량이 전체의 약 55%이상을 차지한다.[7] 대전 충남지역의 연간 강수량은 1,137mm~1,301mm로 전국 평균범위의 중간 수치에 해당한다.

또한 유구천의 우량은 유역내의 정안, 유구, 공주, 정산, 청양 등의 우량관측소의 우량을

산출하면 월평균 22.1mm~409.9mm로 강우량이 가장 풍부한 6~9월중 8월이 가장 우량이 많으며 갈수기인 12월~4월중 12월의 강우량이 가장 적은 것으로 보고 되고 있다.

유구천 유역인 공주시 유구읍 지역의 2000년 총강수량은 1,640mm로 장마기간인 6, 7, 8, 9월의 경우에는 평균 1,378mm의 강수량을 보여 연간 강수량의 약84%를 차지하였다. 조사지점의 연평균기온은 11.4℃이었고 장마전 평균기온은 5.3℃, 장마기간 24.5℃, 장마 후 12.5℃로 관측되었다(자료 : 2000 자동기상 관측연보, 기상청).

2004년도 강수량을 살펴보면 표 1.4.1과 그림 1.4.1과 같으며 신풍면이 년 1,628mm로 가장 많고 유구읍이 1,351로 신풍면에 비해 년 277mm 정도 적은 강수량을 보였다. 4개 유역별로 살펴보면 총강수량에 65%~75%가 6월~9월에 집중적으로 나타나고 있어 이와 같은 강우분포 특성으로 미루어 그림 1.4.1에서의 월별 강수량을 살펴보듯이 수량변화가 가장 큰 6월에서 9월까지가 수질변화에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다. 강우빈도는 강우량이 가장 적은 10월의 경우 월 2회, 강우량이 풍부한 6월~9월의 경우에는 8회~12회의 강우빈도를 보이고 있다.

표 1.4.1 유구천유역 2003.12월~2004.11월 강수량

(단위 : mm)

읍면	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계	월평균	일평균
유구읍	19	11	5	67	102	286	347	232	213	8	56	5	1351	112.6	3.7
사곡면	15	35	46	70	114	327	355	239	229	5	62	17	1514	126.2	4.1
신풍면	19	47	49	67	104	328	392	291	248	6	59	18	1628	135.7	4.5
우성면	14	32	50	74	133	311	302	262	184	5	53	14	1434	119.5	3.9

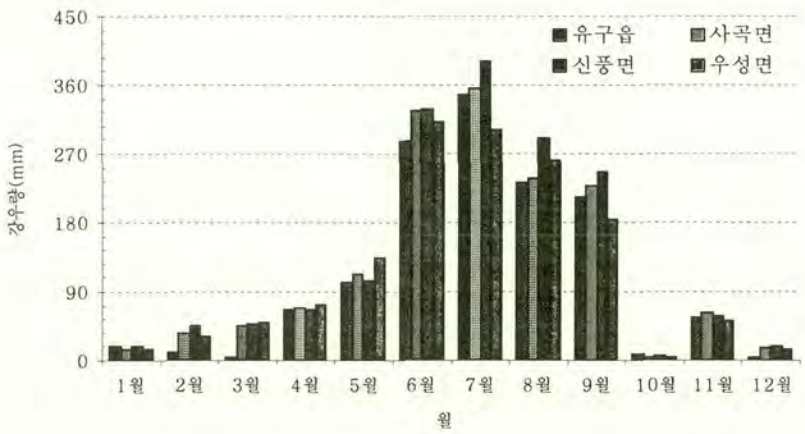


그림 1.4.1 유구천유역 2004년 월별 강우량(2003. 12월~2004. 1월)

제2장 연구방향

1. 오염총량관리제

2. 수리·수문 및 수질예측 모델

제2장 연구방향

본 장에서는 4대강 유역에서 현재 실시되고 있거나 추진중에 있는 수질오염총량관리제도와 기존에 수행된 하천수질 모델 및 비점오염모델링 연구 결과를 통한 연구경향을 검토하고자 한다.

1. 오염총량관리제

1.1 오염총량관리제도의 도입배경

수질오염물질총량관리제도는 하천의 용수목적, 생태계보전등에 맞는 목표수질기준을 설정하고 해당 하천수계의 유역에서 배출되는 오염부하 총량이 설정된 수질기준을 달성할 수 있도록 오염부하량을 허용량 이하가 되도록 관리하는 제도이다.

수질오염총량관리제는 사회·경제적인 여건의 미비와 정량적인 부하량 산정, 수질예측, 그리고 이행을 담보할 수 있는 모니터링 등과 같은 기술적인 문제로 인해 그 동안 도입이 미루어져 오다가 획기적인 수질개선을 위해서는 도입이 불가피하다는 인식이 광범위한 공감을 얻게 되었다. 또한 오염부하량 산정방법, 수질모델을 이용한 부하량과 수질관계에 대한 양적인 예측, 모니터링을 위한 기술 및 장비의 발전 등 총량관리를 지원하기 위한 기술적인 문제들도 점차 해결되고 있어 오염총량관리제를 연차적으로 시행해 나가고 있다.

금강수계의 수환경 현황을 살펴보면 금강의 수질을 이수목적, 수질보전, 생태계 등에 맞는 하천의 수역별 목표수질을 설정하고, 지정목적에 적합한 수준으로 개선하기 위해 수질농도 중심으로 다각적인 수질환경 정책을 펼쳐왔다. 그러나 공공수역의 허용오염부하량을 고려하지 않는 상태에서 배출허용기준 중심의 농도 규제만으로는 금강 중·하류지역에 과도하게 밀집된 인구 및 산업시설 등에서 배출되는 오염부하의 양적 증가를 통제하고, 환경기준을 달성하는데 근본적인 한계가 있다는 판단아래 수질오염총량관리제를 도입하기에 이르렀다.

표 2.1.1 5대강 오염총량관리제도 시행계획

수 계	기본방침마련 (환경부)	시행계획수립		
		광역시	시	군
낙동강	법공포후 6월 2002. 7. 15	법시행후2년 04.7.15	법시행후3년 05.7.15	법시행후4년 06.7.15
금 강 영산강 섬진강	법공포후 6월 2002. 7. 15	법시행후3년 05.7.15	법시행후3년 05.7.15	법시행후6년 08.7.15
한강	자율적 시행이므로 시행시기는 임의적			

** 주암호와 대청호 등 상수원 상류 군은 법 시행후 4년(06.7.15)

"오염총량관리"라 함은 시장·군수가 수역별 목표수질 달성을 위하여 시·군별로 배출할 수 있는 오염부하총량 이내로 당해 시·군 지역에서 배출되는 오염부하량을 연차적으로 삭감하는 것을 말하며, 수질오염 총량관리대상 오염물질은 2005년부터 2010년까지의 기간 동안에는 BOD로 하고 2011년부터 2015년까지의 기간 동안은 COD, 질소, 인, TOC 등 오염물질에 대한 적용 가능성과 효과성 등에 관하여 국립환경연구원장의 연구·검토를 거쳐 수계관리위원회와 협의하여 2005년 말까지 결정토록 하고 있다.

오염총량관리제 시행방법에 있어서 한강수계는 팔당호 상류유역 지방자치단체가 수질오염총량관리제의 실시여부를 임의 결정·시행하는 임의적인 오염총량관리제인데 반하여 금강수계와 낙동강수계는 의무적인 오염총량관리제이다.

이에따라 금강수계에 위치한 광역자치단체는 2004년 8월까지 환경부장관의 승인을 받아 전 지역에 대한 오염총량관리기본계획 수립을 완료하여야 하며, 지방자치단체별 시행시기는 다소간의 차이가 있으나, 광역자치단체에서 수립한 기본계획에 따라 시행계획의 수립과정을 거쳐 2005년 8월부터 점진적으로 시행하여 2008년 8월부터는 금강수계내에 위치한 모든 기초자치단체는 오염총량관리제를 시행하도록 의무화하고 있다.

1.2 오염총량관리 기본방침

1.2.1 오염총량관리 목표

우리나라 하천 구간의 목표 수질은 1991년에 고시되어 그 동안의 사회환경 및 자연환경의 변화에도 불구하고 그대로 유지되고 있어 목표 수질에 대한 재평가 및 개선을 통한 현실적으로 가능한 수질관리가 수행되어야 한다.

오염총량관리 목표설정을 위한 기준치는 궁극적인 수질목표로 지역 여건을 고려하여 환경용량범위 내에서 설정되어야 한다. 총량관리제도의 전략적인 목표는 무조건적인 오염량 삭감이 아니라 현재의 수질이 기준치 이하인 지역에 대해서는 발전을 도모하기 위한 허용량을 부여하고, 수질기준을 위반하는 지역에 대해서는 수질 개전을 위한 오염부하 삭감량을 할당하는데 있다.

1.2.2 관리대상 오염물질

오염총량관리는 수질환경기준 달성을 목표로 하고 있으므로 해당 수체에서 환경기준을 초과하는 물질을 대상으로 오염지표로서의 대표성, 수질측정의 용이성, 법적 규제항목과의 연관성 등을 고려하여 우리나라의 경우 하천의 수질은 수체의 이용목적을 구분하지 않고 BOD농도를 기준으로 유기물 농도 지표인 BOD농도를 기준으로 판단되는 경우가 대부분이다.

따라서 향후 오염총량 관리의 기본목표인 해당수역의 건전한 수질환경 유지를 위해서는 인과 질소 뿐 아니라 기타 오염물질에 대한 체계적인 조사와 준비가 필요할 것으로 판단

된다.

1.2.3 오염부하량 산정

삭감목표량을 산정하기 위해서는 해당 지역에 대한 인구, 수질 및 유량 측정, 오염물질 배출과 처리현황에 관한 기초조사가 선행되어야 한다. 다음으로 지역에서 발생하는 오염부하량을 산정하여야 하며, 수질기준을 달성하기 위한 관리 목표량을 결정하여 삭감되어야 할 부하량을 산정한다. 삭감부하량이 결정된 후에는 오염물질 삭감을 위한 오염물질 처리계획이 수립 · 수행되어야 한다.

가. 기초자료의 조사 및 수집

수질관리계획의 수립을 위해서는 대상지역의 수질 및 오염원 현황, 처리시설 현황, 수질에 영향을 미치는 제반 요소 파악을 위한 기초 조사가 실시되어야 하며, 표 2.1.2에 나타난 바와 같다.

표 2.1.2 오염총량관리제도 수립을 위한 기초자료

구분	주요 항목
수질	수질 측정망 자료, 수질환경기준, 배출허용기준, 방류수수질기준
오염원	인구, 축산, 산업, 특정시설, 토지이용현황
처리시설	환경기초시설, 오수처리시설, 단독정화조, 축산폐수배출시설 현황
수리/수문	하천수리 특성, 용수이용현황, 수문특성
기타자료	배수구역도, 하천도, 행정구역도, 토지이용도, 시설위치도, 측정망도 등의 GIS자료

나. 부하량 산정

수질오염의 원인이 되는 오염원으로부터 발생되는 오염물질의 양을 발생부하량이라 한다. 오염원으로부터 발생된 오염물질은 전량이 수계로 배출되는 것이 아니라 하수종말처리장, 오수처리시설 등의 각종처리시설을 거쳐 수계로 배출되며 이를 배출부하량이라 한다.

수계로 배출된 오염물질은 수계의 자연적인 물리, 화학, 생물학적 과정에 의해 분해되는데 이렇게 자연적인 과정을 통해 오염물질이 분해되는 현상을 자정작용이라 한다. 따라서 배출된 오염물질이 어느 특정수계에 도달하기 전까지는 자정작용에 의해 분해되며 이러한 자정작용을 거친 후 하천의 특정지점에 실제 도달하는 오염물질의 양을 유달부하량이라 한다.

오염물질 배출원은 인구, 축산, 산업, 토지이용, 양식장 등 5개로 구분하는 것이 일반적인 방법이며, 우리나라 오염총량관리제 수립 지침에서는 유역으로부터의 오염부하량을 산정하

기 위하여 원단위법을 사용하고 있다. 오염원단위에 대한 자세한 사항은 3장 유구천 유역 오염원에서 기술하였다.

다. 허용오염 총량의 산정

(1) 기준유량 설정

오염총량관리제 실시에 따른 기준유량의 선정은 유역내에 배출되는 오염물질의 종류, 총량관리 대상물질의 종류 및 사용되는 수질예측모델의 종류에 따라 달라질 수 있다. 수질오염 원인물질이 주로 상시 배출되는 점오염원인 경우에는 기준유량을 갈수기 유량으로 설정하는 것이 바람직하며, 강우시 비점오염원의 유입이 수질오염에 큰 영향을 미치는 경우에는 강우시의 유량을 기준유량으로 설정한다.

우리나라의 경우 수질관리 목표를 저수량(Q_{275})을 기준으로 설정한 반면, 건교부는 수량관리의 기준을 갈수량(Q_{335})을 기준으로 하고 있다. 총량관리의 기준유량을 갈수량으로 설정하는 경우에는 보다 엄격한 배출원 관리가 가능하게 된다. 그러나 우리나라의 하천은 대부분 댐이나 보 등의 인공구조물에 의해 정상적인 흐름이 불가능하며, 소하천의 경우 갈수량을 정의하기조차 어려운 실정이다. 따라서 오염총량관리제 시행의 초기단계에서는 수질환경기준의 기준 유량인 저수량을 기준유량으로 사용하며, 향후에는 하천의 물리적인 조건 및 대상물질을 고려하여 유동적으로 운영하는 것이 바람직하다.

(2) 허용오염총량 산정

오염총량관리제 시행을 위한 관리 목표량은 기준 유량과 총량관리 목표수질 농도의 곱으로 산정할 수 있으며, 허용총량은 이러한 관리목표량을 달성하기 위해 대상지역에서 허용되는 총 배출부하량을 나타낸다. 허용배출부하량은 각 지점의 유달률을 고려하여 산정된다. 허용총량을 산정하기 위해서는 일반적으로 수질모델식을 이용하며, 이러한 수질모델식은 지역적 특성을 반영할 수 있는 검증된 모델식이어야 한다.

삭감목표량은 현재의 배출부하량에서 허용총량을 뺀 양으로 현재의 수질이 목표 수질기준을 만족하는 경우에는 개발의 여지를 고려하여 추가의 배출허용량을 할당할 수 있으며, 수질기준을 만족하지 못하는 경우에는 삭감량을 할당하여야 한다.

오염물질을 삭감하는 방법에는 점오염원을 제어하는 방법과 비점오염원을 제어하는 방법으로 구분할 수 있다. 우리나라의 경우 1999년에 공공하수도 처리구역 내에 거주하는 인구 및 폐수종말처리시설을 통해 하수처리가 이루어지는 지역의 인구를 기준으로 한 하수도 보급률은 68.4%로 아직까지 하수도 보급률이 낮은 수준이며, 관거의 오접이나 관거불량 등을 고려하면 실제적인 하수처리율은 낮은 실정이다. 따라서 우선적으로 하수처리시설의 확충 및 개선에 의해 점오염원을 삭감하여야 하며, 또한 강우시 수계로 유입되는 비점오염원의 제어가 이루어져야 한다.

라. 삭감 목표량의 할당

유역내 오염부하량의 할당은 총량관리에 있어 가장 중요한 요소이며, 지역의 여건과 이행 당사자간의 이해관계가 복잡하게 작용한다. 이용가능한 오염부하 할당방법은 다음과 같으며, 가장 일반적으로 사용하고 있는 방법으로는 동일률감소법, 동일배출농도법 및 이와 유사한 방법들이 있다.

- 동일률 제거 또는 처리법
- 동일농도배출법
- 1일당 동일오염량 배출 할당법
- 1인당 1일 동일오염량 배출 할당법
- 발생량에 대한 동일량 삭감 할당법
- 주변 수질의 연평균 동일농도 유지 할당법
- 제거되는 오염량에 대한 동일비용 할당법
- 단위 생산에 대한 동일 처리비용 할당법
- 단위 원료사용에 대한 동일배출량 할당법
- 오염물 배출량에 비례한 제거율 할당법
- 사회의 유효소득에 비례한 제거율 할당법
- 배출량에 따른 비용부과(₩/오염배출량)법
- 비용 효과분석에 기초한 계절별 한도 할당법
- 최소처리비용법
- 최적처리기술적용과 지역특성을 반영한 할당법
- 환경용량을 모든 배출자에 균등의무 부과법
- 처리규모와 수준을 고려한 할당법
- 하천의 오염수준을 고려한 할당법
- 자발적 삭감법 등

동일률 제거 또는 처리법은 유역내의 모든 배출자가 발생량에 대해 일정한 제거율로 처리한 후 오염물질을 배출하는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 배출수의 특성을 반영하지 못하는 획일적인 규제책이라는 단점이 있다.

동일농도배출법은 모든 배출자가 일정한 농도의 오염물질을 배출하도록 하는 방법으로 이 또한 배출수의 특성을 반영하지 못하는 방법이다. 따라서 합리적으로 오염부하량을 할당하기 위해서는 현실적인 삭감 가능량을 고려하여 이해 당사자간의 합의가 이루어져야 한다.

오염부하량의 할당은 광역시 · 도의 오염총량관리기본계획시 시 · 군에 대한 할당과 오염총량관리대상 시 · 군에서 오염총량관리시행계획 수립 및 시행시기별 배출원에 대한 할당으로 구분할 수 있다. 오염부하량 할당대상 개별 배출원은 표 2.1.3에 나타난 바와 같으며,

우선적으로 공공부분을 대상으로 하는 부하량의 할당이 우선되어야 하며, 다음으로 민간부문에 대한 합리적인 부하량 할당이 이루어져야 할 것이다.

표 2.1.3 오염부하량 할당대상 개별배출원

구 분		배출시설 종류
생활계	공공부문	하수종말처리장 마을하수도 분뇨처리시설
	민간부문	200m^3/day 이상 오수처리시설
산업계	공공부문	폐수종말처리장
	민간부문	1종, 2종, 3종 개별 폐수배출시설
축산계	공공부문	축산폐수공공처리시설
	민간부문	200m^3/day 이상 축산폐수처리시설
기타 시행계획에서 정하는 사업장		

2. 수리·수문 및 수질예측 모델

오염물질의 전달은 유역에서 발생하고 시간·공간적으로 복잡한 자연현상과 결부되어 표면유출과 하천이송과정을 거치며 이 과정에서 수량, 수질의 변화 및 지체현상이 다양하게 발생한다. 이러한 오염물질의 유출특성을 파악하기 위하여 물질수지 해석을 근간으로한 다양한 형태의 모델식이 개발되어 하천, 호소의 적절한 관리를 위해 이용되고 있다.

이중 물질수지 모델식은 시스템중의 요소가 어떠한 역할을 하며 상호간에 어떠한 역할을 주고 있는 가를 파악하는 기능모델식의 한 부류에 해당하는데 수량은 물론 물질의 질적변화와 경로에 따르는 수지를 통해 시스템의 기능을 파악하는 것이 모델식이라고 할 수 있다.

유역이라는 큰 시스템을 대상으로 하천, 호소 등 수계의 적정관리를 위해 이용될 수 있는 모델식은 다양하다. 유역으로부터 오염물질 발생량과 수계의 수질 모의를 위해서는 해당지역의 특성을 반영할 수 있는 적합한 모델식의 선택이 중요하며, 이를 위해서는 우선 모의를 수행하고자 하는 수체의 형태(하천, 하구, 호소)와 관리 대상물질의 종류 등이 결정되어야 한다.

모델은 분석의 복잡도에 따라 단순한 계산 모형, steady-state, quasi-dynamic, dynamic모델로 구분할 수 있으며, 이에 따라 요구되는 입력자료의 종류가 정해진다. 따라서 모델을 이용하여 수질상태를 파악하고자 할 때 분석의 수준에 따라 적합한 수준의 모델이 선택되어야 한다.

최근에는 GIS(Geographic Information System)기술이 급속히 발전되면서 환경 분야에서도 GIS와 유역 및 수질관리 프로그램을 연계하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

수질관리 모델과 GIS의 연계는 모델의 입력자료를 속성자료로부터 손쉽게 추출하여 사용할 수 있으며, 모델링 결과의 정확도를 향상시킬 수 있다 또한 모델링 결과의 공간적인 변화경향을 쉽게 표현할 수 있으므로 신속한 의사 결정이 가능하게 되었다. 이러한 장점으로 인해 최근 주된 연구의 대상이 되고 있다.

2.1 수리·수문분야

2.1.1 HEC-1

HEC-1은 USACE의 HEC(Hydrologic Engineering Center)에서 유역에서의 강우-유출현상을 시뮬레이션하기 위하여 1967년에 처음 개발되었으며 그후 1990년까지 계속적인 수정이 이루어져 왔다.

이 모델식은 flood hydrograph package로 분석대상 유역의 특성을 고려하여 가장 적합한 모델식을 선택적으로 사용할 수 있으며, 최근 많은 연구에 의해 유량곡선 분석 뿐만 아니라 댐 안정성 분석 및 홍수시 범람예상구간 분석 그리고 연속적 강우유출량 예측 등 새로운 분석기능이 첨가되었다.

모델식 적용을 위해 대상유역은 단위유역으로 구성된 시스템으로 표현되며, 각 단위유역에는 지면유출수 이동경로와 하천 수로 또는 호수를 표현할 수 있다. 강우-유출에 대한 분석과정은 강우, 침투 또는 차단(강우 손실), 유효 강우(초과 강우)의 유출, 기저 유량과의 합류, 유출량의 흐름으로 나눌 수 있고, 각 과정에 대해 제공되는 적용식들을 분석 대상 지역의 특징에 따라 적절히 선택하여 사용할 수 있다.

HEC-1에서 요구되는 입력자료는 유역면적, 기저유량, 하천의 수심 등이며 모델결과로 유역내 원하는 지점에서의 유량곡선을 얻을 수 있다.

2.1.2 NFF

NFF(National Flood Frequency)는 측정이 이루어지지 않은 지역에 대한 강우정도와 빈도를 예측하기 위해 USGS(Unite State Geological Survey)에 의해 개발된 회귀식을 Federal Highway Administration과 Federal Emergency Management Agency와 공동으로 프로그램화한 것으로 회귀식은 측정지역의 자료를 바탕으로 유역 및 기후와 유출수량간의 관계가 회귀분석을 통하여 결정되며, 이러한 관계를 바탕으로 유역과 기후의 특징에 대한 변수를 결정해줌으로써 측정이 이루어지지 않은 지역도 유출수량 특징을 결정할 수 있다.

NFF는 최대 유출수량(flood peak discharge)를 예측하기 위한 회귀식과 통제되지 않는 지역에 대한 유출수량 곡선을 예측할 수 있는 방법들이 포함되어 있으며, 통계학적 접근을 바탕으로 수량 빈도에 대한 예측이 가능하다. 또한 이 모델은 유출수 양과 빈도를 예측하기 위해 도시지역과 시골지역에 대해 각각 다른 적용식을 사용한다.

모델을 적용하기 위해서는 우선 측정지역에 대한 자료를 바탕으로 유역 및 기후특성과

유출수 특성간의 관계를 나타내는 회귀식의 계수를 결정하여야 한다. 여기서 유출수 특성이란 빈도에 따른 최대유량 및 지연시간이며, 유역 및 기후 특성이란 유역면적, 경사도, 강우강도, 유역의 개발정도 및 불투수면의 비율 등이 포함된다.

위와 같이 얻어진 회귀선과 연구 대상지역의 변수를 결정해 줌으로써 측정되지 않은 대상지역에 대한 유출수 빈도에 따른 최대 유량과 평균 유량곡선을 예측할 수 있다.

2.1.3 HEC-2

HEC-2는 USACE의 HEC에서 개발한 수리모델로서 MENU2, EDIT2, PLOT2, SUMPO, COED 프로그램으로 구성되어 있는 Package의 형태이다.

HEC-2는 어떤 단면을 가진 하천에서 수표면의 단면도를 1차원적으로 계산하기 위한 프로그램이며, 일정한 물의 흐름이나 점차 변화하는 흐름 상태에서 가능하다. 단면에 대한 입력자료로서 굴착물 또는 구조물 등 다양한 경로들이 사용될 수 있으며, 다리와 둑 그리고 수로와 같은 구조물을 통한 수표면의 단면도를 계산할 수 있다. 모델의 적용 결과, 하천의 단면도와 계산된 수표면의 단면도를 얻을 수 있다. PLOT2는 이러한 결과를 도표화할 수 있으며, SUMPO는 HEC-2의 결과를 표로 작성할 수 있다. 이 때 원하는 표만을 선택하여 출력할 수 있다.

2.2 수질분야

하천 및 호수의 수질관리를 위해서는 유역 및 수계에서 물과 오염물질의 순환과정을 바르게 이해하여야 하며 이러한 작업에서는 수질오염모델식의 사용이 일반화 되어 있다. 우리나라의 경우 하천 및 호소에 대하여 각종의 수질모델을 적용하여 연구한 사례가 꾸준하게 증가하고 있으나 모델식을 보정하고 검증할 수 있는 자료의 축적과 관리가 부족하고, 모델식에 대한 이해의 부족과 이를 적극적으로 활용할 수 있는 인력의 부족 등으로 인하여 수질관리의 초보적인 검증에 국한되는 경우가 많았다.

수질모델링의 적용을 위해서는 대상유역의 문제를 정확하게 파악하는 것이 가장 중요하며, 유역의 특성을 파악하여 최적의 모델을 선택하여야 한다. 이러한 과정에서 기존에 개발된 모델식을 사용할 수 있으며, 대상유역의 고유한 특성이 고려될 수 있는 모델의 개발이 이루어져야 한다.

최근의 수질모델링은 다양한 수질관리 기법의 효과분석과 수질관리 대안의 제시를 위한 과정으로 주로 사용되고 있으며 기존에는 수질 오염원이 주로 점오염원의 유입에 의한 것으로 인식되었으나 최근들어 비점오염원에 의한 수질오염 문제가 대두되면서 유역으로부터의 유출부하량과 수질모델의 연계를 통한 수질모델의 적용이 활발히 이루어지고 있다.

수질모델링을 위해 사용될 수 있는 모델은 수체의 유동을 모의하는 Hydrodynamic Model과 수질을 모의할 수 있는 Water Quality Model로 구분할 수 있고 정상상태모델, 비

정상상태모델 및 Mixing Zone 모델로 세분화할 수 있다.

2.2.1 QUAL2E

QUAL2E는 1985년에 U.S. EPA에 의해 PC에서 사용될 수 있도록 개발한 하천수질 모델로써 현재 전세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 수질모델이다. QUAL2E는 원래 1970년에 TWDB(Texas Water Development Board)에서 개발된 QUALI을 수정하여 미국연방환경보호청의 지원으로 Water Resources Engineers I'nc에서 1973년에 개발한 QUALII을 다시 수정하여 개발한 것이다.

이 모델은 1차원 운반확산식에 기초한 수치모델로 점오염원과 비점오염원 유입에 따른 하류방향의 수질변화를 예측할 수 있다. 정상상태를 가정하나 일변화에 따른 수질(온도, DO)의 변화를 모델링하는 경우에는 동적인 상태의 모델링이 가능하다.

QUAL2E 모델을 사용하여 예측 가능한 수질항목은 DO, BOD, Chl-a, Org-N, NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N, Org-P, PO_4-P, 분변성 세균, 비보전성 물질 3가지, 보전성 물질 2가지 등 총 15개 항목으로 이용하는 목적에 따라 선택적으로 사용이 가능하다. 1987년 QUAL2E 모델에 몬테카를로 기법(Monte Carlo technique)과 일차함수 오차분석기법(first order error analysis technique)을 도입하여 확률 모델인 QUAL2E-UNCAS를 개발하여 현재 사용이 가능하다. 여러 개의 지천을 동시에 시뮬레이션 할 수 있는 장점이 있으나 하천 거리가 수백 km에 해당하는 대형 하천에는 적용하기 어렵다.

송 교욱[7)8)] 등은 QUAL2E모델을 낙동강 유역에 적용한 바 있으며, 이 연구에서 실측을 통하여 보정과 검증을 마친 QUAL2E 모델을 이용하여 용존산소에 대한 물리, 화학 및 생물학적인 과정을 규명하였다. 또한 낙동강 수계중 수질이 가장 악화되어 본류에 악영향을 나타내고 있는 금호강을 대상으로 최적허용오염부하량을 산정하여 제시한 바 있다.

허 인량[9)] 등은 한강 수계 상류에 위치하고 있는 평창강과 주천강 유역을 대상으로 실측자료를 이용하여 QUAL2E모델의 보정 및 검증을 실시하였으며, 이를 이용하여 유역오염부하량 저감효과 및 유출 토사의 영향을 예측한 바 있다. 박 성천 등도 QUAL2E 모델을 영산강 유역에 적용한 바 있으며, 이 연구에서는 하천수의 수질을 개선하기 위한 오염부하량 삭감량을 결정하여 제시하고 있다. 이외에도 QUAL2E 모델은 국내의 많은 수계에 대하여 다수의 연구가 수행된 바 있다.[4),10),11),12)]

QUAL2E 모델은 현재 미국에서 시행하고 있는 TMDL지원을 위한 프로그램인 BASINS의 수질모델 모듈로 사용되고 있으며 국내 뿐만 아니라 외국에서도 광범위하게 사용되고 있다. 1995년에는 QUAL2E-Windows Interface가 개발되어 사용자가 보다 편하게 모델을 이용할 수 있도록 되었다.

2.2.2 STREAM

STREAM(Segment Travel River Ecosystem Autograph Model)모델은 국내에서 개발된

하천 수질모델로 경사가 비교적 급하고 하천 거리가 짧은 하천에 비교적 쉽게 적용할 수 있다. 한국과학재단의 연구지원으로 1989년부터 반응조나열법(cell-in-series)을 기초로 개발되어 확산계수에 대한 보정이 필요 없으며 부착식물에 의한 용존산소 변화를 포함하는 장점이 있다. 수질반응 기작은 QUAL2E와 유사하게 이루어졌으나 모델 내부에 그래픽이 설계되어 사용이 매우 간편하다. 정상상태를 가정한 1차원적 모델이며 시뮬레이션 가능한 수질항목은 DO, BOD, Chl-a, org-N, NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N, org-P, PO_4-P, 분변성 세균, 비보존성 물질 3가지, 보존성 물질 2가지이다. STREAM모델에 몬테카를로기법을 적용하여 확률모델 STRESS를 개발하였으며 개발된 확률모델로 자연에서 일어나는 무작위 현상을 시뮬레이션하고 결과를 통계 분석하여 출현 가능한 농도, 신뢰구간, 확률분포 등을 계산한다. QUAL2E에 비해 여러 개의 지천을 동시에 모델링 할 수 없는 단점은 있으나 사용이 간편하며 우리나라 소형하천에서 나타나는 수질 및 수리현상을 잘 표현한다는 장점이 있다.

2.2.3 KQUAL97

KQUAL97은 미국연방환경보호청에서 개발한 QUAL2E모델을 국내 대형 하천에 적합하도록 개선한 모델이며 환경정책평가연구원의 지원으로 1997년 개발되었다. 모델의 입·출력자료와 기본구성은 QUAL2E와 동일하며, 지배방정식 또한 일차원 이류확산식으로 QUAL2E와 같으나 하천거리가 수백 km이며 유입 지천이 수십개에 해당하는 대형하천에서 수질변화도 동시에 시뮬레이션할 수 있는 장점이 있다. 또한 QUAL2E에 비해 하천 내부 생성에 따른 유기물 증가나 탈질화와 같은 수질변화 기작도 포함되어 있다.

2.2.4 WASP

WASP(Water Quality Simulation program)은 1981년 DiToro 등에 의해 미국 연방환경보호청에서 처음 개발되었으며, 수정과 보완을 거쳐 1993년 수체내 독성물질 거동까지 분석 가능한 WASP5 모형으로 발전되어 2003년에는 WASP6 window version으로 upgrade 되어왔다.

WASP는 수체와 퇴적물을 포함하는 모델이며, 유한구획법(finite segment method)에 기초하고 있다. 이 모델은 하천, 강, 호수, 하구 등 여러 형태의 수체에 적용가능하며, 정상상태를 기본으로 하지만 시간에 따른 수질변화도 예측할 수 있다.

WASP는 두가지 주요 수질문제인 일반수질(DO, BOD, 영양물질)과 독성물질(유기화학물질, 금속 등)에 대한 부 모델인 EUTRO와 TOX1로 구성되어 있으며 각 구획간 수체 이동량을 산정하는 DYNHYD도 포함하고 있다.

WASP모델은 하천과 호소를 대상으로 다수의 연구가 수행된 바 있다. 국내에서 WASP을 이용한 수질모의는 대청호,[3),11)] 소양호, 시화호[14)] 등의 호소에 적용된 바 있으며, 용담댐

하류의 금강을 대상으로 하천에 적용된 바 있다.[15]

2.2.5 CE-QUAL-W2

CE-QUAL-W2는 1974년 USACE에서 개발된 수직 2차원 수질 모델이다. 이 모델은 하천에 댐을 설치하여 생긴 폭이 좁고 수심이 깊은 인공호수에 매우 적합하며 온도, 염분도, 부유물질, 박테리아, 용존유기물, 조류, 용존산소, 영양염류 등 19개의 수질 항목을 시뮬레이션 할 수 있다. 폭방향으로 균일한 수질을 가정하며 수심과 상·하류 방향으로 수질변화를 표현한다. 또한 수지형으로 유입되는 지류를 포함할 수 있으며 호수 내 물순환과 수직 수온분포를 잘 시뮬레이션 할 수 있는 장점이 있다. 인공댐 설치로 형성된 국내 대형 호수나 하구언에 의한 호수 등의 부영양화나 수온 분포 예측에 매우 적합하다.

CE-QUAL-W2는 미 육군 공병단에 개발하였으며, 주로 저수지나 폭이 좁은 하구부 등의 성층화된 수체의 동적 2차원 모의를 수행할 수 있다. CE-QUAL-W2를 적용한 국내의 연구는 용담호,[16] 대청호[17] 및 소양호[18] 등에서 이루어진 바 있다. 그러나 CE-QUAL-W2의 수질 모의는 광범위한 양의 입력자료를 요구하므로 모델식을 이용하는데 있어 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다.

2.3 비점오염 모델

비점오염 모델링은 일반적으로 오염원에서부터 수계로 유입되기까지 오염물질의 생성과정 및 이동과정을 모의하는 것으로 오염물질 발생량이 토지이용 형태에 의해 결정되는 것으로 가정하는 비교적 단순한 형태의 모델로부터 강수량, 표면유출, 흡·탈착 등을 모두 고려하는 복잡한 형태에 이르기까지 다양한 모델이 개발되고 있다. 또한 강우의 영향에 따라서 이전 강우의 영향을 고려하지 않는 단일 강우사상모델(Single Event Model)과 이전 강우의 영향을 고려하는 연속모델(Continuous Model)로 구분되며 수량만을 모의하는 모델과 수량과 함께 수질모의가 가능한 모델로 구분된다.

비점오염원을 산정하기 위한 방법은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 첫째로 일정농도 및 원단위를 이용하는 방법, 두 번째는 통계적 분석을 이용하는 방법, 세 번째로 회귀분석에 의한 접근방법, 마지막으로 buildup과 washoff의 개념을 이용한 모의방법을 들 수 있다.

일정농도법은 유출수에 포함되어 있는 오염물질의 농도가 일정하다는 것을 가정하므로 유출량과 농도의 곱으로 비점오염물질 유출량을 산정할 수 있다. 또한 유출 수문모델과의 결합을 통하여 유출량의 변화량을 산정할 수 있다. 일정농도법은 유출유량에 따른 오염부하량의 변화 및 년간 총유출량의 산정에는 사용될 수 있으나 유출부하량 제어방법의 수립 또는 하천 및 호수 등 오염원이 유출되는 수체의 수질 변화를 모의하기 위한 입력자료로 사용하기에는 한계를 갖고 있다.

오염물질에 대한 원단위(Unit Lad)는 단위시간당, 단위면적당 유출되는 오염물질의 양

으로 정의될 수 있으며, 유역면적을 곱하여 총 발생오염부하량을 산정할 수 있다. 원단위는 지역의 특성 및 수문학적인 요인에 의하여 변화 될 수 있으며, 일반적으로 장기간의 유출부하량을 근거로 한 평균값으로 산정될 수 있다. 그러나 원단위는 지역적인 변동성이 매우 크기 때문에 특정지역에서 산정된 원단위를 다른 지역에 적용하는 것이 어려운 단점이 있다.

통계적방법에 의한 산정은 유출사상 평균농도는 통계적 모형에 근거하여 저류조 및 처리용량을 산정하기 위한 해석적 모형을 개발한 바 있다. 이러한 가정은 비교적 타당한 것으로 알려져 있으나 연계되는 유출 수문모델이 유출계수를 사용하는 경우는 투수성지역에 대해서 정확도가 떨어지는 단점을 갖는다.

세 번째는 회귀분석에 의한 접근방식으로 강우량, 유출량 및 수질 측정을 통하여 오염부하량과 유출사상 평균농도를 유역특성, 인구 변화특성 및 수문특성을 나타내는 변수들과 연관시키기 위한 연구가 수행되었다. 회귀분석의 한 종류로 유량 또는 유출량에 대한 오염물질의 농도 및 부하량의 관계를 나타내는 것을 Rating Curve라 하며, 이러한 연구는 국내에서도 많은 연구자들에 의해 수행 된 바 있다.[6)7)]

마지막으로 Buildup과 Washoff의 개념을 이용한 모의방법은 먼지 등의 오염물질이 도시지역 도로면에 계속적으로 축적되며, 축적된 오염물질은 강우에 의해 씻겨나가는 현상을 개념적인 알고리즘을 이용하여 모의하고 있다. 이 방법은 Buildup과 Washoff에 관한 매개변수로 유역 전체의 평균값을 이용하기 때문에 최종적으로 유역 말단에서의 측정자료를 통한 모델의 보정이 필요하게 된다. 따라서 가용한 관측자료가 없는 경우에는 모델의 정확도가 저하된다. Buildup과 Washoff의 해석을 위한 계산 방법은 모델에 따라 다른 형태를 나타내고 있으며, SWMM 모델이 가장 넓은 선택의 폭을 제공한다.

우리나라에서는 가장 일반적으로 사용되는 비점오염원 산정방법으로는 원단위법을 들 수 있는데 1980년대 초반부터 비점오염 원단위에 관한 연구가 수행되었다.

신 은성 등[19)]은 강원도 춘천지역의 11개 지역을 대상으로 연간의 실측자료를 이용한 원단위산정 연구를 수행한 바 있고, 최 의소 등[20)]은 도시지역과 농촌지역을 대표하는 2개의 유역을 선택하여 건기시와 강우시 유출량과 수질농도를 실측하여 점오염부하 및 비점오염부하량을 산정하였다.

이 현동 등[21),22)]은 팔당 상수원 유역을 대상으로 토지이용별 비점오염부하의 유출특성을, 최지용 등[23)]은 서울 도시지역을 대상으로 비점오염원 유출특성을 조사한 바 있다. 1994년에 시행된 전국의 토지이용별 비점오염원 부하조사에서 도시지역의 비점오염원이 수질에 큰 영향을 미치고 있음이 파악되었으며, 이 연구에서도 강우시 비점오염원의 영향이 점오염원에 대하여 COD는 250%, SS는 500%이상을 나타내는 것으로 조사된 바 있다.

비점오염부하량의 산정을 위한 원단위법의 적용 외에도 유역 모델을 이용하여 비점부하량을 산정한 연구가 수행된 바 있다. 비점부하량 산정을 위한 모델은 연구의 목적에 따라

달라질 수 있으며, 확보된 자료의 가용성 및 모의하고자 하는 항목을 고려하여 선택할 수 있으며 비점오염원으로 인한 수질 오염이 증가됨에 따라 이를 평가하고 개선 대책을 마련하고자 하는 연구가 많은 나라에서 이루어지고 있다. 그러나 우리나라의 경우 비점오염원에 대한 체계적인 연구가 상대적으로 미흡한 실정으로 정확한 비점오염부하량의 산정, 영향파악 및 저감방안의 마련을 위해서는 장기간에 걸친 심도있고 체계적인 연구가 반드시 이루어져야할 것으로 판단된다.

2.4 GIS와 수질 모델의 연계 활용

GIS(Geographic Information System)는 컴퓨터를 기반으로 하는 지리적인 정보의 효율적 생성과 저장, 분석을 위한 시스템을 의미한다. 이러한 GIS는 지난 20년간 지리정보의 효율적 사용을 위한 도구로서 급속한 발전을 이루었으며 토지, 자원, 도시, 환경, 교통 등 여러분야에서 사용되어지고 있다.[24]

GIS자료와 모델을 독립적으로 다루었던 초기 단계에서 최근에는 GIS부분의 급속한 발전과 더불어 수질관리 모델과의 연계 또한 획기적인 발전단계에 이르고 있으며, 수질관리 분야에서도 GIS를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 과정은 크게 3가지로 구분할 수 있다.[25]

첫 번째는 대상 수계의 수질 현황을 파악하기 위한 각종 자료를 수치지도의 형태로 구축하는 단계이며, 비용과 시간의 소모가 많고 구축자료의 정확도에 따라 산출되는 정보의 정확도가 결정되므로 매우 중요한 단계이다. 구축된 수치지도는 데이터베이스 시스템에 저장되어 통합관리가 되며, 주기적으로 데이터의 갱신이 이루어져야 한다. 구축되는 데이터의 유형은 주로 지형도와 하천도, 토지이용도, 소유역도, 행정유역도, 토양도 및 도시계획도 등의 도형정보와 인구, 공장, 가축, 토지이용정보 등의 점오염원과 비점오염원에 관련된 속성정보로 구분할 수 있다.

두 번째 단계로는 구축된 도형정보 및 속성정보를 이용한 분석단계이다. 분석을 위해 소유역으로 구분될 수 있으며, 유역별 오염물질 발생량을 산출하고 이를 통하여 효과적인 수질개선 대안이 제시될 수 있으며, 세 번째로는 산정된 오염량을 바탕으로 적정한 오염원의 삭감대안을 제시하는 단계이다. 또한 제시된 삭감안이 GIS의 형태로 제시되므로 시각적인 효과와 적정 대안의 분석이 가능하게 된다.

우리나라의 경우 1980년대 후반부터 GIS가 보급되기 시작하였고 그 동안 공공기관 및 대학을 중심으로 활발한 연구가 이루어졌다.

서울대학교 보건대학원과 한국과학기술원에서 공동으로 수행된[26] "수역 수질관리를 위한 수질예측 모델과 의사결정 지원시스템 개발에 관한 연구"에서는 하천 및 호소의 비점오염원에 대한 기존의 여러 수질모델 중에서 적절한 모델을 선정하고 선정된 모델을 이용하여 사용하기 쉽도록 사용자 인터페이스를 개발하고 수질관리를 수행할 수 있는 의사결정 지

원 시스템 개발한 바 있다. 또한 환경부에서는 1998년에 "수질환경정책지원 시스템"을 개발하였으며, 이를 통해 수질환경 정보를 체계적으로 분석하고 유역관리에 응용할 수 있도록 통합유역관리시스템을 구축하여 운영하고 있다.

이 요상[27]은 저수지 유역 오염유출의 시간/공간적 변동과 유역개발 등과 같은 환경의 변화, 인구 및 산업시설 등 인문/사회적인 요소의 변화에 따른 댐 저수지의 수질예측을 위한 오염부하량의 정확한 파악을 위해 원격탐사기술과 오염원 관련 지형공간 정보 및 데이터베이스, 유역 및 하천수질모델 등을 활용한 방법을 제시하였으며, 서 동일[28]은 초강천 유역에 대하여 GIS기법을 이용하여 오염물질 발생특성에 대한 정보를 경제적으로 활용할 수 방안을 수립하였고, 문 추연은 형산강을 대상으로 지리정보체계와 수질 관리모델을 하천수질해석에 적용하였다.

최 종욱[29]은 GIS를 이용하여 안양천 유역의 수계도, 수유역도, 토양도, 토지이용도를 작성하였다. 작성된 주제도를 통하여 획득한 도형정보와 점오염원, 비점오염원, 원단위의 데이터베이스로부터 추출된 속성정보를 이용하여 소유역별 오염부하량을 산정하였고 장래 오염부하량을 예측하였다. 최 현상[30]은 확장된 Streeter-Phelps식에 대한 일차오차해석과 Monte-Carlo해석을 통한 추계학적 수질모델을 개발하고, 모의된 해석결과를 GIS와 연계할 있도록 구성하여 과학적이고 실제적인 수질관리 시스템을 구축하였다.

이와 같이 여러 대상 유역에 대하여 수질모델과 데이터베이스 시스템의 구축 및 지리정보시스템의 활용을 통해 최적의 수질관리시스템을 구축하고자 많은 연구가 수행되었다. 그러나 이러한 많은 노력에도 불구하고 실제 의사결정을 위한 정책지원시스템으로의 이용은 이루어지지 않는 실정이다. 우리나라는 환경부의 주관으로 1999년부터 2000년지 "환경정보화 사업"이 실시되어 환경기초자료DB 및 정보서비스시스템이 구축되었으며, 앞서 기술한 바와 같이 우리나라의 4대강을 대상으로 수질정책 지원시스템이 기 구축되어 있다. 그러나 자료의 신뢰도 문제와 전문인력의 부족 등으로 인하여 실효를 거두지 못하고 있는 것이 현실이다.

제3장 유구천유역 오염원현황

1. 대상 및 기간
2. 수질조사 현황
3. 오염원 현황
4. 발생부하량 산정
5. 배출부하량 산정
6. 유달부하량 산정

제3장 유구천유역 오염원현황

1. 대상 및 기간

하천 수질조사는 2003년 12월부터 2004년 11월까지 1년동안 유구천을 대상으로 본류와 각 지류하천의 수질을 채수·분석하였으며, 수질조사 빈도는 매월 2~3회 현지 출장하여 각 지점별 유량을 측정하고 2ℓ 용기를 이용하여 채수하였으며 Ice Box를 이용, 실험실로 운반한 후 분석하였고, 수질측정 결과의 검증 및 예측시 수질에 영향을 미칠 수 있는 하천유량의 파악으로 오염원 자료(발생부하량, 배출부하량)와 수질 분석자료를 연계하여 각 유역의 하천에 대한 유달부하량과 관련한 오염부하량을 평가하였다.

2. 수질조사 현황

2.1 수질분석

각 하천의 유량을 파악하고 하천수질 조사항목은 수온, pH, DO, BOD, T-N, NO_3-N, NH_3-N, NO_2-N, Org-N, T-P, PO_4-P, Org-P 등으로 수온은 디지털온도계(Oregon Scientific), pH는 pH meter(Hanna HI 92240)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였으며, DO는 현장에서 고정한 후 실험실로 운반하여 분석하였고 BOD는 윙클러 아지드화나트륨변법, T-N은 자외선 흡광광도법, T-P는 아스코르빈산 환원법으로 수질오염공정시험법에 의거하여 분석하였으며, 분석항목 및 분석방법은 표 3.2.1과 같다.

표 3.2.1 수질분석 항목 및 분석방법

Parameters	Analytical Method
Temperature(℃)	Digital thermometer(Oregon Scientific)
pH	pH meter(Hanna HI 92240)
Dissolved oxygen(DO)	Azid modification of the iodometric method
Biochemical oxygen demand(BOD)	5일간 산소소모량을 Winklerqus법으로 측정
Total nitrogen(T-N)	UV spectrometer method
NH_3-N	인도페놀법
NO_2-N	디아조화법
NO_3-N	자외선 흡광광도법
Total phosphorus(T-P)	Ascorbic acid method
PO_4-P	Ascorbic acid method
유속 및 유량	유속 - 단면적법(유속계)

본 조사를 위해 유구천과 지류하천의 이화학적 수질분석 및 유량 조사지점은 그림 3.2.1과 같다. Headwater와 Endwater를 포함한 유구천 본류 10개 지점과 지류하천 13개소 등 총 23개 지점을 선정하여 수질모델링을 실시할 수 있도록 구획화 하였다.

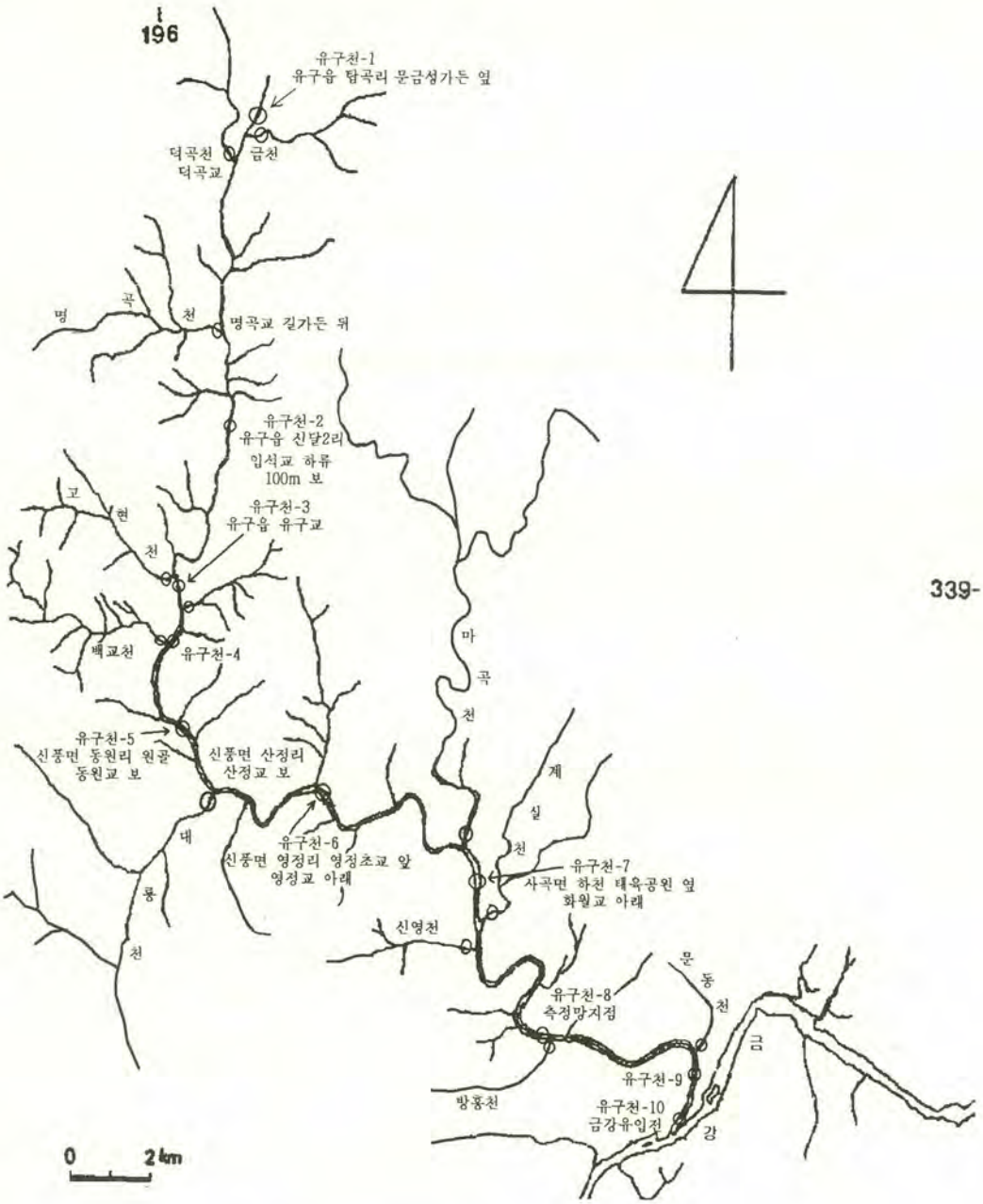


그림 3.2.1 유구천유역의 조사지점 위치도

2.2 유량

하천의 어느 지점에서의 유량은 그 지점의 하천 단면을 단위시간 동안 흐르는 물의 양을 의미하며 일반적으로 m^3/sec의 단위로 표시하고, 하천의 유량을 지배하는 것은 우량

(amount of rainfall), 유역면적(catchment area or drainage area), 지형(topography), 지세(geographical features), 지질상태(geological condition), 지표상태(the surface condition of the earth) 등이다.

우량 및 유역면적이 크면 유량도 큰 것이 원칙이며, 유량은 또한 유역의 지형 등에 의하여 좌우되며 지세가 험준하면 강수가 일시에 하천에 쇄도하므로 유량이 크고, 지질이 불투수성이면 유량이 크고 또한 지표상태는 수목 등에 의하여 지표수의 유하가 방해되는 일이 적을수록 유량이 크다.

대부분 하도에서는 하상초목의 계절적인 성장과 배수 영향 그리고 하상 및 수표면 변화 등으로 인하여 수위-유량 관계가 자주 변하게 된다. 그러므로 수위-유량관계의 변화에 대응하기 위해서는 정기적인 측정이 필요하며 모든 범위의 수위에 대한 수위-유량 곡선을 정의하기 위하여는 많은 회수의 측정이 필요하다. 그러나 자연하천에서 정확하게 유량을 측정하려면 장기적인 관측, 유량 관측시설의 확충, 특히 고수시 유량측정 설비 등이 선행되어야 하므로 많은 어려움이 있다.

2.2.1 유량측정지점선정 및 방법

하천의 어떤 단면에 있어서의 수위-유량간의 관계는 관측단면 하류 하도의 물리적인 특성에 의해 지배되므로 하천의 유량측정은 이용목적에 따라 하천의 물리적인 특성을 최대한 고려하여 지점을 선정하여야만 신뢰성 있는 유량 자료를 얻을 수 있다.

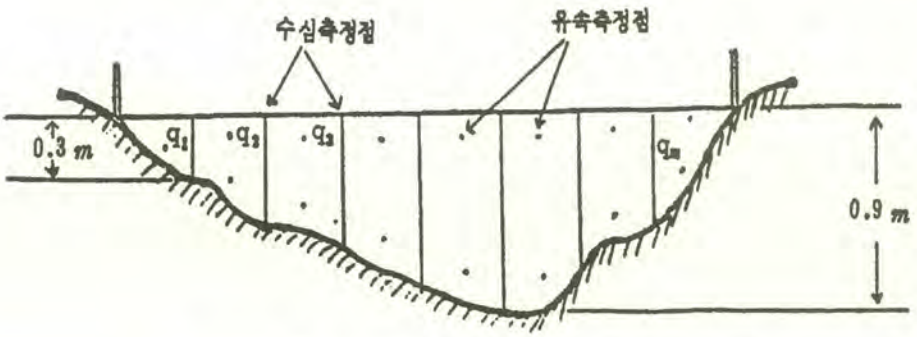


그림 3.2.2 유속 - 면적법에 의한 유량측정 방법

본 연구에서의 측정지점 선정 및 방법은 모델링을 수행하기 위해 목적에 최대한 부합될 수 있는 위치를 선정하였는데 본류의 경우 각 Reach의 중요지점 및 비교적 큰 오염원이 유입되는 지점의 전·후 지점에서 유량을 측정하고 보가 설치되어 있는 경우에는 보에서 측정하였다. 그 외에는 하폭을 등간격으로 분할하여 각각의 수심과 유속을 측정하여 계산하였으며, 유량조사 지점에 대한 모식도는 그림 3.2.2와 같다.

유량조사 23개 지점은 표 3.3.1과 같고 유량조사는 수질분석과 같이 매월 1회 이상 측정하였으며, 유량은 중간단면적법을 이용하여 유속과 단면적의 곱으로 유량을 산정하였다. 유속계는 영국 VALEPORT사의 회전식 유속계(Model BFM002)를 사용하였다.

2.3 유량 및 수질분석 결과

측정자료 분석에 있어서 유량관계는 그림 3.2.3에 수위-유량곡선과 그림 3.2.4에는 유구천의 유황곡선을 표시하여 평수량, 저수량, 갈수량에 관계를 나타내었다.

수질자료는 계절별로는 겨울(12월~2월), 봄(3월~5월), 여름(6월~8월), 가을(9월~11월)로 나누어 표 3.2.3~3.2.5에 정리하였으며, 12개월 년평균 평균자료는 표 3.2.6에 나타내었고, 부록 표-1~표-7에는 지류하천 및 본류에 대한 월별 수질오염도와 유량을 나타내었다.

2.3.1 기준유량 산정

오염총량관리계획의 시행규정에는 10년 평균저수량을 설정하고 단위유역별 기준유량을 산정하도록 되어 있다.

하천의 유량은 농업용수, 공업용수, 생활용수, 상수와 같은 인위적으로 발생하는 유량과 강우의 영향으로 발생하는 자연유량으로 구분할 수 있다.[44]

인위적으로 발생하는 유량은 발생용량을 가감승제로 계산해 낼 수 있으며 자연유량은 강우사상에 따른 유역면적비로 계산 할 수 있다.

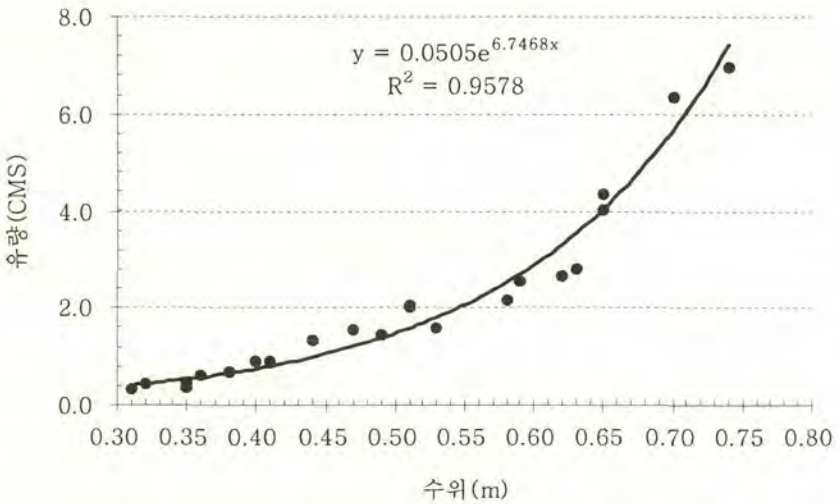


그림 3.2.3 유구천 동대교에서의 수위-유량 곡선

한편 기준유량인 저수량은 일반적으로 우리나라의 기상특성상 농한기인 봄철이나 가을철에 발생하게 되므로 농업용수로의 취수가 시작되지 않은 시기를 선택한다.

공주시 우성면 소재 유구천 동대교에서의 금강홍수통제소의 실시간 수문자료인 수위(2003년 12월~2004년 11월) 및 실측(2003년12월~2004년11월)한 유량자료를 이용하여 그림 3.2.3과 그림 3.2.4와 같이 유량곡선과 유황곡선을 만들고 이를 이용하여 평수기, 저수기, 갈수기 유량을 산정하였다.

이를 통하여 구한 동대교에서의 년중 Q_{185}일 해당하는 평수량은 3.331cms이고, Q_{275}에 해당하는 저수량은 2.034cms, Q_{355}일에 해당하는 갈수량은 1.236cms로 나타났다.

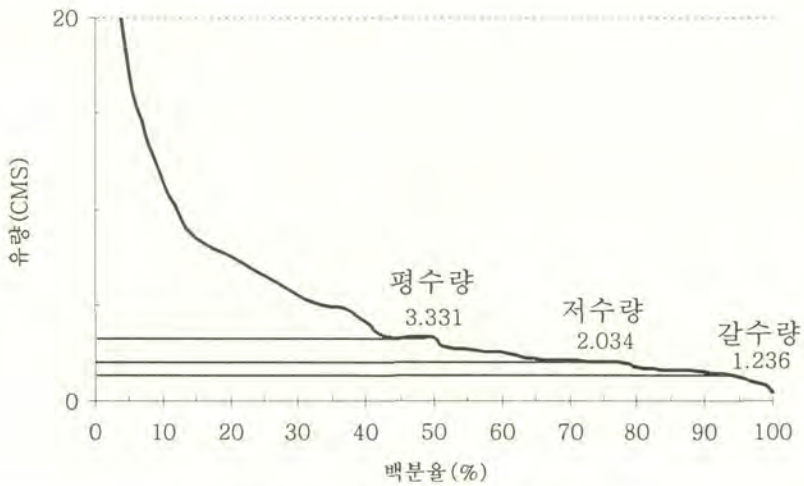


그림 3.2.4 유구천의 유황곡선

2.3.2 유구천 본류 및 지천의 수질 비교

본류 및 지천의 오염도를 비교하기 위해 년평균 자료를 이용하여 BOD 오염도를 그래프로 나타내면 그림 3.2.5와 같으며 T-N은 그림 3.2.6 그리고 T-P는 그림 3.2.7과 같다.

BOD의 경우 대체로 상류지역에는 오염원이 적어 유구취수장까지는 비교적 청정한 상태를 유지하나 유구읍에서의 생활계 하수에 따른 오염부하량이 높아 고현천과 소하천 그리고 유구하수가 유입되는 지점을 통과하면서 급속히 수질이 나빠진다.

비교적 유량이 풍부한 대룡천과 마곡천을 만나면서 본류의 수질은 다소 양호해지나 하류지역의 각 지천들에서도 생활계 하수에 의한 오염원의 유입으로 최하류의 BOD농도는 연평균으로 2.4mg/ℓ이 금강에 유입되고 T-N과 T-P의 경우에도 상류지역에 위치한 덕곡천과 고현천 그리고 유구하수에 의해 본류의 오염도가 비교적 높게 나타나고 있으며 하류지역인 문동천에서의 T-N이 높은 농도로 유입되고 있다.

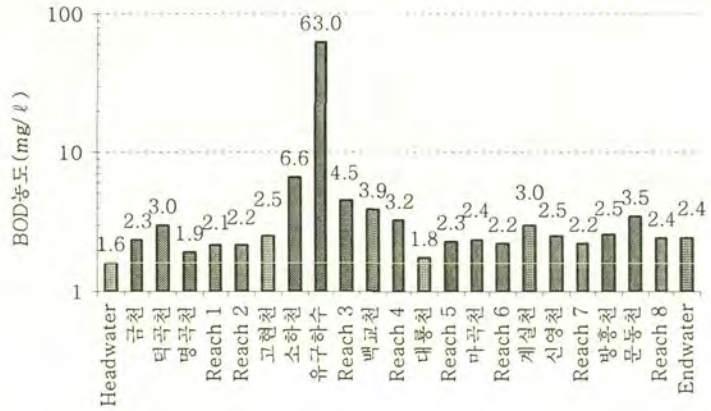


그림 3.2.5 유구천 수계 본류 및 각 지천의 BOD 오염도 비교(연평균)

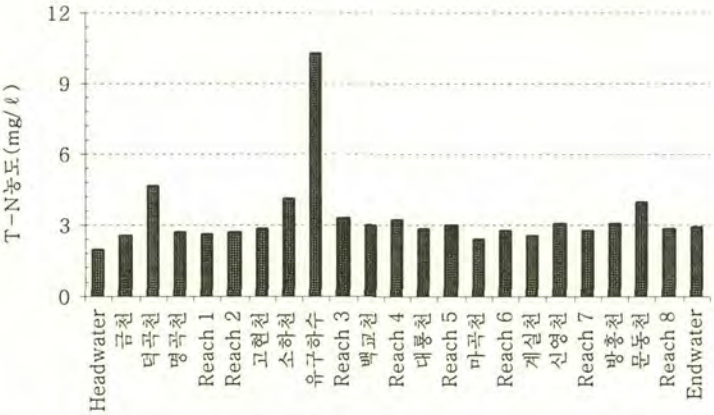


그림 3.2.6 유구천 수계 본류 및 각 지천의 T-N 오염도 비교(연평균)

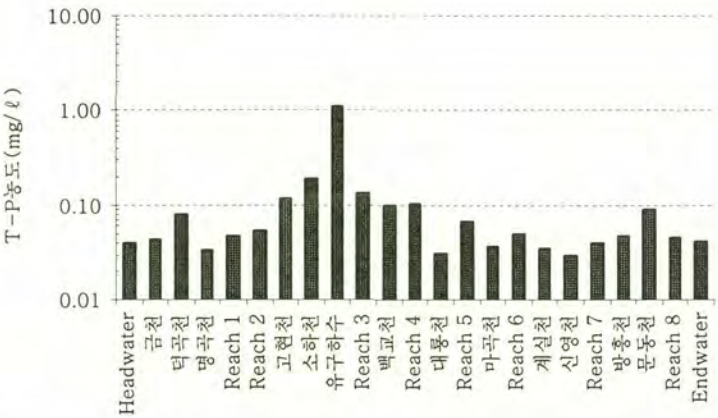


그림 3.2.7 유구천 수계 본류 및 각 지천의 T-P 오염도 비교(연평균)

표 3.2.3 지류하천들의 계절별 수질오염도 및 유량(1)

하천명	계절별	수질분석항목(mg/ℓ)											유량
		온도	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	Org-N	T-P	PO_4-P	Org-P	(m^3/시간)
금천	겨울	3.4	12.2	2.7	2.646	0.017	0.028	2.235	0.200	0.038	0.017	0.021	359.43
	봄	16.0	12.0	3.6	2.748	0.037	0.032	2.388	0.291	0.051	0.025	0.026	233.15
	여름	23.3	8.7	1.6	2.316	0.108	0.030	1.944	0.234	0.043	0.020	0.023	1134.69
	가을	12.5	11.1	1.4	2.391	0.095	0.049	2.074	0.173	0.044	0.027	0.017	560.23
덕곡천	겨울	4.6	12.1	4.3	4.251	0.095	0.044	3.997	0.115	0.081	0.034	0.047	75.58
	봄	16.3	12.2	3.9	4.717	0.234	0.069	4.177	0.237	0.050	0.017	0.033	81.68
	여름	23.0	8.9	2.6	5.154	0.359	0.249	4.269	0.277	0.088	0.050	0.038	321.75
	가을	15.7	11.5	1.3	4.434	0.157	0.116	3.928	0.234	0.093	0.071	0.022	120.23
명곡천	겨울	9.2	10.9	1.1	2.088	0.069	0.023	1.867	0.129	0.033	0.016	0.017	132.51
	봄	15.8	13.3	3.2	3.158	0.045	0.044	2.881	0.189	0.027	0.013	0.014	150.76
	여름	21.7	9.3	2.0	3.085	0.040	0.053	2.809	0.184	0.043	0.017	0.025	473.90
	가을	16.8	10.4	1.3	2.331	0.044	0.039	2.114	0.134	0.032	0.018	0.014	52.72
고현천	겨울	5.5	11.9	3.1	2.293	0.046	0.034	2.097	0.116	0.077	0.028	0.048	117.23
	봄	18.1	11.5	2.7	3.570	0.077	0.065	2.942	0.487	0.138	0.052	0.086	238.65
	여름	25.0	9.6	2.5	2.763	0.036	0.050	2.407	0.270	0.062	0.028	0.034	711.51
	가을	16.4	10.0	1.6	2.873	0.126	0.053	2.548	0.146	0.193	0.111	0.082	566.75
소하천	겨울	10.4	10.4	4.1	4.287	0.301	0.081	3.376	0.396	0.197	0.057	0.139	90.13
	봄	23.1	8.8	13.5	5.132	1.582	0.193	2.982	0.375	0.233	0.176	0.057	71.08
	여름	26.8	10.2	6.7	3.740	0.150	0.152	3.139	0.299	0.137	0.106	0.031	250.25
	가을	17.8	9.8	2.3	3.483	0.290	0.065	2.674	0.454	0.190	0.101	0.089	87.71
유구하수	겨울	10.5	5.1	73.6	8.727	2.074	0.362	1.456	3.501	0.933	0.228	0.705	110.33
	봄	17.3	2.7	68.5	13.187	5.843	0.524	4.249	2.571	1.494	1.047	0.447	103.87
	여름	24.2	3.8	67.6	7.021	2.364	0.210	3.313	1.134	0.517	0.373	0.144	168.40
	가을	18.5	2.1	42.3	12.040	2.664	0.839	6.059	2.478	1.400	1.011	0.389	100.00

2.3.3 유구천 본류 수질변화

유하거리에 따른 유구천 본류의 구간별 수질을 비교하기 위해 계절별 평균 자료를 이용하여 BOD오염도를 그래프로 나타내면 그림 3.2.8과 같으며 T-N은 그림 3.2.9 그리고 T-P는 그림 3.2.10과 같다.

BOD, T-N, T-P 모두 본류 구간 수질오염도에 많은 영향을 미친다고 생각되는 하천은 상류지역의 고현천, 유구하수 그리고 하류지역에서는 문동천 등의 유입지점에서 오염도가 높아지고 있음을 알 수 있다.

본류 수질은 대체적으로 지류하천 유입유량의 영향을 많이 받아서 유입유량과 거의 반비례함을 알 수 있다. 특히 갈수기이면서 영농철인 봄철에 오염도가 높게 나타나며 유량이 비교적 풍부한 여름철에는 수질농도로 볼 때 크게 문제가 되지 않는 것으로 판단된다.

본류 수질은 상류지역 오염원에 의해 오염도가 비교적 높아진 수체가 하류로 유하하면서 자정작용과 중류지역의 대룡천, 마곡천 등의비교적 풍부한 유량유입으로 조금씩 양호해지고 있는 것으로 나타났다.

우리나라 하천의 경우 봄과 같은 갈수기에 유량이 급격히 줄어들고 농업용수로 취수되는 양이 증가하면서 하천의 자정능력이 급격히 감소하여 수질오염이 심화되는 양상을 되풀이하고 있다.

따라서 유량이 적은 계절에는 수질관리에 상당한 어려움이 예상되며, 비교적 유량이 풍부한 시기의 하천유지유량을 갖어야만 본류수질의 오염도는 조금씩 개선되는 것으로 판단된다.

표 3.2.4 지류하천들의 계절별 수질오염도 및 유량(2)

하천명	계절별	수질분석항목(mg/ℓ)											유량 (m^3/시간)
		온도	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
백교천	겨울	9.2	10.1	3.3	3.474	0.486	0.113	2.213	0.683	0.140	0.043	0.096	196.32
	봄	17.5	8.6	8.0	2.919	0.775	0.128	1.770	0.192	0.094	0.047	0.043	182.51
	여름	25.2	9.4	2.2	2.954	0.050	0.159	2.373	0.372	0.058	0.031	0.027	835.26
	가을	19.2	10.2	2.0	2.740	0.451	0.067	1.885	0.338	0.094	0.068	0.026	198.04
대룡천	겨울	5.8	11.8	2.0	3.276	0.172	0.087	2.881	0.137	0.045	0.008	0.037	1,487.13
	봄	17.4	9.2	1.5	2.929	0.033	0.015	2.506	0.378	0.040	0.018	0.022	747.63
	여름	24.1	9.1	2.1	3.120	0.029	0.161	2.608	0.322	0.023	0.010	0.013	2,900.13
	가을	15.1	10.8	1.5	2.084	0.060	0.048	1.662	0.313	0.017	0.008	0.009	1,376.43
마곡천	겨울	3.8	13.0	2.3	2.735	0.138	0.035	2.243	0.319	0.025	0.007	0.018	2,406.73
	봄	19.2	11.4	3.0	2.590	0.067	0.052	2.272	0.199	0.060	0.021	0.039	1,400.73
	여름	25.8	9.1	2.2	2.426	0.029	0.046	1.997	0.354	0.026	0.010	0.016	5,642.82
	가을	14.0	11.8	2.0	1.827	0.034	0.030	1.656	0.107	0.033	0.008	0.025	3,372.56
계실천	겨울	4.5	11.7	1.7	2.868	0.126	0.054	1.878	0.757	0.041	0.010	0.031	245.91
	봄	18.7	10.2	4.8	2.341	0.092	0.041	2.060	0.147	0.026	0.010	0.016	209.24
	가을	14.8	11.2	2.4	1.997	0.046	0.031	1.691	0.230	0.031	0.015	0.016	306.81
	여름	25.4	8.6	3.0	2.943	0.075	0.104	2.554	0.210	0.044	0.018	0.026	621.21
신영천	겨울	5.6	10.8	2.1	3.022	0.143	0.050	2.648	0.124	0.022	0.009	0.013	71.81
	봄	18.2	9.8	4.1	3.719	0.077	0.038	3.444	0.183	0.034	0.009	0.025	57.21
	여름	25.5	8.2	1.8	2.964	0.042	0.045	2.658	0.220	0.032	0.006	0.026	210.16
	가을	15.1	10.7	1.8	2.545	0.029	0.029	2.131	0.357	0.028	0.007	0.021	154.35
방흥천	겨울	5.5	11.1	2.1	3.335	0.055	0.044	2.882	0.354	0.040	0.011	0.029	90.16
	봄	17.7	10.6	4.4	2.979	0.014	0.058	2.745	0.138	0.037	0.014	0.023	100.89
	여름	25.1	7.8	2.4	3.078	0.061	0.097	2.642	0.278	0.053	0.013	0.040	370.47
	가을	13.5	9.9	1.3	2.806	0.087	0.063	2.509	0.147	0.061	0.039	0.022	102.59
문동천	겨울	5.8	12.0	2.4	4.859	0.211	0.085	3.786	0.778	0.102	0.015	0.087	405.74
	봄	17.0	10.7	4.9	4.054	0.174	0.146	2.957	0.764	0.071	0.046	0.025	584.25
	여름	28.9	8.8	3.6	3.044	0.048	0.104	2.649	0.244	0.049	0.024	0.025	2,258.79
	가을	13.9	11.4	2.9	4.087	0.133	0.087	3.442	0.425	0.134	0.062	0.073	513.95

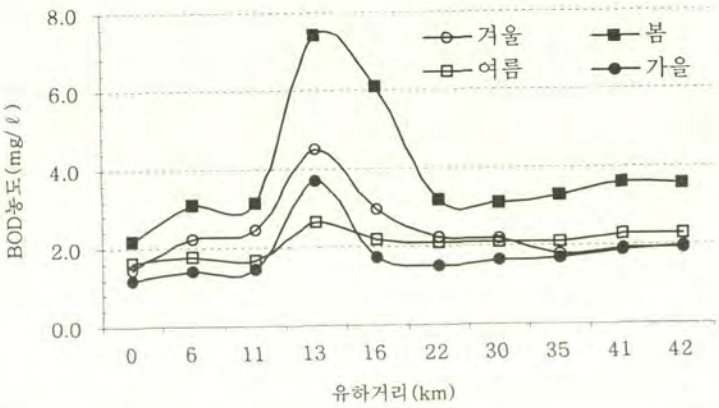


그림 3.2.8 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 BOD 오염도변화

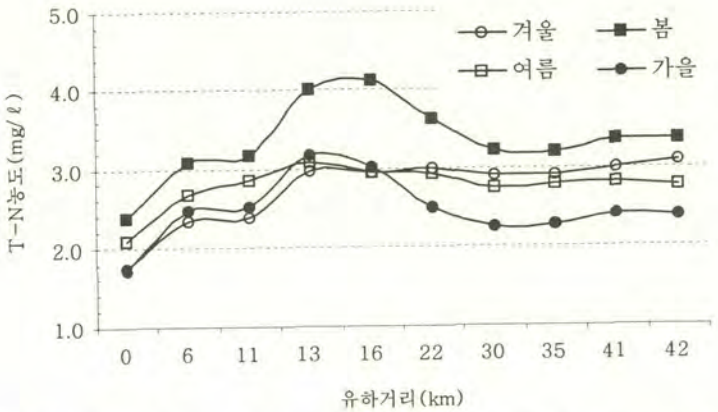


그림 3.2.9 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 T-N 오염도변화

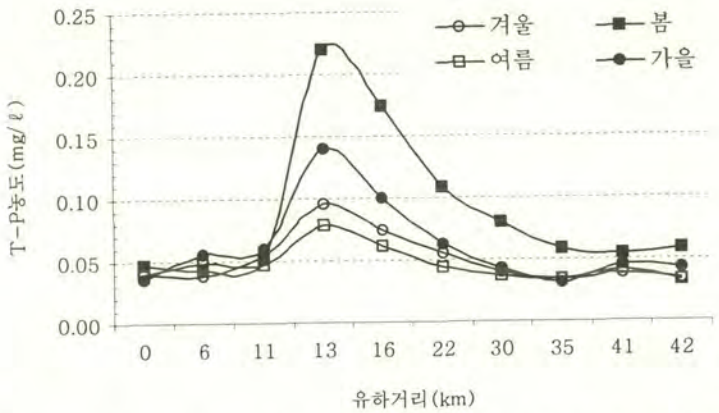


그림 3.2.10 유구천 본류의 거리에 따른 계절별 T-P 오염도변화

표 3.2.5 본류 지점들의 계절별 수질오염도 및 유량

하천명	계절별	수질분석항목(mg/ℓ)											유량
		온도	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	(m^3/시간)
Headwater	겨울	3.8	10.8	1.5	1.742	0.012	0.024	1.523	0.183	0.039	0.008	0.032	243.27
	봄	15.2	11.4	2.2	2.370	0.086	0.015	2.186	0.086	0.047	0.015	0.032	171.70
	여름	22.9	8.9	1.6	2.078	0.036	0.076	1.764	0.203	0.040	0.022	0.017	548.01
	가을	13.0	11.1	1.2	1.734	0.020	0.045	1.581	0.088	0.036	0.013	0.023	305.04
Reach 1	겨울	5.1	11.5	2.3	2.339	0.069	0.026	2.185	0.101	0.039	0.017	0.022	865.98
	봄	16.1	11.1	3.1	3.080	0.140	0.029	2.675	0.236	0.043	0.025	0.018	822.48
	여름	24.3	9.2	1.8	2.675	0.076	0.051	2.387	0.161	0.049	0.024	0.024	2,707.44
	가을	14.8	11.4	1.4	2.462	0.044	0.034	2.274	0.110	0.056	0.020	0.035	1,218.50
Reach 2	겨울	7.2	11.3	2.5	2.367	0.086	0.029	2.241	0.115	0.055	0.028	0.026	1,134.42
	봄	19.2	12.6	3.1	3.169	0.241	0.057	2.742	0.149	0.052	0.030	0.022	837.15
	여름	25.2	9.3	1.7	2.855	0.048	0.052	2.611	0.144	0.048	0.023	0.025	2,880.00
	가을	16.5	10.2	1.4	2.518	0.069	0.043	2.304	0.102	0.061	0.023	0.037	1,280.43
Reach 3	겨울	8.5	10.3	4.5	2.965	0.226	0.070	2.440	0.198	0.096	0.030	0.059	1,531.11
	봄	20.5	12.5	7.4	3.997	0.706	0.171	2.677	0.444	0.220	0.153	0.067	1,291.74
	여름	25.9	9.5	2.6	3.1	0.128	0.081	2.717	0.163	0.079	0.042	0.037	4,332.74
	가을	18.2	9.6	3.7	3.159	0.373	0.084	2.397	0.305	0.141	0.090	0.050	2,338.14
Reach 4	겨울	7.2	10.2	2.9	2.942	0.206	0.053	2.353	0.339	0.075	0.023	0.051	1,652.40
	봄	17.9	10.9	6.1	4.119	0.191	0.105	3.516	0.294	0.174	0.127	0.046	1,346.87
	여름	25.5	8.9	2.2	2.944	0.084	0.057	2.610	0.194	0.061	0.034	0.027	5,452.10
	가을	16.0	9.8	1.7	3.005	0.175	0.028	2.572	0.229	0.101	0.063	0.038	2,857.22
Reach 5	겨울	5.5	11.4	2.2	2.996	0.126	0.050	2.631	0.163	0.055	0.012	0.043	3,463.33
	봄	17.7	10.9	3.2	3.628	0.069	0.059	3.300	0.167	0.109	0.072	0.026	2,280.58
	여름	25.4	9.4	2.1	2.922	0.049	0.025	2.664	0.184	0.044	0.026	0.018	8,918.45
	가을	15.0	10.2	1.5	2.480	0.030	0.023	2.197	0.231	0.062	0.020	0.042	4,570.50
Reach 6	겨울	4.5	11.6	2.2	2.906	0.165	0.047	2.407	0.194	0.040	0.010	0.030	6,365.38
	봄	18.9	10.5	3.1	3.207	0.043	0.029	2.982	0.163	0.080	0.056	0.024	3,855.77
	여름	26.2	8.4	2.1	2.743	0.045	0.055	2.426	0.217	0.037	0.020	0.016	15,135.29
	가을	15.2	10.3	1.6	2.251	0.017	0.019	2.074	0.141	0.043	0.014	0.029	8,537.84
Reach 7	겨울	4.7	11.4	1.8	2.893	0.130	0.061	2.434	0.240	0.034	0.008	0.026	6,966.76
	봄	18.9	10.6	3.3	3.195	0.062	0.027	2.989	0.080	0.059	0.038	0.019	4,576.55
	여름	28.0	9.3	2.1	2.779	0.038	0.069	2.498	0.174	0.034	0.016	0.018	17,688.58
	가을	15.6	10.7	1.7	2.264	0.036	0.030	2.070	0.129	0.032	0.014	0.018	9,814.53
Reach 8	겨울	5.9	12.0	1.9	2.999	0.053	0.044	2.621	0.152	0.038	0.011	0.027	7,722.89
	봄	19.5	11.8	3.6	3.342	0.063	0.048	3.080	0.151	0.054	0.028	0.025	5,229.41
	여름	29.3	9.8	2.3	2.801	0.063	0.059	2.512	0.167	0.042	0.020	0.021	20,679.32
	가을	15.1	11.2	1.9	2.401	0.071	0.029	2.214	0.087	0.045	0.015	0.031	10,849.70
Endwater	겨울	6.3	12.4	1.9	3.076	0.046	0.040	2.688	0.160	0.035	0.011	0.024	7,814.48
	봄	18.5	11.6	3.6	3.342	0.061	0.051	3.091	0.138	0.059	0.034	0.022	5,278.87
	여름	29.5	10.2	2.3	2.755	0.050	0.056	2.496	0.153	0.033	0.015	0.018	21,177.98
	가을	15.0	11.1	1.9	2.389	0.083	0.028	2.216	0.062	0.043	0.019	0.023	11,069.75

표 3.2.6 조사대상 수계의 연평균 수질오염도 및 유량

대상	하천명	수질분석항목(mg/ℓ)											유량 (m^3/시간)
		온도	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
지류하천	금천	13.8	11.0	2.3	2.525	0.064	0.035	2.160	0.225	0.044	0.022	0.022	571.87
	덕곡천	14.9	11.2	3.0	4.639	0.211	0.120	4.093	0.216	0.078	0.043	0.035	149.81
	명곡천	15.9	11.0	1.9	2.666	0.050	0.040	2.418	0.159	0.034	0.016	0.018	202.47
	고현천	16.2	10.8	2.5	2.875	0.071	0.051	2.498	0.255	0.117	0.055	0.063	408.54
	소하천	19.5	9.8	6.6	4.160	0.581	0.123	3.043	0.381	0.189	0.110	0.079	124.79
	유구하수	17.6	3.4	63.0	10.244	3.237	0.484	3.769	2.421	1.086	0.665	0.421	120.65
	백교천	17.8	9.6	3.9	3.022	0.440	0.117	2.060	0.396	0.097	0.048	0.048	353.03
	대룡천	15.6	10.2	1.8	2.852	0.074	0.078	2.414	0.288	0.031	0.011	0.020	1,627.83
	마곡천	15.7	11.3	2.4	2.394	0.067	0.041	2.042	0.245	0.036	0.012	0.024	3,205.71
	계실천	15.9	10.4	3.0	2.537	0.085	0.058	2.046	0.336	0.035	0.013	0.022	345.79
	신영천	16.1	9.9	2.5	3.063	0.073	0.040	2.720	0.221	0.029	0.008	0.021	123.38
	방흥천	15.4	9.9	2.5	3.050	0.054	0.066	2.695	0.229	0.048	0.019	0.028	166.03
	문동천	16.4	10.7	3.5	4.011	0.141	0.105	3.208	0.553	0.089	0.037	0.052	940.68
유구천 본류	Headwater	13.7	10.5	1.6	1.981	0.038	0.040	1.764	0.140	0.041	0.015	0.026	317.00
	Reach 1	15.1	10.8	2.1	2.639	0.082	0.035	2.380	0.152	0.047	0.022	0.025	1,403.60
	Reach 2	17.0	10.8	2.2	2.727	0.111	0.045	2.475	0.127	0.054	0.026	0.028	1,533.00
	Reach 3	18.3	10.5	4.5	3.303	0.358	0.102	2.558	0.277	0.134	0.079	0.053	2,373.43
	Reach 4	16.6	9.9	3.2	3.252	0.164	0.061	2.763	0.264	0.103	0.062	0.041	2,827.15
	Reach 5	15.9	10.5	2.3	3.007	0.068	0.039	2.698	0.186	0.068	0.033	0.032	4,808.22
	Reach 6	16.2	10.2	2.2	2.777	0.068	0.037	2.472	0.179	0.050	0.025	0.025	8,473.57
	Reach 7	16.8	10.5	2.2	2.783	0.066	0.047	2.498	0.156	0.040	0.019	0.020	9,761.61
	Reach 8	17.4	11.2	2.4	2.886	0.062	0.045	2.607	0.139	0.045	0.019	0.026	11,120.33
	Endwater	17.3	11.3	2.4	2.890	0.060	0.044	2.623	0.128	0.042	0.020	0.022	11,335.27

3. 오염원 현황

유구천 유역내 수변구역별 행정단위를 살펴보면 표 3.3.1에서와 같이 유구천은 공주시의 1개읍, 3개면 소재, 53개리 지역에 분포되어 있다. 각 지류하천을 통해 유구천에 유입되는 유량과 각종 오염물질은 자정작용과 침적을 거치고 이 유역에 식수와 농업용수 및 공업용수를 공급하면서 금강에 도달하게 된다.

이 지역의 인구수는 표 3.3.2와 부록 표-8에 나타낸 것과 같이 23,184명으로 이중 하수처리구역내 인구수는 마을하수처리시설을 가지고 있는 5개지구(검단, 작은골, 원골, 철목, 우성)에서 유역내 전체 인구의 7.1%인 1,639명이며, 각 Reach별 인구수는 유구읍소재지를 포함하고 있는 Reach 3구역이 29.3%인 6,796명이 거주하며, 다음으로 Reach 6, Reach 5,

Reach 8 등의 순으로 조사되었다.

이 유역내 인구밀도는 81명/㎢이며, 유역별로는 마곡천이 합류되기 전인 상류유역에서는 90.4인/㎢, 마곡천 유역에서는 40.1인/㎢ 그리고 마곡천 합류이후 유역에서는 100.2인/㎢ 등으로 마곡천 유역이 가장 낮은 인구밀도를 보이고 있으며 유구천 중·하류 유역의 인구밀도가 비교적 높게 나타났다.

표 3.3.1 Sampling 현황 및 수변구역

구획	하천명	시료채취지점	유역별 수변지역	비 고
Headwater	유구천-1	유구읍 탑곡리 문금성가든 옆	유구읍 탑곡리	Headwater
Reach 1	금천	유구읍 탑곡리 문금성가든 앞	유구읍 문금리	지류-1
	덕곡천	유구읍 덕곡리 덕곡교 아래	유구읍 덕곡리	지류-2
	명곡천	유구읍 명곡리 길가든 상류	유구읍 명곡리	지류-3
	유구천-2	유구읍 신달리 입석교 하류	유구읍 추계리, 입석리, 신달리	유구천-1
Reach 2	유구천-3	유구읍 유구리 유구교 상류	유구읍 신영리	유구천-2
Reach 3	고현천	유구읍 유구리 유구교 옆	유구읍 녹천리	지류-4
	소하천	유구읍 유구리 유마교 옆	유구읍 유구리	지류-5
	유구하수	유구읍 유구리 유마교 하류 500m	유구읍 석남리	지류-6
	유구천-4	유구하수 하류 200m		유구천-3
Reach 4	백교천	유구읍 유구리 유구천-4 하류 옆	유구읍 노동리, 백교리	지류-7
	유구천-5	신풍면 동원리 원골(동원교)	유구읍 만천리	유구천-4
Reach 5	대룡천	신풍면 산정리 동원슈퍼(신정교)	신풍면 쌍대리, 입동리, 청흥리, 봉갑리, 용수리, 조평리, 대룡리	지류-8
	유구천-6	신풍면 영정리 영정초교(영정교)	신풍면 산정리, 동원리, 백룡리, 평소리, 화흥리	유구천-5
Reach 6	마곡천	사곡면 능계 태화교하류 200m	유구읍 동해리, 세동리, 연종리, 구계리 사곡면 운암리, 부곡리, 고당리, 유룡리, 월가리, 회학리, 가교리, 대중리	지류-9
	유구천-7	사곡면 호계리 하천공원(화월교)	신풍면 영정리, 선학리 사곡면 해월리, 호계리	유구천-6
Reach 7	계실천	사곡면 화월리 (16번하류 500m)	사곡면 계실리, 화월리	지류-10
	신영천	사곡면 신영리(도로공사중)	사곡면 신영리	지류-11
	유구천-8	우성면 동대리(측정망지점)		유구천-7
Reach 8	방흥천	우성면 방흥리(동대교 옆)	우성면 방흥리, 대성리	지류-12
	문동천	우성면 상서리(평목교상류 200m)	우성면 상서리, 방문리, 단지리	지류-13
	유구천-9	우성면 평목리(평목교 아래)	우성면 동대리	유구천-8
Endwater	유구천-10	우성면 옥성리(최하류보아래)	우성면 평목리, 옥성리	Endwater

표 3.3.3과 부록 표-9에서와 같이 유구천 유역의 토지이용 총 면적은 286.08㎢이며 토지의 지목별 현황은 전 17.62km^2, 답 28.58km^2, 임야 215.95km^2, 대지 4.17km^2, 목장 0.63km^2, 하천부지 면적이 8.62km^2 등으로 구성되어 있다.

표 3.3.2 유구천유역의 인구현황

비고	합계	시가지역 인구(명)									비시가지역 인구(명)								
		합계	하수처리구역			하수미처리구역					합계	하수처리구역			하수미처리구역				
			소계	분류식	합류식	소계	수세식		수거식	무처리		소계	분류식	합류식	소계	수세식		수거식	무처리
							오수처리	단독정화								오수처리	단독정화		
계	23,184	7,425	0	0	0	7,425	1,712	4,115	1,598	0	15,759	1,639	1,639	0	14,120	272	7,265	6,481	102
headwater	187	0	0			0					187	0	0	0	187	0	46	141	
Reach 1	1,886	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,886	455	455	0	1,431	0	869	562	0
Reach 2	708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	708	0	0	0	708	32	65	611	0
Reach 3	6,796	6336	0	0	0	6,336	1,480	3,395	1461	0	460	0	0	0	460	0	168	292	0
Reach 4	1,717	1089	0	0	0	1,089	232	720	137	0	628	254	254	0	374	68	136	170	0
Reach 5	3,735	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,735	355	355	0	3,380	0	1,760	1620	0
Reach 6	3,756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,756	0	0	0	3,756	123	1,926	1707	0
Reach 7	1,333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,333	0	0	0	1,333	25	824	382	102
Reach 8	2,743	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,743	575	575	0	2,168	24	1,299	845	0
Endwater	323	0	0			0					323	0	0	0	323	0	172	151	0

표 3.3.3 유구천유역의 토지이용 현황

비고	합	지목별 면적(m^2)									
		전	답	과수원	목장용지	임야	대지	공장용지	학교용지	도로	하천
합	286,078,364	17,621,717	28,580,999	575,750	630,932	215,951,218	4,169,791	272,864	267,172	4,238,781	8,821,438
Headwater	6,333,137	358,844	248,230	0	3,084	5,435,218	55,142	0	0	34,312	157,208
Reach 1	39,766,028	2,631,935	2,963,210	41,463	40,569	31,649,072	439,637	27,435	27,258	420,856	1,012,810
Reach 2	6,559,429	443,664	1,269,026	7,758	2,835	4,133,716	95,420	5,278	0	124,006	298,287
Reach 3	18,047,176	1,361,295	1,622,023	28,891	60,757	13,178,589	579,501	76,671	41,013	401,735	492,198
Reach 4	12,832,111	986,849	1,694,912	42,591	0	8,832,162	215,454	23,379	31,881	151,613	277,165
Reach 5	71,587,000	4,030,819	6,915,951	76,483	59,147	55,824,601	930,148	84,554	43,678	936,086	1,833,358
Reach 6	83,287,410	4,640,606	6,072,217	75,298	92,920	66,710,409	961,160	5,100	67,298	1,423,864	2,226,425
Reach 7	23,921,724	981,917	2,433,407	192,805	225,661	18,344,088	269,510	0	0	257,397	841,479
Reach 8	19,661,598	1,536,685	4,998,500	110,461	129,821	10,020,064	541,421	50,447	56,044	454,414	733,004
Endwater	4,082,750	649,104	363,523	0	16,138	1,823,299	82,398	0	0	34,498	949,503

비고	지목별 면적(m^2)										
	제방	구거	유지	수도용지	공원	체육용지	유원지	종교용지	사적지	묘지	잡종지
합	585,796	2,980,276	234,804	588	19,418	5,566	557	94,761	0	706,582	319,354
Headwater	0	36,651	0	0	0	0	0	3,304	0	1,144	0
Reach 1	59,489	378,741	36,091	0	0	0	557	2,985	0	10,344	23,576
Reach 2	11,860	155,810	2,095	0	0	0	0	0	0	4,344	5,330
Reach 3	26,723	138,895	14,668	588	0	0	0	1,533	0	3,329	18,768
Reach 4	26,659	234,729	15,987	0	0	0	0	481	0	289,516	8,733
Reach 5	11,860	742,507	14,635	0	0	0	0	5,893	0	32,722	44,559
Reach 6	58,755	594,931	27,790	0	15,409	5,566	0	38,721	0	195,827	75,113
Reach 7	106,172	197,084	31,209	0	0	0	0	2,960	0	14,878	23,157
Reach 8	218,403	477,052	65,803	0	4,009	0	0	38,884	0	136,540	90,046
Endwater	65,875	23,876	26,526	0	0	0	0	0	0	17,938	30,072

또한 이 유역의 축산현황을 살펴보면 표 3.3.4와 부록 표-10에서와 같이 젖소 2,221두, 한우 6,775두, 돼지 15,204두, 산양과 사슴이 2,527두, 개 6,748두, 가금류가 2,019,266두가 사육되고 있는 것으로 조사되었으며, 구획별 가축 사육현황을 살펴보면 금천과 덕곡천유역은 젖소, 마곡천유역은 한우, 문동천과 유구천 최하류 지역에서는 돼지, 대룡천유역은 산양과 사슴 그리고 돼지 등을 주로 사육하고 있어 가축은 주로 유구천 유역의 중류지역에서 많이 사육하고 있는 것으로 사료된다.

표 3.3.4 유구천유역의 축산 현황

(단위 : 두)

	젖소	한우	돼지	말	산양	사슴	개	가금
Headwater	0	81	0	0	51	6	41	3,621
Reach 1	754	287	261	0	236	123	968	408,970
Reach 2	10	139	0	0	0	131	20	0
Reach 3	95	555	20	0	190	322	817	53,592
Reach 4	0	157	1,891	0	21	126	202	43,748
Reach 5	351	1,613	5,659	0	435	422	1,192	183,679
Reach 6	291	1,258	793	0	227	141	2,825	786,076
Reach 7	204	844	2,200	0	64	32	683	1,802
Reach 8	516	1,284	4,380	0	0	0	0	407,796
Endwater	0	557	0	0	0	0	0	129,982

본 수계내에는 사업장수는 표 3.3.5에서와 같이 2~5종 업소가 31개소로 대규모 공단이 없어 공장 오·폐수의 영향이 미미한 것으로 사료되며, 표 3.3.6에서 보듯이 양식장은 가두리 2개소, 도전식 1개소, 유수식 양식장 등 4개소가 12,708m^2의 면적을 차지하고 있어 산업

활동이나 양식장은 유구천 수질에 영향을 크게 미치지 않을 인자로 조사되었다.

표 3.3.5 유구천 유역내 산업시설 현황

(단위 : 개소수)

업종및종코드번호 / 구역	도축,고기가공및처리	수산물가공및처리	과실및채소가공저장	두부및유사식품제조	비알콜성음료제조	제사,방적및직조	섬유표백,염색및가공	기타섬유품조공제조가공	의약품,의료용물질및생약제재조	프라스틱제품제조	콘크리트,시멘트및플라스틱제조	석제품제조	달리분류되지않는비금속광물제조	달리분류되지않는비철금속제련및정련	먹는샘물제조	사진촬영및처리	운수장비수선및세차또는세척
	1	2	3	16	24	26	27	28	70	86	91	92	93	108	125	126	139
Headwater	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 1	-	-	-	-	-	—	-	-	—	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 3	-	-	-	-	1	1	2	-	-	2	-	1	1	-	1	6	3
Reach 4	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-
Reach 5	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Reach 6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 8	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1
Endwater	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 3.3.6 유구천유역의 양식장 현황

단위 : 유량(m^3), 수질농도(mg/ℓ)

비고	양식장종류	어종	시설면적 (m^2)	사료투여량 (kg/일)	어획량 (kg/일)	방류유량 및 방류수수질농도			
						유량	BOD	T-N	T-P
Reach 1	가두리	향어	3130	3200	3200	10	0.8	1.70	0.052
	도전식	뱀장어	990	3450	3450	5	0.7	1.50	0.085
	유수식	송어	2123	2150	2150	15	1.2	1.638	0.063
Endwater	가두리	향어	20000	2450	2450	3	1.4	1.00	0.075

4. 발생부하량 산정

일반적으로 하천수계에 영향을 주는 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수 있으며, 이 중 점오염원의 경우는 유입경로 파악 및 관리대책 수립이 용이하다.

반면 비점오염원에 의한 오염물질은 강우시 유역전체에서 발생하여 수계로 유입되므로

토양 및 지형의 특성, 토지 이용의 종류에 따라 부하량과 오염물질의 종류가 달라 오염부하 발생량을 정확히 파악하는 것이 매우 어렵다. 비점오염원은 자동차 매연, 황사 등 대기오염이 날로 심각해지고 있는 현대사회에서 강우시 봄철과 같은 황사시기에는 하천수질에 비점오염원으로 작용할 수 있을 것이며, 경작지로부터 유출되는 농지유출수는 작물의 성장기에 각종 비료와 퇴비 등이 투입되어 하천 수질오염부하량 증가 원인이 되고 있다.

비점오염부하량 산정을 위한 기존의 연구는 주로 원단위법을 사용하였으며, 오염부하량은 계절적 변화가 고려되지 않은 년평균값으로 지역에 대한 상대적인 부하량의 비교를 위해서 유용하게 사용될 수 있으나 정확한 부하량을 산정하기에는 많은 문제점을 안고 있다.

4.1 발생부하량 산정

발생부하량은 점오염원인 하수관, 배수구, 수로, 터널, 구거, 관정, 축사 등 오염물질의 발생장소와 유출경로의 확인이 가능한 오염원과 점오염원 이외의 오염원으로서 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양침식물, 축사유출물, 대기강하물, 도시지역 먼지 및 쓰레기 등 오염물질의 발생장소 및 유출경로의 확인이 어려운 오염물질인 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질의 오염부하량을 말한다.

발생원단위는 지역적 특성을 반영할 수 있도록 실증자료에 의거한 실측원단위를 사용한다. 다만, 실측원단위가 없는 경우 이하에서 제시된 발생원단위를 사용한다. 하수발생량의 예측은 용수사용량을 예측하여 오수발생량을 예측하는 방법과 계획급수량으로부터 오수발생량을 예측하는 방법이 있다.

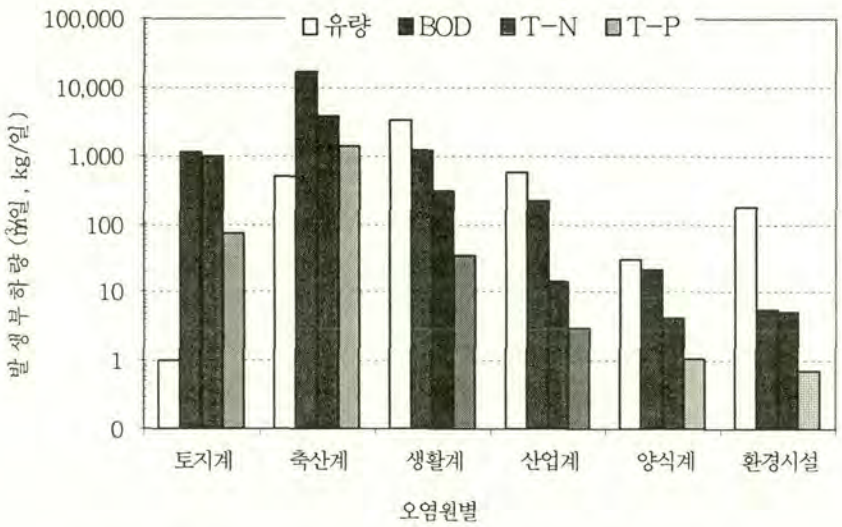


그림 3.4.1 오염원별 발생유량 및 오염물질 발생부하량

그림 3.4.1에서는 오염원별 발생유량과 발생부하량을 나타낸 것이다. 유구천 유역에서 오염원에 의한 총 발생유량은 일일 총 4,520.1m^3이며 이중 생활계에서 71.2%인 3,219.3m^3, 산업계에서 13.0%인 585.4m^3, 축산계에서 501.7m^3 그리고 환경기초시설, 양식장 순으로 유량이 발생되고 있다.

오염물질 발생부하량은 일일 BOD 19,674.80㎏, T-N 5,155.14㎏, T-P 1,487.73㎏으로 축산계에 의한 발생부하량은 BOD 87.0%, T-N 75.0%, T-P 92.5%로 발생량이 가장 높았으며, 토지계에서는 BOD 5.6%, T-N 18.7%, T-P 4.8%의 비율을 차지하고, 생활계에서는 BOD 6.2%, T-N 5.9%, T-P 2.3%의 오염물질을 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

4.1.1 생활계에 의한 발생부하량

가. 오·폐수 발생유량

① 생활계 오수발생량은 실제 생활용수 사용유량에 오수전환율을 곱하여 산정한다.
기존의 산정방법인 상수도보급율, 1인당 급수량, 유수율 등을 통한 간접추정방식은 따르지 않는다.

② 가정인구의 분뇨발생량은 가정인구수에 분뇨발생유량원단위를 곱하여 산정하며, 잡배수발생유량은 잡배수사용유량에 오수전환율을 곱하여 산정한다.

가정인구분뇨발생유량 = 가정인구수 × 가정인구분뇨발생유량원단위

가정인구잡배수발생유량 = 잡배수오수전환율 × (가정인구사용유량 - 가정인구분뇨발생유량)

가정인구오수발생유량 = 가정인구분뇨발생유량 + 가정인구잡배수발생유량

③ 영업인구의 분뇨발생유량은 영업인구 사용유량에 분뇨발생유량비를 곱하여 산정한다.

영업인구분뇨발생유량 = 영업인구수 × 영업인구분뇨발생유량비

영업인구잡배수발생유량 = 잡배수오수전환율 × (영업인구사용유량 - 영업인구분뇨발생유량)

영업인구오수발생유량 = 영업인구분뇨발생유량 + 영업인구잡배수발생유량

표 3.4.1 생활계 분뇨발생유량원단위, 분뇨발생유량비 및 잡배수오수전환율

구 분	가정인구 분뇨발생유량원단위 (㎥/인/일)	영업인구 분뇨발생유량비 (-)	잡배수오수전환율 (-)
시 가	0.00115	0.006	0.88
비시가	0.00134	0.006	0.88

- 영업시설중 일반목욕장과 같이 물사용량이 많거나 그 반대인 시설에 대한 영업인구 분뇨발생유량비는 표본조사를 통한 실측치를 적용

④ 생활계 오수발생유량은 가정인구와 영업인구에 의한 오수발생유량을 합하여 산정한다.

생활계분뇨발생유량 = 가정인구분뇨발생유량 + 영업인구분뇨발생유량

생활계잡배수발생유량 = 가정인구잡배수발생유량 + 영업인구잡배수발생유량
생활계발생유량 = 가정인구오수발생유량 + 영업인구오수발생유량

생활계에서의 오·폐수 발생유량은 총 3,219.3m^3/일로 표 3.4.2와 부록 표-11에서와 같이 유구읍 유역의 발생유량이 높게 나타났다. 이중 분뇨에 의한 발생유량은 32.85m^3/일, 잡배수에 의한 발생유량은 생활계에서의 총 발생유량에 99%인 3,186.4m^3/일이였다.

표 3.4.2 유구천유역 생활계에서의 오·폐수 발생유량

(단위 : m^3/일)

비고	가정에서의 발생유량			영업에 의한 발생유량			생활계 발생유량		
	분뇨	잡배수	오수	분뇨	잡배수	오수	분뇨	잡배수	오수
Headwater	0.25	21.96	22.21	0	0	0	0.25	21.96	22.21
Reach 1	2.53	221.56	224.09	0	0	0	2.53	221.56	224.09
Reach 2	0.95	50.12	51.07	0	0	0	0.95	50.12	51.07
Reach 3	7.90	804.58	812.48	1.95	284.28	286.23	9.85	1,088.87	1,098.72
Reach 4	2.09	194.31	196.40	0.80	116.34	117.14	2.89	310.65	313.54
Reach 5	5.00	443.34	448.34	0.05	7.52	7.57	5.06	450.86	455.92
Reach 6	5.03	451.85	456.88	0.30	44.20	44.51	5.34	496.06	501.39
Reach 7	1.65	153.25	154.90	0.00	0.00	0.00	1.65	153.25	154.90
Reach 8	3.68	321.84	325.51	0.23	33.12	33.35	3.90	354.96	358.86
Endwater	0.43	38.16	38.60	0	0	0	0.43	38.16	38.60

또한 일반가정에서 발생되는 유량은 2,730.5m^3/일로 영업시설에 의해 발생하는 유량 488.8m^3보다 5.59배 더 많은 것으로 보아 이 유역에서는 식당 등과 같은 영업시설은 다른 수계유역에 비해 많지 않은 것으로 사료된다. 아울러 표 3.4.4와 부록 표-12에서와 같이 생활계에서 가정이나 영업장에서의 물사용량에 약 88.1%정도가 오·폐수로 발생하는 것으로 나타났다.

나. 오염물질 발생부하량

인구에 의한 발생부하량 원단위는 적용목적에 따라 가옥의 형태, 도시계획지역 그리고 상수도 보급 여부에 따라 차이가 있을 뿐 아니라 지역, 계절, 시간, 측정 및 산정방법에 따라 큰 차이가 있다. 오염물질의 양을 정확히 측정하기 위해서는 가정인구와 영업인구로 구분하여 해당지역의 특성을 반영할 수 있도록 실측조사가 필요하다.

① 가정인구의 발생부하량은 가정인구에 발생부하원단위를 곱하여 산정한다.
가정인구발생부하량 = 가정인구수 × 가정인구발생부하원단위
가정인구분뇨발생부하량 = 분뇨발생부하비 × 가정인구발생부하량
가정인구잡배수발생부하량 = (1 - 분뇨발생부하비) × 가정인구발생부하량

표 3.4.3 생활계 가정인구 발생부하 원단위 및 분뇨발생부하비

구 분	가정인구 발생부하원단위(g/인/일)			분뇨발생부하비		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
시가	50.7	10.6	1.24	0.45	0.8	0.8
비시가	48.6	13	1.45			

② 영업인구의 발생부하량은 오수발생유량에 오수발생농도를 곱하여 산정하고 오수발생농도에 대한 실측자료가 없는 경우 표 3.4.5의 표준발생농도를 곱하여 산정한다.

영업인구발생부하량 = 영업인구오수발생유량 × 영업인구오수발생농도

영업인구분뇨발생부하량 = 분뇨발생부하비 × 영업인구발생부하량

영업인구잡배수발생부하량 = (1 - 분뇨발생부하비) × 영업인구발생부하량

표 3.4.4 유구천유역 생활계에서의 물사용량

(단위 : m^3/일)

비고	가정용						영업용						유량합계					총합계
	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	총사용량	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	총사용량	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	
Headwater	0	0	0	6.2	19.0	25.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2	19.0	25.2
Reach 1	61.3	0	0	117.2	75.8	254.3	0	0	0	0	0	0	61.3	0	0	117.2	75.8	254.3
Reach 2	0	0	4.3	13.5	40.1	57.9	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3	13.5	40.1	57.9
Reach 3	0	0	199.3	477.3	245.5	922.2	0	0	73.4	182.3	69.3	325.0	0	0	272.7	659.7	314.8	1,247.2
Reach 4	16.1	0	39.2	129.6	38.0	222.9	0	0	25.3	87.3	20.5	133.0	16.1	0	64.4	216.9	58.5	355.9
Reach 5	48.2	0	0	239.9	220.7	508.8	8.6	0	0	0	0	8.6	56.8	0	0	239.9	220.7	517.4
Reach 6	0	0	16.8	266.0	235.6	518.5	0	0	1.4	35.0	14.0	50.5	0.0	0	18.3	301.1	249.7	569.0
Reach 7	0	0	6.0	86.5	83.4	175.8	0	0	0	0	0	0	0	0	6.0	86.5	83.4	175.8
Reach 8	77.3	0	3.2	175.2	113.7	369.4	0	0	0	24.5	13.3	37.9	77.3	0	3.2	199.8	127.0	407.3
Endwater	0	0	0	23.3	20.5	43.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.3	20.5	43.8

③ 생활계 발생부하량은 가정인구와 영업인구에 의한 발생부하량을 합하여 산정한다.

생활계발생부하량 = 가정인구발생부하량 + 영업인구발생부하량

생활계분뇨발생부하량 = 가정인구분뇨발생부하량 + 영업인구분뇨발생부하량

생활계잡배수발생부하량 = 가정인구잡배수발생부하량 + 영업인구잡배수발생부하량

표 3.4.6과 부록 표-13에서는 유구천유역의 가정생활과 영업활동에 따른 생활계에서 BOD, T-N, T-P의 오염물질 발생부하량을 나타내고 있다. BOD는 가정에서 1,137.4kg/일, 영업시설에서 72.0kg/일으로 일일 1,209.4kg이 발생하는데 이중 유구지역인 Reach 3유역에서 32%가 발생하고 사곡지역인 Reach 5유역에서 15.6%가 발생한다.

표 3.4.5 생활계 영업장 오수발생 표준농도

건축물 용도				업종분류코드	BOD (g/m^3)	T-N (g/m^3)	T-P (g/m^3)
문화 및 집회시설 (100)	집회장	예식장, 공회당, 마을회관, 회의장, 교회, 사찰, 성당, 제실, 사당, 장례식장		101	150	50	5
	공연장	영화관, 연예장, 음악장, 연극극장, 서커스장		102	150	50	5
	기도원, 수도원, 수녀원			103	200	60	5
	경기장	체육관, 운동장, 경마장, 경륜장, 자동차경기장		104	260	80	8
	전시장	박물관, 미술관, 기념관, 수족관, 과학관, 박감장, 관망탑, 모델하우스		105	150	50	5
주거시설 (200)	기숙사, 양로원, 다중주택,(원룸)[1], 하숙, 군대숙소			201	200	60	6
숙박시설 (300)	관광호텔, 호텔, 모텔, 여관, 여인숙			301	70	20	2
	가족호텔, 콘도미니엄, 유수호스텔			302	140	40	4
위락시설 (400)	무도유흥주점	나이트클럽, 카바레		401	150	50	5
	일반유흥주점	룸쌀롱, 단란주점, 요정, 스텐드바		402	250	80	8
	투전기업소, 카지노업소, 마권장외발매소			403	150	50	5
	무도장, 무도학원, 콜라텍			404	150	50	5
의료시설 (500)	종합병원			501	300	100	9
	병원, 치과병원, 한방병원, 정신병원, 요양소, 격리병원, 산후조리원		급식시설 있음	502	300	100	9
			급식시설 없음	503	150	50	5
	의원, 한의원, 치과의원, 침술원, 접골원, 조산소, 보건소, 진료소			504	150	50	5
판매 및 영업시설 (600)	시장, 상점	도매시장, 구판장, 소매시장, 양판점, 대형할인점, 서점, 표구점, 소매점, 수퍼마켓, 사진관, 세탁소, 장의사, 동물병원, 의약품도매점, 총포판매소		601	250	80	8
	백화점, 쇼핑센터			602	250	80	8
	게임제공업소, PC방, 기원, 전자오락실			603	150	50	5
	여객, 철도역, 종합여객, 공항			604	260	80	8
운동시설 (700)	탁구장, 당구장			701	100	30	3
	체육도장, 헬스장, 에어로빅장, 볼링장, 사격장, 라켓볼장, 스쿼시장, 실내낚시터, 스케이트장, 롤러스케이트장, 수영장			702	100	30	3
	골프연습장			703	100	30	3
	골프장			704	100	30	3
	테니스장	light시설 있음		705	150	50	5
		light시설 없음		706	150	50	5
자동차 관련시설 (800)	주차장[2], 주기장[3]			801	260	80	8
	주유소, LPG충전소			802	260	80	8
교육연구 및 복지시설 (900)	초등학교, 유치원, 보육시설			901	100	30	3
	중학교, 고등학교, 학원, 대학, 대학교, 직업훈련소		주간	902	100	30	3
			주·야간 병설	903	100	30	3
	연구소, 시험소, 동물검역소			904	100	30	3
	도서관, 독서실			905	150	50	5
	고아원, 일시보호시설, 보호치료시설, 자립지원시설, 경로당, 자연권 청소년 수련시설			906	200	60	6

건축물 용도			업종분류코드	BOD	T-N	T-P
업무시설(1000)	일반사무소	사무소, 신문사, 상담소, 소개소, 소방서	1001	100	30	3
	방문객 많은 사무소	대사관, 전화국, 공공청사, 금융업소, 경찰서, 우체국	1002	100	30	3
	오피스텔		1003	200	60	6
근린생활시설(1100)	식품 즉석 제조 판매점, 제과점		1101	130	40	4
	이용원, 미용원		1102	100	30	3
	일반 목욕장[4]		1103	100	30	3
	공중화장실		1103	260	80	8
	음식점	오염부하량 높은 경우(한식, 중식)	1104	260	80	8
		일반음식점	1105	330	110	10
		오염부하량 낮은 경우 (양식, 일식, 커피숍, 카페)	1106	210	70	7
	안마시술소		1108	100	30	3
	찜질방		1109	100	30	3
	노래연습장, 비디오방		1110	150	50	5
공업시설(1200)	공장, 발전소, 작업소		1201	100	30	3
공공용시설(1300)	교도소, 구치소, 소년원, 감화원		1301	200	60	6
	촬영소		1302	100	30	3
묘지관련시설(1400)	화장장, 납골시설		1401	150	50	5
관광휴게시설(1500)	휴게소		1501	260	80	8
부대급식시설(1600)	문화 및 집회시설, 숙박시설, 위락시설, 판매 및 영업시설, 운동시설, 자동차관련시설, 교육연구 및 복지시설, 업무시설, 근린생활시설, 공업시설, 묘지관련시설, 관광휴게시설등의 상주인원에 대한 급식을 제공하는 시설		1601	330	110	10
기타(2000)			2001	200	60	6

그리고 T-N은 가정에서 282.5kg/일, 영업시설에서 23.9kg/일로 일일 306.2kg이 발생하면서 이중 Reach 3유역에서 28.5%, 그리고 Reach 5유역에서 16.7%가 발생되고 있는 것으로 조사되었으며, T-P는 가정에서 31.9kg/일, 영업시설에서 2.4kg/일로 일일 34.3kg이 유구천 전유역에서 발생하고 있는데 이중 Reach 3유역에서 29.0%, Reach 5유역에서 16.6%가 발생되고 있다.

표 3.4.6 생활계에서의 오염물질발생부하량

(단위 : g/일)

비고	BOD			T-N			T-P		
	가정	영업	생활계	가정	영업	생활계	가정	영업	생활계
Headwater	9,088.2	0	9,088.2	2,431.0	0	2,431.0	271.2	0	271.2
Reach 1	91,659.6	0	91,659.6	24,518.0	0	24,518.0	2,734.7	0	2,734.7
Reach 2	34,408.8	0	34,408.8	9,204.0	0	9,204.0	1,026.6	0	1,026.6
Reach 3	343,591.2	42,759.0	386,350.2	73,141.6	14,241.2	87,382.8	8,523.6	1,424.1	9,947.8
Reach 4	85,733.1	16,469.5	102,202.6	19,707.4	5,416.4	25,123.8	2,261.0	541.6	2,802.6
Reach 5	181,521.0	1,136.1	182,657.1	48,555.0	378.7	48,933.7	5,415.8	37.9	5,453.6
Reach 6	182,541.6	6,676.1	189,217.7	48,828.0	2,225.4	51,053.4	5,446.2	222.5	5,668.7
Reach 7	59,826.6	0	59,826.6	16,003.0	0	16,003.0	1,785.0	0	1,785.0
Reach 8	133,309.8	5,002.3	138,312.1	35,659.0	1,667.4	37,326.4	3,977.4	166.7	4,144.1
Endwater	15,697.8	0	15,697.8	4,199.0	0	4,199.0	468.4	0	468.4

4.1.2 축산계에 의한 발생부하량

가축에 의한 축산폐수 발생부하량은 가축 및 사료의 종류, 급식량, 급식방법, 가축의 연령과 체중 그리고 급수량과 급수방법 및 축사관리방법 등에 따라 많은 차이가 발생한다.

이에따른 발생부하 원단위는 대부분 축종별로 축산폐수의 발생량을 구한 후 가축의 분과 뇨에 포함된 오염물질 농도를 곱하여 산출된 값을 평균하여 사용하고 있다. 즉, 축산계의 폐수발생유량은 가축 사육두수에 발생유량원단위를 곱하여 산정하고 발생부하량은 축종별 사육두수에 발생부하 원단위를 곱하여 산정한다.

축산폐수발생유량 = Σ(축종별 사육두수 × 축종별축산폐수발생유량원단위)
축산고형물발생유량 = Σ(축종별사육두수 × 축종별축산고형물발생유량원단위)
축산계발생유량 = 축산폐수발생유량 + 축산고형물발생유량

표 3.4.7 축종별 발생유량 원단위

(단위 : m^3/두/일)

구분	젖소	한우	말	돼지	산양	사슴	개	가금
총발생유량	0.0456	0.0146	0.0097	0.0086	0.0007	0.0007	0.0011	0.00008
폐수발생유량	0.0259	0.0065	0.0043	0.0074	0.0005	0.0005	0.0008	0
고형물발생유량	0.0197	0.0081	0.0054	0.0012	0.0002	0.0002	0.0003	0.00008

축산폐수발생부하량 = Σ(축종별 사육두수 × 축종별축산폐수발생부하원단위)
축산고형물발생부하량 = Σ(축종별 사육두수 × 축종별축산고형물발생부하원단위)
축산계발생부하량 = 축산폐수발생부하량 + 축산고형물발생부하량

표 3.4.8 축산분뇨 발생부하원단위

(단위 : g/두/일)

항목	구분	젖소	한우	말	돼지	산양	사슴	개	가금
BOD	합계	556	528	259	109	10	10	18	5.2
	폐수	117	67	30	32	3	3	4	1E-12
	고형물	439	461	229	77	7	7	14	5.2
T-N	합계	161.8	116.8	77.6	27.7	5.8	5.8	8.4	1.1
	폐수	63.5	40.0	26.7	14.9	4.2	4.2	5.4	1E-12
	고형물	98.3	76.8	50.9	12.8	1.6	1.6	3.0	1.1
T-P	합계	56.7	36.1	24.0	12.2	0.9	0.9	1.6	0.4
	폐수	10.7	3.5	2.3	3.3	0.2	0.2	0.3	1E-12
	고형물	46.0	32.6	21.7	8.9	0.7	0.7	1.3	0.4

유역에서 축산계에 의한 발생유량과 BOD, T-N, T-P 오염물질 발생부하량은 표 3.4.9와 부록 표-14에 나타난 것과 같이 축산계에 의한 발생유량은 축산폐수에서 220.7m^3/일, 고형물에서 281.0m^3/일로 501.7m^3/일의 유량이 발생하고 있다.

BOD는 17,116.2kg/일이 발생되며 이중 축산폐수에 의해 1,234.9kg/일, 그리고 고형물에 의해 15,881.4kg/일, T-N은 3,863.7kg/일, T-P는 축산폐수와 고형물 합계 1,376.8kg이 일일 유구천 유역에서 축산에 의한 발생부하량을 나타내고 있는데 이 유역의 중류부인 신풍면 지역부터 하류지역까지 가축사육량이 많은 것으로 판단된다.

표 3.4.9 유구천 유역의 축산에 의한 오·폐수발생유량 및 발생부하량

비고	축산계발생유량(m^3/일)			축산계발생부하량(kg/일)								
				BOD			T-N			T-P		
	합계	폐수 발생	고형물 발생	합계	축산 폐수	축산 고형물	합계	축산 폐수	축산 고형물	합계	축산 폐수	축산 고형물
Headwater	1.557	0.588	0.969	62.91	5.76	57.14	14.12	3.70	10.42	4.49	0.31	4.18
Reach 1	74.851	24.279	50.572	2,746.87	120.75	2,626.12	622.60	69.98	552.62	221.76	10.30	211.46
Reach 2	2.599	1.244	1.355	80.62	10.96	69.67	18.78	6.85	11.92	5.73	0.63	5.11
Reach 3	18.151	7.126	11.026	646.54	53.74	592.80	149.50	35.09	114.41	48.87	3.37	45.50
Reach 4	22.380	15.249	7.131	521.61	72.28	449.33	121.39	36.16	85.23	46.69	6.88	39.81
Reach 5	104.828	62.834	41.994	2,648.81	337.57	2,311.24	618.87	181.16	437.71	223.32	28.60	194.72
Reach 6	104.707	24.026	80.681	5,054.58	156.11	4,898.47	1,106.45	97.41	1,009.03	390.87	11.05	379.82
Reach 7	41.507	27.644	13.863	821.48	153.84	667.64	200.74	83.59	117.16	70.78	12.62	58.15
Reach 8	112.568	54.122	58.445	3,562.81	286.56	3,276.25	803.21	149.39	653.82	292.16	24.47	267.69
Endwater	18.531	3.621	14.910	970.00	37.32	932.68	208.04	22.28	185.76	72.10	1.95	70.15

4.1.3 산업계에 의한 발생부하량

모든 폐수배출시설은 공정중에서 발생되는 폐수량과 원폐수의 농도를 예측하여 배출시설 설치허가 및 신고를 하도록 되어 있으며, 이로인한 오염물질 발생량은 농도뿐만 아니라 폐수발생량과 밀접한 관계가 있다.

표 3.4.11에 나타낸 것처럼 폐수발생유량에 발생농도를 곱하여 산정하며, 발생농도는 실측치 또는 업종별 표준발생농도로 하고 업종별 발생농도가 없는 경우 유사업종의 원단위를 적용하여 산정한다

산업계발생부하량 = Σ(업종별폐수발생유량 × 업종별폐수발생농도)

산업폐수 발생량 예측은 일반적으로 공업용수량을 예측하고 사업장별 폐수화율을 적용하여 폐수발생량을 적용하게 된다. 공업용수량을 예측할때는 『공업용수도 중장비계획수립에 관한 연구』[31]와 『산업입지 원단위 산정에 관한 연구』[32] 등의 원단위 연구를 주로 이용하고 있다.

사업장별 공업용수 원단위에 사업장 면적을 곱하여 사용공업용수량을 예측하고 사업장별 폐수화율을 곱하여 폐수발생량을 예측하게 된다. 발생폐수의 오염물질 농도는 『폐수배출시설 표준원단위 조사연구(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)』[33]에서 제시한 값을 주로 인용하고 있다.

표 3.4.10 산업시설에서의 물사용량, 폐수발생 및 방류량

(단위 : m^3/일, kg/일)

비 고	물공급량계	물공급량				물사용량		폐수발생량	폐수방류량	항목별 발생량				항목별 방류량			
		상수도	지하수	하천수	재이용수	공업	생활			BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N	T-P
Headwater	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 3	895.0	2.0	177.0	643.0	73.0	772.1	124.9	477.0	397.0	1,799.0	2,255.0	8.0	7.0	6.6	72.0	0.8	0.4
Reach 4	73.0	3.0	67.0	-	3.0	65.0	6.0	68.0	66.0	50.0	40.0	-	-	2.5	20.0	-	-
Reach 5	3.4	1.0	2.4	-	-	0.4	3.0	3.4	1.4	-	250.0	-	-	-	-	-	-
Reach 6	8.0	3.0	5.0	-	-	5.0	3.0	8.0	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Reach 8	51.0	1.0	22.0	-	28.0	50.0	1.0	29.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Endwater	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

이 유역에서의 산업시설에 대한 물 공급량은 일일 1,030.4m^3로 이중 하천수가 62.4%인 643.0m^3로 가장 공급량이 많으며 다음으로 26.5%의 273.4m^3으로 지하수가 공급되고, 재이용수와 상수도가 114.9m^3 이였다. 산업시설에서의 물사용량 중 공업에 이용되는 물사용량 공급량에 89.5%를 차지하고 있으며 나머지는 산업에서의 생활용수로 사용되고 있다.(표 3.4.10)

표 3.4.11 업종별 산업폐수 표준발생농도

업 종	표준산업 분류코드	업종 분류코드	표준발생농도(g/㎥)		
			BOD	T-N	T-P
도축, 고기가공 및 처리시설	1511	1	2,128	253	33
수산물 가공 및 처리시설	1512	2	1,912	228	21
과실 및 채소가공 및 저장 처리시설	1513	3	979	20	5.7
동·식물성 유지제조시설	1514	4	1,026	73	21
낙농품 제조 및 가공시설	1520	5	1,274	94	12
아이스크림 및 식용빙과류 제조시설	15202	6	1,809	21	11
곡물가공시설	1531	7	350	89	3
전분 및 당류제조시설	1532	8	2,086	25	5.3
동물 사료제조시설	1533	9	921	222	25
빵, 곡분과자 제조시설	1541	10	1,469	10	1
설탕 제조시설	1542	11	253	14	5
코코아제품 및 설탕과자제조시설	1543	12	1,153	24	8
국수, 라면 및 유사식품 제조시설	1544	13	572	113	3.5
조미료 및 식품첨가물 제조시설	1545	14	1,070	118	14
커피, 차류 및 조제수프 등 제조시설	1549	15	1,212	60	3.5
두부 및 유사식품 제조시설	15494	16	1,245	78	7
인삼식품 제조시설	15495	17	196	17	0.3
건강식품 제조시설	15497	18	692	118	25
식용해조류 가공, 저장시설	15125	19	1,912	228	21
달리 분류되지 않은 식료품 제조시설	15499	20	572	113	3.5
주정제조시설	1551	21	19,090	1649	81
소주·탁주·청주·과실주 제조시설	15512, 1552	22	1,914	56	10
맥아 및 맥주 제조시설	1553	23	1,761	234	11
비알콜성 음료품 제조시설	1554	24	1,309	16	0.9
담배 제조시설	1600	25	532	38.7	1.4
제사, 방적 및 직조시설	1710, 1720	26	1,198	21	4.4
섬유표백, 염색 및 가공시설	1740	27	631	37.8	16.4
기타 섬유제품 제조가공시설	179	28	356	73	13.3
가죽, 모피가공 및 제품제조시설	1820, 1910	29	2,000	125.5	20.1
신발제조시설	1930	30	203	16.4	4.1
제재, 목재 가공 및 콜크제조시설	2010	31	107	1.1	0
펄프, 종이 및 종이제품 제조시설	21	32	737	19.5	2.9
출판, 인쇄시설	22	33	950	35	9
코크스 및 관련제품 제조시설	2310	34	1,200	500	0
석유정제시설	232	35	123	12.3	1.1
석유증류 (상압, 감압)시설	232	36	150	18.2	0.7
석유전화 (분해, 개질)시설	232	37	131	8.9	0.6
윤활유 및 그리스 제조시설	23221	38	69	17.9	1
달리 분류되지 않은 석유정제시설	232	39	140	18.2	0.1
가스제조시설	24121	40	825	189.9	0.1
소다회, 가성소다 및 알카리 제조시설	24129	41	9,920	14.7	0.7
산업용화학물제조시설(무기화학물 제조)	24129	42	383	143.5	1.3
황산, 질산, 염산 제조시설	24129	43	176	39.2	0.5
암모니아 합성 및 유도제품 제조시설	24129	44	310	143.5	1.3
무기안료 제조시설	24129	45	113	287.5	0.6

금속의 산화물, 수산화물 및 염 제조시설	24129	46	6	6	0.1
화학원소 단체물질제조시설 무기화학제품 제조시설	24129	47	310	143.5	1.3
화학원소 단체물질제조시설 카본블랙 제조시설	24129	48	22	14.7	0.7
인산,비금속의 산화물,황화물,할로겐화합물 제조시설	24129	49	994	203.6	2.2
달리 분류되지 않은 기초 무기화학물 제조시설	24129	17899	624	181.3	2.9
유연제, 식물성 염료엑기스 제조시설	2413	50	550	32.1	6.6
염료 및 기타 착색제 제조시설	2413	51	2,551	354.7	2.6
석탄화학물 제조시설	24112	52	5,362	594.6	2
산업용 화학물 제조시설(유기화학물 제조)	2411	53	1,132	86.8	2.2
에틸렌 및 프로필렌계 화학물질 제조시설	24111	54	1,395	55	1.3
부틸렌계 화학물질 제조시설	24111	55	1,050	18.7	0.1
부타디엔계 화학물질 제조시설	24111	56	1,150	99.6	0.2
사이크로펜타디인계 화학물질 제조시설	24111	57	700	86.8	2.2
이소프렌계 화학물질 제조시설	24111	58	700	86.8	2.2
방향족 탄화수소계 화학물질 제조시설	24111	59	1,062	199.6	0.2
사이크로헥산계 화학물질 제조시설	24111	60	700	86.8	2.2
아세틸계 화학물질 제조시설	24111	61	700	86.8	2.2
달리 분류하지 아니한 석유화학계 기초화학물질 제조시설	24111	22282	1,003	60.9	9.3
검 및 나무화학물 제조시설	24113	62	302	27.6	5.4
달리 분류되지 않은 기초화학물 제조시설	24119	63	945	186	8.3
비료 제조시설	2414	64	809	376.3	1130
합성고무 제조시설	24151	65	139	21.4	6.3
합성수지 제조시설	24152	66	604	55.1	10.7
재생섬유소 및 그 유도체 제조시설	24153	67	629	161	0
살균 · 살충제 및 농업용 화학제품 제조시설	2431	68	5,002	156.7	1002
도료, 잉크 및 유사제품 제조시설	2432	69	1,562	13.3	10.4
의약품, 의료용 화합물 및 생약제재 제조시설	2421, 2422	70	1,088	20.4	7.5
비누 제조시설	24332	71	795	0	0
계면활성제 및 합성세제 제조시설	24331	72	5,433	11.9	0.5
치약 제조시설	24332	73	816	149	9
화장품 제조시설	24333	74	501	98.1	2.3
왁스 및 표면광택제 제조시설	24334	75	40	10.4	0.6
달리 분류되지 않는 비누, 세정광택제, 화장품 제조시설	2433	76	1,561	154.4	8.5
방향유 및 관련제품 제조시설	24392	77	410	43.9	8
접착제 및 젤라틴 제조시설	24393	78	406	27.7	7.3
화약 및 불꽃제품 제조시설	24394	79	50	48	0.1
비감광성 기록매체 제조시설	24341	80	350	26.6	0.2
사진용 화학제품 및 감광재료 제조시설	24342	81	203	1.7	1.4
가공염, 정제염 제조 및 고즙회수?처리시설	24391	82	101	2.4	0
달리 분류되지 않은 기타 화학제품 제조시설	24399	83	1,793	80.4	4
화학섬유 제조시설	2440	84	705	46.4	8.3
고무제품 제조시설	251	85	249	33.4	38.9
플라스틱 제품 제조시설	252	86	481	110.7	267.4
유리 및 유리제품 제조시설	261	87	374	120	0.5
도자기 제조시설	2621	88	209	18	1.2
요업제품 제조시설(도자기, 유리 제외)	2622	89	63	5.6	7.8
시멘트, 석회, 플라스틱 제조시설	2631	90	19	0	0
콘크리트, 시멘트 및 플라스틱제품 제조시설	2632	91	64	0	0
석제품 제조시설	2691	92	2	5	0

달리 분류되지 않은 비금속광물 제조시설	2699	93	22	0	0
제철시설	27111	94	69	0	0
합금철강 제조시설	27112	95	49	51.9	4.3
제강시설	27111	96	35	37.3	3.1
달리 분류되지 않은 제철 및 제강시설	27119	97	16	28.4	1.4
열간압연, 압출 및 인발제품 제조시설	27121	98	24	23.5	0.6
냉간압연, 압출 및 인발제품 제조시설	27122	99	25	51.8	8.2
철강선 제조시설	27123	100	24	40.6	2
강관 제조시설	27132	101	68	162.2	3.1
달리 분류되지 않은 철강, 압연, 압출, 연신 및 제관시설	271	102	39	66.8	0.2
달리 분류되지 않은 기타 철강산업시설	2719	103	42	34.3	29.9
구리 제련 및 정련시설	27211	104	28	32	1.9
알루미늄 제련 및 정련시설	27212	105	8	40	0.1
납 제련 및 정련시설	27213	106	239	110.5	5.8
아연 제련 및 정련시설	27213	107	63	53.5	1.6
달리 분류되지 않은 비철금속 제련 및 정련시설	27219	108	10	0	1.2
구리 압연 및 압출시설	27221	109	35	67.5	1.2
알루미늄 압연 및 압출시설	27222	110	27	29.6	0.9
달리 분류되지 않은 비철금속 압연 및 압출시설	27229	111	30	118.5	6.8
기타 비철금속 산업시설	2729	112	73	46.8	6.5
금속 주조시설	273	113	22	73.2	0
조립금속제품 제조시설	28	114	885	38.5	43.4
절연선 및 케이블 제조시설	3130	115	48	36.3	3.8
축전지 및 일차 전지 제조시설	3140	116	17	30.6	1.7
전구 및 조명장치 제조시설	315	117	16	2.5	0.1
전자부품, 영상, 음향 및 통신장비 제조시설	32	118	26	50.5	6.3
가구 제조시설	361	119	30	44	66
귀금속 장신구 및 관련제품 제조시설	3691	120	67	2.9	3.3
악기 제조시설	3692	121	175	16.5	0
운동 및 경기용구 제조시설	3693	122	81	58	9.2
달리 분류되지 않은 장난감, 장식품 및 일용품 제조시설	3699	123	67	2.9	3.3
화력발전시설	4011	124	17	36	0.1
먹는 샘물 제조시설	15542	125	15	3.3	0.1
수도사업시설	410	125-1	39	4	1
사진촬영 및 처리	7491	126	294	2.5	2
수산물 판매장 (면적 700㎡ 이상)	51313	127	643	24.5	4
병원시설 (80병상 이상)	8511	128	206	31	1.6
폐수처리업의 폐수처리시설		129	47	8.1	0.1
세탁시설 (용적 2㎥이상 또는 용수 1톤 이상)	9391	130	198	9.3	1.7
석탄광업시설 (채탄능력 8,000톤/월 이상)	101	131	60	2	0.1
금속광업시설	11	132	54	5.9	0.8
토사석 채취 · 가공시설	121	133	36	12.5	0.1
달리 분류되지 않은 광업 및 채석업	122	134	35	0	0
산업시설의 폐가스, 분진, 세정, 응축시설		135	15	3.3	0.1
산업시설의 정수시설		136	15	3.3	0.1
이화학시험시설 (면적 100㎡ 이상)		137	104	13.3	0.3
도금시설		138	67	2.9	3.3
운수장비 수선 및 세차 또는 세척시설	922	139	149	7	1
위의 모든분류에 속하지 아니하는 시설		140	557	74.4	5

표 3.4.12 산업시설에 의한 발생유량 및 부하량

비고	발생유량 (m^3/일)	발생부하량(g/일)		
		BOD	T-N	T-P
Headwater	0	0	0	0
Reach 1	0	0	0	0
Reach 2	0	0	0	0
Reach 3	477.0	128,704.2	3,536.8	1,909.3
Reach 4	68.4	82,285.0	9,716.1	1,045.8
Reach 5	3.4	4,408.4	535.2	72.5
Reach 6	8.0	8,704.0	163.2	60.0
Reach 7	0	0	0	0
Reach 8	29.0	1,941.0	7.0	1.0
Endwater	0	0	0	0

산업시설에서의 폐수발생량은 산업시설에 대한 물공급량의 56.8%인 585.4m^3이고, 방류량은 폐수발생량에 80.9%인 473.4m^3이다.

오염물질 발생부하량은 BOD가 226.04kg/일, T-N 14.0kg/일, T-P 3.1kg/일로 대체로 산업시설은 주로 유구천 중류지역인 유구읍 주변에 위치하고, 산업시설에 의한 오염부하량은 그다지 크지 않는 것으로 사료된다.

4.1.4 양식장에 의한 발생부하량

양식장시설에 의한 발생원단위는 시설형태에 따라 가두리식과 유수식으로 구분할 수 있으며, 양식장으로부터의 오염물질은 시설면적과 발생원단위의 곱으로 산정할 수 있고, 양식장 발생원단위는 표 3.4.13과 같으며 표 3.4.15와 같은 월별 발생원단위를 사용하여 발생부하량을 산정할 수도 있으며, 이 유역에서 양식장에 의한 발생부하량은 표 3.4.16과 같다.

표 3.4.13 양식장 발생원단위

구분	BOD ($g/m^2 \cdot$ 일)	T-N ($g/m^2 \cdot$ 일)	T-P ($g/m^2 \cdot$ 일)
가두리	86	10.52	5.37
유수식 및 기타	38.4	5.15	0.978

① 사료투여량 자료가 확보된 경우 양식장의 월별 사료투여량(kg/월)에 발생부하비를 곱하여 월별로 산정한다.

$$\text{양식계발생부하량} = \frac{\text{발생부하비} \times \text{월사료투여량}}{\text{월간일수}(=28,29,30,31)}$$

표 3.4.14 양식장 사료투여량 대비 발생부하비

BOD_5	T-N	T-P
0.25	0.05	0.013

② 사료투여량 자료 미확보시 양식장의 시설면적에 시설면적기준 발생부하원단위를 곱하여 산정한다.

양식계발생부하량 = 시설면적 × 발생부하원단위

표 3.4.15 양식장 발생부하 원단위

(단위 : g/m^2/일)

월	가두리(이스라엘잉어)			도전양식(미꾸라지)			유수식(대하)			유수식(송어)		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
1월	2.35	0.46	0.13	0	0	0	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
2월	1.93	0.38	0.1	0	0	0	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
3월	2.43	0.47	0.13	0.5	0.1	0.03	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
4월	24.16	4.71	1.31	2.49	0.48	0.13	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
5월	37.08	7.23	2.01	3.63	0.7	0.19	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
6월	109.04	21.27	5.9	10.68	2.07	0.56	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
7월	146.67	28.61	7.93	14.36	2.78	0.76	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
8월	155.67	30.36	8.42	15.24	2.95	0.81	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
9월	169.22	33	9.15	16.57	3.21	0.88	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
10월	149.39	29.14	8.08	14.63	2.83	0.77	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
11월	102.2	19.93	5.53	10.01	1.94	0.53	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83
12월	20.06	3.91	1.08	0	0	0	3.18	0.62	0.17	15.31	2.99	0.83

표 3.4.16 양식장에 의한 발생부하량

(단위 : g/일)

항목	지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
BOD	Reach 1	19,355.8	21,430.6	19,357.8	20,004.0	19,359.8	20,006.0	19,361.8	19,362.8	20,009.0	19,364.8	20,011.0	19,366.8
	Endwater	1,209.7	1,339.3	1,209.7	1,250.0	1,209.7	1,250.0	1,209.7	1,209.7	1,250.0	1,209.7	1,250.0	1,209.7
T-N	Reach 1	3,871.0	4,285.7	3,871.0	4,000.0	3,871.0	4,000.0	3,871.0	3,871.0	4,000.0	3,871.0	4,000.0	3,871.0
	Endwater	241.9	267.9	241.9	250.0	241.9	250.0	241.9	241.9	250.0	241.9	250.0	241.9
T-P	Reach 1	1,006.5	1,114.3	1,006.5	1,040.0	1,006.5	1,040.0	1,006.5	1,006.5	1,040.0	1,006.5	1,040.0	1,006.5
	Endwater	62.9	69.6	62.9	65.0	62.9	65.0	62.9	62.9	65.0	62.9	65.0	62.9

4.1.5 토지계에 의한 발생부하량

토지이용에 따른 오염물질은 지표면에 누적되어 잔존하는 비료, 농약, 동·식물 잔여물, 대기 및 교통량에 따른 오염물질 그리고 먼지와 폐기물 등이 주로 강우시 지표수와 혼합

되어 집중적으로 배출된다.

토지계에 의한 발생부하량은 비점오염원의 형태로 발생되며, 토지의 이용형태에 따라 논, 밭, 임야, 대지, 목장, 골프장 및 기타 지역으로 구분할 수 있으며, 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하 원단위 및 강우배출비를 적용하여 다음의 산식으로 월별 발생부하량을 개략적으로 산정할 수 있고, 표 3.4.17에 토지이용별 연평균 발생부하원단위를 나타내고 있다.

$$\text{토지계발생부하량} = \Sigma(\text{지목별 면적} \times \text{지목별연평균발생부하원단위} \times \text{강우배출비})$$

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

$$\text{월유효강우량비} = \frac{10mm/\text{일이상강우고의강우량월합계}}{10mm/\text{일이상강우고의강우량연합계}}$$

표 3.4.17 토지계 지목별 연평균발생부하원단위

지목	BOD	T-N	T-P
논	2.30	6.56	0.24
밭	1.60	9.44	0.61
임야	1.00	2.20	0.14
대지	85.90	13.69	2.10
목장	35.10	5.37	1.72
골프장	1.0	3.56	2.76
기타	0.960	0.759	0.027

비고 : - 밭은 지목별 면적중 전과 과수원을 포함한다.
- 대지는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장제외), 유원지, 종교용지, 사적지를 포함한다.
- 기타는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지를 포함한다.

표 3.4.18 토지이용에 따른 BOD발생부하량

비고	BOD발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	4,692.8	1,446.0	2,896.7	15,580.3	13,949.9	7,085.4	33,154.9	62,376.8	9,012.8	12,430.1	4,158.6	4,761.9
Reach 1	39,693.1	12,230.3	24,500.9	131,781.3	117,991.5	59,929.9	280,431.3	527,597.1	76,232.4	105,136.5	35,174.4	40,277.4
Reach 2	8,873.5	2,734.1	5,477.2	29,460.1	26,377.3	13,397.5	62,691.2	117,945.7	17,041.9	23,503.6	7,863.3	9,004.1
Reach 3	37,497.2	11,552.6	23,141.2	124,488.2	111,464.8	56,615.8	264,886.3	498,344.0	72,007.3	99,307.7	33,226.0	38,048.2
Reach 4	22,457.3	5,088.7	6,542.6	70,017.7	68,396.1	36,311.8	105,240.1	185,851.5	29,909.0	38,093.5	15,573.4	21,060.1
Reach 5	120,205.5	25,083.4	26,406.8	369,434.9	368,027.4	197,193.5	500,448.1	862,233.8	144,533.4	178,729.9	78,266.0	110,693.5
Reach 6	114,341.3	30,473.0	51,557.1	367,813.6	344,150.8	178,886.1	668,995.2	1,227,071.4	185,239.1	247,273.5	90,078.9	111,534.4
Reach 7	35,056.0	7,912.6	10,089.7	109,221.5	106,794.2	56,723.4	163,380.6	288,217.9	46,465.4	59,104.0	24,237.2	32,845.8
Reach 8	64,704.2	12,767.7	12,767.7	190,482.9	188,330.8	99,463.5	248,414.3	442,116.0	74,442.2	88,520.5	39,450.1	56,092.1
Endwater	8,247.6	1,524.1	1,524.1	22,659.3	21,927.8	11,222.5	28,743.5	54,817.6	9,147.3	10,261.4	4,587.9	6,469.7

토지계의 발생부하량은 지역의 특성에 따라 유역내 전체 토지계를 구획하여 조사하는 것을 원칙으로 하나, 대표유역을 선정하여 도출된 표본조사 결과를 동질한 유형의 토지계에 적용할 수 있으며 유량과 수질을 연속 측정하여 수문곡선(hydrograph)과 오염부하곡선(pollutograph)을 도출하고 이로부터 월별 부하량을 산정하는 것으로 유구천 유역내 토지계에서 발생하는 월별 BOD, T-N, T-P 발생부하량은 표 3.4.18, 3.4.19, 3.4.20 그리고 부록 표-15, 표-16, 표-17과 그림 3.4.2에 나타낸 것과 같으며 토지계에서 발생한 발생부하량은 BOD 1,096.6kg/일, T-N 961.9kg/일, T-P 71.1kg/일이다.

표 3.4.19 토지이용에 따른 T-N 발생부하량

비고	T-N 발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	5,974.2	1,840.8	3,687.6	19,834.4	17,758.9	9,020.1	42,207.8	79,408.7	11,473.7	15,824.1	5,294.1	6,062.2
Reach 1	41,624.4	12,825.3	25,693.0	138,193.1	123,732.3	62,845.8	294,075.7	553,267.2	79,941.4	110,251.9	36,885.8	42,237.1
Reach 2	8,157.3	2,513.4	5,035.2	27,082.4	24,248.4	12,316.2	57,631.5	108,426.5	15,666.5	21,606.6	7,228.7	8,277.4
Reach 3	22,290.7	6,867.6	13,756.6	74,003.5	66,261.6	33,656.0	157,464.9	296,246.8	42,805.7	59,034.7	19,751.6	22,618.2
Reach 4	20,357.5	4,670.3	6,160.3	63,613.3	61,949.6	32,841.2	97,074.5	172,005.2	27,526.9	35,202.2	14,252.9	19,145.1
Reach 5	112,431.8	23,669.2	25,530.6	346,059.4	344,040.8	184,167.8	474,152.8	819,270.2	136,688.3	169,601.4	73,696.2	103,731.2
Reach 6	98,485.3	26,828.7	46,732.0	318,250.1	295,906.0	153,315.8	593,188.9	1,092,684.5	163,750.3	219,776.3	78,961.7	96,616.4
Reach 7	34,314.4	7,679.7	9,614.0	106,748.4	104,593.8	55,609.7	158,010.7	278,085.4	45,008.8	57,087.4	23,569.5	32,089.1
Reach 8	44,410.0	8,801.3	8,801.3	131,336.9	130,028.5	68,804.4	171,578.1	304,015.5	51,219.8	61,133.6	27,239.4	38,750.1
Endwater	7,964.9	1,505.6	1,505.6	22,411.7	21,854.4	11,313.0	28,711.7	53,440.4	8,945.2	10,243.3	4,574.4	6,469.9

표 3.4.20 토지이용에 따른 T-P 발생부하량

비고	발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	390.7	120.4	241.2	1,297.1	1,161.4	589.9	2,760.3	5,193.2	750.4	1,034.9	346.2	396.5
Reach 1	1,210.3	372.9	747.1	4,018.1	3,597.7	1,827.3	8,550.6	16,086.9	2,324.4	3,205.7	1,072.5	1,228.1
Reach 2	633.1	195.1	390.8	2,102.0	1,882.1	955.9	4,473.1	8,415.6	1,216.0	1,677.0	561.1	642.5
Reach 3	1,818.4	560.2	1,122.2	6,036.9	5,405.4	2,745.5	12,845.4	24,166.6	3,491.9	4,815.8	1,611.3	1,845.1
Reach 4	1,502.2	342.8	447.4	4,689.6	4,572.9	2,425.7	7,111.1	12,582.6	2,018.3	2,576.8	1,047.5	1,411.0
Reach 5	8,291.2	1,739.5	1,858.8	25,505.0	25,376.3	13,589.1	34,791.3	60,048.0	10,036.7	12,437.2	5,420.5	7,643.9
Reach 6	7,289.7	1,967.5	3,385.8	23,510.8	21,918.7	11,372.2	43,372.6	79,752.1	11,988.3	16,053.6	5,801.3	7,134.1
Reach 7	2,602.4	586.8	746.6	8,106.8	7,928.6	4,211.8	12,111.4	21,359.6	3,445.1	4,380.7	1,797.9	2,437.8
Reach 8	3,792.7	751.4	751.4	11,212.0	11,099.0	5,872.1	14,645.1	25,959.1	4,373.3	5,218.1	2,325.1	3,307.5
Endwater	496.8	93.6	93.6	1,393.2	1,357.2	701.5	1,782.5	3,328.7	556.9	636.0	284.1	401.6

비점오염원에 의한 오염물질 발생부하는 강우와 밀접한 관련을 가지고 있지만 조사대상 전역이 농사업을 주로 하는 농경지를 포함하여 임야, 목장 등이 대부분으로 농사철과도 무관하지는 않을 것이다. 토지계에서의 월별 발생부하량을 살펴보면 강우량과도 밀접한 관련을 가지고 있으며 강우량이 많은 7~8월의 발생빈도가 가장 높고, 겨울내 유역주변에 산재되어 있던 오염원이 초기강우 사상에 의해 하천으로 유입될 수 있는 4~5월의 발생부하율

도 높은 것으로 나타났다.

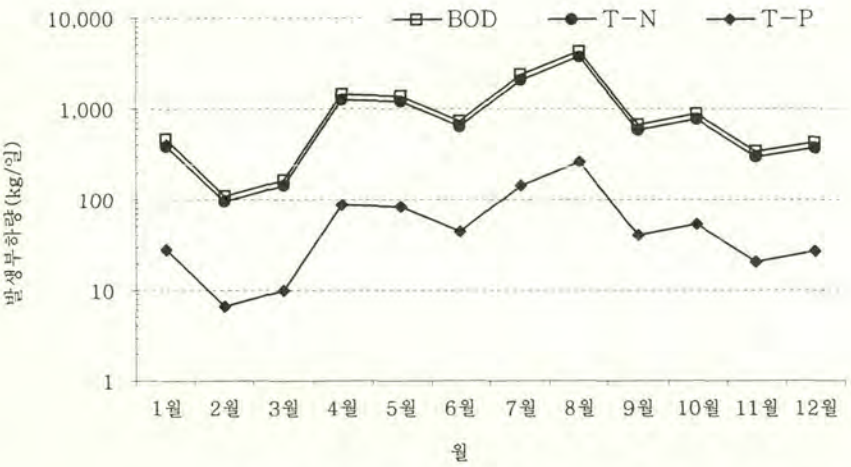


그림 3.4.2 토지이용에 따른 오염물질 발생부하량

4.1.6 매립계에 의한 발생부하량

매립계의 오염물질 발생부하량은 폐기물 매립시설의 침출수 발생유량에 발생농도를 월별로 곱하여 산정한다.

매립계발생부하량 = 침출수발생유량 × 침출수발생농도

유구천유역에서의 위생매립시설은 위치하고 있지 않아 매립시설에 의한 발생부하량은 없었다.

표 3.4.21 환경기초시설에 유입되는 오염부하량

구간	지역	명칭	처리용량 (m^3/일)	환경기초시설내 유입부하량(g/일)			
				유입유량(m^3/일)	BOD	T-N	T-P
Reach 1	유구읍 문금리	검단지구	40	38.0	632.3	1,185.5	185.0
Reach 4	유구읍 만천리	작은골지구	30	21.0	349.4	655.1	102.3
Reach 5	신풍면 동원리	원골지구	36	35.2	992.6	1,136.3	150.2
Reach 8	우성면 상서리	철목지구	29	28.3	1,314.5	639.9	86.0
	우성면 단지리	우성지구	102	61.2	2,842.7	1,383.7	186.0

유구천유역에서는 5개 마을하수처리시설이 설치되어 있는 유역으로 총 처리용량은 267m^3/일로 대상유역내 마을단위가 큰 지역에 위치하며 생활하수를 하천으로 직접 방류하지 않고 일차적으로 처리시설을 거친 후 유역으로 방류하고 있다.

5. 배출부하량 산정

배출부하량의 산정을 위해서는 발생된 오염물질이 처리된 후 수계에 배출되는 경로에 관한 연구가 필요하다. 오염물질의 배출경로를 살펴보면 무처리상태로 배출되는 경우, 발생원에서 개별처리시설을 거쳐 배출되는 경우와 환경기초시설을 거쳐 배출되는 경우 등으로 구분할 수 있다.

오염물질의 배출량은 배출유량과 배출부하량으로 구분하여 BOD_5, T-N, T-P 등 배출유형별로 산정한다. 배출부하량 산정시 적용하는 원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 수질오염총량관리 업무편람의 지침에서 제시하는 원단위를 적용하였다.

유구천 유역에서의 총 배출부하량에 대해 살펴보면 구획별, 오염원별 배출유량 및 부하량은 그림 3.5.1에 나타내었다. 일일 총 배출유량은 4,587.0m^3이고 항목별 배출부하량 중 BOD는 발생부하량에 87.7%가 물리 · 화학 · 생물학적인 처리과정에 의해 제거된 후 2,428.5 kg, T-N은 67.1%가 제거된 1,698.3kg, T-P는 90.3%가 제거된 144.0kg이 해당 유역에 배출되고 있는 것으로 조사되었다.

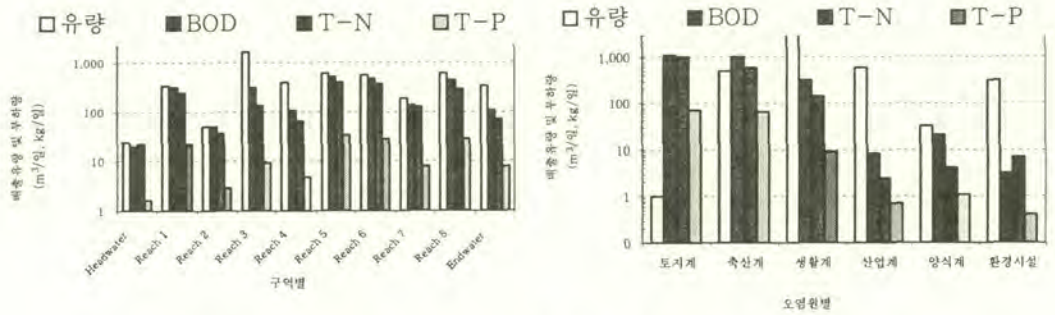


그림 3.5.1 구역별 및 오염원별 배출유량 및 오염부하량

5.1 생활계에 의한 배출부하량 산정

① 생활계 배출원은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 처리구역은 우수와 오수를 함께 배제하는 합류식 하수관거 사용인구와 우수와 오수를 분리하여 배제하는 분류식하수관거 사용인구로, 미처리구역은 재래식화장실(수거식), 단독정화조, 오수처리시설 사용인구로 세분화한다.

② 오염물질의 배출성상은 잡배수와 분뇨로 구분한다.

③ 재래식 화장실 사용인구의 오염물질 배출경로는 잡배수의 하수배출, 분뇨의 화장실에서의 분해, 침출 및 농지환원, 분뇨처리장 이송으로 세분화한다.

④ 단독정화조 사용인구의 오염물질 배출경로는 분뇨 및 세정수의 정화조에서의 분해, 정화조오니의 분뇨처리장 이송, 정화조 상등액과 잡배수의 하수배출로 세분화한다.

⑤ 오수처리시설 사용인구의 오염물질 배출경로는 잡배수와 분뇨의 오수처리시설 분해, 정화조오니의 분뇨처리장 이송, 처리수의 방류로 세분화한다.

⑥ 합류식 하수처리구역내의 오수처리시설 사용인구의 분뇨는 단독정화조 수준의 개별처리 후 관거로 유입되는 것으로 본다.(합류식 하수처리구역내 오수처리시설은 법적 가동의무가 없음에 따라 대부분 단순정화조 기능을 하고 있다).

⑦ 분류식관거 사용인구의 잡배수와 분뇨는 개별처리 없이 직접 관거로 유입되는 것으로 본다.

⑧ 분뇨처리장으로 이송된 수거식 분뇨와 정화조오니의 배출경로는 처리 후 공공수역으로의 직접방류와 병합처리시설(주로 하수처리시설)로의 연계처리로 구분한다.

⑨ 관거로 유입된 생활계 오염물질의 배출경로는 다음과 같이 세분화한다.

· 관거저류변화 : 관거에서 오염물질의 분해, 침전 및 퇴적, 관거퇴적물의 재부상으로 인한 변화

· 관거누수 : 관거불량 부위로부터 오염물질의 누수

· 관거월류 : 우기시 관거용량 부족으로 합류식 관거의 맨홀로부터 월류, 분류식관거의 맨홀로부터의 월류, 환경기초시설의 처리시설용량 부족으로 건기 및 우기시 미처리 배제

· 관거이송 : 환경기초시설 처리시설로의 이송 · 유입

· 방류 : 환경기초시설 처리시설에서의 처리 후 방류

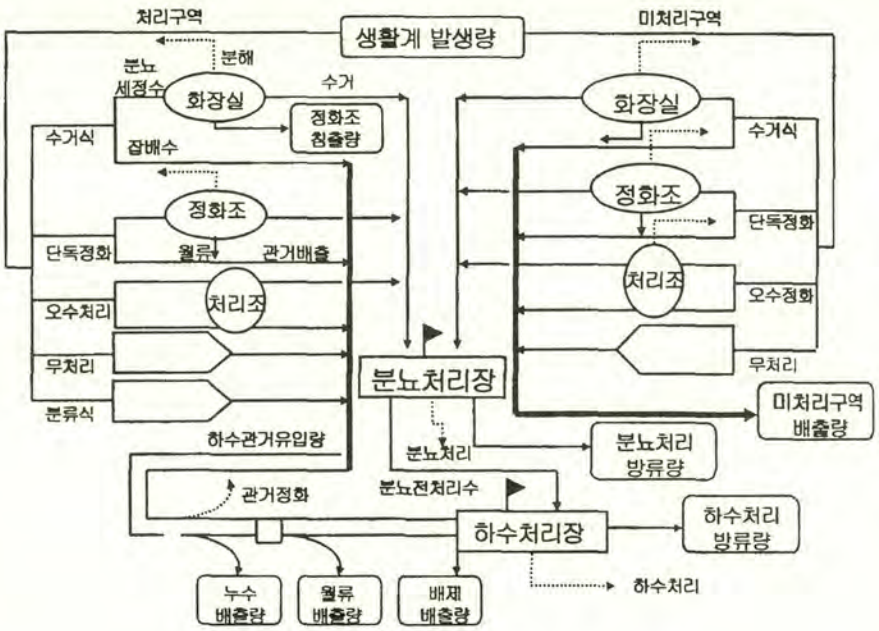


그림 3.5.2 생활계 오염물질 배출구조

5.1.1 직접이송량

① 생활계의 직접이송량은 분뇨 등이 수거 등의 방법으로 이송되어 환경기초시설에 직접 투입되는 양(분뇨전처리수 직접이송량 제외)이며, 수거분뇨와 정화조 오니로 구분하여 각각 산정한다.

② 수거분뇨직접이송비는 해당 분뇨처리구역의 처리대상 수거분뇨량에 대한 환경기초시설의 연평균 수거분뇨직접이송량의 비율로 산정(합류식 처리구역에서 수거식 화장실이 존재하는 경우 이를 포함), 정화조오니직접이송비는 해당 분뇨처리구역의 처리대상 정화조오니량(미처리구역의 수거식을 제외한 수세식 인구의 분뇨발생량, 이중 분류식 하수처리인구에 의한 분뇨 발생량은 제외)에 대한 환경기초시설의 연평균 정화조오니직접이송량의 비율로 산정한다.

수세식배출원직접이송대상량 = 배출원직접이송대상계수 × 수세식배출원분뇨발생량

$$\text{정화조오니직접이송비} = \frac{\text{환경기초시설연평균정화조오니직접이송량}}{\Sigma\text{수세식배출원직접이송대상량}}$$

수거식배출원직접이송대상량 = 배출원직접이송대상계수 × 수거식배출원분뇨발생량

$$\text{수거분뇨직접이송비} = \frac{\text{환경기초시설연평균생활계수거분뇨직접이송량}}{\Sigma\text{수거식배출원직접이송대상량}}$$

표 3.5.1 생활계배출원 직접이송대상계수 및 개별삭감대상계수

하수처리구역		하수미처리구역		
합류식	분류식	오수처리	단독정화	수거식
1	0	1	1	1

③ 배출원별 직접이송량은 직접이송대상량에 직접이송비를 곱하여 산정한다.

수세식배출원직접이송량 = 정화조오니직접이송비 × 수세식배출원직접이송대상량
수거식배출원직접이송량 = 수거분뇨직접이송비 × 수거식배출원직접이송대상량
생활계배출원직접이송량 = 수세식배출원직접이송대상량 + 수거식배출원직접이송대상량

표 3.5.2와 부록 표-18에 나타낸 바와 같이 생활계에서의 최종 배출유량은 3,152.5m^3/일이며 이중 개별배출유량이 94.3%인 2,971.9m^3/일을 차지하고 있음은 아직 이 유역내 오·하수 관련 처리시설이 턱없이 부족한 실정 때문이다. 따라서 환경기초시설의 설치로 유역 인근 하천의 수질개선이 필요한 지역이라 할 수 있다. 아울러 생활계 배출원에서의 BOD, T-N, T-P에 대한 오염물질 직접이송량을 부록 표-19, 표-20, 표-21에 나타내었다.

표 3.5.2 생활계에서의 배출유량

비고	유량 (m^3/일)						
	직접이송	개별삭감	관거유입	개별배출	관거누수	처리장배출	최종배출
Headwater	0.5	0	0	21.7	0	0	21.7
Reach 1	3.8	0	54.0	166.2	16.0	38.0	220.3
Reach 2	1.9	0	0	49.2	0	0	49.2
Reach 3	19.7	0	0	1,079.1	0	0	1,079.1
Reach 4	5.1	0	14.2	294.3	0	14.2	308.4
Reach 5	9.0	0	50.0	396.8	14.8	35.2	444.0
Reach 6	10.6	0	0	490.7	0	0	490.7
Reach 7	3.3	0	0	151.6	0	0	151.6
Reach 8	6.2	0	68.1	284.5	5.8	62.3	349.8
Endwater	0.9	0	0	37.7	0	0	37.7

5.1.2 개별삭감량

① 생활계 배출원의 개별삭감량은 개별삭감대상량에 개별삭감비를 곱하여 산정한다.

수거식배출원개별삭감대상량 = 개별삭감대상계수 × 수거식배출원분뇨발생량

합류식처리구역개별삭감대상량 = 개별삭감대상계수 × 합류식처리구역분뇨발생량

분류식처리구역개별삭감대상량 = 개별삭감대상계수 × 분류식처리구역분뇨발생량

미처리구역오수처리개별삭감대상량 = 개별삭감대상계수 × 미처리구역오수처리인구오수발생량

미처리구역단독정화개별삭감대상량 = 개별삭감대상계수 × 미처리구역단독정화인구분뇨발생량

② 개별삭감량은 무시한다.

③ 수거식화장실의 BOD, T-N의 삭감부하비는 보존성물질인 인의 환경기초시설 이송비에 대한 상대이송비율을 통해 추정한다(합류식처리구역내에 수거식화장실이 존재하는 경우 같은 방식으로 산정).

$$\text{수거식화장실 } BOD\text{삭감부하비} = 1 - \frac{\text{환경기초시설수거분뇨 } BOD\text{직접이송부하비}}{\text{환경기초시설수거분뇨 } T-P\text{직접이송부하비}} \quad \text{식a}$$

$$\text{수거식화장실 } T\text{-}N\text{삭감부하비} = 1 - \frac{\text{환경기초시설수거분뇨 } T-N\text{직접이송부하비}}{\text{환경기초시설수거 } T-P\text{직접이송부하비}} \quad \text{식b}$$

④ 합류식 처리구역의 수세식 정화조와 미처리구역 단독정화조의 BOD 삭감부하비는 0.25(25%)를 적용한다.

⑤ 미처리구역 오수처리시설의 BOD삭감부하비는 정화조오니직접이송부하비와 오수처리시설 방류부하비를 감하여 산정한다.

$$BOD\text{삭감부하비} = 1 - \text{정화조오니 } BOD\text{직접이송부하비} - BOD\text{방류부하비} \quad \text{식c}$$

$$BOD\text{방류부하비} = \frac{\text{기준초과율} \times \text{방류유량} \times \text{방류수수질기준}}{\text{오수발생부하량}}$$

방류유량 = 오수처리시설오수발생유량 - 오수처리시설 정화조오니직접이송유량

기준초과율 : 오수처리시설 BOD방류수수질기준 초과율

방류수수질기준 : 상수원관리지역 10g/m^3, 그 외 지역 20g/m^3
오수발생유량 : 오수처리인구 BOD 발생부하량

표 3.5.3 생활계 배출원 개별삭감비

항목		하수처리구역		하수미처리구역		
		합류식	분류식	오수처리	단독정화	수거식
개별삭감유량비		0	0	0	0	0
개별삭감부하비	BOD	0.25	0	식 c	0.25	식 a
	T-N	0	0	0	0	식 b
	T-P	0	0	0	0	0

⑥ 생활계 배출원의 개별삭감량은 개별삭감대상량에 개별삭감비를 곱하여 산정한다.
생활계배출원개별삭감량 = 생활계배출원개별삭감비 × 생활계배출원개별삭감대상량

대상유역에 대한 하천 및 각 Reach별 생활계 배출원에서의 BOD개별삭감량과 T-N, T-P개별삭감대상량을 부록 표-22와 부록 표-23에 나타낸 것과 같이 BOD삭감대상량은 총 570.02kg/일이며, T-N은 232.8kg/일, T-P는 26.0kg/일로 삭감대상량이 많은 지역은 인구밀집이 높은 Reach 3유역으로 수거식이나 오수처리 및 단독정화 등에 의한 삭감량이 높았다.

5.1.3 관거유입량

가. 폐하수 관거유입량

① 생활계의 개별배출원별 관거유입량은 처리구역내 발생량에서 개별삭감량과 직접이송량을 감한 양으로 한다.
오염원별배출원관거유입량 = 오염원별배출원[발생량 - 개별삭감량 - 직접이송량]

② 환경기초시설에 연결된 관거별 폐하수 관거유입량은 해당 차집구역의 오염원별관거유입량을 모두 합한 양으로 한다.
폐하수관거유입량 = Σ오염원별관거유입량

나. 불명수 관거침투량

① 불명수의 관거침투량은 환경기초시설에 연결된 관거배수설비에 관거의 불량부위를 통하여 지하수, 복류수, 하천수 등이 침투하는 양을 말한다.

② 불명수침투유량은 비강우시를 기준으로 관거구간을 세분하여 관거유량을 실측하거나 환경기초시설의 유입량을 기준으로 다음의 개략식으로 산출할 수 있다.
불명수관거유입유량 = 일중최소이송유량 - 야간활동폐하수이송유량

· 일중최소이송유량이란 비강우시 환경기초시설로 이송된 유량과 처리용량부족으로 배제된 유량을 합한 양이 일중 최소치를 보이는 시점의 유량을 말한다.

· 야간활동폐하수이송유량은 비강우시 야간에 관거로 유입되어 환경기초시설로 이송되는 유량과 처리장 용량 부족으로 배제되는 폐하수를 합한 양으로서 환경기초시설의 일간최대유입유량과 일간평균유입유량 등에 대한 비율, 물질수지식 등으로 추정할 수 있다.

③ 불명수관거침투부하량은 불명수침투유량에 유입농도를 곱하여 산정한다.

불명수침투부하량 = 불명수침투유량 × 불명수침투농도

④ 불명수침투비는 처리구역의 폐하수관거유입량(생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계, 매립계의 유입량)과 토지계관거유입량에 대한 불명수침투량의 비로 산정한다.

총관거유입량 = 폐하수관거유입량 + 토지계관거유입량

$$\text{불명수침투비} = \frac{\text{불명수침투량}}{\text{총관거유입량}}$$

5.1.4. 환경기초시설 분석

가. 누수유량비

① 누수유량비는 총관거유입유량에 대한 환경기초시설로의 관거이송과정에 누수되는 유량의 상대비이다. 기존 운영중인 시설의 누수유량비는 하수관 맨홀에서 월류가 없었던 해당 월에 대하여 산정하고 그 평균값을 우기시 맨홀에서 월류가 있었던 해당 월에 대해 월별로 동일하게 적용한다.

총관거유입유량 = 폐하수관거유입유량 + 토지계관거유입유량

$$\text{누수유량비} = 1 + \text{불명수침투유량비} - \frac{\text{총관거이송유량} + \text{처리장미처리배제유량}}{\text{총관거유입유량}}$$

오염원별 누수유량 = 누수유량비 × 오염원별 관거유입유량

오염원별 누수부하량 = 누수유량비 × 오염원별 관거유입유량

② 기존 운영시설의 장래 관거 누수유량비는 관거 정비계획이 없는 경우 가장 최근의 월별 누수유량비를 적용하며, 관거 정비계획이 있는 기존시설이나 확충 및 신설시설에 대한 장래 관거 누수유량비는 계획 누수유량비를 적용하되 그 타당성을 입증할 수 있는 구체적인 관거 정비·신설계획을 첨부하여 제시한다.

나. 관거이송비

① 오염원별 관거이송량은 해당 환경기초시설의 처리구역내 오염원별 관거유입량에 관거이송비를 곱하여 산정한다.

오염원별관거이송량 = 관거이송비 × 오염원별관거유입량

② 기존운영시설의 관거이송비는 해당 환경기초시설의 처리구역내 총관거유입량에 대한 환경기초시설의 총관거이송양의 비로서 산정한다.

$$\text{관거이송유량비} = \frac{\text{총관거이송유량} - \text{불명수침투유량}}{\text{총관거유입유량}}$$

$$\text{관거이송부하비} = \frac{\text{총관거이송부하량} - \text{불명수침투부하량}}{\text{총관거유입부하량}}$$

③ 장래 환경기초시설의 관거이송유량비는 계획 불명수침투유량비, 계획 누수유량비, 계획 월류유량비를 적용하여 산정하고, 관거이송부하비는 관거이송유량비와 관거이송농도비의 곱으로 산정한다.

관거이송유량비 = (1 + 불명수침투유량비 - 누수유량비) × (1 - 월류유량비)

관거이송부하비 = 관거이송유량비 × 관거이송농도비

$$\text{관거이송농도비} = \frac{1 + \text{불명수침투부하비} - \text{누수유량비} - \text{관거저류변화비}}{1 + \text{불명수침투유량비} - \text{누수유량비}}$$

다. 월류유량비

① 기존운영시설의 월류비는 총관거유입유량과 불명수침투유량에서 누수유량을 감한 유량에 대한 관거월류(CSOs, SSOs) 및 처리장의 용량부족으로 배제되는 유량비로서, 기존 운영중인 시설의 경우 관거이송유량비, 불명수침투유량비, 누수유량비로부터 산정한다.

$$\text{월류유량비} = 1 - \frac{\text{관거이송유량비}}{1 + \text{불명수침투유량비} - \text{누수유량비}}$$

② 장래 환경기초시설의 처리구역내 관거 월류유량비는 적용년도에 대해 월별로 10mm/일의 강우강도를 기준으로 건기와 강우기를 구분하여 월류유량비를 구한다(건기 및 강우기의 월류유량비가 0보다 작은 경우 월류유량비는 0으로 한다).

$$\text{월류유량비} = 1 - \frac{\text{처리장시설용량}}{(1 + \text{불명수침투유량비} - \text{누수유량비}) \times \text{총관거유입유량}}$$

라. 관거저류변화비

① 관거저류변화비는 해당 환경기초시설의 처리구역내 오염원별 관거유입량에 대한 관거내 물질퇴적, 물질분해, 오니제거, 퇴적물 월류 등에 의한 변화량의 비로서 기존 운영시설에 대해서는 다음의 산식으로 계산한다.

$$\text{관거저류변화비} = 1 - \text{누수유량비} + \text{불명수침투부하비} - \frac{\text{관거이송부하비}}{1 - \text{월류유량비}}$$

② 장래 환경기초시설의 관거저류변화비는 유사한 기존 운영시설에 대한 실측자료를 통해 추정한다.

마. 관거배출비

① 폐하수 및 토지유출수의 관거배출비는 관거유입량에 대하여 환경기초시설로의 관거이송 과정에 누수, 월류, 배제에 의해 배출된 양의 상대비로서 다음의 산식으로 산정한다.

관거배출유량비 = 누수유량비 + (1+ 불명수침투유량비-누수유량비) × 월류유량비

관거배출부하비 = 1 - 관거이송부하비 - 관거저류변화비

② 불명수의 관거배출비는 불명수침투량에 대하여 환경기초시설에서의 배제에 의해 배출된 양의 상대비로서 월류유량비로 한다.

바. 직접이송분석

① 기존 운영시설의 오염원별 직접이송량은 오염원별 이송유량과 이송농도를 측정하여 산정한다.

② 장래의 직접이송비는 수거계획상 이송비를 적용하되 보다 제고된 이송비를 적용하는 경우에는 해당 수거계획의 내역을 제출한다.

.사. 방류량분석

① 환경기초시설의 방류수가 다른 연계처리시설로 연계처리되는 경우를 제외하고 공공수역으로 방류되는 경우에 대해서만 산정한다(전량 연계처리시 연계처리유량비는 1, 비연계 처리시는 0, 일부분만 연계처리하는 경우는 방류량에 대한 연계처리유량비).

② 기존 운영중인 환경기초시설의 오염원별 방류량은 총방류량에 오염원별 방류비를 곱하여 산정한다(불명수 침투량은 토지계 이송량에 삽입한다).

오염원별방류량 = 오염원별방류비 × 환경기초시설총방류량

오염원별방류비 = (1 - 연계처리유량비) × 오염원별이송비

$$\text{오염원별이송비} = \frac{\text{환경기초시설오염원별관거이송량} + \text{오염원별직접이송량}}{\text{환경기초시설총유입량}}$$

③ 장래 환경기초시설의 오염원별 방류량은 오염원별 이송유량에 계획처리비를 적용하여 산정하며 계획처리비는 기존 운영실적의 자료에 준하되 보다 제고된 처리비를 적용하는 경우 처리시설 개선계획에 대한 내역을 제출한다.

오염원별방류량 = (1 - 연계처리유량비) × 오염원별이송량 × (1 - 계획처리비)

5.1.5 관거배출량

① 배출원의 관거배출량은 배출원별 관거유입량에 1-4. 환경기초시설 분석의 (5) 관거배출비를 곱하여 산정한다(불명수의 관거배출량은 토지계 관거배출량에 산입한다).

배출원관거배출량 = 관거배출비 × 배출원관거유입량

② 오염원별 관거배출량은 오염원별 배출원의 관거배출량을 모두 합한 양이다.

오염원별관거배출량 = 오염원별 Σ배출원관거배출량

5.1.6 방류량

5.1.4 환경기초시설분석의 방류량 분석 결과에 따른다.

5.1.7. 직접정화량

오염원별로 배출유형의 직접정화량에 따른다.

5.1.8 배출량

각 오염원별 배출량은 월별 또는 일별로 배출원에 따라 산정한다.

배출원배출량 = 배출원(개별배출량 + 관거배출량 + 방류량 + 직접정화량)

배출원개별배출량 = 배출원별[발생량 - 개별삭감량 - 직접이송량 - 관거유입량]

오염원별배출량 = 오염원별 ∑배출원배출량

생활계에서의 일반처리과정을 거쳐 유역 수계에 배출되는 총 배출부하량은 표 3.5.4와 표 3.5.5, 표 3.5.6 그리고 각 하천유역과 Reach별 월 배출부하량은 부록 표-24, 표-25, 표-26에 나타낸 것과 같다.

표 3.5.4 생활계에서의 BOD배출부하량

(단위 : g/일)

비고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	6,657.6	251.5	0.0	2,179.1	0.0	0.0	2,179.1
Reach 1	50,946.4	4,751.3	22113.0	13,849.0	3,411.7	472.5	17,733.1
Reach 2	25,206.2	-658.2	0.0	9,860.8	0.0	0.0	9,860.8
Reach 3	283,021.0	-32,553.2	0.0	135,882.4	0.0	0.0	135,882.4
Reach 4	65,825.6	-5,917.0	12344.4	29,949.6	0.0	260.8	30,210.4
Reach 5	120,334.6	9,622.8	18389.1	34,310.6	2,937.1	371.4	37,588.1
Reach 6	138,611.5	7,020.1	0.0	43,586.1	0.0	0.0	43,586.1
Reach 7	43,826.0	3,690.5	0.0	12,310.1	0.0	0.0	12,310.1
Reach 8	80,849.5	6,679.6	27945.0	22,838.1	1,328.1	356.0	24,513.3
Endwater	11,499.4	940.4	0.0	3,258.0	0.0	0.0	3,258.0

표 3.5.5 생활계에서의 T-N 배출부하량

(단위 : g/일)

비고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	1,222.1	0.0	0	1,208.9	0.0	0.0	1,208.9
Reach 1	9,351.8	0.0	5915.0	9,251.2	1,104.3	292.9	10,648.4
Reach 2	4,626.9	0.0	0.0	4,577.1	0.0	0.0	4,577.1
Reach 3	43,927.6	0.0	0.0	43,455.2	0.0	0.0	43,455.2
Reach 4	10,969.9	0.0	3302.0	10,851.9	0.0	157.6	11,009.5
Reach 5	22,088.8	0.0	4993.7	21,851.2	958.1	967.8	23,691.1
Reach 6	25,664.7	0.0	0.0	25,388.7	0.0	0.0	25,388.7
Reach 7	8,044.8	0.0	0.0	7,958.2	0.0	0.0	7,958.2
Reach 8	15,006.4	0.0	7475.0	14,845.0	378.6	1,131.0	16,262.8
Endwater	2,110.8	0.0	0.0	2,088.2	0.0	0.0	2,088.2

BOD의 경우 일일 317.12kg으로 이중 개별 배출량이 308.02kg으로 97%에 해당되며, 처리장 배출량도 1.46kg정도로 나타났다. 또한 T-N은 총 배출량이 146.29kg/일이고 T-P는 8.99 kg/일로 개별배출에서 93%인 8.37kg이고 처리장에서는 0.35kg/일의 배출량을 보였다.

생활계에서의 월별 배출원 배출유량 및 BOD, T-N, T-P 등에 대한 월별 배출원배출부하량은 부록 표-27, 표-28, 표-29, 표-30에 각 하천과 Reach별로 나타내고 있으며, 이 유역에서의 환경기초시설인 마을하수도 5개소에 대한 유입유량과 유입부하량을 부록 표-31에 정리하였다.

표 3.5.6 생활계에서의 T-P배출부하량

(단위 : g/일)

비고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	200.0	0.0	0.0	71.1	0.0	0.0	71.1
Reach 1	1,530.6	0.0	659.8	544.4	133.9	83.6	761.9
Reach 2	757.3	0.0	0.0	269.3	0.0	0.0	269.3
Reach 3	7,337.9	0.0	0.0	2,609.8	0.0	0.0	2,609.8
Reach 4	1,795.7	0.0	368.3	638.7	0.0	45.2	683.8
Reach 5	3,615.2	0.0	552.6	1,285.8	111.3	84.6	1,474.3
Reach 6	4,181.5	0.0	0.0	1,487.2	0.0	0.0	1,487.2
Reach 7	1,316.7	0.0	0.0	468.3	0.0	0.0	468.3
Reach 8	2,441.9	0.0	833.8	868.5	43.8	132.1	1,036.3
Endwater	345.5	0.0	0.0	122.9	0.0	0.0	122.9

5.2 축산계에 의한 배출부하량

① 축산계 배출원은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 각 구역에서 축종, 법적규제 규모 및 개별처리 유형별로 세분화한다.

② 오염물질의 배출성상은 액상의 폐수와 고형물로 세분화한다
(폐수는 가축의 뇨와 세정수 및 세정수에 포함되어 폐수화되는 가축의 분으로, 고형물은 세정수에 의해 폐수화되는 부분을 제외한 가축의 분으로 한다).

③ 개별축사에서의 오염물질 배출경로는 환경기초시설로의 이송, 개별처리, 농지환원, 개별배출로 세분화한다.

④ 환경기초시설로 이송된 폐수와 고형물의 배출경로는 처리 후 공공수역으로의 직접 방류와 하수처리시설(병합처리시설)로의 연계처리로 구분한다.

⑤ 관거이송식 처리구역의 경우 관거로 유입된 오염물질의 배출경로는 생활계의 배출경로와 같이 관거저류변화, 관거누수, 관거월류, 관거이송, 방류로 세분화한다.

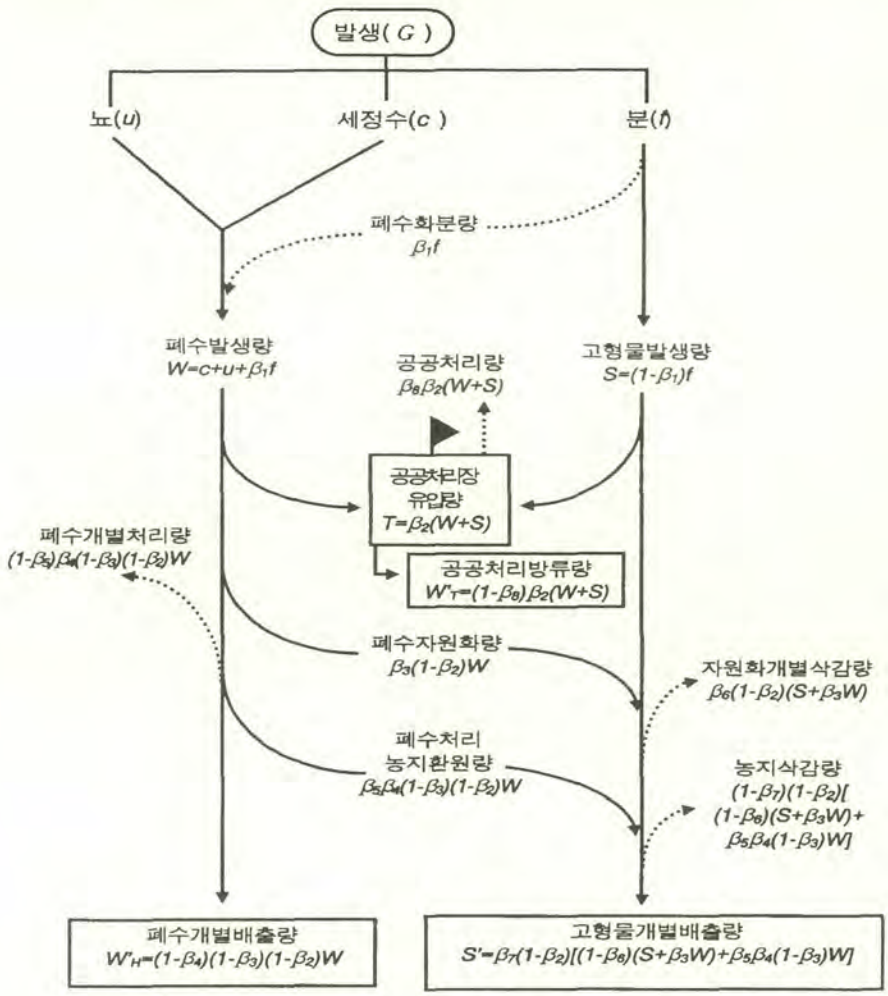


그림 3.5.3 축산계 오염물질의 배출경로

5.2.1 직접이송량

① 축산계의 직접이송량은 축산분뇨가 수거 등의 방법으로 이송되어 환경기초시설에 직접 투입되는 양(축산계 분뇨 전처리수 직접이송량은 제외)이다.

② 직접이송비는 해당 처리구역의 축산계 개별배출원의 직접이송대상량에 대한 환경기초시설의 연평균 축산계 분뇨직접이송량의 비율로 산정한다.

축산계배출원직접이송대상량 = 배출원직접이송대상계수 × 축산계배출원발생량

$$\text{축산계배출원직접이송비} = \frac{\text{환경기초시설연평균축산계분뇨직접이송량}}{\Sigma\text{축산계배출원직접이송대상량}}$$

축산계배출원직접이송량 = 축산계배출원직접이송비 × 축산계배출원직접이송대상량

표 3.5.7 축산계 배출원 직접이송대상계수

비고	처리구역							미처리 구역
	톱밥발효	퇴비	액비	위탁	투기	무처리	폐수처리	
젖소	0	0	0	0	0	0	1	0
한우	0	0	0	0	0	0	1	0
말	0	0	0	0	0	0	1	0
돼지	0	0	0	0	0	0	1	0
기타	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.2 개별삭감량

① 축산폐수와 고형물을 구분하여 각각의 개별삭감량과 농지삭감량을 산정한다.

② 폐수개별삭감량은 폐수자원화량과 폐수개별처리량 및 폐수처리의 슬럿지를 통하여 농지로 환원된 양으로 산정한다. 폐수자원화비는 액상폐수량중 자원화되는 비율을 말한다(고액분리를 하지 않고 액상폐수를 전량 자원화하는 경우 1, 고액분리를 통해 액상폐수를 전량 폐수처리하는 경우 0).

농지환원비는 폐수처리량 중 슬럿지 형태로 농지로 환원된 비율을 말한다. 폐수처리비는 방류수 수질을 적용받는 경우 다음의 산식으로 산정하고, 방류수 수질을 적용받지 않는 경우는 표 3.5.9의 폐수처리비를 적용한다.

폐수개별삭감량 = 폐수자원화량 + 폐수개별처리량 + 폐수처리농지환원량

폐수자원화량 = (1 - 폐수직접이송비) × 폐수자원화비 × 폐수발생량

폐수개별처리량 = (1 - 폐수직접이송비) × (1 - 폐수자원화비) × 폐수처리비 × (1 - 농지환원비) × 폐수발생량

$$\text{폐수처리비} = 1 - \text{기준초과율} \times \frac{(1 - \text{폐수직접이송유량비}) \times \text{폐수발생유량} \times \text{방류수수질기준}}{(1 - \text{폐수직접이송부하비}) \times \text{폐수발생부하량}}$$

표 3.5.8 축산폐수배출시설 방류수 수질기준(g/m^3)

규제내역	BOD		T-N		T-P	
	특정지역	기타지역	특정지역	기타지역	특정지역	기타지역
허가	50	150	260	0	50	0
신고	150	350	0	0	0	0
간이	1500	1500	0	0	0	0
미규제	0	0	0	0	0	0

③ 자원화개별삭감량은 직접이송량을 감안 고형물발생량과 폐수자원화량을 합한 양에 자원화처리비를 곱하여 산정한다.

자원화개별삭감량 = 자원화처리비 × 자원화개별삭감대상량

자원화개별삭감대상량 = (1 - 고형물직접이송비) × 고형물발생량 × 폐수자원화량

④ 축산계개별삭감량은 폐수개별삭감량과 자원화개별삭감량을 합하여 산정한다.

축산계개별삭감량 = 폐수개별삭감량 × 자원화개별삭감량

표 3.5.9 축산폐수처리, 자원화 및 농지유출비

법적규제내역	폐수처리내역	고형물처리내역	폐수자원화비	유량				BOD				T-N				T-P			
				폐수처리비	농지환원비	자원화처리비	농지유출비	폐수처리비	농지환원비	자원화처리비	농지유출비	폐수처리비	농지환원비	자원화처리비	농지유출비	폐수처리비	농지환원비	자원화처리비	농지유출비
허가	폐수처리	자원화	0	0	0	0	1	기준[1)]	0.2	0.4	0.1	0.6[1)]	0.8	0.2	0.2	0.2	0.8[1)]	1	0.05
허가	자원화	자원화	1	1	0	0	1	0	0	0.4	0.15	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0.075
신고	폐수처리	자원화	0	0	0	0	1	기준[1)]	0.35	0.4	0.1	0.5	0.8	0.2	0.2	0.7	1	0	0.05
신고	자원화	자원화	1	1	0	0	1	0	0	0.4	0.15	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0.075
간이	폐수처리	자원화	0	0	0	0	1	기준[1)]	0.5	0.4	0.1	0.5	0.8	0.2	0.2	0.7	1	0	0.05
간이	자원화	자원화	1	1	0	0	1	0	0	0.4	0.15	0	0	0.2	0.3	0	0	0	0.075
미규제	자원화	자원화	1	1	0	0	1	0	0	0.4	0.15	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0.05
미규제	무처리	무처리	0	0	0	0	1	0	0	0	0.25	0	0	0	0.5	0	0	0	0.15

[1)] 방류수 수질기준이 정해져 있는 경우 방류수 수질기준, 기준초과율 등으로 산정

- 폐수를 전량 해양투기하는 경우 폐수자원화비와 폐수처리비는 1, 자원화물을 전량 해양투기하는 경우 자원화처리비는 1

표 3.5.10 축산계배출원에서의 직접이송부하량과 개별삭감부하량

(유량 : m^3/일, 수질항목 : g/일)

비고	직접이송부하량				개별삭감부하량			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
Headwater	0.625	26,224.71	6,334.69	319.23	0.013	33,063.75	5,990.46	3,906.60
Reach 1	18.478	356,395.05	78,914.37	7,323.54	0.692	2,185,610.56	441,887.20	199,536.22
Reach 2	12.099	212,928.95	40,114.41	5,116.87	0.061	69,342.66	22,401.08	19,690.45
Reach 3	4.391	149,970.09	35,639.22	2,069.70	0.175	455,591.90	90,929.07	44,115.23
Reach 4	22.431	394,753.57	74,368.97	9,486.28	0.083	103,273.30	39,431.71	36,679.13
Reach 5	0	0	0	0	0.404	1,326,054.80	254,892.17	109,356.40
Reach 6	6.601	131,893.30	26,288.43	2,848.18	0.339	912,887.96	193,672.09	83,638.22
Reach 7	0	0	0	0	0.199	696,594.43	145,900.46	61,789.81
Reach 8	4.439	186,195.41	44,976.28	2,266.56	0.701	3,093,035.54	591,404.11	270,549.30
Endwater	0	0	0	0	0.150	891,542.86	163,102.55	67,180.99

⑤ 자원화물 또는 무처리된 축산분뇨 및 폐수처리 슬럿지가 농지전환되어 농지에서 삭감되는 양은 농지전환량에 농지삭감비를 곱하여 산정한다.(농지전환비는 자원화물이 농지로 전환되는 비율) 농지삭감량은 개별삭감량에 포함시키지 않으며 배출량의 축산계 비

점오염원 개별배출량 산정시 고려한다.

축산계농지삭감량 = 농지삭감비 × 농지전환량

농지삭감비 = 1 - 농지유출비

농지전환량 = 농지전환비 × (자원화개별삭감대상량 - 자원화개별삭감량) + 폐수처리농지환원량

유구천 유역에서 표 3.5.10과 부록 표-32에 나타낸 것과 같이 축산계배출원에서의 이송에 따른 총부하유량은 69.06m^3/일이며, BOD, T-N, T-P 이송부하량은 일일 각각 1,458.4kg, 306.6kg, 29.4kg으로 조사되었으며, 개별 삭감부하유량은 2.82m^3/일이며 BOD, T-N, T-P의 일일 개별삭감부하량은 각각 9,767.0kg, 1,4949.6kg, 896.4kg으로 나타났다.

5.2.3 배출량

축산폐수에서의 관거유입량, 환경기초시설 분석중 관거누수량, 관거월류량 등은 없는 것으로 조사되었고 축산계의 개별배출량은 폐수상태로 상시 부하되는 점오염원 배출량과 초지, 농경지 또는 야적지에 살포된 상태에서 강우시 배출되는 비점오염원 배출량을 분리하여 산정한 후 월별로 합산한다.

표 3.5.11 축산계배출원에서의 배출원배출유량

비고	배출원 배출유량(m^3/일)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	0.14	-0.12	0.00	1.02	0.89	0.34	2.44	4.80	0.49	0.77	0.10	0.15
Reach 1	12.83	-0.85	5.26	58.73	51.86	22.92	132.83	256.03	31.05	45.45	10.58	13.13
Reach 2	-2.80	-4.01	-3.47	1.25	0.64	-1.91	7.79	18.67	-1.20	0.08	-3.00	-2.78
Reach 3	3.35	-0.11	1.44	14.96	13.22	5.90	33.69	64.83	7.95	11.60	2.78	3.42
Reach 4	-4.67	-7.60	-7.40	3.27	3.05	-2.33	8.78	21.82	-3.53	-2.22	-5.86	-4.92
Reach 5	56.62	26.14	26.73	136.74	136.11	81.26	180.24	298.11	64.82	76.03	43.28	53.62
Reach 6	17.25	8.67	10.90	43.29	40.79	23.84	74.73	132.64	24.67	31.13	14.81	16.98
Reach 7	28.12	21.75	22.51	45.93	45.09	33.17	60.89	93.08	31.40	34.75	25.74	27.67
Reach 8	71.96	41.85	41.85	144.33	142.95	91.66	177.50	290.11	77.50	85.45	57.20	66.77
Endwater	179.01	165.06	116.80	108.82	134.30	126.52	180.36	206.23	136.07	134.16	175.63	162.43

점오염원개별배출량 = 폐수발생량-폐수직접이송량-폐수개별삭감량-폐수관거유입량

비점오염원개별배출량 = (자원화개별삭감대상량-자원화개별삭감량-고형물관거유입량 + 폐수처리농지환원량-농지삭감량)×강우배출비

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

$$\text{월유효강유량비} = \frac{10mm/\text{일이상강우고의강우량월합계}}{10mm/\text{일이상강우고의강우량연합계}}$$

축산계개별배출량 = 축산계점오염원개별배출량 + 축산계비점오염원개별배출량

축산계에 의한 월별 배출원 배출유량은 표 3.5.11에 나타내었으며 각 Reach와 월별 BOD, T-N, T-P 등의 항목별 배출원배출부하량은 부록 표-33, 표-34, 표-35에 정리하였다.

표 3.5.12와 부록 표-36에서와 같이 축산계에서 일정처리를 거치고 해당 유역내에 최종 유출되는 오염물질 배출부하량은 유량의 경우 개별배출유량에서 318.2m^3, 처리장배출유량이 133.73m^3로 451.9m^3가 매일 유역에 배출되고, 항목별로는 BOD 895.2kg, T-N 519.9kg, T-P 57.2kg이 유구천 전역에서 배출되고 있는 것으로 조사되었다.

표 3.5.12 축산에서의 오염물질배출부하량

(단위 : 유량 m^3/일, 수질항목 g/일)

비고	개별배출부하량				처리장배출부하량				최종배출부하량			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
Headwater	0.92	3,616.74	1,793.76	263.57	0	0	0	0	0.92	3,616.74	1,793.76	263.57
Reach 1	53.32	159,892.19	91,672.83	10,502.44	0	0	0	0	53.32	159,892.19	91,672.83	10,502.44
Reach 2	0.77	10,951.20	5,973.91	1,173.08	0	0	0	0	0.77	10,951.20	5,973.91	1,173.08
Reach 3	13.59	40,982.42	22,964.32	2,685.87	0	0	0	0	13.59	40,982.42	22,964.32	2,685.87
Reach 4	0.13	23,568.13	7,586.52	526.00	0	0	0	0	0.13	23,568.13	7,586.52	526.00
Reach 5	48.11	126,081.20	73,366.43	8,125.40	0	0	0	0	48.11	126,081.20	73,366.43	8,125.40
Reach 6	36.64	118,698.13	62,457.89	5,948.20	0	0	0	0	36.64	118,698.13	62,457.89	5,948.20
Reach 7	39.18	47,797.97	37,849.34	3,714.79	0	0	0	0	39.18	47,797.97	37,849.34	3,714.79
Reach 8	107.43	283,576.26	166,981.21	19,348.14	0	0	0	0	107.43	283,576.26	166,981.21	19,348.14
Endwater	18.38	78,459.54	44,935.25	4,919.51	133.73	1,529.32	4,275.34	33.52	152.12	79,988.86	49,210.59	4,953.03

5.3 산업계에 의한 배출부하량

① 산업계 배출원은 환경기초시설의 처리구역과 미처리구역으로 대분하여 각 구역에서 축종, 법적규제 규모 및 개별처리 유형별로 세분화한다.

② 개별배출시설에서의 오염물질 배출경로는 환경기초시설로의 이송, 개별처리, 농지환원, 개별배출로 세분화한다.

③ 환경기초시설로 이송된 폐수는 처리 후 공공수역으로의 직접방류와 하수처리시설(병합처리시설)로의 연계처리로 구분한다.

④ 환경기초시설의 처리구역에서 관거로 유입된 오염물질의 배출경로는 생활계의 배출경로와 같이 관거저류변화, 관거누수, 관거월류, 관거이송, 방류로 세분화한다.

5.3.1 직접이송량

직접이송량은 정수장폐액(슬럿지 및 역세수)이 직접 이송되는 경우에 한해 고려한다.

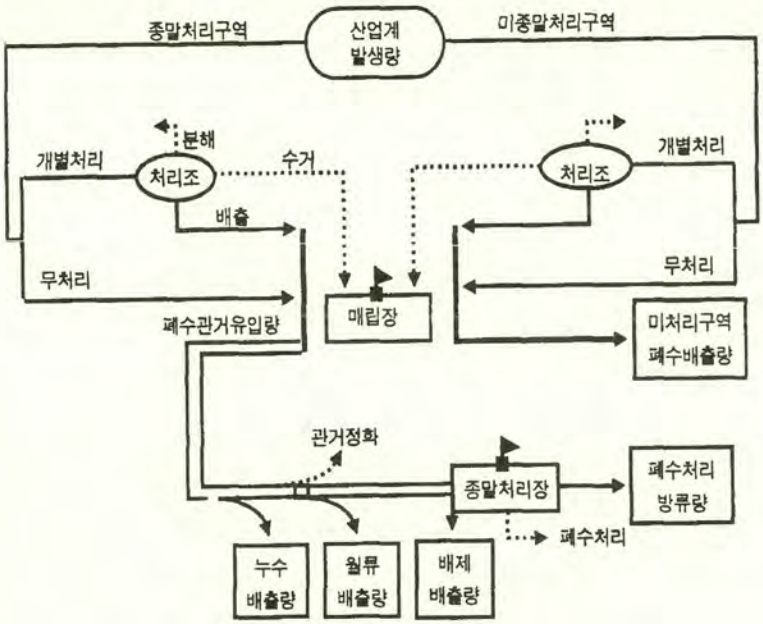


그림 3.5.4 산업계 오염물질의 배출경로

5.3.2 개별삭감량

① 산업계 배출원의 개별삭감량은 개별배출시설의 폐수발생량에서 폐수방류량을 감한 양으로 산정한다.

산업계배출원개별삭감량 = 산업계배출원개별삭감비 × 산업계배출원발생량

$$\text{산업계배출원삭감비} = 1 - \frac{\text{산업계배출원배출량}}{\text{산업계배출원발생량}}$$

표 3.5.13 폐수배출허용기준농도

구 분	BOD		T-N	T-P
	2,000㎥/일 이상	2,000㎥/일 미만		
청정지역	30	40	30	4
가지역	60	80	60	8
나지역	80	120	60	8
특례지역	30	30	60	8

② 개별배출시설의 배출유량은 각 사업장의 배출유량을 근거로 하여 앞절의 표 3.4.10과 같이 폐수방류유량으로 한다. 개별배출시설의 배출부하량은 폐수방류유량에서 표 3.4.10

의 방류농도 또는 배출허용기준농도 및 기준초과율을 곱하여 산정한다.(단 발생농도가 배출허용기준보다 낮은 경우엔 방류농도를 발생농도로 본다).

산업계배출원배출부하량 = 배출원폐수방류유량 × 배출허용기준농도 × 기준초과율

5.3.3 배출량

각 오염원별 배출량은 월별 또는 일별로 배출원에 따라 산정한다.

배출원배출량 = 배출원(개별배출량 + 관거배출량 + 방류량 + 직접정화량)

배출원개별배출량 = 배출원별[발생량 - 개별삭감량 - 직접이송량 - 관거유입량]

오염원별배출량 = 오염원별 ∑배출원배출량

산업시설에 의한 배출부하량은 앞의 발생부하량 측면에서도 언급 하였지만 표 3.5.14에서와 같이 일일 발생유량 585.4m^3에서 473.2m^3이 방류되고, 오염원배출부하량은 BOD 8.7kg, T-N 2.3kg, T-P 0.7kg으로 다른 오염원의 배출량에 비해 많지 않아 이 유역의 산업시설기반이 저조한 것으로 사료되며 아울러 해당 유역의 수체에 영향을 많이 미치고 있지 않는 것으로 나타났고 또한 유구천 유역내에서의 매립장이 없어 매립장 침출수에 의한 배출부하량 산정은 생략하였다.

표 3.5.14 산업계에서의 오염배출원개별배출량

(단위 : g/일)

비고	산업계배출원개별삭감비				산업계배출원개별삭감량				산업계배출원개별배출량			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
Headwater	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reach 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reach 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reach 3	1.0	0.921	0.606	0.736	0.0	122,506.8	1,993.4	1,344.1	477.0	6,197.4	1,543.4	565.2
Reach 4	0.3	0.784	0.564	0.837	3.0	81,955.0	9,096.1	969.8	65.0	330.0	620.0	76.0
Reach 5	0.0	0.629	0.863	0.566	0.0	4,382.4	523.2	69.7	3.4	26.0	12.0	2.8
Reach 6	0.0	0.963	0.000	0.467	0.0	8,384.0	0	28.0	8.0	320.0	163.2	32.0
Reach 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reach 8	2.0	0.8	1.0	1.0	0.0	69.0	0.0	0.0	29.0	1,872.0	7.0	1.0
Endwater	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4 양식장에 의한 배출부하량 산정

① 양식계 배출원은 양식어종 및 양식유형에 따라 세분한다.

② 양식장에서의 오염물질 배출경로는 개별처리, 종말처리장으로의 이송, 개별배출로 세분화한다.

③ 처리구역에서 관거로 유입된 오염물질의 배출경로는 생활계의 배출경로와 같이 관거저류변화, 관거누수, 관거월류, 관거이송, 방류로 세분화한다.

가. 양식장에서의 직접이송량은 양식장 배수가 직접이송되는 경우에 한해 고려한다.

나. 양식계 개별삭감량은 양식배수가 침전조, 순환여과조 등의 자체 정화시설에서 제거되는 삭감량으로 산정한다.

다. 양식계 개별배출원 관거유입량은 처리구역내 발생량에서 개별삭감량과 직접이송량을 감한 양으로 하며 각 오염원의 배출량은 월별 또는 일별로 배출원에 따라 산정한다.

배출원배출량 = 배출원(개별배출량 + 관거배출량 + 방류량 + 직접정화량)

배출원개별배출량 = 배출원별[발생량 - 개별삭감량 - 직접이송량 - 관거유입량]

오염원별배출량 = 오염원별 ∑배출원배출량

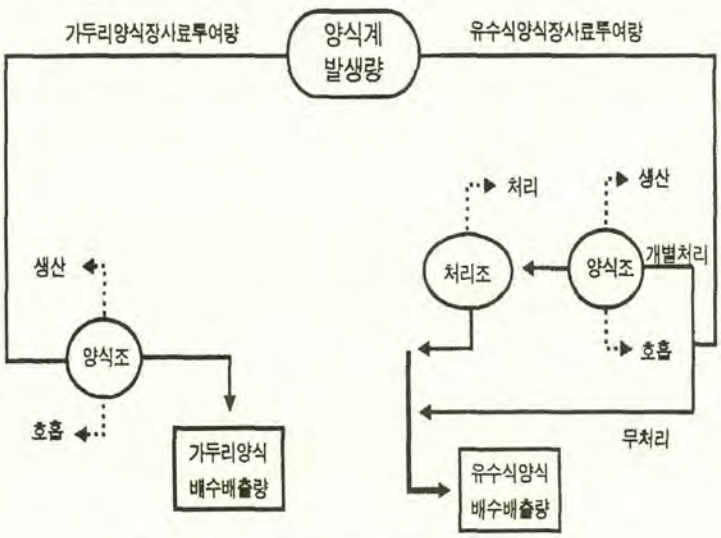


그림 3.5.5 양식계 오염물질 배출구조

따라서 양식계에 의한 배출부하량은 별도의 처리방법이 없이 하천 수계에 그대로 방류되고 있어 표 3.4.15와 표 3.4.16에서의 발생부하량과 같이 개별배출 및 배출원배출량은 동일한 것으로 최종 배출유량은 33.0m^3/일, 오염부하량은 일일 배출량이 BOD 21.0㎏, T-N 4.2㎏, T-P 1.1㎏이었다.

5.5 비점오염원에 의한 배출부하량 산정

토지계 배출원은 토지로부터 유출된 오염물질이 합류식관거 또는 분류식관거에 침투되어 환경기초시설로 유입되는 차집구역과 미차집구역으로 대분하여 각 구역에서 지목에 따

라 세분화하며, 환경기초시설로 이송된 토지유출수는 처리 후 공공수역으로의 직접방류와 하수처리시설(병합처리시설)로의 연계처리로 부분한다.

유구천유역의 토지계에서 직접이송과 개별삭감량은 없으며, 따라서 관거월류변화, 관거누수, 관거월류, 관거이송, 방류등과 같은 세분항은 zero로 계산하였다.

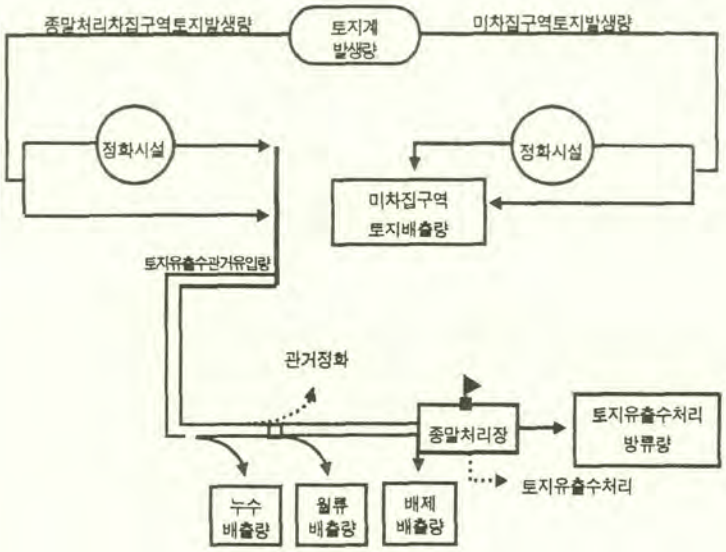


그림 3.5.6 토지계 오염물질 배출구조

토지이용에 의한 배출부하량은 토지용도별 발생부하량에 비점오염원배출계수를 곱하여 산정할 수 있다. 비점오염원 배출계수는 유역의 강우현황 및 토양특성에 따라 특성값을 가질 수 있으며 기준유량인 저수기 동안 10mm/일 이상의 강우빈도를 고려하여 설정된 값인 0.25를 비점오염원배출계수로 사용하여 최종배출부하량은 환경부고시 제1999-143호『오염총량관리지침』방법에 근거하여 산정하였다.

배출부하량 = 0.25 × 발생부하량

토지계에 의한 오염물질 발생부하량은 Reach별 월배출부하량으로 표 3.5.15, 3.5.16, 3.5.17에 나타내었으며 각 하천유역에 대한 월별 배출부하량은 항목별로 부록 표-37, 표-38, 표-39에 나타낸 바와 같다. 토지계에 의한 오염부하량은 발생부하량 그림 3.4.2에서 나타낸 것과 같이 오염물질 항목이 유사한 방식으로 풍수기철인 7월~8월에 발생 및 배출부하량이 가장 높으며 농사가 시작되는 4월~5월경에 다음으로 높고, 반대로 농한기인 겨울철에는 발생 및 배출부하량이 적어지는 것으로 보인다. 아울러 토지계에서의 일일 배출부하량은 BOD 1,096.6kg, T-N 961.9kg, T-P 68.9kg이었다.

표 3.5.15 토양계에서의 BOD 배출부하량

(단위 : g/day)

비고	BOD배출부하량											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,173.2	361.5	724.2	3,895.1	3,487.5	1,771.4	8,288.7	15,594.2	2,253.2	3,107.5	1,039.7	1,190.5
Reach 1	9,923.3	3,057.6	6,125.2	32,945.3	29,497.9	14,982.5	70,107.8	131,899.3	19,058.1	26,284.1	8,793.6	10,069.4
Reach 2	2,218.4	683.5	1,369.3	7,365.0	6,594.3	3,349.4	15,672.8	29,486.4	4,260.5	5,875.9	1,965.8	2,251.0
Reach 3	9,374.3	2,888.1	5,785.3	31,122.0	27,866.2	14,154.0	66,221.6	124,586.0	18,001.8	24,826.9	8,306.5	9,512.0
Reach 4	5,614.3	1,272.2	1,635.6	17,504.4	17,099.0	9,078.0	26,310.0	46,462.9	7,477.2	9,523.4	3,893.3	5,265.0
Reach 5	30,051.4	6,270.8	6,601.7	92,358.7	92,006.8	49,298.4	125,112.0	215,558.4	36,133.3	44,682.5	19,566.5	27,673.4
Reach 6	28,585.3	7,618.2	12,889.3	91,953.4	86,037.7	44,721.5	167,248.8	306,767.8	46,309.8	61,818.4	22,519.7	27,883.6
Reach 7	8,764.0	1,978.2	2,522.4	27,305.4	26,698.5	14,180.9	40,845.2	72,054.5	11,616.3	14,776.0	6,059.3	8,211.5
Reach 8	16,176.1	3,191.9	3,191.9	47,620.7	47,082.7	24,865.9	62,103.6	110,529.0	18,610.6	22,130.1	9,862.5	14,023.0
Endwater	2,061.9	381.0	381.0	5,664.8	5,481.9	2,805.6	7,185.9	13,704.4	2,286.8	2,565.4	1,147.0	1,617.4

표 3.5.16 토양계에서의 T-N 배출부하량

(단위 : g/day)

비고	T-N 배출부하량											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,493.6	460.2	921.9	4,958.6	4,439.7	2,255.0	10,551.9	19,852.2	2,868.4	3,956.0	1,323.5	1,515.5
Reach 1	10,406.1	3,206.3	6,423.2	34,548.3	30,933.1	15,711.5	73,518.9	138,316.8	19,985.4	27,563.0	9,221.5	10,559.3
Reach 2	2,039.3	628.4	1,258.8	6,770.6	6,062.1	3,079.1	14,407.9	27,106.6	3,916.6	5,401.7	1,807.2	2,069.4
Reach 3	5,572.7	1,716.9	3,439.1	18,500.9	16,565.4	8,414.0	39,366.2	74,061.7	10,701.4	14,758.7	4,937.9	5,654.6
Reach 4	5,089.4	1,167.6	1,540.1	15,903.4	15,487.5	8,210.4	24,268.7	43,001.4	6,881.8	8,800.6	3,563.3	4,786.4
Reach 5	28,108.0	5,917.3	6,382.6	86,514.8	86,010.2	46,041.9	118,538.2	204,817.5	34,172.1	42,400.3	18,424.0	25,932.8
Reach 6	24,621.3	6,707.2	11,683.0	79,562.5	73,976.5	38,329.0	148,297.2	273,171.1	40,937.6	54,944.1	19,740.4	24,154.1
Reach 7	8,578.6	1,919.9	2,403.5	26,687.1	26,148.5	13,902.4	39,502.7	69,521.3	11,252.2	14,271.9	5,892.4	8,022.3
Reach 8	11,104.5	2,202.4	2,202.4	32,836.0	32,508.9	17,202.7	42,896.4	76,005.4	12,805.6	15,284.3	6,810.5	9,688.2
Endwater	1,991.2	376.4	376.4	5,602.9	5,463.6	2,828.2	7,177.9	13,360.1	2,236.3	2,560.8	1,143.6	1,617.5

표 3.5.17 토양계에서의 T-P 배출부하량

(단위 : g/day)

비고	T-P 배출부하량											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	97.7	30.1	60.3	324.3	290.3	147.5	690.1	1,298.3	187.6	258.7	86.6	99.1
Reach 1	723.8	223.0	446.7	2,402.9	2,151.4	1,092.8	5,113.4	9,620.2	1,390.0	1,917.0	641.4	734.4
Reach 2	158.3	48.8	97.7	525.5	470.5	239.0	1,118.3	2,103.9	304.0	419.3	140.3	160.6
Reach 3	454.6	140.1	280.6	1,509.2	1,351.3	686.4	3,211.3	6,041.7	873.0	1,204.0	402.8	461.3
Reach 4	375.5	85.7	111.9	1,172.4	1,143.2	606.4	1,777.8	3,145.7	504.6	644.2	261.9	352.8
Reach 5	2,072.8	434.9	464.7	6,376.2	6,344.1	3,397.3	8,697.8	15,012.0	2,509.2	3,109.3	1,355.1	1,911.0
Reach 6	1,822.4	491.9	846.5	5,877.7	5,479.7	2,843.0	10,843.1	19,938.0	2,997.1	4,013.4	1,450.3	1,783.5
Reach 7	650.6	146.7	186.7	2,026.7	1,982.2	1,052.9	3,027.9	5,339.9	861.3	1,095.2	449.5	609.5
Reach 8	948.2	187.8	187.8	2,803.0	2,774.7	1,468.0	3,661.3	6,489.8	1,093.3	1,304.5	581.3	826.9
Endwater	124.2	23.4	23.4	348.3	339.3	175.4	445.6	832.2	139.2	159.0	71.0	100.4

표 3.5.18에서와 같이 유구천유역내 위치하고 있는 5개 마을하수처리시설의 환경기초시설에 의한 배출유량은 183.7m^3이고, 일일 배출부하량은 BOD가 유입부하량에 75.8%를 처리하여 1.5kg, T-N이 52.6% 처리율에 2.7kg, T-P는 50%를 처리하여 0.4kg을 방류하고 있다.

표 3.5.18 환경기초시설에서의 관거이송부하량 및 방류부하량

구간	지역	처리시설명	년평균관거이송부하량(g/일)				년평균방류부하량(g/일)			
			이송유량 (m^3/일)	BOD	T-N	T-P	방류유량 (m^3/일)	BOD	T-N	T-P
Reach 1	유구읍 문금리	검단지구	38.0	632.3	1,185.5	185.0	38.0	472.5	321.9	90.4
Reach 4	유구읍 만천리	작은골지구	21.0	349.4	655.1	102.3	21.0	261.1	177.9	50.0
Reach 5	신풍면 동원리	원골지구	35.2	992.6	1,136.3	150.2	35.2	371.4	1,067.0	91.6
Reach 8	우성면 상서리	철목지구	28.3	1,314.5	639.9	86.0	28.3	131.6	357.4	44.4
	우성면 단지리	우성지구	61.2	2,250.1	1,606.3	188.4	61.2	284.6	773.0	96.1

6. 유달부하량 산정

각각의 오염 발생원에서 배출된 수질 오염물질이 하천에 도달하기까지 과정에서 자연적 현상에 의한 정화와 취수, 배수 등의 인위적 조작이 첨가되어 복잡한 경로를 거쳐서 변화되어 감소하는 오염물질의 정도를 정량적으로 분석함으로써 결정되는 부하량이다.

따라서 해당지역에서 발생된 오염부하량이 목표지점 수계에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 유달부하량을 산정해야 한다. 아울러 해당 유역 출구에서의 유입 오염물질에 의한 부하량(유달부하량)과 그 지점 상류부에 위치한 모든 오염원으로부터 배출된 부하량과의 비를 유달률(delivery ratio : DR)이라 한다.

유달률 산정 방법으로는 실측에 의한 방법, 통계식을 이용한 방법, 침식토양의 유달률을 이용하는 방법, 합리식의 유출계수를 이용한 방법 등으로 구분할 수 있는데 이중 실측자료에 의한 유달률이 가장 바람직하다고 할 수 있다.

개별 오염원으로부터 발생된 부하량이 하천에 도달하는 부하량을 계산하기 위해서는 자정계수에 의한 접근이 필요하며, 자정작용의 정도는 오염물질이 유하하는 시간, 즉 유하거리와 하상구배 및 조도, 기타 환경조건 등에 따라 다르다.

지천 및 본류의 자정계수는 실측을 통해 그 값을 확인할 수 있는 반면 유역 자정계수는 실험을 통해 구하기 어려우며, 비점오염원에서 발생되는 오염부하량의 추정에 필요한 계수인 유하시간은 강우유출 특성 등과 밀접한 관계가 있으므로 반드시 유출모형과 결합되어야 한다.

또한, 각 오염원별 자정계수를 이용하여 오염부하량을 산정하게 되면 목표수질 달성을 위한 오염물질 삭감량 산정시 효과적으로 활용될 수 있으므로 오염물질 삭감에 따른 하천수질 예측과정에서 자정계수에 의한 부하량 예측은 필수적인 요소라 할 수 있다.

6.1 유달율

유달율은 유역에서 발생되는 오염물질 양과 실제 하천으로 전달되는 오염물질 양의 비로서 결정되는 무차원상수로 해당유역에 유입하는 하천의 유입지점에 있어서의 지천과 배수로 등으로 부터의 유입오염물질에 의한 부하량과 그 지점 상류부에 있는 모든 오염원으로부터의 배출부하량의 비로서 나타낸다. 그러나 장래의 유달율은 현재의 유달율과 반드시 일치하는 것은 아니므로 유달율은 아래와 같은 수식으로 정의 할 수 있다.

유달율(%) = [각 지점의 측정농도(㎎/ℓ) × 유량(Q)] / 배출부하량(㎏/일)

유달율은 해당 유역의 강우발생 특성, 유역의 표면, 유역의 경사 또는 크기 등의 물리적 특성과 오염물질의 물리 · 화학 · 생물학적 반응특성 그리고 인위적인 관리요소의 존재유무에 따라 크게 달라지므로 실측자료를 사용하는 것이 바람직하며 실측 유량 및 수질자료를 이용하여 산정하였다.

6.2 오염물질 유달부하량 산정

하천유역에서 발생된 오염물질은 수송 및 처리 시스템에 의해 유출되는 양이 변화하며 하천의 자정능력 등에 의해 하천에 유입되는 양은 발생량과는 큰 차이를 보이게 된다.

유달율은 하천유역에서 발생되는 오염부하량과 실제로 하천에 유입되는 오염부하량과의 비율로 하천의 배수구역내의 인구, 배수구역 면적, 오염물질 유하거리, 토지이용형태, 관거상태, 지형 및 지질에 종속되어 변화하는 비선형 계수로써 이론적인 발생부하량의 산출에서 발생하는 실제의 자연현상과의 차이값도 포함되고 있기 때문에 보정계수로서 활용되는 경우도 있다.

그러나 현재까지 유출율 산정은 유량과 수질을 동시에 측정한 자료들이 많지 않을 뿐더러 측정된 자료들 또한 비교적 큰 지천들에 대한 자료만 있기 때문에 소하천들에 대한 신뢰성 있는 유출율 자료는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서 유달부하량 산정은 유량, 수질 등을 주기적으로 실측하여 이들 값을 평균하여 유달율을 산정하였다.

오염물질 유달부하량 및 부하율은 12회 측정 결과를 가지고 계절별로 평균하여 지류하천과 본류구간에 대해서 겨울철(12월~2월)은 표 3.6.1, 봄철(3월~5월)은 표 3.6.2, 그리고 여름철(6월~8월)과 가을철(9월~11월)은 표 3.6.3과 표 3.6.4에 각각 나타내었고, 연평균 측정결과는 표 3.6.5과 같이 조사되었다.

각 지류하천에 대한 월별 유달부하량 및 유달율은 부록 표-40~표-43까지이고 본류 구간에 대한 월별 유달부하량 및 유달율은 부록 표-44와 표-45에 정리하였다.

또한 그림 3.6.1에는 계절별 BOD유달부하량과 유달율을 유하거리에 따라 나타내었으며 그림 3.6.2는 T-N 그리고 그림 3.6.3은 T-P유달부하량과 유달율을 계절별로 나타내고 있다.

표 3.6.1 겨울철(12월~2월) 유달부하량 및 유달율(1)

구분	하천	유달부하량(kg/일)									유달율(%)			유 량
		BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	BOD	T-N	T-P	m^3/시간
지류하천	금천	22.92	23.60	0.13	0.25	20.31	1.61	0.32	0.14	0.19	51.88	57.67	13.82	359.43
	덕곡천	6.43	9.13	0.08	0.07	8.56	0.42	0.15	0.07	0.07	29.16	46.79	7.96	75.58
	명곡천	3.66	6.91	0.12	0.04	6.40	0.35	0.10	0.04	0.05	13.17	22.09	5.29	132.51
	고현천	8.79	6.99	0.09	0.10	6.40	0.40	0.25	0.10	0.15	18.37	19.75	8.90	117.23
	소하천	8.90	10.08	0.51	0.19	7.77	1.12	0.51	0.16	0.34	8.52	21.43	12.76	90.13
	유구하수	195.87	22.26	5.22	0.89	4.10	8.70	2.49	0.66	1.83	165.07	52.99	80.76	110.33
	백교천	16.63	15.57	1.91	0.50	11.08	2.24	0.66	0.24	0.42	27.08	36.20	20.38	196.32
	대룡천	73.86	118.15	4.47	2.56	106.72	4.39	1.49	0.26	1.23	31.35	56.63	9.16	1,487.13
	마곡천	136.60	159.45	6.27	2.02	134.14	17.02	1.71	0.46	1.24	40.46	60.32	8.33	2,406.73
	계실천	10.73	14.87	0.40	0.37	10.98	2.58	0.33	0.06	0.27	11.58	17.88	5.83	245.91
	신영천	3.69	5.22	0.18	0.09	4.55	0.24	0.04	0.01	0.03	8.08	13.48	1.85	71.81
	방흥천	4.63	7.18	0.11	0.09	6.27	0.71	0.09	0.02	0.07	3.98	9.67	1.16	90.16
	문동천	24.41	44.21	1.59	0.75	34.91	6.96	1.37	0.17	1.20	10.44	30.92	9.44	405.74
본류	Headwater	8.71	10.68	0.07	0.13	9.51	0.98	0.20	0.04	0.16	43.36	50.39	11.93	243.27
	Reach 1	47.91	53.31	1.03	0.48	50.28	2.12	0.71	0.32	0.39	14.14	20.94	3.17	865.98
	Reach 2	70.81	69.11	1.86	0.76	65.38	3.08	1.34	0.64	0.70	18.31	23.83	7.14	1,134.42
	Reach 3	164.54	110.30	6.96	2.53	92.55	6.69	3.61	1.24	2.19	24.06	25.90	10.20	1,531.11
	Reach 4	118.53	117.40	5.76	2.25	97.96	12.02	3.01	1.08	1.93	15.03	23.89	7.46	1,652.40
	Reach 5	189.57	251.78	8.23	4.48	226.36	11.52	4.54	1.03	3.52	14.72	28.58	6.30	3,463.33
	Reach 6	337.90	441.59	20.08	7.23	371.98	26.70	6.85	1.52	5.33	19.29	35.78	6.85	6,365.38
	Reach 7	303.56	475.23	17.22	11.57	407.87	32.69	6.32	1.38	4.94	16.06	35.05	5.86	6,966.76
	Reach 8	362.80	549.74	9.01	8.51	486.45	24.12	7.82	2.01	5.81	15.59	33.78	5.74	7,722.89
	Endwater	375.49	568.50	7.52	7.91	502.09	25.62	7.33	2.01	5.32	15.46	33.47	5.09	7,814.48

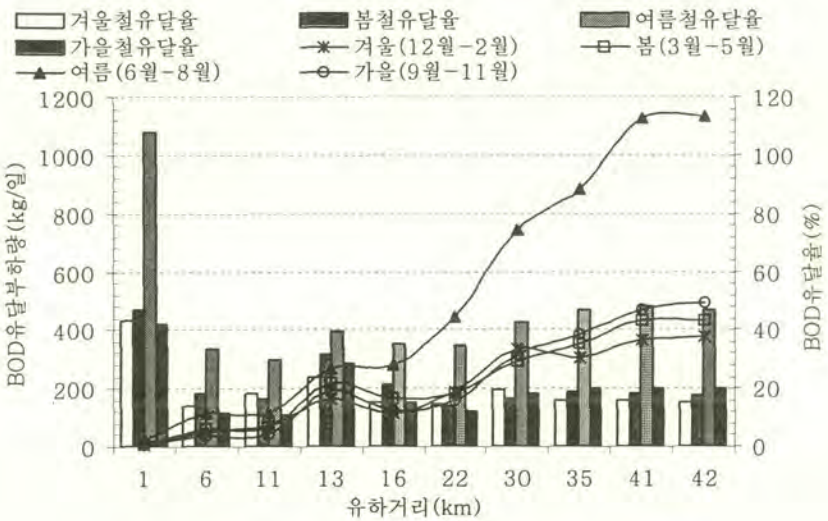


그림 3.6.1 유하거리에 따른 BOD 유달부하량

BOD와 T-N의 유달부하 특성은 여름철에 유달부하량과 유달율이 다른 계절에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있으며 다른 계절은 거의 유사함을 보였으며 T-P의 경우에는 여름과 가을철에 유달율이 비교적 높게 나타나고 있다.

유구읍 생활하수가 유입되면서 상류지역의 부하량이 증가하기 시작하여 중류지역에서 대룡천이 합류되면서 BOD 및 T-N의 부하가 급격히 증가하고 있는 것은 대룡천 유역에 산재해 있는 오염부하량을 가지고 하천유량이 비교적 풍부하게 본류에 유입되고 있기 때문이며 이후 마곡천과 다른 지천들이 계속적으로 유입되고 하류에 문동천의 하천 유량이 유입될때까지 오염부하량은 꾸준히 증가 추세인 것을 알 수 있다.

표 3.6.2 봄철(3월~5월) 유달부하량 및 유달율(2)

구분	하천	유달부하량(kg/일)									유달율(%)			유량
		BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	BOD	T-N	T-P	m^3/시간
지류하천	금천	20.52	14.33	0.14	0.15	12.62	1.42	0.24	0.11	0.13	46.44	35.03	10.22	233.15
	덕곡천	7.60	10.70	0.51	0.17	9.42	0.61	0.11	0.03	0.08	34.48	54.87	6.03	81.68
	명곡천	10.38	11.29	0.12	0.16	10.41	0.60	0.10	0.05	0.05	37.35	36.09	5.39	150.76
	고현천	13.30	19.81	0.48	0.51	17.02	1.79	1.41	0.51	0.90	27.80	55.96	46.59	238.65
	소하천	17.91	7.72	1.86	0.25	5.13	0.49	0.30	0.23	0.08	17.14	16.42	7.66	71.08
	유구하수	175.36	33.49	14.92	1.18	10.82	6.57	3.80	2.66	1.14	147.79	79.72	123.06	103.87
	백교천	23.26	12.78	2.62	0.31	8.76	0.74	0.33	0.17	0.14	37.87	29.71	10.18	182.51
	대룡천	25.63	53.59	0.71	0.29	46.12	6.54	0.61	0.24	0.37	10.88	25.69	3.76	747.63
	마곡천	102.88	88.75	2.46	1.40	82.57	2.32	1.98	0.60	1.37	30.47	33.57	9.64	1,400.73
	계실천	22.62	10.30	0.54	0.18	9.01	0.58	0.12	0.06	0.06	24.40	12.39	2.07	209.24
	신영천	4.31	5.23	0.12	0.05	4.81	0.30	0.05	0.02	0.04	9.44	13.52	2.55	57.21
	방흥천	10.02	6.72	0.02	0.16	6.19	0.30	0.11	0.03	0.08	8.63	9.04	1.39	100.89
	문동천	72.15	56.41	2.61	2.27	31.57	19.90	0.78	0.63	0.15	30.85	39.46	5.36	584.25
본류	Headwater	9.38	10.44	0.38	0.06	9.75	0.27	0.21	0.06	0.15	46.70	49.25	12.33	171.70
	Reach 1	62.68	58.30	2.19	0.59	51.89	3.63	0.84	0.46	0.39	18.50	22.90	3.74	822.48
	Reach 2	64.29	61.63	4.37	1.46	54.30	2.24	1.03	0.56	0.46	16.63	21.25	4.01	837.15
	Reach 3	217.90	112.69	14.46	3.67	84.58	9.98	6.41	4.07	2.34	31.86	26.46	18.12	1,291.74
	Reach 4	166.45	117.62	3.07	2.39	104.99	6.31	4.88	2.84	2.04	21.10	23.93	12.09	1,346.87
	Reach 5	182.90	186.32	2.69	2.76	169.38	8.26	5.11	2.61	1.46	14.20	21.15	7.08	2,280.58
	Reach 6	291.75	283.22	4.02	3.08	270.20	7.40	6.93	4.49	2.44	16.65	22.95	6.93	3,855.77
	Reach 7	352.88	337.13	7.70	2.59	314.77	6.03	6.48	3.96	2.25	18.67	24.86	6.01	4,576.55
	Reach 8	430.88	401.69	8.35	4.22	364.49	24.63	6.56	2.88	3.57	18.51	24.68	4.81	5,229.41
	Endwater	431.58	405.66	7.87	5.06	370.05	22.68	7.51	3.83	3.23	17.77	23.89	5.22	5,278.87

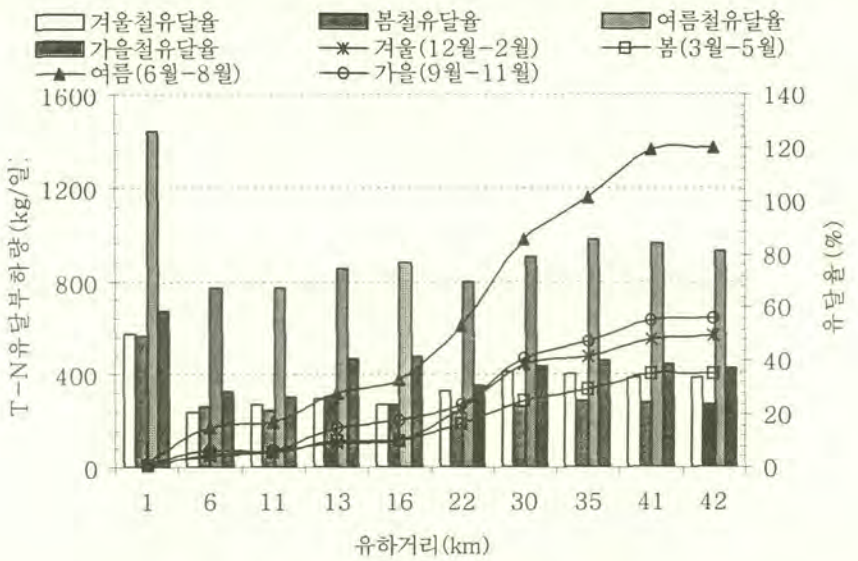


그림 3.6.2 유하거리에 따른 T-N 유달부하량

오염물질 유달량과 유달율은 비교적 강수량이 풍부하고 강우빈도가 많은 시기에 증가하고 있는 것은 강우사상에 의해서 유역내 산재하고 있는 점 및 비점오염원의 오염물질들이 빗물과 함께 하천에 많이 유입되고 있음을 알 수 있다.

유구천 유역내에서 발생하는 전체 배출부하량과 비교할 때 금강에 유달되는 부하율은 계절별로 다르게 나타나고 있다. 계절별로는 BOD의 경우 겨울철에는 4.0%~165.0%의 범위 값으로 평균 15.5%를 나타내고 있으며 봄철 17.8%, 여름철 46.8%, 가을철 20.2%을 나타내어 연평균 25.1%의 유달율을 가지고 있는 것으로 조사되었으며, 하천별로는 유량은 많지 않으나 유달부하량이 195.9kg/일로 유구하수가 가장 높았으며 다음으로 마곡천과 대룡천 순이었다.

T-N의 유달율은 겨울철에 9.7%~60.3%의 값으로 평균 33.5%을 보이고 있으며 유달율은 하류지역에 유수량이 적은 방흥천유역의 유달율이 가장 적고 유량이 비교적 풍부하고 오염원이 많은 대룡천과 마곡천유역의 유달율이 높았다. 아울러 봄철 23.9%, 여름철 80.8%, 가을철 36.8%로 연 평균 44.0%의 유달율을 가지고 있으며 T-P는 겨울철에 1.2%~80.8%의 범위값으로 평균 5.1%, 봄철 5.2%, 여름철 11.1%, 가을철 7.8%로 연평균 7.3%의 유달율을 나타내고 있다.

봄철(3월~5월)에도 겨울철과 마찬가지로 유달율과 부하량이 다를 뿐 겨울철과 유사성을 나타내고 있으며 강우량에 의해 유량이 비교적 풍부한 여름철과 가을철에는 전반적으로 유달부하량과 유달율이 높게 나타나고 있다.

유달율이 초과되는 지역과 지점들은 단순히 점오염원에 의한 배출부하량 이외의 강우사상에 의한 대기오염물질과 자동차 등에 의한 도로변 오염물질의 유입, 농번기철 농사일에 따른 비료나 농약의 투입, 토지이용과 관련하여 계절별 특이성에 따른 비점오염원의 영향과 비강우시 하천유역 주변에 누적되어 있던 오염물질이 강우에 의해 하천에 유입되어 유달부하량이 높아지는 원인들을 찾을 수 있다.

표 3.6.3 여름철(6월~8월) 유달부하량 및 유달율(3)

구분	하천	유달부하량(kg/일)									유달율(%)			유량 m^3/시간
		BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	BOD	T-N	T-P	
지류하천	금천	44.28	62.15	2.88	0.84	52.22	6.21	1.20	0.53	0.67	100.22	151.90	51.33	1134.69
	덕곡천	21.25	39.90	2.97	2.23	32.62	2.09	0.80	0.44	0.36	96.36	204.52	43.64	321.75
	명곡천	22.02	34.05	0.44	0.56	31.04	2.01	0.50	0.19	0.32	79.19	108.83	27.56	473.90
	고현천	43.49	47.19	0.62	0.86	41.10	4.61	1.05	0.48	0.58	90.91	133.29	34.78	711.51
	소하천	33.79	22.07	0.89	1.10	18.41	1.68	0.89	0.68	0.21	32.34	46.94	22.36	250.25
	유구하수	259.92	29.32	9.26	0.81	14.56	4.69	2.07	1.49	0.58	219.04	69.79	67.05	168.40
	백교천	42.53	56.31	0.78	1.89	46.01	7.62	1.17	0.63	0.54	69.25	130.88	36.22	835.26
	대룡천	151.85	204.73	1.64	8.24	174.84	20.02	1.52	0.73	0.78	64.46	98.14	9.29	2,900.13
	마곡천	292.00	326.50	4.25	5.53	272.50	44.22	3.41	1.35	2.05	86.49	123.51	16.62	5,642.82
	계실천	41.17	42.57	1.04	1.39	36.93	3.21	0.62	0.26	0.36	44.39	51.21	10.85	621.21
	신영천	9.24	14.90	0.21	0.21	13.35	1.13	0.16	0.03	0.13	20.21	38.50	7.45	210.16
	방흥천	22.02	27.62	0.48	0.77	23.74	2.62	0.50	0.11	0.40	18.95	37.17	6.31	370.47
	문동천	193.76	164.17	2.55	5.64	142.67	13.31	2.61	1.29	1.32	82.85	114.82	17.99	2,258.79
본류	Headwater	21.64	26.84	0.43	1.07	22.80	2.54	0.49	0.29	0.20	107.69	126.61	28.56	548.01
	Reach 1	112.78	171.71	4.75	3.34	153.02	10.60	3.21	1.56	1.65	33.28	67.45	14.20	2,707.44
	Reach 2	116.18	194.99	3.43	3.58	177.59	10.39	3.35	1.57	1.78	30.05	67.24	13.07	2,880.00
	Reach 3	268.77	318.21	13.56	8.71	279.48	16.47	7.90	4.03	3.87	39.30	74.72	22.32	4,332.74
	Reach 4	279.18	377.78	10.75	7.35	334.10	25.58	7.85	4.23	3.62	35.40	76.87	19.43	5,452.10
	Reach 5	444.26	611.04	9.77	5.29	558.68	37.30	9.13	5.26	3.86	34.49	69.37	12.66	8,918.45
	Reach 6	743.25	976.14	14.37	16.51	872.23	73.03	13.01	7.21	5.80	42.42	79.09	13.00	15,135.29
	Reach 7	883.82	1,156.5	14.12	22.47	1,050.38	69.49	13.49	6.55	6.94	46.75	85.28	12.51	17,688.58
	Reach 8	1,126.1	1,365.2	28.91	27.50	1,230.39	78.36	19.66	9.49	10.18	48.38	83.88	14.43	20,679.32
	Endwater	1,135.9	1,372.6	23.44	26.24	1,250.84	72.10	15.97	7.18	8.79	46.77	80.82	11.09	21,177.98

표 3.6.4 가을철(9월~11월) 유달부하량 및 유달율(4)

구분	하천	유달부하량(kg/일)									유달율(%)			유량
		BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	BOD	T-N	T-P	m^3/시간
지류하천	금천	17.82	32.99	1.32	0.69	28.81	2.17	0.64	0.40	0.24	40.35	80.62	27.24	560.23
	덕곡천	3.85	13.23	0.50	0.42	11.61	0.70	0.26	0.19	0.06	17.44	67.83	14.03	120.23
	명곡천	1.53	2.92	0.04	0.04	2.67	0.17	0.03	0.01	0.01	5.50	9.34	1.53	52.72
	고현천	22.01	38.91	1.31	0.54	35.35	1.72	2.70	1.62	1.08	46.00	109.93	89.09	566.75
	소하천	4.85	7.07	0.40	0.09	5.14	1.44	0.31	0.20	0.11	4.64	15.04	7.88	87.71
	유구하수	102.03	29.04	6.72	2.07	14.62	5.62	3.39	2.42	0.97	85.99	69.14	110.0	100.00
	백교천	8.18	12.73	1.78	0.50	8.85	1.59	0.34	0.24	0.10	13.32	29.58	10.51	198.04
	대룡천	49.87	68.74	3.24	2.72	57.36	5.42	0.68	0.30	0.38	21.17	32.95	4.18	1,376.43
	마곡천	153.12	148.90	3.14	2.71	133.89	9.15	2.92	0.67	2.25	45.35	56.33	14.25	3,372.56
	계실천	18.03	14.80	0.34	0.23	12.52	1.71	0.23	0.11	0.12	19.44	17.80	3.99	306.81
	신영천	6.68	9.44	0.11	0.11	7.91	1.31	0.10	0.03	0.08	14.60	24.39	4.79	154.35
	방흥천	2.93	6.80	0.26	0.20	5.97	0.37	0.15	0.09	0.07	2.53	9.15	1.93	102.59
	문동천	35.56	50.08	1.84	1.18	41.67	5.40	1.83	0.81	1.01	15.20	35.03	12.57	513.95
본류	Headwater	8.47	12.50	0.17	0.23	11.42	0.68	0.29	0.09	0.20	42.16	58.97	17.20	305.04
	Reach 1	39.35	72.44	1.29	0.99	66.91	3.25	1.66	0.52	1.14	11.61	28.45	7.36	1,218.50
	Reach 2	42.64	77.53	2.35	1.38	70.91	2.90	1.96	0.65	1.31	11.03	26.74	7.65	1,280.43
	Reach 3	195.89	174.51	18.09	4.30	134.28	17.84	7.84	5.37	2.47	28.64	40.98	22.16	2,338.14
	Reach 4	121.13	205.31	11.31	1.85	176.76	15.38	6.90	4.52	2.39	15.36	41.77	17.09	2,857.22
	Reach 5	160.58	274.26	3.51	2.81	245.40	22.54	7.41	1.90	5.51	12.47	31.14	10.27	4,570.50
	Reach 6	318.86	465.36	3.56	4.16	430.17	27.46	9.71	2.66	7.05	18.20	37.71	9.71	8,537.84
	Reach 7	381.21	543.87	9.44	8.06	495.67	30.71	7.82	3.48	4.34	20.16	40.11	7.25	9,814.53
	Reach 8	466.61	628.19	18.08	8.36	577.10	24.64	12.1	3.75	8.35	20.05	38.60	8.88	10,849.70
	Endwater	490.80	639.69	20.79	7.86	593.65	17.39	11.3	5.24	6.05	20.21	37.67	7.84	11,069.75

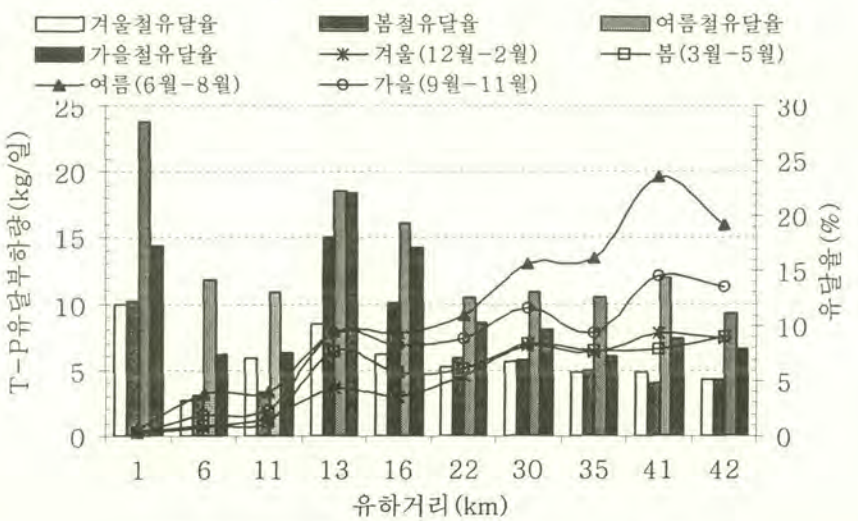


그림 3.6.3 유하거리에 따른 T-P 유달부하량

표 3.6.5 연평균 유달부하량 및 부하율(5)

구분	하천	유달부하량(kg/일)									유달율(%)			유량
		BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	BOD	T-N	T-P	m^3/시간
지류하천	금천	26.38	33.27	1.12	0.48	28.49	2.85	0.60	0.29	0.31	59.72	81.30	25.65	571.87
	덕곡천	9.78	18.24	1.01	0.72	15.55	0.95	0.33	0.18	0.15	44.36	93.51	17.91	149.81
	명곡천	9.40	13.79	0.18	0.20	12.63	0.78	0.18	0.07	0.11	33.80	44.09	9.94	202.47
	고현천	21.90	28.23	0.62	0.50	24.97	2.13	1.35	0.68	0.68	45.77	79.73	44.84	408.54
	소하천	16.36	11.74	0.91	0.41	9.11	1.18	0.50	0.32	0.18	15.66	24.96	12.67	124.79
	유구하수	183.30	28.53	9.03	1.24	11.02	6.39	2.94	1.81	1.13	154.5	67.91	95.21	120.65
	백교천	22.65	24.35	1.78	0.80	18.68	3.05	0.63	0.32	0.30	36.88	56.59	19.32	353.03
	대룡천	75.30	111.30	2.52	3.45	96.26	9.09	1.08	0.38	0.69	31.96	53.35	6.60	1,627.83
	마곡천	171.15	180.90	4.03	2.92	155.78	18.18	2.50	0.77	1.73	50.69	68.43	12.21	3,205.71
	계실천	23.14	20.64	0.58	0.54	17.36	2.02	0.32	0.12	0.20	24.95	24.82	5.68	345.79
	신영천	5.98	8.70	0.15	0.11	7.66	0.74	0.09	0.02	0.07	13.08	22.47	4.16	123.38
	방흥천	9.90	12.08	0.22	0.31	10.55	1.00	0.22	0.06	0.15	8.52	16.26	2.70	166.03
	문동천	81.47	78.72	2.15	2.46	62.70	11.39	1.65	0.73	0.92	34.84	55.06	11.34	940.68
본류	Headwater	12.05	15.12	0.26	0.37	13.37	1.12	0.30	0.12	0.18	59.98	71.30	17.50	317.00
	Reach 1	65.68	88.94	2.31	1.35	80.53	4.90	1.61	0.71	0.89	19.38	34.93	7.12	1,403.60
	Reach 2	73.48	100.82	3.00	1.79	92.04	4.65	1.92	0.85	1.06	19.00	34.77	7.97	1,533.00
	Reach 3	211.77	178.93	13.26	4.80	147.72	12.74	6.44	3.68	2.72	30.96	42.02	18.20	2,373.43
	Reach 4	171.32	204.52	7.72	3.46	178.45	14.83	5.66	3.17	2.50	21.72	41.61	14.02	2,827.15
	Reach 5	244.33	330.85	6.05	3.84	299.95	19.91	6.55	2.70	3.59	18.97	37.56	9.08	4,808.22
	Reach 6	422.94	541.58	10.51	7.75	486.15	33.65	9.13	3.97	5.16	24.14	43.88	9.12	8,473.57
	Reach 7	480.37	628.17	12.12	11.17	567.17	34.73	8.53	3.84	4.62	25.41	46.32	7.91	9,761.61
	Reach 8	596.60	736.20	16.09	12.15	664.61	37.94	11.5	4.53	6.98	25.63	45.23	8.47	11,120.33
	Endwater	608.44	746.62	14.91	11.77	679.16	34.45	10.5	4.57	5.84	25.05	43.96	7.31	11,335.27

결과적으로 유구천의 오염물질 유달부하는 유구읍을 지나면서 Reach 3에서 크게 증가하지만 하류로 유하하면서 자정작용과 질산화 및 탈질과정 및 물질변화과정 등의 영향으로 지속적인 증가와 감소가 되풀이 되고, 중류권에서 대룡천과 마곡천을 만나 오염물질 부하량은 급격히 증가추세를 나타내며 이후 하류지역에서 문동천 수질이 유입되면서 오염부하량이 증가하면서 금강에 유입되고 있다고 볼 수 있다.

6.3 유량과의 상관성 평가

실측된 유량과 유달부하량과의 상관성 검토를 통해 유달부하량과 유달율이 하천의 유량과 어떤 관련이 있는지를 평가하였고 하천유량과 수질과의 상관성도 살펴보았다.

유량과 유달부하량과의 관계는 꼭 일치하지는 않으나 상관성을 살펴보면 계절별 상관관계를 그림 3.6.4에 BOD, 그림 3.6.5에 T-N, 그림 3.6.6에 T-P을 나타내었다.

BOD유달부하량은 상관성(r)에 있어 0.9330~0.9809, T-N은 0.9540~0.9967, T-P는 r이 0.8644~0.9194의 범위값을 나타내어 각 항목당 유량의 증·감에 따른 유달부하량의 상관성이 비교적 높게 나타나고 이중 T-P의 유의성이 조금 떨어지는 것으로 나타났다.

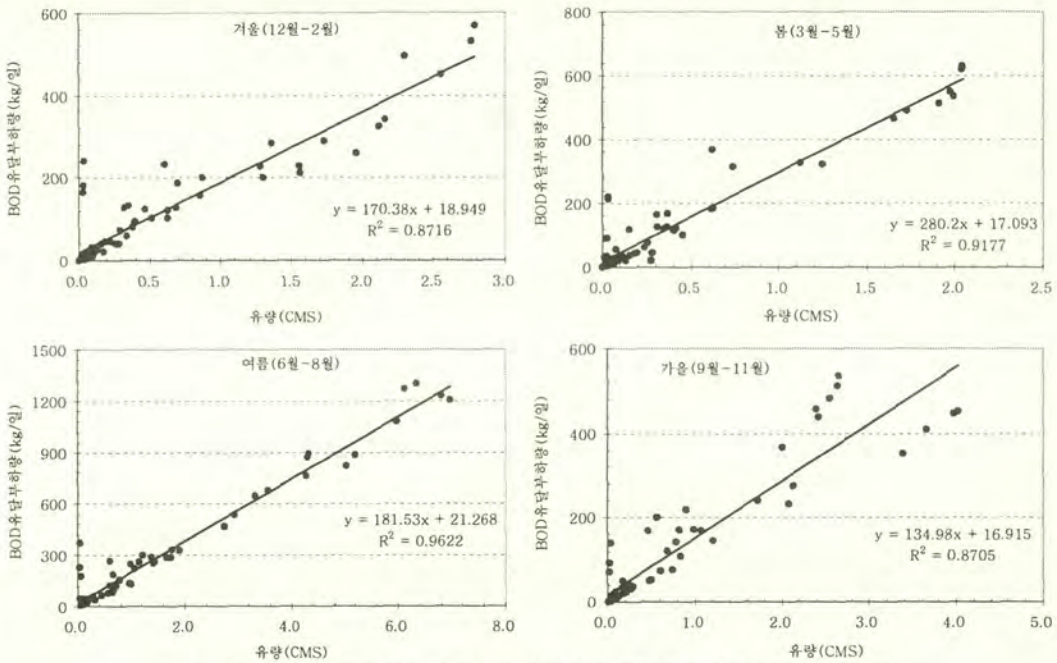


그림 3.6.4 계절별 유량과 BOD유달부하량과의 상관성

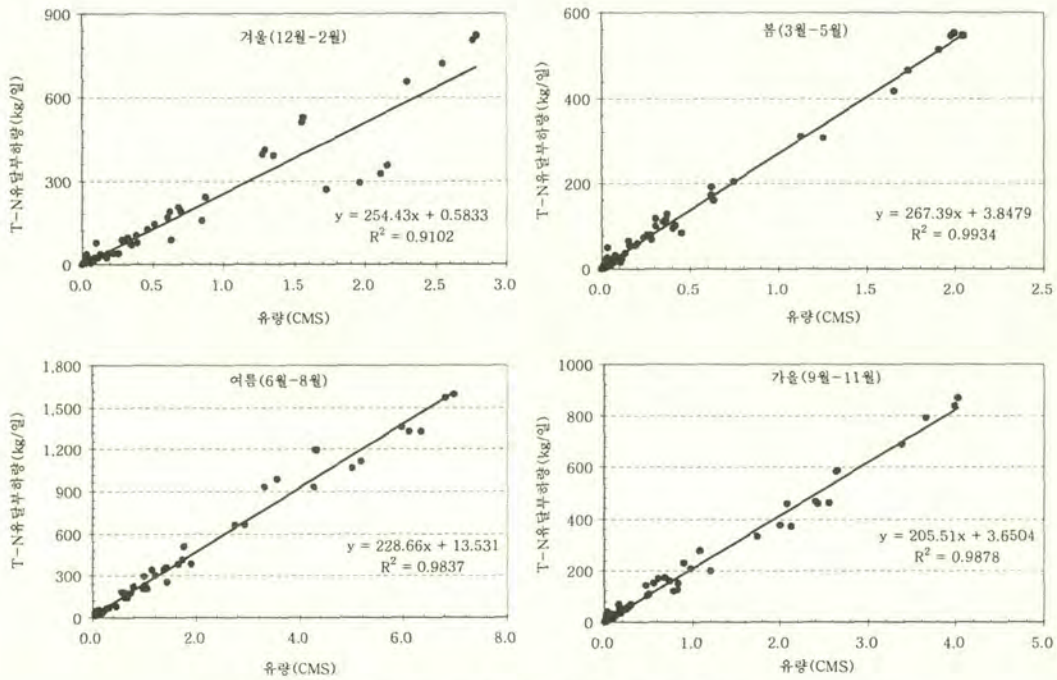


그림 3.6.5 계절별 유량과 T-N유달부하량과의 상관성

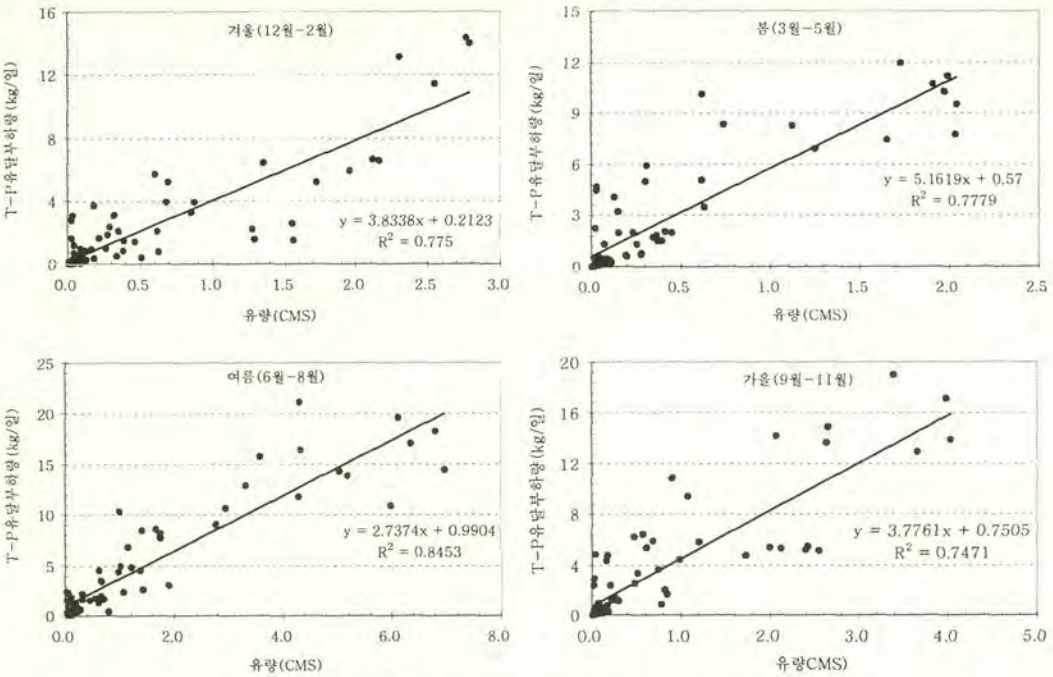


그림 3.6.6 계절별 유량과 T-P유달부하량과의 상관성

유량의 변화에 따른 유달부하량은 계절별 특이성은 많지 않으나 BOD, T-N, T-P의 경우 유량이 풍부한 여름철(6월~8월)에 가장 높고 유량과 유달부하량간의 상관성 또한 높은 것으로 조사되었다.

유량이 적고 동절기 관계로 오염원의 유·출입이 비교적 불규칙적인 겨울철(12월~2월)에는 BOD, T-N, T-P 모두 유달부하량과 상관성도 낮게 나타나고 있으며, 최대 갈수기인 봄철(3월~5월)에는 다른 계절에 비해 유량의 감소로 인한 수질오염도는 높으나 총유달부하량은 적으며 유량과 유달부하량과의 상관성은 비교적 높은 것으로 나타나 강우사상에 의한 영향이 적은 시기에 유역의 오염원이 유달되는 특성을 보여주고 있다.

유량이 비교적 풍부한 가을철(9월~11월)에는 유량과 유달부하량과의 상관성은 조금 떨어지나 유달부하량이 여름철 다음으로 높음을 보여주고 있다.

제4장 수질 모델링

1. QUAL2E 모형의 기본원리
2. 모형의 입력자료
3. 반응계수의 보정 및 검정
4. 오염물질 삭감부하량 할당
5. 장래 수질예측

제4장 수질모델링

1. QUAL2E 모형의 기본원리

1.1 QUAL2E 모형 선택 배경 및 적용

대상수체에서 일어나는 수질변화에 적합하게 개발된 수질모형은 여러 가지 방법으로 수질관리에 이용된다. 즉, 주어진 수체의 수질변화 과정을 과학적으로 설명하고, 그 주요 요인을 정량적으로 분석할 수 있을 뿐만 아니라 미지의 새로운 영향인자를 찾을 수 있게 해준다. 또한 새로운 오염물질의 유입으로 인해 장래의 오염도 변화를 예측하고 자정능력을 산출하여 배출허용 용량을 결정함으로써 과학적인 수질관리 대책수립에 도움을 준다.

자연의 상태를 어느 정도 실제 현상에 부합하도록 수식화 하느냐에 따라서 모델의 정확도가 평가되고 수식화 된 모델의 수치해석기법의 난이도에 따라 유용성이 평가됨으로 모형의 선정시 모델링 대상 유역의 수리, 화학 및 생물학적 현상을 시간 및 공간에 대해 적절하게 표현하는 모형 및 수치해석 기법의 선택이 중요하다.[34]

특정 하천의 수질관리 계획수립을 위해서 다음의 5단계의 과정이 필요한데, 그것은 유역의 오염부하량 파악, 수리적 및 계절적 인자 파악, 모델적용을 위한 반응계수의 추정, 특정 상황에서의 하천의 수질예측, 미래 하천유역의 오염부하량 변화시 변화추정 과정을 포함하게 된다. 또한 수질모델링을 수행하기 위해서는 대상하천의 특성, 목적, 수질항목, 모형의 정확도 등을 고려한 적절한 모형을 선정하여야 하며 표 4.1.1에 수질예측 모형을 비교하여 나타내고 있다.

상기 사항을 고려할 때 본 연구에서는 QUAL2E모형이 적당하다고 판단되었으며, 특히 전국주요하천 기초조사(국립환경연구소:1983)[35]와 한강유역 환경보전종합계획사업(환경청, 1983)[36]의 수질모델로 선정되어 사용되었다.

따라서 본 연구에서는 QUAL2E 모형을 이용하여 첫째, 실측과 모의를 통하여 해당수계의 반응계수를 추정하고, 둘째, 추정된 반응계수를 이용하여 유량상태에 따른 수질오염도를 예측하며, 셋째, 각 오염원이 유구천 수질에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고, 넷째, 수질목표달성을 위하여 삭감해야할 오염부하량을 산정하고 각 오염원별로 할당하여 과학적 수질관리를 위한 자료로 사용하고자 한다.

모형의 해당 수계적용을 위해서 해당 수계에 대한 전반적인 자료조사와 함께 본류 주요구간 및 각 지류하천의 유량과 수질을 측정하였고, 주요 오염원 및 용수의 치수 사항을 파악하여 모형의 입력자료 및 반응계수 추정에 이용하였다.

1.2 QUAL2E 모형의 개요

QUAL2E 모형은 Texas Water Development Board에서 개발한 QUAL-1를 근간으로 미국 EPA가 수질항목을 추가하여 발전시킨 QUAL2E의 모형을 PC에서 사용할 수 있도록

한 것이다.

표 4.1.1 주요 수질 모형의 개략적 특성[37]

Name	Developer	Major Features
QUAL2E	US.EPA(1985)	· 국내 하천에서 가장 많이 이용됨 · 15개 파라메타 모의 · Link-node형 모형
WASP5	US.EPA(1981)	· 하천 및 호소에 적용 · 조류성장에 따른 내부 유기물 증가원 포함 · DYNHYD, EUTRO5, TOXI5의 세부분으로 구성
WORRS	US.ACE	· 하천과 호소의 연결 모형 · Link-node형 모형 및 생물학적 항목 모의 가능 · 21개의 파라메타 모의
HEC-5Q	US.ACE	· 호소와 그 하류의 하천의 유량 및 수질 모의 모형
HSPF(v.11)	US.EPA(1980)	· 유역모델 및 하천 모형의 결합 · 유기물, 영양물질, 독성물질 및 토양침식의 모의
KQUAL97	Park & Lee (1997)	· 비교적 큰 하천에 적합하도록 변형된 모형 · 내생 BOD 포함 · 15개 파라메타 모의
BASIN	US.EPA	· 종합적인 유역 관리 모델 · QUAL2E, HSPF, TOXIROUTE, GIS의 통합 · 유역내 TDML산정 가능
STREAM	Park & Lee (1994)	· 15개 파라메타 모의 · Cell-in-series 방법 이용 · Graphic가능

QUAL2E 모형은 하천수질 모델링에서 중요한 유체이동과 오염물질 확산을 1차원적으로 해석하는 방정식이다. 이 방정식에서는 하천의 계산요소로서 유체의 흐름에 의하여 물질이 이동하는 이류(Advection), 유체의 난류와 농도차이에 의해 발생하는 확산(Dispersion), 수체내부에서 일어나는 생물화학적 반응과 상호작용에 의한 물질의 증감(Reaction and Interaction), 수체 외부에서 오염물의 유입·유출에 의한 오염 증감 등 4가지 사항을 포함한다.

표 4.1.2 QUAL2E 모형의 제한사항

제 한 사 항	
구간(Reach)	최고 50개
계산 요소(Element)	구간당 20이하, 총 500이하
상류 요소(Head water element)	최대 10개
합류점 요소(Junction element)	최고 9개
Input와 취수요소(Input and intaked water lement)	최고 50개

QUAL2E 모형은 혼합이 잘 일어나는 수지상 하천(Dendtric stream)에 적용할 수 있다. 이 모형은 하천의 주요한 수송기구, 이송, 확산이 주로 하천의 흐름방향인 종방향에서 주로 일어난다고 가정하고 본 모형에서 모의 할 수 있는 제한사항을 표 4.1.2에 나타내었다.

그림 4.1.1은 흐름 구간(reach)(n)을 나타내는데 각 구간은 수개의 소구간(subreach) 혹은 계산요소로 분할되었으며, 그 각각의 길이가 $\triangle x$이다. 계산요소의 각각에 대하여 요소의 상류면을 통한 유입(Q_{i-1}), 외부 source 혹은 취수(Q_{xi})와 요소의 하류면을 통한 유출(Q_i)의 항으로 수문학적 균형을 표시할 수 있다.

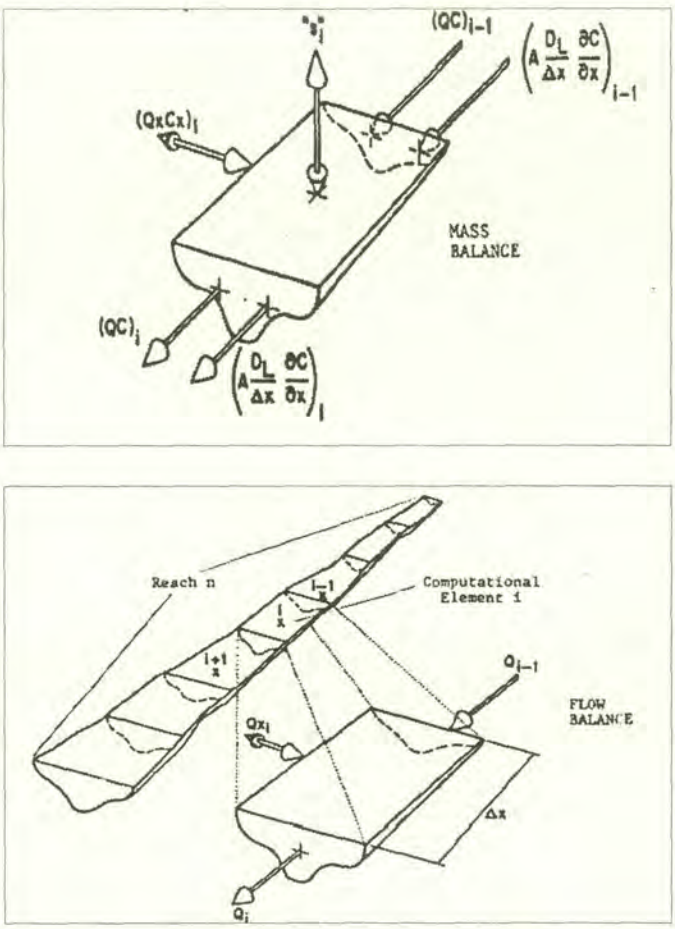


그림 4.1.1 하천의 수질모델링에 대한 물질수지 관계

마찬가지로 어떤 성분 C에 관한 물질의 균형도 그 요소에 관해서 표시될 수 있다. 물질의 균형에서는 흐름측을 따른 질량 이동이 원동력으로서 수송($Q \cdot C$) 및 분산($A\frac{D_L}{\triangle x}\ \frac{\partial C}{\partial x}$)

을 고려한다. 질량은 외부 source와 취수($Q_x C_x$)를 통하여 가해지거나 제거될 수 있고, 또한 하천수계의 저면 source와 생태학적인 변환과 같은 내부적 source와 sink를 통해서 가해지거나 제거될 수 있다. 각 계산요소는 완전히 혼합되었다고 간주한다.

단위구간에 대한 물질수지 기본방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\delta M}{\delta t} = \frac{\delta(Ax \cdot D_L \cdot \delta C/\delta X)}{\delta X} dx - \frac{\delta(Ax \cdot U \cdot C)}{\delta X} dx + Ax \cdot dx \frac{\delta C}{\delta t} \pm S \qquad (2.1)$$

여기서 M = 물질의 질량(M)
X = 거리(L)
t = 시간(T)
C = 농도(M/L^3)
Ax = 하도단면적(L^2)
D_L = 종방향 확산계수(L^2/T^1)
U = 평균유속(L/T^1)
S = 외부로부터의 유입 또는 유출(M/T)

$M = V \cdot C$이므로

$$\frac{\delta M}{\delta t} = \frac{\delta(V \cdot C)}{\delta t} = V\frac{\delta C}{\delta t} + V\frac{\delta V}{\delta t} \qquad (2.2)$$

여기서, $V = Ax \cdot dx$(L^3) 식1)

흐름이 정상 상태이라고 가정하면 $\delta V/\delta t = 0$이므로

$$\frac{\delta M}{\delta t} = V\frac{\delta C}{\delta t} \qquad \text{식2)} \qquad (2.3)$$

식1)에 식2)를 대입하면 식3)이 된다.

$$\frac{\delta C}{\delta t} = \frac{\delta(Ax \cdot D_L \cdot \delta C/\delta X)}{Ax \cdot \delta X} - \frac{\delta(Ax \cdot U \cdot C)}{Ax \cdot \delta X} + \frac{\delta C}{\delta t} + \frac{S}{V} \qquad \text{식3)} \qquad (2.4)$$

또한 여러 개의 오염 배출점, 방류점과 유입수 및 방류수의 증감을 포함할 수 있으며, 일정 수준의 용존산소를 유지하기 위해 필요한 희석수의 유량을 계산할 수 있다. 그러나 수리학적으로는 모의시간 간격에는 제한이 있어서 모의시간 동안에는 유역의 유량과 오염부하량은 일정하다고 가정한다.

QUAL2E 모형은 정상상태와 동적상태에 대해서 모의가 가능한데 이러한 점이 모형의 유용한 도구가 되는 이유이다. QUAL2E-UNCAS는 QUAL2E 모형 사용자가 정상상태의 수질모의를 할 때 불확실성을 모의할 수 있도록 민감도 분석(Sensitiity analysis), 일차오차 분석법(First order error analysis), 그리고 몬테카롤로 모의(Monte-carlo simulation) 등의 세가지 종류를 제공한다.

이러한 기능을 사용하면 모델의 민감도와 불확실한 입력자료가 수질예측에 어떠한 영향을 미치는 가를 분석할 수 있다. 모형예측에 포함된 불확실성을 정량화하면, 수질기준 달성을 위한 수질변수들의 위험도를 분석할 수 있다. 불확실성에 가장 영향을 주는 입력요소를 평가함으로써, 가장 효율적인 자료와 연구에 집중할 수 있어 불확실한 예측의 위험을 줄일 수 있고, 불확실성을 줄일 수 있는 방법을 강구할 수 있다.

특히, QUAL2E 모형에서 모의하는 수질항목들은 다른 수질항목의 오염물질 반응에도 영향을 주게 되는데 QUAL2E 모형에서 고려되는 오염물질 상호반응간의 관계는 Fig 4.1.2와 같다.

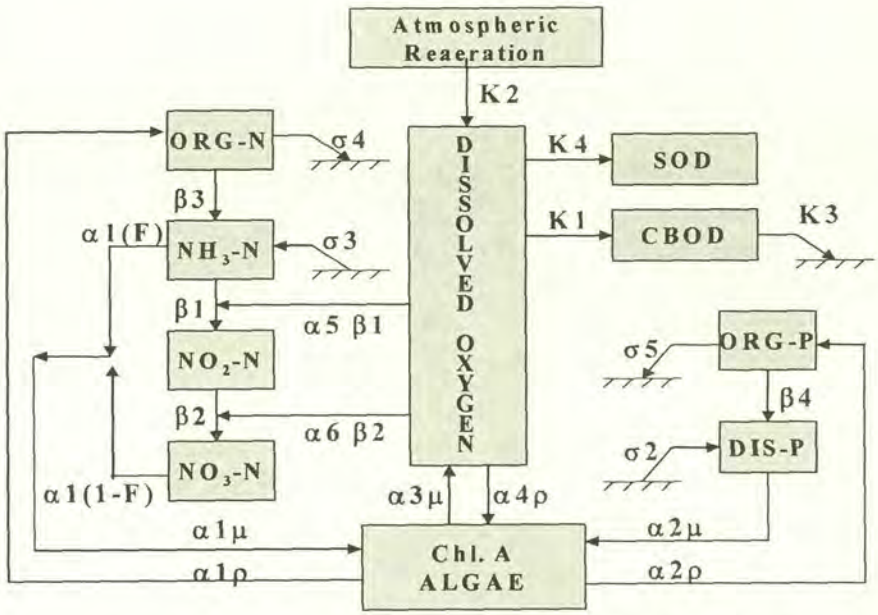


그림 4.1.2 QUAL2E모형 오염물질 상호간의 반응관계

1.3 수질항목의 반응 및 상호관계

하천의 자정능력을 결정하는데 있어서 가장 중요한 요소중의 하나는 적절한 DO농도를 유지하는 능력이다. 하천의 DO농도는 다른 여러 가지 요인중에서 대기의 재폭기, 광합성, 동식물의 호흡, 저질에 의한 산소요구량, 생화학적 산소요구량, 질화작용, 염분, 온도에 의해서 지배된다. QUAL2E모델은 영양염류 순환, 조류 생산물, 저층 산소요구량, 탄소화합물의 산소소모, 재폭기 등의 상호작용이 용존산소의 거동에 영향을 미치고 있다.

그림 4.1.2의 오염물질 상호간의 반응관계와 물질수지방정식을 이용하여 시스템 내에서의 수질항목 변화량(dC/dt)을 계산할 수 있으며 예측되는 수질항목들의 내부반응인자와 모델 방정식을 1차 반응으로 결정하여 표시하면 다음과 같다.

1.3.1 용존산소

어떠한 수계에 있어서도 산소의 균형은 하천의 자기 재폭기의 능력(용량)에 의존한다. 이 능력은 수계와 산소의 내부적인 source와 sink안에서 발생하는 이류와 확산과정의 함수이다. 용존산소의 sink에는 탄소질 및 질소질 유기물, 저생생물의 산소요구량 및 호흡에 사용된 생화학적 산소가 포함된다. DO는 재포기가 증가하거나 조류의 활동에 의해서 증가되며 하상퇴적물의 산소소비와 NH_3-N 및 NO_2-N의 산화 그리고 탈산소에 의해서 감소한다.

$$\frac{dO}{dt} = K_2(O^*-O) + (a\mu-a_4\rho)A - K_1L - K_4/d - a_5\beta_1N - a_6\beta_2N$$

여기서 O : 용존산소 농도
O^* : 주어진 온도 및 압력하의 포화용존산소농도
a_3 : algae의 광합성에 의한 산소생산량(mg-O/mg-A)
a_4 : algae의 호흡에 의한 산소감소율(mg-O/mg-A)
a_5 : ammonia성 질소의 산화에 따른 산소흡수율(소모율)(mg-O/mg-N)
a_6 : nitrite의 산화에 따른 산소소모율(mg-O/mg-N)
μ : 조류증가율(day^{-1})로 온도에 의존한다.
ρ : 조류흡수율(day^{-1})로 온도에 의존한다.
K_4 : 하상퇴적물에 의한 질소감소율
β_2 : nitrite의 산화율(day^{-1})로 온도에 의존한다.
β_1 : 암모니아 산화율(day^{-1})로 온도에 의존한다.

1.3.2 암모니아성 질소(Ammonia N)

NH_3-N는 유기질소의 가수분해나 하상퇴적물로부터의 부상에 의해서 증가되며 조류의 섭생활동에 따른 섭취나 NH_3-N의 산화에 의해서 감소하게 된다.

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_4N_4 - \beta_1N_1 + \sigma_3/d - F_1a_1\mu A$$

여기서 N_1 : 암모니아성질소의 농도
N_3 : Nitrite의 농도
β_1 : 임모니아성질소의 산화율
β_3 : 유기질소의 가수분해율
σ_3 : 암모니아성질소의 하상퇴적물로붙의 부상율
F_1 : algae의 암모니아성질소 섭취율

1.3.3 아질산성 질소(Nitrite N)

NO_2-N는 NH_3-N의 산화에 의해 증가하거나 Nitrite의 산화에 의해 감소하게 된다.

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1N_1 - \beta_2N_2$$

여기서 N_2 : Nitrite의 농도
β_2 : Nitrite의 산화율

1.3.4 질산성 질소(Nitrate Nitrogen)

NO_3-N는 Nitrite의 산화에 의해서 증가하거나 조류의 성장에 따른 섭취에 의해서 감소한다. 하지만 조류는 NH_3-N도 함께 섭취하므로 이에 대한 섭취분만큼 감하여 고려한다.

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1 - F) a_1 \mu A$$

1.3.5 유기질소(Organic Nitrogen)

유기질소는 조류의 쇠퇴에 의해서 증가되거나 조류의 가수분해에 의해서 감소된다.

$$\frac{dA}{dt} = a_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4$$

여기서 N_4 : 유기질소 농도
β_3 : 가수분해율
a_1 : algae 내의 질소함유율
ρ : algae의 쇠퇴율
σ_4 : 유기질소의 침전율

1.3.6 용존인

용존성 인은 하상퇴적물로부터의 부상이나 유기인의 변화에 의해 증가되며, 조류의 섭취에 의해서 감소하게 된다.

$$\frac{dP_1}{dt} = \beta_4 P_1 + \sigma_2 / d - a_2 \mu A$$

여기서 P_2 : 용존인의 농도
σ_2 : 하상퇴적물로부터의 용존인 부상율

1.3.7 유기인

유기인은 용존성 인과는 반대로 조류의 사멸이나 유기인, 용존인의 산화나 유기인의 침전에 의해 감소하게 된다.

$$\frac{dP_1}{dt} = a_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1$$

여기서 P_1 : 유기인의 농도
a_2 : algae내의 인함유율
β_4 : 유기인의 용존인으로의 변화율

1.3.8 CBOD(탄소질 BOD)

QUAL2E모형은 하천에서 최종적인 탄소질 BOD의 산소제거를 설명하기 위해 1차반응을 가정하며, BOD함수는 산소를 요구하지 않는 침전, 세굴과 응집에 기인하는 부가적인 BOD제거도 고려하고 있으며 CBOD는 탈산소나 침전에 의해 감소된다.

또한 5일 BOD를 모델링할때는 상류, 증가유량, 점오염원 부하와 하류의 경계조건 등 모든 BOD_5 유입에 시간함수 변환계수가 적용된다.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1L - K_3L$$

여기서 L : 최종적인 CBOD농도
K_1 : 탈산소율(day^{-1})로 온도에 의존한다.
K_3 : 침전에 의한 감소율(day^{-1})로 온도에 의존한다.

2. 모형의 입력자료

모형의 적용을 위해서 사용하는 변수들은 수리학적 변수와 수질관련 변수로 구분할 수 있으며, 이들 입력자료에 대해 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

2.1. 하천의 구역화

Qual2E 모델의 적용을 위해 그림 4.2.1과 같이 유구천 전역을 대상으로 수리 및 수질특성이 유사한 지점으로서 9개 Reach로 나누고 500m간격으로 구획화하여 적용대상 수역에 대한 상·하류 경계의 수리·수문 실측 입력자료을 적용하였고, 해당 Reach에서는 동일한 수리관련 계수 및 수질반응계수를 갖게 된다.

본 연구는 유구천의 발원지에서 유구읍 탑곡리까지는 약 3km를 Headwater로 적용하고 금강본류 합류전까지 총 42km 구간으로 각 Reach에 대한 개략적인 설명이다.

Reach 1은 headwater 끝지점부터 유구읍 입석리 입석교 하류 200m까지의 구간으로 3개의 지천이 유입되고 일부 가정오수가 유입되는 소하천을 포함하고 있으며 우수기를 제외하고는 비교적 유량이 적으며 젖소 사육이 비교적 많은 구간이다.

Reach 2는 고현천 합류전까의 상수원 보호구역으로 유구취수장에서 5,000톤($0.0579m^3/s$) 정도의 수도용수를 취수하고 있다. 이 구간에는 유입지천은 없으나 마을단위의 생활하수가 유입하는 소하천들을 포함하고 있다.

Reach 3은 고현천 합류후부터 백교천이 유입되기 전까지의 구간으로 유구하수를 포함하여 3개 지천이 유입되나 유량 유입은 많지 않으며 보가 설치되어 있어 하천의 폭이 넓어지고 유속이 느려져서 물이 정체되는 구간이며 대상 유역중 인구수가 가장 많은 유구하수의 영향을 많이 받는 구간이다.

Reach 4는 백교천 유입부터 신풍면 동원리 원골의 동원교까지의 구간으로 이곳에 농업

용수의 취수를 위한 보가 크게 설치되어 있어 하천의 폭이 넓고 유속이 느리며 농업환경의 영향을 많이 받는 구간이며, Reach 5는 동원교 하류부터 신풍면소재지를 경유하고 유량은 많으나 유량변화가 심한 대룡천이 유입된 후 신풍면 영정리 영정교까지의 구간으로 하천의 보가 넓고 하상구배가 다른 Reach보다 크며 보의 설치로 비교적 유속이 느린 구간이다.

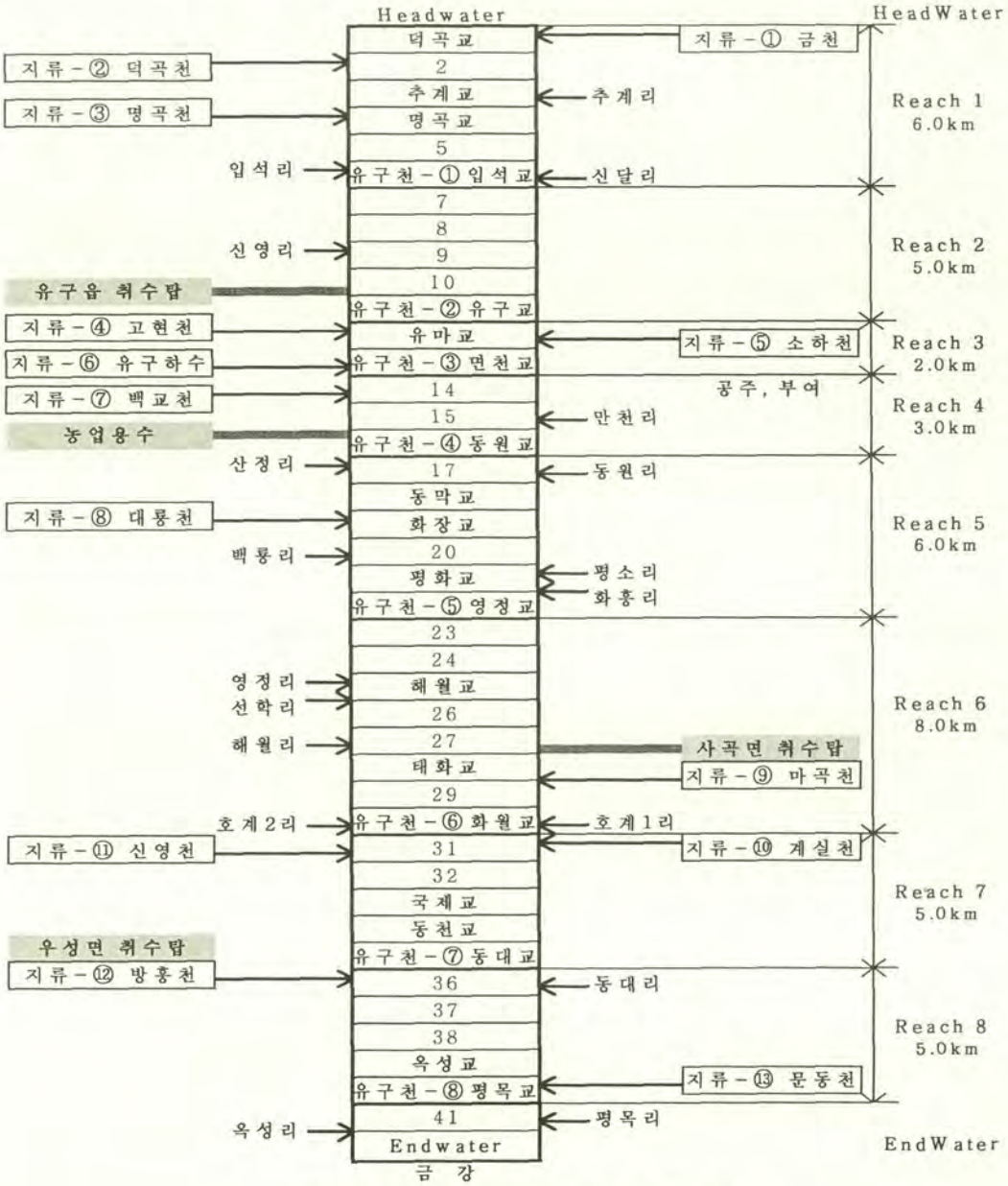


그림 4.2.1 유구천유역 수질모델링도

Reach 6은 영정교 하류부터 사곡면의 화월교까지의 구간의 사곡면의 영향과 이 유역의 최대 지천인 마곡천의 영향을 받고 있는 구간이며, Reach 7은 화월교 하류부터 유구천 매일측정망을 실시하고 있는 우성면 동대교까지로 이 구간은 2개의 지천이 유입되나 마을들이 많이 분산되어 있어 작은 소하천들의 유입이 많아 Incremental flow가 많은 구간이다.

Reach 8은 동대교에서 유역 최하류지점의 평목교까지로 2개의 지천이 유입되며, 우성면 일대의 생활하수가 유입되는 문동천이 위치하고 있는 구간이며, Endwater 구간은 평목교 하류부터 금강 유입전까지의 구간으로 비교적 유입 오염원은 적으나 최하류에 보가 설치되어 유속이 비교적 느린 구간이다.

각 지류의 유입지점의 거리는 통계연감 및 유구천 하천정비계획과 지형도를 참고했으며, 그 외 채수지점, 오염배출원, 용수취수지점은 1/50,000 지형도상에서 Scale Master를 이용하여 측정하였다.

구획된 각 Reach는 실제로 계산이 이루어지며 동일한 간격을 갖는(주로 1km나 500m)소구간의 계산요소(Computational element)로 아루어지며, 각 계산요소는 다음과 같은 7가지 형태를 가진다.

① Headwater element : 수계 상류에 위치하며 몬류 및 지류에 대하여 각각 하나씩 존재
② Standard element : 7가지 요소중 다른 것에 속하지 않는 가장 일반적인 element이다.
③ Element just upstream from a junction : Junction element의 바로 상단에 위치하는 본류상의 element
④ Junction element : 본류상의 element로 지류가 유입되는 곳에 위치하며 최대 6개까지 둘 수 있다.
⑤ Last element in system : 수계의 하류단에 해당하는 element로서 수계 전체에 대하여 단 한계 존재한다.
⑥ Input element : 본류상의 element로서 점오염원 또는 흐름이 유입되는 곳으로 여기에서는 각 공장지역 폐수유입지점 및 각 지천의 유입점에 해당된다.
⑦ Withdrawal element : 수계로부터 흐름이 유출되는 지점으로 input element와 합하여 최대 25개까지 둘 수 있다. 유구천에서는 상류의 유구취수장과 사곡면 및 우성면에서 일부 생활용수취수와 농번기철 농업용수 취수원이 해당된다.

2.2. 수리학적 입력자료(Hydraulic data)

수리학적 입력자료로는 상류수원과 각 지천의 유량과 함께 평균수심, 평균유속의 계산을 위한 유량계수와 확산계수 산정을 위한 무차원 확산상수의 입력이 필요하다.

2.2.1 유량계수

하천수계에 수질계산에 앞서 흐름에 대한 계산이 선행되어야 한다. 여기서 흐름 계산이

란 일반적으로 수계내의 각 지점에서의 유속 및 수심의 시간변화를 결정하는 것을 뜻한다. 유속은 수질 성분의 종방향이송(Advection)을 좌우할 뿐만 아니라 수심과 더불어 종확산계수(Longitutional dispersion coefficient, D_L) 및 재폭기 계수의 값을 결정하는 변수로서 의의를 갖는다.

QUAL2E모형은 하천의 수리 상황을 Steady-state, 즉 $\delta Q/\delta t=0$으로 가정한다. 그러므로 각 Computational element의 수리학적 수지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\frac{\delta Q}{\delta t})i = (Qx)i$$

여기서, $(Qx)i$는 element의 외부에서 유입되거나 외부로 유출되는 흐름의 총량이다.

위 식을 Q에 관해 풀면, 하천의 구획(Segment)에 따른 수리학적 특성은 다음과 같은 식에 의해서 결정될 수 있다.

$$U= aQ^b, \qquad d=\alpha Q\beta$$

여기서, U는 평균 유속, d는 평균 수심이며, a, b, α, β는 수위-유량곡선에서 결정된 경험적인 상수로서 유속, 깊이, 폭 등의 매개변수를 유량 매개변수에 대하여 로그-로그 그래프에 나타내면 보통 선형관계를 보이는데 장기간의 수리측정에 의한 Stage-discharge rating Curve가 있는 경우 각 구간(Reach)의 평균유속과 수심에 대한 수리계산 계수로서 사용되는 a, b, α, β를 구할 수 있다.

위 식들의 양변의 Ln을 취하면

$$LnU= Ln\ a + b LnQ, \qquad Lnd= Ln\ \alpha + \beta LnQ$$

가 되며, 각 회귀식의 기울기 및 y절편에서 유량계수를 구할 수 있다

유구천 본류중에서 일년간의 유량 실측자료를 이용하여 각 Reach에 대한 평균수심, 평균유속, 유량 자료를 회귀분석을 통하여 분석, 유량계수 값을 구하여 각 Reach별 입력자료로 이용하였다.

그림 4.2.2는 유구천유역의 각 Reach별 분기별 평균유속-유량간의 관계를, 그림 4.2.3은 평균수심-유량간의 상관성을 나타내고 있다.

유구천 전 유역에 대한 평균유속-평균유량과 평균수심-평균유량간의 계절별 평균을 대상으로 하면 겨울철에는 LnU = 0.3466 LnQ - 4.2526, Lnd = 0.2654 LnQ - 3.3326로 a= 0.0142, b= 0.3466, α= 0.0357, β = 0.2654를 얻었으며 상관계수 r은 0.8717과 0.9472을 나타내었으며, 봄철은 LnU = 0.3170 LnQ - 3.9583, Lnd = 0.2397 LnQ - 3.1498을 나타내어 a= 0.0191, b= 0.3170, α= 0.0360, β = 0.2397를 얻었으며 상관계수 r은 0.8912과 0.9509이었다.

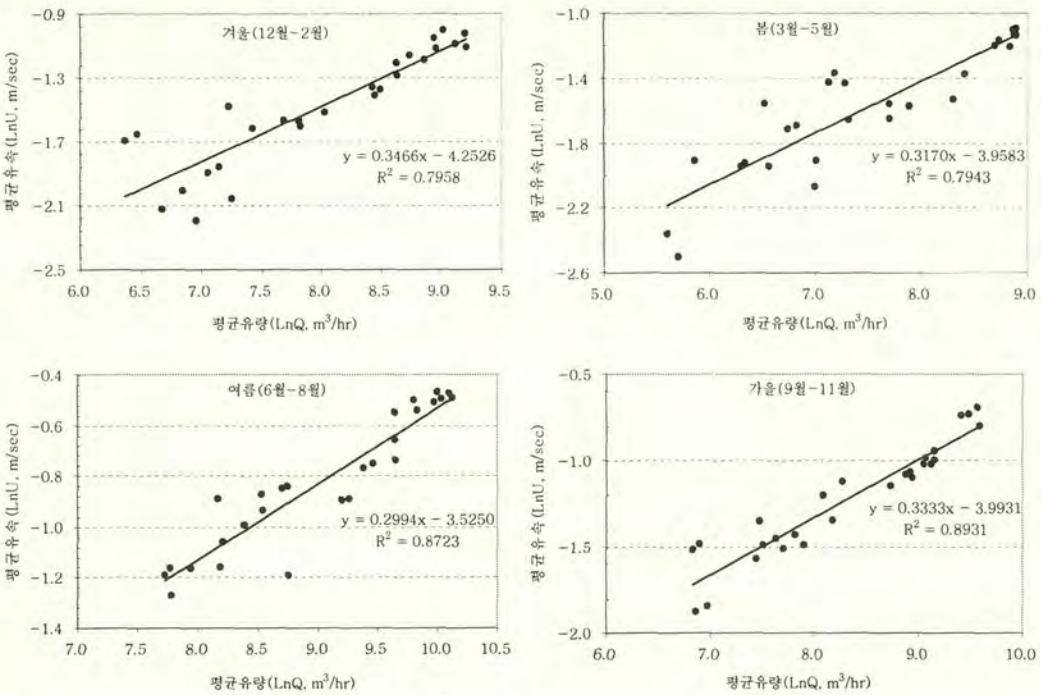


그림 4.2.2 유구천유역의 계절별 평균유속-유량간 상관성

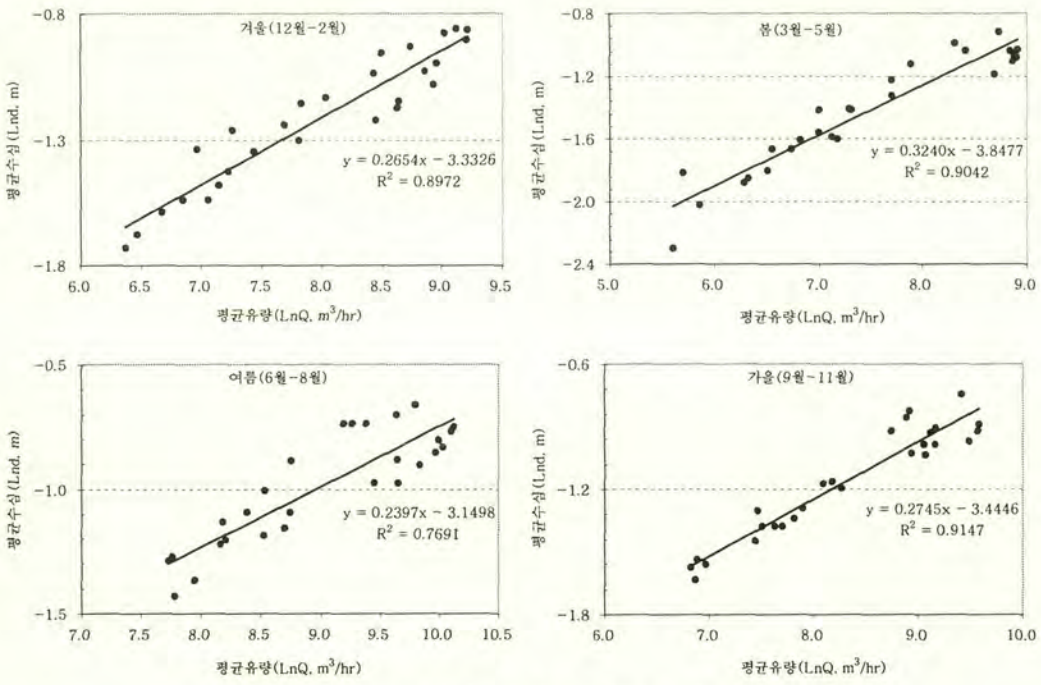


그림 4.2.3 유구천유역의 계절별 평균수심-유량간 상관성

여름철에는 LnU = 0.2994 LnQ - 3.5250, $Ln\ d$ = 0.2397 LnQ - 3.1498로 a= 0.0295, b= 0.2994, α= 0.0429, β = 0.2397를 조사되었으며 상관성은 0.9340과 0.8770을 나타내었고, 아울러 가을철에는 LnU = 0.3333 LnQ - 3.9931, $Ln\ d$ = 0.2745 LnQ - 3.4446로 a= 0.0184, b= 0.3333, α= 0.0319, β = 0.2745의 값을 얻었으며 상관성은 0.9450과 0.9564을 나타내었다.

대체로 유량이 적은 갈수기와 강우량이 집중되어 있는 풍수기와의 유량계수 값이 차이가 있어 년평균을 적용하기에는 어려움이 따랐다. 따라서 유량계수는 계절별로 3개월의 자료를 이용하여 보정하였고, 표 4.2.1은 각 Reach별 년평균 유량계수를 나타낸 것이다.

각 구간별로 구하여 계산된 수리학적 유량계수 값을 나타내고 있으며 계절별 유량계수와 관련된 방정식 및 기울기 그리고 유량-유속, 유량-수심과의 상관성은 부록 표-47에 나타내었으며 모델링에 사용된 유량계수는 각 계절별 반응계수를 사용하였다.

표 4.2.1 각 구간별 유량계수

유량계수 / Reach	a	b	α	β
Reach 1	0.0015~0.0396	0.2422~0.6856	0.0103~0.0871	0.1496~0.4316
Reach 2	0.0013~0.0062	0.4069~0.6766	0.0037~0.0392	0.2464~0.5367
Reach 3	0.0015~0.0243	0.2733~0.6529	0.0081~0.0191	0.3442~0.4658
Reach 4	0.0008~0.1228	0.1438~0.7010	0.0055~0.0619	0.2083~0.5260
Reach 5	0.0015~0.0411	0.2004~0.6097	0.0063~0.0304	0.2984~0.4863
Reach 6	0.0009~0.0327	0.2515~0.6650	0.0151~0.0901	0.1774~0.3752
Reach 7	0.0008~0.0333	0.2513~0.6751	0.0033~0.1548	0.0951~0.5305
Reach 8	0.0015~0.0631	0.1875~0.6050	0.0058~0.0553	0.2061~0.4597
Endwater	0.0023~0.0943	0.1382~0.5547	0.0045~0.2309	0.0600~0.4930

2.2.2. 확산계수(Longitutional dispersion coefficient, D_L) 및 조도계수

종방향 혼합은 일차원 모델에서 흐름방향의 혼합인데 이 과정은 확산계수로 설명할 수 있으며 하천이나 강에서 종방향 확산계수를 측정하기 위한 여러 가지 방법이 있는데, Elder Equation은

$$D_L = Kdu^*$$

정상개수로에서

$$u^* = C\sqrt{RSe}$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

$R = d$(for wide channel)

$$D_L = 3.82Knud^{5/6}$$

여기서 C : Chezy coefficient
R : 동수반경
Se : 에너지선의 경사
n : Manning의 조도계수

종방향 확산계수는(D_L)는 다음과 같은 식에서도 얻을 수 있다.

$$D_L = 22.6\ n \cdot u \cdot d^{0.833}$$

n : Manning의 조도계수
d : 평균 수심

수계별 일반적인 종확산계수 값의 범위를 표 4.2.2에 그리고 하천형태에 따른 Manning의 조도계수 범위의 값을 표 4.2.3와 표 4.2.4에 나타내었다.

표 4.2.2 수계별 종확산계수 범위

수 계 구 분	용수로 및 소하천	대 하 천	하 구
D_L ft^2/sec	0.03 - 3	3 - 300	300 - 6000

표 4.2.3 하천 및 수로의 조도계수의 범위(manning factor)

하 천 상 황	조도계수(n)의 범위
평야의 소하천, 잡초 없음	0.025 ~ 0.033
평야의 소하천, 잡초, 관목 없음	0.030 ~ 0.040
평야의 소하천, 잡초 많음, 잔자갈 하상	0.040 ~ 0.055
산지하천, 골재, 호박돌	0.030 ~ 0.050
산지하천, 호박돌, 큰 호박돌	0.040 이상
대하천, 점토, 사질하상, 사행이 적음	0.018 ~ 0.035
대하천, 자갈 하상	0.025 ~ 0.040

※ 자료출처 : "하천설계기준(안)"

유구천 전유역에 대한 확산계수는 60~180정도로 갈수기인 겨울과 봄철 그리고 유량이 적은 상류지역에서는 비교적 적은 확산계수 값을 가지고 유량이 풍부한 여름철과 유량이 늘어나 하폭이 40m~50m 정도로 넓어지는 중·하류유역에서의 확산계수 값은 크게 나타났다.

또한 조도계수 0.20~0.65의 범위값으로 하폭이 좁고 유량이 적으며 산간지역에 해당되는 상류지역에서의 범위값이 크고 하류지역에서는 적은 범위값을 나타내었는데 표 4.2.3과 표 4.2.4에서와 같이 평야의 소하천이나 자연하천수로의 조도계수값과 유사한 경향을 나타내고 있다.

표 4.2.4 다양한 개수로 하상에 대한 Manning 조도계수[38]

Material	*n*
인공수로 :	
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides :	
Concrete	0.020
Mortared stone	0.023
Riprap	0.033
자연하천수로 :	
Clean, straight	0.030
Clean, winding	0.040
Weeds and pools, winding	0.050
Heavy brush, timber	0.100

2.3 수질자료 입력

유구천 전 구간에 대한 대상 수질항목의 초기조건과 함께 상류 수원 및 지천의 수질 및 각 수질항목의 반응계수들을 입력하여야 한다. 측정 가능한 반응계수는 실측값을 사용하고, 그 외 다른 계수들은 QUAL2E 모형의 Manual상에 제시된 값 혹은 국내에서 실측되었거나 사용된 값을 일차로 사용한 뒤 민감도가 큰 계수들에 대해서는 보정을 실시한다.

모형은 수질항목에 따라 그와 관련된 반응계수를 각 Reach별로 실측한 값을 입력하여 모델링을 하여야 하나 반응계수의 상당수는 시간적, 비용적 측면에서 실측이 매우 어렵다. 따라서 반응계수는 다른 연구자가 사용한 값을 이용하는 경우가 많으나 보다 정확한 수질예측을 하기 위해서는 현장조사를 통한 실측이 중요하다.

이들 수질항목간의 반응을 설명하는 각각의 반응식이 있으며 이와 관련된 각각의 반응계수가 존재한다. 여기에서는 DO 및 BOD 계산이 가장 중요한 계수이며 실측이 비교적 용이한 탈산소 계수는 직접 구하고 나머지 민감도가 큰 반응계수들은 실측치와 모델링 결과 얻어진 모의치를 비교·보정하여 추정하고자 한다.

2.3.1 온도보정

수질 예측시 수질항목간의 1차 반응을 가정한 반응계수중 많은 요소들이 온도의 영향을 받게 되어 이를 적절히 보정해 주기 위해 다음과 같은 Arrenius의 온도보정식이 사용되며 온도에 대한 예측이 필요하다.

$$X_T = X_{20}\,\theta^{T-20}$$

여기서, X_T : 특정온도에서 보정된 값
X_{20} : 표준온도(20℃)

θ : 온도보정계수
T : 온도

2.3.2 재폭기 계수

하천의 재폭기 계수는 BOD와는 무관하게 주로 하천의 수심과 유속과 관련된 함수로 표현된다. 또한 각각의 온도조건하에서 DO포화량과 실제 용존산소량과의 차이, 즉 DO부족량이 클수록 산소흡수량이 커진다. 이밖에도 하천의 경사 및 형상, 수면난류상태, 기상등이 재폭기 계수에 영향을 미치므로 하천에서 DO농도에 영향을 미치는 수질인자를 정확하게 이해하는 것은 중요하다고 할 수 있다.

QUAL2E에서는 재폭기 계수를 연구자가 측정한 값을 입력하거나 모형내에 포함된 7가지 계산식 중에서 선택을 할 수 있는데 자연수에서의 산소확산 계수는 대략 $2.09\times10^{-5}cm^2/sec$이며[38], 풍수기를 제외한 시기에 유속이 느리고 비교적 수심이 얕은 유구천에 적당하다고 생각되는 O'Connor and Dobbins가 제안한 미터단위 방법을 선택하였다.

$$k_2 = 3.93\frac{U^{0.5}}{d^{1.5}}$$

여기서, U는 평균유속(m/sec), d는 평균 수심(m)이다.

또한 일반적으로 DO에 대해 영향을 미칠 수 있는 가장 큰 인자는 난류의 크기, 수온, 풍속, 수표면의 수막 등이며 이에 따라 재포기(Reaeration) 정도가 표 4.2.5과 같이 나타낼 수 있으며 모델의 보정 및 검정에 사용한 부록 표-48에서와 같이 유구천 전유역의 재포기 계수는 0.10~0.35로 나타나 표 4.2.5에서처럼 유속이 낮은 큰 하천의 재포기 계수와 유사한 경향을 보이고 있는데 유구천은 보가 많이 설치되어 유속이 비교적 느리고 보의 영향으로 하천의 폭이 큰 것과 같은 이유로 판단된다.

표 4.2.5 자정계수(Reaeration coefficient) f의 값

수 역	k_2(1/day)	20℃에서의 f
작은 연못	0.1 -0.23	0.5~1.0
완만한 하천, 큰 호수, 큰 저수지	0.23-0.35	1.0~1.5
유속이 낮은 큰 하천	0.35-0.46	1.5~2.0
보통유속의 큰 하천	0.46-0.69	2.0~3.0
유속이 급한 하천	0.69-1.15	3.0~5.0
급류나 낙차가 있는 곳	1.15이상	5.0 이상

※ 자료출처 : Fair, G.M. and Geyer, J, Water Supply and Wastewater Disposal, John wiley & Sons, Inc.(1954)

2.3.3 탈산소 계수

하천에서의 용존산소의 소비에 관한 탈산소 계수는 미생물과 같은 생물체에 의한 유기물의 제거에 필요한 산소소비에 의해서 결정되며, 미생물에 의한 산소의 소비는 탄소성 물질 및 그밖에 NH_3-N의 산화에 관련된 것이나 질소 등의 산화에 쓰이는 산소는 하천수중에 존재하는 질소산화 관련 미생물의 수 및 여러 요인에 의해서 결정되며 질소산화에 쓰이는 산소의 경우 하천의 DO가 고갈되었을 때 다시 쓸 수 있는 저장성이 강하므로 탈산소계수는 주로 탄소성 유기물의 산화와 관련된 것이다.

표 4.2.6 각 수질 인자간의 상호작용[37]

구 분	항 목	생성 및 감소 반응
물질상호간 반응이 없는 경우	보존성 물질	· 반응이 없음
	대장균	· 1차 감소
	임의 보존성 물질	· 1차 감소 및 1차 침전
	BOD(CBOD)	· 1차 감소(탈산소) 및 1차 침전 또는 부상
질소 순환	Organic- N	· Algae의 호흡에 의한 생성 · NH_3-N의 수화(hydrolysis)에 의한 1차 감소 · 1차 침전
	NH_3-N	· 수화에 의한 생성 · 산화에 의한 NO_3-N으로의 변화 · 저면발생원에 의한 발생 · 조류에 의한 감소
	NO_2-N	· NH_3-N의 산화에 의한 생성 · 산화에 의한 NO_3-N으로의 변화
	NO_3-N	· NO_2-N의 산화에 의한 생성 · 조류에 의한 감소
인 순환	Organic- P	· 조류에 호흡에 의한 생성 · 용해성 인(Dissolved P)로의 1차 감소 · 1차 침전
	Dissolved-P	· Organic P의 용해에 의한 생성 · 저면 발생원에서의 발생 · 조류에 의한 감소
조류	Algae	· 1차 성장 · 호흡에 의한 1차 감소 · 1차 침전
용존산소량	DO	· 재폭기에 의한 생성 · 조류의 호흡 및 광합성에 의한 소비, 생성 · CBOD 및 SOD에 의한 감소 · NH_3-N 및 NO_2-N의 산화에 의한 감소
보존성물질		· 변화 없음

탈산소 계수를 구하는 방법중에는 Least square method, Slope method, Moment method, General laboratory method 및 Simple method등이 있다.

생물학적 산화에 의한 산소이용율과 유기물질의 분해사이에는 유기물질 농도의 항으로 표시하며 유구천에서 채취한 시료의 BOD를 매일 측정한 후 다음 방정식을 사용하면 호기성 생물학적 산화에 의한 유기물질 소모율을 산정할 수 있다.(Linvil G. Rich 1973)

$$\frac{dc}{dt} = -\kappa_1 L$$

여기서, L=시간 t에서의 유기물 농도(제 1단계 BOD농도 : mg/ℓ),

k_1=탈산소 계수(1/d)

위 식을 t=0에서 t까지 적분하면 다음 식과 같이 된다.

$$L_t = L_o\, e^{-k_1 t}$$

또 위 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = L_o(1 - e^{-k1t})$$

여기서 $y = L_o - L_t$: 시간 t까지 소비된 BOD

L_o : 초기혼합지점의 BOD농도

위 식을 이용하여 L과 k_1을 구하고자 할 때 비교적 간단한 그래프법에 의하여 실험실 자료로부터 계산할 수 있다.

표 4.2.7은 수종에 따른 탈산소계수 값을 나타내었으며 표 4.2.8은 국내에서 측정하였던 유기물감소속도 정수 자료를 나타낸 것으로 일반적으로 탈산소계수는 하수 등이 유입되는 곳에서는 높은 값을 가지고 있으며 대하천, 호소에서는 0.1이하로 낮은 것이 보통이다.

표 4.2.7 수종별 탈산소계수

수종			k(1/d)
가정오수	약오염(〈100)		0.15
	평균(100~250)		0.15
	강오염(〉250)		0.15
하수처리장 배출수	최초침전지		0.15
	최종침전지		0.05~0.15
하천	1 ~ 4		0.04~0.10
	〉4	얕은 하천	0.06~0.4
		깊은 하천	0.12~0.24

자료출처 : 환경 Assessment manual, 일본환경기술연구회, 1978

표 4.2.8 유기물 감소속도정수의 산정 예

하천명	연구자명	속도정수(day^{-1})
경안천	서윤수, 이인선 등	총괄적인 자정계수(BOD) 0.36~6.98 탈산소계수 : 0.03~0.17 침강계수 : 0.11~0.09
낙동강	송준상 등	탈산소계수 : 0.11~0.49
	전국주요하천기초조사(1)	탈산소계수 : 0.051~0.450
복하천	이인선 등	탈산소계수 : 0.37 침강계수 : 1.25~2.65
양화천	이인선 등	탈산소계수 : 0.18 침강계수 : 1.91~2.53
한강유역	한강유역환경보전사업	탈산소계수 : 0.02~0.35
북한강	서윤수 등	탈산소계수 : 0.02~0.04
남한강1	서윤수 등	탈산소계수 : 0.02~0.15
남한강2	서윤수 등	탈산소계수 : 0.02~0.11
낙동강유역	낙동강유역환경보전사업	탈산소계수 : 0.10~0.40
서남해권	서남해권유역환경보전사업	탈산소계수 : 0.05~0.25
금강	이인선 등 전국주요하천기초조사	탈산소계수 : 0.009~0.669
영산강	전국주요하천기초조사	탈산소계수 : 0.079~0.399
섬진강	전국주요한천기초조사	탈산소계수 : 0.077~0.479
만경강	전국주요하천기초조사	탈산소계수 : 0.104~0.240

모델적용에 필요한 탈산소 계수값은 부록 표-48에서와 같이 0.001~0.075의 범위값을 가지는 것으로 나타났는데 표 4.2.7에서와 같이 수심이 비교적 얕은 하천 등의 탈산소 계수값과 유사한 경향을 보였다.

2.3.4 하상퇴적물에 의한 산소소모율(SOD)

수계 바닥에 쌓여 있는 저질토 내에 함유되어 있는 물질의 생물학적 또는 화학적 작용에 의해 수중의 용존산소가 소비되는 것을 말한다. 하천의 저질에서 요구되는 산소소모량은 주로 침강된 유기물질의 분해와 저서성 생물의 호흡 및 환원성 물질의 산화작용에 따라 발생하게 되며, SOD에 영향을 미치는 주요 요인은 수온, 저수층의 DO 및 유속, 저서생물의 특성, 간극수와 저질 내 유기물의 특성 등이다.

표 4.2.9은 국내외에서 주로 사용되고 있는 수질예측 관련 반응 계수인 하천 바닥의 평균 산소소모율이며 그와 관련된 반응계수를 각 Reach별로 입력하여 사용하여야 한다.

강과 하구에는 유속이 느릴때 고형물 침전이 일어나고 유속이 커지면 하상이 씻겨 나가게 되어 저질토층은 작아지므로 수계의 유황조건에 따라 SOD값은 크게 달라질 수 있는데 유구천 유역의 하상퇴적물에 의한 산소소모량은 하천바닥에 자갈이 많고 오염부하가 작은 상류유역에서는 0.002~0.030의 값으로 비교적 적으나 중·하류 유역에서는 0.100~0.500 $gO_2/m^2/d$의 범위값을 나타내어 표 4.2.9에서와 같이 하천바닥의 특성이 모래바닥과 유사한

경향을 가지고 있는 것으로 나타났다.

표 4.2.9 하천 바닥의 평균 산소소모율

바닥 특성	O_2 uptake($gO_2/m^2/d$), 20°C	
	범 위	평 균
하수오니 낙하부근	2~10	7
하수오니 낙하하류	1~2	1.5
섬유오니	4~10	7
진흙	1~2	1.5
모래바닥	0.2~1	0.5
미네랄 토양	0.05~0.1	0.07
하천	-	2.15

3. 반응계수의 보정 및 검정

3.1 모형의 보정

모형의 보정이란 모형에서 계산된 계산 수질값이 실측 수질값을 잘 반영하도록 모형을 구성하는 물리적, 화학적, 생물학적 현상을 표현하는 물질수지식의 각종 계수를 조정하는 작업을 말한다.[39]

모형의 보정에는 시행착오법[40]을 사용하였고 각 계절별로 수질 및 유량의 자료를 이용하여 보정하였으며 보정에 사용된 수질항목은 QUAL2E 모형에 적용되는 34개 반응계수 중 본 연구의 모의 대상 수질항목인 BOD, 질소, 인의 생성 및 소멸에 관련된 것으로 모의 결과에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 BOD 등 11개 항목의 반응계수를 선정하였다.

보정은 실측지점의 실측값과 모의값을 비교하여 모의값과 실측값이 근사치가 되도록 수역내의 매개변수 및 상수의 값을 시행착오법으로 반복하여 표 4.3.1에 대략적인 값을 나타내었고, 부록 표-48에 전체적인 보정된 값을 수록하였으며 보정 결과 계절별 BOD는 그림 4.3.1, T-N은 그림 4.3.2 그리고 T-P는 그림 4.3.3에서, 그리고 보정에 따른 각 계절별 검정결과를 BOD는 그림 4.3.4, T-N은 그림 4.3.5와 T-P는 그림 4.3.6에 나타내었다.

유구천에 QUAL2E 모형 적용은 모델링의 시작지점과 각 Reach의 끝지점의 유량과 수질을 경계조건으로 입력하여 모델링 결과값과 실측값이 일치될 때까지 Reach별로 각종 반응계수를 수정하여 진행하였다. 적용된 계수값 중 탈산소 계수값은 실측치를 이용하였고 나머지 계수들은 모델링 과정을 통하여 도출하였다.

월별 자료를 이용하여 통합적인 반응계수를 산출하여야 하나 계절별 하천의 특성변화가 심하고 유량과 수질의 변화가 커 각 계절별로 반응계수들을 산출하였고 모델적용 또한 계절별로 다르게 적용하였다.

겨울철(12월~2월)에는 1월의 보정자료를 이용하여 12월과 2월자료를 보정 및 검정하였

고, 봄철(3월~5월)은 4월의 자료를 이용하여 3월과 5월 자료를, 여름철(6월~8월)에는 7월의 자료를 이용하여 6월과 8월 자료를, 가을철(9월~11월)에는 10월의 자료를 이용하여 9월과 11월의 자료를 보정 및 검정을 실시하였다.

표 4.3.1 QUAL2E Model식에 사용된 반응상수의 보정값

Notation	Description	Unit	Range of Value	Input Value
k_1	Carbonaceous deoxygeneration rate constant	day^{-1}	0.02~3.4	0.001~0.075
k_2	Reaeration rate constant	day^{-1}	0~100	0.10~0.35
k_3	Rate of loss of BOD due to settling	day^{-1}	-0.36~0.36	0.001~0.065
k_4	Benthic oxyren uptake	$\frac{mg-O}{ft^2-day}$	Variable	0.002~0.500
β_1	Rate constant for the biological Oxidation of NH_3 to NO_2	day^{-1}	0.1~1.0	0.10~0.60
β_2	Rate constant for the biological Oxidation of NO_2 to NO_3	day^{-1}	0.2~2.0	0.10~0.50
β_3	Rate constant for the hydrolysis of organic-N to ammonia	day^{-1}	0.02~0.4	0.01~0.20
β_4	Rate constant for the decay of organic-P to dissolved-P	day^{-1}	0.01~0.7	0.01~0.06
σ_2	Benthos source for dissolved Phosphorus	$\frac{mg-O}{ft^2-day}$	Variable	0.001~0.002
σ_3	Benthos source for ammonia nitrogen	$\frac{mg-O}{ft^2-day}$	Variable	0.01~0.35
σ_4	Organic nitrogen settling rate	day^{-1}	0.001~0.1	0.01~0.15
σ_5	Organic phosphorus settling rate	day^{-1}	0.001~0.1	0.01~0.10

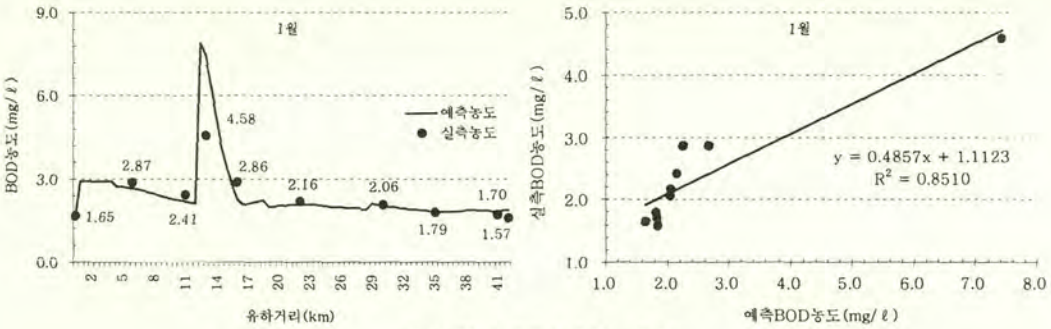
3.2.1. BOD

그림 5.3.1에서 BOD농도변화를 하천의 유하거리에 따라 실측값과 예측값의 상관성을 나타낸 것으로 모델을 적용한 실측값과 모의값의 비교에 있어서 전반적으로 변화경향과 변화값에 있어 실측치에 대한 재현성이 유의성이 높게 나타나고 있다.

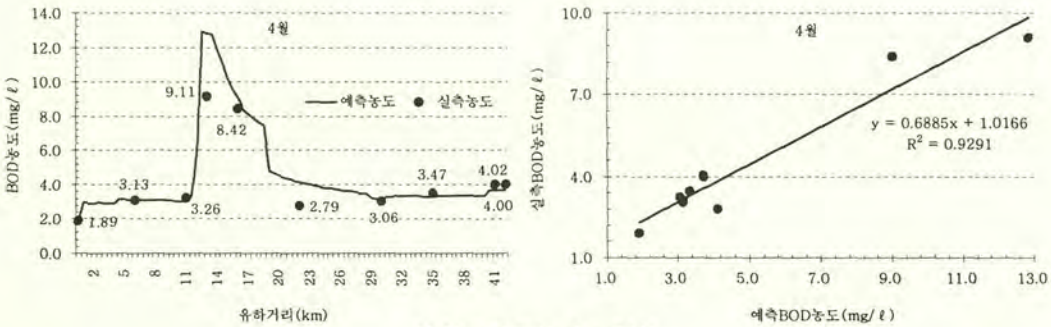
유구읍내를 지나는 14km 구간인 Reach 3은 고현천과 유구읍내 소하천 그리고 유구하수와 백교천이 유입되는 구간으로 모의값이 비교적 다른 구간보다 월등히 높게 나타나는 것은 이 유역의 생활하수와 축산계에서 배출되는 오염부하량에 의한 것으로 사료되며, 가을철에 이 구간의 모의값이 비교적 낮게 나타나는 것은 다른 계절에 비해 유입지천의 BOD농도가 낮게 유입되는 것으로 판단된다.

표 4.3.2에서의 검정과 같이 보정값을 적용한 실측치와 모의치의 상관성을 살펴보면 겨울철(1월)의 상관성(r)은 0.9225로 검정한 12월과 2월의 상관성은 각각 0.9433, 0.9247로 보정값과 유사한 경향을 나타내었다.

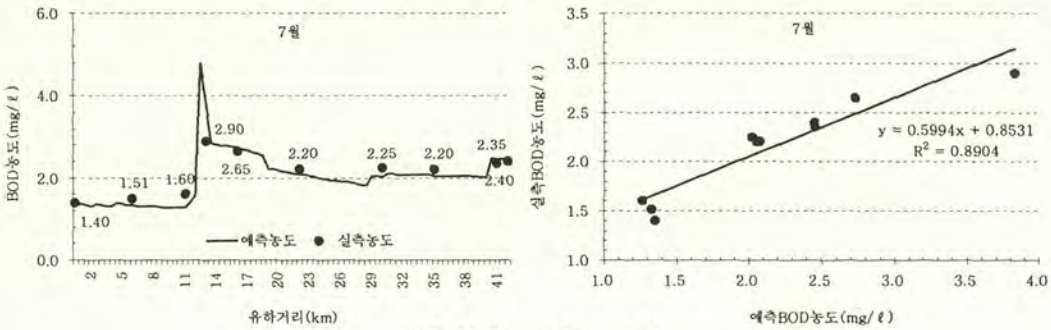
봄철 모의과정에 있어 보정에 따른 실측값과 모의값은 4월에 r은 0.9639로 검정한 3월과 5월이 각각 0.9966, 0.9384의 높은 유의성을 나타내었으며, 여름철에는 검정에 따른 유의성이 0.9477과 0.9386이었고 가을철에는 0.9593과 0.9926 등 높은 유의성을 보이고 있다.



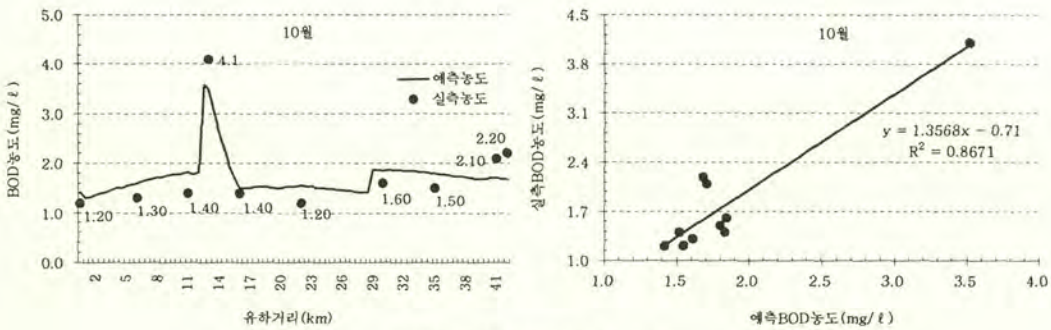
겨울철 BOD(12월~2월)



봄철 BOD(3월~5월)



여름철 BOD(6월~8월)



가을철 BOD(9월~11월)

그림 4.3.1 보정시 계절별 BOD의 모의치와 실측치의 비교

3.2.2. T-N, T-P

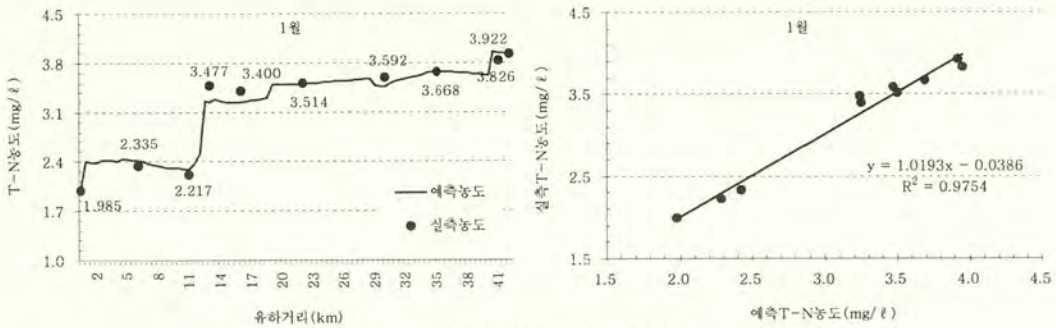
그림 4.3.2는 하천의 유하거리에 따라 T-N 농도변화를 그림 4.3.3은 T-P 농도변화를 모델을 적용한 실측값과 모의값의 비교로 나타낸 것으로 실측치에 대한 재현성이 좋게 나타나고 BOD와 마찬가지로 유구읍내를 지나는 14km 구간인 Reach 3에서 모의값이 다른 구간보다 높게 나타나고 있으며 T-N은 유하하면서 자정작용의 영향을 적게 받고 있으나 T-P은 유하거리에 따라 농도가 많이 감소하고 있는 경향을 볼 수 있다.

보정값에 따른 검정결과는 표 4.3.2에 나타낸 것과 같이 전반적으로 상관성은 높게 나타나 보정값과 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

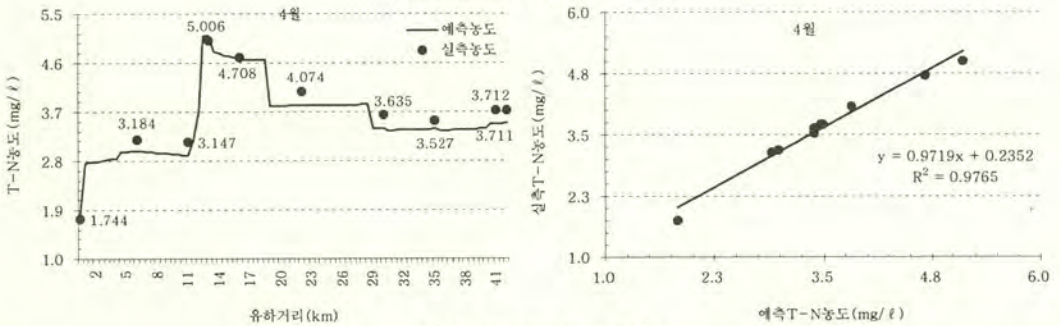
유구천의 유량과 관련한 모의는 그림 4.3.7에서와 같이 갈수시, 평수시, 풍수시로 구분하여 시나리오를 설정하여 보았으며 비교적 유량에 대한 모의값과 실측값의 유의성이 높은 이유는 오염원 유입이나 유량의 유입이 비교적 적은 소하천을 대상으로 Incremental flow을 적용한 것으로 사료된다.

표 4.3.2 보정 및 검정결과의 상관성

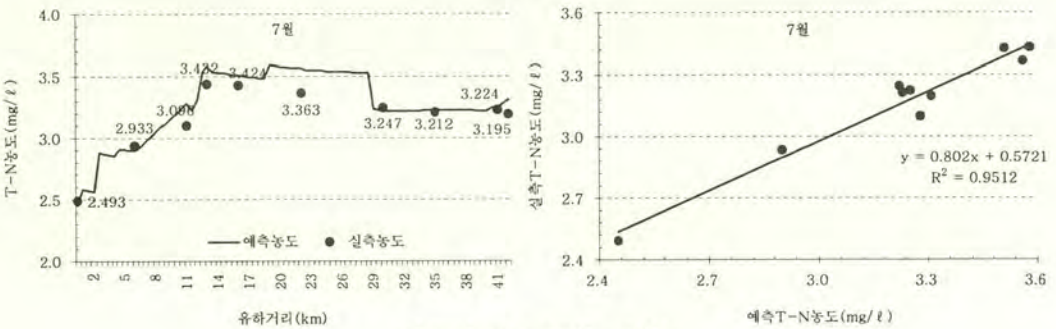
계절	보정	상관성	검정	상관성
겨울 (12월~2월)	1월	BOD : 0.9225 T-N : 0.9876 T-P : 0.9255 유량 : 0.9999	12월	BOD : 0.9433 T-N : 0.9813 T-P : 0.8773 유량 : 0.9999
			2월	BOD : 0.9247 T-N : 0.9602 T-P : 0.9760 유량 : 0.9998
봄 (3월~5월)	4월	BOD : 0.9639 T-N : 0.9882 T-P : 0.9882 유량 : 0.9991	3월	BOD : 0.9966 T-N : 0.9589 T-P : 0.9802 유량 : 0.9999
			5월	BOD : 0.9384 T-N : 0.8611 T-P : 0.9922 유량 : 1.0000
여름 (6월~8월)	7월	BOD : 0.9436 T-N : 0.9753 T-P : 0.8370 유량 : 1.0000	6월	BOD : 0.9477 T-N : 0.9816 T-P : 0.6915 유량 : 0.9999
			8월	BOD : 0.9386 T-N : 0.9645 T-P : 0.9545 유량 : 1.0000
겨울 (9월~11월)	10월	BOD : 0.9312 T-N : 0.9053 T-P : 0.9501 유량 : 0.9992	9월	BOD : 0.9543 T-N : 0.9791 T-P : 0.9543 유량 : 0.9999
			11월	BOD : 0.9926 T-N : 0.9792 T-P : 0.9076 유량 : 0.9999



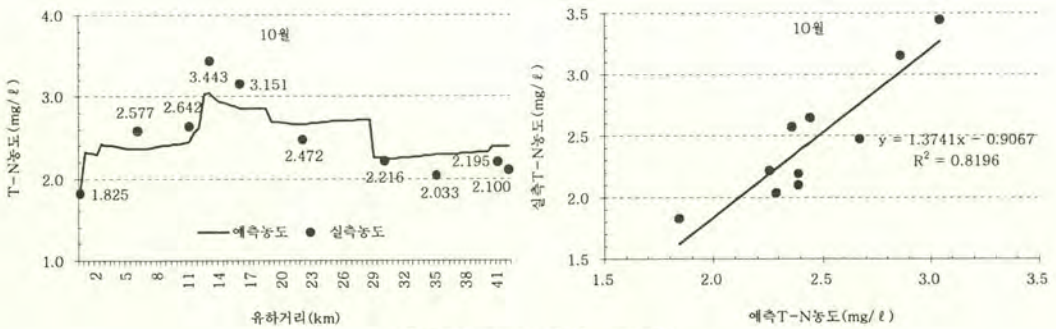
겨울철 T-N(12월~2월)



봄철 T-N(3월~5월)

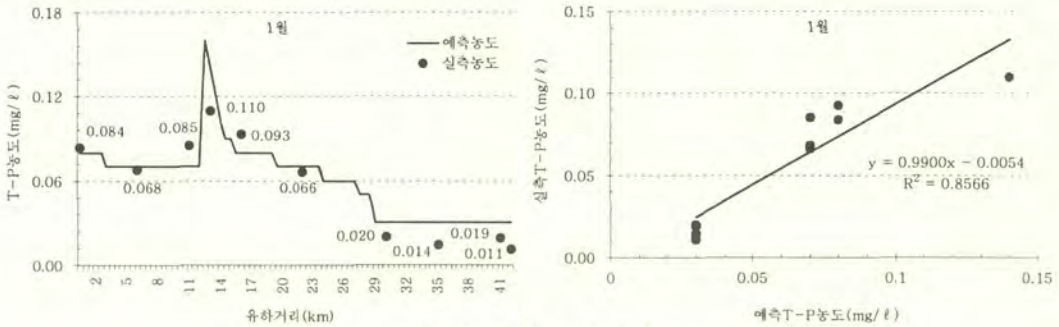


여름철 T-N(6월~8월)

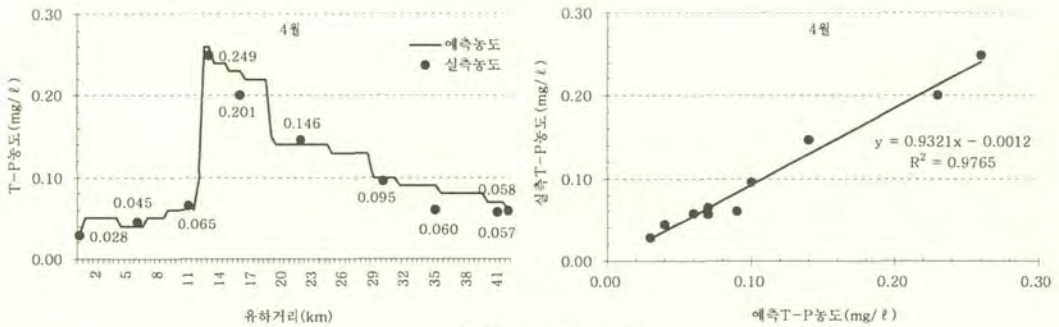


가을철 T-N(9월~11월)

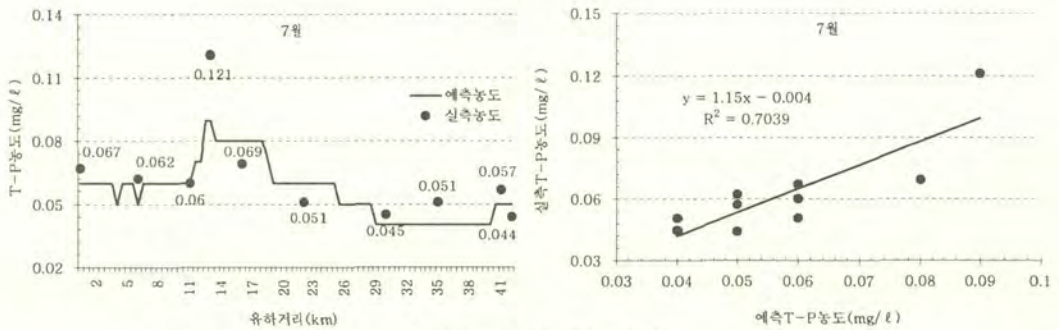
그림 4.3.2 보정시 계절별 T-N의 모의치와 실측치의 비교



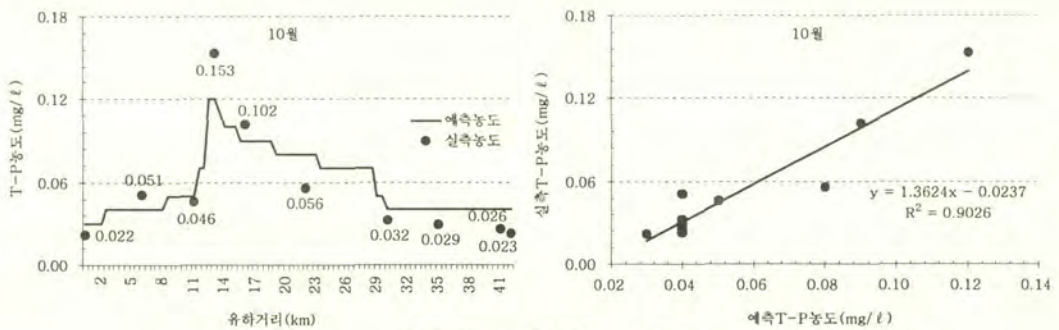
겨울철 T-P(12월~2월)



봄철 T-P(3월~5월)



여름철 T-P(6월~8월)



가을철 T-P(9월~11월)

그림 4.3.3 보정시 계절별 T-P의 모의치와 실측치의 비교

3.2 모형의 검증

모형의 검증이란 수학적 모형의 반응계수를 보정한 후 이 모형이 다른 환경조건에서 얼마나 실측치를 반영하는가를 판단하는 것이다.[41] 반응계수의 보정 및 검증에 사용된 자료는 매월 측정한 유량 및 수질자료를 계절별 보정값으로 반응계수를 보정하였고 그 보정된 계수를 계절에 따른 매월별로 검증하였다.

검증결과, 그림 4.3.4는 계절별 BOD, 그림 4.3.5는 계절별 T-N 그리고 그림 4.3.6은 계절별 T-P의 검증과 실측치와의 비교를 보여주고 있으며 유구천의 9개 Reach에 대한 보정 및 검증된 반응계수의 유의성에 대한 상관관계를 표 4.3.2에 나타내었다.

반응계수의 보정 및 검증은 RI(Reliability index)를 이용였는데 이는 실측치와 모의치 사이의 일치성을 평가하기 위해 이용하는 척도로 모형의 예측능력(Model's Performance)을 평가하는데 이용된다.

실측치와 모의치가 일치하면 RI값은 1.0이 되고, 두 값의 차이가 클수록 RI값은 커지며 모델적용에 따른 모의치인 예측력이 떨어진다고 할 수 있다.

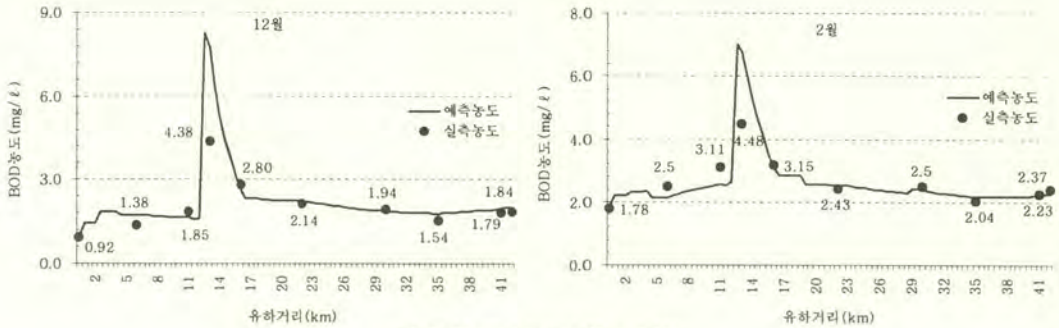
$$RI = \frac{1+\sqrt{1+\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N}\frac{[1-(Ytn/Xtn)]^2}{[1+(Ytn/Xtn)]^2}}}{1-\sqrt{1+\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{T}\sum_{n=1}^{N}\frac{[1-(Ytn/Xtn)]^2}{[1+(Ytn/Xtn)]^2}}}$$

Y = 실측농도, X = 예측농도, T = 실측횟수, N = 비교한 수질항목(X,Y)조의 수

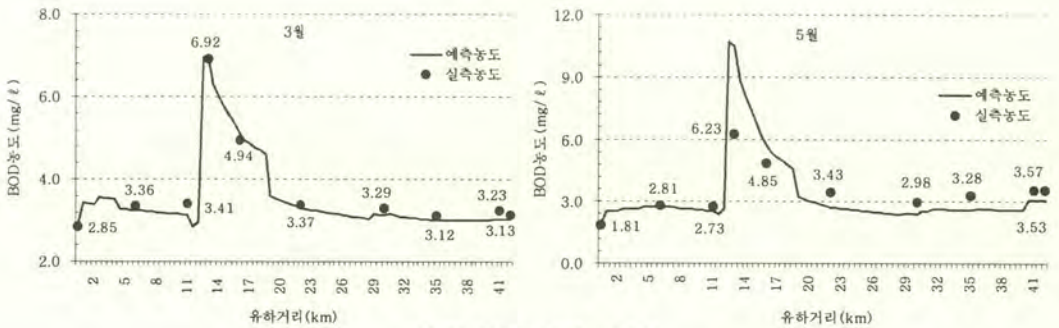
표 4.3.3은 보정 및 검증된 계수의 RI를 나타내며 그림 4.3.4~4.3.6은 실측치와 모의치의 일치정도를 보여 주는데 표와 그림을 살펴보면 보정과 검정이 비교적 유사한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있어 비교적 국내의 다른 연구결과와 비슷한 양상을 나타내었다.

보정 및 검증된 RI값을 살펴보면 BOD의 RI값은 유구천 전 구간에서 1.001~1.510의 범위를 나타내며 겨울철과 봄철에 Reach 3에서 예측력이 조금 떨어지나 계절별 각 구간에서 전반적으로 예측력이 높은 것을 알 수 있는데, 탈산소계수의 경우 Reach 3부터는 BOD 오염도가 높아지기 때문에 상대적으로 큰 값을 가지며 유량상태에 따라 오염도의 차이가 커지므로 상황에 따라서 적절히 조절해야 할 필요가 있다. 재폭기 계수는 BOD농도와 직접적으로 관계가 없고 모형상에 제시된 계산식중 하나를 선택할 수 있다.

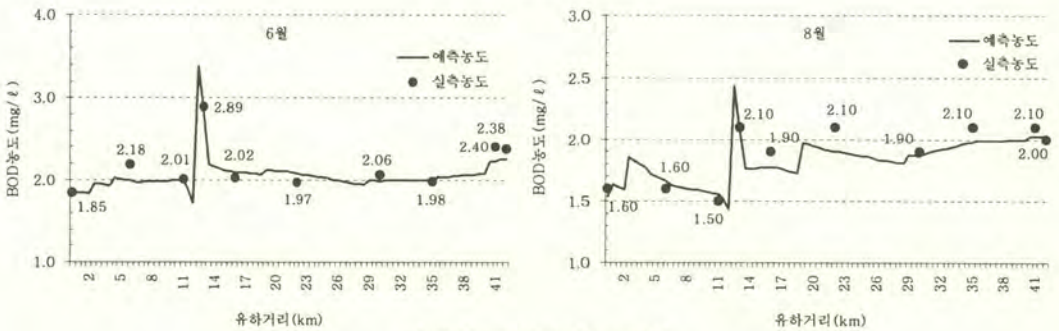
T-N의 경우 RI값의 범위가 1.001~1.053으로 유구천 전 구간에서 다른 항목에 비해 전체적으로 높은 예측력을 보이고, T-P는 RI값이 1.003~1.672의 범위로 겨울철과 봄철 그리고 여름철에는 Reach 8과 Endwater구간인 하류지역에서의 예측력이 조금 떨어지고 가을철의 경우 Reach 5 구간부터 하류유역에서 예측력이 떨어지는 것으로 나타났다.



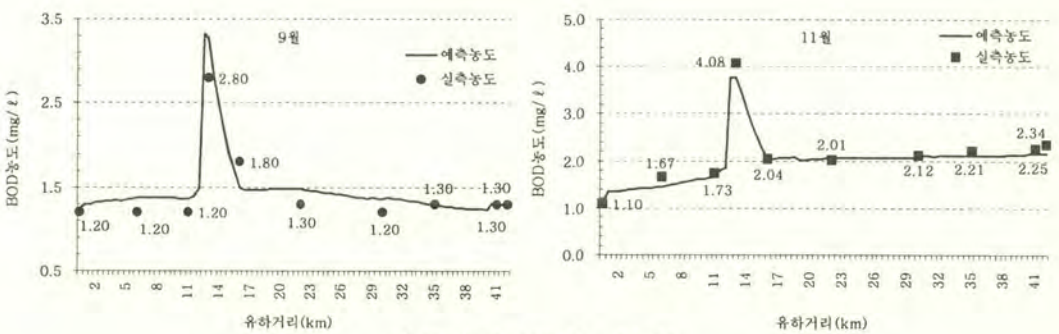
겨울철 BOD(12월~2월)



봄철 BOD(3월~5월)

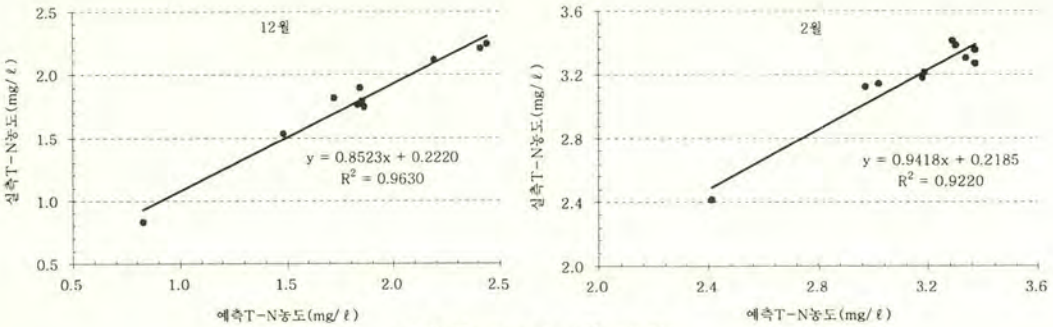


여름철 BOD(6월~8월)

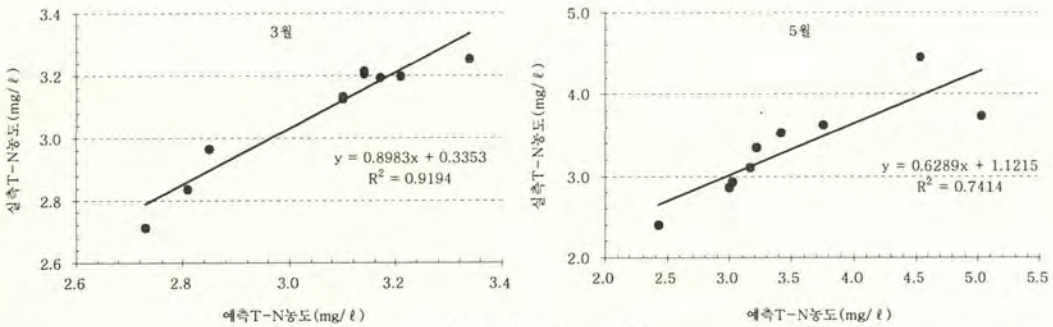


가을철 BOD(9월~11월)

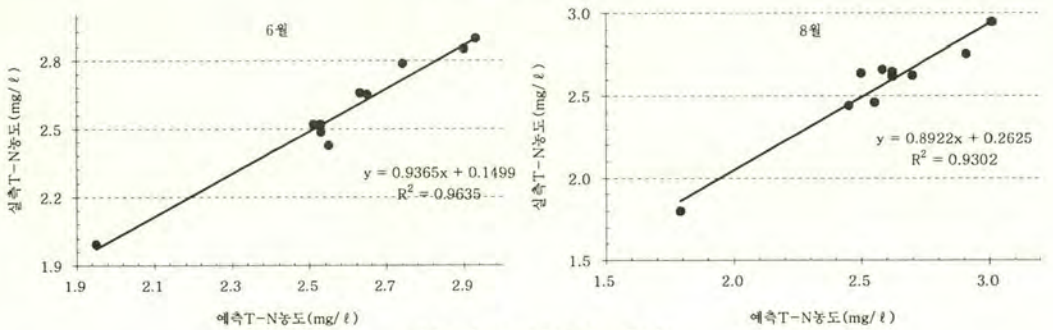
그림 4.3.4 검증시 계절별 BOD의 모의치와 실측치의 비교



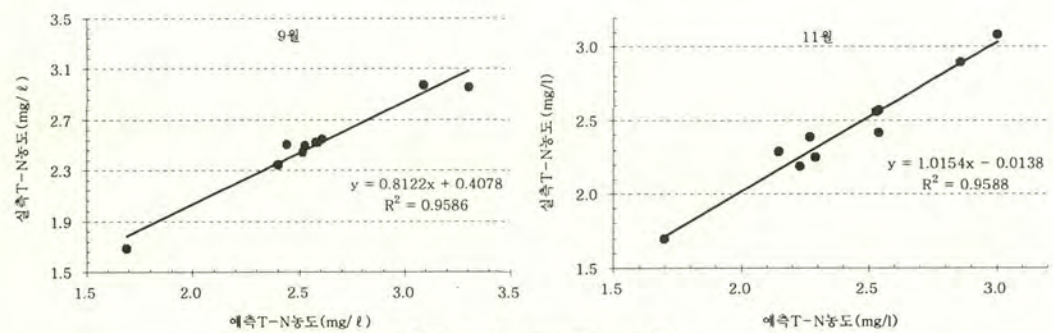
겨울철 T-N(12월~2월)



봄철 T-N(3월~5월)

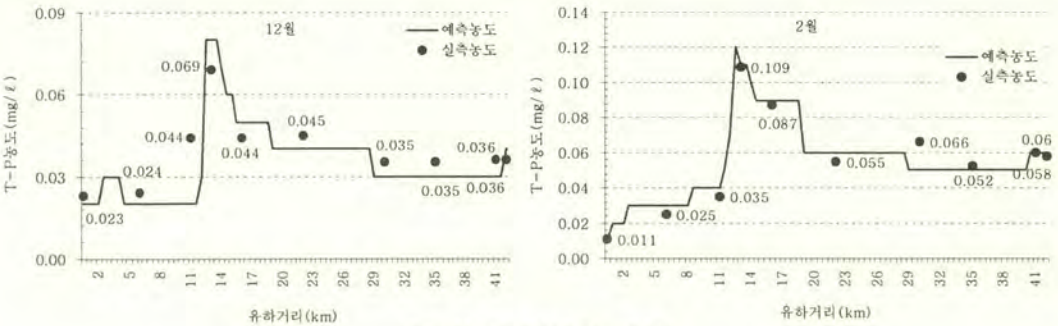


여름철 T-N(6월~8월)

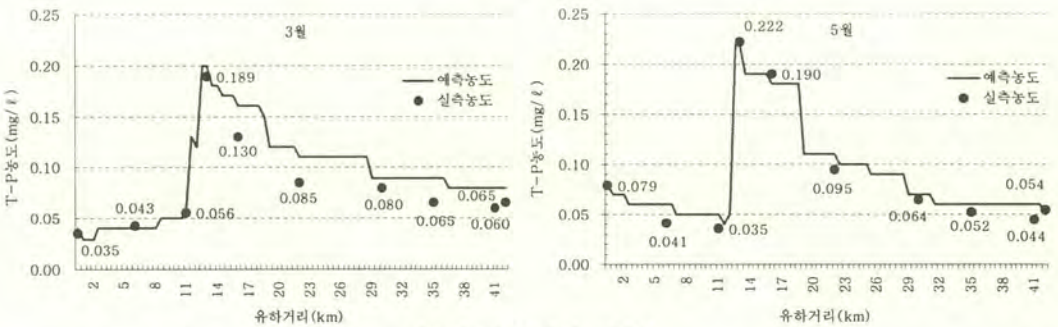


가을철 T-N(9월~11월)

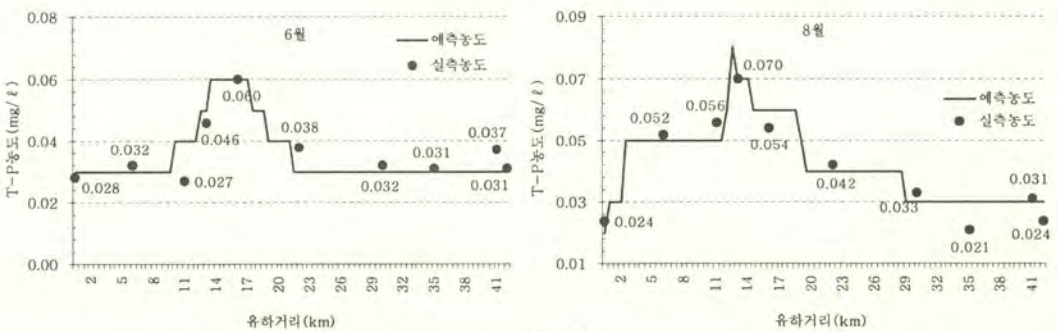
그림 4.3.5 검증시 계절별 T-N의 모의치와 실측치의 비교



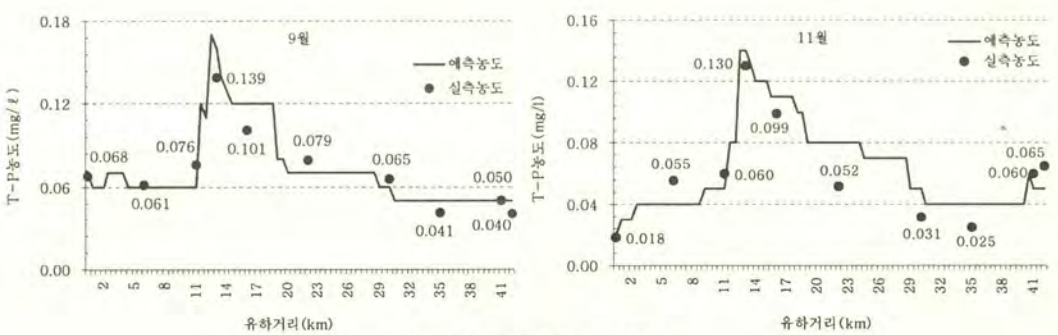
겨울철 T-P(12월~2월)



봄철 T-P(3월~5월)

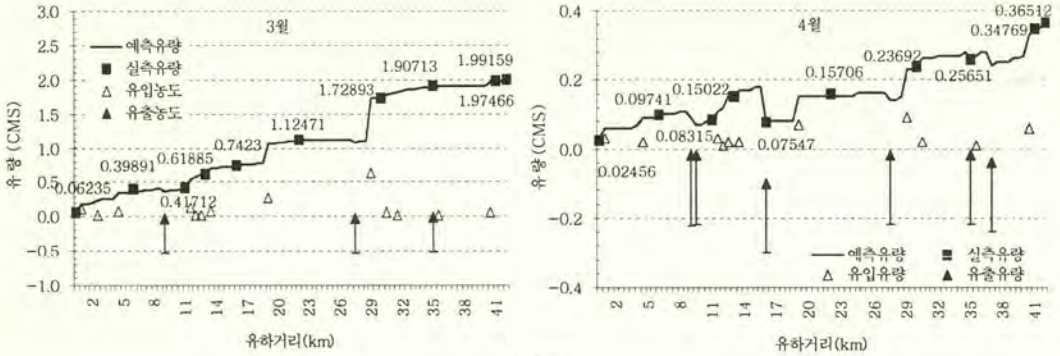


여름철 T-P(6월~8월)

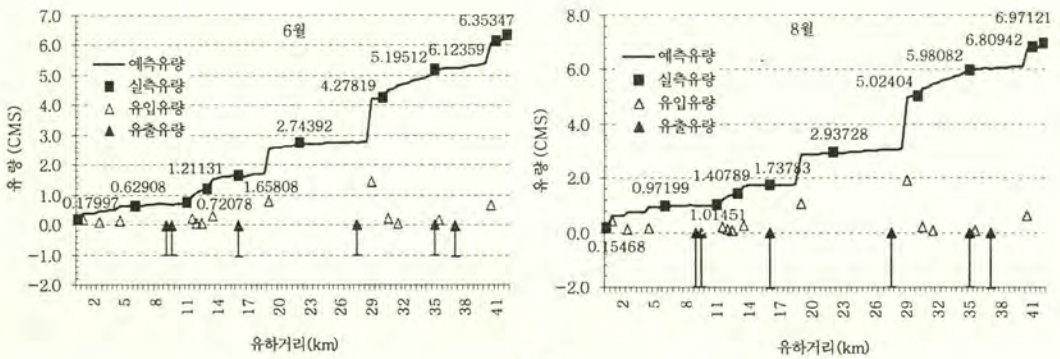


가을철 T-P(9월~11월)

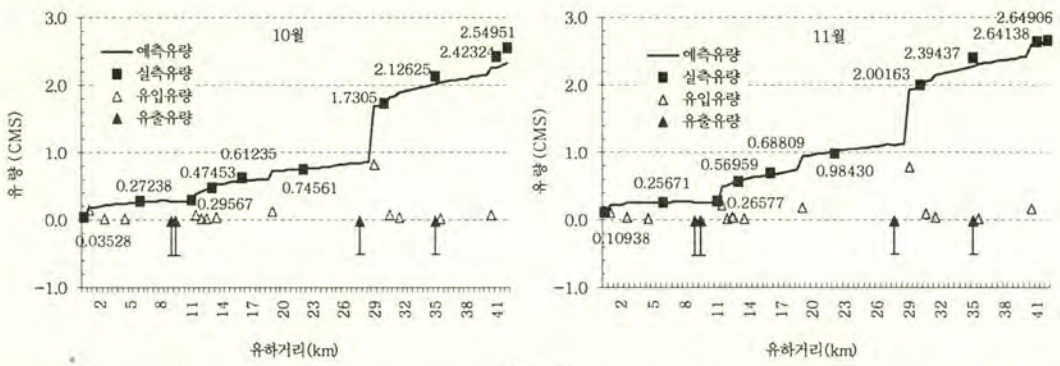
그림 4.3.6 검증시 계절별 T-P의 모의치와 실측치의 비교



갈수기



풍수기



평수기

그림 4.3.7 갈수기, 풍수기, 평수기의 유구천 유량의 모의치와 실측치의 비교

이것은 유기인성의 침강과 관련된 σ_5는 가정용 생활하수가 유입되는 Reach 3부터 큰 값을 가져 하류로 갈수록 인의 농도가 낮아지는데, 수중에 존재하는 각종 이온성물질 및 부유물질과 결합하여 유기성 인이 더욱 잘 침강하는 것으로 보인다.

표 4.3.3 보정 및 검증된 반응계수의 RI 값

비고	겨울			봄			여름			가을		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Reach 1	1.045	1.002	1.039	1.001	1.003	1.097	1.015	1.000	1.030	1.050	1.007	1.096
Reach 2	1.038	1.003	1.434	1.011	1.004	1.081	1.032	1.003	1.099	1.052	1.006	1.057
Reach 3	1.510	1.008	1.047	1.244	1.053	1.003	1.045	1.001	1.055	1.031	1.017	1.049
Reach 4	1.035	1.005	1.023	1.019	1.000	1.038	1.004	1.002	1.019	1.025	1.006	1.033
Reach 5	1.003	1.001	1.014	1.126	1.003	1.053	1.009	1.002	1.050	1.049	1.005	1.203
Reach 6	1.002	1.003	1.162	1.031	1.004	1.014	1.008	1.001	1.016	1.022	1.001	1.173
Reach 7	1.014	1.003	1.381	1.036	1.002	1.179	1.005	1.002	1.112	1.021	1.009	1.228
Reach 8	1.008	1.002	1.145	1.017	1.003	1.134	1.005	1.001	1.131	1.026	1.005	1.131
Endwater	1.023	1.001	1.672	1.017	1.003	1.029	1.002	1.002	1.098	1.044	1.010	1.268

4. 오염물질 삭감부하량 할당

오염물질 삭감(削減)이란 수질환경에 미치는 악영향을 감소시키기 위해 오염원의 관리 및 처리방법을 통해 오염물질의 부하량을 제거 또는 감소시키는 것을 말하며,[42] 일반적으로 오염물질이 공공수역에 유입되는 경로는 유역내의 비점오염원을 포함한 점오염물질이 처리되지 않고 배출되는 경우와 발생원에서 개별 처리시설을 거쳐 방류되는 경우, 그리고 환경기초시설을 거쳐 방류되는 경우 등 여러 경로를 거쳐 배출되게 된다.

오염물질 배출원이 목표수질 설정지점의 수질에 미치는 영향도를 분석하고 지역 또는 배출원간의 형평성과 오염부하 삭감의 효율성을 고려하여 오염부하량을 할당하는 것으로 할당부하량은 기준유량에 목표수질을 곱하여 산정하며 상류유역을 모두 포함하여 고려되는 유달량으로 유구천유역은 수질오염총량관리 기본계획에 있어 금강본류의 금본I에 해당되는 지역으로 목표수질이 BOD로 볼 때 2.9mg/ℓ로 총할당부하량은 14,920.8kg/일이다.

발생부하량과 배출부하량과의 차이를 삭감부하량이라 하며, 유달부하량을 배출부하량으로 나누어 유달율을 산정할 수 있고(표 3.6.1~3.6.5) 발생부하량과 유달부하량과의 차이로 총 삭감부하량[43]을 산출할 수 있으며 총 삭감부하량을 발생부하량으로 나누어 총 삭감율을 산정할 수 있다.

삭감하여야 할 기존오염원의 삭감목표량은 다음의 산식으로 계산한다.

삭감목표량 = 기존오염원배출량 - 소유역별할당부하량 + 지역개발할당부하량

삭감된 총오염물질 및 총 삭감율의 산정에 있어서 강수의 영향을 받는 시기에는 비점오염원으로 분류되는 토지이용에 대한 배출부하량은 공공수역에 직접적으로 유출되므로 비점오염원이 강조되고 있는 현실에서 배출부하량을 포함하여 산정하였다.

일최대배출부하량은 점오염원에서 배출되는 일최대배출부하량과 비점오염원에서 배출되는 일최대오염부하량의 합으로 나타내며, 기준배출부하량은 각 단위유역에 포함된 수계별로 일최대배출부하량을 적용하였을 경우 예측된 수질이 목표수질을 만족하였을 경우 기준배출부하량으로 간주되며 그렇지 못하고 목표수질을 초과할 경우 각 단위유역별 오염부하량 삭감방안을 통하여 목표수질을 달성할 수 있는 부하량을 산정하여 기준배출부하량으로 정한다.

표 4.4.1 오염물질 총 삭감부하량

(단위 : kg/일)

비고	기존배출부하량			기준배출부하량							
	계	점오염원	비점오염원	계	할당부하량						안전율
					계	점오염원		계	비점오염원		
						자연증감	개발계획		자연증감	개발계획	
Reach 1	847	477	369	2,096	879	879	0	1,007	974	33	210
Reach 2	91	37	54	1,975	91	91	0	1,687	1,687	0	197
Reach 3	1,160	773	386	2,348	1,024	1,024	0	1,089	1,089	0	235
Reach 4	299	163	136	163	64	64	0	83	83	0	16
Reach 5	245	158	87	151	42	42	0	94	94	0	15
Reach 6	471	205	266	434	299	119	180	91	67	24	43
Reach 7	106	61	45	62	24	24	0	32	32	0	6
Reach 8	611	445	165	1,396	159	159	0	1,097	1,095	2	140

안전율은 오염원의 조사 및 오염부하량 산정의 불확실성, 수질모델링 기법의 불확실성, 오염지도단속의 불확실성 등으로 특별한 이상이 없는 경우 기준배출부하량에 10%로 하며 기준유량조건에서 최종배출량을 결정하고 안전율을 고려하여 다음의 식으로 소유역별 기준배출부하량을 산정한다.

소유역별 할당부하량 = (1-안전율) × 기준배출부하량

4.1 오염물질 삭감목표량 설정

수역구간에서 발생되는 오염물질 삭감방법은 오염물질 발생원 감소 방법, 배출부하량을 감소시키는 방법, 정화시설 설치운영 또는 하천의 조건을 변화시키는 방법으로 크게 나누어 생각해 볼 수 있다. 그러나 오염물질의 발생원을 감소시키는 방법은 특별한 경우를 제외하고는 사실상 거의 불가능하며 하천의 조건을 변화시키는 방법은 많은 비용과 시간을 초래하게 되어 경제적인 방법이라 할 수 없다.

따라서 고정된 오염원 조건하에서 삭감부하량을 크게 하여 배출부하량을 줄이는 방법으로 점오염원에서 발생하는 오염물질의 정화시설, 환경기초시설의 설치·운영 등으로 처리하여 오염부하량을 줄여야 한다. 그러나 모든 수역을 대상으로 동시에 삭감부하량을 크게 하

기란 시간적·경제적으로 한계에 직면할 수 밖에 없다.

수역구간별 BOD 목표수질 설정을 위해서는 유역별 오염원 분포현황, 발생부하량, 배출부하량, 유달부하량, 오염물질의 총 삭감률, 그리고 다양한 측면에서 구축된 하천의 수환경 조건에 따라 설정하여야 한다.

표 4.4.2 유구천 유역 BOD의 목표수질 및 삭감목표량

(단위 : 수질농도 mg/ℓ)

비고	하천명	BOD오염부하량(kg/일)			BOD수질농도		발생부하 삭감량 (kg/일)	삭감할 유달부하 (kg/일)	삭감율 (%)
		발생	배출	유달	년평균	예상목표			
지류하천	금천	234.01	44.18	26.38	2.33	1.8	52.84	10.33	22.6
	덕곡천	176.40	22.05	9.78	3.02	2.3	41.83	4.41	23.7
	명곡천	106.56	27.80	9.40	1.90	1.8	5.34	3.71	5.0
	고현천	332.46	74.12	21.90	2.49	1.9	79.11	9.79	23.8
	소하천	601.62	104.50	16.36	6.64	2.8	347.95	10.91	57.8
	유구하수	341.74	118.66	183.30	63.01	12.5	273.94	159.77	80.2
	백교천	178.52	61.41	22.65	3.88	1.9	90.99	12.18	51.0
	대룡천	1,414.27	235.59	75.30	1.77	1.6	137.64	34.67	9.7
	마곡천	1,258.77	337.63	171.15	2.36	1.7	350.75	86.13	27.9
	계실천	749.50	92.74	23.14	2.98	2.4	146.21	10.19	19.5
	신영천	210.14	45.71	5.98	2.47	2.2	22.65	1.75	10.8
	방흥천	1,027.87	116.17	9.90	2.55	2	220.38	4.72	21.4
	문동천	1,955.39	233.87	81.47	3.47	3	263.63	37.45	13.5
본류	Headwater	86.29	20.09	12.05	1.60	1.3	16.36	5.62	19.0
	Reach 1	2,979.82	318.76	65.68	2.13	1.5	877.24	32.84	29.4
	Reach 2	142.06	47.84	73.48	2.18	1.5	44.50	37.61	31.3
	Reach 3	1,275.81	297.28	211.77	4.55	2.5	574.43	119.21	45.0
	Reach 4	756.83	104.75	171.32	3.24	2	289.05	83.12	38.2
	Reach 5	3,085.30	499.33	244.33	2.26	1.8	626.17	109.31	20.3
	Reach 6	5,553.96	464.06	422.94	2.25	1.6	1,598.62	211.44	28.8
	Reach 7	959.64	138.45	480.37	2.21	1.6	265.14	236.72	27.6
	Reach 8	3,833.09	436.84	596.60	2.42	2	660.88	249.64	17.2
	Endwater	1,002.03	101.11	608.44	2.43	2	175.61	254.78	17.5

금강 본류는 발원지로부터 미호천이 합류되기 전까지는 Ⅰ등급으로 환경기준이 설정되어 있고 미호천 합류후부터 금강하구언까지 Ⅱ등급으로 환경기준이 설정되어 있는데 조사대상인 유구천은 미호천 유입지점보다 상류에 위치하여 금강에 유입되는 Ⅰ등급 환경기준 설정하천으로 Ⅰ등급 환경기준이 설정된 병천천, 조천, 지천 등 충남지역 4개 하천 중 주요 지류하천 중에 하나이다.

따라서 조사연구자료를 토대로 환경기준 달성여부를 평가되어야 하나, 현재의 시점으로 보았을 때 인위적이든 자연적이든간에 유구천은 전유역에 걸쳐 농경생활을 전업으로 하는

소규모 마을단위의 공동체가 많이 조성되어 있어 유구천의 수질은 환경정책기본법에 근거한 Ⅰ등급 환경기준인 BOD농도 1.0mg/ℓ로 개선하기는 어려운 실정이며, 또한 수질오염총량제에 기술된 BOD기준농도 2.9mg/ℓ를 유지하기에는 유구천의 오염원은 많지 않다.

따라서 BOD농도 2.0mg/ℓ이하의 수준을 유지할 수 있는 관리가 이루어진다면 유구천 유역은 앞으로도 개발의 여지가 충분하다고 볼 수 있다.

하지만 현재 일부 계절에는 BOD농도가 3~4mg/ℓ의 오염도를 나타내고 있어 대책마련이 시급한 실정으로 사료된다.

표 4.4.2에서와 같이 유구천의 수질을 임의 조정하여 금강에 유입하는 최하류의 수질이 BOD농도 2.0mg/ℓ이하를 유지하기 위한 각 지류하천과 본류구간의 수질목표 농도를 가정하여 부하량과 삭감율을 산정한 결과이다.

오염물질 발생부하량과 삭감에 따른 예상 수질목표 농도는 같은 비율로 감소하고 있으며 삭감율이 가장 적은 명곡천 유역 5.0%부터 삭감율이 가장 높은 유구하수가 유입되는 지역이 80.2%까지 지류하천은 총발생부하량의 28.2%인 2,033.3kg/일을 삭감하여야 하며, 본류구간은 27.4%인 5,128.0kg/일의 삭감으로 총 27.9%인 7,161.3kg의 발생량을 삭감시킬 수 있다면 유구천의 수질은 연중 BOD농도 2.0mg/ℓ이하의 수질을 유지할 수 있을 것으로 보인다.

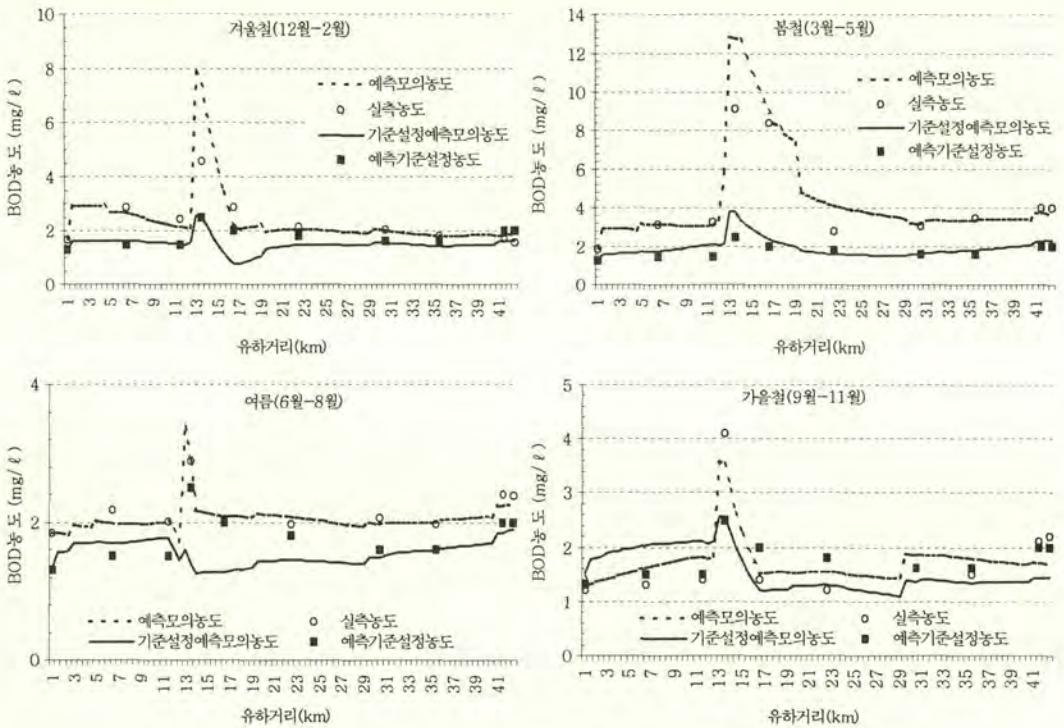


그림 4.4.1 예측기준설정농도에 예측모의치와 실측치의 비교

그림 4.4.1은 발생부하량의 삭감량에 따른 수질 변화의 예측을 도식화 한 것으로 앞에서 모의한 예측모의농도 및 실측치와 삭감량에 따른 예측한 수질농도와 기준설정예측모의농도를 유하거리에 따라 수질변화를 계절별로 모델링화하여 비교·검토한 것이다.

그림 4.4.1에서 모의한 결과를 살펴보듯이 모의내용은 삭감량을 감안하여 앞 절에서 모의한 계절별 수질예측 및 실측자료에 수질반응계수와 유량계수의 변화없이 적용한 것으로 유량이 비교적 풍부한 여름철에는 유의성이 떨어지기는 하지만 유구읍의 하수처리장 가동과 기타 면소재지의 오염부하량 삭감을 조절할 수 있다면 유구천의 수질은 BOD농도 2.0mg/ℓ이하의 깨끗한 수질을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 장래수질예측

자연상태인 하천에서 다양한 오염원의 분포와 수질상태를 기초로 장래의 수질을 예측한다는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 예측된 장래 하천 수질은 오염원이 다양하고 여러 요소가 복잡하게 영향을 미치고 있기 때문에 예측된 결과는 많은 차이가 발생할 수 있음을 전제하고 있다.

그러나 오염원의 증감을 비롯한 환경요인의 변화에 따른 수질변화를 계산식 또는 전산모델을 이용하여 오염원과 수질의 관계를 미리 파악하여 예상되는 문제점을 반드시 대비하여야 할 것으로 판단된다.

모델링의 궁긍적 목적은 자연상태인 수역에서 실제상태와 부합되게 수식화하여 예측된 결과가 대상하천의 수질변화를 미리 표현함으로써 수환경 관리대책 수립시 필요한 제반사항을 얻고자 하는데 있다. 따라서 수질예측은 모델링 대상유역의 물리, 화학 및 생물학적 제반 현상인 시·공간에 대하여 수치해석의 기법상 적용이 가능한 모델을 선정하여야 한다.

이러한 이유로 우리나라의 경우 수체가 비교적 안정하다 할 수 있는 규모가 큰 하천과 호소를 중심으로 다양한 모델적용이 시도되고 있다. 수질모형을 이용한 장래수질 예측시 모형이 하천의 자정능력을 정확히 반영하고 있는지와 계산한 현재의 오염부하량, 하천 유량 등이 정확한 것인지의 여부가 확인되어야 한다.

그러나 본 연구대상인 유구천은 계절 및 일변화에 대하여 유량의 변동폭이 심하며, 오염물질의 유달부하량 뿐만 아니라 수질농도의 변화폭도 크게 나타나고 있다. 또한 하천에서는 목표수질을 BOD 중심으로 이루어지고 있으며, 지류하천에 대한 지속적인 자료가 거의 구축되어 있지 않은 실정이다.

대상유역의 총오염원 현황과 오염원의 자연 증·감분 및 개발계획과 기본계획에 따른 변동을 고려하여 인구의 자연증감율은 1998년부터 2002년까지의 기초자료를 토대로 읍면동별로 수학적 추계방법으로 추정하였고, 축산계는 축종별 또는 사업규모별 과거 증·감 추이에 의한 자연증감율을 적용하였다.

부하량 산정시 각 사업별 내역을 반영하여 산업계오염원은 등차급수 방법을 적용하였고 과거 5개년의 평균 값을 적용하여 증가추세의 경우, 산정된 함수식을 적용하여 추정하였으며, 토지계 오염원은 지수희귀식 방법을 적용하였고, 환경기초시설 조사는 유구읍 하수종말처리시설의 가동을 감안하여 각 Reach별 예측된 발생유량 및 배출유량은 부록 표-49와 같다.

5.1 BOD

보정된 QUAL2E 모델을 이용하여 2010년에 대한 BOD, T-N, T-P의 농도를 예측하기 위해 장래 오염발생량의 예측된 결과를 토대로 장래의 유출부하량을 입력하여 결과를 예측하였는데 중류지역 오염물질 유입원에 대한 발생량 저감대책이 없는 한 오염농도는 해마다 조금씩 증가할 것으로 사료된다.

표 4.5.1 2010년도 예측 BOD 발생 및 배출부하량(2010년도)

(단위 : kg/일)

하천명	BOD 발생부하량						발생 합계	BOD 배출부하량						배출 합계
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설		산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	
유구천-1	0	8.6	61.5	15.0		0	85.0	0.0	7.1	5.5	3.7	0.0	0.0	16.4
금천	0	20.8	182.8	34.0		0.6	238.3		20.8	15.6	8.5	0.0	0.5	45.4
덕곡천	0	9.6	173.1	13.2		0.0	195.9		7.7	12.3	3.3	0.0	0.0	23.2
명곡천	0	10.3	45.6	22.9		0.0	78.8		8.3	4.1	5.7	0.0	0.0	18.1
유구천-2	0	46.0	2,078.0	56.9	19.7	0.0	2,200.6	0.0	35.9	126.1	14.2	19.7	0.0	196.0
유구천-3	0	20.5	98.3	28.4		0.0	147.2	0.0	16.0	30.7	7.1	0	0.0	53.9
고현천	0.5	66.0	224.8	43.1		0.0	334.4	0.2	51.7	12.9	10.8	0	0.0	75.5
소하천	133.7	98.8	308.8	42.0		0.0	583.4	6.2	0.0	39.0	10.5	0	0.0	55.7
유구하수	3.5	189.4	129.2	38.4		0.0	360.4	0.3	0.0	8.8	9.6	0	0.0	18.7
유구천-4	0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
백교천	10.3	77.0	57.7	32.5		0.0	177.4	0.4	2.8	35.1	8.1	0	0.0	46.4
유구천-5	81.8	19.2	449.5	21.1		19.2	590.8	0.0	0.0	17.5	5.3	0	27.7	50.5
대룡천	5.0	81.1	1,207.3	136.6		0.0	1,430.0	0.0	64.9	127.0	34.2	0	0	226.1
유구천-6	0.2	99.6	1,397.8	125.7		1.0	1,624.2	0.0	67.9	171.1	31.4	0	0.4	270.8
마곡천	0	110.6	864.0	218.0		0	1,192.6	0.0	85.7	191.9	54.5	0	0	332.0
유구천-7	9.8	70.5	4,231.8	92.6		0	4,404.7	0.4	54.9	57.6	23.2	0	0	136.0
계실천	0	37.6	876.9	51.5		0	966.0	0.0	29.2	53.2	12.9	0	0	95.3
신영천	0	21.9	166.9	20.9		0	209.6	0.0	16.4	22.6	5.2	0	0	44.1
유구천-8	0	0.0	0.0	0.0		0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0
방흥천	0	30.5	999.8	32.5		0	1,062.8	0.0	23.6	91.1	8.1	0	0	122.7
문동천	2.2	73.6	1,887.1	78.1		3.6	2,044.6	2.2	38.3	177.0	19.5	0	0.4	237.4
유구천-9	0	29.3	774.2	25.6		0	829.2	0.0	23.0	54.1	6.4	0	0	83.4
유구천-10	0	15.1	875.4	16.0	1.2	0	907.7	0.0	12.1	76.6	4.0	1.2	1.5	95.4

표 4.5.1과 부록 표-50 및 표 4.5.4에서와 같이 예측된 BOD의 총발생부하량은 비교년도보다 0.1%가 감소한 19,663.7kg/일로 이중 축산계에 의한 발생량이 17,090.3kg/일로 전체의 86.9%를 차지하고, 생활계와 토지계에서 각각 5.8%, 산업계에서 1.3% 다음으로 환경기초시설, 양식계 등의 순으로 나타나고 있다.

BOD 배출부하량은 유구천 전수계에서 7.6%가 증가한 2,243.1kg/일이 배출되며 역시 축산계에서 59.3%인 1,329.7kg/일로 배출량 비율이 가장 높으며 다음으로 생활계가 25.2%, 토지계에서 12.8%, 환경기초시설, 양식계, 산업계 순으로 BOD배출부하율을 나타내었다.

또한 2010년도 발생 및 배출오염부하량 변화에 따른 BOD수질예측을 그림 4.5.1에서 보는 것과 같이 각 계절별로 앞 절에서와 같이 유량계수와 수질반응계수를 동일하게 사용하여 발생 및 배출부하량의 증가와 감소만큼 수질농도를 변화시키며 수질예측 모의를 한 것으로 유구읍 유구하수종말처리장 가동으로 유구지역 배출부하량의 급격한 감소로 초기검정 모의값과 발생부하량의 변화에 따른 모의값과 많은 차이를 보이고 있다.

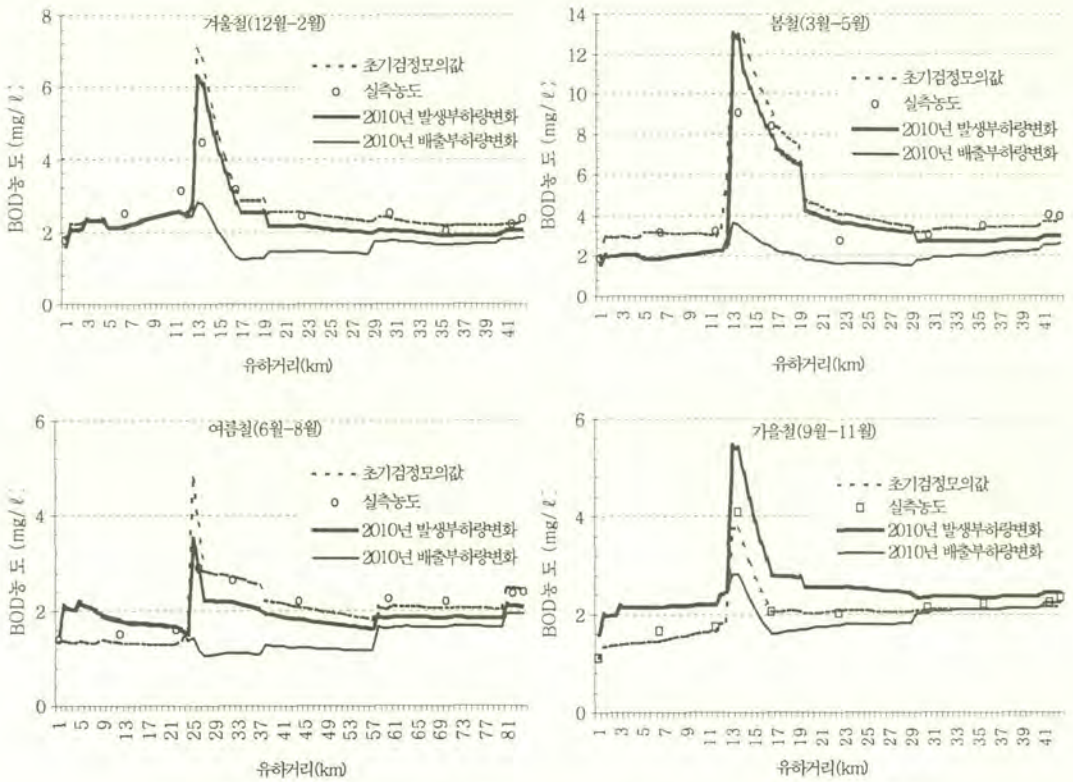


그림 4.5.1 2010년도 오염부하량 변화에 따른 BOD 모의농도

아울러 표 4.5.5의 2010년도 오염물질 변화에 따른 예측BOD오염농도에서와 그림 4.5.1

에서와 같이 유구하수처리장의 가동으로 유구천의 중류지역은 어느정도 수질이 양호해질 것으로 판단되나 하류지역에서는 오염부하량이 BOD농도 2.0mg/ℓ를 넘고 있으므로 하류 유역에 대한 환경기초시설 설치도 적극적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

5.2 T-N

표 4.5.2와 부록 표-51 및 표 4.5.4에서와 같이 예측된 T-N 총발생부하량은 비교년도보다 0.2%가 증가한 5,163.2kg/일로 이중 축산계에 의한 발생량이 3,889.4kg/일로 전체의 75.3%를 차지하고, 토지계에서 18.4%, 생활계에서 5.7% 다음으로 산업계, 환경기초시설, 양식계 등의 순으로 나타났다.

배출부하량은 유구천 전수계에서 BOD와 반대로 7.6%가 감소한 1,573.7kg/일이 배출되며 역시 축산계에서 72.7%인 1,144.7kg/일, 토지계 15.1%, 생활계 10.9%, 환경기초시설, 양식계, 산업계 순으로 T-N배출부하율을 나타내었다.

표 4.5.2 각 하천유역별 예측 T-N 발생 및 배출부하량(2010년도)

(단위 : kg/일)

하천명	T-N 발생부하량						발생합계	BOD 배출부하량						배출합계
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설		산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	
유구천-1	0.0	2.3	14.2	18.2		0.0	34.7	0.0	2.1	13.9	4.6	0.0	0.0	20.5
금천		5.6	53.8	34.7		1.2	95.3		5.6	27.8	8.7	0.0	0.3	42.4
덕곡천		2.6	50.5	14.5		0.0	67.5		2.3	14.6	3.6	0.0	0.0	20.6
명곡천		2.8	10.7	27.4		0.0	40.8		2.5	2.5	6.9	0.0	0.0	11.9
유구천-2	0.0	11.7	460.3	50.6	3.9	0.0	526.5	0.0	10.6	73.3	12.6	3.9	0.0	100.5
유구천-3	0.0	4.3	48.4	24.9		0.0	77.7	0.0	3.9	26.0	6.2	0.0	0.0	36.2
고현천	0.5	13.8	54.7	33.0		0.0	102.1	0.4	12.5	26.6	8.3	0.0	0.0	47.8
소하천	2.8	22.0	71.7	23.0		0.0	119.5	0.9	0.0	21.5	5.8	0.0	0.0	28.2
유구하수	0.5	52.6	26.1	13.0		0.0	92.1	0.4	0.0	6.2	3.3	0.0	0.0	9.8
유구천-4	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	1.1	18.5	14.6	29.6		0.0	63.9	0.7	0.7	23.5	7.4	0.0	0.0	32.2
유구천-5	9.8	5.1	105.7	16.9		5.1	142.7	0.0	0.0	14.3	4.2	0.0	6.6	25.1
대룡천	0.6	21.7	301.0	141.1		0.0	464.4	0.0	19.7	138.8	35.3	0.0	0.0	193.7
유구천-6	0.0	26.7	320.4	94.5		1.1	442.7	0.0	21.6	141.6	23.6	0.0	1.1	187.9
마곡천	0.0	29.6	223.9	186.7		0.0	440.1	0.0	26.8	189.0	46.7	0.0	0.0	262.5
유구천-7	0.2	19.3	900.0	67.5		0.0	986.9	0.2	17.5	58.1	16.9	0.0	0.0	92.7
계실천	0.0	10.1	165.8	54.4		0.0	230.2	0.0	9.1	62.2	13.6	0.0	0.0	84.9
신영천	0.0	5.9	41.2	16.6		0.0	63.6	0.0	5.3	28.7	4.1	0.0	0.0	38.1
유구천-8	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방흥천	0.0	8.2	218.5	25.7		0.0	252.3	0.0	7.4	62.0	6.4	0.0	0.0	75.8
문동천	0.0	19.7	434.6	50.7		2.2	507.2	0.0	12.8	118.4	12.7	0.0	1.1	145.0
유구천-9	0.0	8.2	185.4	12.1		0.0	205.6	0.0	7.4	41.2	3.0	0.0	0.0	51.7
유구천-10	0.0	4.1	188.0	15.0	0.2	0.0	207.3	0.0	3.7	54.5	3.7	0.2	4.3	66.4

5.3 T-P

표 4.5.3과 부록 표-52 및 표 4.5.4에서와 같이 예측된 T-P 총발생부하량은 비교년도보다 1.3%가 증가한 1,06.8kg/일로 이중 축산계에 의한 발생량이 1,396.4kg/일로 전체의 92.7%를 차지하고 있으며, 토지계에서 4.8%, 생활계에서 2.2% 다음으로 산업계, 환경기초시설, 양식계 등의 순으로 나타나고 있다.

배출부하량은 유구천 전수계에서 1.4%가 감소한 142.0kg/일이 배출되며 역시 축산계에서 72.9%인 103.6kg/일로 배출량 비율이 가장 높으며 생활계가 12.8%, 토지계에서 12.7%, 양식계, 산업계, 환경기초시설 순으로 T-P배출부하율을 나타내었다.

표 4.5.3 각 하천유역별 예측 T-P 발생 및 배출부하량(2010년도)

(단위 : kg/일)

하천명	T-P 발생부하량						발생합계	T-P 배출부하량						배출합계
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설		산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	
유구천-1	0.0	0.3	4.4	1.2		0.0	5.9	0.0	0.2	1.2	0.3	0.0	0.0	1.7
금천		0.6	17.6	2.5		0.2	20.8		0.6	1.1	0.6	0.0	0.1	2.4
덕곡천		0.3	17.2	0.9		0.0	18.4		0.2	1.4	0.2	0.0	0.0	1.9
명곡천		0.3	3.3	1.8		0.0	5.4		0.3	0.2	0.5	0.0	0.0	1.0
유구천-2	0.0	1.3	163.7	3.7	1.0	0.0	169.8	0.0	1.1	8.2	0.9	1.0	0.0	11.3
유구천-3	0.0	0.5	10.9	2.0		0.0	13.3	0.0	0.4	2.2	0.5	0.0	0.0	3.1
고현천	0.3	1.6	15.9	2.5		0.0	20.3	0.0	1.4	0.8	0.6	0.0	0.0	2.8
소하천	1.6	2.5	26.0	1.9		0.0	32.0	0.5	0.0	2.4	0.5	0.0	0.0	3.4
유구하수	0.2	5.8	7.3	1.4		0.0	14.6	0.1	0.0	0.5	0.3	0.0	0.0	0.9
유구천-4	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	0.3	2.1	4.2	2.1		0.0	8.7	0.1	0.1	1.3	0.5	0.0	0.0	2.0
유구천-5	0.9	0.6	41.8	1.4		0.6	45.3	0.0	0.0	1.8	0.3	0.0	0.0	2.2
대룡천	0.1	2.4	108.2	10.1		0.0	120.8	0.0	2.1	10.8	2.5	0.0	0.0	15.4
유구천-6	0.0	3.0	114.1	7.4		0.2	124.6	0.0	2.3	11.9	1.9	0.0	0.1	16.1
마곡천	0.0	3.3	71.1	14.0		0.0	88.4	0.0	2.8	18.4	3.5	0.0	0.0	24.8
유구천-7	0.1	2.1	345.1	5.3		0.0	352.6	0.0	1.8	4.8	1.3	0.0	0.0	8.0
계실천	0.0	1.1	61.7	3.9		0.0	66.7	0.0	1.0	4.1	1.0	0.0	0.0	6.1
신영천	0.0	0.7	12.8	1.3		0.0	14.7	0.0	0.6	1.3	0.3	0.0	0.0	2.2
유구천-8	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방흥천	0.0	0.9	77.3	2.0		0.0	80.2	0.0	0.8	6.9	0.5	0.0	0.0	8.2
문동천	0.0	2.2	158.5	4.4		0.3	165.4	0.0	1.4	12.1	1.1	0.0	0.1	14.7
유구천-9	0.0	0.9	70.5	1.2		0.0	72.6	0.0	0.8	4.7	0.3	0.0	0.0	5.7
유구천-10	0.0	0.5	64.8	0.9	0.1	0.0	66.3	0.0	0.4	7.4	0.2	0.1	0.0	8.1

2010년 유구천의 오염물질 증감율은 표 4.5.4에서와 같이 크게 변화하는 것은 없으나 유구하수종말처리장의 가동으로 유구읍내 생활하수에서의 배출부하량이 많이 감소하고 있으며, 대체로 축산계에 의한 발생 및 배출부하량의 차이가 발생하고 있으며 토지계나 산업계

그리고 양식장이나 매립시설 등에 의한 부하량 변화는 크지 않았다.

따라서 앞절에서도 언급하였듯이 배출부하량을 조금 더 줄이고 자연감소율을 감안하여 세심한 관심을 기울인다면 유달부하량을 감소시킬 수 있고 유구천 유역에 수질을 개선시키기 위해 시설이나 설비같은 많은 투자를 하지 않고도 깨끗한 하천으로 유지관리 할 수 있을 것으로 사료된다.

표 4.5.4 2002년 대비 2010년 오염물질 증감율

(단위 : %)

하천명	발생부하증감율			배출부하증감율		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
유구천-1	-1.5	-0.2	-1.7	-3.6	-3.4	-1.7
금천	1.8	4.3	4.0	2.7	3.6	2.5
덕곡천	11.1	9.9	11.9	5.4	5.4	5.2
명곡천	-26.1	-14.5	-36.6	-35.0	-62.0	-47.3
유구천-2	-10.6	-9.0	-10.4	-12.8	-29.1	-23.8
유구천-3	4.0	47.0	53.5	12.6	2.1	2.2
고현천	0.6	1.5	2.0	1.9	2.0	1.8
소하천	-3.0	-3.8	-2.1	-46.7	-40.1	-14.1
유구하수	5.5	10.4	8.2	-84.2	-76.6	-69.5
유구천-4						
백교천	-0.6	0.5	0.5	-24.4	-25.1	-38.4
유구천-5	2.2	2.2	-0.4	15.7	13.7	19.6
대룡천	1.1	2.3	2.0	-4.0	-7.1	-5.7
유구천-6	-2.8	-1.6	-2.6	2.7	4.0	4.4
마곡천	-5.3	-4.7	-3.7	-1.7	-0.7	-3.6
유구천-7	2.5	2.7	8.7	7.6	4.1	7.3
계실천	2.2	4.3	3.4	2.7	2.2	6.6
신영천	-0.2	-11.6	-0.4	-3.4	-1.5	-1.8
유구천-8						
방흥천	3.4	4.1	3.6	5.7	2.0	3.2
문동천	4.6	5.9	7.9	1.5	1.4	1.4
유구천-9	-2.4	-1.3	-1.0	-3.9	-4.8	-2.9
유구천-10	-9.4	-8.8	-9.9	-5.7	-6.1	-7.1

유구천유역의 부족한 환경기초시설을 보완하여 하수처리율은 높이기 위해서는 마을하수처리장을 설치하고 수질개선 효과를 향상시키기 위해서 하수도 보급률을 개선시키는 노력이 결부되어야 할 것을 판단된다.

오염원의 주 원인으로 추정되고 있는 축산폐수는 생활하수, 공장폐수 등과 함께 점오염원으로 분류하여 관리되고 있으나 발생량의 상당부분이 미 처리되고, 비료 등의 형태로 농지에 주입되고 있는 현실을 감안할 때 점오염원 뿐 아니라 잠재적인 비점오염원으로의 역

활도 함께 지니고 있다.

따라서 축산계에 의한 오염원은 비점오염원으로 전이될 때 강우빈도에 의해 유출되는 것이 필연사실이므로 비점오염원으로 전이되는 농경지나 야적장 등에는 저류조의 설치나 덮게 등의 설비로 강우빈도에 의한 직접적인 하천 유입을 막는 방법을 찾으면 좋겠다.

표 4.5.5 오염부하량변화에 따른 수질오염농도예측치(2010년)

(단위 : mg/ℓ)

하천명	발생부하량 변화에 따른 수질변화 예측			배출부하량변화에 따른 수질변화예측		
	BOD	T-N	T-P	BOD	T-N	T-P
Headwater	1.58	1.98	0.04	1.55	1.91	0.04
금천	2.37	2.63	0.05	2.39	2.62	0.05
덕곡천	3.35	5.10	0.09	3.18	4.89	0.08
명곡천	1.40	2.28	0.02	1.23	1.01	0.02
Reach 1	1.90	2.40	0.04	1.85	1.87	0.04
Reach 2	2.27	4.01	0.08	2.46	2.79	0.05
고현천	2.51	2.92	0.12	2.54	2.93	0.12
소하천	6.44	4.00	0.19	3.54	2.49	0.16
유구하수	66.45	11.31	1.18	9.93	2.40	0.33
Reach 3	4.55	3.30	0.13	4.55	3.30	0.13
백교천	3.85	3.04	0.10	2.93	2.26	0.06
Reach 4	3.31	3.32	0.10	3.74	3.70	0.12
대룡천	1.79	2.92	0.03	1.70	2.65	0.03
Reach 5	2.20	2.96	0.07	2.32	3.13	0.07
마곡천	2.23	2.28	0.03	2.32	2.38	0.03
Reach 6	2.30	2.85	0.05	2.42	2.89	0.05
계실천	3.05	2.65	0.04	3.06	2.59	0.04
신영천	2.46	2.71	0.03	2.38	3.02	0.03
Reach 7	2.21	2.78	0.04	2.21	2.78	0.04
방흥천	2.63	3.17	0.05	2.69	3.11	0.05
문동천	3.63	4.25	0.10	3.52	4.07	0.09
Reach 8	2.36	2.85	0.04	2.32	2.75	0.04
Endwater	2.20	2.63	0.04	2.29	2.71	0.04

제5장 하천의 수질개선 공법

1. 유역관리 실패원인 분석
2. 효과적인 유역관리계획 수립요소
3. 하천 수질개선 공법
4. 자연정화방법의 유구천 유역 적용
5. 비점오염원 관리

제5장 하천의 수질개선 공법

최근 수자원을 관리하는 가장 기본적인 지리적 단위로서 '유역'이라는 용어가 수환경 관리를 위한 주도적인 패러다임이 되고 있다. 유역 관리란 인위적 유역이용에 대한 누적적 영향으로부터 유역의 수질과 생태환경을 보호하는 가장 포괄적인 방법이다. 그러나 실제로는 이러한 목표를 현실화시킬 수 있는 확실한 수단이 미흡한 실정이다.

지금까지의 수질관리 계획을 포함한 많은 유역관리방안(계획 포함)이 있었지만 대부분이 한번도 효력을 발휘하지 못하다가 다행히 최근 정부합동으로 마련된 4대강 계획은 이러한 기존의 유역관리 방안과 다르게 이행할 수 있는 법적인 근거와 재정적인 문제해결을 위한 근거를 만들었다. 첫절에서는 유역계획이 왜 효력을 발휘하지 못하는지에 대한 이유를 검토한 후, 이런 일반적인 문제들을 해결하기 위한 유역관리 요소를 검토하고자 한다.

1 유역관리 실패원인 분석

외국의 경우, 이미 10년 전부터 유역관리(watershed management)는 물관리에 있어 가장 많이 언급되던 용어였다. 그러나 많은 물관리 관계자의 의견은 그런 유역관리 계획의 대부분이 유역을 효율적으로 관리하고 보호하는데 실패한다는 것이다. 여기서 실패란 유역관리 계획이 장기적인 차원에서의 예방이나 유역규모에 있어서 유역이용에 따른 누적적 충격을 감소시키는데 큰 힘을 발휘하지 못했음을 말한다. 그 이유를 요약하면 다음과 같다.

1.1 유역관리 대상 유역의 방대성

대부분의 유역 계획이 큰 규모(130평방 킬로 이상)의 유역을 대상으로 진행되어 관리계획의 초점이 흐려졌다. 유역이 일정규모 이상으로 커짐에 따라 많은 하부 유역들을 고려해야 했고, 다양한 하천의 형태와 유역의 양상을 정확히 분석하여 대책을 수립할 수 없었다. 또한, 대규모 유역의 토지이용변화를 예상하기가 복잡해졌다. 특히, 사유지에 대한 토지이용 결정이나 복원계획과 유역관리 계획 사이의 연계가 어려웠다. 그리고 모니터링 작업과 유역분석의 비용도 급증하여 유역관리비용을 효율적으로 집행하기가 어려웠다.

1.2 계획의 단기성, 일회성

유역관리계획이 1년 또는 2년 내에 필요한 답을 도출하는 단기간 성과에 치중하였다. 결과적으로, 유역 관리는 성과가 미흡하여 새로운 계획수립으로 이어졌고 여러가지 대안들이 거론만 되었지 실제로 적용되지 못하거나, 적용이 되었다 할지라도 성과를 나타내지 못하고 다른 대안으로 대체되었다. 따라서, 대부분의 유역관리계획이 일회성으로 성과없이 끝나고, 다시 새로운 문제가 발생하면 이 문제해결을 위해 같은 방법으로 접근하여 가시적인 성과를 거두기 어려웠다.

1.3 유역의 실질적인 토지이용 계획권한 부족

유역관리 계획의 주요 결점은 토지이용계획에 대한 권한의 부족에 있었다. 실제 수질에 가장 큰 영향을 미치는 것은 유역의 토지이용계획이지만 유역계획에서 이를 효과적으로 관리할 수 있는 방안이 부족하였다. 따라서, 현재나 미래의 토지이용이나 불투수면의 세밀한 분석은 계획에 쉽게 이용할 수 없는 실정이다. 실제 불투수면에 의한 영향을 조사하여 반영하는 유역계획은 거의 없었고, 그 유역계획이 누적적 충격들을 실제로 완화하거나 예방하는지 직접 실험할 수도 없었다.

1.4 유역관리 예산의 비현실성

유역관리 계획들은 그 유역의 범위를 이용 가능한 자원과 결합시키기에는 너무나 넓어 대부분의 유역관리계획에 투자되는 비용은 광대한 유역에서의 자료조사와 기초적인 모니터링 작업에 대부분이 고갈되어 실제적인 유역관리를 위해 필요한 사업재원은 조사사업이 끝난 후에는 거의 소진되는 것이 현실이었다.

뿐만 아니라, 유역관리에 필요한 인적자산에 대한 투자는 거의 등한시 되었다. 유역관리는 지금까지의 시설물 설치위주의 사업에서 인적자원이 투입되어야 하는 관리기법 및 정책의 운영측면이 크게 강조되기 때문에 이와 같은 부문에 대한 투자가 필요하나 예산운영의 경직성에 의해 이에 대한 신규재원 배분에 인색하였다.

1.5 결과에 대한 합리성보다 유역 분석수단 적용에 치중

많은 유역관리 계획수립가들은 컴퓨터 시뮬레이션 모형화 작업, 모니터링 활동 등의 유역 분석수단에 지나치게 매료되었다. 결과적으로, 많은 유역관리 방안들은 유역관리의 특정한 결과보다 이러한 분석수단의 본질적 가치나 적합성을 증명하는데 치중했다. 간단히 말해서, 보기 좋은 GIS 지도, 정밀한 모델 혹은 세밀한 모니터링 작업들은 결코 유역관리 계획에서 효율적으로 역할을 하지 못한다. 이러한 수단들의 적용이 유역 관리에 도움을 주지 않는다는 것이 아니라, 그것들은 단지 수단에 불과하다는 것이다. 마치 이러한 현혹적인 분석수단이 유역관리계획의 결과인양 과대포장되어 활용되어서는 안된다.

다시 말하면, 유역관리는 유역의 토지이용, 지역계획, 시설계획 내에서 실행이 가능하도록 확실한 결과물에 초점을 맞추어야 한다. 유역 분석수단은 유역관리계획의 도구이지 이들이 잘 되었다고 해서 유역관리가 잘 되었다고 혼동해서는 안 된다.

1.6 계획안의 일반성

대부분의 유역계획이 너무 일반적이고 유역 관리방안 형태도 유사하여 유역별 특성을 나타내지 못하고 제시된 대안도 비현실적인 사항이 포함된 경우가 많다. 예를 들면, 단순히 유역의 침식을 개선시키도록 권고했지만 비용에 대해서는 언급하지 않는다든가, 더 많

은 기관 간 협력의 필요성은 강조되었지만 그것을 달성하기 위한 실제적인 방안은 제시되지 않았다. 또, 우수유출수 관리방안의 폭넓은 사용을 권고했지만, 어떻게 그것을 선택하고, 설계하고, 유지할 것인지에 대해서는 제시되지 못하는 경우 등이다.

다양한 복구계획에 대한 우선순위, 기법, 예산 등에 대한 사항이 유역의 특성에 적합하게 체계화되지 못하는 경우도 있다. 또한, 개발로부터 유역을 보호할 필요가 있다는 것은 우리가 이미 알고 있지만, 그것을 달성할 관리수단이나 관리공동체 형성방안은 부족하다는 점도 역시 문제로 지적된다.

1.7 이해당사자의 참여 부족

유역관리 과정에서 중요한 점은 이해관계자에게 계획과정에 참여하는 합법적인 기회를 주는 것이다. 이해관계자의 참여는 피드백과 여론, 적용에 필요한 지지를 얻는것이 중요하다. 아직까지는 유역 계획이 끝난 후, 피드백을 받는 경우가 대부분이며, 개발자, 환경학자, 사업자, 비 정부조직, 지방정부, 중앙정부 등의 중요한 이해관계자들이 유역 계획에 포함되지 않는 경우도 많다. 이러한 이해관계자들은 하부유역 계획에 의해 영향을 받기 때문에, 유역관리 과정에서 이해관계자에게 의미있는 역할이 주어지지 않는다면, 불필요한 논쟁만 지속될 것이다.

2 효과적인 유역 관리계획 수립 요소

효과적인 유역관리 계획이 수립되고 집행되기 위해서는 여러 요소들이 고려되어야 하는데, 이 중에서 특히 우리나라의 유역관리계획에 도입되어야 할 사항은 다음과 같다.

2.1 관리대상 유역규모의 적정성

적정한 규모의 유역관리 대상설정은 효과적인 유역관리계획 수립을 위한 가장 중요한 구성단위이다. 적정한 계획단위 유역 규모는 5~40㎢의 크기의 배수지역으로 정의된다. 유역관리에서 수문변화와 수질, 생물의 다양성에 미치는 불투수면의 영향은 매우 크다. 이 때문에 불투수면의 효과를 정확히 관리할 수 있는 규모가 필요하며 대부분 40㎢이하가 적정하다는 것이 외국의 연구 결과이다.

또한, 적정 유역규모를 설정함으로써 얻을 수 있는 실질적인 잇점은 비교적 짧은 시간단위(6~12개월)안에 모니터링 작업을 할 수 있고, 지도 작성을 비롯한 유역관리를 위한 기초 작업을 효율적으로 실행할 수 있다는 것이다.

2.2 유역관리와 토지이용 관리 연계

유역의 효율적 관리를 위해서는 토지이용과의 연계가 필요하다. 불투수면은 개발 활동의

지표로서, 도시하천을 분류하고 단위유역을 관리하는데 사용된다. 각각의 단위유역은 현재나 미래에 추정된 불투수면 비율에 기초하여 세 가지 범주 가운데 하나로 분류될 수 있다.

상대적으로 낮은 불투수면의 비율(10~15%)조차도 하천의 질에 불리하게 작용하고 생태계 변화를 초래할 수 있다고 한다. 많은 하천들이 일단 불투수면 비율이 25%를 넘게 되면 수로의 안정성, 수질, 생물학적 다양성 측면에서 생태적으로 건전성을 유지하는 것이 불가능하게 된다. 이는 하천의 질을 관리하기 위해서는 유역관리, 즉, 유역의 토지이용 관리가 중요한 요소임을 보여주며, 미래하천의 질을 보호하는 기법으로써 이와 같은 불투수면 지표를 유역관리 계획에 활용할 필요성이 있음을 뜻한다.

3 하천 수질개선 공법

3.1 하천 자연정화법의 개요

하천의 자연정화처리 공법이란 하천이 본래 가지고 있는 정상적인 정화기능이 여러 가지 원인물질이 유입되어 감소되거나 소실되는 경우에 인위적인 방법을 적용하여 정화기능을 회복·증대시키는 것을 말하며, 하천의 자연정화기능이란 하천 자체에서의 화학·물리적 작용에 의하기도 하지만 대부분은 거기에 살고 있는 생물체에 의해서 하천수중의 오염물질이 감소되거나 변화하는 것을 말한다.

하천수질개선을 위해 많은 투자를 하면서도 수질이 충분히 개선되지 않는 이유는 여러 가지 대책들이 오염원의 증가를 따라잡지 못하거나, 하수도의 정비가 어려운 도시 및 농촌지역의 오수가 정화되지 않은 채로 하천에 유입되거나, 도시화에 따라 불투수층이 증가하여 비강우시 하천유량이 감소하는 반면, 용수이용량이 증가함에 따라 도시에서 배출되는 배수량이 상대적으로 증가하여 하천유량에 의한 희석 효과를 기대하기 어렵기 때문이다. 또한 하수처리수의 하천방류도 하천에 상당한 오염부하를 가하는 오염원중의 하나이다.

하천정화사업의 목적은 수질개선과 더불어 하천기능을 보전·개선하는 것으로, 하천수중의 유기물 농도의 저감, 하천의 자정능력 향상 및 하천수중의 용존산소 농도 증대, 하천수의 색도, 탁도 등 미관적 성상개선, 하천수의 악취 등 감각적 성상 개선, 하상에 침적된 오염물질과 침전물의 저감 및 제거 등이다.

3.2 하천의 자연정화작용

하천은 하나의 자연적인 정화장치로 오염물이 유입되면 여러 가지 작용에 의해서 오염물질을 정화한다. 그와 관련된 작용은 물리·화학·생물학적인 작용인데, 그 중에서 주로 미생물이 작용하는 생물학적인 정화기구의 비중이 가장 크다.

3.2.1 물리적 작용

희석, 확산, 혼합, 침전, 흡착, 여과 등으로 수중오염물질의 농도가 감소하거나 포기에 의

해 공기중 산소가 용해되어 유기물의 분해가 촉진된다.

하천은 하폭과 하상의 깊이가 일정하지 않은데, 깊고 넓은 곳에서는 유속이 느려져 침전효과가 크다. 그리고 좁고 얕은 곳에서도 자갈과 자갈사이에서 유속이 느린 장소가 있는데, 이곳에서도 침전작용이 나타난다.

또한 하천은 지표수와 복류수로 이루어지는데 복류수는 지표수가 하상의 모래층을 통과하여 정화된다. 복류수가 낙차가 있거나 둑이 있는 곳에서 표류수에 혼합되어 희석효과를 가져온다. 복류수의 양은 하상을 구성하고 있는 성분에 따라 다르나 표층수에 비하여 적다. 오염된 하천에 깨끗한 지천의 물이나 지하수가 합류되면 수량이 증가하게 되고 유기물의 산화에 필요한 산소를 공급하게 되어 유량 증가에 따라 수질이 개선된다.

3.2.2 화학적 작용

화학적 정화작용은 공기 중에서 흡수된 산소에 의한 산화 또는 오염물질의 분해에 의하여 형성된 탄산가스가 물의 pH를 높여 수산화물이 생성되어 자연적으로 응집이 진행되는 것을 말하며, 이것은 생물학적 산화 · 환원 작용에 비하여 차지하는 부분이 적다.

3.2.3 생물학적 작용

자정작용의 가장 큰 부분을 차지하며, 가장 큰 영향을 미치는 환경조건은 pH, 온도, DO, 햇빛 등이다. 수중생물은 호흡작용에 필요한 산소를 용존산소에 의지하고 있으므로 자연적 혹은 인공적으로 산소를 보충하지 않으면 DO가 감소하고 DO를 소비하는 미생물이 사멸하여 혐기성 미생물(유기물 혹은, NO^{3-}, NO^{2-}, SO_4^{2-} 같은 물질에 함유된 산소를 이용하는 미생물)이 대신 활동하게 되며, 수중의 유기물질은 하상의 자갈이나 바위 등에 부착하여 성장하는 생물막(미생물군)에 흡착, 산화 · 분해된다.

하천 수로내에는 여러 가지 수생식물이 있는데, 식물체 표면에는 미생물군이 부착되어 있고, 뿌리에 의해서 용해성 물질이 흡수됨에 따라 하천수중의 질소와 인등의 용해성 물질이 감소하게 되며 수생식물이 밀집된 지역에서는 유속이 느려져 물리적 침전이 일어난다. 하천의 정화방법을 원리에 따라 분류 · 정리하면 표 5.3.1과 같다.

3.3 하천 유형별 정화방안

오염하천 정화사업은 주요 오염원이 어떤 것이 있으며 용수의 이용실태, 지역주민과의 관계, 지정학적 위치 등을 면밀히 고려해야 하기 때문에 지역적 특성에 따라 사업 추진방향을 결정해야 한다.

상수도 보호구역에서는 하천에 유입되는 오수 및 생활하수를 최대한 분리시켜 처리하는 것을 원칙으로 취수원에 오염부하율이 큰 하천을 우선 순위로 정해야 한다. 도심하천은 상대적으로 생활하수의 비중이 크기 때문에 하수도 정비를 목표로 하여 미 처리된 생활하수

의 유입 차단 및 오 · 우수 분리시설 설치를 우선적으로 고려하여야 한다.

표 5.3.1 원리에 따른 하천 자연정화 방법

원 리	종 류
물리적	• 침전(보, 둑)
	• 여과(모래여과, 마이크로 스트레이너 등)
	• 흐름이나 낙차에 의한 산소의 용해(폭기 등)
	• 희석(정화용수 도입)
	• 하천 퇴적물 제거(준설)
물리+생물적	• 침전+생물산화(자갈층, 플라스틱 및 구형 쇄석층 등의 접촉산화)
	• 여과+생물산화(목탄 정화법)
생물적	• 생물산화(폭기식 자갈층, 플라스틱 및 구형 쇄석덩이 등의 접촉산화, 산화지법, 박층류법 등)
	• 수생식물 이용(갈대밭, 부레옥잠 등)
화학적	• 응집제로 응집시킨 후 침전조에서 고속으로 침전시킴
물리+화학+생물적	• 여과+흡착+생물산화(고속 토양정화법)

농촌지역은 축산폐수에 의한 오염부하량이 상대적으로 많고 농업용수 확보를 위한 보의 설치로 인하여 자정능력이 떨어진다. 그러나 농촌지역은 비교적 부지를 구하기가 용이하여 자연의 정화능력을 최대한 활용한 정화기법인 인공습지, 식생정화, 토양침투법등의 적용이 유리하다. 또한 관개용수 회귀에 의한 부유물질 유입 저감방안 및 축산시설과 가정에서 발생되는 오 · 폐수를 처리하기 위한 소규모 처리시설을 설치하는 것이 바람직하다.

대부분의 소하천의 소로형 하천구간은 오수분리시설이나 차집관로의 제외지 설치가 불가능하며 하수도와 같은 배수로로 이용되는 경우가 많아서 수질오염이 심화된다. 따라서 제외지를 이용한 하천수 정화공법 설치가 어렵기 때문에 수로내에 정화시설을 설치하는 것이 바람직하다.

3.3.1 하천수질개선 기법

일반적으로 사용하고 있는 하천수질 정화방법은 하상퇴적물의 준설, 하천정화 용수의 도입 및 하천내에 인공적인 정화시설을 설치하는 것 등으로 구분할 수 있으며 하천수질 정화란 일단 하천으로 유입된 오염물질을 하도나 고수부지에 설치된 정화장치를 통해서 하천자체에서 정화 처리하는 방법이다.

가. 하상의 준설

대부분의 도시하천은 유속이 느리며 하 · 폐수의 유입으로 하상의 슬러지가 쉽게 퇴적되

며 하폭이 갑자기 넓어져 유속이 느려지는 경우에는 퇴적작용이 더욱 활발히 일어나게 된다. 따라서 퇴적물은 정체된 수역과 오염물질이 유입된 직하류에서 가장 많으며, 하천에서의 침전시간은 호소나 해안에 비해 수심이 얕기 때문에 대체로 짧다.

또한 느려진 유속으로 인해 산소공급이 줄어들고 퇴적층에서 산소를 소모하여 저질부는 혐기성화되어 악취를 유발한다. 또한 퇴적물은 와류나 인위적인 작용으로 수중으로 부상하는 경우가 있는데 이 때 퇴적물 중의 오염물질이 용출된다.

따라서 하상에 침전물이 많이 퇴적되었을 경우, 준설해야하나 그 방법은 하상퇴적물의 형태, 퇴적량 등을 고려하여 바스켓 준설기 또는 펌프식 준설기를 사용할 수 있다. 준설방법을 잘못 선택하였을 경우에는 준설기간 동안 하천 생태계에 큰 혼란이 일어날 수 있으며, 대체로 펌프식 준설기를 사용할 경우가 그 혼란이 적다고 한다. 하천 퇴적물의 부패방지는 하상 준설이 가장 효과적이나 그 효과가 일시적이어서 수질개선 측면에서 보면 효과가 확실치 않다.

나. 하천정화 용수의 도입

하천유량과 관련된 하천환경관리는 하천의 유황을 결정하는 것으로 유황이란 하천유량의 시간적 변화를 말하며 변화가 적을수록 이·치수 측면에서 유리하다. 하천의 유지유량은 하천이 정상적인 기능을 발휘하기 위해서 필요한 최소의 유량으로 수질관리 측면에서 보면 우리나라 하천의 경우, 봄과 같은 갈수기에 유량이 급격하게 줄어들고 농업용수로 취수되는 양이 증가하면서 하천의 자정능력이 급격히 감소하여 수질오염이 심화되는 양상이 매년 되풀이되고 있다.

표 5.3.2 하천 유지 유량의 확보 방법

구 분	장 점	단 점
댐 건설	안정적인 수원 확보 유지관리 용이	건설비용이 큼 건설적지 확보 곤란 주변환경에의 영향이 큼
유로 변경	타사업과 연계가능 (예: 농업용수)	건설비용이 큼 수원 확보 곤란 유지관리비 큼
지하수개발	사업기간이 짧음	비용이 큼 유지관리비가 큼 수량이 제한됨
수원지 함수능력 증대	유지관리비가 적음 산림녹화와 연계가능 토사유출 방지 효과	효과가 적음 장기적 투자가 필요함
하수 처리수 이용	지천 건천화 방지	건설비용이 큼 유지관리가 어려움 기술적 문제

이러한 하천 유지유량을 확보하기 위한 방안으로서, 상류에 댐을 건설하여 홍수시 초과 유출량을 저장하였다가 갈수기 유하시키는 방법, 유량이 풍부한 타 유역에서 유로를 변경하여 확보하는 방법, 지하수를 개발하는 방법, 상류지역의 지하 침투능을 증대시켜 유역내의 함수량을 증가시키는 방법, 하수 처리를 통해 유량을 확보하는 방법 등이 있다.

3.3.2 하천내 정화시설 설치를 통한 수질개선

가. 스크린(Screen)

하천수질개선을 위해 단독으로 설치되기보다는 보조용으로 이용된다. Micro-strainer, Bar-screen 등의 방식이 이용된다. 대형물질이나 부유고형 물질을 대상으로 하는 것이 대부분이다.

나. 수중 폭기법

호기성 상태에서 수질미생물에 의한 산소소비속도는 일반적으로 하천수의 오염도와 비례하기 때문에 오염이 심한 하천에서는 산소의 공급에 비해 소비가 크기 때문에 외부로부터 산소공급이 있어야만 정상적인 정화작용이 가능하다.

수중폭기는 이와 같이 오염된 하천에 산소를 공급하여 자정작용을 촉진시키고 호기성상태를 유지시키므로써 오염된 하천을 정화하는 방법이다.

표 5.3.3 수중 폭기법의 장 · 단점

장 점	단 점
· 시설 및 공정이 간단 · 설치비 저렴 · 용존산소 유지를 위한 간편한 방법 · 물 흐름에 방해가 적도록 설치가능 · 분수등의 방법으로 경관 조성가능 · 하천수의 상하층간 혼합 희석효과 · 유지관리가 간단 · 혐기성 상태 예방	· 오염물질 제거의 단일 목적으로는 부적합 · 오염이 심한 하천에서는 효과 없음 · 적정 수심(3~6m)필요 · 오염이 심할 경우, DO 유지가 단거리에서만 가능 · 침전된 하상저질의 부상으로 수질오염 초래 가능성 · 결빙기 사용 불가능 · 사용 실적이 적고 수질 환경 도달 불확실

다. 보 또는 침전지

많은 하천에는 상수도 또는 농업용수 확보를 위한 보가 설치되어 있으며 유하되는 물은 보에 의해 차단되고 유속이 저하되면서 침전작용이 활발하게 이루어진다. 또한 물이 보를 월류하게 되면, 와류가 발생되어 기포가 발생되며, 재폭기에 의해 산소가 공급된다. 보 상류에 침전된 퇴적물을 수시로 제거함으로서 퇴적물에 의한 용존산소 소모 및 혐기성 분해를 막을 수 있다.

표 5.3.4 보 또는 침전지법의 장 · 단점

장 점	단 점
· 이수 및 치수 목적에 대한 부수효과로서 수질개선 효과가 나타남 · 시설비가 저렴 · 간편한 유지관리 · 하상 안정에 도움 · 친수성 위락공간으로 활용 가능	· 심수층의 퇴적물은 홍수시 유출되어 하류부의 수질 오염 유발 가능 · 하천내 오염물질 총량 삭감 효과는 없음 · 하상고가 높아지고 하천의 통수능력 저하 · 홍수지 유속 증가로 하상, 고수부지, 제방등의 파손위험 · 상류부의 부유물 및 낙차부의 거품발생으로 인한 미관상의 저해

라. 접촉산화법

하천의 직접정화법중 하천정화시설로서 어느 정도 설계조건이 확립되어 있고, 또한 실제 시설이 비교적 많이 보급되어 있는 시설은 자갈층 접촉산화법이다. 접촉산화법은 부착미생물이 서식할 수 있는 면적을 증가시켜 유기물을 그 장소에서 침전, 흡착되게 하여 접촉면에 서식하는 미생물이 용존산소를 이용하여 오염물질을 흡착, 흡수, 산화, 분해하여 제거하는 작용을 응용한 생물 반응 방식이다.

이 공법의 특징을 살펴보면, 오염물질은 전기적 성질이나 접촉제 표면에 생기는 생물막의 점성에 의해 흡착된다. 접촉제에 서식하는 생물군은 오염물질을 먹이로 하며, 접촉제의 종류와 밀도, 체류시간 등이 정화효과에 큰 영향을 미친다. 접촉제의 재질로는 플라스틱, 내트 등의 인공 접촉제와 자갈, 목탄 등의 자연 접촉제가 있다.

접촉제 선정시 유의사항은 충분한 기계적 강도를 갖고 운반이 용이하며 적절한 생물막 부착성과 공극율이 있어야 한다. 그리고 안정된 정화효과를 얻을 수 있어야 하며 장기적인 사용에 견딜 수 있고 유해물이 용출되지 않아야 한다. 이와 더불어 가격이 적당하고 안정적인 공급이 가능하여야 한다.

3.3.3 접촉산화법의 몇 가지 변형

가. 상향류식 접촉산화법

원리는 수평류식 자갈 접촉산화법과 같으나 기존 방식에서는 부유물질 침적 및 생물막 탈리(脫離)가 일어나 유출수질의 악화 및 공극의 막힘 등의 문제가 발생하기 때문에 이를 보완하여 유입된 하천수를 1차 침전 후, 여재의 상향류식으로 접촉하고 여재 하부에 폭기장치를 두어 막힘이 일어날 때 슬러지 배출용으로 활용한다.

상향류식 자갈 접촉산화법은 2가지 특징을 갖는다. 첫째 수평류 대신 상향류를 채용해서 상향류에 의해 물보다 밀도가 낮은 부유물질이 자갈층에 부착, 침강이 보다 쉽게 되며, 물의 흐름은 여재 전체단면을 균일하게 흐르게 되어 여재층을 보다 유효하게 이용할 수 있는 장점이 있다. 둘째는, 하부에서 상부로 갈수록 입경이 작은 자갈을 사용하고 최상부는

소성구상(燒成球狀)여재를 이용하여 2가지 종류를 혼용한 점이다.

나. 목탄 접촉 산화법

하천은 유량이 많을 때는 그다지 오염이 심하지 않으나, 다량의 토사를 포함하고 있다. 이와 같은 하천의 특성에 따라, 일반적인 하수처리와는 달리 적용성이 높고 안전한 처리능력을 가진 하천수질 정화기법의 개발이 진행되고 있다. 현재까지 비교적 적용성이 높은 시스템은 자갈접촉산화법으로 일본에서 널리 보급되어 있고, 우리나라에서도 여러 군대에 설치되어 있다. 하천내 목탄접촉산화법은 접촉재로 자갈대신에 목탄을 사용한 시스템으로 여과에 의한 오염물질의 퇴적과 퇴적 슬러지의 생물학적 산화에 의해 오염물질이 제거된다.

다. 섬모상 미생물 접촉산화시설

유출수내의 오염물질을 섬모상 접촉재의 표면에 부착시켜 접촉재에 부착·성장하고 있는 미생물을 이용하여 정화하는 방법으로 접촉내는 미생물의 부착 및 성장이 잘 이루어질 수 있도록 표면적 및 공극율이 크고 내구성이 강한 재료를 사용해야 한다.

설치위치는 하천내에 설치할 경우 자연유하를 그대로 이용할 수 있고, 토사의 유입이 적고 과도한 부유물질 유입의 우려가 적은 곳을 선택한다. 하천에 인접한 둔치 또는 제내지에 설치할 경우에는 펌프를 설치한다. 우리나라의 적용사례를 보면 95년까지 약 200여 개소에 설치되었고, 1997년 이후에도 많이 설치되고 있다. 우리나라 이외에는 주로 일본에서 적용되고 있다.

3.4 오염이 심한 소하천 정화법

하수도가 보급되지 않은 주거지내의 하천의 물은 하천수와 생활하수가 혼합되어 하수보다는 오염도가 낮고, 강우시에는 우수와도 혼합되어 토사도 다량 함유할 수 있다는 특징을 갖는다.

따라서 이를 처리하기 위해서는 일반적인 하수처리공정과 같이 침사지를 설치할 필요가 있으며 그 이후에 접촉재를 충진한 조를 두는 것이 일반적이며, 처리효율이 높아야 하고, 부지의 제약을 받을 가능성이 크므로 설계시 부지 형상에 따라 유연성 있게 대처할 수 있는 공정이여야 한다.

하수의 유입으로 인해 오염된 하천수의 처리는 비용절감을 위해 일반적으로 자연유하방식을 이용하며 부지의 형상에 따라 달라지니 기본적으로 하천부지내이거나 혹은 하천과 접해서 설치되며 처리공정에 따라 설치 장소가 달라질 수 있다.

접촉제는 오염이 심한 원수의 특성을 감안하여, 슬러지 발생량이 적고 충격부하에 강한 특성을 갖고 있는 접촉산화법을 이용하기 때문에 접촉재의 성격에 따라 제거효율이 달라질 수 있다.

이러한 정화법에 의한 BOD, SS의 제거율은 60~80%정도로 기존 하수처리장보다는 떨

어지지만, 처리대상이 하수보다 오염도가 낮은 하천수이기 때문에 제거효율이 낮더라도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다.

3.4.1 토양에 의한 정화법

토양정화법이란 토양 내 서식하는 미생물, 토양의 물리·화학적 작용 및 지표면에 존재하는 식물의 종합적인 작용에 의한 정화법을 말하며, 그 형식이나 규모 등에 따라 여러 가지 방법이 있어서 완속침투법, 급속침투법, 접촉폭기조와 침전조를 토양으로 피복한 토양피복식 처리법, 관개법을 포함한 비교적 규모가 큰 처리법과 소규모의 현장처리법 등이 있다.

가. 지면 관개법 (Overland Flow)

오염된 하천수를 1차 침전시킨 후 모래 여과하여 하천으로 다시 유입시키는 방법으로, 모래에 의한 여과 및 모래 입자에 존재하는 생물막에 의한 유기물 분해에 의해 오염물질이 제거된다.

나. 토양 트랜치법

토양 트렌치법은 피복토양의 호기성 조건을 유지시켜, 지표면 30cm아래에 직경 약 10cm 정도의 배수관을 수평으로 매설하여 오·폐수를 주입하고 배수관이 이음부를 통과한 오·폐수가 토양의 공극사이를 침투하는 사이에 정화되는 공법이다. 배수관이 이음부를 통해 주위 토양으로 침투한 오·폐수의 일부는 증발되거나 식물에 흡수되고, 나머지는 불포화층을 통과하는 과정에서 더욱 정화되어 지하수와 합류한다.

모관형 트렌치법은 트렌치 밑부분에 U자형으로 불투수막(차수막)을 설치하여 오·폐수가 막위에 남아 그곳으로부터 주변 토양으로 침투하게 된다. 이에 반해서 중력침투형은 불투수성막(차수막)을 설치하지 않는다. 이 방법은 탈질현상이 일어나지 않아 NO_3-N에 의해서 지하수가 오염될 수 있기 때문에 이를 방지하거나 처리수를 재이용하기 위하여 침투수를 집수할 수 있는 집수조를 불투성막 주위에 설치하는 것이 바람직하다. 이러한 목적으로 트렌치 주변에 불투성막을 설치한 시스템을 집수형 트렌치하고 한다.

우리나라에서도 관리가 용이하고 운영비가 거의 들지 않기 때문에 소규모 하수처리시설로서 이용되고 있는데, 특히 이러한 시설은 호수유역의 인구가 낮은 지역에서 호소수 정화의 한 방법으로 이용될 수 있다.

3.4.2 식물을 이용한 수질정화기법

하·폐수처리시설의 지속적인 확충에도 불구하고 하천이나 호소의 수질은 좀처럼 개선되고 있지 않는 원인 중에 하나는 강우시 초기유출수에 의해 도시 및 농촌지역의 비점오염원 오염물질이 유출되기 때문으로 비점오염원에 대한 관리는 시급히 처리해야할 과제이

며 오염된 하천을 직접 처리하는 것이 필요하다.

습지처리는 자연생태계를 그대로 활용하는 것으로 미생물에 의한 유기물의 분해, 식물체에 의한 질소 및 인의 흡수를 그 원리로 하며 자연생태계를 그대로 활용하기 때문에 환경친화적이며 지역주민의 휴식공간으로도 활용될 수 있다. 그러나 이러한 자연정화방식은 다른 방법에 비해서 수질 제거능력이 떨어지고 넓은 면적이 필요하기 때문에 수질오염이 심한 도시지역에서는 설치하는데 어려움이 있다.

표 5.3.5 식물을 이용한 자연정화법의 종류

적용 시스템	적용사례(개소)
토지이용 시스템(Land Based System)	>1,000
습지이용 시스템(Wetland System)	
• 지표면 흐름방식(Free Water Surface System)	56
• 침투 흐름방식(Surface Flow System)	98
수생식물 이용 시스템(Aquatic Plant System)	4~8
• 부엽식물 이용방식(Floating Plant System)	
• 침수성식물 이용방식(Submerged Plant System)	

수질정화시스템은 사상형(絲狀形) 생물담체를 충진한 생물막법으로 운전되며, 습지처리시스템은 하부에 토양, 자갈 혹은 인공메디아를 깔고 갈대나 기타 수질 정화능력이 뛰어난 식물을 식생하는 구조로 되어 있다. 습지처리방식은 토양 표면 상부의 부유미생물과 식물을 이용하여 처리하는 표면류식과 하부의 자갈 혹은 인공담체 및 식물체 표면에 형성되는 미생물막과 식물에 의해 정화하는 침투류식 등이 있다.

가. 산화지(Oxidation ditch)

산화지란 생물학적으로 하수를 처리할 수 있는 연못으로서 안정지라고도 하며 하수의 생물학적 처리방법인 활성슬러지법 및 살수여상법과 더불어 도시하수처리의 가장 기본적인 방법 중의 하나이다. 정화기구는 연못에서 성장하는 조류에 의한 광합성이나 자연폭기에 의하여 용해되는 산소를 이용하여 호기성 세균이 수중의 유기물을 분해시킨다.

산화지는 별다른 기계시설이 필요 없으며 정화과정이 생물학적처리법 중 가장 간단하고 유지관리도 간편하며 처리효율을 높이기 위해 어류를 키우거나 수생식물을 재배할 수도 있다. 산화지를 호기성 상태로 유지시키기 위해서는 수심을 1.5m이하로 하여야 한다.

수심과 체류시간에 따라 처리효율이 크게 달라지며, 침전이나 폭기시설의 설치유무에 따라서도 정화효과의 차이가 크게 달라지고 동일한 시설에서도 유입수의 수질과 수온 등에 의해서 처리효율이 변한다. 표 5.3.6에 산화지법의 장·단점을 나타냈다.

표 5.3.7은 자연정화공법을 비교한 것이다. 대체로 접촉산화법 및 토양침투법의 처리효율

측면에서 우수하며, 실제로 적용사례가 많은 편이다. 또한 식물을 이용한 정화방법은 습지와 함께 적용되어 하천의 자연정화 뿐만 아니라 비점오염의 저감에도 이용할 수 있는 방법이다.

표 5.3.6 산화지법의 장 · 단점

장 점	단 점
· 보통형의 경우 기계설비 불필요	· 정화속도가 낮아 넓은 부지 소요
· 처리과정 간단	· 처리수중의 조류 제거 곤란
· 유지관리가 용이	· 동절기에 효율 저하
· 지형에 따라 池의 모양을 변형가능	· 효율의 변화가 큼
· 조경이나 수생식물 서식장 또는 양어장으로 이용 가능	· 악취발생 등의 2차 공해 발생 가능
· 시설의 추가, 변경 응용 가능	· 적용사례가 적응

표 5.3.7 자연정화공법의 비교

원리	정화법	처리능력 또는 체류시간	대상 수질의 제한	효율(%)	
				BOD	SS
자연침강	고부수지	평균 6시간		50	50
	둑			50	50
	탁질트랩			10	10
접촉침전	자갈접촉산화(폭기)	1.3시간	BOD 20mg/ℓ 이하 SS 30 mg/ℓ 이하	75	90
	자갈접촉산화(무폭기)	2.8시간	BOD 30~50mg/ℓ SS 30mg/ℓ 이하	80	90
	접촉산화수로	수시간	BOD 20mg/ℓ 이하 SS 30mg/ℓ 이하	50	50
토양침투	관개법	$0.04m^3/m^2$ · 일	SS 5mg/ℓ 이하	95	95
	침투여과법	$0.15m^3/m^2$ · 일	SS 5~10mg/ℓ	80	95
	트렌치법	$0.12m^3/m^2$ · 일	SS 10~40mg/ℓ	95	95
	표면유하법	$0.60m^3/m^2$ · 일		40	70
고정생물막	박층류법	2~24시간	BOD 20mg/ℓ 이하	20	20
부유생물	산화지	5일	BOD 20~50mg/ ℓ	60	40
식물흡착	부유식물정화	20일	BOD 100mg/ℓ 이하	40	40
	침수 식물 정화	20일	BOD 300mg/ℓ 이하	40	35
	습지 식물정화	$0.60m^3/m^2$ · 일	BOD 10~20mg/ℓ NH_4-N 2mg/ℓ 이하	40	70

(자료 : 한국건설기술연구원, 1995, 하천환경심포지엄)

4. 자연정화방법의 유구천유역 적용

하수처리율을 높이기 위해 하수관망과 하수처리장을 건설하는데는 막대한 비용과 시간이 필요하다. 유구천 유역에 자연정화공법이 적용된 예는 아직 없으나, 상황에 따라 여러가지 공법을 적은 비용과 시간을 가지고 적용할 수 있을 것이다.

자연 정화방법은 그 원리에 따라 물리 · 화학 · 생물학적 방법이 이용되며, 이중에서 생물

학적 원리를 이용한 방법이 가장 많이 이용되고 있으며, 생물학적 방법은 주로 미생물이 성장할 수 있는 여재를 이용해서 생물학적 산화 반응을 촉진시켜 오염물질을 정화하는 방법이다.

현재 우리나라에서 가장 적용 예가 많은 접촉산화법은 대체로 소하천에 적용되는 방법으로, 비교적 비용이 적게 들기 때문에 유구천의 지류하천 중 비교적 오염이 심하고 유량이 적은 하천 등에 이용할 수 있을 것이다.

수생생물을 이용하는 것과 인공습지 등은 넓은 부지가 필요하기 때문에 토지이용이 용이한 농촌지역에 가능하며, 하수처리장 주변에 조성하여 처리수중의 유기물 뿐만 아니라 영양물질을 제거할 수 있을 것이다. 또한 강우시에는 비점오염원에 의한 오염도 줄일 수 있는 방법 중의 하나로서 고려할 수 있다.

하지만 우리나라의 하천 특성상 소하천을 제외한 일반하천은 하상계수가 커 체류시간이 짧기 때문에 식생대를 이용한 정화공법을 시행하는 공간에서 하천수질이 최소한 2~3일을 체류할 수 없는 특성을 지니고 있어 어려움이 따르나 일정규모의 보나 침전지를 형성하여 체류시간을 늘릴 수 있다면 농촌지역의 가능한 공간을 활용하여 식생대를 조성가능한 방법이기도 하나 우리나라의 식물은 9월이후에는 생육이 어렵기 때문에 철저한 관리가 필요하다.

급속응집법을 이용한 방법은 현재 외국에서 주로 정수기술로서 이용되어 왔는데 최근 하수처리와 우수처리에도 응용되고 있다. 국내에는 아직 실제로 가동중인 곳은 아직 없고 다만 시험 플랜트가 몇 곳에서 가동되고 있지만, 국내에서는 아직 충분하게 검증되지 않았다. 이 기술의 실용성을 충분히 검증한다면, 하수처리수의 재처리, 실제 하천수의 전량처리 등을 통해 수질을 개선할 수 있을 것이다.

물리적인 정화방법 중에 정화용수를 도입하는 것이 있는데, 수질을 개선하는데는 상당히 효과적이나 각 지천의 상류에 농업용수용 저수지가 없거나 있어도 방류량을 충분히 늘릴 수 없기는 하지만 여건이 허락하는 한 시도할 수 있는 방법 중의 하나이다.

근자연형 소하천을 만들기 위해서는 콘크리트 제방을 철거하고 버드나무 등의 뿌리가 강한 식생재료와 자연석재를 이용하여 저수호안을 조성하고, 직선화된 하천을 원래의 곡선형 하천으로 복구하고, 고수부지의 습지를 되살리며 돌무더기로 여울과 소를 만들어 물고기의 서식처를 조성하며, 하천변에 녹도를 조성하여 지역주민의 자연접근성을 향상시키는 방안으로 풍부한 자연생태계의 보전과 창출, 다양한 서식지 환경 및 아름다운 하천환경 조성효과를 강구할 수 있다.

5. 비점오염원 관리

비점오염원이란 다양한 토지이용에서 발생되는 오염물질이 넓은 면적에 걸쳐 분포하는 오염원으로 도시, 농경지, 산림, 도로, 건설지역, 농촌, 초지, 하상퇴적물, 건설지역, 상업지

역, 산업지역, 광산 등 비점오염물질의 근원은 무수히 많다.

아울러 토지이용이 고도화됨에 따라 즉, 각종 개발행위로 인하여 비점오염원물질 발생량이 급증하고 토지의 불투수층의 비율이 증가됨에 따라 비점오염물질 배출량이 증가하게 된다.

다행이 우라나라 환경정책도 근래에 들어 수질오염총량관리 기본계획을 실시하면서 비점오염원에 대한 인식부족을 탈피하고 법적인 관리제도를 마련하고 국민에 대한 인식을 제고하고 있으며 비점오염원에 대한 최적관리기법 연구에 치중하고 있다.

또한 국무총리실 산하 수질관리개선사업단에서는 4대강 물관리 종합대책 추진강화를 위한 보완대책으로 2020년까지 비점오염원에 대한 단계별 대책을 추진하여 1단계는 '05년까지 비점오염원에 대한 법적제도를 마련하고 원인규명 및 처리기법 개발을 중심으로 시범사업을 실시하며, 2단계는 2006~2011까지 비점오염원에 대한 모니터링 기법 및 설치기준을 정립하여 관리기반을 구축하며 3단계는 2012~2020년까지 비점오염오염에 대한 비효율성을 고려한 시설개선 등 최적관리 사업을 정착시키고자 중·장기 계획을 수립하여 추진하고 있으며 2011년부터는 지방자치단체에서 비점오염원에 대한 집중적인 관리가 있을 것으로 판단된다.

개발과 보존이라는 양대 틀속에서 현대사회의 속성에 비추어 개발은 필수불가결한 것이다. 따라서 개발의 논리속에서 산림과 농경지는 매년 감소하고 있으며 경제적이고 문화적인 삶을 추구하는 인간의 논리속에서 도로망의 확충, 레져 및 산업시설 그리고 택지개발 등의 증가에 따라 불투수층 면적은 증가하고 있다.

불투수면에는 대기로부터 침적되었거나, 차량으로부터 유출되거나, 또는 기타 오염원에서 발생한 오염물질이 축적된다. 비점오염원은 오염물질의 유출이 강우시에만 집중되고, 강우시 축적된 오염물질은 신속히 불투수면으로부터 수세되어 수계로 빠르게 유입되지만 오염원이 넓은 지역에 분산되어 있기 때문에 오염원으로서의 중요성이 인식되지 못하였다.

하지만 강우초기에 지표면의 오염물질이 유출되는 초기 우수유출수는 오염물질의 유출농도가 높아 이에 대한 적절한 제어방안이 요구되고 있다.

모니터링 및 모델링 연구에 의하면 도시의 오염물질 부하량은 유역의 불투수면과 직접적인 관련성이 있다. 실제로 불투수면은 오염물질 부하량을 추정하기 위하여 이용되는 대부분의 시뮬레이션 및 경험모델에서 주요한 변수이다. Simple Method에서는 일단 유역의 불투수면이 20~25%를 초과하면, 개발후의 인 부하량이 배경 부하량을 초과하게 되며, 따라서 호소 부영양화의 위험성이 증가하게 된다고 예측하였다(Schueler, 1987).

우수처리용 연못, 습지, 여과지 또는 침투방법과 같은 우수처리시설이 설치된 경우, 도시의 인 부하량은 경감될 수 있다. 모니터링 자료에 의하면, 우수처리방법에 따라 인 부하량을 40~60%까지 경감시킬 수 있다고 한다. 연구에 의하면, 유역내에 우수유출수 처리방안이 있는 경우는 해당 유역의 불투수면을 35~60%까지 증가시킬 수 있을 것이다. 그러나

효과적인 방법들을 광범위하게 적용한다 하더라도 불투수면의 한계값을 초과하게 되면 개발 이전의 수질을 유지할 수 없게 된다.

저류지는 기존에 우천시 강우유출수를 저류하는 단순한 방재기능만을 수행하였으나 최근에는 효율적인 토지이용과 미관을 고려해 공원시설로서의 기능과 방재시설로서의 기능을 모두 갖도록 하고 있다. 저류시설의 수원은 강우유출수로 오염정도가 매우 높아 건기시 환경친화적인 수변공간의 기능을 수행하기가 곤란한 문제점을 안고 있으며, 저류지내 토사 침전에 따른 유지관리의 문제점을 안고 있다.

표 5.5.1 초기우수처리시설별 비교 · 검토

관리유형	장 점	단 점
저류형 (저류조)	· 강우유출수의 수질과 수량 모두를 조절하는 가장 저렴한 수단	· 비교적 대구모의 토지를 필요로 함 · 용존성오염물질은 제거효율이 적음
침투형 (침투조)	· 자연배수시스템을 사용하는 동안 해당지역이 자연수 균형을 유지 · 지역의 홍수피크 감소 · 지하수 재충전	· 부적절한 설계로 인한 실패율이 높고 관리요구가 높음 · 부적절하게 관리되면 냄새, 모기, 수렁화 등으로 불쾌감을 유발 · 고농도의 오염물질부하나 침전물부하를 처리하는데는 부적절 · 토양층내에서 처리되지 않는 오염물질에 의해 지하수오염을 유발
식생형 (식생여과대)	· 강우로부터 토양을 보호함으로써 침식물 생산량을 감소시킴 · 유속이 감소됨에 따른 여과, 흡수 그리고 중력침전으로 부유성 침전물 제거	· 오염물제거에 필요한 이상적환경이 유지되는 것을 조건으로 함 · 수질조절을 위해서는 자정과 침투가 충분하지 못할 경우가 있음 · 오염물질 제거를 위한 일정규모의 토지가 필요함
장치형 (여과조)	· 부유성 고형물과 고형물에 부착된 오염물질 제거 가능 · 박테리아 및 조류제거에도 효과적임 · 다양한 형식으로 설치할 수 있음 · 모래뿐만 아니라 다양한 여재 적용이 가능	· 대규모 배수지역에서는 부적합 · 여층관리가 처리효율에 직접적인 영향을 주므로 정기적인 여층삭취 및 교체가 요구됨 · 유입부에 전처리 시설(침전)이 요구됨 · 불투수성 지역에서만 적용 가능함
처리형 (응집 · 침전법)	· 하수처리형의 다른 시설보다 가장 간단 · BOD, SS, T-P에 대해서는 신속한 처리효과를 얻을 수 있음 · 침전시간의 단축을 위한 초고속 응집침전법의 개발로 소요부지를 최소화 시킬 수 있음 · 설치장소에 제약없음 · 기술의 신뢰성이 확보되어 있음	· 관리인 배치와 상시관리가 필요 · 약품비 및 동력비 등 운전비가 소요됨 · 슬럿지 발생 및 처분에 대한 문제점이 있음 · 주민과의 친화성이 부족

저류지의 수질관리를 위해 수생식물에 의한 정화를 제시하고 있으나 수생식물의 정화기능으로 저류지의 수질개선을 기대하기는 어려운 것이 현실이며, 저류지의 수질개선을 위해서는 강우유출수가 저류지로 유입되기 전에 적절한 처리시설을 설치하는 것이 절실히 요구된다.

비점오염원은 그 발생원과 운반과정이 다양하므로 관리방법도 다양하며 초기우수를 하수처리 수준으로 처리한다는 것은 불가능하며 처리에 있어서도 어느 한가지의 처리방법을 이용하여 제어하기란 어렵다. 그러므로 비점오염원에 대해서는 최적관리기술(BMPs:Best Management Practices)이란 측면에서의 접근방식이 필요하며 간단한 처리방법을 표 5.5.1에 제시하였다.

일반적인 비점오염원 관리방법으로는 토지이용 규제를 통한 오염원의 원천적 관리, 집수지로 흘러드는 오염원의 이동 중 처리와 유달율 저감, 초기우수의 직접 처리방법 등이 있다. 또한 각종 처리시설 및 구조물을 설치하여 관리하는 물리적인 방법과 토지이용 규제와 같은 비물리적인 기법을 적용하는 방법이 있다.

비점오염원 처리는 오염원에서 멀리 떨어질수록 처리비용이 증가하고 처리 또한 어렵기 때문에 비점오염원 발생지점에 적용하는 것이 바람직하며, 일단 비점오염원이 강우유출수나 지표수로 유입되면 관리는 더욱 어렵게 된다.

따라서 비점오염원 관리기술의 선정은 입지상태와 향후의 토지이용변화 및 수질실태와 장래 용수이용방안 등을 토대로 비점오염원 관리기술 중 가능한 대안에 대해 충분한 검토가 있어야 하며, 검토된 기술은 환경영향과 사회문화적 평가와 비용/편익분석이 수행된 후 최종안이 선정되어야 할 것이다.

비점오염원 분야는 타 분야에 비해 기초조사에 방대한 투자가 요구되며 새로운 기술개발에 대한 동기부여가 약하기 때문에 정부의 주도적인 역할이 매우 중요하며, 비점오염원 기초조사 및 관련시설 설치에 정부의 적극적인 지원이 필요하며, 관련부처간의 긴밀한 협조를 통해 비점오염원 저감시설 설계기준이 제시되어야 한다.

아울러 비점오염원 처리시설 설치에 있어서도 현장에 즉시 적용할 수 있는 단기적인 방안과 중·장기적으로 연구개발이 필요한 방안으로 구분하여 접근하여야 하며, 제도적인 측면에서는 비점오염원의 중요성을 인식하게 하는 정부의 주도적인 노력이 필요하고 비점오염원 관리에 필요한 관련제도의 제·개정이 되어야 한다.

비점오염원의 최적관리방안의 첫단계는 교육이다. 국가와 지방자치단체는 다양한 매체를 통하여 점 및 비점오염원에 대한 대국민 홍보를 강화해야 하고 교육지원에 적극 노력해야 할 것이다. 두 번째 단계는 아직까지도 부족한 비점오염원 저감 및 처리에 대한 기술적 지원을 아끼지 말아야 할 것이며 마지막으로 친환경적 하천개발을 유도해 나가야 할 것으로 사료된다.

제6장 결 론

1. 오염원 및 오염부하량 평가 결과
2. 유량 및 수질오염도 결과
3. 삭감부하량 및 할당 방안
4. 수질모델링에 의한 수질개선 효과
5. 장래 수질예측
6. 수질개선을 위한 방안

제6장 결 론

유구천유역 42km를 대상으로 QUAL2E 수질모델을 이용하여 2003년 12월부터 2004년 11월까지 계절별로 수리학적 정보, 오염원 정보, 반응계수 등 동일한 입력조건을 이용하여 매월 수질모델링을 실시하였다. 본류와 각 지류하천에 대한 유량과 수질자료는 실측자료를 이용하였으며 유량 변동에 영향을 미칠 수 있는 취수장 자료를 고려하였고, 오염부하량(발생, 배출, 유달, 할당, 삭감)을 조사하였으며, 모델을 통하여 장래 수질예측을 실시하고, 소하천의 수질개선에 대한 관리방안을 찾고자 하였다. 본 연구의 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 오염원 및 오염부하량 평가 결과

1) 유역의 인구수는 23,184명으로 인구밀도는 81명/㎢, 토지이용 면적은 286.08㎢이며 축산현황은 젖소, 한우, 돼지 등이 사육되고, 2~5종 사업장수가 31개소로 대규모 공단이 없고 양식장은 4개소로 산업활동이나 양식장은 유구천내의 수질에 영향을 크게 미치지 않을 인자로 조사되었으며, 오염원에 의한 발생부하는 유량은 생활계에서 71.2%로 일반가정에서의 발생비가 영업시설에서보다 5.59배 더 많았으며, 산업계에서 13.0%, 축산계, 환경기초시설, 양식장 순으로 발생되었고, 축산계에 의한 발생량이 BOD 87.0%, T-N 75.0%, T-P 92.5%로 발생량이 가장 높게 조사되었다.

2) 배출부하는 유량이 4,587.0m^3이로 생활계의 최종배출 유량의 94.3%가 개별배출로 아직 오·하수 처리시설이 턱없이 부족한 실정이며, BOD 87.7%, T-N 67.1%, T-P 90.3%가 물리·화학·생물학적인 처리과정을 거친후 유역에 방출되고 있으며, 유량, 수질 등을 주기적으로 실측하여 이들 값을 평균하여 산정한 유달부하량은 BOD 4.0%~165.0%(avg 15.5%), T-N 9.7%~60.3%(avg. 33.5%), T-P 1.2%~80.8%(avg. 5.1%)의 범위값을 나타내었으며 BOD와 T-N의 유달부하 특성은 강수량과 유량이 풍부한 여름철에 유달부하량과 유달율이 다른 계절에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있었다.

3) 유량과의 상관성에 있어 유량과 유달부하량과의 관계는 꼭 일치하지는 않으나 BOD유달부하는 상관성(r)에 있어 0.9330~0.9809, T-N은 0.9540~0.9967, T-P는 r이 0.8644~0.9194의 범위값을 나타내어 각 항목당 유량의 증·감에 따른 유달부하량의 상관성이 비교적 높게 나타나고 이중 T-P의 유의성이 조금 떨어지는 것으로 나타났다.

2. 유량 및 수질오염도 결과

1) BOD, T-N, T-P 등 수질오염도는 유구취수장까지 비교적 청정상태를 유지하나 유구읍 생활하수를 만나면서 수질이 나빠지고 수체가 유하하면서 자정작용을 하고 유량이 풍부한

지천들을 만나면서 조금 양호해지나 하류지역 생활계 하수에 의한 오염원 유입으로 최하류의 연평균 BOD농도 2.4mg/ℓ가 금강에 유입되고 있으며, 월별 수질예측 변화는 지천들의 유량의 영향을 받아서 유량과 부의 유의성을 가지고 있으며, 특히 갈수기이면서 영농철인 봄철에 오염도가 높고 유량이 풍부한 여름철에는 오염도가 낮아 수질이 악화되는 시점에서 최소 1~2개월 이전에 오염원 통제와 관리가 적극적으로 이루어져야 할 것이다.

2) 기준유량(저수량)은 우리나라의 기상특성상 농한기에 농업용수로의 취수가 시작되지 않은 시기를 선택하였고 금강홍수통제소의 실시간 수문자료인 수위와 실측 유량자료를 이용하여 구한 동대교에서 평수량 3.331cms, 저수량 2.034cms, 갈수량 1.236cms로 나타났다. 따라서 유량이 적은 계절에는 수질관리에 상당한 어려움이 예상되며, 비교적 유량이 풍부한 시기인 여름철 하천유량을 유지해야 대체로 수질이 개선되는 것으로 판단된다.

3. 삭감부하량 및 할당방안

1) 유역의 모든 수역을 대상으로 동시에 삭감부하량을 크게 하기란 시간적·경제적으로 한계에 직면할 수 밖에 없지만 수역구간별 BOD 목표수질 설정을 위해서는 유역별 오염원 분포현황, 발생부하량, 배출부하량, 유달부하량, 오염물질의 총 삭감률, 그리고 다양한 측면에서 구축된 하천의 수환경 조건에 따라 설정하여야 하며, 인위적이든 자연적이든간에 유구천의 수질을 환경정책기본법에 근거한 Ⅰ등급으로 유지하기에는 어려운 실정이고 수질오염총량제에 기술된 BOD기준농도 2.9mg/ℓ을 유지하기에는 유구천의 오염원은 많지 않아 BOD농도 2.0mg/ℓ이하의 수준을 유지할 수 있는 유역관리가 이루어진다면 유구천 유역은 앞으로도 개발의 여지가 충분하다고 볼 수 있지만 때로는 계절에 따라 BOD농도가 3~4mg/ℓ의 오염도를 나타내고 있어 대책마련이 시급한 실정으로 사료된다.

2) 금강에 유입하는 최하류의 유구천 수질이 2.0mg/ℓ이하를 유지하기 위한 각 지류하천과 본류구간의 수질목표농도를 가정하여 부하량과 삭감율을 산정한 결과, 삭감율이 가장 적은 명곡천 유역 5.0%부터 삭감율이 가장 높은 유구하수가 유입되는 하천이 80.2%까지 지류하천은 총발생부하량의 28.2%, 본류구간은 27.4%로 총 27.9%의 발생량을 삭감시킬 수 있다면 연중 BOD농도 2.0mg/ℓ 이하의 수질을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 삭감량을 감안한 모의 결과 유량이 비교적 풍부한 여름철에는 유의성이 떨어지기는 하지만 유구읍내 유역의 하수처리장 가동과 기타 면소재지가 위치한 유역 등의 오염부하량의 삭감량을 조절할 수 있다면 유구천의 하천수질은 BOD농도로 보아 2.0mg/ℓ이하의 깨끗한 수질을 충분히 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 수질모델링에 의한 수질개선 효과

1) 유하거리에 따른 BOD 농도 변화는 모의값의 비교에 있어 실측치에 대한 재현성이 좋게 나타나고 Reach 3구간에서 모의값이 비교적 다른 구간보다 월등히 높게 나타나는 것은 이 유역의 생활하수와 축산계에서 배출되는 오염부하량에 의한 것으로 사료된다.

보정값을 적용한 검정에 있어 실측치와 모의치의 상관성을 살펴보면 유의성이 0.9247~0.9966으로 높은 상관성으로 보정값과 유사한 경향을 나타내었고, T-N은 유하하면서 자정작용의 영향을 잘 받지 않고 있으나 T-P는 유하거리에 따라 농도가 많이 감소하고 있는 경향을 볼 수 있다. 아울러 보정값에 따른 검정결과는 상관성이 높게 나타나 보정값과 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

2) 보정 및 검증된 계수의 RI값은 실측치와 모의치의 일치정도를 보여 주는데 보정때와 검증때가 비교적 유사한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있어 비교적 국내의 다른 연구결과와 비슷한 결과를 보였으며 전 구간에서의 RI값의 범위가 BOD 1.001~1.510, T-N 1.001~1.053, T-P 1.003~1.672을 나타내어 T-N은 전 구간에서 다른 항목에 비해서 전체적으로 높은 예측력을 보이고 있으나 BOD, T-P는 겨울철과 봄철 Reach 3구간에서 예측력이 조금 떨어지는 것으로 BOD 오염도가 높아져 상대적으로 큰 값을 가지며 유량상태에 따라 오염도의 차이가 커지므로 상황에 따라서 적절히 조절해야 할 필요가 있다.

5. 장래 수질 예측

1) BOD의 발생부하량예측치는 비교년도보다 0.1%가 감소하였고 배출부하량은 7.6%가 증가하였다. T-N의 발생부하량은 0.2%가 증가하였고 배출부하량은 7.6%가 감소하였으며, T-P의 발생부하량은 1.3%가 증가하였고 배출부하는 1.4%가 감소되는 것으로 나타났다.

2) 목표수질 달성을 위한 삭감량은 선형기여율 모형에서 자정율에 대한 인자로 적용하여 장래수질을 QUAL2E 모형을 적용하여 실측치와 모의된 계산치 결과는 재현성과 경향에서 유사성이 높게 나타났으며 장래 오염부하량 예측자료를 통해 2010년에 대한 수질예측 결과 특별히 오염을 가중시킬 오염원의 생성은 없지만 보정된 QUAL2E 모델을 이용하여 2010년에 대한 BOD, T-N, T-P의 농도를 예측하기 위해 장래 오염부하 발생량의 예측된 결과를 토대로 장래의 유출부하량을 입력하여 결과를 예측하였는데 상류지역 오염물질 유입원에 대한 발생량 저감대책이 없는 한 오염농도는 해마다 조금씩 증가할 것으로 사료된다.

3) 유구읍의 유구하수종말처리장 가동으로 유구지역 배출오염부하량의 급격한 감소로 초기검정 모의값과 발생부하량의 변화에 따른 모의값과 많은 차이를 보이고 있으며, 오염물질 변화에 따른 예측오염농도에서와 유구하수처리장의 가동으로 중류지역은 지금보다 수

질이 양호해질 것으로 판단되나 하류유역에서는 오염부하량이 BOD농도 2.0mg/ℓ를 넘고 있으므로 하류유역에 대한 환경기초시설 설치도 적극적으로 고려해야 할 것으로 사료되며, 부족한 환경기초시설을 보완하여 하수처리율은 높이기 위해서는 마을하수처리장을 설치하고 수질개선 효과를 향상시키기 위해서는 하수도 보급률을 개선시키는 노력이 결부되어야 할 것을 판단된다.

6. 수질개선을 위한 방안

1) 유구천 유역은 별다른 오염원은 없지만 주변의 농경지로부터의 오염물질 유출 때문에 수질이 악화될 가능성이 있으며, 비록 각 지천의 오염부하량은 크지 않지만 마을 단위의 소규모 오수처리시설을 건설하여 주변에서 발생하는 오수를 함께 처리하거나 각 지천의 자정능력을 향상시킬 수 있도록 자연정화 공법 및 비교적 오염이 심하고 유량이 적은 하천 등에 이용할 수 있는 접촉산화법을 적용하는 것이 좋을 것이다.

2) 각 오염원에 대한 배출부하량 삭감량 할당은 각 오염원의 특성에 따라 이루어져야 하며, 축산과 생활계에 의한 배출부하량이 높기 때문에 높은 비중을 차지하는 오염원 순서로 집중적으로 줄여나가면 효과적일 것이다.

아울러 유구하수처리장 가동이후 상류유역은 수질개선이 가능하지만 하류 유역의 생활계 오염원에 대해서도 마을단위 소규모 오수처리시설을 설치하거나 자정능력 향상을 위한 자연정화공법 적용을 고려할 수 있다.

본 연구에서 얻은 결과는 하천유역의 수질관리계획 수립을 위한 기초자료로서 활용할 뿐 아니라 지역환경 계획 수립시 시스템 구축에 기본자료로의 활용이 기대된다.

그러나 분석의 정확도와 신뢰성 등을 보다 향상시키기 위해서는 향후 동적 오염물질 유출모형과 GIS와의 연계를 통하여 실제에 근접한 종합적인 수질관리모형에 대한 후속연구들이 절실히 요구된다.

참고문헌

참고문헌

1. 윤 성규, "21세기를 향한 한국의 물관리 정책방향", Proceedings of International Seminar on Integrated Watershed Management Toward 21'st Century, 2001

2. 윤 춘경, 전 기홍, 함 종화, "SWMM과 회귀분석법에 의한 유역의 오염부하량 산정 비교", 한국물환경학회지, 제 17권, 제2호, pp.157-168, 2001

3. 서 동일 외, 댐유역 오염물질 이동특성에 관한 연구, 한국수자원공사 연구 보고서, 1998

4. 최 홍식, 이 길성, "QUAL2E 모형의 금강수계에의 적용", 상하수도학회지, 제1권 제2호, pp.20~33, 1987

5. 한국지질자원연구소 "한국지질도 1:50,000 공주"

6. 용담댐공동조사위원회 "금강수환경 및 생태계 조사연구" 1'st, 2002

7. 송 교욱, 안 욱성, 박 청길, "낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(Ⅱ), J. od KSWQ, Vol. 9, No.1, pp.54~66. 1993

8. 송 교욱, 안 욱성, 박 청길, "낙동강 수계 수질관리를 위한 모델링(Ⅲ), J. od KSWQ, Vol. 9, No.2, pp.131~138. 1993

9. 허 인량, 이 건호, 최 지용, 정 의호, 이 용석, "한강상류 유역 수질보전에 관한 연구(Ⅱ)", 한국물환경학회지, 제15권 제3호, pp.305~314, 1999

10. Young Soo Lee, "Application of QUAL2EU Model for the Simulation of Dissolved Oxygen Concentration in Pawtuxet River", Environmental Engineering Research, Vol. 3, No. 3, pp.157~165, 1998

11. 전 경수, 이 길성, "QUAL2E 모형의 한강수계 적용", 상하수도학회지, 3호, pp.43~56, 1993

12. 김 선미, QUAL2E모델을 이용한 금강 하류의 수질 변화에 관한 연구, 충남대학교 환경공학과 석사학위논문, 1995

13. 백 창현, GIS를 이용한 대청호의 수질관리시스템 구축, 경북대학교 토목공학과 석사학위논문, 1999

14. 김 순정, 시화호의 합리적인 수질관리를 위한 수질모델링에 관한 연구, 충남대학교 환경공학과 석사학위논문, 1999

15. 서 동일 외, "대전광역시 상수원 수질보전 연구 - 수질 모델링 분야", 대전광역시, 2000

16. 정 선구, CE-QUAL-W2를 이용한 용담호의 성충 특성 및 장래 수질예측에 관한 연구, 충남대학교 환경공학과 석사학위논문, 2000

17. 한국수자원공사, 댐저수지 탁류 및 오염물질이송 · 확산 모의기술 개발, 2000

18. 김 윤희, 김 범철, 최 광순, 서 동일 "2차원 수리수질모델(CE-QUAL-W2)을 이용한 소양호 수온 성층현상과 홍수기 밀도류 이동현상의 모델링", 상하수 도학회지 Vol. 15 No. 1, pp.40~49, 2001

19. 신 은성, 최 지용, 이 동훈, "토지용도와 유역특성을 고려한 비점오염물질 원단위 산정에 관한 연구", 한국물환경학회지, 제17권 제2호, pp.137-146 2001

20. Euiso Choi, Geonha Kim and Zuwhan Yun., "An Approach for the Estimation of NPS Pollutant Discharge", J of KSWQ, pp.189~299, 1994

21. 이 현동, 안 재환, 김 운지, 배 철호, "토지이용별 강우시 비점오염 물질의 유출특성", 한국물환경학회지, 제17권 제2호, pp.147~156, 2001

22. 이 현동, 안 재환, 김 운지, 배 철호, "강우시 유출부하량을 이용한 팔당상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량 추정", 한국물환경학회지, 제17권 제3호, pp.313~326 2001

23. 최 지용, 신 은성, 이 동훈, "서울 도시지역의 비점오염원 유출특성에 관한 연구", 한국물환경학회지, 제15권, 제3호, pp.315~323, 1999

24. 김 계현, GIS개론, 대영사, 1998

25. 김 계현, "GIS를 활용한 수질오염 관리", 한국수자원학회지, 제31권 제1호, 1998

26. 환경부, 수역 수질관리를 위한 수질예측 모형과 의사결정 지원시스템 개발에 관한 연구, 1995

27. 이 요상, GIS를 이용한 저수지 유역의 오염부하 산정 시스템 개발, 충북대학교 토목공학과 박사학위논문, 1996

28. 서 동일, GIS 기법을 이용한 비점오염물질의 발생량 예측에 관한 연구, 연강재단, 1997

29. 최 종욱, GIS와 수질모델을 이용한 안양천의 수질 오염도 해석, 인하대학교 토목공학과 석사학위논문, 1998

30. 최 현상, GIS와 연계한 추계학적 하천수질 분석, 경북대학교 토목공학과 석사학위논문, 1997

31. 건설교통부, "공업용수도 중장비 계획수립에 관한 연구", 1994

32. 건설교통부, 산업자원부, 한국토지공사, "산업입지 원단위산정에 관한 연구", 1998

33. 국립환경연구원, "폐수배출시설 표준원단위 조사연구(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)" 1997, 1998, 1999

34. 양현주, "QAUL2E모델에 의한 대청댐 상류하천의 수질 예측", 대전대학교 토목공학과 석사학위논문, 1995

35. 국립환경연구소, "전국 주요 하천 기초조사", 1983

36. 환경청, "한강유역 환경보전종합장기계획사업", 1983

37. 경기도보건환경연구원, "진위천의 수질오염현황과 개선방안", 2001

38. 서동일 등 "수질모델링" 동화기술, pp.298

39. A.E. Mulligan & L.C Brown, "Genetic Algorithms for Calibrating Water Quality Models", Journal of Environmental Engineering, Vol. 124, No. 3, march, 1998

40. 한국수자원공사, "한강 하천유지유량조사연구 보고서", 1990

41. 유병로, "물관리 모델링 실무", 2001

42. 환경부, "오염총량관리계획수립지침(안)", 1999

43. 환경부, "금강수계오염총량관리기본방침", 2002

44. 충청남도 금강수계관리위원회, "충청남도금강오염총량관리기본계획", 2004

부 록

부록 표-1 지류하천의 월별수질오염도 및 유량 - (1)

하천명	조사시기	수질조사항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
금천	1월	0.6	7.3	11.09	3.68	3.162	0.048	0.023	2.054	0.537	0.071	0.037	0.034	325.462
	2월	6.6	7.5	11.91	2.46	3.125	0.002	0.031	3.042	0.050	0.026	0.005	0.021	459.749
	3월	9.4	8.2	12.93	3.81	2.452	0.011	0.018	2.307	0.116	0.028	0.013	0.015	401.598
	4월	17.3	8.0	12.39	3.89	3.558	0.063	0.038	3.291	0.166	0.063	0.035	0.028	106.848
	5월	21.3	8.3	10.59	3.24	2.234	0.036	0.039	1.567	0.592	0.062	0.026	0.036	190.991
	6월	22.2	7.8	9.07	1.84	2.263	0.100	0.036	1.821	0.306	0.029	0.013	0.016	634.147
	7월	25.3	7.9	8.40	1.40	2.651	0.135	0.013	2.374	0.129	0.061	0.034	0.027	1,137.024
	8월	22.4	7.5	8.50	1.70	2.033	0.088	0.041	1.637	0.267	0.038	0.012	0.026	1,632.906
	9월	16.9	7.6	9.90	1.30	2.615	0.092	0.056	2.310	0.157	0.063	0.038	0.025	798.797
	10월	12.5	7.7	11.50	1.20	2.472	0.151	0.055	2.193	0.073	0.025	0.023	0.002	506.545
	11월	8.2	7.8	12.00	1.55	2.085	0.041	0.035	1.719	0.290	0.044	0.020	0.024	375.347
	12월	3.1	7.9	13.50	1.83	1.651	0.000	0.031	1.608	0.012	0.018	0.009	0.009	293.072
덕곡천	1월	0.4	7.4	11.32	3.54	3.460	0.122	0.038	3.280	0.020	0.074	0.028	0.046	13.496
	2월	8.5	7.7	11.37	2.77	5.480	0.011	0.031	5.136	0.302	0.078	0.042	0.036	168.678
	3월	10.1	8.2	13.60	4.80	5.065	0.012	0.027	4.908	0.118	0.075	0.011	0.064	121.075
	4월	18.2	8.2	11.53	3.98	2.987	0.162	0.021	2.745	0.059	0.036	0.025	0.011	10.022
	5월	20.7	7.9	11.42	2.89	6.099	0.528	0.159	4.877	0.535	0.038	0.014	0.024	113.933
	6월	21.8	7.8	8.80	2.59	5.185	0.600	0.208	4.172	0.205	0.030	0.019	0.011	287.863
	7월	25.4	7.8	9.10	1.80	5.067	0.043	0.080	4.573	0.371	0.054	0.041	0.013	245.426
	8월	21.7	7.6	8.80	3.40	5.211	0.434	0.460	4.061	0.256	0.180	0.090	0.090	431.964
	9월	19.7	7.9	11.40	1.30	4.855	0.229	0.209	4.179	0.238	0.091	0.068	0.023	208.512
	10월	16.1	7.9	11.40	1.10	4.249	0.205	0.109	3.773	0.162	0.120	0.092	0.028	53.865
	11월	11.2	7.8	11.70	1.53	4.199	0.037	0.029	3.832	0.301	0.067	0.053	0.014	98.305
	12월	5.0	7.8	13.50	6.48	3.812	0.151	0.063	3.576	0.022	0.090	0.032	0.058	44.575
명곡천	1월	6.9	7.4	11.18	1.05	2.674	0.204	0.040	2.148	0.282	0.057	0.032	0.025	67.205
	2월	9.7	7.7	10.27	1.26	2.312	0.003	0.003	2.210	0.096	0.028	0.011	0.017	253.541
	3월	8.8	7.3	12.80	2.32	3.046	0.013	0.036	2.948	0.049	0.026	0.011	0.015	244.062
	4월	17.5	7.9	13.89	4.03	3.239	0.091	0.013	3.084	0.051	0.025	0.010	0.015	80.496
	5월	21.0	7.7	13.21	3.19	3.190	0.032	0.082	2.610	0.466	0.031	0.019	0.012	127.728
	6월	19.7	7.5	9.08	2.49	3.483	0.045	0.057	3.114	0.267	0.012	0.000	0.012	400.795
	7월	22.5	7.2	8.40	1.90	3.286	0.046	0.068	3.022	0.150	0.063	0.041	0.022	401.760
	8월	23.0	7.8	10.30	1.60	2.487	0.029	0.033	2.290	0.135	0.053	0.011	0.042	619.135
	9월	21.4	7.4	10.50	1.10	2.287	0.021	0.032	2.102	0.132	0.013	0.004	0.009	108.990
	10월	18.5	7.5	9.90	1.30	2.453	0.090	0.050	2.150	0.163	0.042	0.019	0.023	25.920
	11월	10.5	7.5	10.90	1.62	2.253	0.022	0.035	2.089	0.107	0.042	0.032	0.010	23.252
	12월	11.1	7.8	11.20	0.88	1.277	0.000	0.025	1.244	0.008	0.015	0.005	0.010	76.795

부록 표-2 지류하천의 월별수질오염도 및 유량 - (2)

하천명	조사시기	수질분석항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
고현천	1월	2.2	7.5	10.87	3.78	2.682	0.122	0.033	2.418	0.109	0.089	0.028	0.061	62.698
	2월	8.1	7.7	11.45	3.27	2.898	0.017	0.038	2.654	0.189	0.116	0.048	0.068	206.561
	3월	11.3	7.6	11.54	1.94	3.345	0.096	0.118	3.031	0.100	0.364	0.129	0.235	467.888
	4월	20.3	7.7	13.01	4.26	3.788	0.134	0.065	3.281	0.308	0.033	0.020	0.013	112.666
	5월	22.6	7.5	10.09	2.03	3.578	0.000	0.013	2.513	1.052	0.017	0.007	0.010	135.407
	6월	23.0	8.2	8.77	2.54	2.981	0.029	0.020	2.529	0.403	0.049	0.012	0.037	712.930
	7월	29.4	8.4	11.30	2.70	2.852	0.053	0.120	2.460	0.219	0.074	0.034	0.040	712.984
	8월	22.5	7.8	8.80	2.40	2.455	0.026	0.011	2.231	0.187	0.062	0.038	0.024	708.602
	9월	21.5	7.7	8.30	1.40	3.360	0.103	0.024	3.146	0.087	0.310	0.138	0.172	634.788
	10월	17.5	7.6	10.80	1.50	2.773	0.236	0.110	2.195	0.232	0.142	0.077	0.065	288.256
	11월	10.1	7.7	10.80	1.84	2.486	0.039	0.026	2.302	0.119	0.128	0.119	0.009	777.208
	12월	6.1	7.9	13.50	2.26	1.298	0.000	0.031	1.218	0.049	0.025	0.009	0.016	82.436
소하천	1월	8.7	7.5	8.94	2.46	3.470	0.223	0.037	2.772	0.438	0.069	0.027	0.042	84.046
	2월	12.5	7.8	10.76	4.83	5.478	0.182	0.114	4.123	0.659	0.335	0.110	0.225	152.496
	3월	15.5	8.4	10.86	5.24	3.983	0.036	0.080	3.832	0.035	0.047	0.013	0.034	84.218
	4월	26.8	8.6	4.60	29.18	8.332	4.200	0.436	2.851	0.845	0.527	0.402	0.125	44.208
	5월	27.0	8.2	10.98	5.98	3.081	0.510	0.062	2.264	0.245	0.126	0.114	0.012	84.802
	6월	26.5	8.5	9.37	4.25	3.583	0.111	0.057	3.044	0.371	0.140	0.128	0.012	202.997
	7월	30.0	9.3	13.10	12.30	4.078	0.190	0.127	3.458	0.303	0.100	0.065	0.035	159.682
	8월	24.0	7.6	8.00	3.60	3.558	0.149	0.272	2.914	0.223	0.171	0.124	0.047	388.076
	9월	22.5	7.4	7.80	2.30	3.290	0.128	0.030	2.300	0.832	0.124	0.093	0.031	196.675
	10월	18.6	7.5	10.20	2.50	3.527	0.354	0.125	2.863	0.185	0.208	0.113	0.095	38.848
	11월	12.2	8.0	11.30	2.04	3.631	0.387	0.040	2.858	0.346	0.238	0.098	0.140	27.605
	12월	10.1	7.8	11.50	5.01	3.914	0.497	0.093	3.232	0.092	0.186	0.035	0.151	33.836
유구하수	1월	8.4	7.6	4.41	65.40	14.135	2.595	0.028	1.470	6.042	1.107	0.033	1.074	104.890
	2월	11.0	7.7	5.81	80.12	3.562	0.640	0.073	2.636	0.213	1.018	0.555	0.463	125.705
	3월	12.4	7.6	1.81	85.99	10.012	0.589	0.057	9.030	0.336	1.812	1.231	0.581	107.107
	4월	17.9	7.3	2.26	44.42	11.820	6.240	1.208	1.684	2.688	1.089	0.789	0.300	86.702
	5월	21.5	7.6	4.03	75.20	17.730	10.700	0.308	2.034	4.688	1.582	1.121	0.461	117.806
	6월	22.8	78.0	6.78	64.40	4.443	2.915	0.047	0.654	0.827	0.436	0.276	0.160	147.038
	7월	25.6	7.6	2.00	102.20	7.660	2.459	0.467	3.508	1.226	0.652	0.517	0.135	152.348
	8월	24.1	7.4	2.60	36.20	8.961	1.719	0.115	5.778	1.349	0.463	0.325	0.138	205.805
	9월	22.3	7.6	1.40	43.20	12.070	3.646	1.014	5.681	1.729	1.487	0.974	0.513	135.734
	10월	19.0	7.6	2.80	41.10	11.119	2.794	0.865	4.583	2.877	1.371	0.928	0.443	73.008
	11월	14.2	7.6	2.10	42.62	12.931	1.553	0.639	7.912	2.827	1.341	1.130	0.211	91.260
	12월	12.1	7.6	5.10	75.23	8.484	2.988	0.985	0.263	4.248	0.673	0.095	0.578	100.393

부록 표-3 지류하천의 월별수질오염도 및 유량 - (3)

하천명	조사시기	수질분석항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
백교천	1월	7.3	7.6	8.12	3.44	4.274	0.110	0.028	2.446	1.690	0.105	0.027	0.078	106.013
	2월	9.2	8.0	11.13	4.27	3.128	0.077	0.058	2.786	0.267	0.130	0.064	0.066	323.334
	3월	10.7	7.2	10.52	3.03	3.085	0.184	0.029	2.662	0.050	0.055	0.024	0.021	270.403
	4월	19.3	8.2	6.92	17.59	3.031	1.230	0.336	1.254	0.211	0.158	0.074	0.084	81.403
	5월	22.6	7.8	8.47	3.35	2.641	0.910	0.020	1.395	0.316	0.069	0.044	0.025	195.728
	6월	24.6	8.4	8.25	1.71	2.606	0.040	0.051	2.273	0.242	0.082	0.046	0.036	1,125.839
	7월	29.4	9.0	10.90	2.60	3.484	0.092	0.407	2.680	0.305	0.063	0.034	0.029	393.912
	8월	21.5	7.7	9.10	2.40	2.771	0.017	0.019	2.167	0.568	0.030	0.014	0.016	986.040
	9월	24.0	7.9	7.80	1.50	2.603	0.300	0.141	1.827	0.335	0.047	0.032	0.015	399.398
	10월	21.1	7.9	10.90	1.50	2.994	0.551	0.037	2.110	0.296	0.156	0.113	0.043	108.238
	11월	12.4	8.0	11.80	3.02	2.624	0.502	0.022	1.717	0.383	0.080	0.059	0.021	86.486
	12월	11.0	7.8	11.00	2.09	3.020	1.270	0.253	1.406	0.091	0.184	0.039	0.145	159.610
대룡천	1월	3.2	7.3	11.59	1.66	3.694	0.414	0.059	2.974	0.247	0.077	0.011	0.066	1,004.497
	2월	7.3	7.5	11.64	2.28	3.514	0.020	0.016	3.378	0.100	0.039	0.007	0.032	2,239.265
	3월	10.6	7.4	9.24	0.93	3.251	0.013	0.013	3.206	0.029	0.030	0.013	0.017	996.372
	4월	19.0	7.5	9.53	1.73	2.758	0.015	0.013	2.305	0.425	0.057	0.030	0.027	236.542
	5월	22.7	7.6	8.82	1.85	2.779	0.072	0.020	2.006	0.681	0.033	0.010	0.023	1,009.980
	6월	22.0	7.4	9.37	2.26	3.264	0.030	0.059	2.752	0.423	0.006	0.002	0.004	2,840.868
	7월	27.0	7.4	8.30	1.65	3.877	0.052	0.417	2.980	0.428	0.036	0.012	0.024	2,002.554
	8월	23.3	7.3	9.50	2.40	2.218	0.004	0.007	2.092	0.115	0.026	0.016	0.010	3,856.968
	9월	18.8	7.6	9.90	1.50	2.061	0.121	0.105	1.772	0.063	0.023	0.010	0.013	3,036.470
	10월	15.0	7.6	10.20	1.30	1.904	0.010	0.019	1.466	0.409	0.014	0.007	0.007	429.264
	11월	11.5	7.6	12.30	1.69	2.286	0.050	0.019	1.749	0.468	0.014	0.007	0.007	663.552
	12월	6.9	7.2	12.30	2.02	2.619	0.081	0.185	2.290	0.063	0.018	0.005	0.013	1,217.642
마곡천	1월	0.9	7.5	13.23	2.36	3.340	0.393	0.049	2.236	0.662	0.009	0.005	0.004	1,828.148
	2월	6.2	7.6	12.12	2.68	3.238	0.021	0.041	2.890	0.286	0.052	0.012	0.040	3,137.760
	3월	12.4	8.0	12.60	3.43	2.961	0.010	0.036	2.900	0.015	0.064	0.027	0.037	2,272.248
	4월	19.7	7.8	10.00	2.86	2.615	0.020	0.076	1.994	0.525	0.066	0.035	0.031	310.799
	5월	25.6	7.5	11.57	2.58	2.194	0.172	0.043	1.922	0.057	0.050	0.002	0.048	1,619.132
	6월	24.6	7.7	8.83	2.13	2.048	0.015	0.010	1.736	0.287	0.021	0.012	0.009	5,148.515
	7월	28.0	7.6	9.00	2.40	2.892	0.020	0.120	2.091	0.661	0.038	0.012	0.026	4,935.146
	8월	24.7	7.5	9.60	2.00	2.337	0.052	0.007	2.163	0.115	0.019	0.007	0.012	6,844.806
	9월	18.7	7.5	11.10	1.40	1.921	0.068	0.055	1.647	0.151	0.056	0.010	0.046	4,322.412
	10월	14.0	7.8	11.90	2.40	1.751	0.017	0.017	1.643	0.074	0.029	0.007	0.022	2,968.967
	11월	9.4	7.7	12.50	2.11	1.808	0.017	0.018	1.677	0.096	0.013	0.007	0.006	2,826.306
	12월	4.2	7.5	13.60	1.93	1.626	0.000	0.015	1.602	0.009	0.015	0.005	0.010	2,254.284

부록 표-4 지류하천의 월별수질오염도 및 유량 - (4)

하천명	조사시기	수 질 분 석 항 목(ppm)												유 량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
계실천	1월	2.9	7.5	12.07	1.24	4.822	0.368	0.049	2.302	2.103	0.025	0.011	0.014	124.704
	2월	5.4	7.6	10.57	2.07	2.312	0.009	0.080	1.944	0.119	0.085	0.013	0.072	422.834
	3월	13.7	7.7	12.92	4.35	2.465	0.092	0.025	2.310	0.038	0.037	0.012	0.025	183.708
	4월	19.2	7.5	9.88	5.76	2.840	0.063	0.063	2.435	0.279	0.023	0.005	0.018	63.788
	5월	23.1	7.8	7.86	4.37	1.718	0.121	0.036	1.436	0.125	0.017	0.012	0.005	380.214
	6월	24.3	7.6	9.11	2.34	2.349	0.038	0.062	2.017	0.232	0.026	0.011	0.015	765.497
	7월	27.6	7.4	8.30	4.50	3.362	0.101	0.163	2.921	0.177	0.056	0.022	0.034	408.330
	8월	24.4	7.3	8.40	2.20	3.118	0.086	0.087	2.725	0.220	0.050	0.021	0.029	689.807
	9월	18.8	7.4	10.30	2.20	2.107	0.076	0.060	1.755	0.216	0.043	0.019	0.024	305.874
	10월	15.0	7.5	11.50	2.30	1.645	0.012	0.017	1.428	0.188	0.028	0.017	0.011	286.956
	11월	10.6	7.6	11.90	2.81	2.240	0.049	0.017	1.889	0.285	0.022	0.010	0.012	327.600
	12월	5.3	7.6	12.40	1.64	1.471	0.000	0.033	1.388	0.050	0.013	0.005	0.008	190.184
신영천	1월	4.2	7.5	11.59	1.92	3.628	0.387	0.048	3.028	0.165	0.022	0.013	0.009	51.120
	2월	6.2	7.6	10.36	2.26	3.056	0.008	0.064	2.638	0.176	0.026	0.006	0.020	111.298
	3월	14.9	8.0	10.91	1.36	3.789	0.082	0.022	3.737	0.018	0.035	0.016	0.019	77.994
	4월	20.1	7.7	10.34	6.85	3.469	0.051	0.052	3.279	0.087	0.019	0.003	0.016	15.336
	5월	19.5	7.9	8.08	4.19	3.898	0.098	0.040	3.317	0.443	0.049	0.009	0.040	78.304
	6월	24.0	7.5	8.16	1.97	2.585	0.007	0.009	2.331	0.238	0.042	0.002	0.040	200.898
	7월	27.3	7.4	8.20	1.60	3.394	0.085	0.111	3.054	0.144	0.027	0.012	0.015	190.602
	8월	25.2	7.2	8.20	1.90	2.914	0.034	0.014	2.589	0.277	0.027	0.004	0.023	238.968
	9월	19.1	7.5	10.10	1.60	2.677	0.065	0.055	2.287	0.270	0.027	0.006	0.021	158.796
	10월	15.0	8.2	11.30	2.30	2.429	0.010	0.014	1.859	0.546	0.040	0.006	0.034	149.126
	11월	11.2	7.4	10.70	1.53	2.529	0.012	0.017	2.246	0.254	0.017	0.009	0.008	155.120
	12월	6.4	7.5	10.40	2.11	2.382	0.033	0.039	2.278	0.032	0.018	0.009	0.009	53.021
방흥천	1월	3.7	7.4	12.01	1.99	4.196	0.106	0.046	3.148	0.896	0.009	0.005	0.004	80.190
	2월	6.1	7.6	10.92	2.16	3.324	0.014	0.043	3.146	0.121	0.075	0.016	0.059	105.646
	3월	14.3	7.7	12.61	4.55	3.995	0.025	0.082	3.506	0.312	0.024	0.018	0.006	82.094
	4월	18.0	7.6	11.35	4.86	2.743	0.017	0.023	2.656	0.047	0.026	0.016	0.010	49.853
	5월	20.7	7.7	7.86	3.73	2.198	0.000	0.068	2.074	0.056	0.062	0.009	0.053	170.737
	6월	24.4	7.5	7.83	2.68	3.126	0.043	0.054	2.700	0.329	0.066	0.010	0.056	578.578
	7월	26.3	7.5	8.00	2.30	3.389	0.041	0.161	2.888	0.299	0.046	0.011	0.035	290.592
	8월	24.6	7.4	7.50	2.20	2.720	0.098	0.077	2.339	0.206	0.047	0.018	0.029	242.251
	9월	18.1	7.4	8.80	0.90	2.553	0.139	0.121	2.129	0.164	0.059	0.019	0.040	162.648
	10월	13.2	7.4	10.20	1.10	2.501	0.015	0.017	2.300	0.169	0.025	0.014	0.011	62.006
	11월	9.3	7.4	10.80	1.83	3.364	0.107	0.051	3.097	0.109	0.098	0.083	0.015	83.106
	12월	6.6	7.6	10.50	2.25	2.485	0.045	0.043	2.353	0.044	0.035	0.012	0.023	84.640
문동천	1월	4.3	7.4	12.54	1.41	8.756	0.380	0.059	6.172	2.145	0.017	0.012	0.005	358.589
	2월	6.5	7.6	10.17	2.97	2.654	0.021	0.073	2.420	0.140	0.238	0.024	0.214	649.670
	3월	15.4	8.9	14.41	4.32	4.340	0.155	0.164	3.527	0.454	0.122	0.070	0.052	189.072
	4월	18.4	8.4	11.29	5.10	3.806	0.173	0.101	3.478	0.054	0.044	0.023	0.021	225.277
	5월	17.2	8.7	6.46	5.27	4.015	0.193	0.172	1.865	1.785	0.048	0.045	0.003	1,338.390
	6월	28.2	8.1	8.38	3.35	2.484	0.013	0.123	2.056	0.292	0.034	0.018	0.016	2,386.764
	7월	30.4	8.5	8.30	5.10	3.434	0.079	0.175	3.022	0.158	0.086	0.042	0.044	2,188.829
	8월	28.1	7.6	9.60	2.30	3.215	0.052	0.013	2.868	0.282	0.026	0.012	0.014	2,200.788
	9월	20.3	8.8	12.80	3.20	3.269	0.112	0.122	2.842	0.193	0.049	0.023	0.026	640.350
	10월	12.7	7.5	12.10	3.30	4.124	0.049	0.051	3.693	0.331	0.055	0.035	0.020	297.684
	11월	8.6	7.4	9.40	2.34	4.868	0.238	0.089	3.791	0.750	0.299	0.127	0.172	603.810
	12월	6.7	7.5	13.40	2.95	3.168	0.231	0.123	2.766	0.048	0.051	0.009	0.042	208.969

부록 표-5 본류의 Headwater와 Reach별 월별수질오염도 및 유량 - (1)

하천명	조사시기	수질분석항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
Headwater	1월	1.0	7.3	11.57	1.65	1.985	0.025	0.045	1.483	0.432	0.084	0.013	0.071	203.760
	2월	6.4	7.4	9.24	1.78	2.411	0.010	0.005	2.298	0.098	0.011	0.002	0.009	312.498
	3월	9.3	7.7	12.90	2.85	2.966	0.011	0.013	2.936	0.016	0.035	0.011	0.024	224.446
	4월	16.0	7.6	11.19	1.89	1.744	0.046	0.015	1.518	0.165	0.028	0.013	0.015	88.416
	5월	20.3	7.7	10.08	1.81	2.400	0.201	0.018	2.104	0.077	0.079	0.022	0.057	202.248
	6월	21.6	7.8	8.80	1.85	1.944	0.028	0.154	1.659	0.103	0.028	0.023	0.005	647.885
	7월	24.7	7.8	9.00	1.40	2.493	0.067	0.056	2.106	0.264	0.067	0.031	0.036	439.286
	8월	22.3	7.5	8.80	1.60	1.797	0.012	0.017	1.527	0.241	0.024	0.013	0.011	556.848
	9월	17.3	7.6	10.20	1.20	1.682	0.038	0.032	1.465	0.147	0.068	0.018	0.050	394.344
	10월	13.5	7.5	11.60	1.20	1.825	0.010	0.092	1.650	0.073	0.022	0.016	0.006	127.008
	11월	8.1	7.6	11.60	1.10	1.696	0.013	0.012	1.627	0.044	0.018	0.006	0.012	393.768
	12월	4.1	7.3	11.60	0.92	0.831	0.000	0.023	0.789	0.019	0.023	0.008	0.015	213.538
Reach 1	1월	1.3	7.4	10.95	2.87	2.335	0.185	0.035	2.074	0.168	0.068	0.025	0.043	581.796
	2월	7.2	7.7	12.05	2.50	3.146	0.008	0.017	3.010	0.111	0.025	0.013	0.012	1,372.248
	3월	9.7	7.5	13.90	3.36	2.712	0.013	0.029	2.582	0.088	0.043	0.022	0.021	1,436.076
	4월	16.9	7.6	10.91	3.13	3.184	0.069	0.020	2.809	0.286	0.045	0.030	0.015	350.676
	5월	21.6	7.5	8.46	2.81	3.344	0.339	0.037	2.635	0.333	0.041	0.022	0.019	680.688
	6월	22.7	7.6	8.49	2.18	2.650	0.055	0.069	2.360	0.166	0.032	0.012	0.020	2,264.674
	7월	27.2	7.7	9.70	1.51	2.933	0.119	0.029	2.641	0.144	0.062	0.040	0.022	2,358.504
	8월	23.0	7.7	9.40	1.60	2.442	0.054	0.055	2.159	0.174	0.052	0.021	0.031	3,499.146
	9월	19.7	7.5	11.30	1.20	2.521	0.044	0.034	2.329	0.114	0.061	0.009	0.052	1,750.788
	10월	15.4	7.6	11.20	1.30	2.577	0.052	0.044	2.372	0.109	0.051	0.025	0.026	980.554
	11월	9.2	7.6	11.80	1.67	2.288	0.036	0.023	2.121	0.108	0.055	0.027	0.028	924.156
	12월	6.8	7.3	11.40	1.38	1.535	0.015	0.025	1.472	0.023	0.024	0.012	0.012	643.896
Reach 2	1월	4.6	7.4	9.88	2.41	2.217	0.162	0.035	2.214	0.116	0.085	0.045	0.040	793.710
	2월	8.2	7.7	11.87	3.11	3.125	0.019	0.026	2.972	0.108	0.035	0.009	0.026	1,675.051
	3월	11.5	7.6	13.45	3.41	2.836	0.076	0.094	2.666	0.061	0.056	0.029	0.027	1,501.632
	4월	21.2	7.6	12.61	3.26	3.147	0.065	0.033	2.838	0.211	0.065	0.042	0.023	299.354
	5월	24.9	7.8	11.65	2.73	3.524	0.581	0.044	2.723	0.176	0.035	0.020	0.015	710.460
	6월	23.2	8.1	9.07	2.01	2.846	0.033	0.019	2.665	0.129	0.027	0.014	0.013	2,594.822
	7월	29.4	8.7	10.20	1.60	3.096	0.047	0.084	2.855	0.110	0.060	0.033	0.027	2,392.974
	8월	23.0	7.5	8.50	1.50	2.623	0.063	0.054	2.314	0.192	0.056	0.022	0.034	3,652.218
	9월	21.2	7.6	10.30	1.20	2.524	0.101	0.049	2.307	0.067	0.076	0.013	0.063	1,820.124
	10월	17.2	7.2	9.20	1.40	2.642	0.066	0.054	2.408	0.114	0.046	0.025	0.021	1,064.394
	11월	11.0	7.7	11.20	1.73	2.389	0.041	0.027	2.196	0.125	0.060	0.032	0.028	956.772
	12월	8.9	7.8	12.20	1.85	1.760	0.077	0.025	1.538	0.120	0.044	0.031	0.013	934.510

부록 표-6 본류의 각 Reach별 월별수질오염도 및 유량 - (2)

하천명	조사시기	수질분석항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
Reach 3	1월	5.9	7.5	8.91	4.58	3.477	0.419	0.085	2.576	0.397	0.110	0.022	0.068	1,156,075
	2월	10.5	7.9	10.90	4.48	3.213	0.064	0.064	2.852	0.142	0.109	0.046	0.063	2,172,942
	3월	13.7	7.6	15.48	6.92	3.254	0.259	0.090	2.804	0.101	0.189	0.092	0.097	2,227,867
	4월	23.4	7.5	12.13	9.11	5.006	1.460	0.370	2.575	0.601	0.249	0.182	0.067	540,778
	5월	24.3	7.9	9.78	6.23	3.732	0.398	0.053	2.651	0.630	0.222	0.186	0.036	1,106,590
	6월	25.8	7.7	8.72	2.89	2.892	0.110	0.034	2.543	0.205	0.046	0.019	0.027	4,360,781
	7월	28.8	8.0	11.00	2.90	3.432	0.116	0.083	3.050	0.183	0.121	0.078	0.043	3,569,054
	8월	23.1	7.5	8.80	2.10	2.943	0.158	0.127	2.557	0.101	0.070	0.028	0.042	5,068,397
	9월	23.8	7.6	10.50	2.80	2.952	0.118	0.054	2.407	0.373	0.139	0.116	0.023	3,255,552
	10월	19.7	7.4	7.70	4.10	3.443	0.520	0.134	2.508	0.281	0.153	0.070	0.083	1,708,322
	11월	11.1	7.5	10.50	4.08	3.083	0.482	0.065	2.275	0.261	0.130	0.085	0.045	2,050,531
	12월	9.2	7.3	11.20	4.38	2.204	0.195	0.062	1.893	0.054	0.069	0.023	0.046	1,264,327
Reach 4	1월	3.5	7.5	10.12	2.86	3.400	0.522	0.064	2.522	0.292	0.093	0.016	0.077	1,049,760
	2월	8.5	7.8	10.00	3.15	3.180	0.032	0.073	2.946	0.159	0.087	0.039	0.048	2,493,900
	3월	11.9	7.7	11.81	4.94	3.196	0.033	0.068	2.991	0.064	0.130	0.047	0.083	2,672,280
	4월	20.0	7.6	11.53	8.42	4.708	0.360	0.186	3.825	0.337	0.201	0.167	0.034	271,512
	5월	21.8	7.8	9.48	4.85	4.452	0.180	0.061	3.731	0.480	0.190	0.168	0.022	1,096,812
	6월	24.0	7.7	8.00	2.02	2.656	0.071	0.046	2.363	0.176	0.060	0.028	0.032	5,960,070
	7월	29.3	7.9	10.00	2.65	3.424	0.097	0.062	3.080	0.185	0.069	0.045	0.024	4,140,045
	8월	23.3	7.5	8.60	1.90	2.752	0.083	0.062	2.386	0.221	0.054	0.028	0.026	6,256,170
	9월	21.0	7.5	10.30	1.80	2.968	0.102	0.021	2.622	0.223	0.101	0.079	0.022	3,890,074
	10월	16.0	7.4	8.70	1.40	3.151	0.123	0.031	2.662	0.335	0.102	0.056	0.046	2,204,453
	11월	10.9	7.3	10.40	2.04	2.895	0.301	0.033	2.433	0.128	0.099	0.054	0.045	2,477,131
	12월	9.5	7.3	10.40	2.80	2.246	0.065	0.023	1.592	0.566	0.044	0.015	0.029	1,413,540
Reach 5	1월	2.5	7.3	11.46	2.16	3.514	0.276	0.053	2.716	0.369	0.066	0.012	0.054	2,457,360
	2월	7.7	7.5	11.02	2.43	3.356	0.021	0.075	3.190	0.090	0.055	0.014	0.041	4,872,780
	3월	12.7	7.7	13.15	3.37	3.193	0.016	0.055	2.968	0.054	0.085	0.025	0.028	4,048,957
	4월	19.0	7.5	9.54	2.79	4.074	0.093	0.090	3.782	0.109	0.146	0.122	0.024	565,425
	5월	21.3	7.8	9.92	3.43	3.618	0.098	0.032	3.150	0.338	0.095	0.070	0.025	2,227,357
	6월	23.8	7.8	9.16	1.97	2.785	0.052	0.039	2.492	0.202	0.038	0.022	0.016	9,878,109
	7월	28.0	7.7	9.90	2.20	3.363	0.067	0.027	3.027	0.242	0.051	0.033	0.018	6,303,084
	8월	24.4	7.5	9.00	2.10	2.617	0.027	0.010	2.472	0.108	0.042	0.022	0.020	10,574.15
	9월	19.3	7.5	9.20	1.30	2.548	0.036	0.032	2.332	0.148	0.079	0.011	0.068	7,483,834
	10월	15.0	7.6	10.10	1.20	2.472	0.022	0.018	2.179	0.253	0.056	0.026	0.030	2,684,196
	11월	10.7	7.6	11.20	2.01	2.421	0.031	0.018	2.081	0.291	0.052	0.024	0.028	3,543,480
	12월	6.2	7.3	11.80	2.14	2.119	0.081	0.021	1.986	0.031	0.045	0.010	0.035	3,059,856

부록 표-7 본류의 각 Reach별 월별수질오염도 및 유량 - (3)

하천명	조사시기	수질분석항목(ppm)												유량 (m^3/시간)
		온도	pH	DO	BOD	T-N	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	org-N	T-P	PO_4-P	org-P	
Reach 6	1월	2.6	7.5	12.27	2.06	3.592	0.384	0.051	2.680	0.377	0.020	0.008	0.012	4,594,637
	2월	6.2	7.6	10.07	2.50	3.305	0.027	0.056	2.882	0.160	0.066	0.005	0.061	8,284,586
	3월	13.1	7.9	12.05	3.29	3.125	0.012	0.039	3.080	0.024	0.080	0.042	0.038	6,224,148
	4월	20.5	7.8	9.93	3.06	3.635	0.028	0.020	3.225	0.362	0.095	0.072	0.023	852,912
	5월	23.2	7.7	9.66	2.98	2.862	0.090	0.028	2.640	0.104	0.064	0.053	0.011	4,490,244
	6월	25.3	7.8	8.96	2.06	2.521	0.034	0.019	2.250	0.218	0.032	0.018	0.014	15,401,484
	7월	28.4	7.9	8.00	2.25	3.247	0.087	0.138	2.688	0.334	0.045	0.025	0.020	11,917,836
	8월	24.9	7.6	8.30	1.90	2.460	0.013	0.007	2.341	0.099	0.033	0.018	0.015	18,086,544
	9월	19.6	7.8	8.90	1.20	2.349	0.017	0.027	2.201	0.104	0.065	0.011	0.054	12,177,864
	10월	16.0	7.6	10.50	1.60	2.216	0.014	0.018	2.056	0.128	0.032	0.018	0.014	6,229,800
	11월	10.0	7.6	11.60	2.12	2.187	0.021	0.011	1.965	0.190	0.031	0.012	0.019	7,205,868
	12월	4.6	7.5	12.60	1.94	1.820	0.084	0.033	1.658	0.045	0.035	0.018	0.017	6,216,930
Reach 7	1월	2.6	7.4	11.36	1.79	3.668	0.306	0.044	2.772	0.546	0.014	0.003	0.011	4,655,772
	2월	6.5	7.6	11.03	2.04	3.268	0.060	0.119	2.864	0.145	0.052	0.005	0.047	9,187,992
	3월	15.0	7.7	12.14	3.12	3.131	0.052	0.029	2.917	0.023	0.065	0.036	0.024	6,865,650
	4월	19.0	7.9	11.79	3.47	3.527	0.038	0.038	3.314	0.137	0.060	0.043	0.017	923,418
	5월	22.7	7.6	7.97	3.28	2.927	0.096	0.015	2.737	0.079	0.052	0.035	0.017	5,940,594
	6월	26.7	8.2	8.31	1.98	2.485	0.030	0.020	2.275	0.160	0.031	0.016	0.015	18,701,424
	7월	30.7	9.0	10.20	2.20	3.212	0.067	0.183	2.718	0.244	0.051	0.022	0.029	12,833,370
	8월	26.6	7.4	9.40	2.10	2.641	0.016	0.004	2.502	0.119	0.021	0.011	0.010	21,530,952
	9월	20.9	7.7	10.80	1.30	2.506	0.061	0.057	2.254	0.134	0.041	0.019	0.022	13,169,376
	10월	17.0	8.1	11.00	1.50	2.033	0.021	0.020	1.881	0.111	0.029	0.014	0.015	7,654,482
	11월	8.8	7.4	10.40	2.21	2.253	0.025	0.012	2.074	0.142	0.025	0.009	0.016	8,619,732
	12월	5.1	7.5	11.90	1.54	1.743	0.025	0.021	1.667	0.030	0.035	0.016	0.019	7,056,522
Reach 8	1월	4.5	7.5	12.02	1.70	3.826	0.088	0.044	3.098	0.326	0.019	0.007	0.012	5,595,552
	2월	7.8	7.7	9.81	2.23	3.382	0.040	0.066	3.070	0.086	0.060	0.006	0.054	9,958,248
	3월	15.7	7.8	13.16	3.23	3.204	0.026	0.023	3.087	0.068	0.060	0.031	0.027	7,108,776
	4월	21.0	7.6	13.03	4.02	3.711	0.054	0.086	3.535	0.036	0.057	0.041	0.016	1,251,666
	5월	21.7	7.9	9.15	3.53	3.110	0.108	0.035	2.619	0.348	0.044	0.012	0.032	7,327,778
	6월	27.9	7.7	9.10	2.40	2.518	0.059	0.020	2.271	0.168	0.037	0.012	0.025	22,044,924
	7월	31.4	8.1	9.70	2.35	3.224	0.094	0.097	2.801	0.232	0.057	0.031	0.026	15,479,136
	8월	28.7	8.2	10.60	2.10	2.661	0.035	0.061	2.463	0.102	0.031	0.018	0.013	24,513,912
	9월	21.7	7.7	11.40	1.30	2.447	0.053	0.048	2.210	0.136	0.050	0.012	0.038	14,316,444
	10월	14.8	7.6	11.50	2.10	2.195	0.025	0.017	2.095	0.058	0.026	0.009	0.017	8,723,678
	11월	8.8	7.4	10.80	2.25	2.560	0.135	0.022	2.337	0.066	0.060	0.023	0.037	9,508,968
	12월	5.3	7.6	14.20	1.79	1.790	0.031	0.021	1.694	0.044	0.036	0.020	0.016	7,614,864
Endwater	1월	5.5	7.5	12.05	1.57	3.922	0.086	0.031	3.208	0.337	0.011	0.005	0.006	5,630,148
	2월	8.0	7.7	10.57	2.37	3.410	0.026	0.054	3.071	0.089	0.058	0.006	0.052	10,039,104
	3월	14.7	7.8	12.76	3.13	3.214	0.021	0.024	3.109	0.060	0.065	0.031	0.026	7,169,724
	4월	19.0	7.9	13.01	4.00	3.712	0.058	0.082	3.538	0.034	0.058	0.044	0.014	1,314,432
	5월	21.8	8.2	9.17	3.57	3.099	0.103	0.048	2.627	0.321	0.054	0.027	0.027	7,352,467
	6월	28.5	7.8	9.82	2.38	2.425	0.041	0.021	2.217	0.146	0.031	0.010	0.021	22,872,492
	7월	31.4	8.5	10.90	2.40	3.195	0.078	0.096	2.792	0.229	0.044	0.022	0.022	15,565,104
	8월	28.7	7.9	10.00	2.00	2.645	0.031	0.052	2.478	0.084	0.024	0.013	0.011	25,096,356
	9월	21.5	7.9	11.40	1.30	2.496	0.045	0.038	2.327	0.086	0.040	0.021	0.019	14,494,392
	10월	14.7	7.6	10.90	2.20	2.100	0.023	0.019	2.010	0.048	0.023	0.006	0.017	9,178,236
	11월	8.8	7.5	10.90	2.34	2.570	0.182	0.027	2.310	0.051	0.065	0.031	0.034	9,536,616
	12월	5.3	7.6	14.60	1.84	1.897	0.025	0.035	1.784	0.053	0.035	0.021	0.014	7,774,200

부록 표-8 유구천유역의 인구현황

비고	합계	시가지역 인구(명)									비시가지역 인구(명)							
		합계	하수처리구역			하수미처리구역					합계	하수처리구역			하수미처리구역			
			소계	분류식	합류식	소계	수세식		수거식	무처리		소계	분류식	합류식	소계	수세식		수거식	무처리
							오수처리	단독정화								오수처리	단독정화		
합계	23,184	7,425		0	0	7,425	1,712	4,115	1,598	0	15,759	1,639	1,639		14,120	272	7,265	6,481	102
headwater	187										187				187		46	141	
금천	455										455	455	455						
덕곡천	209										209				209		102	107	
명곡천	225										225				225		98	127	
유구천-1	997										997				997		669	328	
유구천-2	708			0	0		0	0	0	0	708				708	32	65	611	
고현천	1,336	1,106		0	0	1,106	98	237	771	0	230				230		84	146	
소하천	1,953	1,723		0	0	1,723	528	962	233	0	230				230		84	146	
유구하수	3,507	3,507		0	0	3,507	854	2196	457										
유구천-3	0																		
백교천	1,297	1,089		0	0	1,089	232	720	137	0	208				208		136	72	0
유구천-4	420										420	254	254		166	68	0	98	
대룡천	1,687										1,687				1,687		826	861	0
유구천-5	2,048										2,048	355	355		1,693		934	759	0
마곡천	2,390										2,390				2,390	103	1,126	1,161	0
유구천-6	1,366										1,366				1,366	20	800	546	0
계실천	810										810				810	8	522	280	
신영천	523										523				523	17	302	102	102
유구천-7	0										0								
방흥천	651										651				651		487	164	0
문동천	1,569										1,569	575	575		994	24	473	497	0
유구천-8	523										523				523		339	184	
Endwater	323										323				323		172	151	0

부록 표-9 유구천유역의 토지이용 현황

비고	계	지목별 면적(m^2)					
		전	답	임야	대지	기타	목장
계	286,078,373	18,197,467	28,580,999	215,951,218	9,049,491	13,668,265	630,932
Headwater	6,333,137	358,844	248,230	5,435,218	92,758	195,003	3,084
Reach 1	39,766,028	2,673,398	2,963,210	31,649,072	918,728	1,521,051	40,569
Reach 2	6,559,429	451,422	1,269,026	4,133,716	224,704	477,726	2,835
Reach 3	18,047,176	1,390,186	1,622,023	13,178,589	1,100,452	695,169	60,757
Reach 4	12,832,111	1,029,440	1,694,912	8,832,162	422,808	852,789	0
Reach 5	71,587,000	4,107,302	6,915,951	55,824,601	2,000,360	2,679,641	59,147
Reach 6	83,287,419	4,715,904	6,072,217	66,710,409	2,501,709	3,194,260	92,920
Reach 7	23,921,724	1,174,722	2,433,407	18,344,088	529,867	1,213,979	225,661
Reach 8	19,661,598	1,647,146	4,998,500	10,020,064	1,141,209	1,724,857	129,821
Endwater	4,082,750	649,104	363,523	1,823,299	116,896	1,113,790	16,138

부록 표-10 유구천유역의 축산 현황

(단위 : 두)

비고	젖소	한우	돼지	말	산양	사슴	개	가금
Headwater	0	81	0	0	51	6	41	3,621
금천	227	51	1	0	20	0	324	3,733
덕곡천	251	22	0	0	60	1	95	0
명곡천	0	49	250	0	41	58	0	3,906
유구천-1	276	165	10	0	115	64	549	401,331
유구천-2	10	139	0	0	0	131	20	0
고현천	0	357	10	0	9	265	364	3,775
소하천	95	72	10	0	40	35	75	46,096
유구하수	0	126	0	0	141	22	378	3,721
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	0	63	0	0	21	21	202	3,737
유구천-4	0	94	1,891	0	0	105	0	40,011
대룡천	351	563	2,937	0	339	290	705	70,219
유구천-5	0	1,050	2,722	0	96	132	487	113,460
마곡천	291	1,019	723	0	206	118	1,907	20,581
유구천-6	0	239	70	0	21	23	918	765,495
계실천	146	617	2,200	0	14	23	519	900
신영천	58	227	0	0	50	9	164	902
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	0	383	516	0	0	0	0	135,928
문동천	310	718	1,748	0	0	0	0	203,892
유구천-8	206	183	2,116	0	0	0	0	67,976
Endwater	0	557	0	0	0	0	0	129,982

부록 표-11 유구천유역 생활계에서의 오·폐수 발생유량

(단위 : m^3/일)

비고	가정에서의 발생유량			영업에 의한 발생유량			생활계 발생유량		
	분뇨	잡배수	오수	분뇨	잡배수	오수	분뇨	잡배수	오수
Headwater	0.25	21.96	22.21	0	0	0	0.25	21.96	22.21
금천	0.61	53.41	54.02	0	0	0	0.61	53.41	54.02
덕곡천	0.28	24.66	24.94	0	0	0	0.28	24.66	24.94
명곡천	0.30	26.40	26.70	0	0	0	0.30	26.40	26.70
유구천-1	1.34	117.10	118.43	0	0	0	1.34	117.10	118.43
유구천-2	0.95	50.12	51.07	0	0	0	0.95	50.12	51.07
고현천	1.58	163.17	164.75	0.25	35.86	36.11	1.83	199.03	200.86
소하천	2.29	229.43	231.71	0.29	42.86	43.16	2.58	272.29	274.87
유구하수	4.03	411.99	416.02	1.41	205.56	206.97	5.44	617.55	622.99
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	1.53	171.40	172.93	0.80	116.34	117.14	2.33	287.73	290.06
유구천-4	0.56	22.91	23.48	0	0	0	0.56	22.91	23.48
대룡천	2.26	200.15	202.41	0	0	0	2.26	200.15	202.41
유구천-5	2.74	243.19	245.94	0.05	7.52	7.57	2.80	250.72	253.51
마곡천	3.20	289.52	292.72	0	0	0	3.20	289.52	292.72
유구천-6	1.83	162.33	164.16	0.30	44.20	44.51	2.13	206.54	208.67
계실천	1.09	96.55	97.63	0	0	0	1.09	96.55	97.63
신영천	0.56	56.70	57.27	0	0	0	0.56	56.70	57.27
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	0.87	76.85	77.72	0	0	0	0.87	76.85	77.72
문동천	2.10	183.48	185.58	0	0	0	2.10	183.48	185.58
유구천-8	0.70	61.51	62.21	0.23	33.12	33.35	0.93	94.63	95.56
Endwater	0.43	38.16	38.60	0	0	0	0.43	38.16	38.60

부록 표-12 유구천유역 생활계에서의 물사용량

비고	가정용						영업용						유량합계					총합계
	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	총사용량	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	총사용량	분류식	합류식	오수처리	단독정화	수거식	
Headwater	0	0	0	6.2	19.0	25.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2	19.0	25.2
금천	61.3	0	0	0	0	61.3	0	0	0	0	0	0	61.3	0	0	0	0	61.3
덕곡천	0	0	0	13.8	14.5	28.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.8	14.5	28.3
명곡천	0	0	0	13.2	17.1	30.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.2	17.1	30.3
유구천-1	0	0	0	90.2	44.2	134.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90.2	44.2	134.4
유구천-2	0	0	4.3	13.5	40.1	57.9	0	0	0	0	0	0	0	0	4.3	13.5	40.1	57.9
고현천	0	0	13.2	40.8	133.0	187.0	0	0	2.9	8.9	29.2	41.0	0	0	16.1	49.8	162.1	228.0
소하천	0	0	71.1	140.9	51.0	263.0	0	0	13.2	26.2	9.5	49.0	0	0	84.4	167.1	60.5	312.0
유구하수	0	0	115.0	295.7	61.5	472.2	0	0	57.2	147.2	30.6	235.0	0	0	172.2	442.8	92.2	707.2
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	0	0	34.8	129.6	31.8	196.3	0	0	25.3	87.3	20.5	133.0	0	0	60.1	216.9	52.3	329.3
유구천-4	16.1	0	4.3	0	6.2	26.6	0	0	0	0	0	0	16.1	0	4.3	0	6.2	26.6
대룡천	0	0	0	112.5	117.2	229.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112.5	117.2	229.7
유구천-5	48.2	0	0	127.3	103.6	279.1	8.6	0	0	0	0	8.6	56.8	0	0	127.3	103.6	287.7
마곡천	0	0	14.1	156.7	161.4	332.2	0	0	0	0	0	0	0	0	14.1	156.7	161.4	332.2
유구천-6	0	0	2.8	109.3	74.2	186.3	0	0	1.4	35.0	14.0	50.5	0	0	4.2	144.3	88.3	236.8
계실천	0	0	1.1	71.3	38.3	110.8	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	71.3	38.3	110.8
신영천	0	0	4.8	15.1	45.0	65.0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.8	15.1	45.0	65.0
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	0	0		66.0	22.2	88.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66.0	22.2	88.2
문동천	77.3	0	3.2	63.5	66.6	210.6	0	0	0	0	0	0	77.3	0	3.2	63.5	66.6	210.6
유구천-8	0	0	0	45.8	24.8	70.6	0	0	0	24.5	13.3	37.9	0	0	0	70.3	38.2	108.5
Endwater	0	0	0	23.3	20.5	43.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.3	20.5	43.8

부록 표-13 생활계에서의 오염물질발생부하량

(단위 : g/일)

비고	BOD			T-N			T-P		
	가정	영업	생활계	가정	영업	생활계	가정	영업	생활계
Headwater	9,088.2	0	9,088.2	2,431.0	0	2,431.0	271.2	0	271.2
금천	22,113.0	0	22,113.0	5,915.0	0	5,915.0	659.8	0	659.8
덕곡천	10,157.4	0	10,157.4	2,717.0	0	2,717.0	303.1	0	303.1
명곡천	10,935.0	0	10,935.0	2,925.0	0	2,925.0	326.3	0	326.3
유구천-1	48,454.2	0	48,454.2	12,961.0	0	12,961.0	1,445.7	0	1,445.7
유구천-2	34,408.8	0	34,408.8	9,204.0	0	9,204.0	1,026.6	0	1,026.6
고현천	67,252.2	5,416.4	72,668.6	14,713.6	1,805.5	16,519.1	1,704.9	180.5	1,885.5
소하천	98,534.1	6,473.3	105,007.4	21,253.8	2,157.8	23,411.6	2,470.0	215.8	2,685.8
유구하수	177,804.9	30,869.2	208,674.1	37,174.2	10,278.0	47,452.2	4,348.7	1,027.8	5,376.5
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	65,321.1	16,469.5	81,790.6	14,247.4	5,416.4	19,663.8	1,652.0	541.6	2,193.6
유구천-4	20,412.0	0	20,412.0	5,460.0	0	5,460.0	609.0	0	609.0
대룡천	81,988.2	0	81,988.2	21,931.0	0	21,931.0	2,446.2	0	2,446.2
유구천-5	99,532.8	1,136.1	100,668.9	26,624.0	378.7	27,002.7	2,969.6	37.9	3,007.5
마곡천	116,154.0	0	116,154.0	31,070.0	0	31,070.0	3,465.5	0	3,465.5
유구천-6	66,387.6	6,676.1	73,063.7	17,758.0	2,225.4	19,983.4	1,980.7	222.5	2,203.2
계실천	39,366.0	0	39,366.0	10,530.0	0	10,530.0	1,174.5	0	1,174.5
신영천	20,460.6	0	20,460.6	5,473.0	0	5,473.0	610.5	0	610.5
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	31,638.6	0	31,638.6	8,463.0	0	8,463.0	944.0	0	944.0
문동천	76,253.4	0	76,253.4	20,397.0	0	20,397.0	2,275.1	0	2,275.1
유구천-8	25,417.8	5,002.3	30,420.1	6,799.0	1,667.4	8,466.4	758.4	166.7	925.1
Endwater	15,697.8	0	15,697.8	4,199.0	0	4,199.0	468.4	0	468.4

부록 표-14 유구천 유역의 축산에 의한 오·폐수발생유량 및 발생부하량

비고	축산계발생유량(m^3/일)			축산계발생부하량(kg/일)								
				BOD			T-N			T-P		
	합계	폐수	고형물	합계	폐수	고형물	합계	폐수	고형물	합계	폐수	고형물
Headwater	1.557	0.588	0.969	62.91	5.76	57.14	14.12	3.70	10.42	4.49	0.31	4.18
금천	11.773	6.487	5.286	178.69	31.36	147.33	49.59	18.30	31.29	16.75	2.71	14.04
덕곡천	11.914	6.750	5.164	153.49	31.40	122.09	44.26	17.59	26.67	15.23	2.80	12.43
명곡천	3.247	2.218	1.029	74.42	11.58	62.84	17.52	6.10	11.42	6.47	1.02	5.45
유구천-1	47.916	8.824	39.093	2,340.26	46.40	2,293.86	511.24	27.99	483.25	183.30	3.76	179.54
유구천-2	2.599	1.244	1.355	80.62	10.96	69.67	18.78	6.85	11.92	5.73	0.63	5.11
고현천	6.192	2.823	3.370	218.51	26.52	191.99	50.77	17.55	33.23	15.35	1.45	13.90
소하천	9.292	3.100	6.192	333.73	16.78	316.94	75.80	9.78	66.02	26.73	1.34	25.39
유구하수	2.667	1.203	1.464	94.31	10.44	83.87	22.93	7.77	15.16	6.79	0.59	6.20
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	1.470	0.592	0.878	56.75	5.16	51.60	13.41	3.79	9.62	4.13	0.29	3.84
유구천-4	20.909	14.657	6.252	464.86	67.13	397.73	107.98	32.38	75.60	42.56	6.59	35.97
대룡천	56.317	35.363	20.954	1,196.67	177.48	1,019.19	290.61	95.02	195.59	105.84	15.76	90.08
유구천-5	48.511	27.471	21.040	1,452.14	160.09	1,292.05	328.26	86.15	242.11	117.48	12.85	104.63
마곡천	38.336	21.198	17.138	923.22	134.06	789.17	226.58	81.67	144.91	73.68	9.70	63.98
유구천-6	66.372	2.828	63.544	4,131.36	22.06	4,109.30	879.87	15.75	864.12	317.19	1.35	315.84
계실천	35.255	24.506	10.749	661.14	131.01	530.14	162.15	69.69	92.46	58.62	11.14	47.47
신영천	6.253	3.138	3.114	160.34	22.83	137.51	38.59	13.90	24.70	12.16	1.48	10.68
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	20.904	6.308	14.596	965.29	42.17	923.12	208.55	23.01	185.54	74.49	3.04	71.45
문동천	55.963	25.631	30.332	1,802.23	140.31	1,661.92	406.63	74.45	332.18	146.38	11.60	134.78
유구천-8	35.701	22.183	13.518	795.28	104.08	691.20	188.03	51.93	136.10	71.29	9.83	61.46
Endwater	18.531	3.621	14.910	970.00	37.32	932.68	208.04	22.28	185.76	72.10	1.95	70.15

부록 표-15 토지이용에 따른 오염발생부하량(BOD)

비고	BOD발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
계	455,768.6	110,812.3	164,903.9	1,430,939.7	1,367,410.5	716,829.5	2,356,385.6	4,266,571.7	664,030.8	862,360.8	332,615.7	430,787.2
Headwater	4,692.8	1,446.0	2,896.7	15,580.3	13,949.9	7,085.4	33,154.9	62,376.8	9,012.8	12,430.1	4,158.6	4,761.9
금천	10,692.7	3,294.6	6,600.1	35,499.8	31,785.0	16,144.2	75,543.7	142,126.1	20,535.8	28,322.1	9,475.4	10,850.1
덕곡천	4,185.3	1,289.6	2,583.4	13,895.3	12,441.3	6,319.2	29,569.4	55,631.1	8,038.1	11,085.9	3,708.9	4,247.0
명곡천	6,958.4	2,144.0	4,295.2	23,102.0	20,684.6	10,506.1	49,161.3	92,490.9	13,364.0	18,431.1	6,166.3	7,060.9
유구천-1	17,856.7	5,502.0	11,022.2	59,284.2	53,080.6	26,960.6	126,157.1	237,349.0	34,294.5	47,297.5	15,823.8	18,119.5
유구천-2	8,873.5	2,734.1	5,477.2	29,460.1	26,377.3	13,397.5	62,691.2	117,945.7	17,041.9	23,503.6	7,863.3	9,004.1
고현천	13,399.0	4,128.5	8,270.7	44,484.8	39,829.8	20,230.3	94,663.9	178,098.4	25,733.4	35,490.4	11,873.7	13,596.3
소하천	12,447.2	3,834.2	7,678.9	41,322.1	37,001.4	18,794.5	87,908.4	165,381.9	23,897.7	32,957.0	11,027.7	12,629.4
유구하수	11,651.0	3,589.9	7,191.7	38,681.3	34,633.6	17,591.0	82,314.0	154,863.6	22,376.2	30,860.3	10,324.6	11,822.5
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	13,277.5	3,065.4	4,095.1	41,537.7	40,387.3	21,394.2	63,877.8	113,374.3	18,093.1	23,185.4	9,341.7	12,505.0
유구천-4	9,179.8	2,023.3	2,447.4	28,480.1	28,008.8	14,917.6	41,362.3	72,477.2	11,815.9	14,908.2	6,231.7	8,555.1
대룡천	64,687.7	13,260.9	13,260.9	198,219.5	198,264.0	106,430.3	262,380.6	449,387.4	76,064.0	93,406.6	41,556.8	59,344.7
유구천-5	55,517.8	11,822.5	13,145.9	171,215.4	169,763.4	90,763.2	238,067.5	412,846.4	68,469.4	85,323.3	36,709.3	51,348.8
마곡천	73,950.7	22,189.3	43,262.2	244,037.4	220,359.5	112,436.6	505,057.5	946,247.1	137,718.3	188,907.4	64,122.3	74,476.4
유구천-6	40,390.6	8,283.7	8,294.9	123,776.2	123,791.3	66,449.5	163,937.7	280,824.3	47,520.8	58,366.1	25,956.6	37,057.9
계실천	20,604.5	4,950.1	7,127.2	64,938.4	62,501.1	32,946.4	104,763.6	187,822.8	29,472.4	38,236.5	14,953.2	19,587.9
신영천	14,451.5	2,962.5	2,962.5	44,283.1	44,293.1	23,777.0	58,617.0	100,395.2	16,993.0	20,867.5	9,284.0	13,257.9
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	15,235.7	3,123.3	3,123.3	46,686.1	46,696.6	25,067.2	61,797.8	105,843.0	17,915.1	21,999.8	9,787.8	13,977.3
문동천	37,587.1	7,208.7	7,208.7	107,389.1	105,218.3	54,847.8	138,424.1	253,732.3	42,556.1	49,364.4	22,029.5	31,214.8
유구천-8	11,881.4	2,435.7	2,435.7	36,407.7	36,415.9	19,548.5	48,192.4	82,540.7	13,971.0	17,156.3	7,632.9	10,900.1
Endwater	8,247.6	1,524.1	1,524.1	22,659.3	21,927.8	11,222.5	28,743.5	54,817.6	9,147.3	10,261.4	4,587.9	6,469.7

부록 표-16 토지이용에 따른 오염발생부하량(T-N)

비고	T-N 발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	5,974.2	1,840.8	3,687.6	19,834.4	17,758.9	9,020.1	42,207.8	79,408.7	11,473.7	15,824.1	5,294.1	6,062.2
금천	11,382.7	3,507.2	7,026.0	37,790.5	33,836.0	17,185.9	80,418.4	151,297.2	21,860.9	30,149.6	10,086.8	11,550.2
덕곡천	4,743.9	1,461.7	2,928.2	15,749.8	14,101.7	7,162.5	33,515.6	63,055.4	9,110.9	12,565.3	4,203.8	4,813.7
명곡천	8,963.4	2,761.8	5,532.7	29,758.6	26,644.6	13,533.3	63,326.4	119,140.9	17,214.6	23,741.7	7,943.0	9,095.4
유구천-1	16,534.4	5,094.6	10,206.0	54,894.3	49,150.0	24,964.2	116,815.3	219,773.6	31,755.0	43,795.2	14,652.1	16,777.8
유구천-2	8,157.3	2,513.4	5,035.2	27,082.4	24,248.4	12,316.2	57,631.5	108,426.5	15,666.5	21,606.6	7,228.7	8,277.4
고현천	10,777.0	3,320.6	6,652.2	35,779.8	32,035.8	16,271.5	76,139.7	143,247.4	20,697.8	28,545.5	9,550.2	10,935.7
소하천	7,380.1	2,273.3	4,552.9	24,500.3	21,938.5	11,143.5	52,121.8	98,056.6	14,169.2	19,540.5	6,538.4	7,488.1
유구하수	4,133.5	1,273.6	2,551.5	13,723.4	12,287.4	6,241.0	29,203.5	54,942.7	7,938.7	10,948.7	3,663.0	4,194.4
유구천-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	12,662.0	2,974.1	4,108.5	39,738.0	38,469.3	20,335.6	62,399.9	111,246.5	17,621.5	22,704.5	9,028.8	11,973.3
유구천-4	7,695.6	1,696.2	2,051.7	23,875.3	23,480.2	12,505.7	34,674.6	60,758.7	9,905.4	12,497.7	5,224.1	7,171.9
대룡천	69,402.5	14,227.4	14,227.4	212,666.6	212,714.4	114,187.4	281,504.1	482,140.9	81,607.9	100,214.5	44,585.6	63,670.0
유구천-5	43,029.4	9,441.8	11,303.2	133,392.7	131,326.4	69,980.3	192,648.6	337,129.3	55,080.5	69,386.8	29,110.5	40,061.2
마곡천	68,386.1	20,655.5	40,550.1	226,011.2	203,656.2	103,797.5	471,018.2	883,405.5	128,336.7	176,280.2	59,618.4	69,000.5
유구천-6	30,099.3	6,173.2	6,181.9	92,238.9	92,249.8	49,518.3	122,170.7	209,279.1	35,413.6	43,496.1	19,343.3	27,615.9
계실천	20,567.6	4,861.6	6,796.0	64,624.6	62,460.6	32,992.1	102,252.0	182,585.7	28,844.4	37,237.5	14,738.2	19,477.7
신영천	13,746.8	2,818.1	2,818.1	42,123.8	42,133.2	22,617.6	55,758.7	95,499.7	16,164.4	19,849.9	8,831.3	12,611.4
유구천-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방흥천	12,541.6	2,571.0	2,571.0	38,430.6	38,439.2	20,634.6	50,870.1	87,126.8	14,747.2	18,109.6	8,057.0	11,505.7
문동천	26,022.2	5,031.8	5,031.8	74,992.1	73,671.1	38,551.1	96,995.3	176,275.2	29,598.3	34,582.3	15,426.7	21,881.1
유구천-8	5,846.2	1,198.5	1,198.5	17,914.1	17,918.2	9,618.7	23,712.7	40,613.5	6,874.3	8,441.6	3,755.7	5,363.3
Endwater	7,964.9	1,505.6	1,505.6	22,411.7	21,854.4	11,313.0	28,711.7	53,440.4	8,945.2	10,243.3	4,574.4	6,469.9

부록 표-17 토지이용에 따른 오염발생부하량(T-P)

비고	발생부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	390.7	120.4	241.2	1,297.1	1,161.4	589.9	2,760.3	5,193.2	750.4	1,034.9	346.2	396.5
금천	800.9	246.8	494.3	2,658.9	2,380.7	1,209.2	5,658.2	10,645.2	1,538.1	2,121.3	709.7	812.7
덕곡천	301.3	92.8	186.0	1,000.4	895.8	455.0	2,129.0	4,005.4	578.7	798.2	267.0	305.8
명곡천	582.6	179.5	359.6	1,934.1	1,731.7	879.6	4,115.7	7,743.2	1,118.8	1,543.0	516.2	591.1
유구천-1	1,210.3	372.9	747.1	4,018.1	3,597.7	1,827.3	8,550.6	16,086.9	2,324.4	3,205.7	1,072.5	1,228.1
유구천-2	633.1	195.1	390.8	2,102.0	1,882.1	955.9	4,473.1	8,415.6	1,216.0	1,677.0	561.1	642.5
고현천	787.6	242.7	486.2	2,614.9	2,341.3	1,189.2	5,564.5	10,468.9	1,512.7	2,086.2	698.0	799.2
소하천	600.2	184.9	370.3	1,992.7	1,784.3	906.3	4,239.3	7,975.3	1,152.4	1,589.3	531.8	609.0
유구하수	430.5	132.7	265.7	1,429.3	1,279.8	650.0	3,041.6	5,722.4	826.8	1,140.3	381.5	436.9
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	884.4	206.7	282.7	2,773.0	2,688.0	1,421.8	4,327.6	7,705.1	1,223.2	1,573.5	628.1	835.3
유구천-4	617.8	136.2	164.7	1,916.6	1,884.9	1,003.9	2,783.6	4,877.5	795.2	1,003.3	419.4	575.7
대룡천	4,928.7	1,010.4	1,010.4	15,102.8	15,106.2	8,109.2	19,991.4	34,240.0	5,795.5	7,116.9	3,166.3	4,521.6
유구천-5	3,362.5	729.1	848.4	10,402.1	10,270.1	5,479.9	14,799.8	25,808.0	4,241.2	5,320.3	2,254.2	3,122.3
마곡천	4,900.7	1,477.5	2,895.2	16,189.7	14,596.8	7,441.8	33,676.2	63,142.3	9,177.6	12,601.4	4,266.1	4,942.2
유구천-6	2,389.0	490.0	490.6	7,321.1	7,322.0	3,930.3	9,696.4	16,609.8	2,810.7	3,452.2	1,535.3	2,191.9
계실천	1,607.0	382.7	542.6	5,056.4	4,877.5	2,573.9	8,073.6	14,444.0	2,274.6	2,943.3	1,158.4	1,524.5
신영천	995.5	204.1	204.1	3,050.4	3,051.1	1,637.9	4,037.8	6,915.7	1,170.6	1,437.4	639.5	913.3
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	993.5	203.7	203.7	3,044.2	3,044.9	1,634.6	4,029.6	6,901.7	1,168.2	1,434.5	638.2	911.4
문동천	2,237.5	432.6	432.6	6,446.7	6,332.7	3,313.5	8,337.4	15,155.7	2,544.7	2,972.6	1,326.1	1,880.8
유구천-8	561.6	115.1	115.1	1,721.0	1,721.4	924.1	2,278.1	3,901.7	660.4	811.0	360.8	515.2
Endwater	496.8	93.6	93.6	1,393.2	1,357.2	701.5	1,782.5	3,328.7	556.9	636.0	284.1	401.6

부록 표-18 생활계에서의 배출유량

비고	직접 이송유량	개별 삭감유량	관거 유입유량	개별 배출유량	관거 누수유량	처리장 배출유량	최종 배출유량
Headwater	0.50	0	0	21.71	0	0	21.71
금천	0.00	0	54.02	0	16.02	38.00	54.02
덕곡천	0.56	0	0	24.38	0	0	24.38
명곡천	0.60	0	0	26.10	0	0	26.10
유구천-1	2.66	0	0	115.77	0	0	115.77
유구천-2	1.89	0	0	49.17	0	0	49.17
고현천	3.64	0	0	197.22	0	0	197.22
소하천	5.15	0	0	269.72	0	0	269.72
유구하수	10.86	0	0	612.13	0	0	612.13
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0
백교천	4.65	0	0	285.42	0	0	285.42
유구천-4	0.44	0	14.20	8.83	0	14.20	23.03
대룡천	4.51	0	0	197.90	0	0	197.90
유구천-5	4.53	0	50.05	198.94	14.85	35.20	246.05
마곡천	6.39	0	0	286.33	0	0	286.33
유구천-6	4.26	0	0	204.41	0	0	204.41
계실천	2.17	0	0	95.47	0	0	95.47
신영천	1.13	0	0	56.14	0	0	56.14
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	1.74	0	0	75.98	0	0	75.98
문동천	2.66	0	68.09	114.84	5.77	62.31	180.09
유구천-8	1.85	0	0	93.71	0	0	93.71
Endwater	0.86	0	0	37.73	0	0	37.73

부록 표-19 생활계배출원에서의 BOD 직접이송비

(단위 : g/일)

비고	배출원직접이송대상량				환경기초시설 연평균생활계분뇨직접이송량				직접이송량비				배출원직접이송량			
	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리
Headwater	3,083.7	1,006.0	0	0	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	5,019.9	1,637.7	0	0
금천	0	0	0	0	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	0	1.628	0	1.628	0	0	0	0
덕곡천	2,340.1	2,230.7	0	0	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	3,809.4	3,631.4	0	0
명곡천	2,777.5	2,143.3	0	0	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	4,521.4	3,489.0	0	0
유구천-1	7,173.4	14,631.0	0	0	1,072,488.2	1,787,326.2	0	255,679.8	1.628	1.628	0	1.628	11,677.4	23,817.7	0	0
유구천-2	13,362.6	2,121.4	0	699.8	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	21,752.8	3,453.4	0	1,139.3
고현천	22,516.3	10,184.6	0	2,408.5	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	36,654.1	16,579.3	0	3,920.7
소하천	9,074.2	38,179.1	0	12,833.9	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	14,771.8	62,151.4	0	20,892
유구하수	12,236.6	81,666.7	0	22,866.7	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	19,919.9	132,945	0	37,224
유구천-3			0	0	0	0	0	0	1.628	1.628	0	1.628	0	0	0	0
백교천	5,841.4	30,964.3	0	6,701.3	714,992.1	1,191,550.8	0	170,453.2	1.628	1.628	0	1.628	9,509.2	50,406.5	0	10,908.9
유구천-4	2,143.3	1,487.2	0	1,487.2	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	3,489.0	2,420.9	0	2,420.9
대룡천	18,830.1	18,064.6	0	0	2,502,472.5	4,170,427.7	0	596,586.2	1.628	1.628	0	1.628	30,653.3	29,407.2	0	0
유구천-5	16,599.3	20,426.6	0	0	1,787,480.4	2,978,876.9	0	426,133.0	1.628	1.628	0	1.628	27,021.9	33,252.2	0	0
마곡천	25,391.1	26,878.2	0	2,252.6	4,289,952.9	7,149,304.7	0	1,022,719	1.628	1.628	0	1.628	41,333.9	43,754.8	0	3,667.0
유구천-6	12,776.0	20,102.7	0	523.5	1,429,984.3	2,383,101.6	0	340,906.4	1.628	1.628	0	1.628	20,797.9	32,724.9	0	852.2
계실천	6,123.6	11,591.1	0	175.0	714,992.1	1,191,550.8	0	170,453.2	1.628	1.628	0	1.628	9,968.5	18,869.0	0	284.8
신영천	2,230.7	6,976.5	0	371.8	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	3,631.4	11,357.0	0	605.2
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	1.628	1.628	0	1.628	0	0	0	0
방흥천	3,586.7	10,650.7	0	0	714,992.1	1,191,550.8	0	170,453.2	1.628	1.628	0	1.628	5,838.7	17,338.1	0	0
문동천	10,869.4	10,869.4	0	524.9	1,072,488.2	1,787,326.2	0	255,679.8	1.628	1.628	0	1.628	17,694.2	17,694.2	0	854.4
유구천-8	4,816.0	8,873.0	0	0	357,496.1	595,775.4	0	85,226.6	1.628	1.628	0	1.628	7,840.0	14,444.3	0	0
Endwater	3,302.4	3,761.6	0	0	714,992.1	1,191,550.8	0	170,453.2	1.628	1.628	0	1.628	5,375.9	6,123.5	0	0

부록 표-20 생활계배출원에서의 T-N 직접이송비

(단위 : g/일)

비고	배출원직접이송대상량				환경기초시설 연평균 분뇨 직접이송량				직접이송량비				배출원직접이송량			
	수거식	수세시	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리
Headwater	1,466.4	478.4	0	0	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	921.5	300.6	0	0
금천	0	0	0	0	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.0	0.6	0	0.6	0	0.0	0	0
덕곡천	1,112.8	1,060.8	0	0	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	699.3	666.6	0	0
명곡천	1,320.8	1,019.2	0	0	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	830.0	640.4	0	0
유구천-1	3,411.2	6,957.6	0	0	191,227.6	307,471.3	0	40,548.7	0.6	0.6	0	0.6	2,143.5	4,372.0	0	0
유구천-2	6,354.4	1,008.8	0	332.8	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	3,993.0	633.9	0	209.1
고현천	9,083.4	4,131.9	0	933.3	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	5,707.8	2,596.4	0	586.5
소하천	3,829.2	14,900.0	0	4,944.1	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	2,406.2	9,362.9	0	3,106.8
유구하수	4,946.8	33,014.9	0	9,244.2	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	3,108.5	20,745.9	0	5,808.8
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	2,577.7	13,153.3	0	2,790.7	127,485.1	204,980.9	0	27,032.5	0.6	0.6	0	0.6	1,619.8	8,265.3	0	1,753.6
유구천-4	1,019.2	707.2	0	707.2	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	640.4	444.4	0	444.4
대룡천	8,954.4	8,590.4	0	0	446,197.7	717,433.1	0	94,613.7	0.6	0.6	0	0.6	5,626.8	5,398.0	0	0
유구천-5	7,893.6	9,713.6	0	0	318,712.7	512,452.2	0	67,581.2	0.6	0.6	0	0.6	4,960.2	6,103.8	0	0
마곡천	12,074.4	12,781.6	0	1,071.2	764,910.4	1,229,885.3	0	162,195.0	0.6	0.6	0	0.6	7,587.3	8,031.7	0	673.1
유구천-6	6,173.2	9,813.5	0	259.0	254,970.1	409,961.8	0	54,065.0	0.6	0.6	0	0.6	3,879.1	6,166.6	0	162.8
계실천	2,912.0	5,512.0	0	83.2	127,485.1	204,980.9	0	27,032.5	0.6	0.6	0	0.6	1,829.8	3,463.6	0	52.3
신영천	1,060.8	3,317.6	0	176.8	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	666.6	2,084.7	0	111.1
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	1,705.6	5,064.8	0	0	127,485.1	204,980.9	0	27,032.5	0.6	0.6	0	0.6	1,071.8	3,182.6	0	0
문동천	5,168.8	5,168.8	0	250	191,227.6	307,471.3	0	40,548.7	0.6	0.6	0	0.6	3,248.0	3,248.0	0	156.8
유구천8	2,382.9	4,390.2	0	0	63,742.5	102,490.4	0	13,516.2	0.6	0.6	0	0.6	1,497.4	2,758.7	0	0
Endwater	1,570.4	1,788.8	0	0	127,485.1	204,980.9	0	27,032.5	0.6	0.6	0	0.6	986.8	1,124.0	0	0

부록 표-21 생활계배출원에서의 T-P직접이송비

(단위 : g/일)

비고	배출원직접이송대상량				환경기초시설 연평균생활계분뇨직접이송량				직접이송량비				배출원직접이송량			
	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리	수거식	수세식	합류식	오수처리
Headwater	163.6	53.4	0	0	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	150.8	49.2	0	0
금천	0	0	0	0	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.0	0.9	0	0.9	0.0	0.0	0	0
덕곡천	124.1	118.3	0	0	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	114.4	109.1	0	0
명곡천	147.3	113.7	0	0	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	135.8	104.8	0	0
유구천-1	380.5	776.0	0	0	31,371.9	50,595.2	0	6,745.1	0.9	0.9	0	0.9	350.8	715.6	0	0
유구천-2	708.8	112.5	0	37.1	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	653.5	103.7	0	34.2
고현천	1,037	471.5	0	107.4	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	956.1	434.8	0	99.1
소하천	434.0	1,714.6	0	570.4	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	400.2	1,581.0	0	526.0
유구하수	560.5	3,740.7	0	1,047	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	516.8	3,449.1	0	965.8
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	286.1	1,468.7	0	312.5	20,914.6	33,730.1	0	4,496.7	0.9	0.9	0	0.9	263.8	1,354.3	0	288.1
유구천-4	113.7	78.9	0	78.9	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	104.8	72.7	0	72.7
대룡천	998.8	958.2	0	0	73,201.1	118,055.5	0	15,738.5	0.9	0.9	0	0.9	920.9	883.5	0	0
유구천-5	880.4	1,083.4	0	0	52,286.5	84,325.4	0	11,241.8	0.9	0.9	0	0.9	811.8	999.0	0	0
마곡천	1,347	1,425.6	0	119.5	125,487.7	202,380.9	0	26,980.3	0.9	0.9	0	0.9	1,242	1,314.5	0	110.2
유구천-6	682.8	1,079.7	0	28.3	41,829.2	67,460.3	0	8,993.4	0.9	0.9	0	0.9	629.6	995.6	0	26.1
계실천	324.8	614.8	0	9.3	20,914.6	33,730.1	0	4,496.7	0.9	0.9	0	0.9	299.5	566.9	0	8.6
신영천	118.3	370.0	0	19.7	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	109.1	341.2	0	18.2
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	190.2	564.9	0	0	20,914.6	33,730.1	0	4,496.7	0.9	0.9	0	0.9	175.4	520.9	0	0
문동천	576.5	576.5	0	27.8	31,371.9	50,595.2	0	6,745.1	0.9	0.9	0	0.9	531.6	531.6	0	25.7
유구천-8	260.4	479.7	0	0	10,457.3	16,865.1	0	2,248.4	0.9	0.9	0	0.9	240.1	442.3	0	0
Endwater	175.2	199.5	0	0	20,914.6	33,730.1	0	4,496.7	0.9	0.9	0	0.9	161.5	184.0	0	0

부록 표-22 생활계 배출원 BOD개별삭감량

(단위 : g/일)

비고	삭감대상량					오수처리시설 부하비		삭감량					배출원 개별 삭감량
	수거식	합류식	분류식	미처리구역		BOD		수거식	합류식	분류식	미처리구역		
				오수	단독정화	방류	삭감				오수	단독정화	생활계
Headwater	3,083.7	0	0	0	1,006.0	0	-0.628	0	0	0	0	251.5	251.5
금천	0.0	0	0	0	0.0	0	-0.628	0	0	0	0	0	0
덕곡천	2,340.1	0	0	0	2,230.7	0	-0.628	0	0	0	0	557.7	557.7
명곡천	2,777.5	0	0	0	2,143.3	0	-0.628	0	0	0	0	535.8	535.8
유구천-1	7,173.4	0	0	0	14,631.0	0	-0.628	0	0	0	0	3,657.8	3,657.8
유구천-2	13,362.6	0	0	1,555.2	1,421.6	0.024	-0.652	0	0	0	-1,013.6	355.4	-658.2
고현천	22,516.3	0	0	5,352.1	7,776.1	0.026	-0.654	0	0	0	-3,500.2	1,944.0	-1,556.2
소하천	9,074.2	0	0	28,519.7	25,345.3	0.026	-0.653	0	0	0	-18,636.6	6,336.3	-12,300.3
유구하수	12,236.6	0	0	50,814.9	58,800.1	0.029	-0.657	0	0	0	-33,396.8	14,700.0	-18,696.7
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	5,841.4	0	0	14,891.7	24,263.1	0.035	-0.639	0	0	0	-9,871.6	6,065.8	-3,805.8
유구천-4	2,143.3	0	0	3,304.8	0.0	0.011	-0.639	0	0	0	-2,111.2		-2,111.2
대룡천	18,830.1	0	0	0.0	18,064.6		-0.639	0	0	0	0.0	4,516.2	4,516.2
유구천-5	16,599.3	0	0	0.0	20,426.6		-0.639	0	0	0	0.0	5,106.6	5,106.6
마곡천	25,391.1	0	0	5,005.8	24,625.6	0.148	-0.639	0	0	0	-3,264.2	6,156.4	2,892.2
유구천-6	12,776.0	0	0	1,163.3	19,579.2	0.031	-0.639	0	0	0	-766.9	4,894.8	4,127.9
계실천	6,123.6	0	0	388.8	11,416.1	0.025	-0.639	0	0	0	-253.8	2,854.0	2,600.2
신영천	2,230.7	0	0	826.2	6,604.7	0.051	-0.679	0	0	0	-560.9	1,651.2	1,090.3
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	3,586.7	0	0	0.0	10,650.7	0	-0.628	0	0	0	0.0	2,662.7	2,662.7
문동천	10,869.4	0	0	1,166.4	10,344.5	0.047	-0.628	0	0	0	-787.5	2,586.1	1,798.6
유구천-7	4,816.0	0	0	0	8,873.0	0	-0.628	0	0	0	0	2,218.3	2,218.3
Endwater	3,302.4	0	0	0	3,761.6	0	-0.628	0	0	0	0	940.4	940.4

부록 표-23 생활계 배출원 T-N, T-P개별삭감대상량

(단위 : g/일)

비 고	T-N삭감대상량					T-P삭감대상량				
	수거식	합류식	분류식	미처리구역		수거식	합류식	분류식	미처리구역	
				오수	단독정화				오수	단독정화
Headwater	1,466.4	0	0	0	478.4	163.6	0	0	0	53.4
금천	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
덕곡천	1,112.8	0	0	0	1,060.8	124.1	0	0	0	118.3
명곡천	1,320.8	0	0	0	1,019.2	147.3	0	0	0	113.7
유구천-1	3,411.2	0	0	0	6,957.6	380.5	0	0	0	776.0
유구천-2	6,354.4	0	0	416.0	676.0	708.8	0	0	46.4	75.4
고현천	9,083.4	0	0	1,166.6	3,198.5	1,036.9	0	0	134.3	364.1
소하천	3,829.2	0	0	6,180.2	9,955.9	434.0	0	0	713.1	1,144.2
유구하수	4,946.8	0	0	11,555.2	23,770.8	560.5	0	0	1,309.2	2,693.3
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	2,577.7	0	0	3,488.4	10,362.6	286.1	0	0	390.6	1,156.3
유구천-4	1,019.2	0	0	884.0	0	113.7	0	0	98.6	0
대룡천	8,954.4	0	0	0	8,590.4	998.8	0	0	0	958.2
유구천-5	7,893.6	0	0	0	9,713.6	880.4	0	0	0	1,083.4
마곡천	12,074.4	0	0	1,339.0	11,710.4	1,346.8	0	0	149.4	1,306.2
유구천-6	6,173.2	0	0	323.8	9,554.5	682.8	0	0	35.4	1,051.4
계실천	2,912.0	0	0	104.0	5,428.8	324.8	0	0	11.6	605.5
신영천	1,060.8	0	0	221.0	3,140.8	118.3	0	0	24.7	350.3
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	1,705.6	0	0	0	5,064.8	190.2	0	0		564.9
문동천	5,168.8	0	0	312.0	4,919.2	576.5	0	0	34.8	548.7
유구천8	2,382.9	0	0	0	4,390.2	260.4	0	0	0	479.7
Endwater	1,570.4	0	0	0	1,788.8	175.2	0	0	0	199.5

부록 표-24 생활계에서의 BOD배출부하량

(단위 : g/일)

비 고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	6,657.6	251.5		2,179.1			2,179.1
금천			22,113.0	0.0	3,411.7	472.5	3,884.2
덕곡천	7,440.8	557.7		2,158.9			2,158.9
명곡천	8,010.4	535.8		2,388.7			2,388.7
유구천-1	35,495.1	3,657.8		9,301.3			9,301.3
유구천-2	25,206.2	-658.2		9,860.8			9,860.8
고현천	53,233.4	-1,556.2		20,991.4			20,991.4
소하천	76,923.2	-12,300.3		40,384.5			40,384.5
유구하수	152,864.3	-18,696.7		74,506.6			74,506.6
유구천-3							
백교천	59,915.7	-3,805.8		25,680.7			25,680.7
유구천-4	5,909.9	-2,111.2	12,344.4	4,268.9		260.8	4,529.7
대룡천	60,060.5	4,516.2	0.0	17,411.6			17,411.6
유구천-5	60,274.1	5,106.6	18,389.1	16,899.1	2,937.1	371.4	20,176.5
마곡천	85,088.7	2,892.2		28,173.1			28,173.1
유구천-6	53,522.8	4,127.9		15,412.9			15,412.9
계실천	28,837.6	2,600.2		7,928.2			7,928.2
신영천	14,988.4	1,090.3		4,381.9			4,381.9
유구천-7							
방흥천	23,176.9	2,662.7		5,799.1			5,799.1
문동천	35,388.3	1,798.6	27,945.0	11,121.4	1,328.1	356.0	12,796.7
유구천-8	22,284.3	2,218.3		5,917.6			5,917.6
Endwater	11,499.4	940.4		3,258.0			3,258.0

부록 표-25 생활계에서의 T-N배출부하량

(단위 : g/일)

비 고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	1,222.1	0.0	0.0	1,208.9	0.0	0.0	1,208.9
금천	0.0	0.0	5915.0	0.0	1,104.3	292.9	1,397.2
덕곡천	1,365.8	0.0	0.0	1,351.2	0.0	0.0	1,351.2
명곡천	1,470.4	0.0	0.0	1,454.6	0.0	0.0	1,454.6
유구천-1	6,515.5	0.0	0.0	6,445.5	0.0	0.0	6,445.5
유구천-2	4,626.9	0.0	0.0	4,577.1	0.0	0.0	4,577.1
고현천	8,304.2	0.0	0.0	8,214.9	0.0	0.0	8,214.9
소하천	11,769.1	0.0	0.0	11,642.5	0.0	0.0	11,642.5
유구하수	23,854.4	0.0	0.0	23,597.9	0.0	0.0	23,597.9
유구천-3							
백교천	9,885.1	0.0	0.0	9,778.8	0.0	0.0	9,778.8
유구천-4	1,084.8	0.0	3302.0	1,073.2	0.0	157.6	1,230.8
대룡천	11,024.8	0.0	0.0	10,906.2	0.0	0.0	10,906.2
유구천-5	11,064.0	0.0	4993.7	10,945.0	958.1	967.8	12,784.8
마곡천	15,619.0	0.0	0.0	15,451.0	0.0	0.0	15,451.0
유구천-6	10,045.7	0.0	0.0	9,937.7	0.0	0.0	9,937.7
계실천	5,293.5	0.0	0.0	5,236.5	0.0	0.0	5,236.5
신영천	2,751.3	0.0	0.0	2,721.7	0.0	0.0	2,721.7
유구천-7							
방흥천	4,254.4	0.0	0.0	4,208.6	0.0	0.0	4,208.6
문동천	6,495.9	0.0	7475.0	6,426.1	378.6	1,131.0	7,843.9
유구천-8	4,256.1	0.0	0.0	4,210.3	0.0	0.0	4,210.3
Endwater	2,110.8	0.0	0.0	2,088.2	0.0	0.0	2,088.2

부록 표-26 생활계에서의 T-P배출부하량

(단위 : g/일)

비 고	직접이송량	개별삭감량	관거유입량	개별배출량	관거누수량	처리장배출량	최종배출량
Headwater	200.0	0.0	0.0	71.1	0.0	0.0	71.1
금천	0.0	0.0	659.8	0.0	133.9	83.6	217.5
덕곡천	223.5	0.0	0.0	79.5	0.0	0.0	79.5
명곡천	240.7	0.0	0.0	85.6	0.0	0.0	85.6
유구천-1	1,066.4	0.0	0.0	379.3	0.0	0.0	379.3
유구천-2	757.3	0.0	0.0	269.3	0.0	0.0	269.3
고현천	1,390.8	0.0	0.0	494.7	0.0	0.0	494.7
소하천	1,981.2	0.0	0.0	704.6	0.0	0.0	704.6
유구하수	3,965.9	0.0	0.0	1,410.5	0.0	0.0	1,410.5
유구천-3							
백교천	1,618.1	0.0	0.0	575.5	0.0	0.0	575.5
유구천-4	177.6	0.0	368.3	63.1	0.0	45.2	108.3
대룡천	1,804.4	0.0	0.0	641.8	0.0	0.0	641.8
유구천-5	1,810.8	0.0	552.6	644.0	111.3	84.6	832.5
마곡천	2,556.3	0.0	0.0	909.2	0.0	0.0	909.2
유구천-6	1,625.2	0.0	0.0	578.0	0.0	0.0	578.0
계실천	866.4	0.0	0.0	308.1	0.0	0.0	308.1
신영천	450.3	0.0	0.0	160.2	0.0	0.0	160.2
유구천-7							
방흥천	696.3	0.0	0.0	247.6	0.0	0.0	247.6
문동천	1,063.2	0.0	833.8	378.1	43.8	132.1	546.0
유구천-8	682.4	0.0	0.0	242.7	0.0	0.0	242.7
Endwater	345.5	0.0	0.0	122.9	0.0	0.0	122.9

부록 표-27 배출원배출유량(방류량포함)

(단위 : g/일)

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71
금천	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02	54.02
덕곡천	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38	24.38
명곡천	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10	26.10
유구천-1	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77	115.77
유구천-2	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17
고현천	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22	197.22
소하천	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72	269.72
유구하수	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13	612.13
유구천-3												
백교천	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42	285.42
유구천-4	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03	23.03
대룡천	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90	197.90
유구천-5	213.79	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99	248.99
마곡천	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33	286.33
유구천-6	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41	204.41
계실천	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47	95.47
신영천	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14	56.14
유구천-7												
방흥천	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98	75.98
문동천	148.91	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92	182.92
유구천-7	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71	93.71
Endwater	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71	21.71
Reach 1	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26	220.26
Reach 2	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17	49.17
Reach 3	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1	1,079.1
Reach 4	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45	308.45
Reach 5	411.68	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88	446.88
Reach 6	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75	490.75
Reach 7	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61	151.61
Reach 8	318.60	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61	352.61
Endwater	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73	37.73

부록 표-28 배출원BOD배출부하량(방류량포함)

(단위 : g/일)

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1
금천	3,884.2	3,884.2	3,884.2	3,444.1	3,884.2	3,884.2	4,092.1	3,884.2	4,116.4	3,884.2	3,884.2	3,884.2
덕곡천	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9	2,158.9
명곡천	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7	2,388.7
유구천-1	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3	9,301.3
유구천-2	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8
고현천	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4	20,991.4
소하천	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5	40,384.5
유구하수	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6	74,506.6
유구천-3												
백교천	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7	25,680.7
유구천-4	4,340.2	4,340.2	4,340.2	4,340.2	4,619.2	4,619.2	4,619.2	4,619.2	4,629.7	4,629.7	4,629.7	4,629.7
대룡천	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6	17,411.6
유구천-5	19,836.1	20,207.5	20,207.5	20,207.5	20,207.5	20,207.5	20,346.5	20,207.5	20,207.5	20,068.4	20,207.5	20,207.5
마곡천	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1	28,173.1
유구천-6	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9	15,412.9
계실천	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2	7,928.2
신영천	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9	4,381.9
유구천-7												
방흥천	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1	5,799.1
문동천	12,581.1	12,687.3	12,687.3	12,687.3	12,687.3	12,704.9	12,687.3	12,687.3	13,041.9	13,024.3	13,041.9	13,041.9
유구천-7	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6	5,917.6
Endwater	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1	2,179.1
Reach 1	17,733.1	17,733.1	17,733.1	17,293.1	17,733.1	17,733.1	17,941.0	17,733.1	17,965.4	17,733.1	17,733.1	17,733.1
Reach 2	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8	9,860.8
Reach 3	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4	135,882.4
Reach 4	30,020.9	30,020.9	30,020.9	30,020.9	30,299.9	30,299.9	30,299.9	30,299.9	30,310.4	30,310.4	30,310.4	30,310.4
Reach 5	37,247.7	37,619.0	37,619.0	37,619.0	37,619.0	37,619.0	37,758.1	37,619.0	37,619.0	37,480.0	37,619.0	37,619.0
Reach 6	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1	43,586.1
Reach 7	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1	12,310.1
Reach 8	24,297.8	24,404.0	24,404.0	24,404.0	24,404.0	24,421.5	24,404.0	24,404.0	24,758.5	24,741.0	24,758.5	24,758.5
Endwater	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0	3,258.0

부록 표-29 생활계에서의 T-N 배출원배출부하량(방류량포함)

(단위 : g/일)

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9
금천	1,413.0	1,448.7	1,430.8	1,142.8	1,395.1	1,430.2	1,513.4	1,341.6	1,412.3	1,395.1	1,430.2	1,413.0
덕곡천	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2	1,351.2
명곡천	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6	1,454.6
유구천-1	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5	6,445.5
유구천-2	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1
고현천	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9	8,214.9
소하천	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5	11,642.5
유구하수	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9	23,597.9
유구천-3												
백교천	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8	9,778.8
유구천-4	1,158.5	1,161.2	1,161.2	1,150.2	1,294.8	1,302.0	1,302.8	1,254.8	1,245.6	1,240.2	1,251.7	1,246.2
대룡천	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2	10,906.2
유구천-5	11,917.9	12,992.4	12,992.4	12,823.5	12,829.0	12,865.7	13,708.0	12,624.8	12,865.7	12,020.8	12,908.0	12,869.8
마곡천	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0	15,451.0
유구천-6	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7	9,937.7
계실천	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5	5,236.5
신영천	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7	2,721.7
유구천-7												
방흥천	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6	4,208.6
문동천	7,155.1	8,305.7	8,305.7	8,104.7	8,111.2	8,130.7	8,159.8	7,868.0	7,488.5	7,491.6	7,514.1	7,491.0
유구천-8	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3	4,210.3
Endwater	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9	1,208.9
Reach 1	10,664.2	10,699.9	10,682.0	10,394.0	10,646.3	10,681.4	10,764.6	10,592.8	10,663.5	10,646.3	10,681.4	10,664.2
Reach 2	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1	4,577.1
Reach 3	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2	43,455.2
Reach 4	10,937.3	10,940.0	10,940.0	10,929.0	11,073.5	11,080.7	11,081.5	11,033.5	11,024.3	11,019.0	11,030.5	11,024.9
Reach 5	22,824.1	23,898.6	23,898.6	23,729.8	23,735.2	23,772.0	24,614.2	23,531.0	23,772.0	22,927.0	23,814.2	23,776.1
Reach 6	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7	25,388.7
Reach 7	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2	7,958.2
Reach 8	15,574.1	16,724.7	16,724.7	16,523.7	16,530.2	16,549.7	16,578.8	16,287.0	15,907.5	15,910.5	15,933.0	15,910.0
Endwater	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2	2,088.2

부록 표-30 생활계에서의 T-P배출원배출부하량(방류량포함)

(단위 : g/일)

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1
금천	220.6	227.3	223.9	172.7	217.3	223.8	259.2	207.3	196.1	217.3	223.8	220.6
덕곡천	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5	79.5
명곡천	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6	85.6
유구천-1	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3	379.3
유구천-2	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3
고현천	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7	494.7
소하천	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6	704.6
유구하수	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5	1,410.5
유구천-3												
백교천	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5	575.5
유구천-4	92.7	93.4	93.4	90.7	131.9	133.9	134.1	121.1	102.1	101.2	103.2	102.2
대룡천	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8	641.8
유구천-5	756.9	849.2	849.2	836.7	837.1	839.8	819.3	821.8	839.8	857.3	842.9	840.1
마곡천	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2	909.2
유구천-6	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0	578.0
계실천	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1	308.1
신영천	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2	160.2
유구천-7												
방흥천	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6	247.6
문동천	465.8	566.5	566.5	552.7	553.1	525.4	556.5	536.4	549.4	576.8	552.6	549.7
유구천-8	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7	242.7
Endwater	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9

비 고	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1	71.1
Reach 1	765.0	771.6	768.3	717.1	761.7	768.2	803.6	751.7	740.5	761.7	768.2	765.0
Reach 2	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3	269.3
Reach 3	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8	2,609.8
Reach 4	668.2	668.9	668.9	666.2	707.4	709.4	709.6	696.6	677.6	676.7	678.7	677.7
Reach 5	1,398.7	1,491.0	1,491.0	1,478.4	1,478.8	1,481.6	1,461.1	1,463.6	1,481.6	1,499.0	1,484.7	1,481.9
Reach 6	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2	1,487.2
Reach 7	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3	468.3
Reach 8	956.2	1,056.9	1,056.9	1,043.0	1,043.5	1,015.8	1,046.8	1,026.8	1,039.8	1,067.2	1,043.0	1,040.1
Endwater	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9	122.9

부록 표-31 환경기초시설에서의 유입유량 및 유입부하량

(단위 : g/일)

환경기초시설명	소재지	Reach	생활계 관거유입유량	생활계 관거유입BOD	생활계 관거유입TN	생활계 관거유입TP
우성지구	우성면 단지리	Reach 8	34.0	13851.0	3705.0	413.3
철목지구	우성면 상서리	Reach 8	34.1	14094.0	3770.0	420.5
작은골지구	유구읍 만천리	Reach 4	14.2	12344.4	3302.0	368.3
검단지구	유구읍 문금리	Reach 1	54.0	22113.0	5915.0	659.8
원골지구	신풍면 동원리	Reach 5	50.0	18389.1	4993.7	552.6

부록 표-32 축산계배출원에서의 직접이송부하량과 개별삭감부하량

(유량 : m^3/일, 수질항목 : g/일)

비 고	직접이송부하량				개별삭감부하량			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
Headwater	0.625	26,224.71	6,334.69	319.23	0.013	33,063.75	5,990.46	3,906.60
금천	6.601	121,357.76	26,649.24	2,586.25	0.084	32,147.32	14,998.70	12,156.62
덕곡천	6.767	124,410.78	27,319.66	2,651.32	0.087	21,938.13	13,308.54	12,143.74
명곡천	0	0	0	0	0.013	43,174.39	8,122.55	3,189.37
유구천-1	5.109	110,626.50	24,945.47	2,085.97	0.508	2,088,350.72	405,457.41	172,046.49
유구천-2	12.099	212,928.95	40,114.41	5,116.87	0.061	69,342.66	22,401.08	19,690.45
고현천	2.605	109,269.60	26,394.53	1,330.14	0.052	97,074.46	18,959.01	13,285.60
소하천	1.787	40,700.48	9,244.68	739.56	0.093	272,597.92	54,480.43	24,544.49
유구하수	0	0	0	0	0.030	85,919.52	17,489.63	6,285.14
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	0	0	0	0	0.015	51,682.10	10,221.25	3,822.36
유구천-4	22.431	394,753.57	74,368.97	9,486.28	0.068	51,591.20	29,210.46	32,856.77
유구천-5	0	0	0	0	0.404	1,326,054.80	254,892.17	109,356.40
마곡천	6.601	131,893.30	26,288.43	2,848.18	0.270	598,314.00	132,930.38	59,663.01
유구천-6	0	0	0	0	0.069	314,573.96	60,741.70	23,975.21
계실천	0	0	0	0	0.148	548,238.56	115,353.48	50,414.66
신영천	0	0	0	0	0.051	148,355.87	30,546.99	11,375.15
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	1.719	72,117.94	17,420.39	877.89	0.183	813,741.84	146,494.68	68,335.11
문동천	1.875	78,674.12	19,004.06	957.70	0.367	1,576,178.10	303,563.47	135,653.10
유구천-8	0.844	35,403.35	8,551.83	430.97	0.150	703,115.60	141,345.96	66,561.09
Endwater	0	0	0	0	0.150	891,542.86	163,102.55	67,180.99

부록 표-33 축산계배출원에서의 BOD배출원배출부하량

(단위 g/일)

비 고	배출원 배출량 BOD											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,163.6	334.1	704.7	3,945.0	3,528.5	1,774.8	8,434.7	15,899.9	2,267.2	3,140.2	1,027.1	1,181.2
금천	2,185.5	473.0	1,238.1	7,927.9	7,068.0	3,447.4	17,197.5	32,610.3	4,464.0	6,266.4	1,903.7	2,221.9
덕곡천	2,213.2	546.3	1,291.1	7,802.7	6,965.7	3,441.5	16,825.2	31,827.2	4,431.0	6,185.4	1,939.0	2,248.7
명곡천	1,384.3	426.5	854.4	4,595.8	4,114.9	2,090.0	9,779.8	18,399.5	2,658.5	3,666.6	1,226.7	1,404.6
유구천-1	46,270.3	14,144.6	28,498.6	153,993.6	137,862.5	69,943.0	327,882.1	617,012.6	89,013.3	122,824.9	40,984.3	46,953.8
유구천-2	3,136.4	494.1	1,674.7	11,996.7	10,669.9	5,083.5	26,299.2	50,080.4	6,652.1	9,433.1	2,701.7	3,192.6
고현천	3,938.1	1,156.7	2,399.5	13,264.5	11,867.9	5,987.6	28,319.3	53,351.4	7,638.7	10,566.0	3,480.4	3,997.3
소하천	6,639.7	1,975.5	4,057.6	22,276.3	19,936.5	10,077.0	47,504.2	89,458.4	12,840.5	17,746.4	5,871.0	6,738.4
유구하수	2,754.8	848.8	1,700.4	9,145.8	8,188.8	4,159.2	19,462.4	36,616.1	5,290.7	7,296.7	2,441.2	2,795.3
유구천-3												
백교천	2,202.7	510.6	687.8	6,896.1	6,698.2	3,546.5	10,658.3	18,937.5	3,016.7	3,870.9	1,554.7	2,076.5
유구천-4	8,255.1	1,491.5	1,892.3	26,495.9	26,050.5	13,678.0	38,671.0	68,077.8	10,746.5	13,669.0	5,468.8	7,664.7
대룡천	43,153.4	9,466.4	9,466.4	130,623.1	130,652.3	70,496.8	172,651.7	295,150.1	50,605.4	61,965.7	28,001.5	39,653.5
유구천-5	63,148.0	20,872.0	23,058.4	176,621.6	174,196.9	97,096.8	249,747.2	429,723.8	77,928.0	95,684.6	45,528.7	59,368.2
마곡천	53,150.6	39,797.6	45,067.9	96,747.4	90,826.0	63,106.8	162,536.5	274,359.3	69,189.0	82,128.7	50,509.2	53,239.8
유구천-6	14,125.3	2,932.3	2,934.4	43,191.9	43,199.2	23,210.2	57,176.1	97,903.2	16,606.5	20,384.5	9,092.2	12,963.0
계실천	14,970.2	4,564.2	6,543.2	45,341.0	43,122.2	23,085.3	76,771.5	138,367.5	22,185.3	28,862.4	11,553.1	14,443.5
신영천	5,939.1	1,278.7	1,278.7	18,039.8	18,043.8	9,721.8	23,854.1	40,800.8	6,970.0	8,541.6	3,842.9	5,454.9
유구천-7												
방흥천	39,104.2	7,994.2	7,994.2	119,882.4	119,909.4	64,355.8	158,695.8	271,823.1	45,986.1	56,477.3	25,111.4	35,872.0
문동천	80,012.8	20,180.2	20,180.2	218,756.8	214,787.1	115,038.8	280,838.4	507,273.3	90,043.5	103,931.1	49,634.4	67,909.7
유구천-8	28,727.4	7,103.1	7,103.1	84,875.8	84,894.5	46,279.6	111,854.7	190,488.6	33,511.0	40,803.3	19,001.1	26,480.7
Endwater	48,764.7	10,224.1	9,783.3	117,969.2	110,721.7	54,862.4	143,991.9	300,860.9	51,236.5	52,421.9	24,959.2	34,070.5

비 고	배출원 배출량 BOD											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,163.6	334.1	704.7	3,945.0	3,528.5	1,774.8	8,434.7	15,899.9	2,267.2	3,140.2	1,027.1	1,181.2
Reach 1	52,053.3	15,590.5	31,882.4	174,320.0	156,011.0	78,922.0	371,684.5	699,849.7	100,566.9	138,943.3	46,053.7	52,829.1
Reach 2	3,136.4	494.1	1,674.7	11,996.7	10,669.9	5,083.5	26,299.2	50,080.4	6,652.1	9,433.1	2,701.7	3,192.6
Reach 3	13,332.6	3,981.1	8,157.4	44,686.7	39,993.2	20,223.8	95,285.9	179,425.9	25,769.8	35,609.0	11,792.6	13,531.0
Reach 4	10,457.8	2,002.1	2,580.1	33,392.0	32,748.7	17,224.4	49,329.3	87,015.3	13,763.2	17,539.9	7,023.6	9,741.2
Reach 5	106,301.4	30,338.4	32,524.7	307,244.7	304,849.2	167,593.6	422,398.9	724,874.0	128,533.4	157,650.3	73,530.3	99,021.7
Reach 6	67,275.9	42,729.8	48,002.2	139,939.3	134,025.2	86,316.9	219,712.7	372,262.6	85,795.5	102,513.2	59,601.4	66,202.7
Reach 7	20,909.3	5,843.0	7,821.9	63,380.8	61,166.0	32,807.1	100,625.6	179,168.3	29,155.2	37,404.0	15,396.1	19,898.3
Reach 8	147,844.4	35,277.4	35,277.4	423,515.0	419,590.9	225,674.2	551,388.9	969,585.0	169,540.6	201,211.8	93,747.0	130,262.4
Endwater	48,764.7	10,224.1	9,783.3	117,969.2	110,721.7	54,862.4	143,991.9	300,860.9	51,236.5	52,421.9	24,959.2	34,070.5

부록 표-34 축산계배출원에서의 T-N배출원배출부하량

(단위 g/일)

비 고	배출원 배출량 T-N											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	588.8	181.4	363.5	1,955.0	1,750.4	889.1	4,160.2	7,826.8	1,130.9	1,559.7	521.8	597.5
금천	1,340.6	264.2	745.1	4,950.1	4,409.6	2,133.8	10,776.6	20,464.4	2,772.8	3,905.7	1,163.5	1,363.5
덕곡천	891.7	-59.6	365.5	4,081.4	3,603.8	1,592.6	9,230.3	17,791.5	2,157.3	3,158.5	735.2	911.9
명곡천	829.5	255.6	512.0	2,753.9	2,465.8	1,252.4	5,860.4	11,025.6	1,593.1	2,197.1	735.1	841.7
유구천-1	26,342.5	7,889.7	16,134.6	88,218.3	78,952.7	39,940.0	188,099.1	354,174.3	50,893.9	70,315.2	23,306.3	26,735.1
유구천-2	1,961.1	604.2	1,210.5	6,510.8	5,829.5	2,960.9	13,855.0	26,066.4	3,766.3	5,194.4	1,737.8	1,989.9
고현천	1,665.7	396.2	963.4	5,922.7	5,285.2	2,601.2	12,794.3	24,220.0	3,354.8	4,691.0	1,456.9	1,692.7
소하천	3,974.2	1,224.2	2,451.8	13,193.6	11,814.0	6,000.8	28,068.0	52,804.2	7,630.2	10,522.7	3,521.0	4,032.4
유구하수	1,786.1	550.3	1,102.5	5,929.8	5,309.3	2,696.7	12,618.7	23,740.6	3,430.3	4,730.9	1,582.8	1,812.4
유구천-3												
백교천	1,385.9	321.7	434.6	4,340.2	4,214.1	2,230.8	6,719.6	11,943.7	1,901.4	2,440.9	979.3	1,307.0
유구천-4	831.5	-1,522.4	-1,382.9	7,179.7	7,024.7	2,718.7	11,416.9	21,651.1	1,698.5	2,715.6	-138.2	626.0
대룡천	29,124.5	7,790.4	7,790.4	84,519.2	84,537.7	46,441.1	111,136.1	188,714.6	33,843.8	41,038.3	19,528.7	26,907.9
유구천-5	35,108.6	9,330.4	10,632.3	104,247.2	102,803.9	55,814.4	148,544.7	257,911.8	44,043.2	54,820.4	24,345.1	32,795.1
마곡천	20,824.6	12,091.8	15,461.2	49,205.8	45,420.2	27,348.8	91,510.8	163,714.3	31,121.7	39,460.4	19,047.8	20,861.3
유구천-6	8,834.6	1,933.8	1,935.1	26,755.0	26,759.5	14,435.6	35,377.2	60,487.3	10,364.5	12,693.8	5,731.6	8,118.0
계실천	14,700.9	7,192.1	8,631.5	36,635.3	35,021.4	20,554.7	59,421.3	104,004.9	19,935.5	24,771.8	12,242.5	14,324.0
신영천	4,040.2	937.1	937.1	12,097.7	12,100.4	6,559.0	15,969.2	27,253.4	4,726.7	5,773.1	2,644.5	3,717.8
유구천-7												
방흥천	21,980.3	4,505.9	4,505.9	67,353.2	67,368.3	36,164.1	89,154.6	152,697.8	25,845.8	31,738.7	14,120.6	20,164.8
문동천	44,061.0	8,496.5	8,496.5	126,609.2	124,268.6	64,944.5	163,569.9	298,121.2	50,038.5	58,323.0	26,020.5	36,894.8
유구천-8	20,544.6	6,929.8	6,929.8	55,895.9	55,907.7	31,595.6	72,881.9	122,390.2	23,556.4	28,147.7	14,420.9	19,130.1
Endwater	33,533.2	11,951.1	9,100.9	70,352.8	65,957.7	33,965.0	85,965.5	176,020.1	32,463.7	32,086.0	17,523.1	21,608.1

비 고	배출원 배출량 T-N											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	588.8	181.4	363.5	1,955.0	1,750.4	889.1	4,160.2	7,826.8	1,130.9	1,559.7	521.8	597.5
Reach 1	29,404.3	8,349.9	17,757.2	100,003.8	89,431.8	44,918.9	213,966.3	403,455.9	57,417.1	79,576.5	25,940.1	29,852.3
Reach 2	1,961.1	604.2	1,210.5	6,510.8	5,829.5	2,960.9	13,855.0	26,066.4	3,766.3	5,194.4	1,737.8	1,989.9
Reach 3	7,426.0	2,170.7	4,517.7	25,046.1	22,408.6	11,298.8	53,481.0	100,764.8	14,415.3	19,944.6	6,560.6	7,537.5
Reach 4	2,217.4	-1,200.7	-948.4	11,519.8	11,238.7	4,949.5	18,136.5	33,594.8	3,599.9	5,156.5	841.1	1,932.9
Reach 5	64,233.0	17,120.8	18,422.7	188,766.4	187,341.6	102,255.5	259,680.8	446,626.4	77,887.0	95,858.7	43,873.9	59,703.0
Reach 6	29,659.2	14,025.6	17,396.4	75,960.8	72,179.7	41,784.5	126,888.1	224,201.6	41,486.1	52,154.2	24,779.4	28,979.2
Reach 7	18,741.1	8,129.2	9,568.5	48,733.0	47,121.8	27,113.7	75,390.6	131,258.3	24,662.1	30,545.0	14,886.9	18,041.8
Reach 8	86,585.9	19,932.2	19,932.2	249,858.2	247,544.5	132,704.2	325,606.4	573,209.1	99,440.7	118,209.4	54,562.0	76,189.6
Endwater	33,533.2	11,951.1	9,100.9	70,352.8	65,957.7	33,965.0	85,965.5	176,020.1	32,463.7	32,086.0	17,523.1	21,608.1

부록 표-35 축산계배출원에서의 T-P배출원배출부하량

(단위 g/일)

비 고	배출원 배출량 T-P											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	86.5	26.7	53.4	287.3	257.2	130.6	611.3	1,150.0	166.2	229.2	76.7	87.8
금천	106.2	-75.0	6.0	713.8	622.8	239.7	1,694.6	3,325.5	347.3	538.0	76.4	110.1
덕곡천	-91.1	-269.9	-190.0	508.5	418.7	40.7	1,476.4	3,085.7	146.8	335.0	-120.5	-87.3
명곡천	83.9	25.8	51.8	278.4	249.3	126.6	592.4	1,114.5	161.0	222.1	74.3	85.1
유구천-1	2,849.9	713.9	1,668.3	10,012.3	8,939.8	4,423.9	21,573.9	40,797.8	5,691.9	7,940.0	2,498.5	2,895.4
유구천-2	385.1	118.7	237.7	1,278.5	1,144.7	581.4	2,720.7	5,118.6	739.6	1,020.0	341.3	390.8
고현천	158.4	-35.9	50.9	809.8	712.3	301.6	1,861.3	3,609.7	416.9	621.3	126.4	162.5
소하천	476.0	146.6	293.6	1,580.2	1,414.9	718.7	3,361.6	6,324.2	913.8	1,260.3	421.7	482.9
유구하수	165.2	50.9	102.0	548.6	491.2	249.5	1,167.4	2,196.4	317.4	437.7	146.4	167.7
유구천-3												
백교천	133.8	31.0	41.6	418.8	406.9	215.5	646.0	1,147.2	182.9	234.5	94.3	126.1
유구천-4	-757.0	-1,400.8	-1,362.6	979.3	936.9	-240.8	2,138.1	4,937.2	-519.8	-241.7	-1,022.2	-813.2
대룡천	3,274.7	671.3	671.3	10,034.5	10,036.7	5,387.8	13,282.5	22,749.3	3,850.6	4,728.5	2,103.7	3,004.2
유구천-5	3,818.6	906.7	1,049.7	11,621.9	11,463.3	6,158.3	16,588.4	28,894.6	4,817.9	6,028.9	2,600.2	3,556.2
마곡천	1,410.7	422.4	809.4	4,632.2	4,197.4	2,148.1	9,472.9	17,712.5	2,590.1	3,542.9	1,213.3	1,416.4
유구천-6	894.8	183.5	183.6	2,742.1	2,742.6	1,472.2	3,630.8	6,219.1	1,052.5	1,292.6	575.0	821.0
계실천	1,158.3	296.2	472.2	3,695.0	3,497.6	1,828.7	6,411.3	11,659.2	1,786.0	2,358.5	882.9	1,118.1
신영천	386.3	79.2	79.2	1,183.8	1,184.0	635.6	1,566.9	2,683.7	454.3	557.8	248.2	354.4
유구천-7												
방흥천	2,600.1	533.0	533.0	7,967.2	7,969.0	4,277.9	10,546.1	18,062.7	3,057.3	3,754.4	1,670.3	2,385.3
문동천	5,128.6	986.3	986.3	14,694.5	14,410.0	7,521.2	18,962.5	34,660.4	5,815.4	6,761.8	3,017.2	4,276.6
유구천-8	2,117.6	434.1	434.1	6,488.9	6,490.4	3,484.1	8,589.3	14,711.2	2,490.0	3,057.8	1,360.4	1,942.7
Endwater	3,011.5	567.8	544.5	7,369.2	6,902.5	3,374.2	8,953.6	18,872.1	3,127.0	3,224.1	1,465.4	2,024.4

비 고	배출원 배출량 T-P											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	86.5	26.7	53.4	287.3	257.2	130.6	611.3	1,150.0	166.2	229.2	76.7	87.8
Reach 1	2,948.9	394.9	1,536.1	11,513.0	10,230.6	4,830.9	25,337.3	48,323.5	6,347.0	9,035.1	2,528.7	3,003.3
Reach 2	385.1	118.7	237.7	1,278.5	1,144.7	581.4	2,720.7	5,118.6	739.6	1,020.0	341.3	390.8
Reach 3	799.6	161.7	446.6	2,938.6	2,618.4	1,269.7	6,390.4	12,130.3	1,648.1	2,319.3	694.6	813.2
Reach 4	-623.2	-1,369.8	-1,321.0	1,398.0	1,343.8	-25.3	2,784.1	6,084.4	-336.9	-7.1	-927.9	-687.1
Reach 5	7,093.3	1,578.0	1,721.0	21,656.3	21,500.1	11,546.1	29,870.9	51,643.9	8,668.5	10,757.5	4,703.9	6,560.4
Reach 6	2,305.5	605.9	993.0	7,374.4	6,940.0	3,620.3	13,103.8	23,931.6	3,642.7	4,835.6	1,788.2	2,237.4
Reach 7	1,544.6	375.4	551.4	4,878.8	4,681.7	2,464.3	7,978.3	14,343.0	2,240.3	2,916.3	1,131.1	1,472.5
Reach 8	9,846.3	1,953.4	1,953.4	29,150.6	28,869.4	15,283.1	38,097.9	67,434.2	11,362.8	13,574.0	6,047.9	8,604.6
Endwater	3,011.5	567.8	544.5	7,369.2	6,902.5	3,374.2	8,953.6	18,872.1	3,127.0	3,224.1	1,465.4	2,024.4

부록 표-36 축산에서의 배출부하량

(단위 : 유량 m^3/일, 수질항목 g/일)

비 고	개별배출부하량				처리장배출부하량				최종배출부하량			
	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P	유량	BOD	T-N	T-P
Headwater	0.919	3,616.74	1,793.76	263.57	0	0	0	0	0.919	3,616.74	1,793.76	263.57
금천	4.858	7,250.32	4,524.16	642.13	0	0	0	0	4.858	7,250.32	4,524.16	642.13
덕곡천	5.059	7,143.09	3,705.00	437.75	0	0	0	0	5.059	7,143.09	3,705.00	437.75
명곡천	1.102	4,216.81	2,526.85	255.43	0	0	0	0	1.102	4,216.81	2,526.85	255.43
유구천-1	42.299	141,281.97	80,916.82	9,167.14	0	0	0	0	42.299	141,281.97	80,916.82	9,167.14
유구천-2	0.771	10,951.20	5,973.91	1,173.08	0	0	0	0	0.771	10,951.20	5,973.91	1,173.08
고현천	3.536	12,163.93	5,420.36	732.95	0	0	0	0	3.536	12,163.93	5,420.36	732.95
소하천	7.413	20,426.80	12,103.09	1,449.55	0	0	0	0	7.413	20,426.80	12,103.09	1,449.55
유구하수	2.637	8,391.68	5,440.87	503.36	0	0	0	0	2.637	8,391.68	5,440.87	503.36
유구천-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
백교천	1.455	5,054.70	3,184.95	306.54	0	0	0	0	1.455	5,054.70	3,184.95	306.54
유구천-4	-1.590	18,513.43	4,401.57	219.46	0	0	0	0	-1.590	18,513.43	4,401.57	219.46
유구천-5	48.108	126,081.20	73,366.43	8,125.40	0	0	0	0	48.108	126,081.20	73,366.43	8,125.40
마곡천	28.618	90,054.90	44,672.39	4,130.71	0	0	0	0	28.618	90,054.90	44,672.39	4,130.71
유구천-6	8.023	28,643.24	17,785.50	1,817.49	0	0	0	0	8.023	28,643.24	17,785.50	1,817.49
계실천	32.975	35,817.44	29,786.32	2,930.34	0	0	0	0	32.975	35,817.44	29,786.32	2,930.34
신영천	6.202	11,980.53	8,063.01	784.45	0	0	0	0	6.202	11,980.53	8,063.01	784.45
유구천-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
방흥천	19.001	79,433.82	44,633.33	5,279.69	0	0	0	0	19.001	79,433.82	44,633.33	5,279.69
문동천	53.720	147,382.19	84,153.67	9,768.39	0	0	0	0	53.720	147,382.19	84,153.67	9,768.39
유구천-8	34.707	56,760.25	38,194.21	4,300.05	0	0	0	0	34.707	56,760.25	38,194.21	4,300.05
Endwater	18.381	78,459.54	44,935.25	4,919.51	133.73	1,529.32	4,275.34	33.52	152.115	79,988.86	49,210.59	4,953.03

부록 표-37 토양에서의 BOD 배출부하량

비 고	BOD 배출부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,173.2	361.5	724.2	3,895.1	3,487.5	1,771.4	8,288.7	15,594.2	2,253.2	3,107.5	1,039.7	1,190.5
금천	2,673.2	823.7	1,650.0	8,874.9	7,946.2	4,036.0	18,885.9	35,531.5	5,133.9	7,080.5	2,368.9	2,712.5
덕곡천	1,046.3	322.4	645.9	3,473.8	3,110.3	1,579.8	7,392.3	13,907.8	2,009.5	2,771.5	927.2	1,061.7
명곡천	1,739.6	536.0	1,073.8	5,775.5	5,171.2	2,626.5	12,290.3	23,122.7	3,341.0	4,607.8	1,541.6	1,765.2
유구천-1	4,464.2	1,375.5	2,755.5	14,821.0	13,270.1	6,740.1	31,539.3	59,337.2	8,573.6	11,824.4	3,956.0	4,529.9
유구천-2	2,218.4	683.5	1,369.3	7,365.0	6,594.3	3,349.4	15,672.8	29,486.4	4,260.5	5,875.9	1,965.8	2,251.0
고현천	3,349.8	1,032.1	2,067.7	11,121.2	9,957.5	5,057.6	23,666.0	44,524.6	6,433.3	8,872.6	2,968.4	3,399.1
소하천	3,111.8	958.5	1,919.7	10,330.5	9,250.3	4,698.6	21,977.1	41,345.5	5,974.4	8,239.2	2,756.9	3,157.4
유구하수	2,912.7	897.5	1,797.9	9,670.3	8,658.4	4,397.8	20,578.5	38,715.9	5,594.0	7,715.1	2,581.2	2,955.6
유구천-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	3,319.4	766.3	1,023.8	10,384.4	10,096.8	5,348.6	15,969.4	28,343.6	4,523.3	5,796.3	2,335.4	3,126.3
유구천-4	2,294.9	505.8	611.9	7,120.0	7,002.2	3,729.4	10,340.6	18,119.3	2,954.0	3,727.0	1,557.9	2,138.8
대룡천	16,171.9	3,315.2	3,315.2	49,554.9	49,566.0	26,607.6	65,595.2	112,346.9	19,016.0	23,351.7	10,389.2	14,836.2
유구천-5	13,879.4	2,955.6	3,286.5	42,803.9	42,440.8	22,690.8	59,516.9	103,211.6	17,117.3	21,330.8	9,177.3	12,837.2
마곡천	18,487.7	5,547.3	10,815.5	61,009.4	55,089.9	28,109.2	126,264.4	236,561.8	34,429.6	47,226.9	16,030.6	18,619.1
유구천-6	10,097.6	2,070.9	2,073.7	30,944.0	30,947.8	16,612.4	40,984.4	70,206.1	11,880.2	14,591.5	6,489.1	9,264.5
계실천	5,151.1	1,237.5	1,781.8	16,234.6	15,625.3	8,236.6	26,190.9	46,955.7	7,368.1	9,559.1	3,738.3	4,897.0
신영천	3,612.9	740.6	740.6	11,070.8	11,073.3	5,944.3	14,654.3	25,098.8	4,248.3	5,216.9	2,321.0	3,314.5
유구천-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방홍천	3,808.9	780.8	780.8	11,671.5	11,674.1	6,266.8	15,449.4	26,460.7	4,478.8	5,500.0	2,446.9	3,494.3
문동천	9,396.8	1,802.2	1,802.2	26,847.3	26,304.6	13,712.0	34,606.0	63,433.1	10,639.0	12,341.1	5,507.4	7,803.7
유구천-8	2,970.4	608.9	608.9	9,101.9	9,104.0	4,887.1	12,048.1	20,635.2	3,492.7	4,289.1	1,908.2	2,725.0
Endwater	2,061.9	381.0	381.0	5,664.8	5,481.9	2,805.6	7,185.9	13,704.4	2,286.8	2,565.4	1,147.0	1,617.4

부록 표-38 토양에서의 T-N 배출부하량

비 고	T-N 배출부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	1,493.6	460.2	921.9	4,958.6	4,439.7	2,255.0	10,551.9	19,852.2	2,868.4	3,956.0	1,323.5	1,515.5
금천	2,845.7	876.8	1,756.5	9,447.6	8,459.0	4,296.5	20,104.6	37,824.3	5,465.2	7,537.4	2,521.7	2,887.6
덕곡천	1,186.0	365.4	732.1	3,937.4	3,525.4	1,790.6	8,378.9	15,763.8	2,277.7	3,141.3	1,051.0	1,203.4
명곡천	2,240.9	690.5	1,383.2	7,439.6	6,661.1	3,383.3	15,831.6	29,785.2	4,303.7	5,935.4	1,985.8	2,273.8
유구천-1	4,133.6	1,273.6	2,551.5	13,723.6	12,287.5	6,241.0	29,203.8	54,943.4	7,938.8	10,948.8	3,663.0	4,194.5
유구천-2	2,039.3	628.4	1,258.8	6,770.6	6,062.1	3,079.1	14,407.9	27,106.6	3,916.6	5,401.7	1,807.2	2,069.4
고현천	2,694.3	830.2	1,663.1	8,945.0	8,008.9	4,067.9	19,034.9	35,811.9	5,174.4	7,136.4	2,387.5	2,733.9
소하천	1,845.0	568.3	1,138.2	6,125.1	5,484.6	2,785.9	13,030.4	24,514.1	3,542.3	4,885.1	1,634.6	1,872.0
유구하수	1,033.4	318.4	637.9	3,430.9	3,071.8	1,560.2	7,300.9	13,735.7	1,984.7	2,737.2	915.7	1,048.6
유구천-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	3,165.5	743.5	1,027.1	9,934.5	9,617.3	5,083.9	15,600.0	27,811.6	4,405.4	5,676.1	2,257.2	2,993.3
유구천-4	1,923.9	424.1	513.0	5,968.9	5,870.2	3,126.5	8,668.8	15,189.8	2,476.4	3,124.5	1,306.1	1,793.1
대룡천	17,350.6	3,556.8	3,556.8	53,166.7	53,178.6	28,546.9	70,376.0	120,535.2	20,402.0	25,053.6	11,146.4	15,917.5
유구천-5	10,757.3	2,360.5	2,825.8	33,348.2	32,831.6	17,495.1	48,162.2	84,282.3	13,770.1	17,346.7	7,277.6	10,015.3
마곡천	17,096.5	5,163.9	10,137.5	56,502.8	50,914.0	25,949.4	117,754.6	220,851.4	32,084.2	44,070.1	14,904.6	17,250.1
유구천-6	7,524.8	1,543.3	1,545.5	23,059.7	23,062.5	12,379.6	30,542.7	52,319.8	8,853.4	10,874.0	4,835.8	6,904.0
계실천	5,141.9	1,215.4	1,699.0	16,156.1	15,615.1	8,248.0	25,563.0	45,646.4	7,211.1	9,309.4	3,684.6	4,869.4
신영천	3,436.7	704.5	704.5	10,530.9	10,533.3	5,654.4	13,939.7	23,874.9	4,041.1	4,962.5	2,207.8	3,152.8
유구천-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방흥천	3,135.4	642.8	642.8	9,607.7	9,609.8	5,158.7	12,717.5	21,781.7	3,686.8	4,527.4	2,014.2	2,876.4
문동천	6,507.6	1,260.0	1,260.0	18,749.8	18,419.6	9,639.4	24,250.7	44,070.3	7,400.2	8,646.5	3,857.4	5,470.9
유구천-8	1,461.5	299.6	299.6	4,478.5	4,479.5	2,404.7	5,928.2	10,153.4	1,718.6	2,110.4	938.9	1,340.8
Endwater	1,991.2	376.4	376.4	5,602.9	5,463.6	2,828.2	7,177.9	13,360.1	2,236.3	2,560.8	1,143.6	1,617.5

부록 표-39 토양에서의 T-P 배출부하량

비 고	배출부하량(g/day)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Headwater	97.7	30.1	60.3	324.3	290.3	147.5	690.1	1,298.3	187.6	258.7	86.6	99.1
금천	200.2	61.7	123.6	664.7	595.2	302.3	1,414.5	2,661.3	384.5	530.3	177.4	203.2
덕곡천	75.3	23.2	46.5	250.1	223.9	113.7	532.2	1,001.3	144.7	199.5	66.8	76.4
명곡천	145.6	44.9	89.9	483.5	432.9	219.9	1,028.9	1,935.8	279.7	385.8	129.1	147.8
유구천-1	302.6	93.2	186.8	1,004.5	899.4	456.8	2,137.6	4,021.7	581.1	801.4	268.1	307.0
유구천-2	158.3	48.8	97.7	525.5	470.5	239.0	1,118.3	2,103.9	304.0	419.3	140.3	160.6
고현천	196.9	60.7	121.5	653.7	585.3	297.3	1,391.1	2,617.2	378.2	521.5	174.5	199.8
소하천	150.1	46.2	92.6	498.2	446.1	226.6	1,059.8	1,993.8	288.1	397.3	132.9	152.3
유구하수	107.6	33.2	66.4	357.3	319.9	162.5	760.4	1,430.6	206.7	285.1	95.4	109.2
유구천-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
백교천	221.1	51.7	70.7	693.3	672.0	355.4	1,081.9	1,926.3	305.8	393.4	157.0	208.8
유구천-4	154.4	34.0	41.2	479.2	471.2	251.0	695.9	1,219.4	198.8	250.8	104.8	143.9
대룡천	1,232.2	252.6	252.6	3,775.7	3,776.6	2,027.3	4,997.9	8,560.0	1,448.9	1,779.2	791.6	1,130.4
유구천-5	840.6	182.3	212.1	2,600.5	2,567.5	1,370.0	3,700.0	6,452.0	1,060.3	1,330.1	563.5	780.6
마곡천	1,225.2	369.4	723.8	4,047.4	3,649.2	1,860.5	8,419.0	15,785.6	2,294.4	3,150.3	1,066.5	1,235.5
유구천-6	597.3	122.5	122.7	1,830.3	1,830.5	982.6	2,424.1	4,152.4	702.7	863.0	383.8	548.0
계실천	401.7	95.7	135.6	1,264.1	1,219.4	643.5	2,018.4	3,611.0	568.6	735.8	289.6	381.1
신영천	248.9	51.0	51.0	762.6	762.8	409.5	1,009.5	1,728.9	292.6	359.4	159.9	228.3
유구천-7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
방흥천	248.4	50.9	50.9	761.1	761.2	408.6	1,007.4	1,725.4	292.0	358.6	159.6	227.9
문동천	559.4	108.1	108.1	1,611.7	1,583.2	828.4	2,084.4	3,788.9	636.2	743.2	331.5	470.2
유구천-8	140.4	28.8	28.8	430.2	430.3	231.0	569.5	975.4	165.1	202.7	90.2	128.8
Endwater	124.2	23.4	23.4	348.3	339.3	175.4	445.6	832.2	139.2	159.0	71.0	100.4

부록 표-40 지류하천에서의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(1)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
금천	1월	44.18	28.74	65.1	40.92	24.70	60.4	2.33	0.55	23.8
	2월		27.14	61.4		34.48	84.3		0.29	12.3
	3월		36.72	83.1		23.63	57.8		0.27	11.6
	4월		9.98	22.6		9.12	22.3		0.16	6.9
	5월		14.85	33.6		10.24	25.0		0.28	12.2
	6월		28.00	63.4		34.44	84.2		0.44	18.9
	7월		38.20	86.5		72.34	176.8		1.66	71.3
	8월		66.62	150.8		79.67	194.7		1.49	63.8
	9월		24.92	56.4		50.13	122.5		1.21	51.7
	10월		14.59	33.0		30.05	73.4		0.30	13.0
	11월		13.96	31.6		18.78	45.9		0.40	17.0
	12월		12.87	29.1		11.61	28.4		0.13	5.4
덕곡천	1월	22.05	1.15	5.2	19.51	1.12	5.7	1.83	0.02	1.3
	2월		11.21	50.9		22.18	113.7		0.32	17.3
	3월		13.95	63.3		14.72	75.4		0.22	11.9
	4월		0.96	4.3		0.72	3.7		0.01	0.5
	5월		7.90	35.8		16.68	85.5		0.10	5.7
	6월		17.89	81.1		35.82	183.6		0.21	11.3
	7월		10.60	48.1		29.85	153.0		0.32	17.4
	8월		35.25	159.8		54.02	276.9		1.87	102.2
	9월		6.51	29.5		24.30	124.5		0.46	24.9
	10월		1.42	6.4		5.49	28.2		0.16	8.5
	11월		3.61	16.4		9.91	50.8		0.16	8.7
	12월		6.93	31.4		4.08	20.9		0.10	5.3
명곡천	1월	27.80	1.69	6.1	31.29	4.31	13.8	1.83	0.09	5.0
	2월		7.67	27.6		14.07	45.0		0.17	9.3
	3월		13.59	48.9		17.84	57.0		0.15	8.3
	4월		7.79	28.0		6.26	20.0		0.05	2.6
	5월		9.78	35.2		9.78	31.3		0.10	5.2
	6월		23.95	86.1		33.50	107.1		0.12	6.3
	7월		18.32	65.9		31.68	101.3		0.61	33.3
	8월		23.77	85.5		36.95	118.1		0.79	43.1
	9월		2.88	10.3		5.98	19.1		0.03	1.9
	10월		0.81	2.9		1.53	4.9		0.03	1.4
	11월		0.90	3.3		1.26	4.0		0.02	1.3
	12월		1.62	5.8		2.35	7.5		0.03	1.5

부록 표-41 지류하천에서의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(2)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
고현천	1월	47.84	5.69	11.9	35.40	4.04	11.4	3.03	0.13	6.1
	2월		16.21	33.9		14.37	40.6		0.58	19.0
	3월		21.78	45.5		37.56	106.1		4.09	135.0
	4월		11.52	24.1		10.24	28.9		0.09	2.9
	5월		6.60	13.8		11.63	32.8		0.06	1.8
	6월		43.46	90.8		51.01	144.1		0.84	27.7
	7월		46.20	96.6		48.80	137.9		1.27	41.8
	8월		40.82	85.3		41.75	117.9		1.05	34.8
	9월		21.33	44.6		51.19	144.6		4.72	156.0
	10월		10.38	21.7		19.18	54.2		0.98	32.4
	11월		34.32	71.7		46.37	131.0		2.39	78.9
	12월		4.47	9.3		2.57	7.3		0.05	1.6
소하천	1월	104.50	4.96	4.7	47.02	7.00	14.9	3.96	0.14	3.5
	2월		17.68	16.9		20.05	42.6		1.23	30.9
	3월		10.59	10.1		8.05	17.1		0.09	2.4
	4월		30.96	29.6		8.84	18.8		0.56	14.1
	5월		12.17	11.6		6.27	13.3		0.26	6.5
	6월		20.71	19.8		17.46	37.1		0.68	17.2
	7월		47.14	45.1		15.63	33.2		0.38	9.7
	8월		33.53	32.1		33.14	70.5		1.59	40.2
	9월		10.86	10.4		15.53	33.0		0.59	14.8
	10월		2.33	2.2		3.29	7.0		0.19	4.9
	11월		1.35	1.3		2.41	5.1		0.16	4.0
	12월		4.07	3.9		3.18	6.8		0.15	3.8
유구하수	1월	118.66	164.63	138.7	42.01	35.58	84.7	3.09	2.79	90.3
	2월		241.72	203.7		10.75	25.6		3.07	99.5
	3월		221.04	186.3		25.74	61.3		4.66	150.9
	4월		92.43	77.9		24.60	58.6		2.27	73.4
	5월		212.62	179.2		50.13	119.3		4.47	144.9
	6월		227.26	191.5		15.68	37.3		1.54	49.8
	7월		373.68	314.9		28.01	66.7		2.38	77.2
	8월		178.80	150.7		44.26	105.4		2.29	74.1
	9월		140.73	118.6		39.32	93.6		4.84	156.9
	10월		72.02	60.7		19.48	46.4		2.40	77.8
	11월		93.35	78.7		28.32	67.4		2.94	95.1
	12월		181.26	152.8		20.44	48.7		1.62	52.5

부록 표-42 지류하천에서의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(3)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
백교천	1월	61.41	8.75	14.3	43.02	10.87	25.3	3.24	0.27	8.2
	2월		33.14	54.0		24.27	56.4		1.01	31.1
	3월		19.66	32.0		20.02	46.5		0.36	11.0
	4월		34.37	56.0		5.92	13.8		0.31	9.5
	5월		15.74	25.6		12.41	28.8		0.32	10.0
	6월		46.20	75.2		70.41	163.7		2.22	68.4
	7월		24.58	40.0		32.94	76.6		0.60	18.4
	8월		56.80	92.5		65.58	152.4		0.71	21.9
	9월		14.38	23.4		24.95	58.0		0.45	13.9
	10월		3.90	6.3		7.78	18.1		0.41	12.5
	11월		6.27	10.2		5.45	12.7		0.17	5.1
	12월		8.01	13.0		11.57	26.9		0.70	21.8
대룡천	1월	235.59	40.02	17.0	208.62	89.05	42.7	16.30	1.86	11.4
	2월		122.53	52.0		188.85	90.5		2.10	12.9
	3월		22.24	9.4		77.74	37.3		0.72	4.4
	4월		9.82	4.2		15.66	7.5		0.32	2.0
	5월		44.84	19.0		67.36	32.3		0.80	4.9
	6월		154.09	65.4		222.54	106.7		0.41	2.5
	7월		79.30	33.7		186.33	89.3		1.73	10.6
	8월		222.16	94.3		205.31	98.4		2.41	14.8
	9월		109.31	46.4		150.20	72.0		1.68	10.3
	10월		13.39	5.7		19.62	9.4		0.14	0.9
	11월		26.91	11.4		36.41	17.5		0.22	1.4
	12월		59.03	25.1		76.54	36.7		0.53	3.2
마곡천	1월	337.63	103.55	30.7	264.35	146.54	55.4	20.49	0.39	1.9
	2월		201.82	59.8		243.84	92.2		3.92	19.1
	3월		187.05	55.4		161.48	61.1		3.49	17.0
	4월		21.33	6.3		19.51	7.4		0.49	2.4
	5월		100.26	29.7		85.26	32.3		1.94	9.5
	6월		263.19	78.0		253.06	95.7		2.59	12.7
	7월		284.26	84.2		342.54	129.6		4.50	22.0
	8월		328.55	97.3		383.91	145.2		3.12	15.2
	9월		145.23	43.0		199.28	75.4		5.81	28.4
	10월		171.01	50.7		124.77	47.2		2.07	10.1
	11월		143.12	42.4		122.64	46.4		0.88	4.3
	12월		104.42	30.9		87.97	33.3		0.81	4.0

부록 표-43 지류하천에서의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(4)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
계실천	1월	92.74	3.71	4.0	83.14	14.43	17.4	5.70	0.07	1.3
	2월		21.01	22.7		23.46	28.2		0.86	15.1
	3월		19.18	20.7		10.87	13.1		0.16	2.9
	4월		8.82	9.5		4.35	5.2		0.04	0.6
	5월		39.88	43.0		15.68	18.9		0.16	2.7
	6월		42.99	46.4		43.16	51.9		0.48	8.4
	7월		44.10	47.6		32.95	39.6		0.55	9.6
	8월		36.42	39.3		51.62	62.1		0.83	14.5
	9월		16.15	17.4		15.47	18.6		0.32	5.5
	10월		15.84	17.1		11.33	13.6		0.19	3.4
	11월		22.09	23.8		17.61	21.2		0.17	3.0
	12월		7.49	8.1		6.71	8.1		0.06	1.0
신영천	1월	45.71	2.36	5.2	38.70	4.45	11.5	2.15	0.03	1.3
	2월		6.04	13.2		8.16	21.1		0.07	3.2
	3월		2.55	5.6		7.09	18.3		0.07	3.0
	4월		2.52	5.5		1.28	3.3		0.01	0.3
	5월		7.87	17.2		7.33	18.9		0.09	4.3
	6월		9.50	20.8		12.46	32.2		0.20	9.4
	7월		7.32	16.0		15.53	40.1		0.12	5.7
	8월		10.90	23.8		16.71	43.2		0.15	7.2
	9월		6.10	13.3		10.20	26.4		0.10	4.8
	10월		8.23	18.0		8.69	22.5		0.14	6.7
	11월		5.70	12.5		9.42	24.3		0.06	2.9
	12월		2.68	5.9		3.03	7.8		0.02	1.1
방흥천	1월	116.17	3.83	3.3	74.31	8.08	10.9	7.98	0.02	0.2
	2월		5.48	4.7		8.43	11.3		0.19	2.4
	3월		8.96	7.7		7.87	10.6		0.05	0.6
	4월		5.81	5.0		3.28	4.4		0.03	0.4
	5월		15.28	13.2		9.01	12.1		0.25	3.2
	6월		37.21	32.0		43.41	58.4		0.92	11.5
	7월		16.04	13.8		23.64	31.8		0.32	4.0
	8월		12.79	11.0		15.81	21.3		0.27	3.4
	9월		3.51	3.0		9.97	13.4		0.23	2.9
	10월		1.64	1.4		3.72	5.0		0.04	0.5
	11월		3.65	3.1		6.71	9.0		0.20	2.4
	12월		4.57	3.9		5.05	6.8		0.07	0.9
문동천	1월	233.87	12.13	5.2	142.98	75.36	52.7	14.52	0.15	1.0
	2월		46.31	19.8		41.38	28.9		3.71	25.5
	3월		19.60	8.4		19.69	13.8		0.55	3.8
	4월		27.57	11.8		20.58	14.4		0.24	1.6
	5월		169.28	72.4		128.97	90.2		1.54	10.6
	6월		191.90	82.1		142.29	99.5		1.95	13.4
	7월		267.91	114.6		180.39	126.2		4.52	31.1
	8월		121.48	51.9		169.81	118.8		1.37	9.5
	9월		49.18	21.0		50.24	35.1		0.75	5.2
	10월		23.58	10.1		29.46	20.6		0.39	2.7
	11월		33.91	14.5		70.54	49.3		4.33	29.8
	12월		14.80	6.3		15.89	11.1		0.26	1.8

부록 표-44 본류에서 각 구간의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(1)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
Headwater	1월	20.09	8.07	40.2	21.20	9.71	45.8	1.71	0.41	24.1
	2월		13.35	66.4		18.08	85.3		0.08	4.8
	3월		15.35	76.4		15.98	75.4		0.19	11.0
	4월		4.01	20.0		3.70	17.5		0.06	3.5
	5월		8.79	43.7		11.65	54.9		0.38	22.5
	6월		28.77	143.2		30.23	142.6		0.44	25.5
	7월		14.76	73.5		26.28	124.0		0.71	41.4
	8월		21.38	106.4		24.02	113.3		0.32	18.8
	9월		11.36	56.5		15.92	75.1		0.64	37.7
	10월		3.66	18.2		5.56	26.2		0.07	3.9
	11월		10.40	51.7		16.03	75.6		0.17	10.0
	12월		4.71	23.5		4.26	20.1		0.12	6.9
Reach 1	1월	338.85	40.07	11.8	254.59	32.60	12.8	22.57	0.95	4.2
	2월		82.33	24.3		103.61	40.7		0.82	3.6
	3월		115.81	34.2		93.47	36.7		1.48	6.6
	4월		26.34	7.8		26.80	10.5		0.38	1.7
	5월		45.91	13.5		54.63	21.5		0.67	3.0
	6월		118.49	35.0		144.03	56.6		1.74	7.7
	7월		85.47	25.2		166.02	65.2		3.51	15.6
	8월		134.37	39.7		205.08	80.6		4.37	19.4
	9월		50.42	14.9		105.93	41.6		2.56	11.4
	10월		30.59	9.0		60.65	23.8		1.20	5.3
	11월		37.04	10.9		50.75	19.9		1.22	5.4
	12월		21.33	6.3		23.72	9.3		0.37	1.6
Reach 2	1월	386.69	45.91	11.9	289.99	42.23	14.6	25.60	1.62	12.1
	2월		125.03	32.3		125.63	43.3		1.41	5.5
	3월		122.89	31.8		102.21	35.2		2.02	7.9
	4월		23.42	6.1		22.61	7.8		0.47	1.8
	5월		46.55	12.0		60.09	20.7		0.60	2.3
	6월		125.17	32.4		177.24	61.1		1.68	6.6
	7월		91.89	23.8		177.81	61.3		3.45	13.5
	8월		131.48	34.0		229.91	79.3		4.91	19.2
	9월		52.42	13.6		110.26	38.0		3.32	13.0
	10월		35.76	9.2		67.49	23.3		1.18	4.6
	11월		39.73	10.3		54.86	18.9		1.38	5.4
	12월		41.49	10.7		39.47	13.6		0.99	3.9

부록 표-45 본류에서 각 구간의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(2)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
Reach 3	1월	683.97	127.08	18.6	425.85	96.47	22.7	35.39	3.05	8.6
	2월		233.63	34.2		167.56	39.3		5.68	16.1
	3월		370.00	54.1		173.99	40.9		10.11	28.6
	4월		118.24	17.3		64.97	15.3		3.23	9.1
	5월		165.46	24.2		99.12	23.3		5.90	16.7
	6월		302.46	44.2		302.67	71.1		4.81	13.6
	7월		248.41	36.3		293.98	69.0		10.36	29.3
	8월		255.45	37.3		357.99	84.1		8.51	24.1
	9월		218.77	32.0		230.65	54.2		10.86	30.7
	10월		168.10	24.6		141.16	33.1		6.27	17.7
	11월		200.79	29.4		151.72	35.6		6.40	18.1
	12월		132.91	19.4		66.88	15.7		2.09	5.9
Reach 4	1월	788.71	72.06	9.1	491.48	85.66	17.4	40.39	2.34	5.8
	2월		188.54	23.9		190.33	38.7		5.21	12.9
	3월		316.83	40.2		204.97	41.7		8.34	20.6
	4월		54.87	7.0		30.68	6.2		1.31	3.2
	5월		127.67	16.2		117.19	23.8		5.00	12.4
	6월		288.94	36.6		379.92	77.3		8.58	21.3
	7월		263.31	33.4		340.21	69.2		6.86	17.0
	8월		285.28	36.2		413.21	84.1		8.11	20.1
	9월		168.05	21.3		277.10	56.4		9.43	23.3
	10월		74.07	9.4		166.71	33.9		5.40	13.4
	11월		121.28	15.4		172.11	35.0		5.89	14.6
	12월		94.99	12.0		76.20	15.5		1.49	3.7
Reach 5	1월	1288.04	127.39	9.9	880.82	207.24	23.5	72.13	3.89	5.4
	2월		284.18	22.1		392.47	44.6		6.43	8.9
	3월		327.48	25.4		310.28	35.2		8.26	11.5
	4월		37.86	2.9		55.28	6.3		1.98	2.7
	5월		183.36	14.2		193.41	22.0		5.08	7.0
	6월		467.04	36.3		660.25	75.0		9.01	12.5
	7월		332.80	25.8		508.73	57.8		7.71	10.7
	8월		532.94	41.4		664.14	75.4		10.66	14.8
	9월		233.50	18.1		457.65	52.0		14.19	19.7
	10월		77.30	6.0		159.25	18.1		3.61	5.0
	11월		170.94	13.3		205.89	23.4		4.42	6.1
	12월		157.15	12.2		155.61	17.7		3.30	4.6

부록 표-46 본류에서 각 구간의 월별 오염물질 유달량 및 유달율-(3)

(단위 : kg/일)

하천	조사 시기	BOD			T-N			T-P		
		배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)	배출량	유달량	유달율(%)
Reach 6	1월	1,752.10	227.16	13.0	1,234.20	396.09	32.1	100.03	2.21	2.2
	2월		497.08	28.4		657.13	53.2		13.12	13.1
	3월		491.46	28.0		466.81	37.8		11.95	11.9
	4월		62.64	3.6		74.41	6.0		1.94	1.9
	5월		321.14	18.3		308.43	25.0		6.90	6.9
	6월		761.45	43.5		931.85	75.5		11.83	11.8
	7월		643.56	36.7		928.73	75.2		12.87	12.9
	8월		824.75	47.1		1,067.83	86.5		14.32	14.3
	9월		350.72	20.0		686.54	55.6		19.00	19.0
	10월		239.22	13.7		331.33	26.8		4.78	4.8
	11월		366.63	20.9		378.22	30.6		5.36	5.4
	12월		289.46	16.5		271.56	22.0		5.22	5.2
Reach 7	1월	1,890.54	200.01	10.6	1,356.04	409.86	30.2	107.88	1.56	1.5
	2월		449.84	23.8		720.63	53.1		11.47	10.6
	3월		514.10	27.2		515.91	38.0		10.71	9.9
	4월		76.90	4.1		78.17	5.8		1.33	1.2
	5월		467.64	24.7		417.31	30.8		7.41	6.9
	6월		888.69	47.0		1,115.35	82.3		13.91	12.9
	7월		677.60	35.8		989.30	73.0		15.71	14.6
	8월		1,085.16	57.4		1,364.72	100.6		10.85	10.1
	9월		410.88	21.7		792.06	58.4		12.96	12.0
	10월		275.56	14.6		373.48	27.5		5.33	4.9
	11월		457.19	24.2		466.09	34.4		5.17	4.8
	12월		260.81	13.8		295.19	21.8		5.93	5.5
Reach 8	1월	2,327.39	228.30	9.8	1,627.61	513.81	31.6	136.29	2.55	1.9
	2월		532.97	22.9		808.29	49.7		14.34	10.5
	3월		551.07	23.7		546.64	33.6		10.24	7.5
	4월		120.76	5.2		111.48	6.8		1.71	1.3
	5월		620.81	26.7		546.95	33.6		7.74	5.7
	6월		1,269.79	54.6		1,332.22	81.9		19.58	14.4
	7월		873.02	37.5		1,197.71	73.6		21.18	15.5
	8월		1,235.50	53.1		1,565.56	96.2		18.24	13.4
	9월		446.67	19.2		840.78	51.7		17.18	12.6
	10월		439.67	18.9		459.56	28.2		5.44	4.0
	11월		513.48	22.1		584.23	35.9		13.69	10.0
	12월		327.13	14.1		327.13	20.1		6.58	4.8
Endwater	1월	2,428.49	212.14	8.7	1,698.32	529.95	31.2	143.97	1.49	1.0
	2월		571.02	23.5		821.60	48.4		13.97	9.7
	3월		538.59	22.2		553.04	32.6		11.18	7.8
	4월		126.19	5.2		117.10	6.9		1.83	1.3
	5월		629.96	25.9		546.85	32.2		9.53	6.6
	6월		1,306.48	53.8		1,331.18	78.4		17.02	11.8
	7월		896.55	36.9		1,193.53	70.3		16.44	11.4
	8월		1,204.63	49.6		1,593.12	93.8		14.46	10.0
	9월		452.23	18.6		868.27	51.1		13.91	9.7
	10월		484.61	20.0		462.58	27.2		5.07	3.5
	11월		535.58	22.1		588.22	34.6		14.88	10.3
	12월		343.31	14.1		353.94	20.8		6.53	4.5

부록 표-47 각 계절에 따른 구간별 유량계수

계절별	구간별	평균유속 - 유량 관계			평균수심 - 유량 관계		
		방정식	기울기	상관성	방정식	기울기	상관성
겨울 (12월~2월)	Reach 1	y = 0.2427x - 3.2281	0.0396	R^2= 0.9915	y = 0.3420x - 3.8966	0.0203	R^2= 0.9958
	Reach 2	y = 0.6766x - 6.6347	0.0013	R^2= 1.0000	y = 0.3203x - 3.7255	0.0241	R^2= 0.9996
	Reach 3	y = 0.5334x - 5.6616	0.0035	R^2= 0.9988	y = 0.4653x - 4.8122	0.0081	R^2= 0.9979
	Reach 4	y = 0.7010x - 7.1018	0.0008	R^2= 0.9849	y = 0.2083x - 2.7818	0.0619	R^2= 0.9955
	Reach 5	y = 0.2833x - 3.7822	0.0228	R^2= 0.9961	y = 0.4863x - 5.0721	0.0063	R^2= 0.9642
	Reach 6	y = 0.6077x - 6.4744	0.0015	R^2= 0.9973	y = 0.2759x - 3.3544	0.0349	R^2= 0.9726
	Reach 7	y = 0.4760x - 5.4197	0.0044	R^2= 0.9930	y = 0.5305x - 5.7090	0.0033	R^2= 0.9904
	Reach 8	y = 0.3274x - 4.0150	0.0180	R^2= 0.9011	y = 0.4597x - 5.1540	0.0058	R^2= 0.9539
	Endwater	y = 0.3135x - 3.9717	0.0188	R^2= 0.8349	y = 0.4930x - 5.4066	0.0045	R^2= 0.9993
봄 (3월~5월)	Reach 1	y = 0.3265x - 3.7723	0.0230	R^2= 0.9017	y = 0.4316x - 4.5735	0.0103	R^2= 0.9852
	Reach 2	y = 0.5307x - 5.4967	0.0041	R^2= 0.9799	y = 0.2464x - 3.2395	0.0392	R^2= 0.9722
	Reach 3	y = 0.2733x - 3.7165	0.0243	R^2= 0.8066	y = 0.4658x - 4.8158	0.0081	R^2= 0.9994
	Reach 4	y = 0.3347x - 4.2877	0.0137	R^2= 0.9214	y = 0.5260x - 5.2080	0.0055	R^2= 0.9761
	Reach 5	y = 0.2004x - 3.1914	0.0411	R^2= 0.9999	y = 0.4286x - 4.5784	0.0103	R^2= 0.9919
	Reach 6	y = 0.2515x - 3.4191	0.0327	R^2= 0.9483	y = 0.3752x - 4.1924	0.0151	R^2= 1.0000
	Reach 7	y = 0.2513x - 3.4030	0.0333	R^2= 0.9948	y = 0.2607x - 3.3932	0.0336	R^2= 0.9631
	Reach 8	y = 0.1875x - 2.7627	0.0631	R^2= 1.0000	y = 0.2826x - 3.6009	0.0273	R^2= 0.9994
	Endwater	y = 0.1382x - 2.3610	0.0943	R^2= 0.9975	y = 0.3223x - 3.9118	0.0200	R^2= 0.9981
여름 (6월~8월)	Reach 1	y = 0.6856x - 6.4850	0.0015	R^2= 1.0000	y = 0.1496x - 2.4407	0.0871	R^2= 0.9732
	Reach 2	y = 0.4906x - 5.0755	0.0062	R^2= 0.9790	y = 0.5367x - 5.6126	0.0037	R^2= 0.9860
	Reach 3	y = 0.6529x - 6.4883	0.0015	R^2= 0.9689	y = 0.3442x - 3.9569	0.0191	R^2= 0.9118
	Reach 4	y = 0.1438x - 2.0969	0.1228	R^2= 0.9848	y = 0.3715x - 4.3598	0.0128	R^2= 0.7811
	Reach 5	y = 0.6097x - 6.5202	0.0015	R^2= 0.9885	y = 0.2984x - 3.4947	0.0304	R^2= 0.9853
	Reach 6	y = 0.6650x - 6.9949	0.0009	R^2= 0.9520	y = 0.1774x - 2.4064	0.0901	R^2= 0.9749
	Reach 7	y = 0.4885x - 5.3668	0.0047	R^2= 0.9794	y = 0.2202x - 3.0604	0.0469	R^2= 0.9775
	Reach 8	y = 0.4244x - 4.7416	0.0087	R^2= 0.9424	y = 0.2301x - 3.1003	0.0450	R^2= 0.9939
	Endwater	y = 0.5547x - 6.0879	0.0023	R^2= 0.9765	y = 0.4403x - 5.2292	0.0054	R^2= 0.9648
가을 (9월~11월)	Reach 1	y = 0.2422x - 3.1583	0.0425	R^2= 0.9859	y = 0.4199x - 4.4352	0.0119	R^2= 0.9987
	Reach 2	y = 0.6290x - 6.2101	0.0020	R^2= 0.9940	y = 0.3831x - 4.2488	0.0143	R^2= 0.9840
	Reach 3	y = 0.5637x - 5.7579	0.0032	R^2= 0.9983	y = 0.4324x - 4.6695	0.0094	R^2= 0.9993
	Reach 4	y = 0.6865x - 6.7917	0.0011	R^2= 0.9999	y = 0.3171x - 3.8166	0.0220	R^2= 0.9999
	Reach 5	y = 0.4008x - 4.6380	0.0097	R^2= 0.9914	y = 0.4524x - 4.8620	0.0077	R^2= 1.0000
	Reach 6	y = 0.6172x - 6.5487	0.0014	R^2= 0.9974	y = 0.2513x - 3.1046	0.0448	R^2= 0.9700
	Reach 7	y = 0.6751x - 7.1353	0.0008	R^2= 1.0000	y = 0.0951x - 1.8658	0.1548	R^2= 0.7606
	Reach 8	y = 0.6050x - 6.4781	0.0015	R^2= 0.9984	y = 0.2063x - 2.8941	0.0553	R^2= 0.9264
	Endwater	y = 0.4707x - 5.3076	0.0050	R^2= 0.9985	y = 0.0600x - 1.4657	0.2309	R^2= 0.6410

부록 표-48 계절별 각 구간에 사용된 반응계수의 값

계절		R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	R 8	Endwater
겨울철 (12월~2월)	σ_2	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	σ_3	0.03	0.11	0.10	0.03	0.15	0.20	0.25	0.10	0.10
	σ_4	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.08	0.05
	σ_5	0.01	0.01	0.05	0.05	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04
	β_1	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.15	0.60	0.10
	β_2	0.25	0.20	0.15	0.30	0.30	0.20	0.40	0.50	0.50
	β_3	0.01	0.01	0.02	0.15	0.08	0.01	0.03	0.02	0.02
	β_4	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	κ_1	0.001	0.001	0.020	0.025	0.028	0.005	0.020	0.001	0.001
	κ_2	0.12	0.15	0.20	0.15	0.10	0.10	0.25	0.22	0.05
	κ_3	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	κ_4	0.002	0.003	0.150	0.100	0.100	0.005	0.090	0.200	0.400
봄철 (3월~5월)	σ_2	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	σ_3	0.02	0.15	0.35	0.01	0.15	0.10	0.20	0.10	0.20
	σ_4	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.02
	σ_5	0.01	0.01	0.05	0.06	0.08	0.03	0.05	0.06	0.06
	β_1	0.20	0.10	0.10	0.50	0.30	0.30	0.15	0.60	0.10
	β_2	0.20	0.10	0.10	0.40	0.30	0.20	0.40	0.50	0.50
	β_3	0.01	0.01	0.01	0.15	0.08	0.01	0.01	0.02	002
	β_4	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04	0.01	0.05	0.06	0.06
	κ_1	0.001	0.001	0.007	0.060	0.075	0.035	0.020	0.002	0.002
	κ_2	0.35	0.30	0.20	0.25	0.20	0.20	0.35	0.30	0.15
	κ_3	0.001	0.001	0.002	0055	0.065	0.025	0.015	0.003	0.003
	κ_4	0.012	0.013	0.150	0.100	0.100	0.055	0.120	0.300	0.500
여름철 (6월~8월)	σ_2	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	σ_3	0.01	0.05	0.07	0.01	0.01	0.07	0.15	0.07	0.15
	σ_4	0.01	0.01	0.01	0.15	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01
	σ_5	0.01	0.01	0.05	0.10	0.10	0.07	0.04	0.05	0.03
	β_1	0.10	0.10	0.10	0.20	010	0.20	0.15	0.30	0.10
	β_2	0.10	0.10	0.10	0.40	0.30	0.20	0.20	0.50	0.50
	β_3	0.01	0.01	0.01	0.20	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01
	β_4	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.04	0.04
	κ_1	0.001	0.003	0.020	0.060	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	κ_2	0.25	0.20	0.15	0.20	0.20	0.20	0.25	0.20	0.15
	κ_3	0.001	0.002	0.020	0.055	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	κ_4	0.015	0.030	0.180	0.150	0.150	0.100	0.150	0.400	0.500
가을철 (9월~11월)	σ_2	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	σ_3	0.01	0.01	0.10	0.01	0.01	0.05	0.10	0.08	0.20
	σ_4	0.01	0.01	0.01	0.08	0.15	0.02	0.01	0.01	0.01
	σ_5	0.01	0.01	0.04	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.03
	β_1	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.15	0.30	0.10
	β_2	0.10	0.10	0.10	0.40	0.30	0.20	0.20	0.50	0.50
	β_3	0.01	0.01	0.02	0.15	0.20	0.03	0.02	0.01	0.01
	β_4	0.01	0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.04
	κ_1	0.001	0.001	0.001	0.013	0.003	0.002	0001	0.001	0.001
	κ_2	0.25	0.20	0.10	0.10	0.10	0.20	0.25	0.10	0.15
	κ_3	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01
	κ_4	0.015	0.020	0.090	0.090	0.050	0.100	0.050	0.100	0.200

부록 표-49 각 Reach별 예측 발생유량 및 배출유량(2010년도)

비고	발생유량(m^3/일)						배출유량(m^3/일)					
	산업계	생활계	축산계	양식계	환경기초시설	발생합계	산업계	생활계	축산계	양식계	환경기초시설	배출합계
Headwater	0	20.89	1.59	0	0	22.49	0	20.81	1.00	0	0	21.80
Reach 1	0	210.83	73.54	30	38	352.37	0	210.18	53.46	30	38	331.64
Reach 2	0	47.99	13.43	0	0	61.43	0	47.82	1.35	0	0	49.17
Reach 3	510.26	999.85	19.28	0	0	1,529.39	510.26	154.46	14.81	0	0	679.53
Reach 4	74.88	295.00	23.19	0	22.09	415.16	28.88	10.66	0.83	0	209.98	250.34
Reach 5	4.00	451.02	109.53	0	35.2	599.75	4.00	449.38	102.77	0	35.2	591.35
Reach 6	9.00	479.90	48.02	0	0	536.92	9.00	478.03	41.12	0	0	528.15
Reach 7	0	148.08	42.41	0	0	190.49	0	147.48	42.19	0	0	189.67
Reach 8	33.57	346.22	113.25	0	89.5	582.55	33.57	345.11	108.42	0	89.5	576.60
Endwater	0	37.24	17.07	3	0	57.31	0	37.08	148.70	3	133.73	322.52

부록 표-50 각 Reach별 예측 BOD 발생 및 배출부하량(2010년도)

비고	BOD발생부하량(kg/일)							BOD배출부하량(kg/일)						
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	발생합계	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	배출합계
Headwater	0	8.55	61.46	14.98	0	0	84.99	0	7.08	3.54	3.74	0	0	14.37
Reach 1	0	86.68	2,479.53	126.98	19.743	0.63	2,713.56	0	72.67	147.03	31.74	20	0.47	271.66
Reach 2	0	20.53	288.33	28.36	0	0	337.23	0	16.03	10.74	7.09	0	0	33.86
Reach 3	137.7	354.27	632.76	123.49	0	0	1,248.20	6.63	51.70	40.72	30.87	0	0	129.92
Reach 4	92.11	96.16	507.17	53.58	0	19.20	768.22	0.35	2.81	22.65	13.40	0	93.67	132.88
Reach 5	5.19	180.69	2,605.06	262.35	0	0.99	3,054.28	0.03	132.81	208.13	65.59	0	0.37	406.93
Reach 6	9.79	181.12	1,195.76	310.63	0	0	1,697.30	0.36	140.56	119.49	77.66	0	0	338.07
Reach 7	0	59.51	783.77	72.34	0	0	915.62	0	45.60	50.75	18.09	0	0	114.43
Reach 8	2.25	133.44	3,331.08	136.22	0	3.56	3,606.55	2.17	84.83	262.11	34.05	0	0.42	383.57
Endwater	0	15.14	875.37	15.96	1.23	0.00	907.71	0	12.05	71.55	3.99	1	1.53	90.36

부록 표-51 각 Reach별 예측 T-N 발생 및 배출부하량(2010년도)

비고	T-N발생부하량(kg/일)							T-N배출부하량(kg/일)						
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	발생합계	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	배출합계
Headwater	0	2.29	14.18	18.21	0	0	34.68	0	2.07	1.86	4.55	0	0	8.49
Reach 1	0	22.57	575.24	127.15	3.95	1.19	730.10	0	20.98	86.30	31.79	3.95	0.32	143.33
Reach 2	0	4.29	68.44	24.94	0	0	97.68	0	3.89	6.03	6.24	0	0	16.16
Reach 3	3.78	88.40	152.48	69.10	0	0	313.77	1.65	12.51	24.33	17.27	0	0	55.77
Reach 4	10.88	23.64	120.30	46.58	0	5.14	206.53	0.66	0.69	7.72	11.64	0	6.61	27.33
Reach 5	0.63	48.41	621.39	235.54	0	1.14	907.10	0.01	41.31	130.35	58.88	0	1.07	231.63
Reach 6	0.18	48.87	303.91	254.12	0	0	607.08	0.18	44.30	67.10	63.53	0	0	175.12
Reach 7	0	15.92	196.96	70.96	0	0	283.84	0	14.43	40.91	17.74	0	0	73.08
Reach 8	0.01	36.01	758.45	88.44	0	2.25	885.16	0.01	27.56	155.66	22.11	0.00	1.13	206.47
Endwater	0	4.05	188.02	14.97	0.25	0	207.29	0	3.67	44.45	3.74	0.25	4.26	56.37

부록 표-52 각 Reach별 예측 T-P 발생 및 배출부하량(2010년도)

	T-P발생부하량(kg/일)							T-P배출부하량(kg/일)						
	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	발생합계	산업계	생활계	축산계	토지계	양식계	환경기초시설	배출합계
Headwater	0	0.26	4.39	1.20	0	0	5.85	0	0.22	0.26	0.30	0	0	0.78
Reach 1	0	2.53	201.83	8.94	1.03	0.19	214.50	0	2.26	9.80	2.23	1.03	0.09	15.41
Reach 2	0	0.50	25.88	1.95	0	0	18.34	0	0.43	1.18	0.49	0	0	2.10
Reach 3	2.04	9.89	48.21	5.75	0	0	65.90	0.60	1.39	2.70	1.44	0	0	6.14
Reach 4	1.16	2.64	46.08	3.46	0	0.57	53.91	0.08	0.08	0.57	0.87	0	0.05	1.65
Reach 5	0.09	5.40	222.23	17.51	0	0.15	245.37	0	4.36	14.64	4.38	0	0.09	23.48
Reach 6	0.07	5.43	96.20	19.29	0	0	120.98	0.04	4.67	6.19	4.82	0	0	15.71
Reach 7	0	1.78	69.54	5.15	0	0	76.47	0	1.53	3.97	1.29	0	0	6.79
Reach 8	0	4.00	276.26	7.67	0	0.27	288.20	0	2.92	18.03	1.92	0	0.14	23.01
Endwater	0	0.45	64.82	0.95	0.06	0	66.28	0	0.39	4.41	0.24	0.06	0.03	5.14

QUAL2E 模型을 利用한 小河川 管理方案 硏究

발간등록번호	74-6440071-000011-01
인 쇄	2005년 1월
발 행	2005년 1월
발 행 인	유 갑 봉
편 집 인	노 현 웅 · 고 장 석
발 행 처	충청남도보건환경연구원
	대전광역시 동구 가양2동 44-1
	http://www.cnheri.re.kr
	TEL (042) 622-8358
	FAX (042) 220-3396



忠清南道保健環境研究院

www.cnheri.re.kr