

Research on improving water reuse rate in Goyang
City 1: Focusing on sewage treatment water reuse

고양시 물 재이용률
향상을 위한 연구:
하수처리수 재이용수를
중심으로

임 지 열
오 나 경

Research on improving water reuse rate in Goyang City 1: Focusing on sewage treatment water reuse

고양시 물 재이용률 향상을 위한 연구: 하수처리수 재이용수를 중심으로

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시정책연구실, 부연구위원)

공동연구자

오나경(고양시정연구원, 도시정책연구실, 위촉연구원)

발행일 2022년 11월 30일

저자 임지열, 오나경

발행인 정원호

발행처 고양시정연구원

주소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

전화 031-8073-8341

홈페이지 www.gyri.re.kr

S N S <https://www.facebook.com/goyangre/>

I S B N 979-11-91726-82-4(93530)

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.
해당 보고서는 고양시서체를 사용하여 제작되었습니다.

목 차

요약	i
제1장 연구의 개요	1
제1절 연구 배경	3
제2절 연구 필요성	8
제2장 국내·외 연구 현황	9
제1절 국내 하수처리수 재이용 사례	11
제2절 국외 하수처리수 재이용 사례	21
제3장 연구 대상 지역 및 수질 현황	25
제1절 연구대상 지역	27
제2절 창릉천 수질 현황 분석	31
제4장 결과 분석	57
제1절 창릉천 오염 기여도 평가	59
제2절 하수처리장 영향 분석	120
제5장 결론	133
참고문헌	137

Abstract	139
----------------	-----

표 목차

[표 1-1] 한국판 뉴딜 정책 2.0 중 그린 뉴딜 분야 핵심 사업	3
[표 1-2] 하수처리수 재이용수의 대표적 용도 및 제한조건	6
[표 1-3] 세부 연구 내용 및 연구 방법	8
[표 2-1] 지산하수처리장 정화된 방류수	13
[표 2-2] 신천하수처리장 정화된 방류수	13
[표 3-1] 창릉천 수질 측정 지점	28
[표 3-2] 창릉천 Point 1의 수질 현황 (2017 ~ 2021)	32
[표 3-3] 창릉천 Point 2의 수질 현황 (2017 ~ 2021)	37
[표 3-4] 창릉천 Point 3의 수질 현황 (2017 ~ 2021)	42
[표 3-5] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)	47
[표 3-6] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)	52
[표 4-1] 하천 생활환경 기준	61
[표 4-2] 호소 생활환경 기준	62
[표 4-3] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)	64
[표 4-4] 창릉천 Point 1 오염기여도 (Level 3)	65
[표 4-5] 창릉천 Point 1 오염기여도 (Level 2)	70
[표 4-6] 창릉천 Point 2 오염기여도 (Level 3)	75
[표 4-7] 창릉천 Point 2 오염기여도 (Level 2)	80
[표 4-8] 창릉천 Point 3 오염기여도 (Level 3)	85
[표 4-9] 창릉천 Point 3 오염기여도 (Level 2)	90
[표 4-10] 창릉천 Point 4 오염기여도 (Level 3)	95

[표 4-11] 창릉천 Point 4 오염기여도 (Level 2)	100
[표 4-12] 창릉천 Point 5 오염기여도 (Level 3)	105
[표 4-13] 창릉천 Point 5 오염기여도 (Level 2)	110
[표 4-14] 부하지속곡선 내 유량 조건에 따른 오염기여도 예시	116
[표 4-15] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-1	117
[표 4-16] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-2	118
[표 4-17] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-3	119
[표 4-18] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-4	120
[표 4-19] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율	121
[표 4-20] 상류하천수 및 방류수 채수 날짜 별 강우	122
[표 4-21] 상류하천수 대비 하천하류수의 수질 농도 증가율	125
[표 4-22] 농도 증가율 평균	128
[표 4-23] 부하량을 기준으로 하수처리장 방류수 영향 분석	130
[표 4-24] 하수처리장 방류수 합류 이전 수질 분석	131
[표 4-25] 하수처리장 방류수 합류 이후 수질 분석	132
[표 5-1] 창릉천 수질에 대한 생활환경 등급	137
[표 5-2] 수질 농도 증가율	137

그림 목차

[그림 1-1] 제2차 물환경관리 기본계획의 체계	4
[그림 2-1] 포항시 하수처리수 재이용 시설	11
[그림 2-2] 대구광역시 지산하수처리장	12
[그림 2-3] 인천 종단면도	14
[그림 2-4] 인천유지용수 송수관로·수위유지보 설치현황	14
[그림 2-5] 대구광역시 인천하수처리장	14
[그림 2-6] 파주 하수재처리 이용시설	15
[그림 2-7] 파주 하수재처리 이용시설 위치	16
[그림 2-8] 오산시 하수처리수 재이용시설	17
[그림 2-9] 인천광역시 가좌하수처리장	18
[그림 2-10] 인천광역시 송도하수처리장	19
[그림 2-11] 부천시 굴포하수처리장	20
[그림 2-12] 오렌지 카운티 수처리 단지	22
[그림 2-13] OCWD,GGWR 시스템 공정도	22
[그림 2-14] 싱가포르의 NEWater 플랜트와 병입 NEWater	24
[그림 2-15] 싱가포르의 NEWater 시스템	24
[그림 3-1] 창릉천 수질 측정 지점	28
[그림 3-2] 삼송수질복원센터 수질 측정 지점	29
[그림 3-3] 삼송수질복원센터 수질 측정 지점	30
[그림 3-4] 창릉천 Point 1 세부 위치	31
[그림 3-5] 창릉천 Point1 BOD	33
[그림 3-6] 창릉천 Point 1 COD	33

[그림 3-7] 창릉천 Point 1 TOC	34
[그림 3-8] 창릉천 Point 1 SS	34
[그림 3-9] 창릉천 Point 1 TP	35
[그림 3-10] 창릉천 Point 1 TN	35
[그림 3-11] 창릉천 Point 2 세부 위치	36
[그림 3-12] 창릉천 Point 2 BOD	38
[그림 3-13] 창릉천 Point 2 COD	38
[그림 3-14] 창릉천 Point 2 TOC	39
[그림 3-15] 창릉천 Point 2 SS	39
[그림 3-16] 창릉천 Point 2 TP	40
[그림 3-17] 창릉천 Point 2 TN	40
[그림 3-18] 창릉천 Point 3 세부 위치	41
[그림 3-19] 창릉천 Point 3 BOD	43
[그림 3-20] 창릉천 Point 3 COD	43
[그림 3-21] 창릉천 Point 3 TOC	44
[그림 3-22] 창릉천 Point 3 SS	44
[그림 3-23] 창릉천 Point 3 TP	45
[그림 3-24] 창릉천 Point 3 TN	45
[그림 3-25] 창릉천 Point 4 세부 위치	46
[그림 3-26] 창릉천 Point 4 BOD	48
[그림 3-27] 창릉천 Point 4 COD	48
[그림 3-28] 창릉천 Point 4 TOC	49
[그림 3-29] 창릉천 Point 4 SS	49
[그림 3-30] 창릉천 Point 4 TP	50

[그림 3-31] 창릉천 Point 4 TN	50
[그림 3-32] 창릉천 Point 5 세부 위치	51
[그림 3-33] 창릉천 Point 5 BOD	53
[그림 3-34] 창릉천 Point 5 COD	53
[그림 3-35] 창릉천 Point 5 TOC	54
[그림 3-36] 창릉천 Point 5 SS	54
[그림 3-37] 창릉천 Point 5 TP	55
[그림 3-38] 창릉천 Point 5 TN	55
[그림 4-1] 창릉천 Point 1 BOD 부하지속곡선 (Level 3)	67
[그림 4-2] 창릉천 Point 1 COD 부하지속곡선 (Level 3)	67
[그림 4-3] 창릉천 Point 1 TOC 부하지속곡선 (Level 3)	68
[그림 4-4] 창릉천 Point 1 SS 부하지속곡선 (Level 3)	68
[그림 4-5] 창릉천 Point 1 TP 부하지속곡선 (Level 3)	69
[그림 4-6] 창릉천 Point 1 TN 부하지속곡선 (Level 3)	69
[그림 4-7] 창릉천 Point 1 BOD 부하지속곡선 (Level 2)	72
[그림 4-8] 창릉천 Point 1 COD 부하지속곡선 (Level 2)	72
[그림 4-9] 창릉천 Point 1 TOC 부하지속곡선 (Level 2)	73
[그림 4-10] 창릉천 Point 1 SS 부하지속곡선 (Level 2)	73
[그림 4-11] 창릉천 Point 1 TP 부하지속곡선 (Level 2)	74
[그림 4-12] 창릉천 Point 1 TN 부하지속곡선 (Level 2)	74
[그림 4-13] 창릉천 Point 2 BOD 부하지속곡선 (Level 3)	77
[그림 4-14] 창릉천 Point 2 COD 부하지속곡선 (Level 3)	77
[그림 4-15] 창릉천 Point 2 TOC 부하지속곡선 (Level 3)	78
[그림 4-16] 창릉천 Point 2 SS 부하지속곡선 (Level 3)	78

[그림 4-17] 창릉천 Point 2 TP 부하지속곡선 (Level 3)	79
[그림 4-18] 창릉천 Point 2 TN 부하지속곡선 (Level 3)	79
[그림 4-19] 창릉천 Point 2 BOD 부하지속곡선 (Level 2)	82
[그림 4-20] 창릉천 Point 2 COD 부하지속곡선 (Level 2)	82
[그림 4-21] 창릉천 Point 2 TOC 부하지속곡선 (Level 2)	83
[그림 4-22] 창릉천 Point 2 SS 부하지속곡선 (Level 2)	83
[그림 4-23] 창릉천 Point 2 TP 부하지속곡선 (Level 2)	84
[그림 4-24] 창릉천 Point 2 TN 부하지속곡선 (Level 2)	84
[그림 4-25] 창릉천 Point 3 BOD 부하지속곡선 (Level 3)	87
[그림 4-26] 창릉천 Point 3 COD 부하지속곡선 (Level 3)	87
[그림 4-27] 창릉천 Point 3 TOC 부하지속곡선 (Level 3)	88
[그림 4-28] 창릉천 Point 3 SS 부하지속곡선 (Level 3)	88
[그림 4-29] 창릉천 Point 3 TP 부하지속곡선 (Level 3)	89
[그림 4-30] 창릉천 Point 3 TN 부하지속곡선 (Level 3)	89
[그림 4-31] 창릉천 Point 3 BOD 부하지속곡선 (Level 2)	92
[그림 4-32] 창릉천 Point 3 부하지속곡선 (Level 2)	92
[그림 4-33] 창릉천 Point 3 TOC 부하지속곡선 (Level 2)	93
[그림 4-34] 창릉천 Point 3 SS 부하지속곡선 (Level 2)	93
[그림 4-35] 창릉천 Point 3 TP 부하지속곡선 (Level 2)	94
[그림 4-36] 창릉천 Point 3 TN 부하지속곡선 (Level 2)	94
[그림 4-37] 창릉천 Point 4 BOD 부하지속곡선 (Level 3)	97
[그림 4-38] 창릉천 Point 4 COD 부하지속곡선 (Level 3)	97
[그림 4-39] 창릉천 Point 4 TOC 부하지속곡선 (Level 3)	98
[그림 4-40] 창릉천 Point 4 SS 부하지속곡선 (Level 3)	98

[그림 4-41] 창릉천 Point 4 TP 부하지속곡선 (Level 3)	99
[그림 4-42] 창릉천 Point 4 TN 부하지속곡선 (Level 3)	99
[그림 4-43] 창릉천 Point 4 BOD 부하지속곡선 (Level 2)	102
[그림 4-44] 창릉천 Point 4 COD 부하지속곡선 (Level 2)	102
[그림 4-45] 창릉천 Point 4 TOC 부하지속곡선 (Level 2)	103
[그림 4-46] 창릉천 Point 4 SS 부하지속곡선 (Level 2)	103
[그림 4-47] 창릉천 Point 4 TP 부하지속곡선 (Level 2)	104
[그림 4-48] 창릉천 Point 4 TN 부하지속곡선 (Level 2)	104
[그림 4-49] 창릉천 Point 5 BOD 부하지속곡선 (Level 3)	107
[그림 4-50] 창릉천 Point 5 COD 부하지속곡선 (Level 3)	107
[그림 4-51] 창릉천 Point 5 TOC 부하지속곡선 (Level 3)	108
[그림 4-52] 창릉천 Point 5 SS 부하지속곡선 (Level 3)	108
[그림 4-53] 창릉천 Point 5 TP 부하지속곡선 (Level 3)	109
[그림 4-54] 창릉천 Point 5 TN 부하지속곡선 (Level 3)	109
[그림 4-55] 창릉천 Point 5 BOD 부하지속곡선 (Level 2)	112
[그림 4-56] 창릉천 Point 5 COD 부하지속곡선 (Level 2)	112
[그림 4-57] 창릉천 Point 5 TOC 부하지속곡선 (Level 2)	113
[그림 4-58] 창릉천 Point 5 SS 부하지속곡선 (Level 2)	113
[그림 4-59] 창릉천 Point 5 TP 부하지속곡선 (Level 2)	114
[그림 4-60] 창릉천 Point 5 TN 부하지속곡선 (Level 2)	114
[그림 4-61] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2022-03-30)	122
[그림 4-62] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-12-28)	123
[그림 4-63] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-09-14)	123
[그림 4-64] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-06-23)	124

[그림 4-65] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-03-10)	124
[그림 4-66] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2022-03-30)	126
[그림 4-67] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-12-28)	126
[그림 4-68] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-09-14)	127
[그림 4-69] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-06-23)	127
[그림 4-70] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-03-10)	128
[그림 4-71] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 평균	129
[그림 4-72] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 평균	129

요 약

1. 연구의 개요

□ 연구의 배경

- 탄소중립과 같은 환경과 관련된 정책은 그린뉴딜로 분류되어 있으며, 도시·공간·생활 인프라 녹색전환-깨끗하고 안전한 물 관리체계 구축'은 스마트 상수도, 스마트 하수도, 먹는물 관리, 기후위험 대응 등 물과 관련된 내용을 집중적으로 다루고 있음.

분류	개념
도시·공간·생활 인프라 녹색전환	국민생활과 밀접한 공공시설 제로에너지화
	국토·해양도시의 녹색 생태계 회복
	깨끗하고 안전한 물 관리체계 구축

- 2022년 환경부가 '제2차 물 재이용 기본계획'을 수립함에 따라 고양시도 '고양시 2차 물 재이용 관리계획' 수립을 준비 중임.
- 하수처리수 재이용은 일정한 유량과 수질을 확보하고 있어, 잠재적 이용가능성이 가장 높은 것으로 평가받고 있으며, 그 활용 방안에 대한 연구가 이루어지고 있는 실정.
- 친수용수, 하천유지용수, 습지용수는 수계에 방류 후 활용하는 간접 활용 방안으로 활용 이전 하수처리장 재이용수가 수계에 미치는 영향을 필수적으로 분석해야 함.

□ 연구의 목적

- 본 연구에서는 현 국내·외 사례 조사 및 전문가 자문을 기반으로 수질적 측면을 중심으로 ‘고양시의 물 재이용률 향상을 위한 하수처리장 재이용수 활용 방안’을 제안하고자 함. 이를 위해 물 재이용과 관련된 법, 조례와 사례 조사, 하수처리장 방류수와 하천 수질 특성 분석, 하천 수질 오염기여도와 방류수 활용 가능 범위 분석을 수행함.

2. 국내·외 연구 현황

□ 포항시

- 포항시 남구 상도동 형산강변에 위치한 하수처리수 재이용 시설은 농업용수 확보와 연중 안정적 대체 수자원 확보를 위해 국내 최대 규모로 준공되었음.. 추가 댐 건설 없이 기존 공업용수의 이용 비용과 유사한 수준의 비용으로 하수 재이용수 통한 공업용수의 확보가 가능함.
- 관련 문헌
-정윤석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전 방안. 저널 물 정책·경제

□ 대구광역시

- 대구광역시 수성구에 위치한 지산하수처리장은 지산범물택지지구와 두산동 등의 시가지 하수를 처리하고 신천 상류 용두보로 처리수를 방류하여 하천 유지용수로 사용하고 있음.
- 대구광역시 북구 서변동에 위치한 신천하수처리장은 대구에서 가장 큰 하수처리장이며 수성구와 달성군 가창지역의 하수를 담당함. 처리된 방류수를 하루에서 9.1km 떨어진 신천상류 상동교까지 하루 10만 m³씩 퍼올려 맑은 물을 공급하여 흐르게 함으로써 신천의 건천화를 방지하고 있음.

○ 관련 문헌

-대구광역시 홈페이지

□ 파주시

- 파주시는 금촌과 운정하수처리장에서 버려지는 방류수를 공업용수로 생산하는 하수재이용사업을 추진하였음. 이에 따라 수도권 최대 규모 시설의 파주 재이용시설을 준공하여 LG디스플레이 10조 원대 P10공장 증설에 따른 공업용수 부족 문제를 해소하였음.

○ 관련 문헌

-파주시 홈페이지

□ 오산시

- 경기도 오산시 오산동에 위치한 오산시 하수처리수 재이용시설은 2009년에 준공 후 지금까지 재처리수를 생산하고 있다. 생산된 재처리수는 누읍공업지역에 공급되고 있음. 미생물을 이용해 더러운 물을 분해하는 생물학적 처리방식의 하수종말처리장을 거치는 방식으로 정수됨.

○ 관련 연구

-오산시청 홈페이지

□ 인천광역시

- 인천광역시 서구에 위치한 가좌하수처리장은 35만 톤의 시설용량으로 방류수를 재처리하여 현대제철에 공급함. 정밀여과공정과 RO공정을 적용하였음.
- 인천광역시 송도에 위치한 송도 하수처리수 재이용 시설은 도시 최초로 하천용수를 재이용하였음. 송도하수처리수의 생활용수 재이용은 그동안 하천이나 바다에 그대로 버려지던 방류수를 재이용하기 위해 환경부가 시범사업 성격으로 추진함.

○ 관련 연구

- 문상연 외(2010), 송도2단계 공공하수처리시설 증설사업 기본설계(TK)
- 류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서

□ 부천시

- 부천시 대장동에 위치한 굴포하수처리장은 인천계양과 부평, 부천지역으로부터 유입된 생활하수 약 1일 90만 톤을 처리함. 포천 하수처리장 방류수를 재이용하여 수세식 화장실 용수, 조경용수, 공업용수, 살수용수, 시민의 강 유지용수로 사용함.
- 관련 연구

- 정윤석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전방안

□ 미국 캘리포니아

- 남부 오렌지카운티의 파운틴밸리시에 위치한 Water Factory 21은 하수처리장 방류수를 음용수로 재이용함. 지하수 보충 시스템을 이용하여 생수만큼의 수준으로 정화함.
- 관련 연구

- 류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서

□ 싱가포르 창이

- 창이에 있는 셈코프 NEWater 플랜트는 5,000만 갤런(22만 8000m³)의 NEWater를 생산할 수 있는 능력이 있음. NEWater는 싱가포르 물 수요의 30%가량을 차지함. NEWater는 대부분 산업용수로 사용되고 있으며 NEWater이라고 불리는 음용수 수질지표를 만족하는 고도의 처리수를 공급하고 있음.
- 관련 연구

- 유선아 외(2010). 취수원 없는 싱가포르, 물 자급자족도 가능해

3. 연구 대상 지역 및 현황

□ 창릉천 수질 측정 지점

- 고양시 창릉천은 고양시 덕양구 효자동에서 발원하여 한강으로 합류하며 약 22km의 지방하천으로 고양시 8개동(지축지구, 삼송지구, 3기 창릉 신도시 포함)에 거치는 하천임.
- 고양시 창릉천은 주변 토지 이용 현황과 특성에 따라 창릉천 내 5개 지점 장산교, 통일교, 삼송교, 제2화전교, 창릉교에서 환경 기초 조사가 실시되고 있음.

□ 삼송수질복원센터 수질 측정 지점

- 삼송수질복원센터를 기준으로 하여 창릉천에 Point 3과 Point 4를 주요 지점으로 수질을 분석하였음.
- 고양시의 중요 개발사업 시 친수 공간으로 활용가능한 대표적인 수자원으로 창릉천 건강한 환경조성과 수변 공원 조성의 필요성이 지속적으로 증가하고 있는 상황임.
- 이에 삼송수질복원센터는 대지주변이 녹지와 하천으로 둘러 쌓여있으며 지상에는 관리, 홍보시설과 함께 공원을 설치하여 지역주민 사용이 가능하게 하였으며, 지하에는 수질복원시설 설치함.

□ 창릉천 수질 현황

- 측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총인), TN(총질소)임.
- BOD, COD, TOC, SS, TP, TN의 최소값은 0.2, 1.1, 0.5, 0.1, 0.0, 0.3mg/L이었으며, 최대값은 11.0, 11.2, 9.2, 350.0, 0.37, 9.5mg/L이었음.

4. 결과 분석

□ 창릉천 오염 기여도 평가

- Point 1(장산교)과 Point 2(통일교)의 BOD는 최소값이 1등급, 최댓값이 3등급과 2등급이었고 COD의 최소값은 1등급, 최댓값은 3등급 및 4등급이었으며, TOC의 최소값은 1등급, 최댓값은 2등급과 3등급임. SS, TP, TN은 각각 1~5등급, 1~4등급, 2~6등급으로 동일한 수준임.
- Point 3(삼송교)의 BOD는 1~3등급이었으며 COD와 TOC는 1~4등급 수준임. TOC와 SS는 1~5등급이었으며, TP와 TN은 각각 1~5등급과 3~6등급임.
- Point 4(제2화전교)의 BOD, COD, TP는 1~5등급이었으며, TOC와 SS의 최소값은 1등급, 최댓값은 6등급과 4등급, TN은 최소값 및 최대값이 6등급임.
- Point 5(창릉교)의 BOD, COD, TP는 1~6등급이었으며, SS 및 TP는 1~4등급, TN은 최소값 및 최대값이 6등급임.

□ 하수처리장 영향 분석

- 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율을 비교하였을 때 BOD는 58% ~ 97%, TOC는 19% ~ 74%, SS는 75% ~ 84%, TN은 60% ~ 72%, TP는 66% ~ 72%, 대장균군은 68% ~ 98% 범위임.
- 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율을 비교하였을 때 BOD는 58% ~ 97%, TOC는 19% ~ 74%, SS는 75% ~ 84%, TN은 60% ~ 72%, TP는 66% ~ 72%, 대장균군은 68% ~ 98% 범위임.
- 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 78%, TOC는 58%, SS는 47%, TN은 65%, TP는 86%, 대장균군은 88%임. 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 47%, TOC는 29%, SS는 52%, TN은 40%, TP는 64%, 대장균군은 31%임.

제 1 장

연구의 개요

제1절 연구 배경

제2절 연구 필요성

제정 연구 배경

1. 한국판 뉴딜 정책

우리나라는 2021년 ‘2050 탄소중립’을 선언하였으며, 이를 위해 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(이하 탄소중립기본법) 제정을 통한 법적 근거를 마련하였다. 또한, 기후위기에 적극적으로 대응하기 위해 사회적 전반에 걸친 변화를 포함하고 있는 ‘한국판 뉴딜 정책’을 발표하였다. 2021년 ‘한국판 뉴딜 정책 2.0’은 국제 환경의 변화에 능동적 대응, 디지털과 그린 전환 가속화, 격차 해소와 안전망 확충 그리고 사람에 대한 투자에 중점을 두고 있다. 그중 탄소중립과 같은 환경과 관련된 정책은 그린뉴딜로 분류되어 있으며, 아래 표와 같이 정리할 수 있다. 그중 ‘도시·공간·생활 인프라 녹색 전환—깨끗하고 안전한 물 관리체계 구축’은 스마트 상수도, 스마트 하수도, 먹는물 관리, 기후위험 대응 등 물과 관련된 내용을 집중적으로 다루고 있다. 이처럼 물은 탄소 중립과 기후변화 대응에 대해서도 핵심적인 부분을 차지하고 있다고 볼 수 있다.

[표 1-1] 한국판 뉴딜 정책 2.0 중 그린 뉴딜 분야 핵심 사업

분류	개념
탄소중립 추진기반 구축	제도·전문인력 등 온실가스 감축기반 마련
	순환경제 활성화 및 탄소흡수원 확충
	전국민 탄소중립 인식 제고 및 기후변화 적응 지원
도시·공간·생활 인프라 녹색전환	국민생활과 밀접한 공공시설 제로에너지화
	국토·해양 도시의 녹색 생태계 회복
	깨끗하고 안전한 물 관리체계 구축
저탄소분산형 에너지 확산	에너지관리 효율화 지능형 스마트 그리드 구축
	신재생에너지 확산기반 구축 및 공정한 전환 지원
	전기차·수소차 등 그린 모빌리티 보급 확대
녹색산업 혁신 생태계 구축	녹색 선도 유망기업 육성 및 저탄소·녹색산업 조성
	신재생에너지 확산기반 구축 및 공정한 전환 지원
	연구개발(R&D)·금융 등 녹색혁신 기반 조성

2. 기후변화 대응을 위한 물 관리체계 구축

기후변화 대응을 위한 물 관리체계 구축 필요성이 강조되며, 물 재이용과 관련된 분야가 주목받고 있다. 특히 물 재이용을 위해 2011년 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」(이하 물 재이용법)을 제정하여 물 재이용을 확대하고 촉진하기 위한 노력을 기울이고 있다. 고양시도 2011년 ‘고양시 물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 조례’를 제정하고, 2016년 ‘고양시 물 재이용 관리계획’을 수립하는 등 물 재이용에 관한 적극적인 노력을 기울이고 있다. 그리고 2022년 환경부가 ‘제2차 물 재이용 기본계획’을 수립함에 따라 고양시도 ‘고양시 2차 물 재이용 관리계획’ 수립을 준비 중이다. 위에서 언급한 물 재이용은 버려지던 물을 인위적인 시스템을 통해 수자원으로 재이용하는 것을 의미한다. 즉 수자원 시스템 내부의 순환량을 증대시켜 수자원의 지속가능한 이용을 도모하는 것이라 할 수 있다. 이를 통해 수자원 측면에서는 수자원의 낭비를 최소화하여 효율적으로 이용가능하고, 환경적 측면에서는 물 재이용을 통해 수계 유입 오염부하량을 감소시켜 수계의 질적 안정성에도 기여할 수 있다.

[그림 1-1] 제2차 물환경관리 기본계획의 체계



3. 물 재이용

일반적인 물 재이용은 빗물과 중수도, 하수처리수 재이용수 세 가지로 분류 할 수 있다. 첫 번째, 빗물은 빗물을 용수로 활용하는 것으로, 일정 집수면적 이상을 확보한 지점(건물 등) 등에서 활용 가능하다. 두 번째, 중수도는 난분해성, 고분자 및 고농도 오염물질 함유가 적은 하수를 발생 지점(건물과 대규모 인프라 시설 등)에서 처리하여 발생 지점에서 재이용하는 것이다. 마지막 하수처리수 재이용수는 하수처리장 방류수와 합류식 하수도 월류수(Combined Sewer Overflow, CSO) 등을 추가 처리하여 용수로 활용하는 것이다. 그중 하수처리수 재이용은 일정한 유량과 수질을 확보하고 있어 잠재적 이용 가능성이 가장 높은 것으로 평가받고 있으며, 그 활용 방안과 관련한 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

하수처리수 재이용수는 일반적으로 장내 재이용과 장외 재이용으로 분류할 수 있다. 장내 재이용은 하수처리수 재이용수를 하수처리장에서 사용하는 것을 의미하며, 장외 재이용은 하수처리장 외부에서 사용하는 것을 의미한다. 하수처리수 재이용수를 인체 접촉과 음용이 가능한 수준으로 개선하여 활용하는 것은 경제적·사회적인 측면에서 실효성이 낮다. 따라서 장외 재이용 용도는 인체와 접촉을 허용하지 않는 수준의 도시재이용수와 조경용수, 친수용수, 하천유지용수, 농업용수, 습지용수, 지하수 충전, 공업용수 등 8가지 용도로 제안되고 있다. 그중 도시재이용수와 조경용수, 농업용수, 지하수 충전, 공업용수는 하수처리수 재이용수를 직접 활용하는 방안으로 분류할 수 있다. 친수용수와 하천유지용수, 습지용수는 수계에 방류 후 활용하는 간접 활용 방안으로 활용 이전 하수처리장 재이용수가 수계에 미치는 영향을 필수적으로 분석해야 한다. [표 1-2]는 재이용수의 대표적인 용도와 제한 조건을 정리하였다.

[표 1-2] 하수처리수 재이용수의 대표적 용도 및 제한조건

구분	대표적 용도	제한조건
도시 재이용수	<ul style="list-style-type: none"> ① 주거지역 건물외부 청소 ② 도로 세척 및 살수 ③ 기타 일반적 시설물 등의 세척 ④ 화장실 세척용수 ⑤ 건물내부의 비음용, 인체 비접촉 세척용수 	<ul style="list-style-type: none"> • 도시지역 내 일반적인 오물, 합잡물의 청소 용도로 사용하며 다량의 청소용수 사용으로 직접적 건강상의 위해가능성이 없는 경우 • 비데 등을 통한 인체 접촉 시와 건물 내 비음용·비접촉 세척 시에는 잔류물 등에 의한 위생상 문제가 없도록 처리하여야 함
조경 용수	<ul style="list-style-type: none"> ① 도시 가로수 등의 관개용수 ② 골프장, 체육시설의 잔디 관개용수 	<ul style="list-style-type: none"> • 주거지역 녹지에 대한 관개용수로 공급하는 경우로 식물의 생육에 큰 위해를 주지 않는 수준이어야 함
친수 용수	<ul style="list-style-type: none"> ① 도시 및 주거지역에 인공적으로 건설되는 수변 친수지역의 수량 공급 ② 기존 수변지구의 수량 증대를 통하여 수변 식물의 성장을 촉진시키기 위하여 보충 공급 ③ 기존 하천 및 저수지 등의 수질 향상을 통하여 수변휴양(물놀이 등) 기능을 향상시킬 목적으로 보충 공급되는 용수 	<ul style="list-style-type: none"> • 재이용수를 인공건설된 친수시설의 용수로 전량 사용하는 경우, 친수 용도에 따라 재이용수 수질의 강화 여부를 결정. • 일반 친수목적의 보충수는 기존 수계 수질을 유지 혹은 향상시킬 수 있어야 하며 목적에 따라 재이용수의 처리정도를 강화할 수도 있음
하천 유지 용수	<ul style="list-style-type: none"> ① 하천의 유지수량을 확보하기 위한 목적으로 공급되는 용수 ② 저수지, 소류지 등의 저류량을 확대하기 위한 목적으로 공급 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 유지용수 유량 증대가 주된 목적이므로 수계의 자정(自淨)용량을 고려하여 재이용수의 수질을 강화시킬 수 있음
농업 용수	<ul style="list-style-type: none"> ① 비식용 작물의 관개를 위하여 전량 또는 부분 공급하는 용도 ② 식용농작물 관개용수의 수량 보충용으로 인체 비유해성이 검증된 경우 • 직접식용은 조리하지 않고 날것으로 먹을 수 있는 작물 • 간접식용은 조리를 하거나 일정한 가공을 거친 후에 식용할 수 있는 작물 	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 농업용수 수질을 만족하여야 하나, 관개용수의 유량 보충시농업용수 수질이상 및 기존 수질보다 항상 가능하도록 처리하여야 함

<p>습지 용수</p>	<p>① 고립된 소규모 습지에 대한 수원으로 사용하는 경우 ② 하천유역의 대규모 습지에 대한 주된 수원으로 공급하는 경우</p>	<p>• 습지의 미묘한 생태계에 악영향을 미치지 않도록 영양소 등의 제거와 생태영향 평가를 거쳐 공급하여야 함</p>
<p>지하수 충전</p>	<p>① 지하수 함양을 통한 지하수위 상승 목적 ② 지하수자원의 보충용도</p>	<p>• 지하수계의 오염물질 분해제거율과 축적가능성을 평가하여 영향이 없도록 공급하여야 함</p>
<p>공업 용수</p>	<p>① 냉각용수 ② 보일러 용수 ③ 공장내부 공정수 및 일반용수 ④ 기타 각 산업체 및 공장의 용도</p>	<p>• 일반적인 수질기준은 설정하되 공업용수는 기본적으로 사용자의 요구수질에 맞추어 처리하여야 하므로 산업체 혹은 세부적인 용도에 따른 수질 기준은 지정하지 않음</p>

<출처> 환경부 웹사이트(me.go.kr)

제2절 연구의 필요성

본 연구의 최종 목적은 수질적 측면을 중심으로 ‘고양시의 물 재이용률 향상을 위한 하수처리장 재이용수 활용 방안’을 제안하는 것이다.

본 연구의 핵심 연구 목적은 물 재이용과 관련된 법, 조례와 사례 조사, 하수처리장 방류수와 하천 수질 특성 분석, 하천 수질 오염기여도와 방류수 활용 가능 범위 분석 그리고 고양시의 물 재이용률 향상을 위한 하수처리장 재이용수 활용 방안을 제안하는 것이다. 이를 위한 세부 연구 내용과 연구 방법은 아래 [표 1-3]에 정리하였다.

[표 1-3] 세부 연구 내용 및 연구 방법

연구 내용	연구 방법
물 재이용 관련 법, 조례 및 사례 조사 (고양시 포함)	- 문헌 조사
국내외 하수처리장 방류수 재이용 현황 조사	- 문헌 조사
고양시 하수처리장 운영 현황 조사	- 문헌 및 현장 조사
고양시 수계(지방하천) 현황 조사	- 문헌 및 현장 조사
연구 대상 시설 및 지점 선정	- 문헌 및 현장 조사
하수처리장 방류수 및 하천 수질 특성 분석	- 샘플링 - 샘플 분석 (BOD, COD, TOC, SS, TN, TP 및 미세플라스틱) - 데이터 분석 (하수처리장 협조) - 전문가 자문
하천 수질 오염기여도 분석	- 데이터 분석 - 전문가 자문
방류수 활용 가능 범위 분석	- 데이터 분석 - 전문가 자문

제 2 장

국내·외 연구 현황

제1절 국내 하수처리수 재이용 사례

제2절 해외 하수처리수 재이용 사례

제절 국내 하수처리수 재이용 사례

1) 포항시¹⁾

포항시 남구 상도동 형산강변에 위치한 하수처리수 재이용 시설은 농업용수 확보와 연중 안정적 대체 수자원 확보를 위해 국내 최대 규모로 2014년 3월부터 준공되어 운영하고 있다. 포항시의 하수처리수 재이용 시설은 포항공공하수처리시설에서 처리해 형산강으로 흘러 보내는 방류수 20만 톤 중 약 13만 톤을 유입시켜 농업용수 10만 톤을 생산하는 시설이다. 시설은 민간투자사업(BTO)으로 사업시행자인 (주)피워터스(P-WATERS)사가 민간사업비를 투자하고 건설해 2034년 7월까지 운영하도록 포항시와 실시협약을 체결하였다.

[그림 2-1] 포항시 하수처리수 재이용 시설



¹⁾ 정운석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전 방안. 저널 물 정책경제

포항시의 급수원은 원거리에 있는 안동 인하댐으로 추가 공업용수가 필요할 때 상당한 비용의 추가 관거공사를 하거나 추가 댐을 건설해야 했다. 그러나 추가 댐 건설 없이 기존 공업용수의 이용 비용과 유사한 수준의 비용으로 하수 재이용수 통한 공업용수의 확보가 가능하다.

2) 대구광역시²⁾

대구광역시 수성구에 위치한 지산하수처리장은 지산범물택지지구와 두산동 등의 시가지 하수를 처리하고 신천 상류 용두보로 처리수를 방류하여 하천 유지용수로 사용하고 있다. 하수처리시설은 지하화하고 있으며 하수처리장 상부에는 산책로, 배드민턴장, 잔디광장, 농구장, 테니스장 등 주민편의시설을 설치하여 친화 공간으로 조성하였다. 또한 주변의 수성유원지와 조화롭게 조성함으로써 친환경적인 시민의 휴식공간으로 활용할 수 있다.

[그림 2-2] 대구광역시 지산하수처리장



²⁾ 대구광역시 홈페이지(https://www.daegu.go.kr/env/index.do?menu_id=00001286)

대구광역시 북구 서변동에 위치한 신천하수처리장은 대구에서 가장 큰 하수처리장이며 수성구와 달성군 가창지역의 하수를 담당한다. 신천은 오수와 우수의 분리로 건전화된 하천이었다. 1997년 준공된 신천하수처리장(사업비 121억 원)에서 처리된 방류수를 하루에서 9.1km 떨어진 신천상류 상동교까지 하루 10만 m³씩 퍼올려 맑은 물을 공급하여 흐르게 함으로써 신천의 건천화를 방지하고 있다. 또한 2002년 준공된 지산하수처리장(사업비 17억 원)에서 처리된 방류수를 가창교 하류 용두보에 하루 4만 5,000m³씩 방류하였다.

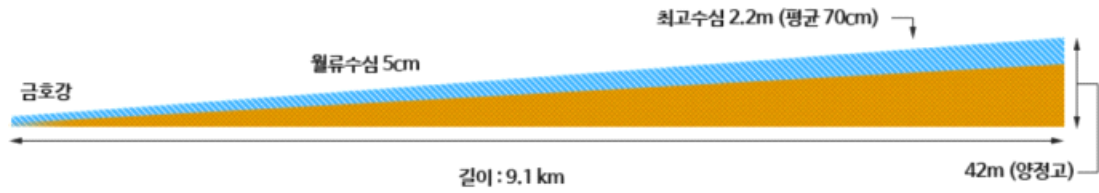
[표 2-1] 지산하수처리장 정화된 방류수

연구 내용	연구 방법
구간	지산하수처리장(펌핑)~신천용두보(방류)~신천하류~금호강
규모	관로 2.8km, 방류량 4만 5000m ³ , 저수로 폭 50~80m
사업비	17억 원
사업기간	'96.6.17 ~ 2002.6.15

[표 2-2] 신천하수처리장 정화된 방류수

연구 내용	연구 방법
구간	신천하수처리장(펌핑)~신천 상동교(방류)~신천하류~금호강
규모	관로 9.1km, 방류량 10만 m ³ , 보14개소, 저수로 폭 50~80m, 평균수심깊이 70cm
사업비	121억 원
사업기간	'95.7.6 ~ '97.6.12

[그림 2-3] 신천 종단면도



[그림 2-4] 신천유지용수 송수관로·수위유지보 설치현황



[그림 2-5] 대구광역시 신천하수처리장



3) 파주시³⁾⁴⁾

파주시는 금촌과 운정하수처리장에서 버려지는 방류수를 공업용수로 생산하는 하수재이용사업을 추진하였다. 이에 따라 수도권 최대 규모 시설의 파주 재이용시설을 준공하여 LG디스플레이 10조 원대 P10공장 증설에 따른 공업용수 부족 문제를 해소하였다. 파주 하수재이용시설은 금촌공공하수처리시설 부지 내에 들어섰으며 대지면적 5,501m² 건축 연면적 5,555m², 지상 2층, 지하 2층 규모이다. 또한 이송관로 13.4km를 설치했으며 전처리분리막과 역삼투설비 등 첨단 수처리 설비의 시설용량은 4만 톤 규모로 수도권 최대 규모이다. 공급 단가는 한국수자원공사에서 공급받는 기존 원수(수돗물)보다 10%가량 저렴한 공급단가로 제공한다. 민간투자사업(BTO)으로 시설소유권은 파주시로 귀속되어있으며, 사업시행자인 통파주그린허브가 20년간 운영하고 이후 파주시로 인계한다.

[그림 2-6] 파주 하수재처리 이용시설



<출처> 파주시 홈페이지(<https://www.paju.go.kr>)

3) 파주시 홈페이지(<https://www.paju.go.kr>)

4) 기호일보(<http://www.kihoilbo.co.kr>)

[그림 2-7] 파주 하수재처리 이용시설 위치



<출처> 서울일보(www.seoulilbo.com/news/articleView.html?idxno=163884)

4) 오산시⁵⁾

경기도 오산시 오산동에 위치한 오산시 하수처리수 재이용시설은 2009년에 준공 후 지금까지 재처리수를 생산하고 있다. 생산된 재처리수는 누읍공업지역에 LG이노텍, 대림제지, 한솔아트원, 한국수출포장 등에 공급되고 있으며, 연간 유입수량은 총 5,132,684m³ 수준이었다. 오산시 재이용시설의 처리는 응집반응, DDF(디스크드럼필터), V-filter(와류형여과), RO(역삼투설비) 등을 통하여 처리된다. 미생물을 이용해 더러운 물을 분해하는 생물학적 처리방식의 하수종말처리장을 거쳐 화학적·물리적 처리방식의 정수과정을 한 단계 더 거치는 방식으로 하루 12,000톤의 하수를 상수 수준의 청정도를 갖춘 맑은 물로 정수한다. 기업들에게 상수돛물에 비해 저렴한 가격에 공업용수 제공하고, 2015년 기준 일평균 약 6,000톤의 공업용수를 생산·공급해 연간 12억 5,000만원의 기업운영비를 절감하였다.

[그림 2-8] 오산시 하수처리수 재이용시설



<출처> 오산시청 홈페이지(www.osan.go.kr)

⁵⁾오산시(2022), 하수처리수 재이용시설 운영 성과평가

5) 인천광역시⁶⁾⁷⁾

인천광역시 서구에 위치한 가좌하수처리장은 35만 톤의 시설용량으로 방류수를 재처리하여 현대제철에 공급한다. 재이용 시설규모는 1단계 처리장 19만 톤/일 중 1.686만 톤(최대 1.96만 톤/일)을 재이용하고 있다. 시설은 취수설비, 압송관로, 마이크로필터, RO(역삼투설비), 소독시설, 송수관로 등 3.8km로 이루어져 있으며 정밀여과공정과 RO 공정을 적용하였다.

[그림 2-9] 인천광역시 가좌하수처리장



<출처> 머니투데이(<https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2007122511041477960>)

인천광역시 송도에 위치한 송도 하수처리수 재이용 시설은 도시 최초로 하천용수를 재이용하였다. 하수처리수 재이용 용도는 하천유지용수가 40%, 세척수가 23%, 장내 기 타용수가 14%, 냉각수가 7%, 공업용수가 6.9%, 농업용수가 6%, 청소수가 4%, 희석용수가 2%였다. 송도하수처리수의 생활용수 재이용은 그동안 하천이나 바다에 그대로 버려지던 방류수를 재이용하기 위해 환경부가 시범사업 성격으로 추진하였다. 방류수를 유입해 모래여과지, 활성탄여과지, 저류지를 통과시킨 후 소독으로 마무리하고 조경용수, 세정용수, 생활용수, 청소용수의 공급관로로 공급하였다. 하수처리장 처리수는 연간 64

⁶⁾류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서

⁷⁾워터저널(<http://www.waterindustry.co.kr/data/data06.php?ptype=view&code=data06&idx=9363>)

억 톤으로, 재이용수량은 처리수의 7.7%인 4억9천 톤이 활용되었다. 그중 처리장 외 재이용은 2억 5,000톤으로 50.1%를 차지하였으며 처리장 내 재이용은 2억 4,000톤으로 49.9%를 차지하였다.

[그림 2-10] 인천광역시 송도하수처리장



<출처> 문상연 외(2010), 송도2단계 공공하수처리시설 증설사업 기본설계(TK)

6) 부천시⁸⁾

부천시 대장동에 위치한 굴포하수처리장은 1995년 준공되어 인천계양과 부평, 부천 지역으로부터 유입된 생활하수 약 1일 90만 톤을 처리한다. 굴포천 하수처리장 방류수를 재이용하여 수세식 화장실 용수, 조경용수, 공업용수, 살수용수, 시민의 강 유지용수로 사용한다. 현재 22,000톤/일을 시민의 강 유지용수로 공급하고 있으며, 3,000톤/일을 공업용수로 6개의 업체에 공급한다. 2001년부터 2004년까지 사업기간 동안 총 208억 원의 사업비가 소요되었으며, 하수처리장의 2차 침전수를 원수로 입상 생물막 여과막 공법과 UV소독공정으로 처리하고 있다.

[그림 2-11] 부천시 굴포하수처리장



<출처> 부천일보(http://www.mypuchon.com/mob/news.html?news_num=12158)

⁸⁾정운석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전방안

제절 국외 하수처리수 재이용 사례

1) 미국 캘리포니아⁹⁾¹⁰⁾

미국 캘리포니아(California) 남부 오렌지카운티(Orange County)의 파운틴밸리시(Fountain Valley)에 위치한 Water Factory 21은 하수처리장 방류수를 음용수로 재이용한다. 오렌지카운티는 지표수가 없어 콜로라도 강에서 물을 끌어와야 하기 때문에 높은 운송비용을 야기한다. 이로 인해 이른 시기인 1976년부터 하수 재이용이 경제적으로 경쟁력을 갖게 되었다.

막여과를 통한 1차 처리 이후 고도산화 방법을 이용하는데 일반적으로 고도산화는 자외선(UV), 자외선과 오존(O₃), 과산화수소(H₂O₂), 오존과 과산화수소를 사용한다. 2차 처리 하수장 OCSD(Orange County Sanitation District)에서 나오는 방류수를 지하수 보충 시스템(Ground Water Refreshment)이 도입된 OCWD(Orange County Water District)에서 재처리한다. [그림 2-16]의 OCSD는 2차 처리하는 하수처리장으로 OCWD는 OCSD에서 나오는 방류수를 재처리한다. OCWD를 거쳐 고도처리된 물의 일부는 펌핑 스테이션(Pumping Station)을 통해 상류로 옮겨져 산타애나강(Santa Ana River)을 통해 흘러 내려오고, 일부는 해수의 침투를 막기 위한 지하수 충전용으로 사용한다. 지하수 보충 시스템(GWR)은 이와 같이 OCSD에서 고도 처리된 2차 처리수를 이용하고, 이를 주와 연방 음용수 기준을 충족시키는 수준인 시판되는 생수만큼의 수준으로 정화한다.

9) 류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서

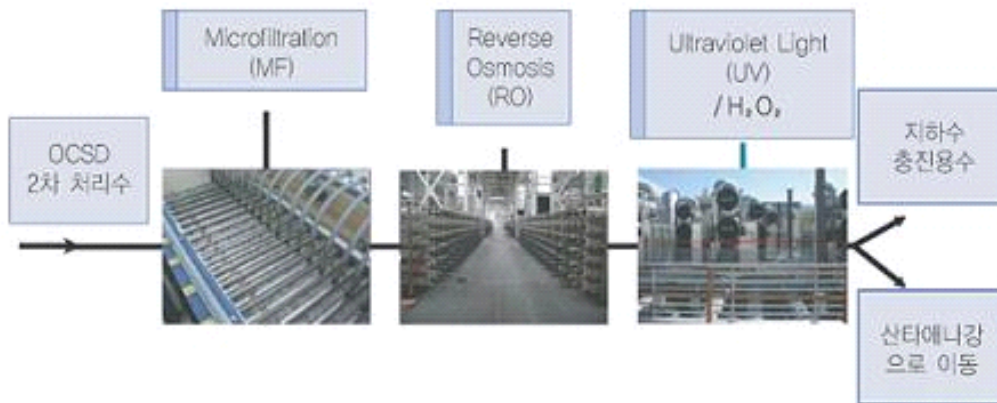
10) 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)

[그림 2-12] 오렌지 카운티 수처리 단지



<출처> 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)

[그림 2-13] OCWD,GGWR 시스템 공정도



<출처> 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)

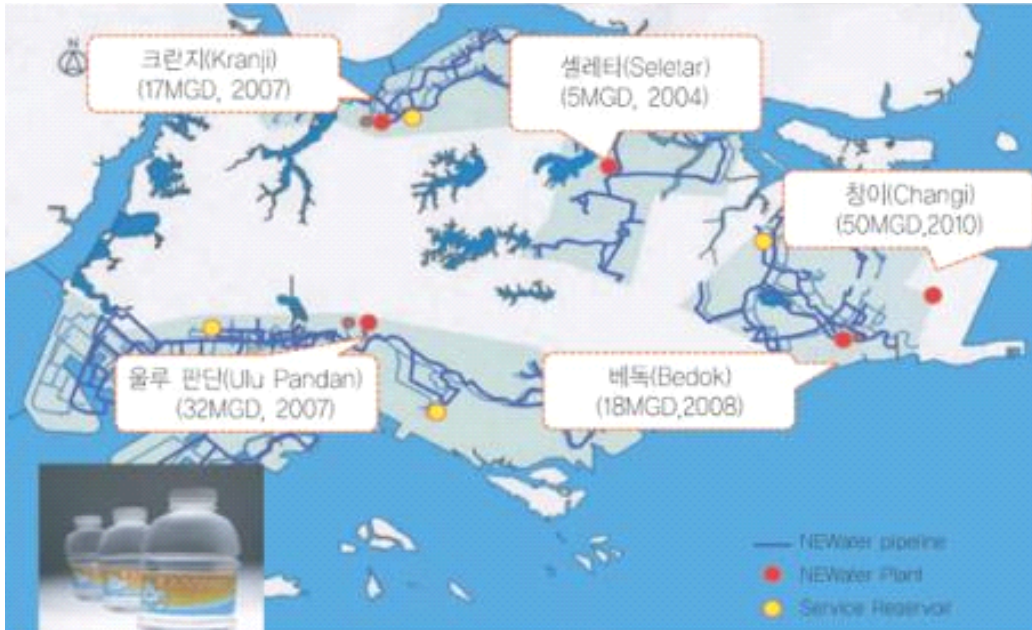
2) 싱가포르¹¹⁾¹²⁾

싱가포르 창이(Changi)에 있는 셈코프(Sembcorp) NEWater 플랜트는 5,000만 갤런(22만 8000m³)의 NEWater를 생산할 수 있는 능력을 지녔다. [그림 2-18]에 나타낸 바와 같이 셈코프 뉴워터 플랜트와 울루 판단(Ulu Pandan), 크란지(Kranji), 셀레타르(Seletar), 베독(Bedok)에 있는 플랜트 포함해 싱가포르에는 총 5개의 NEWater 플랜트가 있으며, 현재 이들 플랜트에서 생산되는 NEWater는 싱가포르 물 수요의 30%가량을 차지한다. NEWater는 대부분 산업용수로 사용되고 있으며 NEWater이라고 불리는 음용수 수질지표를 만족하는 고도의 처리수를 공급하고 있다. 싱가포르의 NEWater 시스템은 근본적으로 GWR 시스템과 똑같은 방식이다. MF공정, RO공정 그리고 고도산화를 거쳐 나오는 물을 저수지에 저류해서 지표수 등으로 이용하고, 각종 지표수와 섞인 처리수는 다시 취수해서 정수과정을 통해 공급한다([그림 2-19]). 2003년 20개사에서 일일 400만 갤런을 사용하던 NEWater 사용량은 7년 동안 기하급수적으로 늘어나 현재 360개사 이상에서 일일 6,000만 갤런을 사용한다. 현재 생산되는 NEWater의 2%만이 저수지 물과 혼합돼 처리를 거친 후 음용수 등 생활용수로 사용되나 점차 생활용수로 사용되는 NEWater 규모는 늘어날 전망이다. 2011년 이후에는 싱가포르 내에서 생활용수로 사용되는 NEWater의 규모가 연 1,000만 갤런 정도 늘어날 것이다. 고축동 선임장관에 따르면 싱가포르에서는 2020년까지 NEWater를 통해 싱가포르 물 수요의 40%를 충당하고자 하며, 이를 위해 싱가포르의 현재 NEWater 생산능력에 일일 7,500만 갤런 생산능력을 추가하는 등 NEWater 생산능력을 지속 확대해 나갈 예정이다. 2003년 2월 이래로 9,000m³/d의 NEWater가 저수지로 충전되었고, 음용수로 공급하기 위해서 관망 시스템으로 들어가기 전에 수처리 시설에서 재처리한다. 간접적 음용수를 위한 처리수의 양은 연간 4,500m³/d(1.2MGD)에서 2011년에는 45,000m³/d(12MGD)로 점차적으로 증가하였다. NEWater 생산 비용은 해수를 담수화하는 데 드는 비용의 절반이 드는 것으로 평가되었다.

11) 류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서

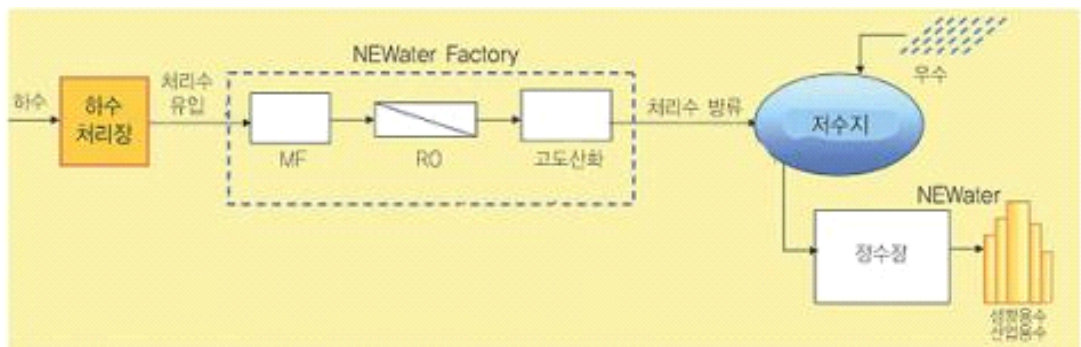
12) 유선아 외(2010). [녹색산업기술] 취수원 없는 싱가포르, 물 자급자족도 가능해

[그림 2-14] 싱가포르의 NEWater 플랜트와 병입 NEWater



<출처> 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)

[그림 2-15] 싱가포르의 NEWater 시스템



<출처> 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)

제 3 장

연구 대상 지역 및 현황

제1절 연구 대상 지역

제2절 창릉천 수질 현황

제절 연구 대상 지역

1. 창릉천 수질 측정 지점

고양시 창릉천은 고양시 덕양구 효자동에서 발원하여 한강으로 합류하며 약 22km의 지방하천으로 고양시 8개동(지축지구, 삼송지구, 3기 창릉 신도시 포함)에 걸쳐 주거 환경에 지대한 영향을 미치는 고양시 내 중요 하천이다. 고양시 창릉천은 주변 토지 이용 현황과 특성에 따라 [그림 3-2]와 같이 창릉천 내 5개 지점에서 환경 기초 조사(유량과 수질)가 실시되고 있다. Point 1은 창릉천 상류 지역으로 자연녹지지역으로 분류할 수 있으며, 장산교에서 기초 조사가 이루어지고 있다. Point 2와 Point 3은 개발된 주거지역으로 통일교와 삼송교에서 기초 조사가 이루어지고 있다. 4구간은 창릉 3기 신도시 개발 지역으로 기초 조사 지점은 제2화전교이며, 마지막 5구간은 창릉천 하류인 한강 접경 지역으로 창릉교에서 기초 조사가 이루어지고 있다.

[표 3-1]에서는 2021년 기준 창릉천 내에서 정기적 유량 및 수질 조사를 실시하고 있는 지점 현황을 정리하였다. 유량의 경우, Point 1(장산교)와 Point 2(통일교)지점에서 측정이 이루어지고 있다. 유량이 측정되지 않은 Point 3(삼송교)은 Point 2(통일교) 이후 추가적으로 유입되는 하천수와 방류수가 없으므로 Point 2지점과 동일한 유량을 사용하였다. 또한 유량이 측정되지 않은 Point 4(제2화전교)와 Point 5(창릉교)지점의 경우 Point 3 이후 삼송수질복원센터의 지하에 하수처리시설이 있어 Point 2지점과 동일한 유량에 하수처리시설에서 배출되는 방류수를 합한 값을 사용하였다. 수질의 경우 장산교와 통일교 지점에서는 월 1회, 삼송교와 제2화전교, 창릉교에서는 월 2~4회 수질 조사가 이루어지고 있다. 수질 분석 항목은 일반적인 수질오염 항목과 총대장균군수, 중금속, 폐놀류 등의 분석을 실시하고 있다.

[그림 3-1] 창릉천 수질 측정 지점



[표 3-1] 창릉천 수질 측정 지점

측정종류	Point 1 (장산교)	Point 2 (통일교)	Point 3 (삼송교)	Point 4 (제2화전교)	Point 5 (창릉교)
유량	○	○	Point 2	Point 2 + 방류수	Point 2 + 방류수
BOD	○	○	○	○	○
COD	○	○	○	○	○
TOC	○	○	○	○	○
SS	○	○	○	○	○
TP	○	○	○	○	○
TN	○	○	○	○	○
관리기관	한강유역환경청	한강유역환경청	경기도	경기도	경기도

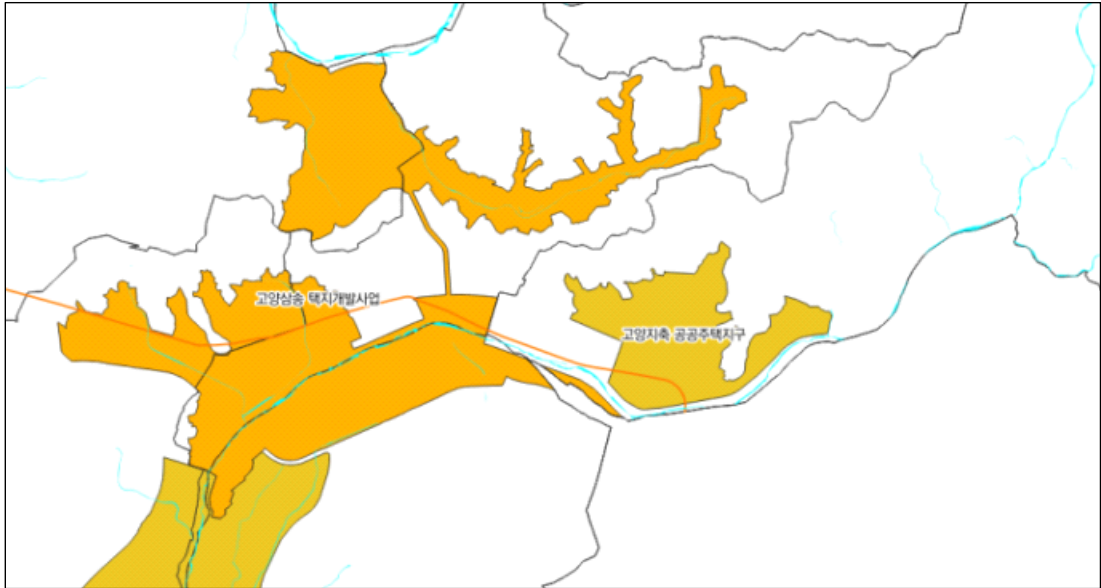
2. 삼송수질복원센터 수질 측정 지점

경기 고양시 덕양구 고양대로 1804-30(동산동)에 위치한 삼송수질복원센터를 기준으로 하여 [그림 3-2]에 나타난 바와 같이 창릉천에 Point 3과 Point 4를 주요 지점으로 수질을 분석하였다. 삼송수질복원센터의 시설용량은 3만 2,000m³/일이며, 위치는 주거지역 삼송동, 효자동, 창릉동과 접하고 있다. [그림 3-3]과 같이 고양삼송택지개발사업, 고양지축공공주택사업 등에 따라 인구가 급격하게 증가하여 고양삼송지구 택지개발 이후 22,000세대가 넘는 주거시설에서 배출되는 생활하수를 처리하기 위해 수질복원센터가 계획되었다. 고양원흥 공공주택지구와 3기 신도시인 창릉신도시도 인접해있어 지속적인 인구 증가가 예상된다. 고양시의 중요 개발사업 시 친수 공간으로 활용가능한 대표적인 수자원으로 창릉천 건강한 환경조성과 수변 공원 조성의 필요성이 지속적으로 증가하고 있는 상황이다. 이에 삼송수질복원센터는 대지주변이 녹지와 하천으로 둘러 쌓여 있으며 지상에는 관리, 홍보시설과 함께 공원을 설치하여 지역주민이 사용 가능하게 하였으며, 지하에는 수질복원시설 설치하였다.

[그림 3-2] 삼송수질복원센터 수질 측정 지점



[그림 3-3] 삼송수질복원센터 수질 측정 지점



제절 창릉천 수질 현황

1. Point 1(장산교)의 수질 현황

기초 환경 조사를 실시하고 있는 지점인 고양시 덕양구 효자동에 위치한 장산교를 Point 1로 설정하여 수질을 측정하였다. [그림 3-4]에는 Point 1의 측정위치를 지도에 나타내었다.

[그림 3-4] 창릉천 Point 1 세부 위치



측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총 인), TN(총질소)으로 측정값은 [표 3-2]에 나타내었다. 또한 측정항목에 대한 각각의 그래프는 [그림 3-5]~[그림 3-10]에 나타내었다.

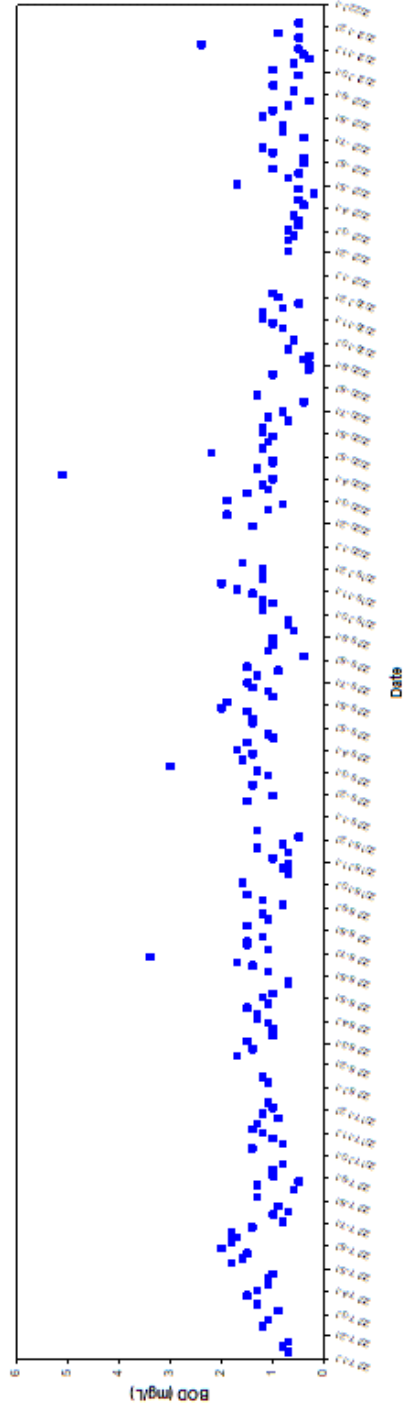
Point 1 지점의 BOD는 최소 0.2mg/L에서 최대 5.1mg/L의 수준이었으며, 평균 1.1mg/L 수준이었다. COD는 최소 1.3mg/L에서 최대 6.6mg/L의 수준으로 평균 2.9mg/L이었으며, TOC는 최소 0.5mg/L에서 최대 3.7mg/L의 수준으로 평균 1.5mg/L이

었다. Point 1의 SS는 최소 0.1mg/L에서 최대 184.0mg/L의 수준이었으며, 평균 4.2mg/L 수준이었다. TP는 최소 0.0mg/L에서 최대 0.3mg/L의 수준으로 평균 0.06mg/L이었으며, TN은 최소 0.3mg/L에서 최대 4.9mg/L의 수준으로 평균 2.2mg/L이었다.

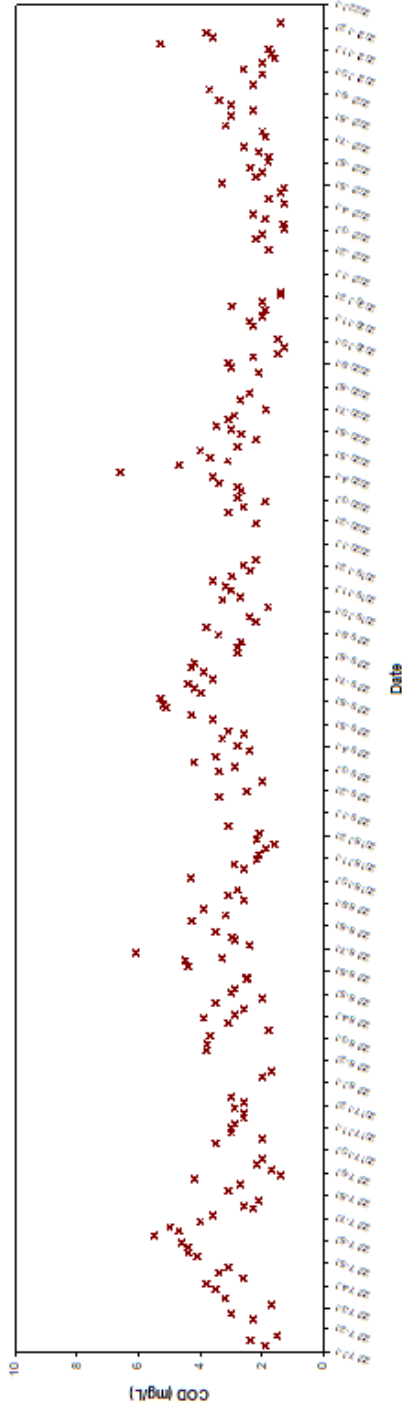
[표 3-2] 창릉천 Point 1의 수질 현황 (2017 ~ 2021)

위치	BOD	COD	TOC	SS	TP	TN
Point 1 (장산교)	0.2 ~ 5.1 mg/L (1.1 mg/L)	1.3 ~ 6.6 mg/L (2.9 mg/L)	0.5 ~ 3.7 mg/L (1.5 mg/L)	0.1 ~ 184.0 mg/L (4.2 mg/L)	0.00 ~ 0.28 mg/L (0.06 mg/L)	0.3 ~ 4.9 mg/L (2.2 mg/L)

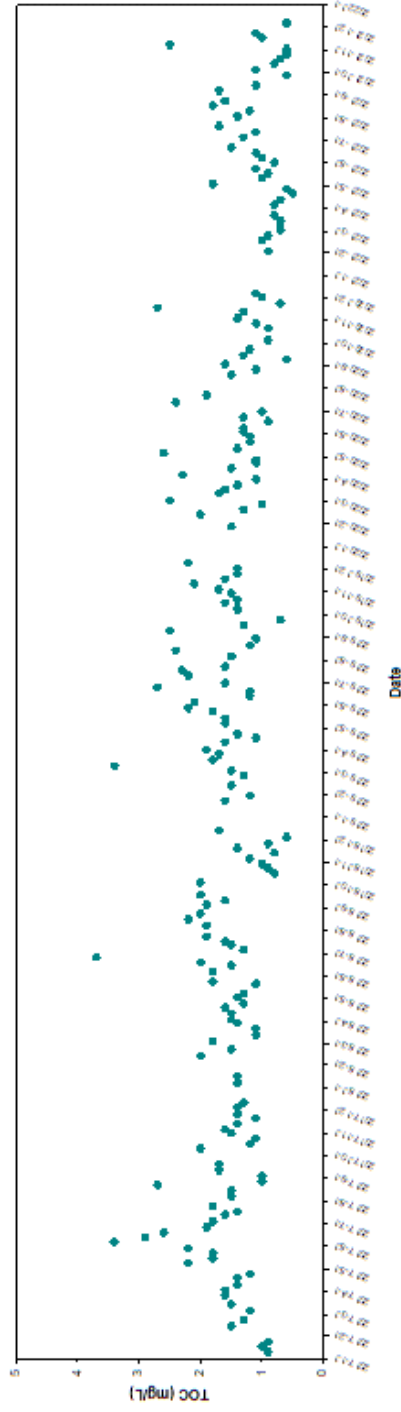
[그림 3-5] 창릉천 Point1 BOD



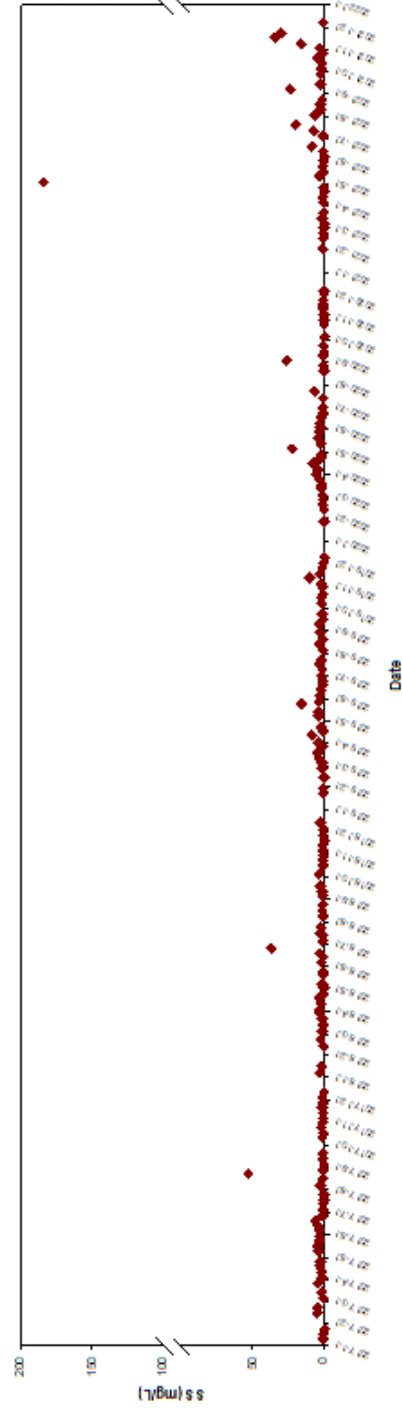
[그림 3-6] 창릉천 Point 1 COD



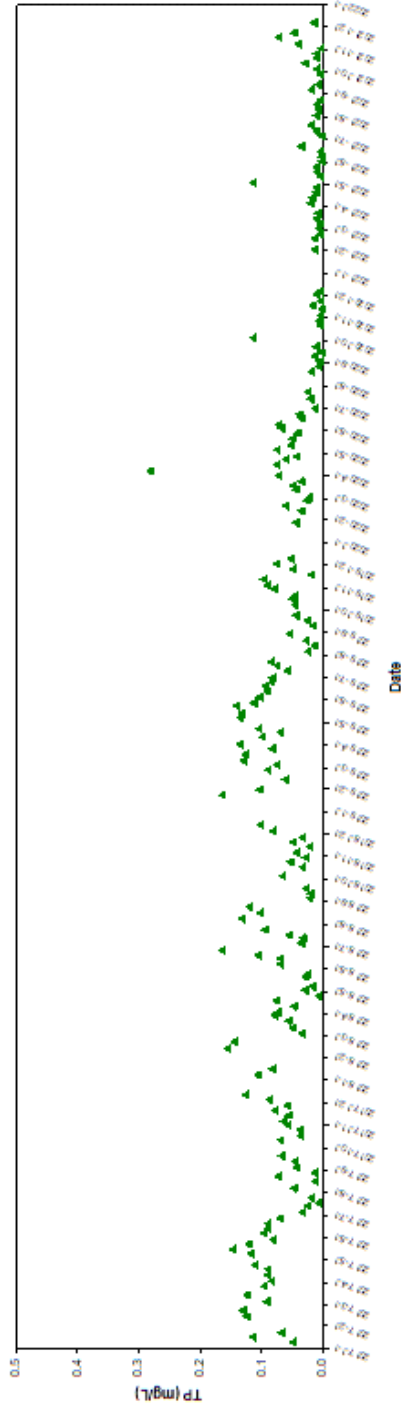
[그림 3-7] 창릉천 Point 1 TOC



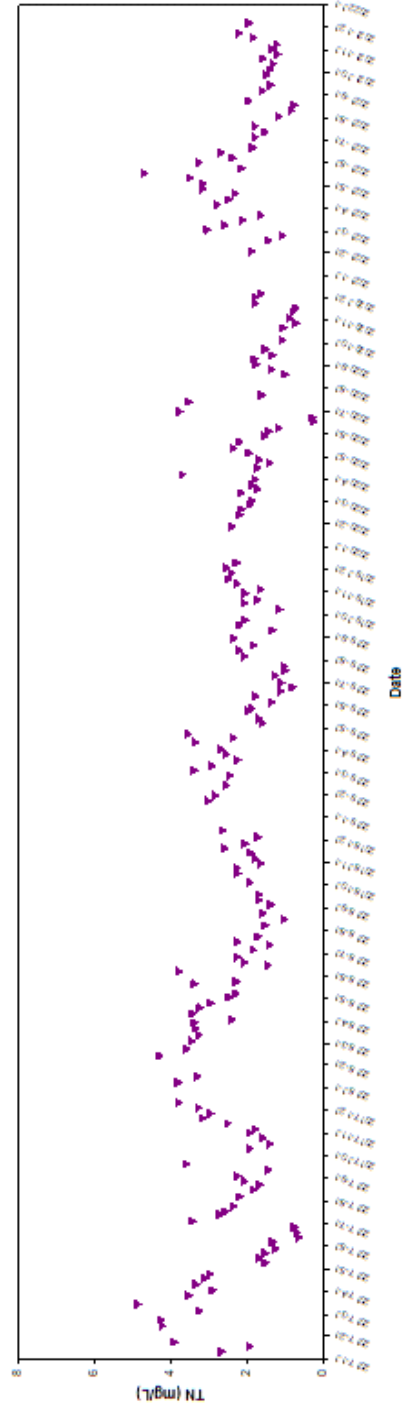
[그림 3-8] 창릉천 Point 1 SS



[그림 3-9] 창릉천 Point 1 TP



[그림 3-10] 창릉천 Point 1 TN



2. Point 2(통일교)의 수질 현황

기초 환경 조사를 실시하고 있는 지점인 고양시 덕양구 지축동에 위치한 통일교를 Point 2로 설정하여 수질을 측정하였다. [그림 3-11]에는 Point 2의 측정위치를 지도에 나타내었다.

[그림 3-11] 창릉천 Point 2 세부 위치



측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총 인), TN(총질소)으로 측정값은 [표 3-3]에 나타내었다. 또한, 측정항목에 대한 각각의 그래프는 [그림 3-12]~[그림 3-17]에 나타내었다.

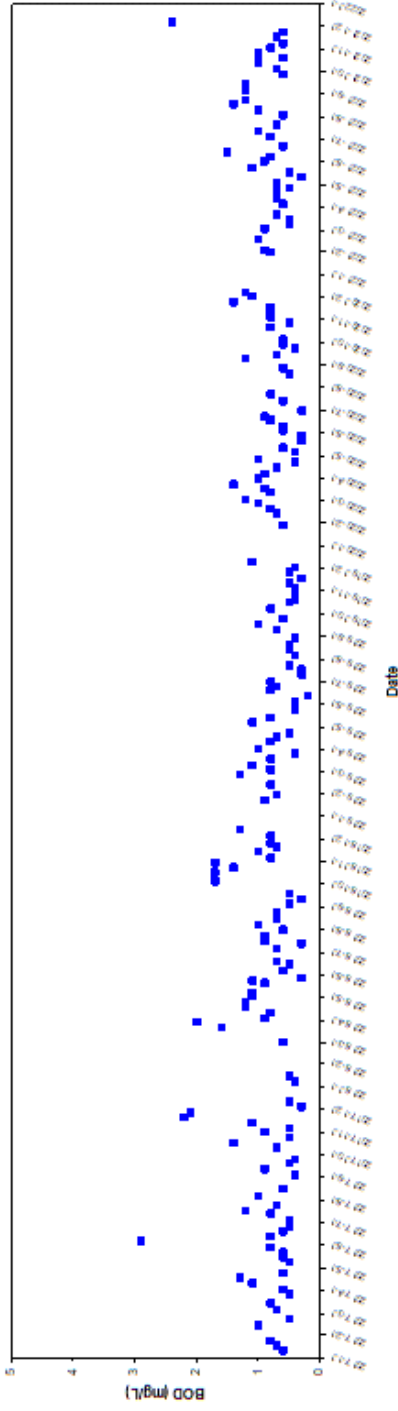
Point 2 지점의 BOD의 경우 최소 0.2mg/L에서 최대 2.9mg/L의 수준이었으며, 평균 0.8mg/L로 Point 1(장산교)의 값보다 다소 낮은 수준이었다. COD는 최소 1.1mg/L에서 최대 7.5mg/L의 수준으로 평균 2.4mg/L이었으며, TOC는 최소 0.5mg/L에서 최대 4.5mg/L으로 평균은 1.3mg/L으로 Point 1의 값과 유사한 수준이었다. Point 2의 SS는 최소 0.1mg/L에서 최대 350.0mg/L의 수준이었으며, 평균 5.9mg/L으로 Point 1의 값 보

다 다소 높은 수준이었다. TP는 최소 0.0mg/L에서 최대 0.24mg/L의 수준으로 평균 0.03mg/L이었으며, TN은 최소 0.3mg/L에서 최대 4.0mg/L의 수준으로 평균 1.9mg/L이었다. Point 2 지점의 수질 현황은 전반적으로 Point 1 지점과 유사한 수준이었다.

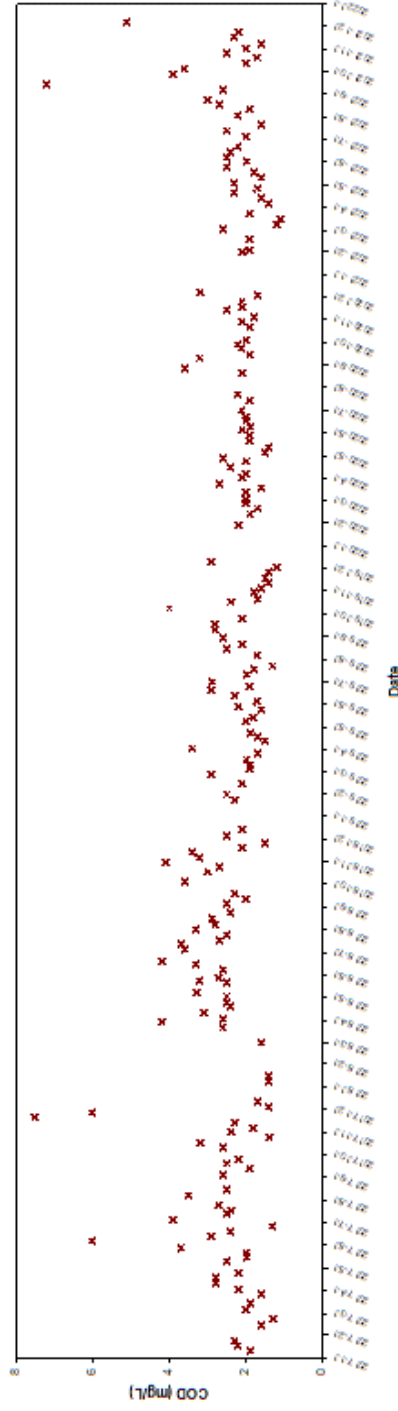
[표 3-3] 창릉천 Point 2의 수질 현황 (2017 ~ 2021)

측정종류	BOD	COD	TOC	SS	TP	TN
Point 2 (통일교)	0.2 ~ 2.9 mg/L (0.8 mg/L)	1.1 ~ 7.5 mg/L (2.4 mg/L)	0.5 ~ 4.5 mg/L (1.3 mg/L)	0.1 ~ 350.0 mg/L (5.9 mg/L)	0.00 ~ 0.24 mg/L (0.03 mg/L)	0.3 ~ 4.0 mg/L (1.9 mg/L)

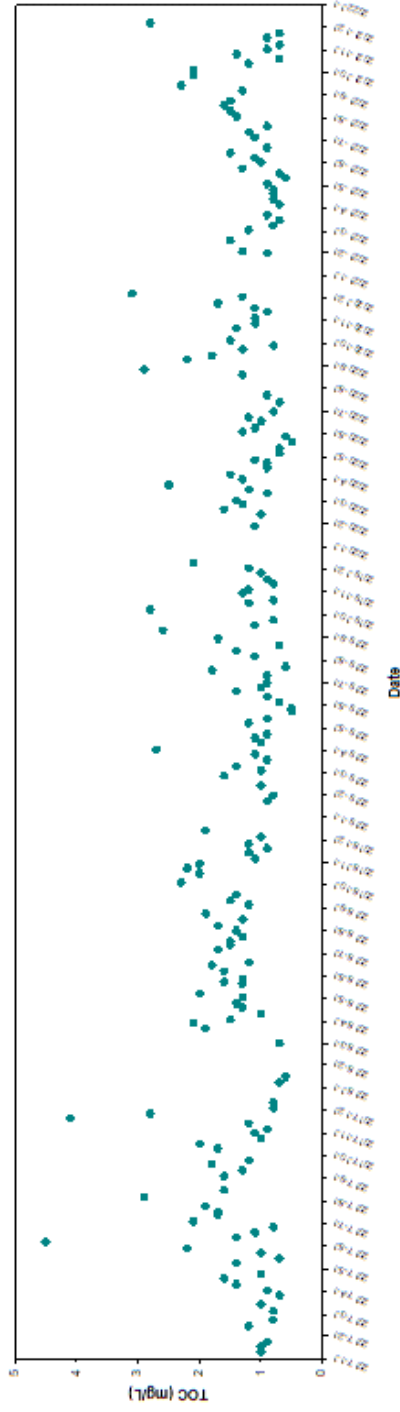
[그림 3-12] 창릉천 Point 2 BOD



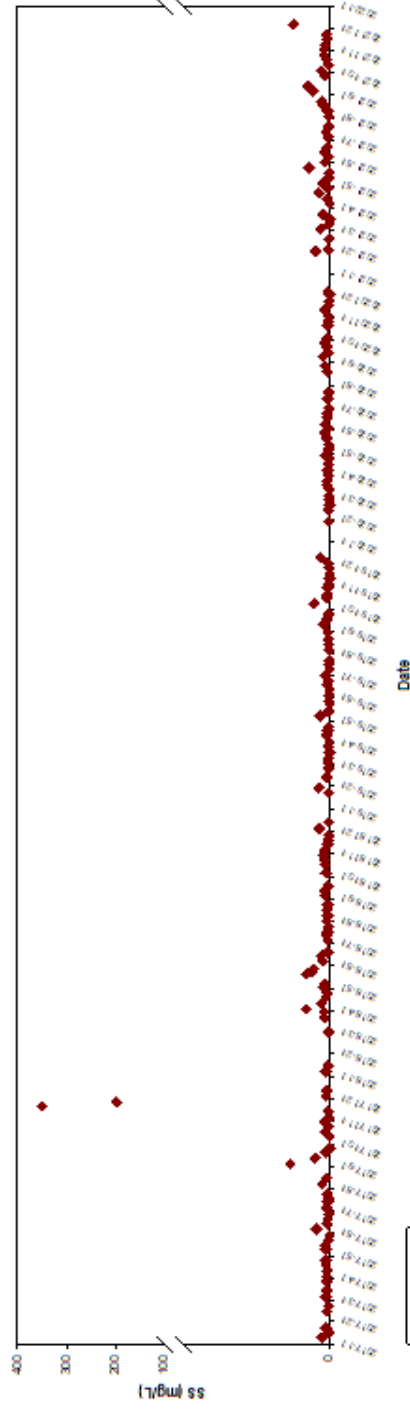
[그림 3-13] 창릉천 Point 2 COD



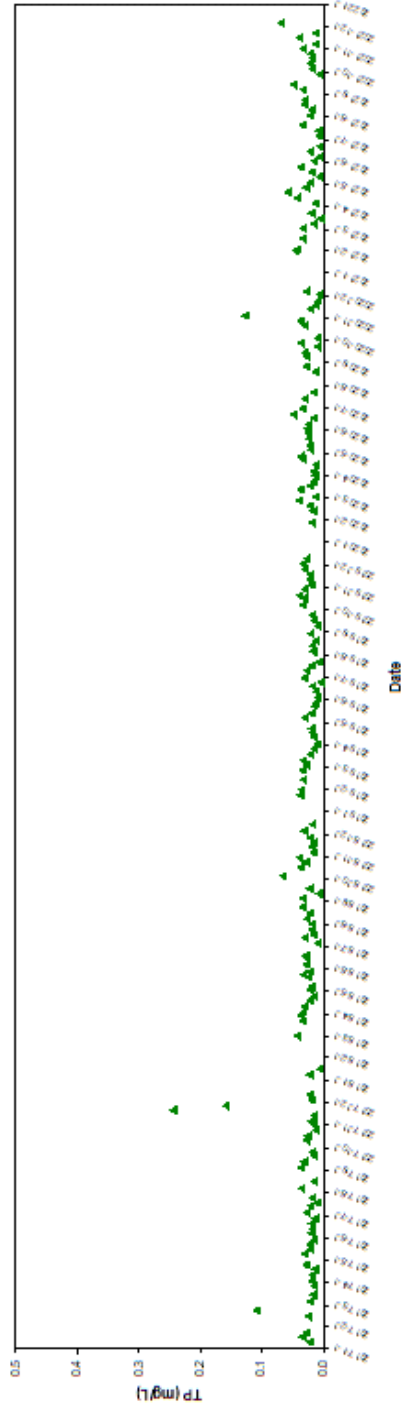
[그림 3-14] 창릉천 Point 2 TOC



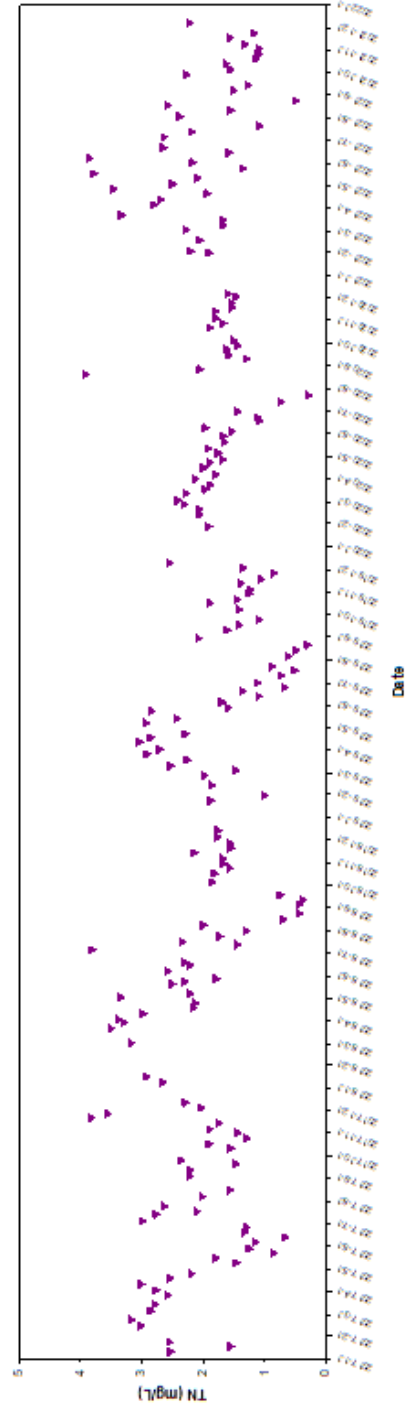
[그림 3-15] 창릉천 Point 2 SS



[그림 3-16] 창릉천 Point 2 TP



[그림 3-17] 창릉천 Point 2 TN



3. Point 3(삼송교)의 수질 현황

기초 환경 조사를 실시하고 있는 지점인 고양시 덕양구 동산동에 위치한 삼송교를 Point 3으로 설정하여 수질을 측정하였다. [그림 3-18]에는 Point 3의 측정위치를 지도에 나타내었다.

[그림 3-18] 창릉천 Point 3 세부 위치



측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총 인), TN(총질소)으로 측정값은 [표 3-3]에 나타내었다. 또한, 측정항목에 대한 각각의 그래프는 [그림 3-19]~[그림 3-24]에 나타내었다.

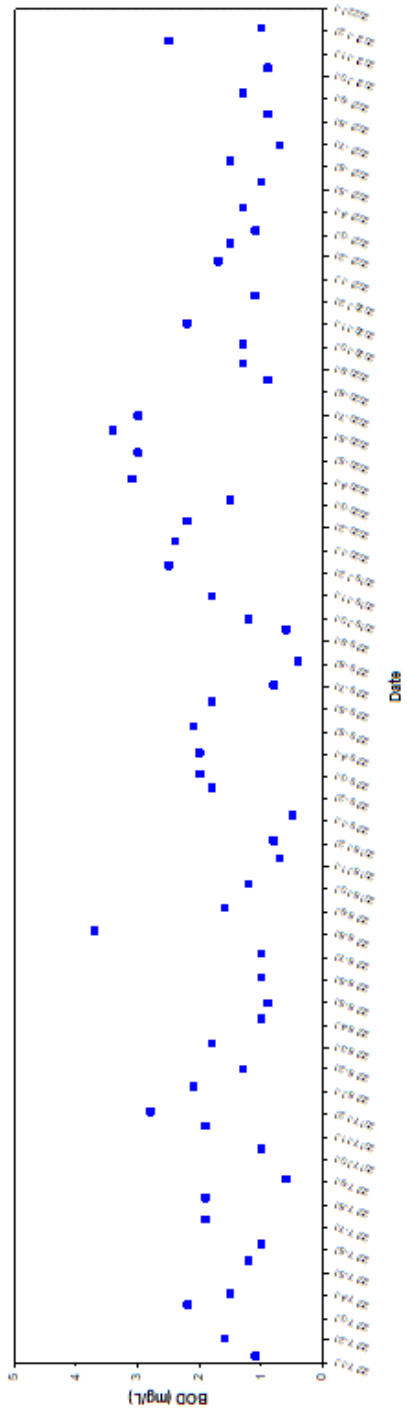
Point 3 지점의 BOD의 경우 최소 0.4mg/L에서 최대 3.7mg/L의 수준이었으며, 평균 1.6mg/L로 Point 1(장산교)과 Point 2(장산교)의 값보다 높은 수준이었다. COD는 최소 1.8mg/L에서 최대 6.5mg/L의 수준으로 평균 3.8mg/L이었으며, TOC는 최소 0.8mg/L에서 최대 5.5mg/L으로 평균은 2.8mg/L로, Point 1과 Point 2 값 보다 높은 수준이었다. Point 3의 SS는 최소 0.4mg/L에서 최대 15.2mg/L의 수준이었으며, 평균 4.4mg/L으로

Point 1과 Point 2의 값과 비슷한 수준이었다. TP는 최소 0.01mg/L에서 최대 0.34mg/L로 평균 0.06mg/L이었으며, TN은 최소 0.5mg/L에서 최대 9.5mg/L의 수준으로 평균 3.4mg/L이었다. Point 3 지점의 수질 현황은 전반적으로 Point 1 과 Point 2지점의 수질과 유사한 수준이었다.

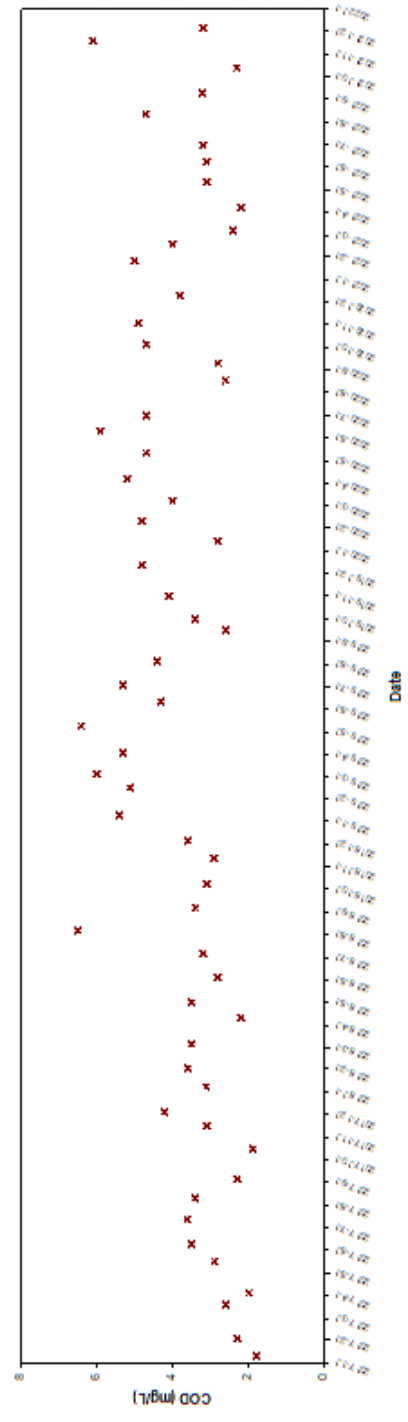
[표 3-4] 창릉천 Point 3의 수질 현황 (2017 ~ 2021)

측정종류	BOD	COD	TOC	SS	TP	TN
Point 3 (삼송교)	0.4 ~ 3.7 mg/L (1.6 mg/L)	1.8 ~ 6.5 mg/L (3.8 mg/L)	0.8 ~ 5.5 mg/L (2.8 mg/L)	0.4 ~ 15.2 mg/L (4.4 mg/L)	0.01 ~ 0.34 mg/L (0.06 mg/L)	0.5 ~ 9.5 mg/L (3.4 mg/L)

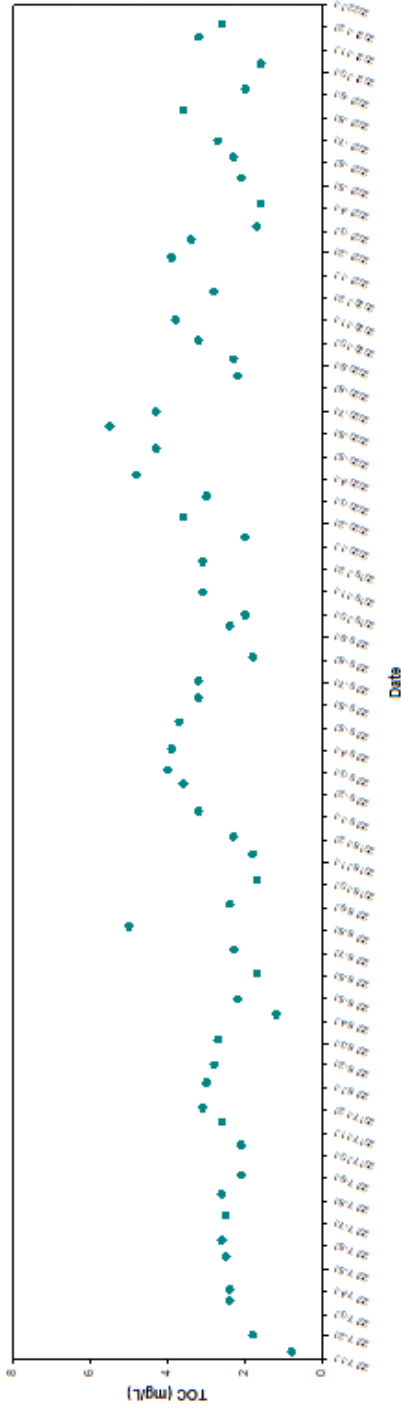
[그림 3-19] 창릉천 Point 3 BOD



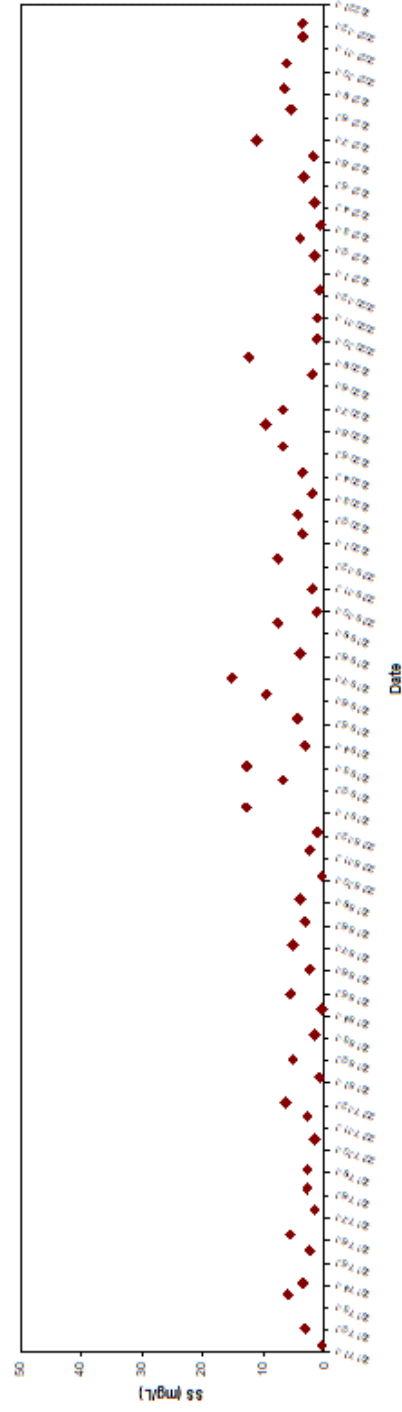
[그림 3-20] 창릉천 Point 3 COD



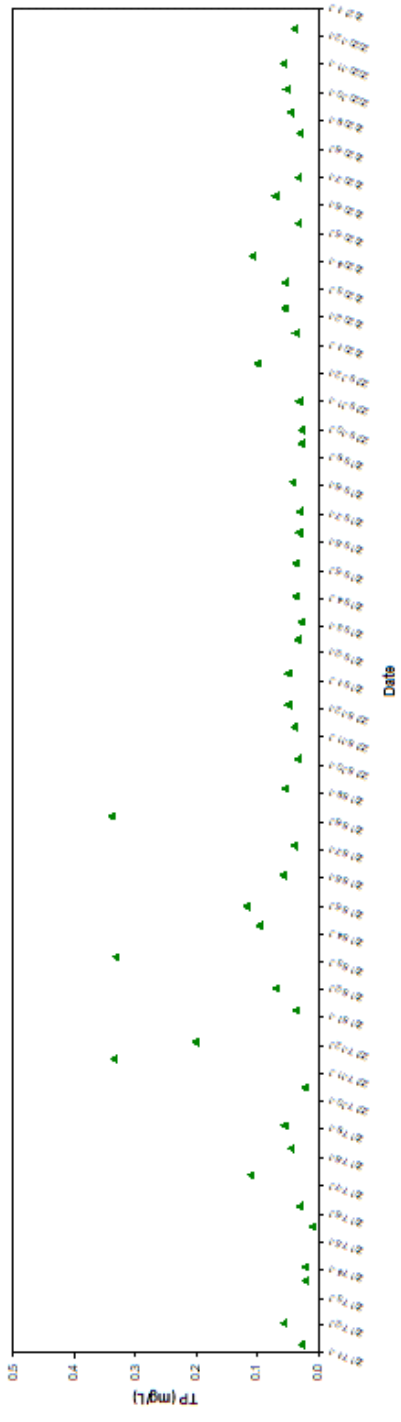
[그림 3-21] 창릉천 Point 3 TOC



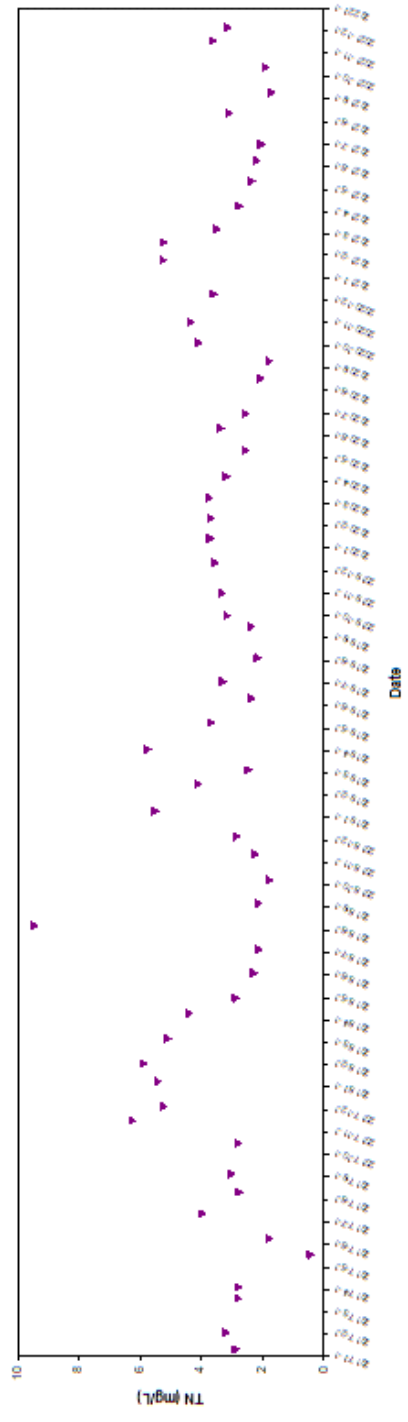
[그림 3-22] 창릉천 Point 3 SS



[그림 3-23] 창릉천 Point 3 TP



[그림 3-24] 창릉천 Point 3 TN



4. Point 4(제2화전교)의 수질 현황

기초 환경 조사를 실시하고 있는 지점인 고양시 덕양구 화전동에 위치한 제2화전교를 Point 4로 설정하여 수질을 측정하였다. [그림 3-25]에는 Point 4의 측정위치를 지도에 나타내었다.

[그림 3-25] 창릉천 Point 4 세부 위치



측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총인), TN(총질소)으로 측정 값은 [표 3-5]에 나타내었다. 또한, 측정항목에 대한 각각의 그래프는 [그림 3-26]~[그림 3-31]에 나타내었다.

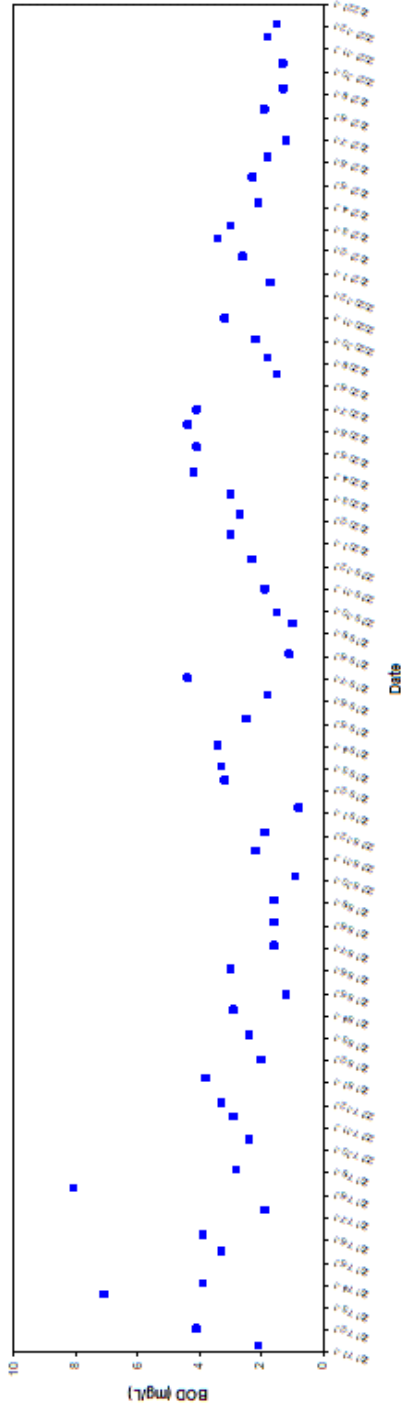
Point 4 지점의 BOD의 경우 최소 0.8mg/L에서 최대 8.1mg/L의 수준이었으며, 평균 2.6mg/L로 Point 3(삼송교)의 값보다 매우 높은 수준이었다. 또한, COD는 최소 2.8mg/L에서 최대 9.8mg/L의 수준으로 평균 5.3mg/L이었으며, TOC는 최소 2.0mg/L에서 최대 9.2mg/L로 평균은 4.0mg/L이었으며, Point 3의 값보다 매우 높은 수준이었다. Point 4의 SS는 최소 0.4mg/L에서 최대 80.8mg/L의 수준이었으며, 평균 8.4mg/L으로

Point 3의 값보다 높은 수준이었다. TP는 최소 0.04mg/L에서 최대 0.37mg/L의 수준으로 평균 0.09mg/L이었으며, TN은 최소 2.2mg/L에서 최대 6.5mg/L의 수준으로 평균 4.2mg/L이었다. Point 4 지점의 수질 현황은 전반적으로 Point 1 지점보다 높은 값이었으며, 이는 삼송하수처리장 방류수의 영향을 받았기 때문이다.

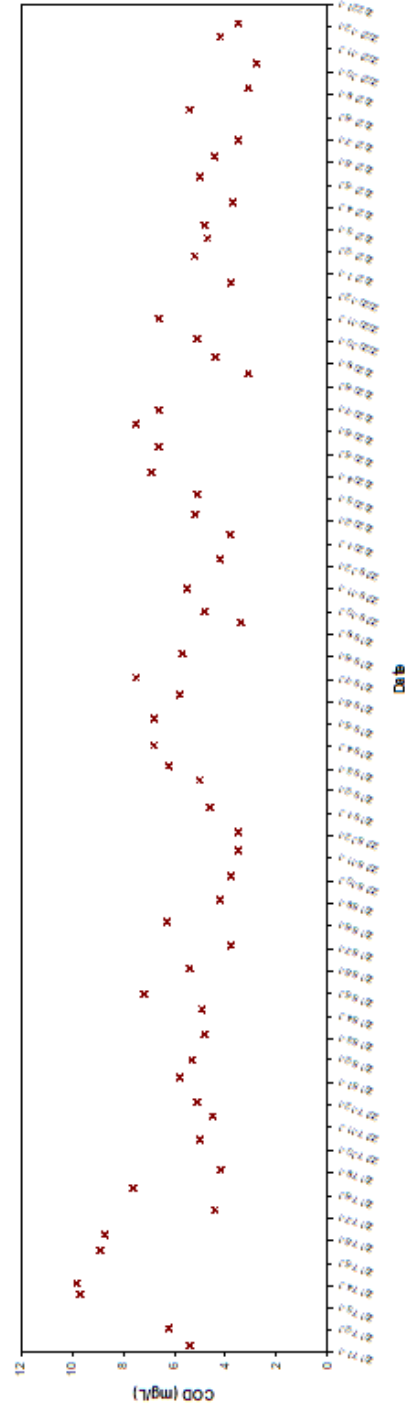
[표 3-5] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)

측정종류	BOD	COD	TOC	SS	TP	TN
Point 4 (제2화전교)	0.8 ~ 8.1 mg/L (2.6 mg/L)	2.8 ~ 9.8 mg/L (5.3 mg/L)	2.0 ~ 9.2 mg/L (4.0 mg/L)	0.4 ~ 80.8 mg/L (8.4 mg/L)	0.04 ~ 0.37 mg/L (0.09 mg/L)	2.2 ~ 6.5 mg/L (4.2 mg/L)

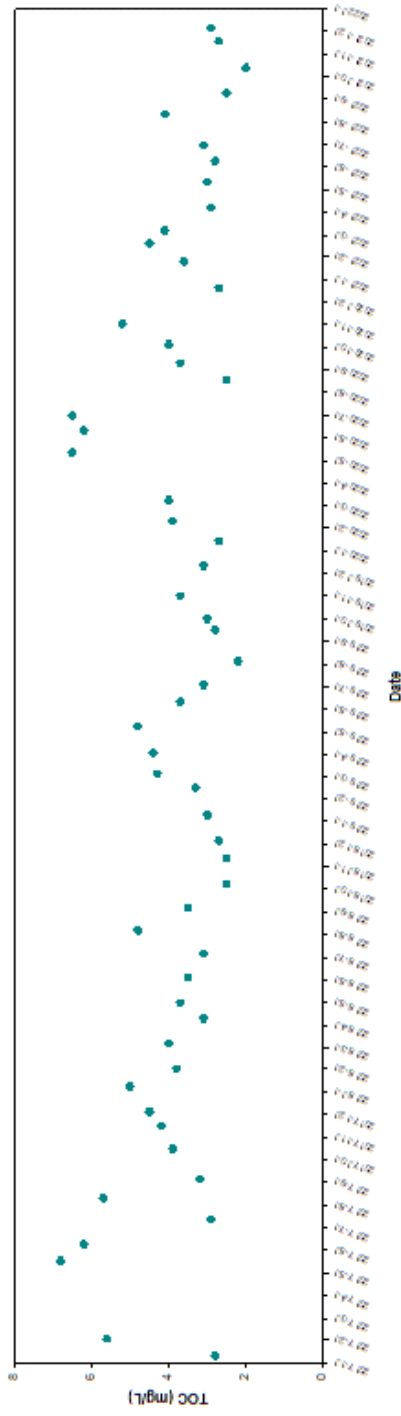
[그림 3-26] 창룡천 Point 4 BOD



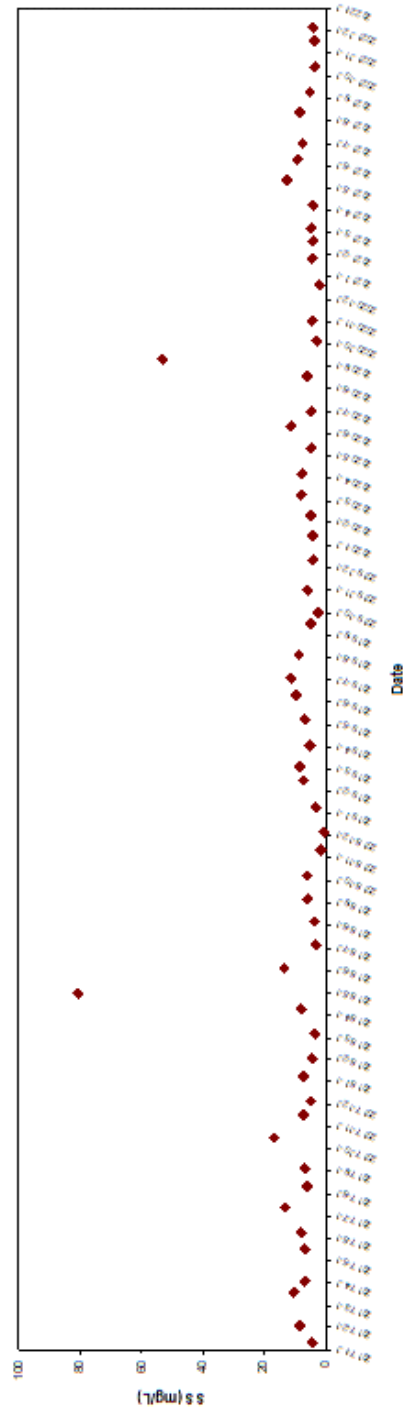
[그림 3-27] 창룡천 Point 4 COD



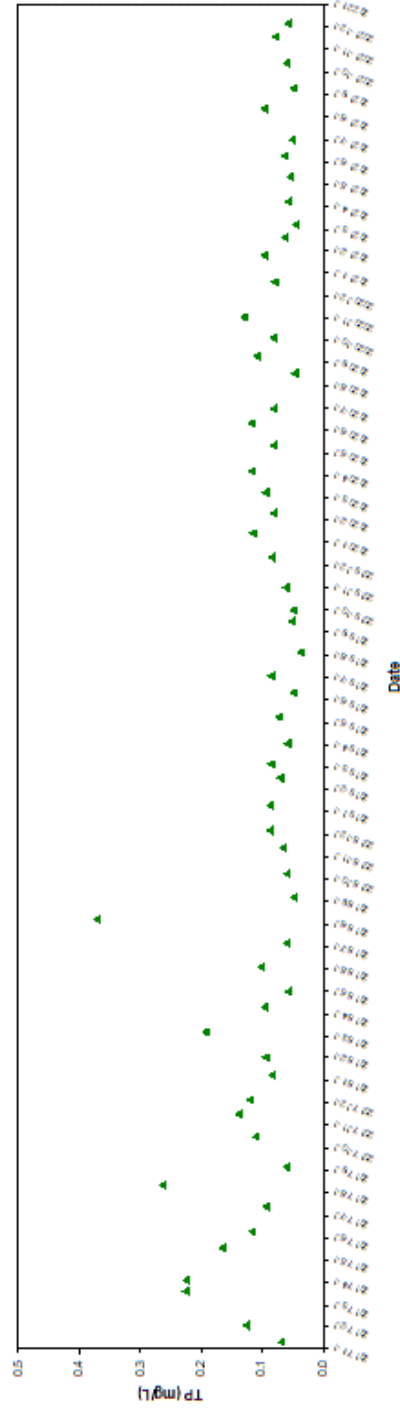
[그림 3-28] 창릉천 Point 4 TOC



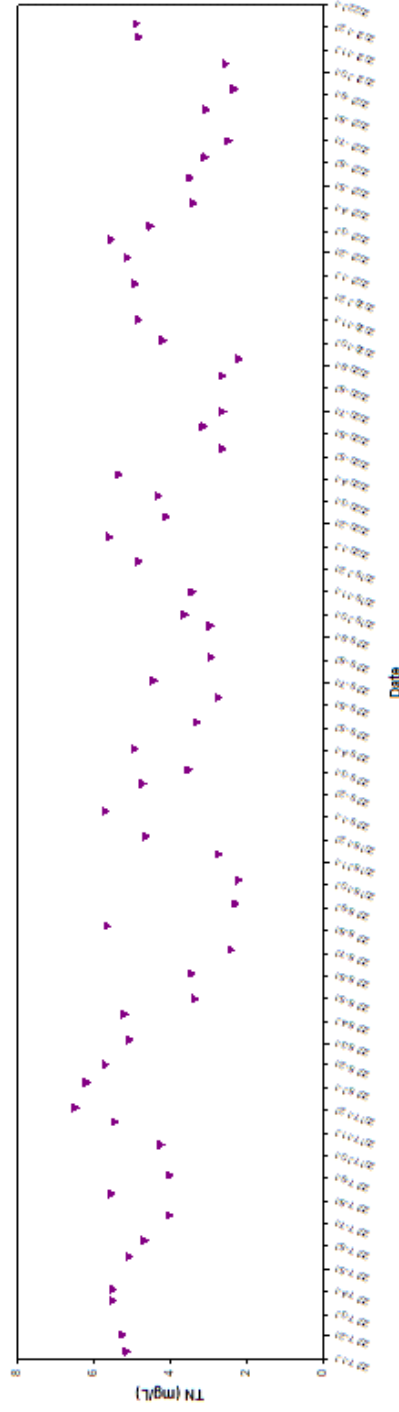
[그림 3-29] 창릉천 Point 4 SS



[그림 3-30] 창릉천 Point 4 TP



[그림 3-31] 창릉천 Point 4 TN



5. Point 5(창릉교)의 수질 현황

기초 환경 조사를 실시하고 있는 지점인 고양시 덕양구 현천동에 위치한 창릉교(창릉교)를 Point 5 지점으로 설정하여 수질을 측정하였다. [그림 3-32]에는 Point 5 지점의 측정위치를 지도에 나타내었다.

[그림 3-32] 창릉천 Point 5 세부 위치



측정 기간은 2017년 1월부터 2021년 12월까지이며 측정항목은 BOD(생물학적 산소 요구량), COD(화학적 산소 요구량), TOC(유기물 탄소량), SS(부유 물질), TP(총 인), TN(총질소)으로 측정값은 [표 3-6]에 나타내었다. 또한, 측정항목에 대한 각각의 그래프는 [그림 3-33]~[그림 3-38]에 나타내었다.

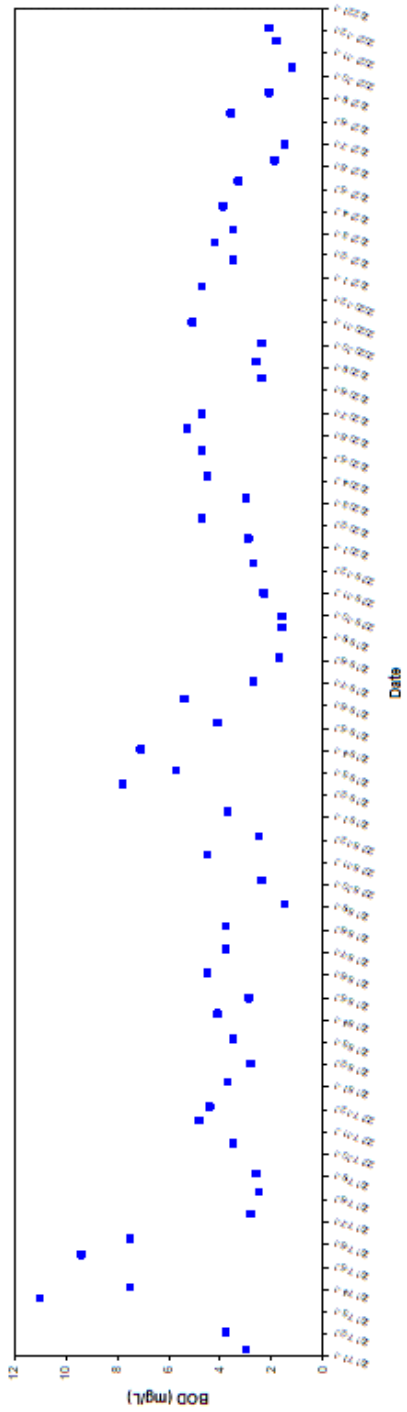
Point 5 지점의 BOD의 경우, 최소 1.2mg/L에서 최대 11.0mg/L의 수준이었으며, 평균 3.8mg/L로 Point 4의 값보다 다소 높은 수준이었다. COD는 최소 3.4mg/L에서 최대 11.2mg/L의 수준으로 평균 6.4mg/L이었으며, TOC는 최소 2.4mg/L에서 최대 8.2mg/L으로 평균은 4.3mg/L이었으며, Point 4의 값보다 높은 수준이었다. Point 5의 SS는 최소 3.6mg/L에서 최대 62.0mg/L의 수준이었으며, 평균 20.4mg/L으로 Point 4의 값보다 매우 높은 수준이었다. TP는 최소 0.02mg/L에서 최대 0.23mg/L의 수준으로 평균

0.10mg/L이었으며, TN은 최소 2.4mg/L에서 최대 7.7mg/L의 수준으로 평균 4.8mg/L로 Point 4와 비슷한 수준이었다.

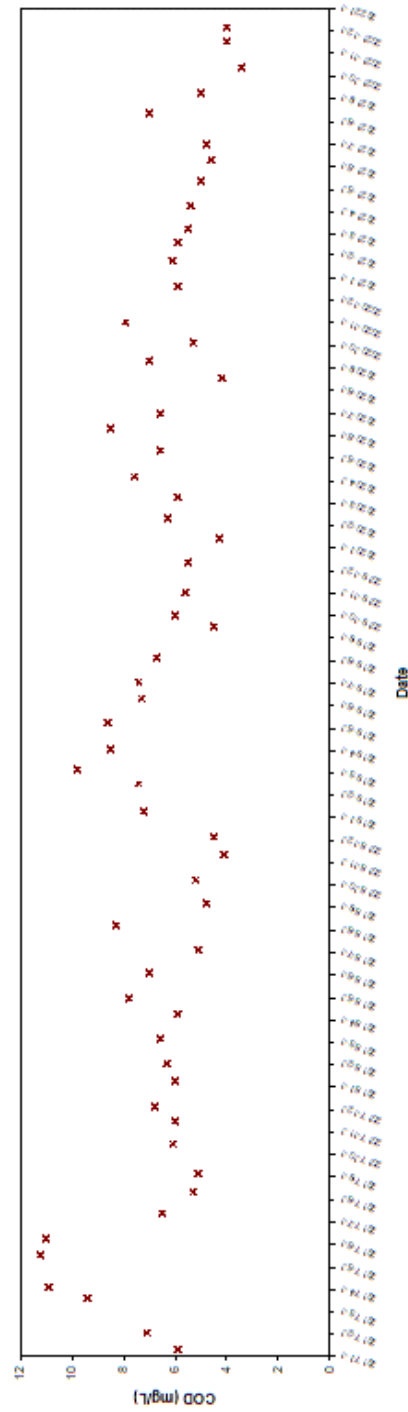
[표 3-6] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)

측정종류	BOD	COD	TOC	SS	TP	TN
Point 5 (창릉교)	1.2 ~ 11.0 mg/L (3.8 mg/L)	3.4 ~ 11.2 mg/L (6.4 mg/L)	2.4 ~ 8.2 mg/L (4.3 mg/L)	3.6 ~ 62.0 mg/L (20.4 mg/L)	0.02 ~ 0.23 mg/L (0.10 mg/L)	2.4 ~ 7.7 mg/L (4.8 mg/L)

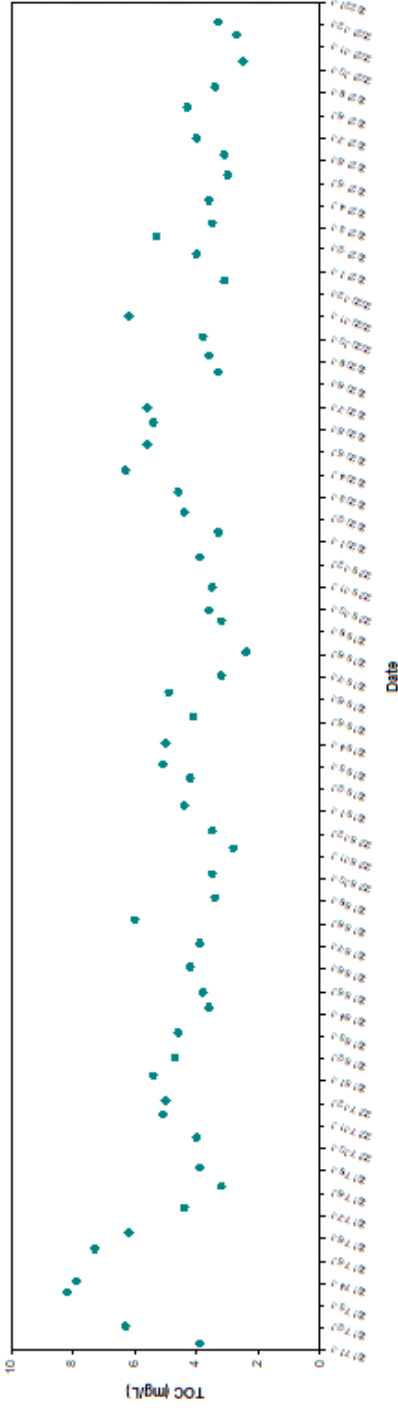
[그림 3-33] 창릉천 Point 5 BOD



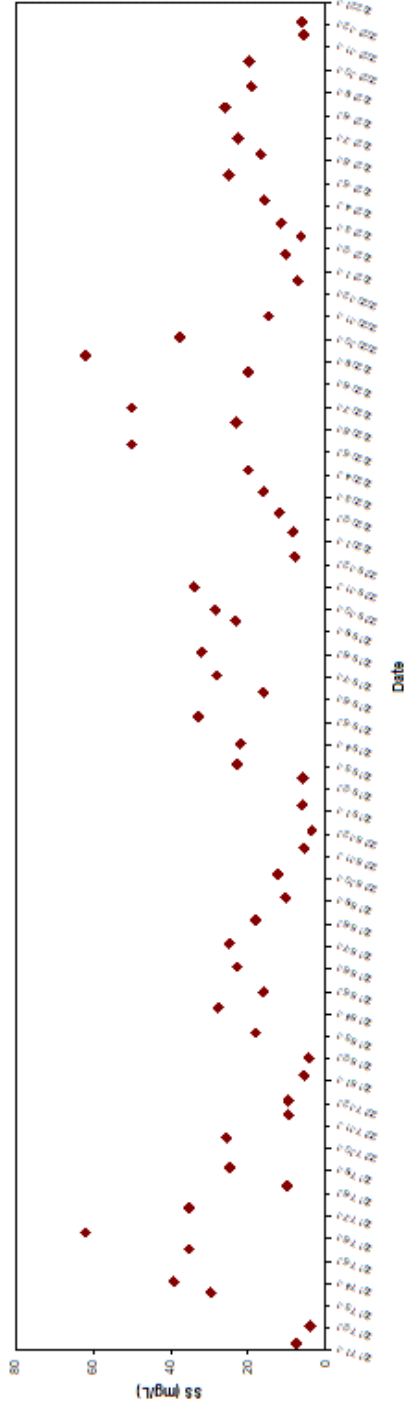
[그림 3-34] 창릉천 Point 5 COD



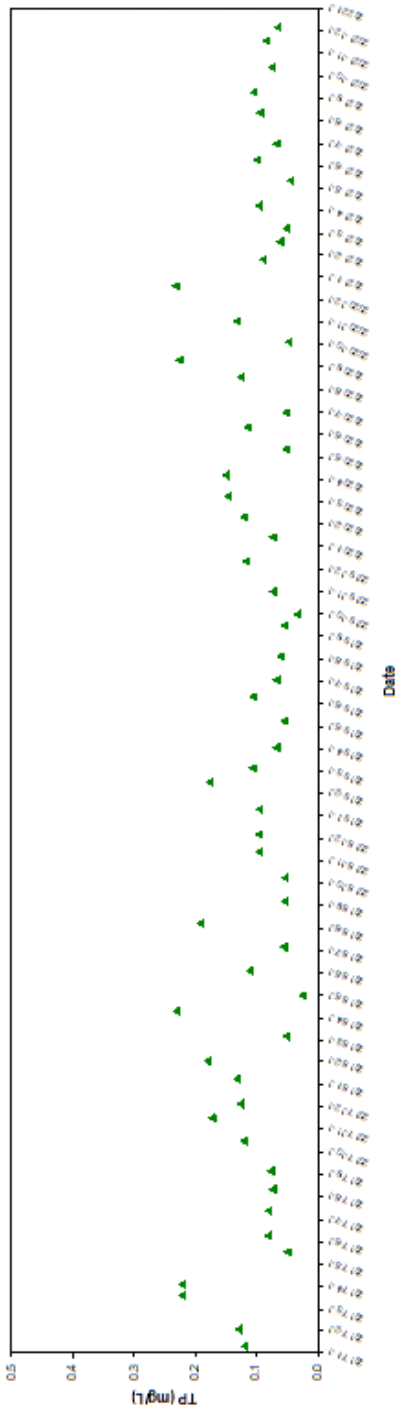
[그림 3-35] 창릉천 Point 5 TOC



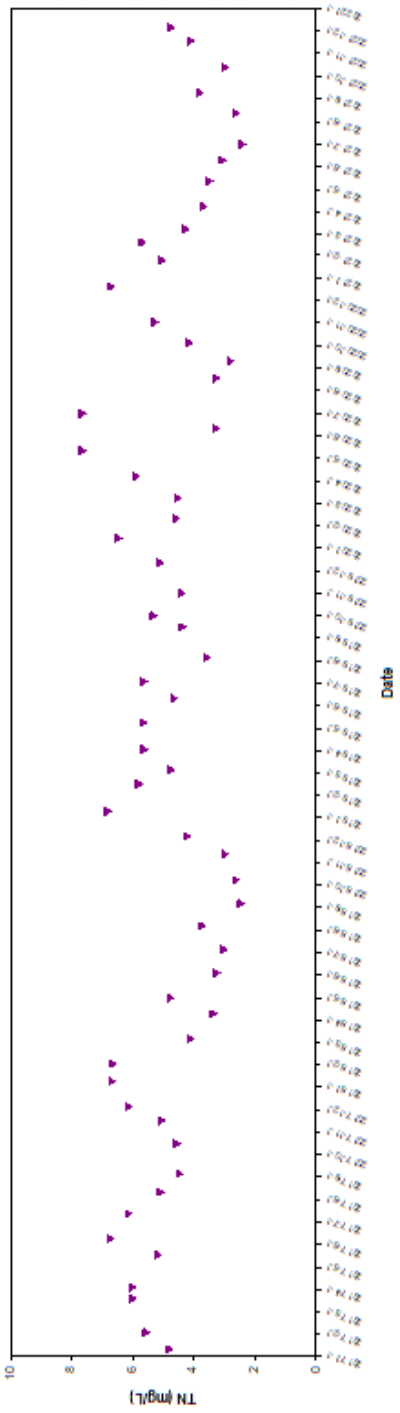
[그림 3-36] 창릉천 Point 5 SS



[그림 3-37] 창릉천 Point 5 TP



[그림 3-38] 창릉천 Point 5 TN



제 4 장 결과 분석

제1절 창릉천 오염 기여도 평가

제2절 하수처리장 영향 분석

제철 창릉천 오염 기여도 평가

1. 하천과 호소 생활환경 기준

수질과 수생태계 환경기준은 수질오염으로부터 건전한 수생태계를 유지하고, 물의 이용목적에 적합한 수질을 보전하기 위한 미래지향적이고, 행정적인 정책목표이다. 수역은 하천과 호소로 구분하고, 항목은 생활환경항목과 건강보호항목으로 구분하였다. 특히 생활환경항목은 7등급으로 구분하여 단계별로 목표를 설정하였다.

1) 등급별 수질과 수생태계 상태³⁾

하천과 호소의 생활환경 기준은 ‘매우 좋음’, ‘좋음’, ‘약간 좋음’, ‘보통’, ‘약간 나쁨’, ‘나쁨’, ‘매우 나쁨’으로 구분되어 있다. ‘매우 좋음’은 용존산소(DO)가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과·살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있는 상태를 의미한다. ‘좋음’은 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있는 상태를 의미한다. ‘약간 좋음’은 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있는 상태를 의미한다. ‘보통’은 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있는 상태를 의미한다. ‘약간 나쁨’은 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있는 상태를 의미한다. ‘나쁨’은 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의

¹³⁾ 물환경정보시스템(https://water.nier.go.kr/web/contents/contentView?pMENU_NO=37)

일상생활에 불편감을 주지 않으며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있는 상태를 의미하며, '매우 나쁨'은 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려운 상태를 의미한다. 용수는 해당 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있고, 수소이온농도(pH) 등 각 기준항목에 따른 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법으로 용수를 처리하는 경우에는 해당 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있다.

하천과 호소의 항목 차이는 유기물질의 경우 하천은 BOD, 호소는 COD로 각각 정하고 있으며, 호소에는 총인, 총질소, 클로로필-a 항목이 추가되어 있다. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 않으며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 않는다. 호소 생활환경 기준은 등급별 수질과 수생태계 상태로 하천의 생활환경 기준과 같다.

[표 4-1] 하천 생활환경 기준

등급	기준									
	수소이온 농도 (pH) (mg/L)	생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (mg/L)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총 유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총 인 (TP) (mg/L)	대장균군 (군수/100mL)		
								총 대장균군	분원성 대장균군	
매우 좋음	I a	6.5~8.5	1 이하	2 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	50 이하	100 이하	
좋음	I b	6.5~8.5	2 이하	4 이하	3 이하	25 이하	5.0 이상	500 이하	100 이하	
약간 좋음	II	6.5~8.5	3 이하	5 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	1,000 이하	200 이하	
보통	III	6.5~8.5	5 이하	7 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	5,000 이하	1,000 이하	
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8 이하	9 이하	6 이하	100 이하	2.0 이상			
나쁨	V	6.0~8.5	10 이하	11 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상			
매우 나쁨	VI		10 초과	11 초과	8 초과		2.0 이상		0.5 초과	

[표 4-2] 호소 생활환경 기준

등급	기준										
	수소이온 농도 (pH) (mg/L)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총 유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총 인 (TP) (mg/L)	클로로필-a (Chl-a) (mg/m ³)	대장균군 (군수/100mL) 총 대장균군 분원성 대장균군		
매우 좋음	I a	6.5~8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	100 이하
좋음	I b	6.5~8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II	6.5~8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III	6.5~8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV	6.0~8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하		
나쁨	V	6.0~8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하		
매우 나쁨	VI		10 초과	8 초과		2.0 이상	0.15 초과	1.5 초과	70 초과		

2. 오염기여도 분석

[표 4-1]에 나타낸 하천 생활환경 기준의 BOD, COD, TOC, SS, TP와 [표 4-2]에 나타낸 호소 생활환경 기준의 TN을 창릉천의 수질과 비교 분석하여 [표 4-3]에 나타내었다. Point 1(장산교)과 Point 2(통일교) 지점의 BOD는 최소값이 1등급, 최대값이 3등급과 2등급이었고 COD의 최소값은 1등급, 최대값은 3등급 및 4등급이었으며, TOC의 최소값은 1등급, 최대값은 2등급과 3등급이므로 Point 1의 수질이 더 높은 수준이었다. 또한 SS, TP, TN은 각각 1~5등급, 1~4등급, 2~6등급으로 동일한 수준이었다. Point 3(삼송교) 지점의 BOD는 1~3등급이었으며 COD와 TOC는 1~4등급 수준이었다. 또한 TOC와 SS는 1~5등급이었으며, TP와 TN은 각각 1~5등급과 3~6등급이었다. Point 4(제2화전교) 지점의 BOD, COD, TP는 1~5등급이었으며, TOC와 SS의 최소값은 1등급, 최대값은 6등급과 4등급, TN은 최소값 및 최대값이 6등급이었다. Point 5(창릉교) 지점의 BOD, COD, TP는 1~6등급이었으며, SS 및 TP는 1~4등급, TN은 최소값 및 최대값이 6등급이었다.

[표 4-2] 부하지속곡선(Load Duration Curve, LDC)을 활용하여 수질 평가를 실시하였으며 Base line Level 3과 Level 2로 구분하여 비교 분석하였다. 부하지속곡선의 결과를 해석하기 위해 수문 상태 등급을 High Flow(홍수기 조건), Moist condition(풍수기 조건), Middle condition(평수기 조건), Dry condition(저수기 조건), Low Flow(갈수기 조건)로 분류하였다([표 4-4]).

[표 4-3] 창릉천 수질 현황 (2017 ~ 2021)

측정종류	Point 1 (장산교)	Point 2 (통일교)	Point 3 (삼송교)	Point 4 (제2화전교)	Point 5 (창릉교)
BOD	0.2 ~ 5.1 mg/L (1.1 mg/L) 1등급 ~ 3등급	0.2 ~ 2.9 mg/L (0.8 mg/L) 1등급 ~ 2등급	0.4 ~ 3.7 mg/L (1.6 mg/L) 1등급 ~ 3등급	0.8 ~ 8.1 mg/L (2.6 mg/L) 1등급 ~ 5등급	1.2 ~ 11.0 mg/L (3.8 mg/L) 1등급 ~ 6등급
COD	1.3 ~ 6.6 mg/L (2.9 mg/L) 1등급 ~ 3등급	1.1 ~ 7.5 mg/L (2.4 mg/L) 1등급 ~ 4등급	1.8 ~ 6.5 mg/L (3.8 mg/L) 1등급 ~ 4등급	2.8 ~ 9.8 mg/L (5.3 mg/L) 1등급 ~ 5등급	3.4 ~ 11.2 mg/L (6.4 mg/L) 1등급 ~ 6등급
TOC	0.5 ~ 3.7 mg/L (1.5 mg/L) 1등급 ~ 2등급	0.5 ~ 4.5 mg/L (1.3 mg/L) 1등급 ~ 3등급	0.8 ~ 5.5 mg/L (2.8 mg/L) 1등급 ~ 4등급	2.0 ~ 9.2 mg/L (4.0 mg/L) 1등급 ~ 6등급	2.4 ~ 8.2 mg/L (4.3 mg/L) 1등급 ~ 6등급
SS	0.1 ~ 184.0 mg/L (4.2 mg/L) 1등급 ~ 5등급	0.1 ~ 350.0 mg/L (5.9 mg/L) 1등급 ~ 5등급	0.4 ~ 15.2 mg/L (4.4 mg/L) 1등급 ~ 5등급	0.4 ~ 80.8 mg/L (8.4 mg/L) 1등급 ~ 4등급	3.6 ~ 62.0 mg/L (20.4 mg/L) 1등급 ~ 4등급
TP	0.00 ~ 0.28 mg/L (0.06 mg/L) 1등급 ~ 4등급	0.00 ~ 0.24 mg/L (0.03 mg/L) 1등급 ~ 4등급	0.01 ~ 0.34 mg/L (0.06 mg/L) 1등급 ~ 5등급	0.04 ~ 0.37 mg/L (0.09 mg/L) 1등급 ~ 5등급	0.02 ~ 0.23 mg/L (0.10 mg/L) 1등급 ~ 4등급
TN	0.3 ~ 4.9 mg/L (2.2 mg/L) 2등급 ~ 6등급	0.3 ~ 4.0 mg/L (1.9 mg/L) 2등급 ~ 6등급	0.5 ~ 9.5 mg/L (3.4 mg/L) 3등급 ~ 6등급	2.2 ~ 6.5 mg/L (4.2 mg/L) 6등급	2.4 ~ 7.7 mg/L (4.8 mg/L) 6등급

3. 창릉천 Point 1 지점 오염기여도 분석

1) Base line level 3

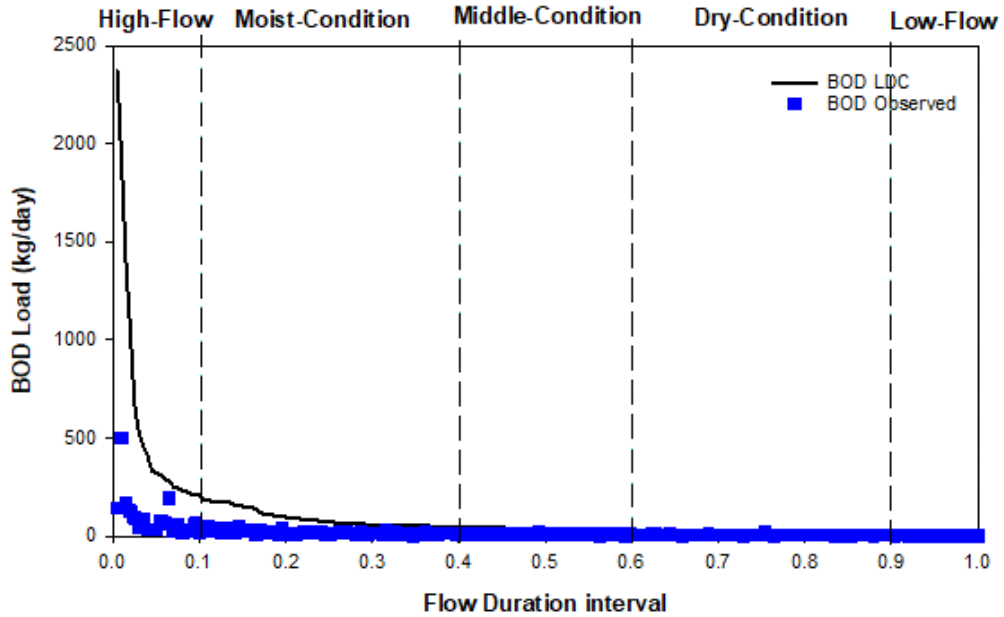
창릉천 Point 1(장산교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 3을 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-5]에 나타내었으며 [그림 4-1] ~ [그림 4-6]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, SS, TP, TN 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 SS, TN 항목이 각각 15.8% 및 100% 초과하였으며, Moist condition 등급에서는 SS, TN 항목이 각각 1.7% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 TN 항목이 100% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 BOD, SS, TP, TN 항목이 각각 1.7%, 3.3%, 1.7% 및 100% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 TN 항목이 90% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 199개의 데이터 중 197개의 데이터가 기준 부하량을 초과하여 총 99%를 초과하였다.

[표 4-4] 창릉천 Point 1 오염기여도 (Level 3)

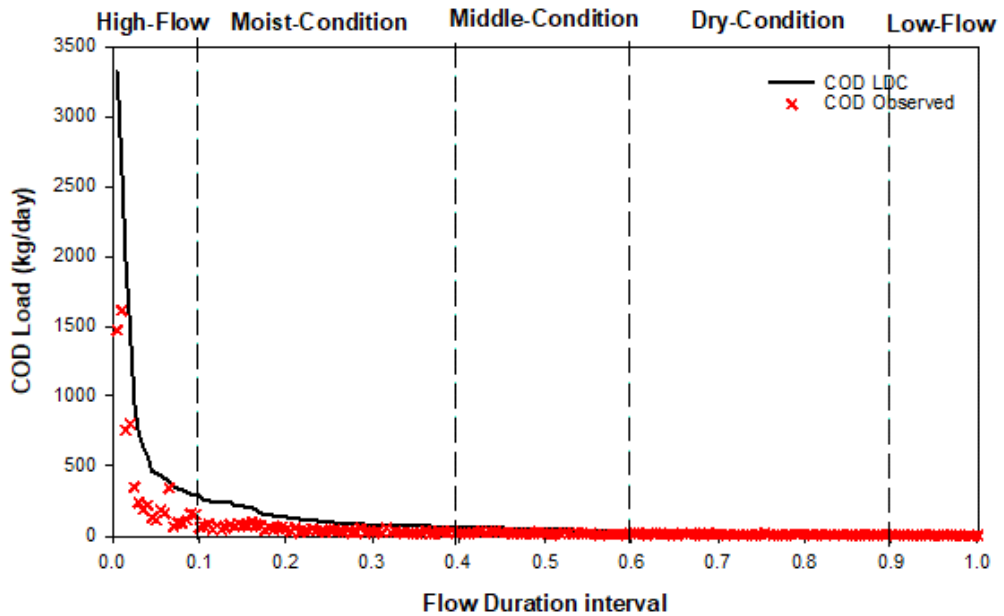
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	0	6	1	197	0
Data	199	199	199	199	199	199
Ratio (Over)	0.5%	0.0%	3.0%	0.5%	99.0%	0.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	3	0	19	0
Data	19	19	19	19	19	19
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	15.8%	0.0%	100.0%	0.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	1	0	60	0

Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%	100.0%	0.0%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	40	0
Data	40	40	40	40	40	40
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	0	2	1	60	0
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	1.7%	0.0%	3.3%	1.7%	100.0%	0.0%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	18	0
Data	20	20	20	20	20	20
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	90.0%	0.0%

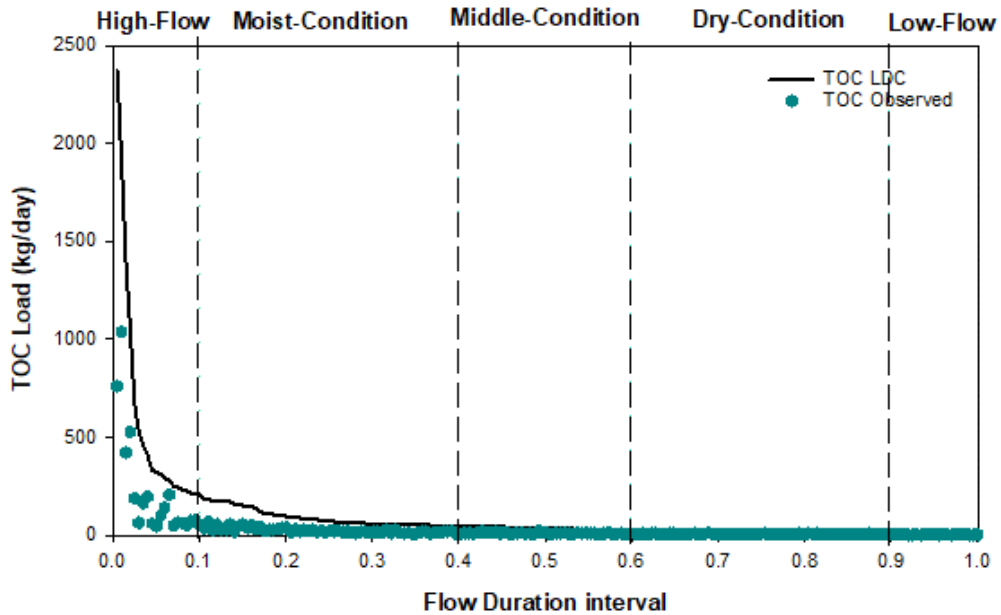
[그림 4-1] 창릉천 Point 1 BOD 부하지속곡선 (Level 3)



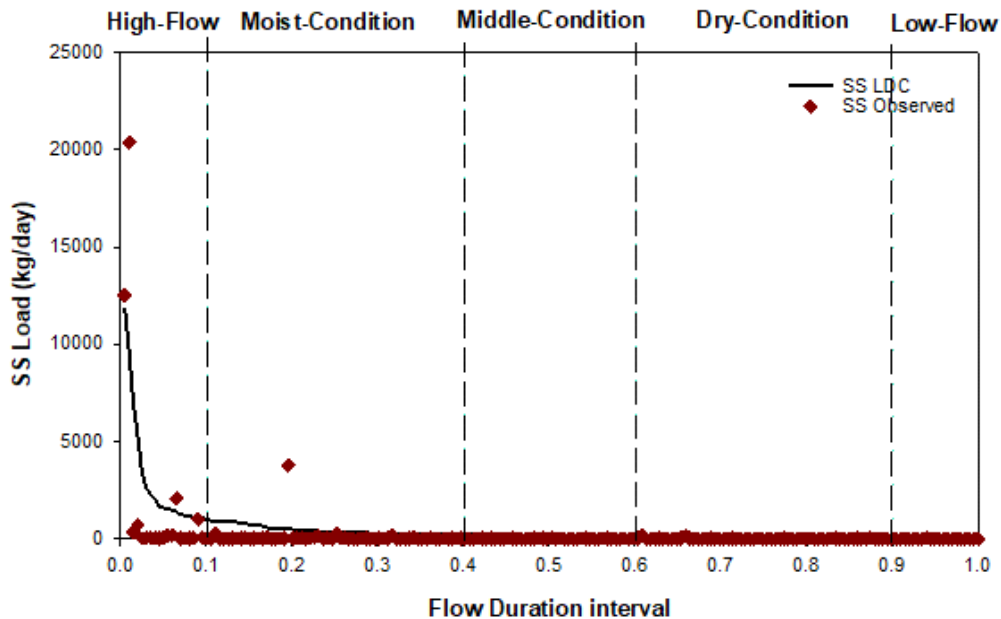
[그림 4-2] 창릉천 Point 1 COD 부하지속곡선 (Level 3)



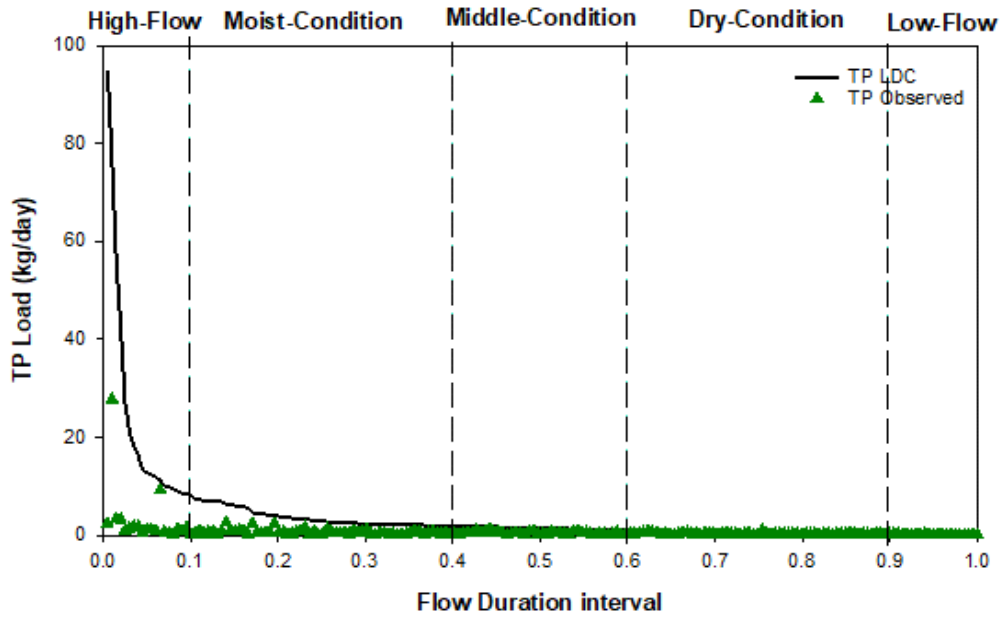
[그림 4-3] 창릉천 Point 1 TOC 부하지속곡선 (Level 3)



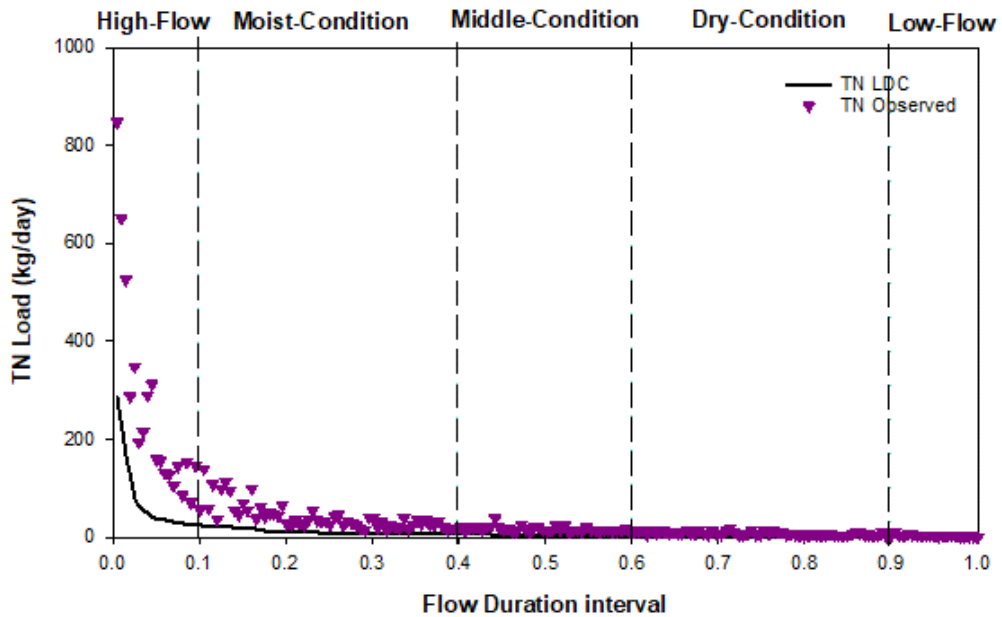
[그림 4-4] 창릉천 Point 1 SS 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-5] 창릉천 Point 1 TP 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-6] 창릉천 Point 1 TN 부하지속곡선 (Level 3)



2) Base line level 2

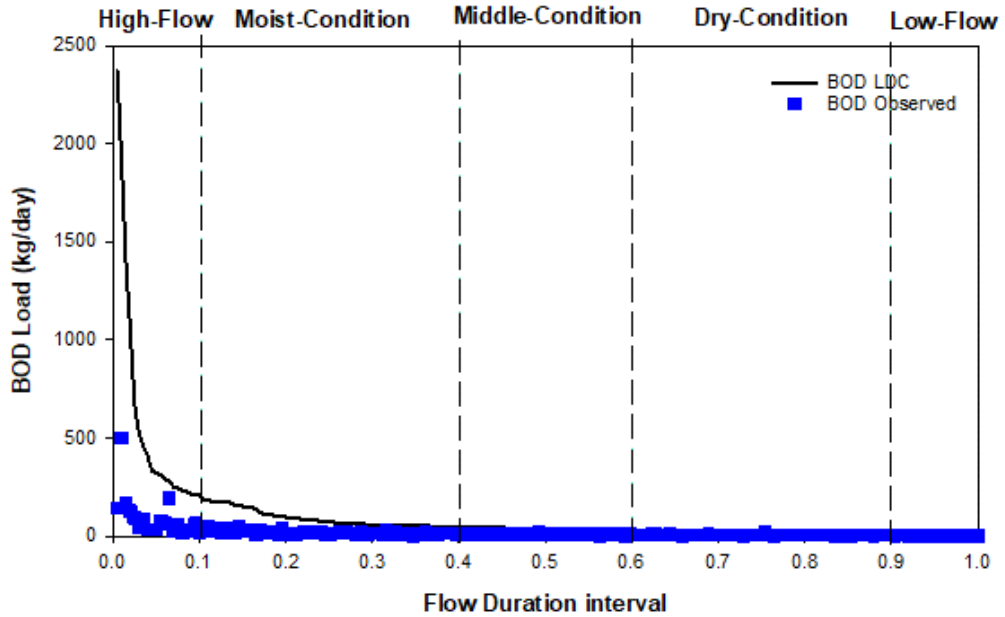
창릉천 Point 1(장산교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 2를 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-6]에 나타내었으며 [그림 4-7] ~ [그림 4-12]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, SS, TP, TN 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 BOD, COD, SS, TP, TN 항목이 각각 5.3%, 5.3% 15.8% 5.3% 및 100% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 COD, SS, TP, TN 항목이 각각 1.7%, 1.7%, 3.3% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 TP, TN 항목이 각각 20% 및 100% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 BOD, COD, SS, TP, TN 항목이 각각 1.7%, 5.0%, 3.3%, 28.3% 및 100% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 COD, TP, TN 항목이 각각 10%, 20% 및 90% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 199개의 데이터 중 197개의 데이터가 기준 부하량을 초과하여 총 99%를 초과하였다.

[표 4-5] 창릉천 Point 1 오염기여도 (Level 2)

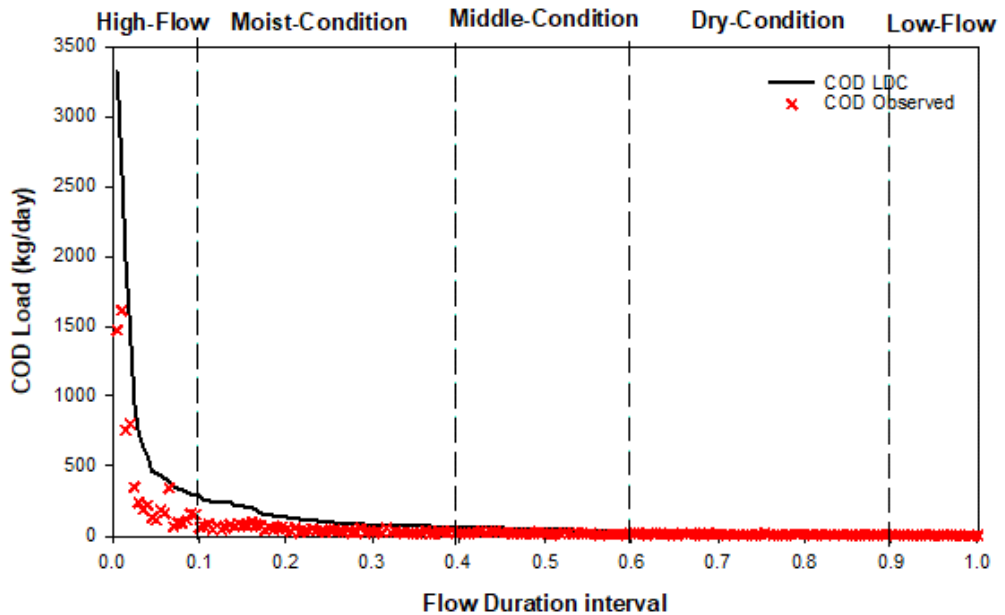
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	2	7	6	32	197	0
Data	199	199	199	199	199	199
Ratio (Over)	1.0%	3.5%	3.0%	16.1%	99.0%	0.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	1	3	1	19	0
Data	19	19	19	19	19	19
Ratio (Over)	5.3%	5.3%	15.8%	5.3%	100.0%	0.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	1	2	60	0
Data	60	60	60	60	60	60

Ratio (Over)	0.0%	1.7%	1.7%	3.3%	100.0%	0.0%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	8	40	0
Data	40	40	40	40	40	40
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%	100.0%	0.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	3	2	17	60	0
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	1.7%	5.0%	3.3%	28.3%	100.0%	0.0%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	2	0	4	18	0
Data	20	20	20	20	20	20
Ratio (Over)	0.0%	10.0%	0.0%	20.0%	90.0%	0.0%

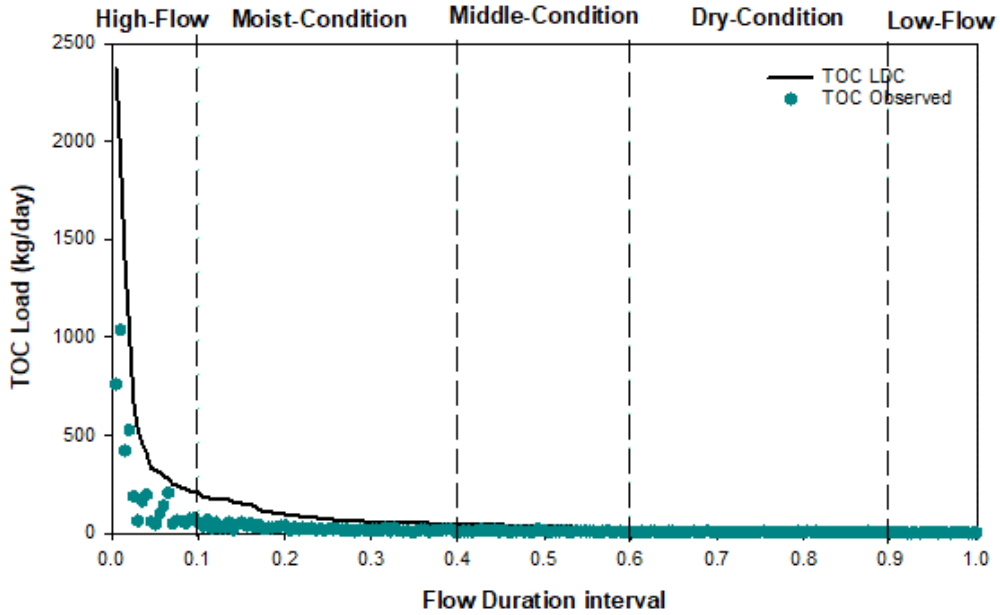
[그림 4-7] 창릉천 Point 1 BOD 부하지속곡선 (Level 2)



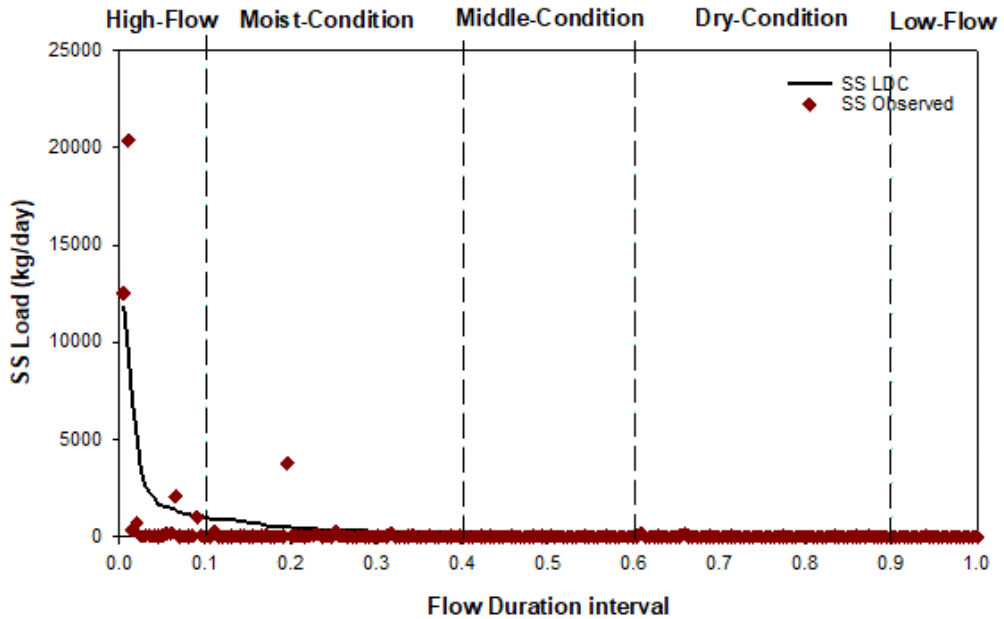
[그림 4-8] 창릉천 Point 1 COD 부하지속곡선 (Level 2)



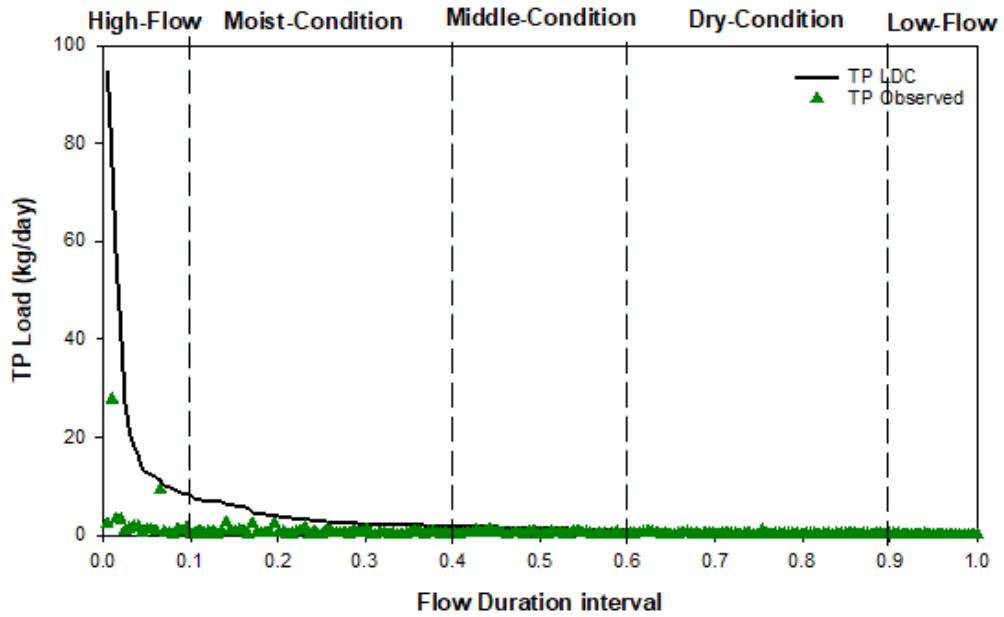
[그림 4-9] 창릉천 Point 1 TOC 부하지속곡선 (Level 2)



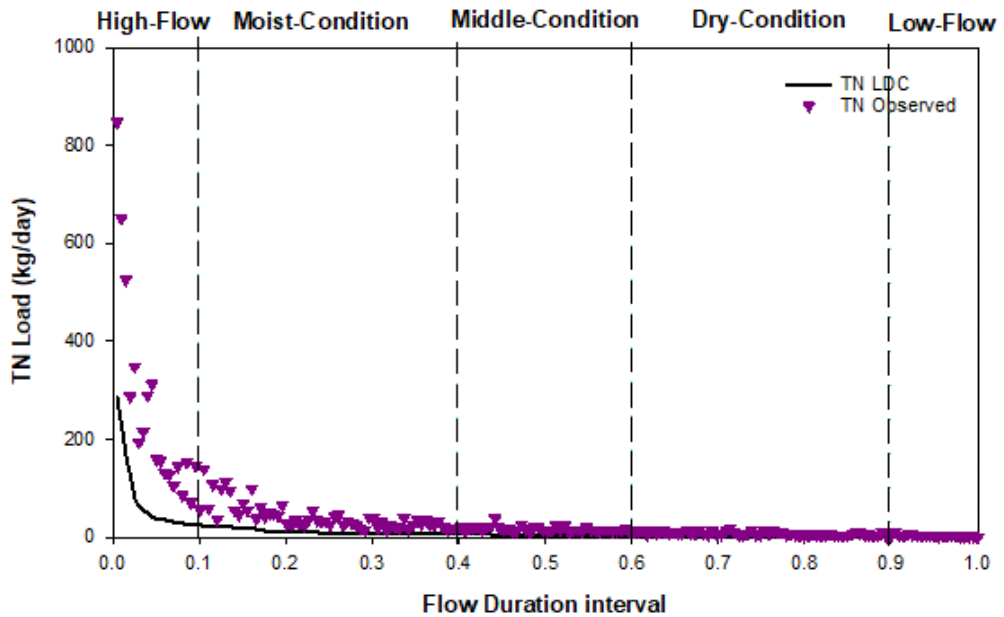
[그림 4-10] 창릉천 Point 1 SS 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-11] 창릉천 Point 1 TP 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-12] 창릉천 Point 1 TN 부하지속곡선 (Level 2)



4. 창릉천 Point 2 지점 오염기여도 분석

1) Base line level 3

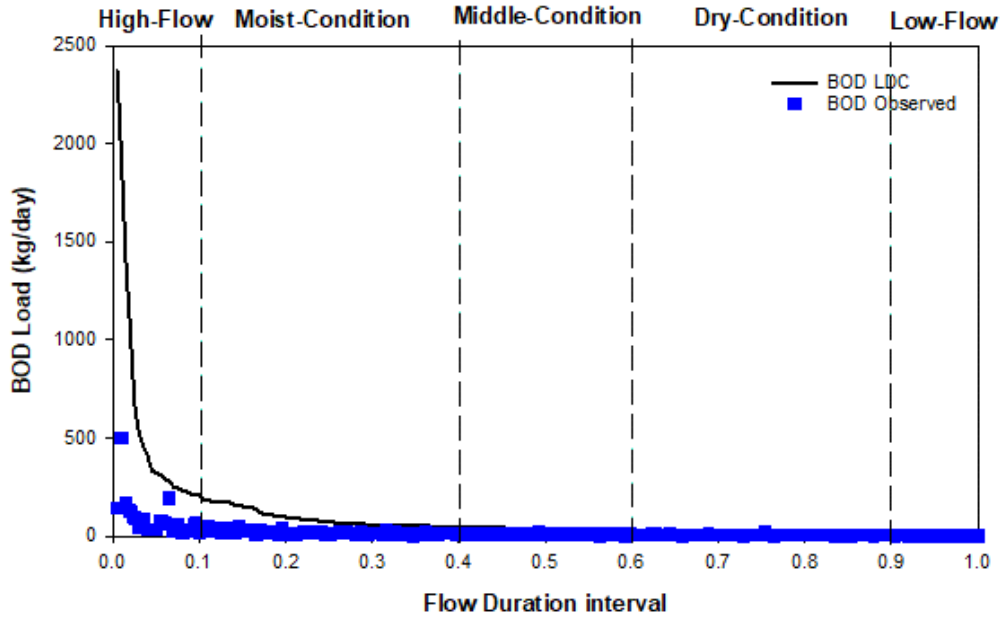
창릉천 Point 2(통일교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 3을 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-7]에 나타내었으며 [그림 4-13] ~ [그림 4-18]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 COD, SS, TP, TN 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 SS와 TN 항목이 각각 5.3% 및 100% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 TN 항목이 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 COD, SS, TN 항목이 각각 2.5%, 2.5% 및 97.5% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 COD, SS, TP, TN 항목이 각각 1.7%, 3.3%, 1.7% 및 91.7% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 TN 항목이 90% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 199개의 데이터 중 191개의 데이터가 기준 부하량을 초과하여 총 96% 초과하였다.

[표 4-6] 창릉천 Point 2 오염기여도 (Level 3)

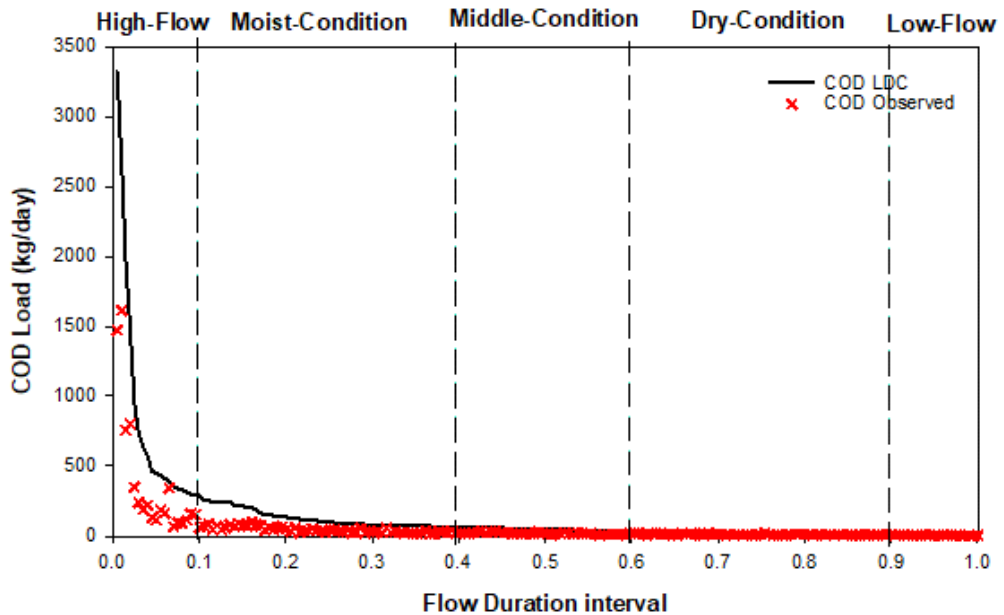
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	2	4	1	191	0
Data	199	199	199	199	199	199
Ratio (Over)	0.0%	1.0%	2.0%	0.5%	96.0%	0.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	1	0	19	0
Data	19	19	19	19	19	19
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	5.3%	0.0%	100.0%	0.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	60	0
Data	60	60	60	60	60	60

Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	1	0	39	0
Data	40	40	40	40	40	40
Ratio (Over)	0.0%	2.5%	2.5%	0.0%	97.5%	0.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	2	1	55	0
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	0.0%	1.7%	3.3%	1.7%	91.7%	0.0%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	18	0
Data	20	20	20	20	20	20
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	90.0%	0.0%

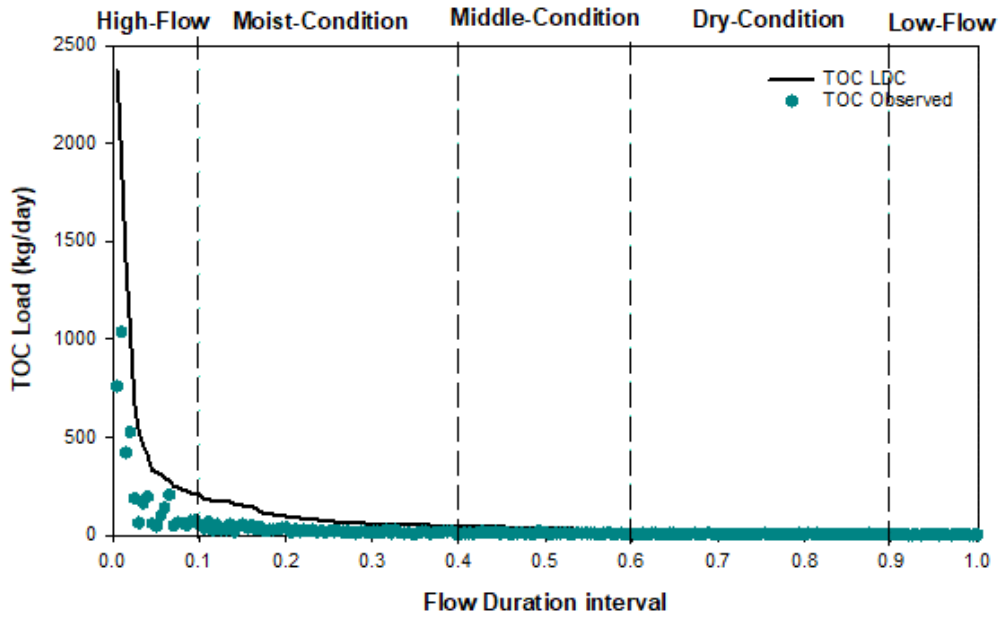
[그림 4-13] 창릉천 Point 2 BOD 부하지속곡선 (Level 3)



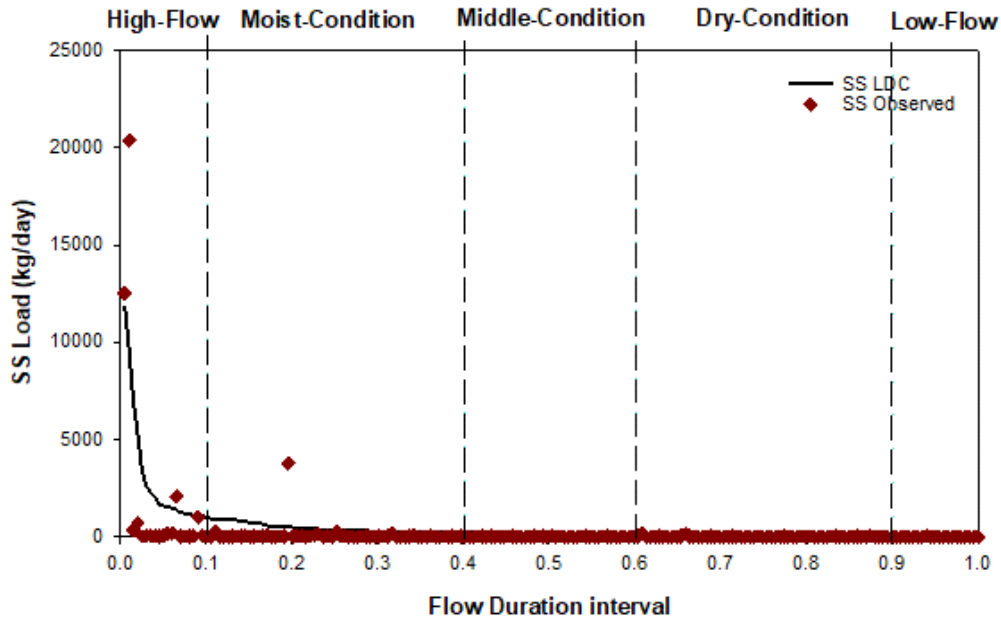
[그림 4-14] 창릉천 Point 2 COD 부하지속곡선 (Level 3)



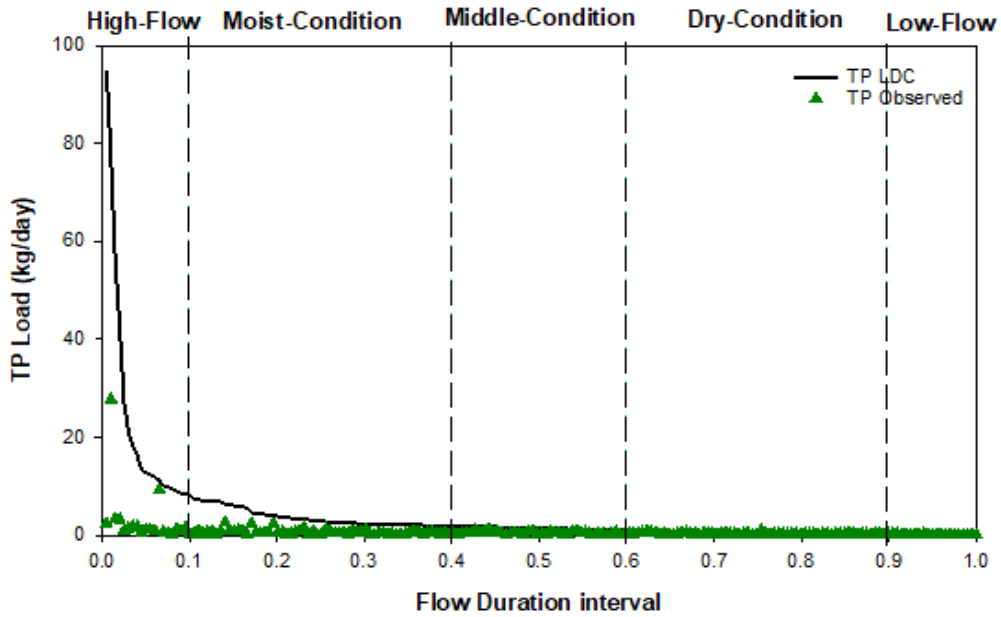
[그림 4-15] 창릉천 Point 2 TOC 부하지속곡선 (Level 3)



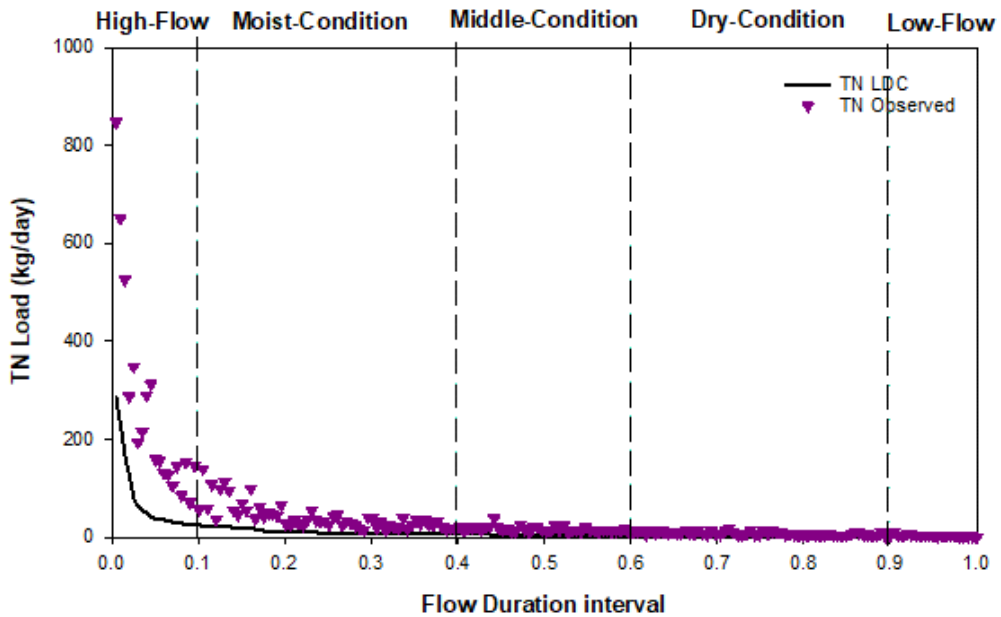
[그림 4-16] 창릉천 Point 2 SS 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-17] 창릉천 Point 2 TP 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-18] 창릉천 Point 2 TN 부하지속곡선 (Level 3)



2) Base line level 2

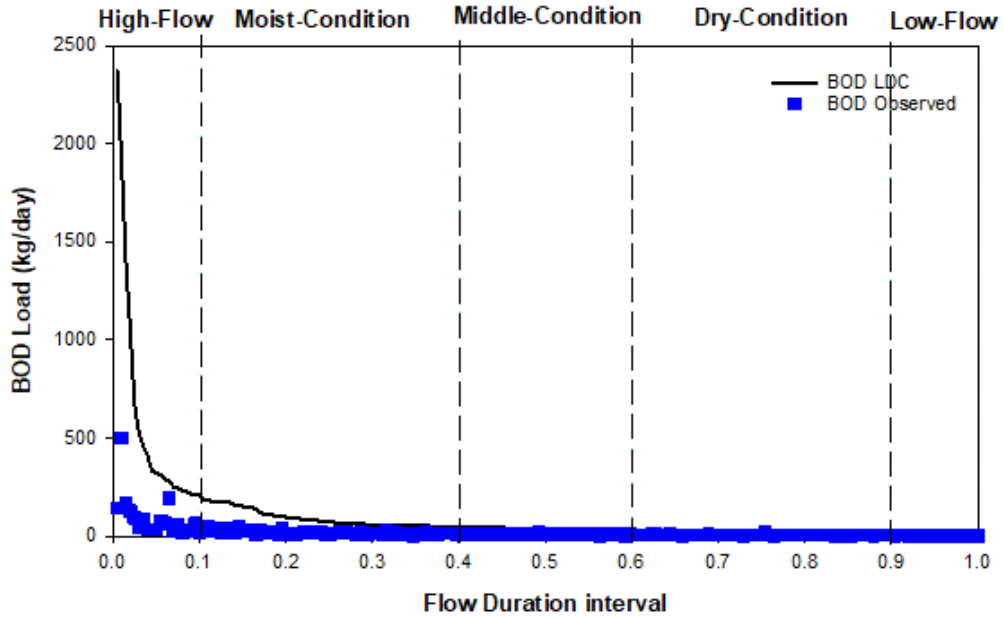
창릉천 Point 2(통일교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 2를 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-8]에 나타내었으며 [그림 4-19] ~ [그림 4-24]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 SS와 TN 항목이 각각 5.3% 및 100% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 COD, TP, TN 항목이 1.7%, 1.7% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 COD, SS, TN 항목이 각각 2.5%, 2.5% 및 100% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 각각 5.0%, 3.3%, 5.0%, 96.7% 및 3.3% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 TN 항목이 95% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 199개의 데이터 중 196개의 데이터가 기준 부하량을 총 98.5% 초과하였다.

[표 4-7] 창릉천 Point 2 오염기여도 (Level 2)

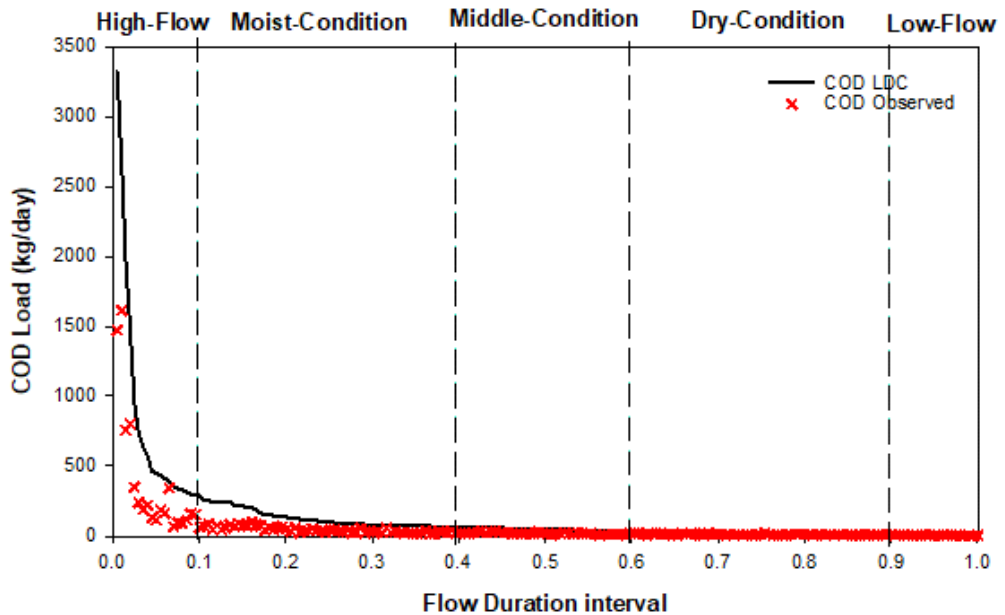
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	5	4	4	196	2
Data	199	199	199	199	199	199
Ratio (Over)	0.0%	2.5%	2.0%	2.0%	98.5%	1.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	1	0	19	0
Data	19	19	19	19	19	19
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	5.3%	0.0%	100.0%	0.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	0	1	60	0
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	0.0%	1.7%	0.0%	1.7%	100.0%	0.0%

Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	1	0	40	0
Data	40	40	40	40	40	40
Ratio (Over)	0.0%	2.5%	2.5%	0.0%	100.0%	0.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	3	2	3	58	2
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	0.0%	5.0%	3.3%	5.0%	96.7%	3.3%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	19	0
Data	20	20	20	20	20	20
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	0.0%

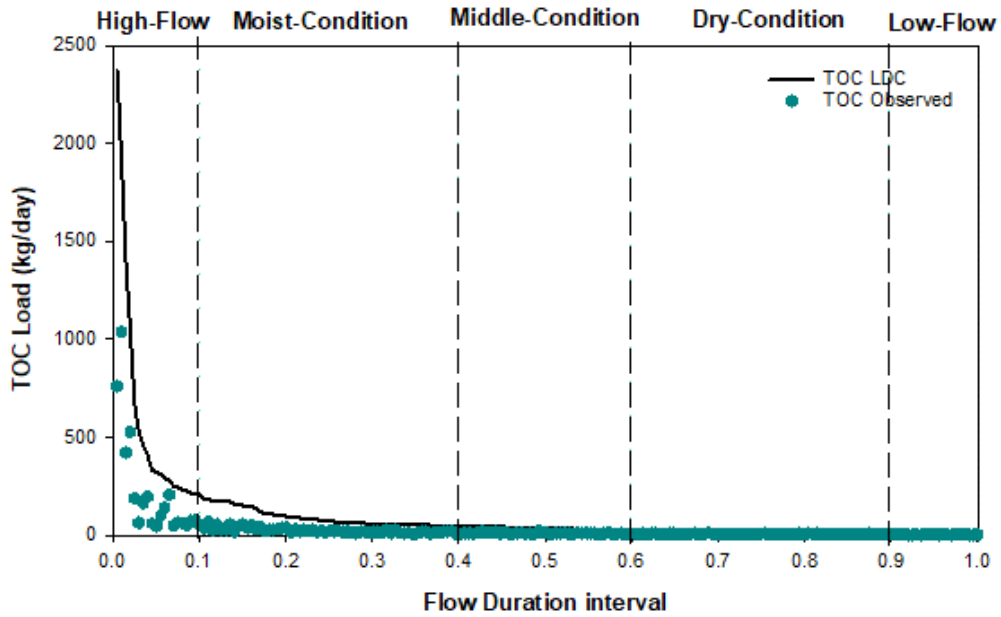
[그림 4-19] 창릉천 Point 2 BOD 부하지속곡선 (Level 2)



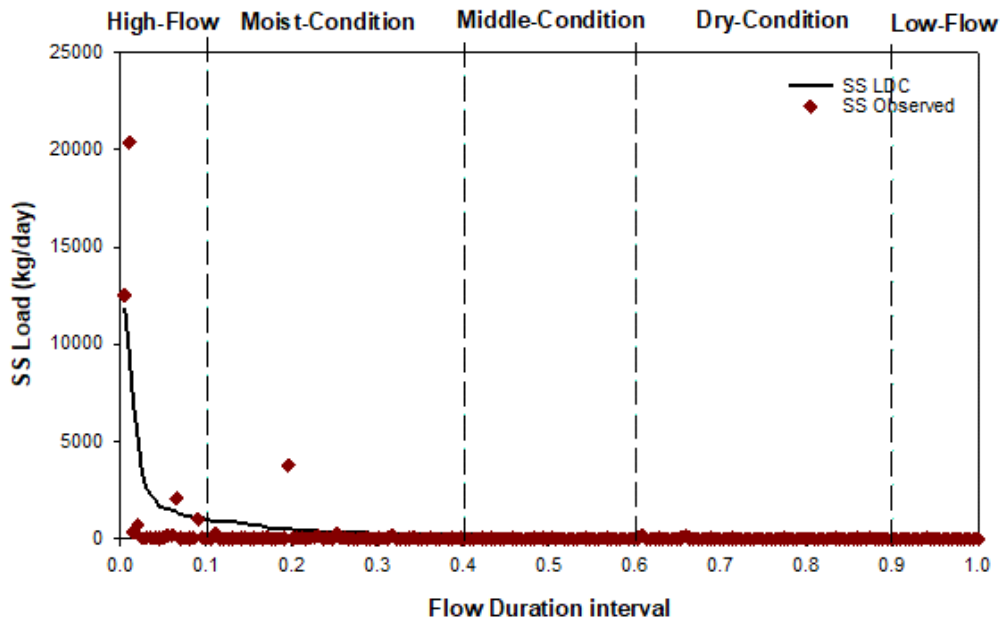
[그림 4-20] 창릉천 Point 2 COD 부하지속곡선 (Level 2)



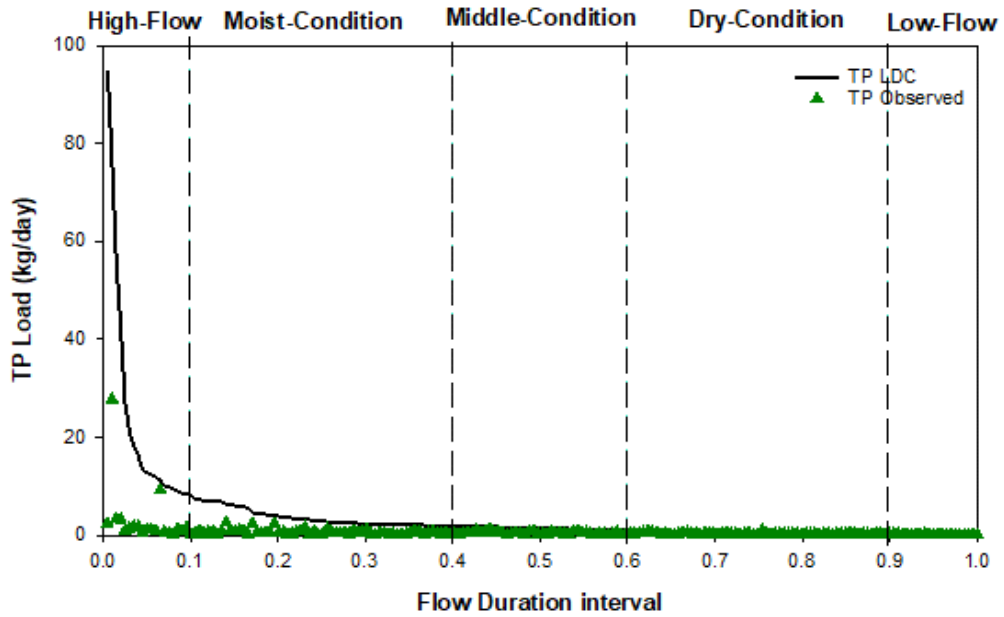
[그림 4-21] 창릉천 Point 2 TOC 부하지속곡선 (Level 2)



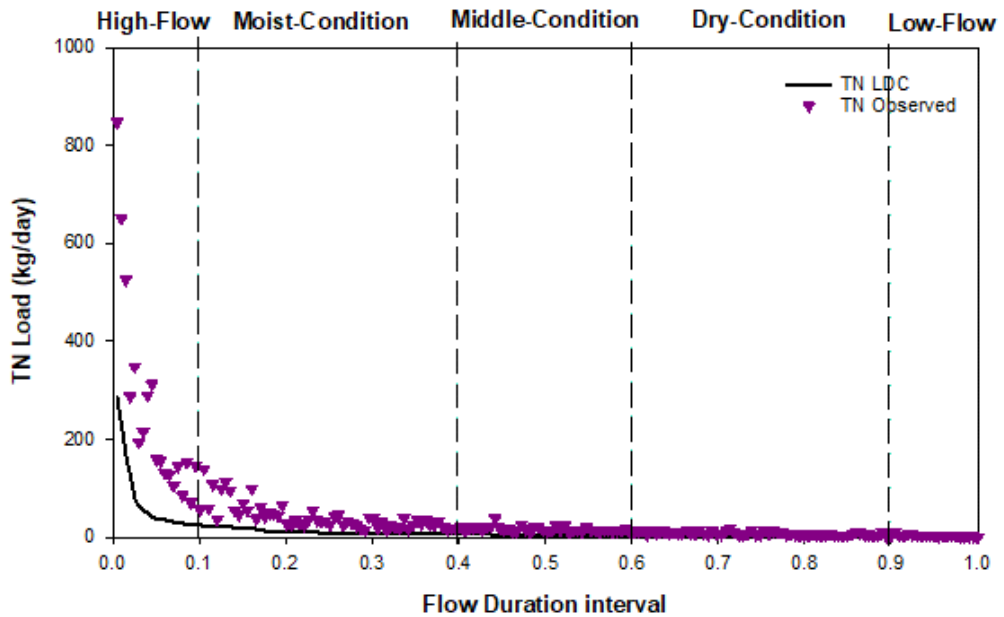
[그림 4-22] 창릉천 Point 2 SS 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-23] 창릉천 Point 2 TP 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-24] 창릉천 Point 2 TN 부하지속곡선 (Level 2)



5. 창릉천 Point 3 지점 오염기여도 분석

1) Base line level 3

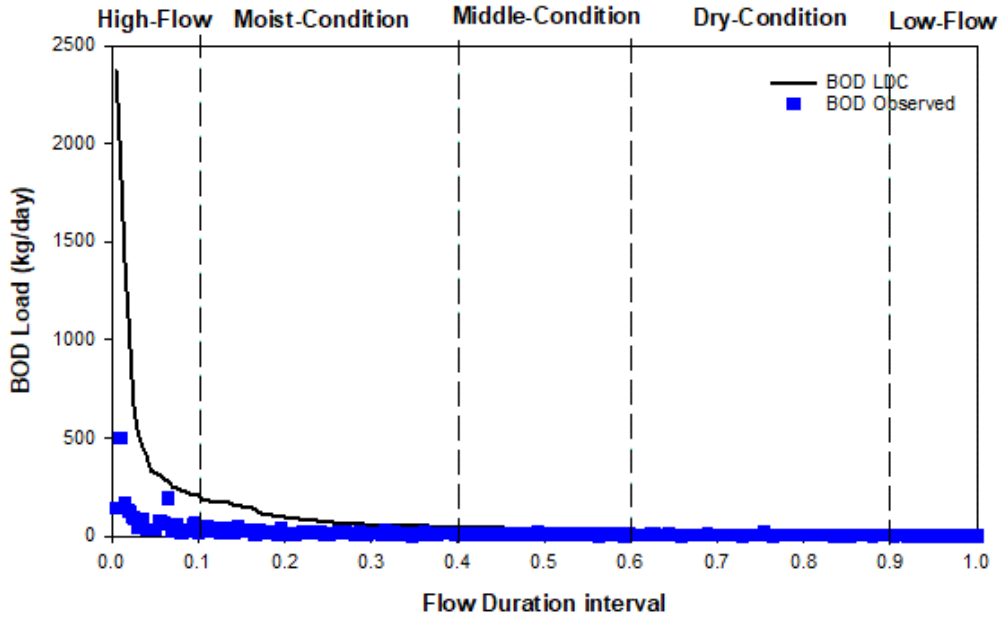
창릉천 Point 3(삼송교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 3을 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-9]에 나타내었으며 [그림 4-25] ~ [그림 4-30]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 TP와 TN 항목이 각각 20% 및 100% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 TN 항목이 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 TP, TN 항목이 각각 8.3% 및 100% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 TP, TN, TOC 항목이 각각 5.6%, 100% 및 5.6% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 TN 항목이 85.7% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 60개의 데이터 중 59개의 데이터가 기준 부하량을 초과하여 총 98.3% 초과하였다.

[표 4-8] 창릉천 Point 3 오염기여도 (Level 3)

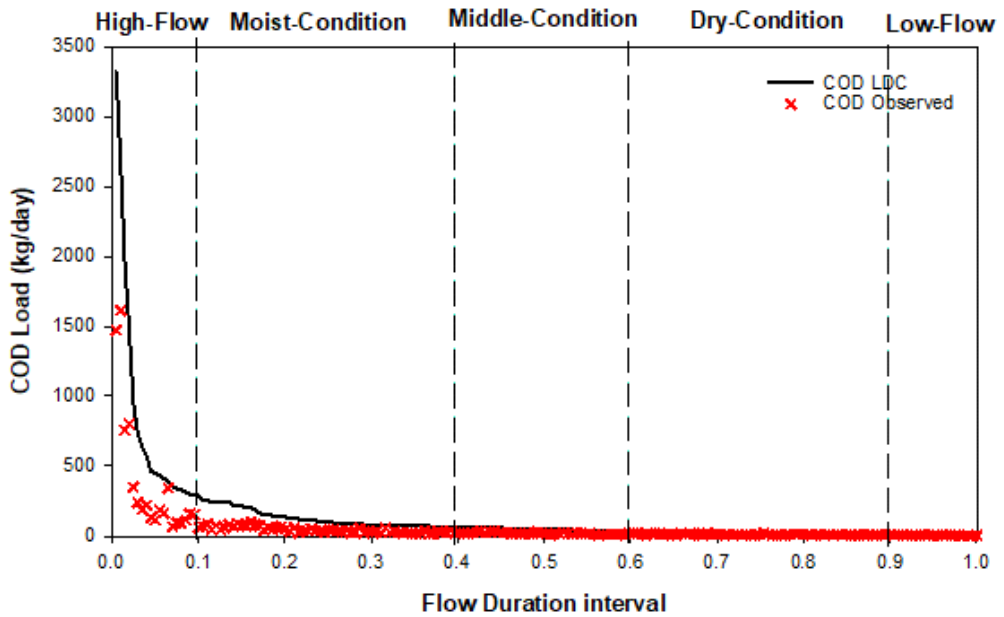
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	3	59	1
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	98.3%	1.7%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	1	5	0
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%	100.0%	0.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	18	0
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%

Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	1	12	0
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	100.0%	0.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	1	18	1
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	5.6%	100.0%	5.6%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	0	6	0
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	85.7%	0.0%

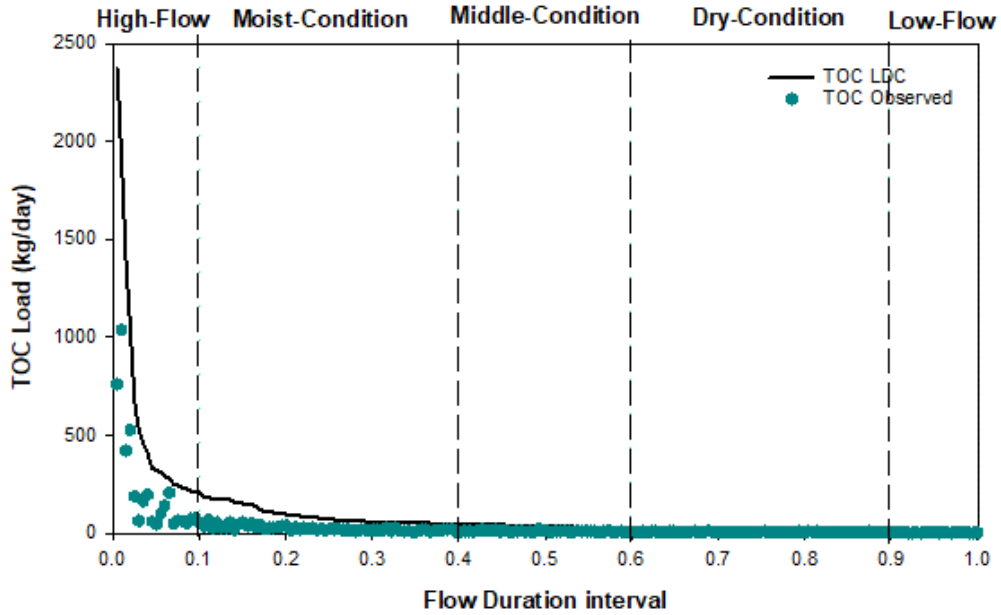
[그림 4-25] 창릉천 Point 3 BOD 부하지속곡선 (Level 3)



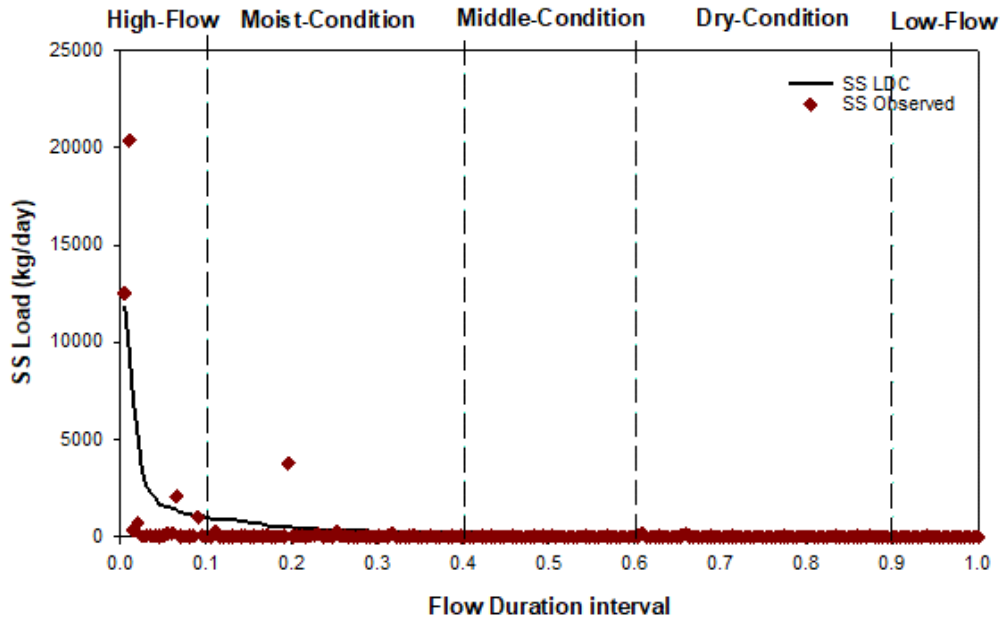
[그림 4-26] 창릉천 Point 3 COD 부하지속곡선 (Level 3)



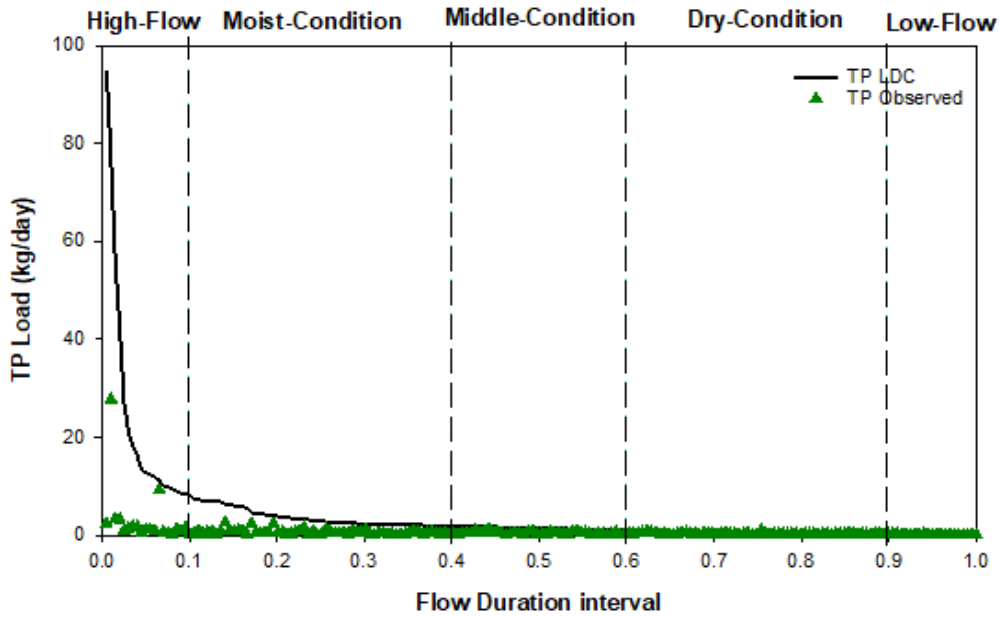
[그림 4-27] 창릉천 Point 3 TOC 부하지속곡선 (Level 3)



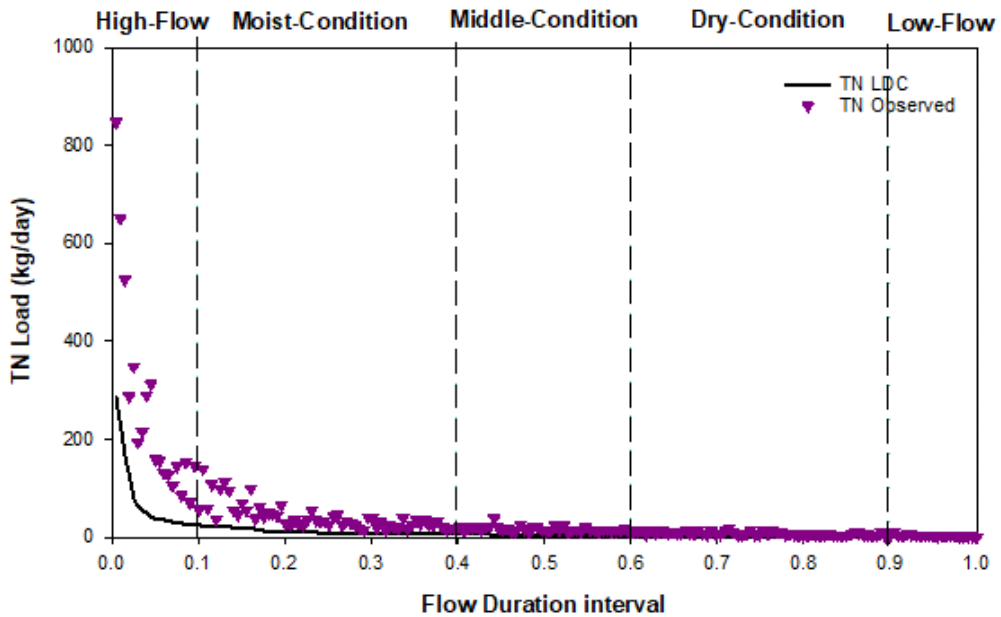
[그림 4-28] 창릉천 Point 3 SS 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-29] 창릉천 Point 3 TP 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-30] 창릉천 Point 3 TN 부하지속곡선 (Level 3)



2) Base line level 2

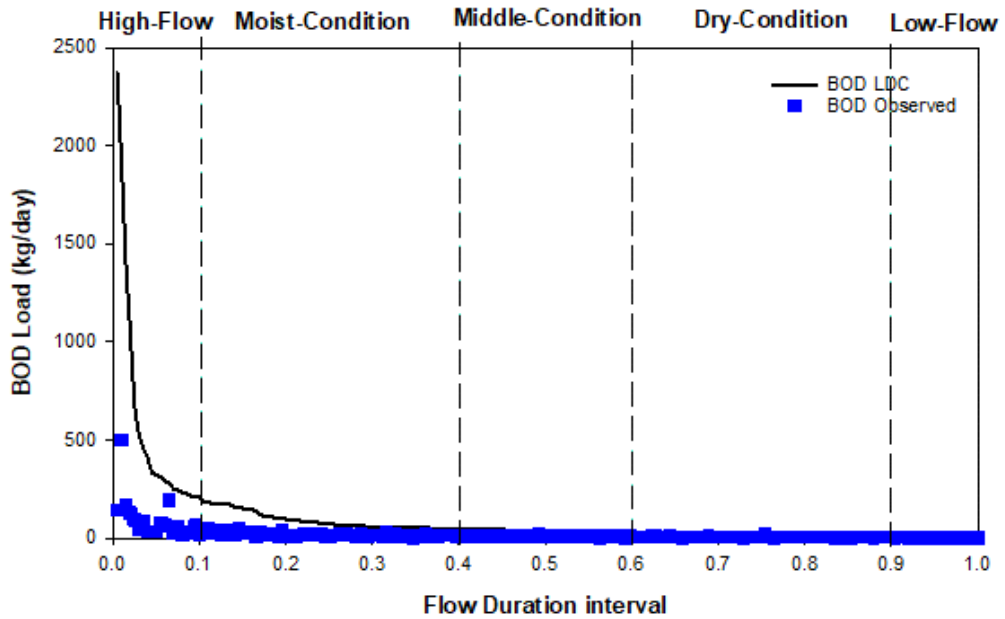
창릉천 Point 3(삼송교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 2를 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-10]에 나타내었으며 [그림 4-31] ~ [그림 4-36]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 TP, TN, TOC 항목이 각각 20%, 100% 및 20% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 TP, TN 항목이 11.1% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 COD, TP, TN, TOC 항목이 각각 16.7%, 8.3%, 100% 및 8.3% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 BOD, COD, TP, TN, TOC 항목이 각각 16.7%, 44.4%, 11.1%, 100% 및 16.7% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 TP, TN 항목이 14.3% 및 100%를 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 60개의 데이터 중 60개의 데이터가 기준 부하량을 총 100% 초과하였다.

[표 4-9] 창릉천 Point 3 오염기여도 (Level 2)

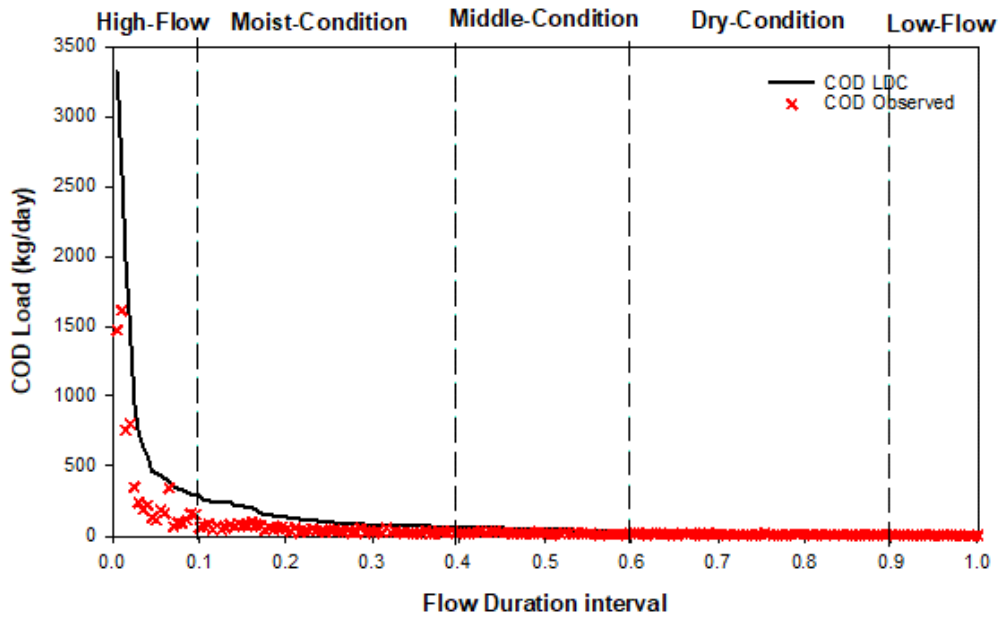
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	3	10	0	7	60	5
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	5.0%	16.7%	0.0%	11.7%	100.0%	8.3%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	1	5	1
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	20.0%	100.0%	20.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	2	18	0
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	11.1%	100.0%	0.0%

Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	2	0	1	12	1
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	0.0%	16.7%	0.0%	8.3%	100.0%	8.3%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	3	8	0	2	18	3
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	16.7%	44.4%	0.0%	11.1%	100.0%	16.7%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	0	1	7	0
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	0.0%	14.3%	100.0%	0.0%

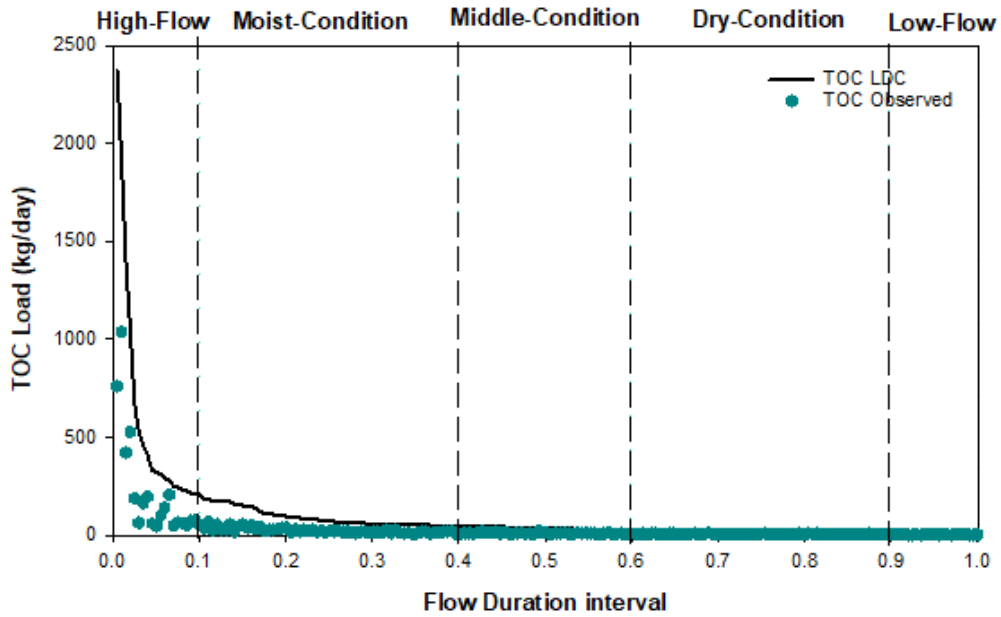
[그림 4-31] 창릉천 Point 3 BOD 부하지속곡선 (Level 2)



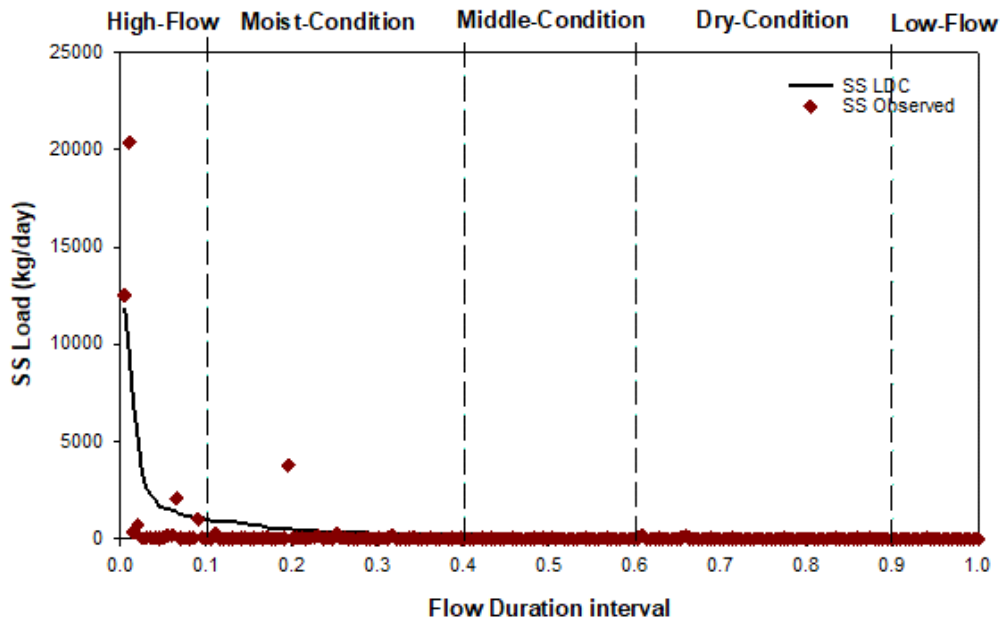
[그림 4-32] 창릉천 Point 3 부하지속곡선 (Level 2)



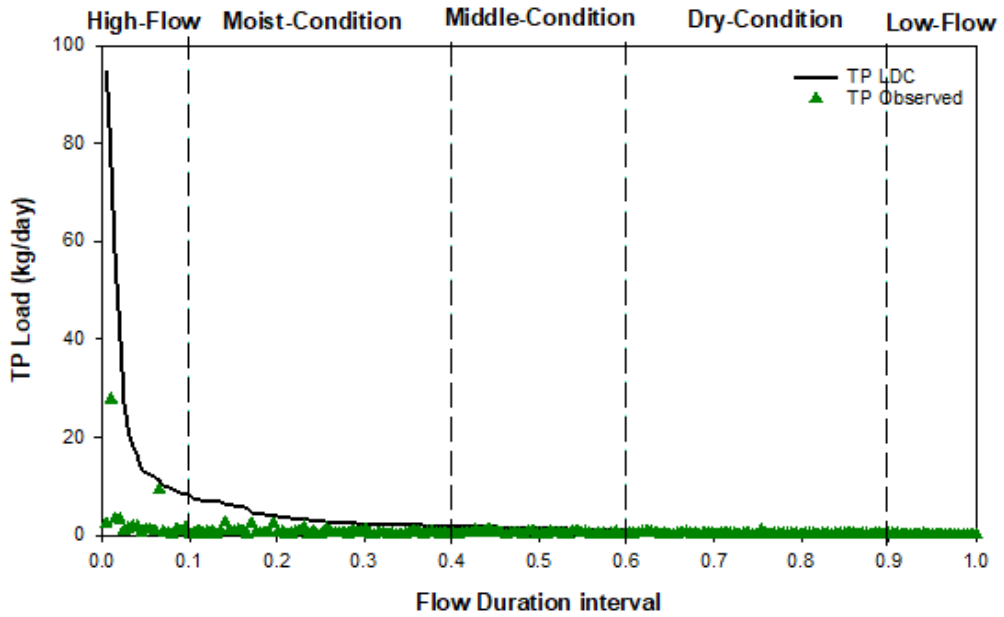
[그림 4-33] 창릉천 Point 3 TOC 부하지속곡선 (Level 2)



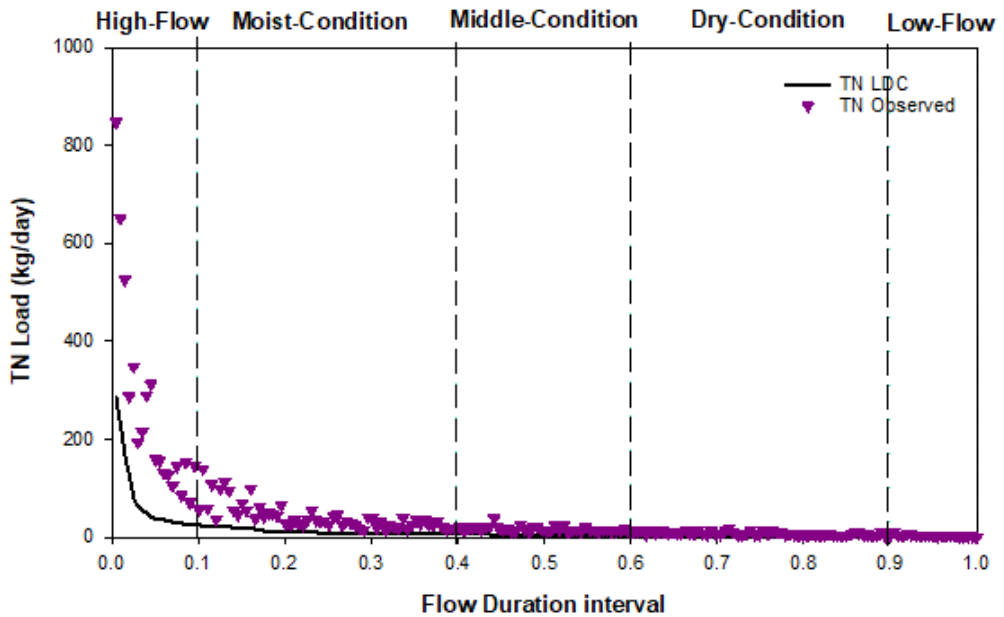
[그림 4-34] 창릉천 Point 3 SS 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-35] 창릉천 Point 3 TP 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-36] 창릉천 Point 3 TN 부하지속곡선 (Level 2)



6. 창릉천 Point 4 지점 오염기여도 분석

1) Base line level 3

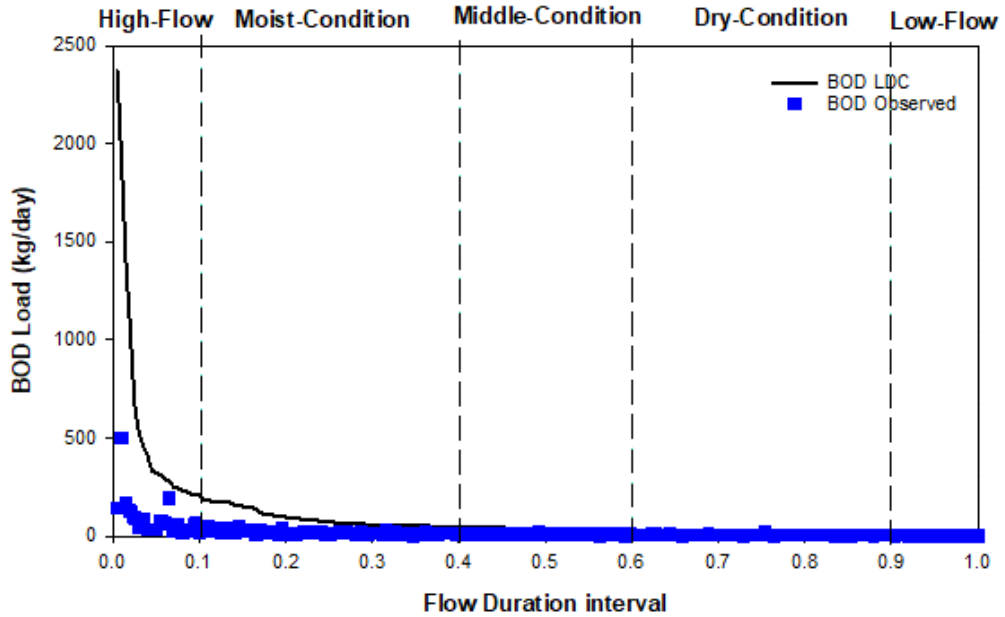
창릉천 Point 4(제2화전교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 3을 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-11]에 나타내었으며 [그림 4-37] ~ [그림 4-42]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 SS, TN, TOC 항목이 각각 20%, 100% 및 20% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 COD, SS, TN 항목이 5.6%, 5.6% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 BOD, COD, TP, TN, TOC 항목이 각각 8.3%, 16.7%, 8.3%, 100% 및 33.3% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 COD, TN, TOC 항목이 각각 5.6%, 100% 및 5.6% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 BOD, COD, TP, TN 및 TOC 항목이 14.3%, 57.1%, 42.9%, 100% 및 71.4% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 60개의 데이터 중 60개의 데이터가 기준 부하량을 총 100% 초과하였다.

[표 4-10] 창릉천 Point 4 오염기여도 (Level 3)

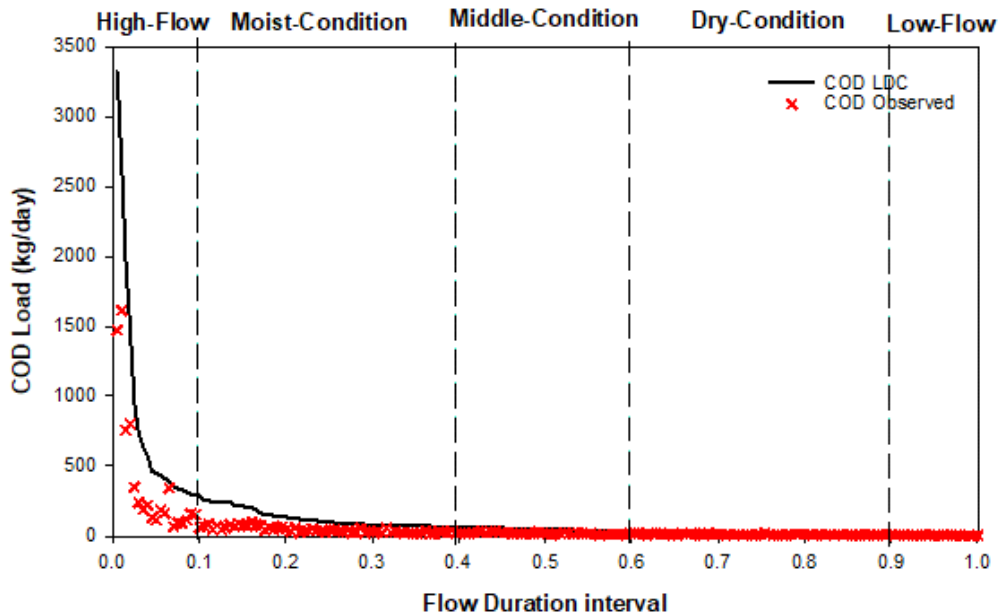
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	2	8	2	4	60	11
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	3.3%	13.3%	3.3%	6.7%	100.0%	18.3%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	1	0	5	1
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	20.0%	0.0%	100.0%	20.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	1	0	18	0

Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	5.6%	5.6%	0.0%	100.0%	0.0%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	2	0	1	12	4
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	8.3%	16.7%	0.0%	8.3%	100.0%	33.3%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	0	0	18	1
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	5.6%	0.0%	0.0%	100.0%	5.6%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	4	0	3	7	5
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	14.3%	57.1%	0.0%	42.9%	100.0%	71.4%

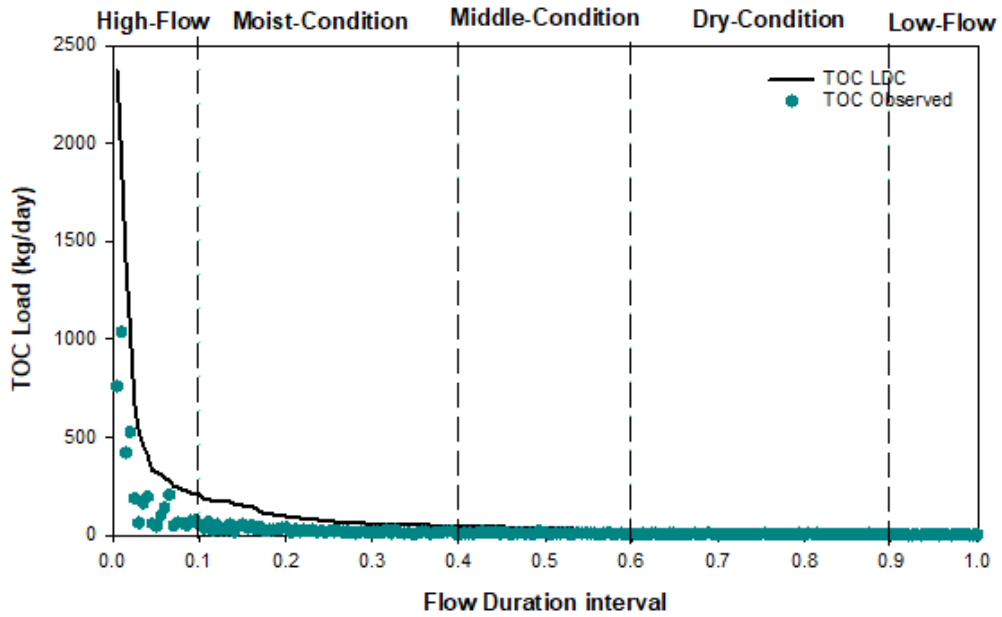
[그림 4-37] 창릉천 Point 4 BOD 부하지속곡선 (Level 3)



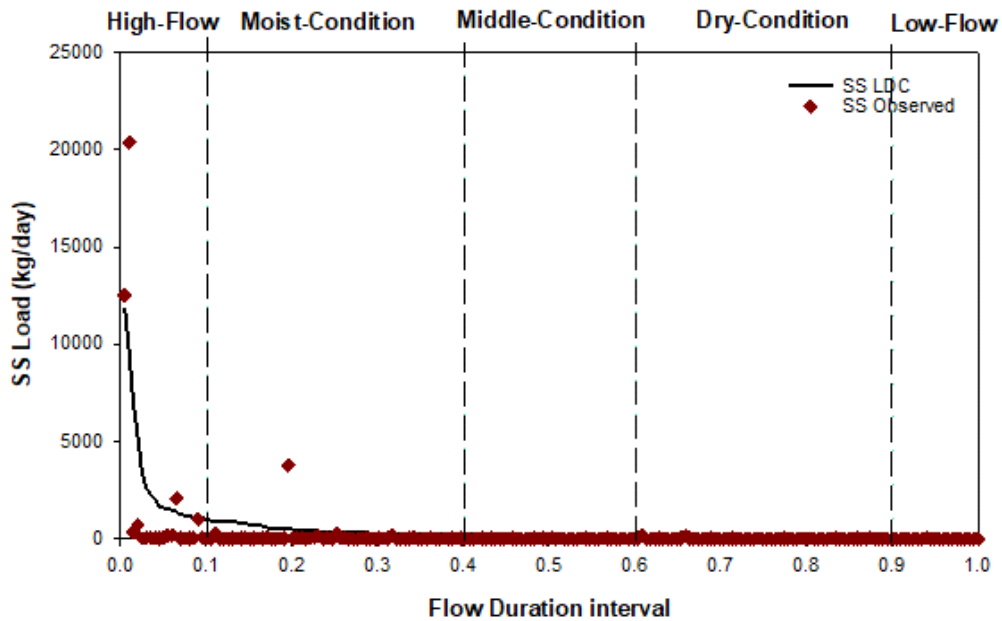
[그림 4-38] 창릉천 Point 4 COD 부하지속곡선 (Level 3)



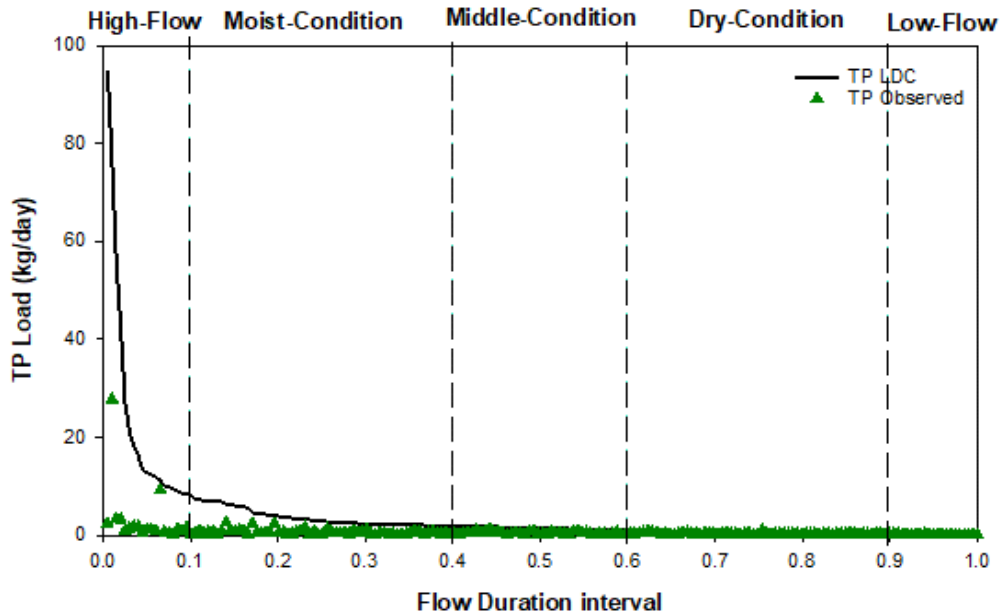
[그림 4-39] 창릉천 Point 4 TOC 부하지속곡선 (Level 3)



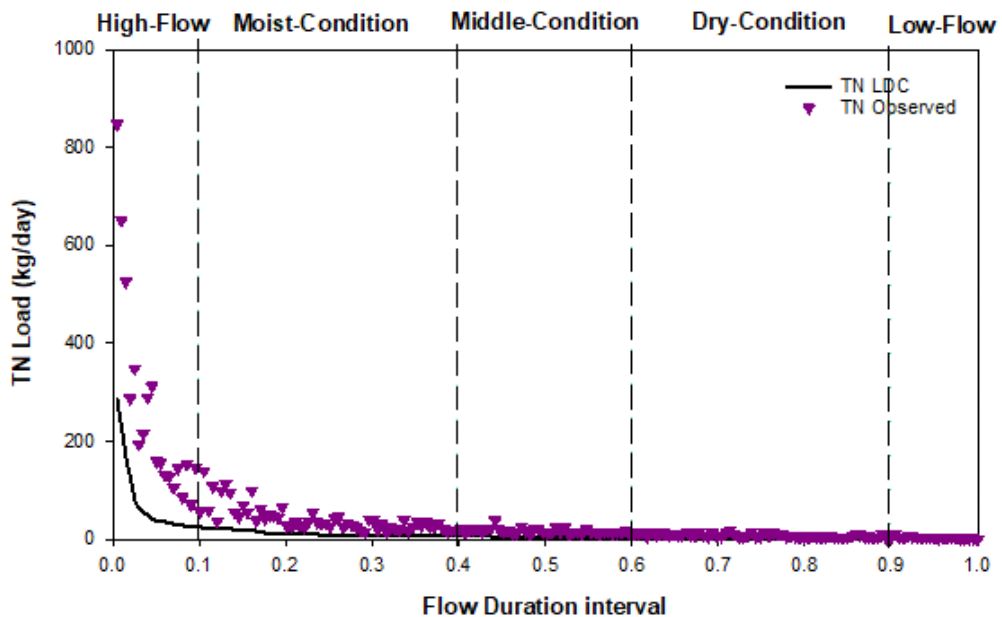
[그림 4-40] 창릉천 Point 4 SS 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-41] 창릉천 Point 4 TP 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-42] 창릉천 Point 4 TN 부하지속곡선 (Level 3)



2) Base line level 2

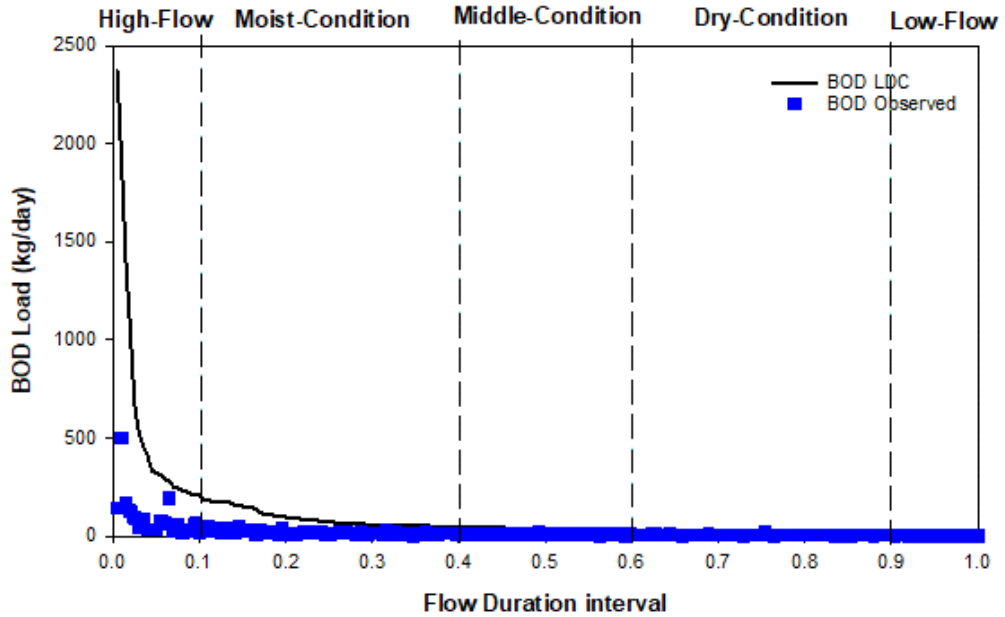
창릉천 Point 4(제2화전교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 2를 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-12]에 나타내었으며 [그림 4-43] ~ [그림 4-48]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 모든 항목이 기준 부하량을 초과하였으며, BOD, COD, SS, TOC는 20%를 초과하였으며 TP는 40%, TN은 100% 초과하였다. Moist condition 등급에서는 COD, SS, TN, TOC 항목이 16.7%, 5.6%, 100% 및 5.6% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 BOD, COD, TP, TN, TOC 항목이 각각 50.0%, 66.7%, 25.0%, 100% 및 50.0% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 BOD, COD, TP, TN, TOC 항목이 각각 33.3%, 66.7% 및 22.2%, 100%, 38.9% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 BOD, COD, TP, TN 및 TOC 항목이 71.4%, 58.7%, 100%, 100% 및 85.7% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 60개의 데이터 중 60개의 데이터가 기준 부하량을 총 100% 초과하였다.

[표 4-11] 창릉천 Point 4 오염기여도 (Level 2)

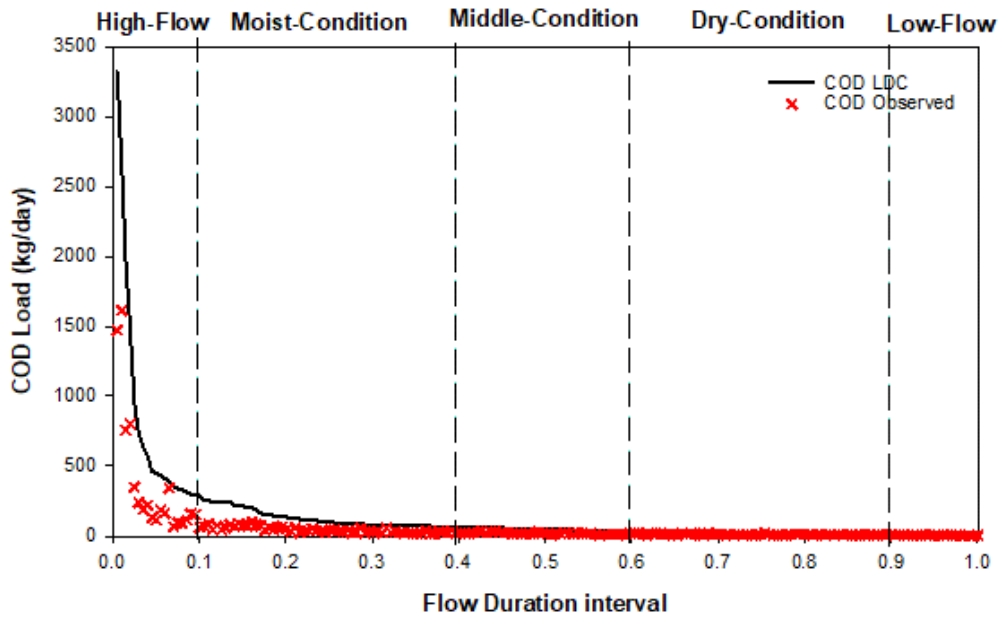
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	18	30	2	16	60	21
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	30.0%	50.0%	3.3%	26.7%	100.0%	35.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	1	1	2	5	1
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	20.0%	20.0%	20.0%	40.0%	100.0%	20.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	3	1	0	18	1

Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	16.7%	5.6%	0.0%	100.0%	5.6%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	6	8	0	3	12	6
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	50.0%	66.7%	0.0%	25.0%	100.0%	50.0%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	6	12	0	4	18	7
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	33.3%	66.7%	0.0%	22.2%	100.0%	38.9%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	5	6	0	7	7	6
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	71.4%	85.7%	0.0%	100.0%	100.0%	85.7%

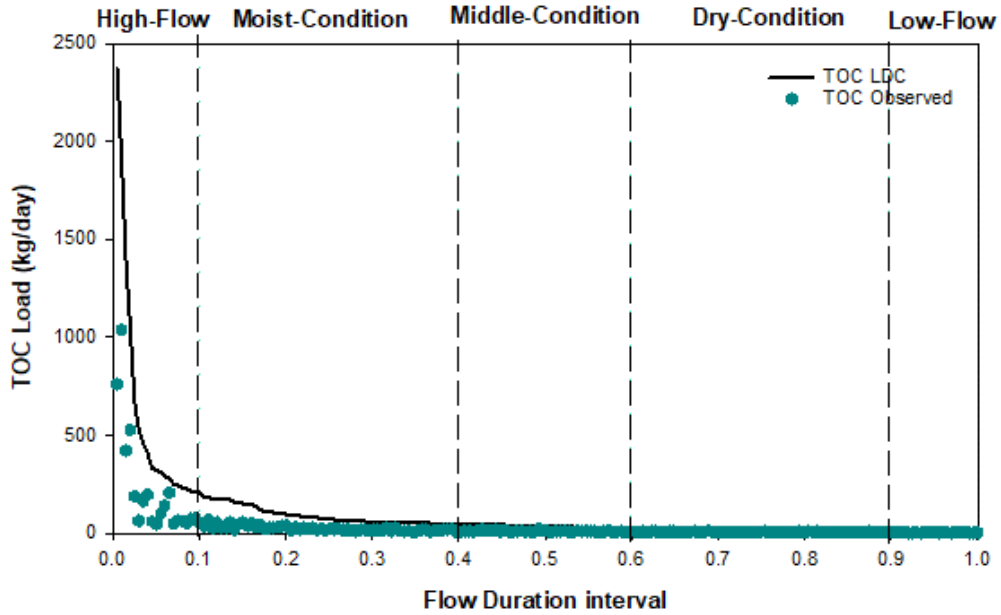
[그림 4-43] 창릉천 Point 4 BOD 부하지속곡선 (Level 2)



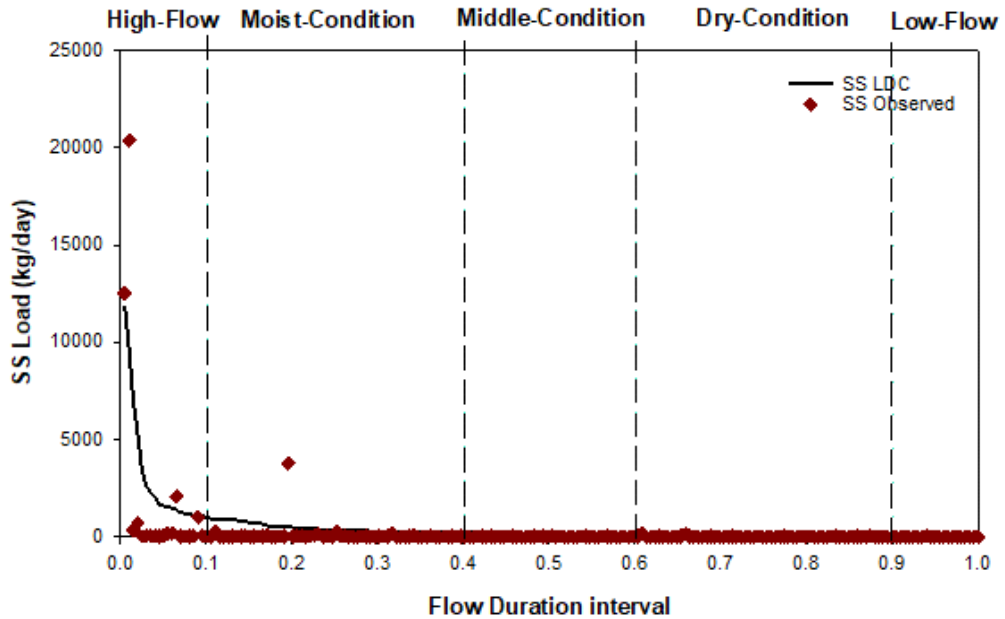
[그림 4-44] 창릉천 Point 4 COD 부하지속곡선 (Level 2)



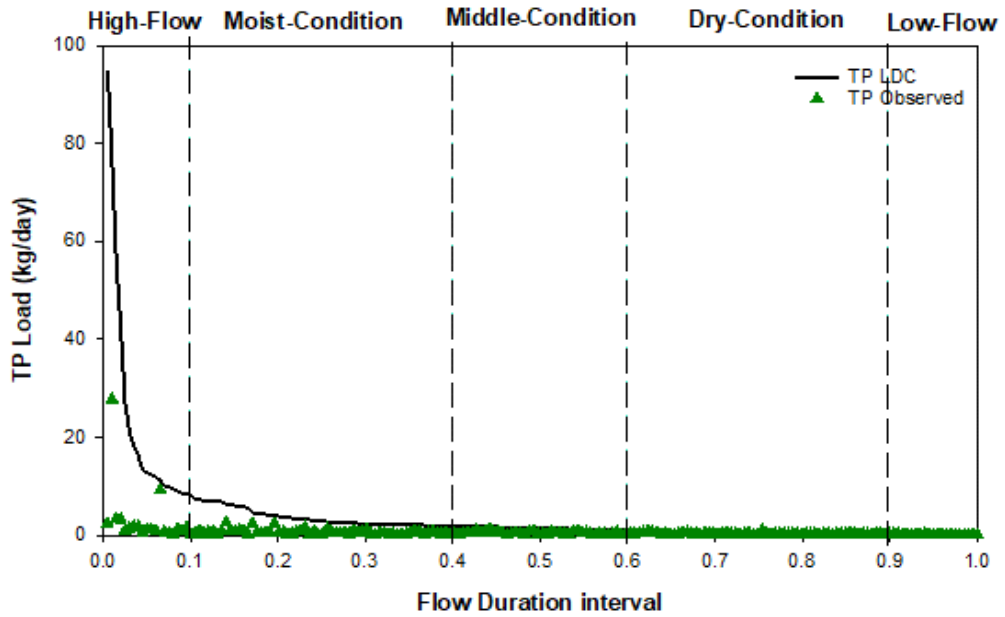
[그림 4-45] 창릉천 Point 4 TOC 부하지속곡선 (Level 2)



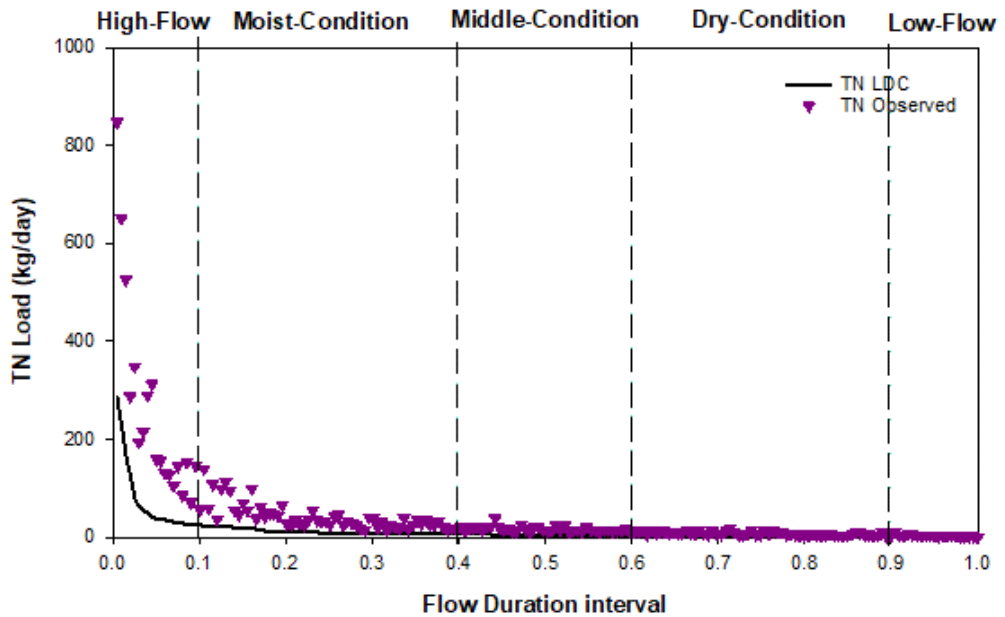
[그림 4-46] 창릉천 Point 4 SS 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-47] 창릉천 Point 4 TP 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-48] 창릉천 Point 4 TN 부하지속곡선 (Level 2)



7. 창릉천 Point 5 지점 오염기여도 분석

1) Base line level 3

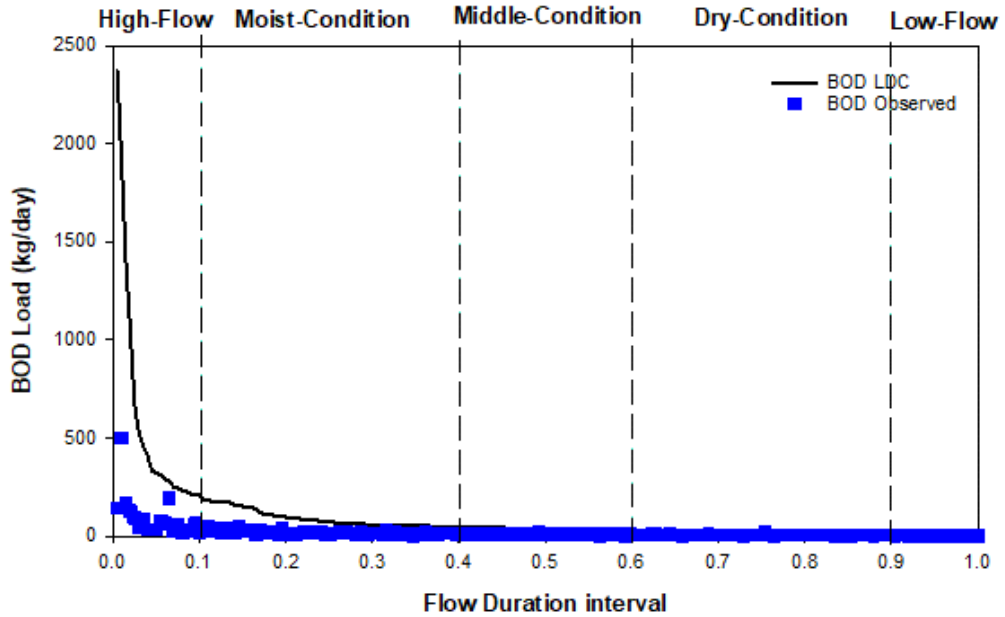
창릉천 Point 5(창릉교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 3을 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-13]에 나타내었으며 [그림 4-49] ~ [그림 4-54]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. High-flow 등급에서는 SS, TP, TN, TOC 항목이 각각 40%, 20%, 100% 및 20% 초과하였으며 Moist condition 등급에서는 COD, SS, TP, TN 항목이 5.6%, 27.8%, 5.6% 및 100% 초과하였다. Middle condition 등급에서는 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 각각 41.7%, 41.7%, 16.7%, 8.3%, 100% 및 33.3% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 BOD, COD, SS, TN, TOC 항목이 각각 5.6%, 27.8%, 16.7%, 100% 및 22.2% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC의 항목이 57.1%, 85.7%, 71.4%, 28.6%, 100% 및 85.7% 초과하였는데 최종적으로 TN이 총 60개의 데이터 중 60개의 데이터가 기준 부하량을 총 100% 초과하였다.

[표 4-12] 창릉천 Point 5 오염기여도 (Level 3)

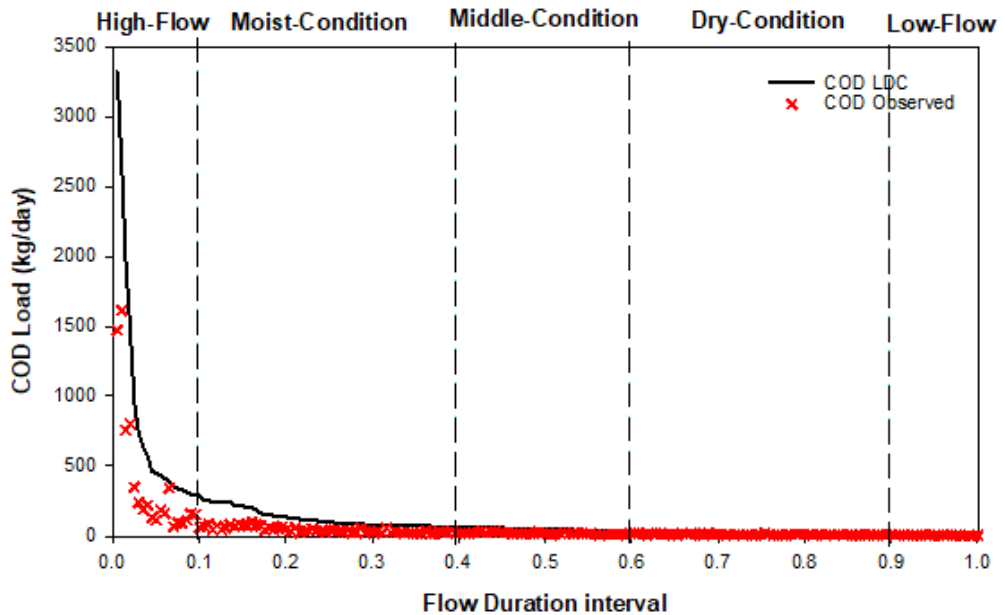
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	10	17	17	5	60	15
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	16.7%	28.3%	28.3%	8.3%	100.0%	25.0%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	0	2	1	5	1
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	0.0%	0.0%	40.0%	20.0%	100.0%	20.0%

Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	0	1	5	1	18	0
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	0.0%	5.6%	27.8%	5.6%	100.0%	0.0%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	5	5	2	1	12	4
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	41.7%	41.7%	16.7%	8.3%	100.0%	33.3%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	1	5	3	0	18	4
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	5.6%	27.8%	16.7%	0.0%	100.0%	22.2%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	4	6	5	2	7	6
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	57.1%	85.7%	71.4%	28.6%	100.0%	85.7%

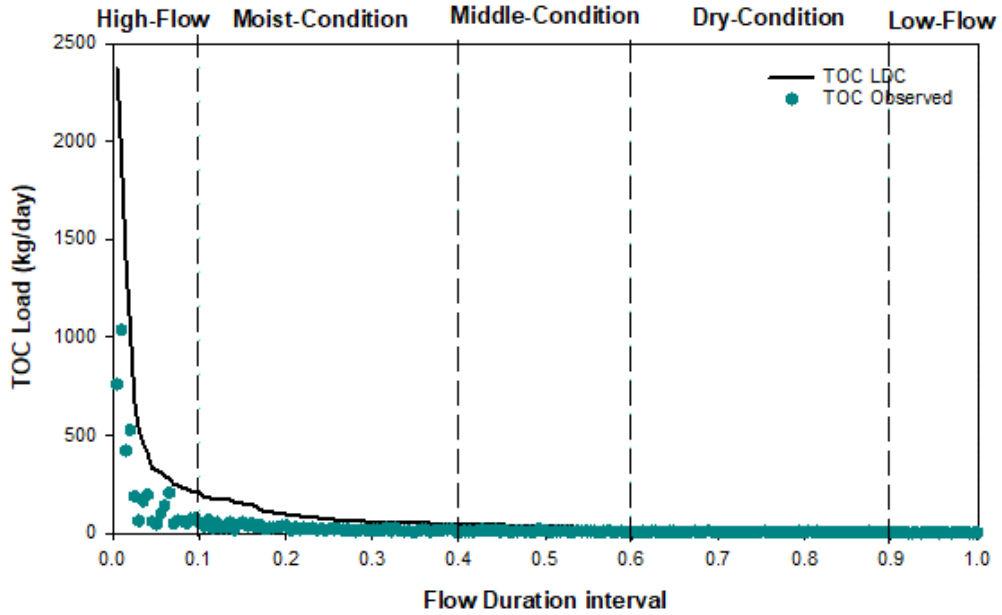
[그림 4-49] 창릉천 Point 5 BOD 부하지속곡선 (Level 3)



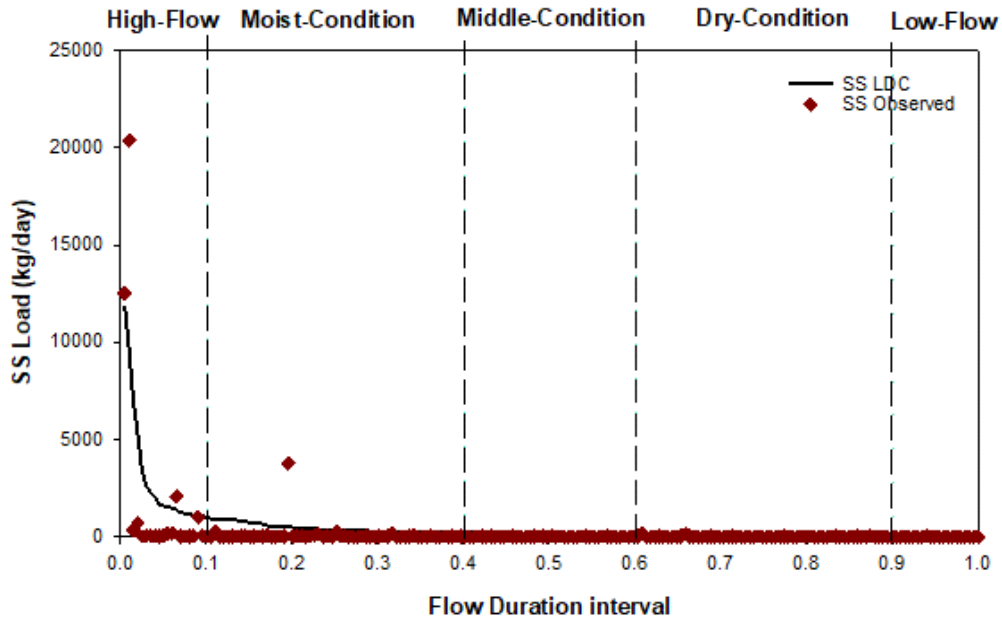
[그림 4-50] 창릉천 Point 5 COD 부하지속곡선 (Level 3)



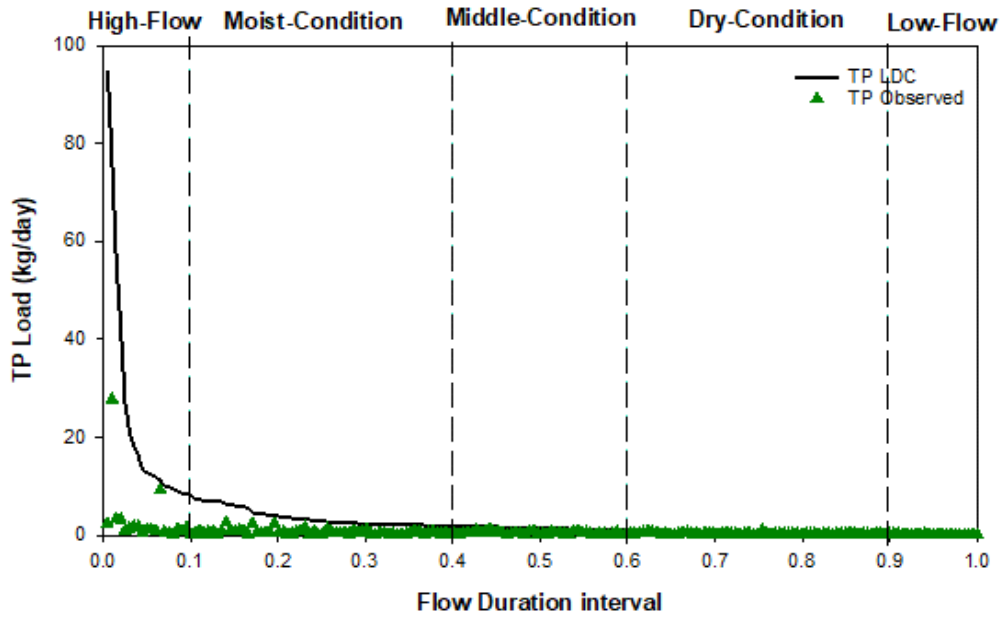
[그림 4-51] 창릉천 Point 5 TOC 부하지속곡선 (Level 3)



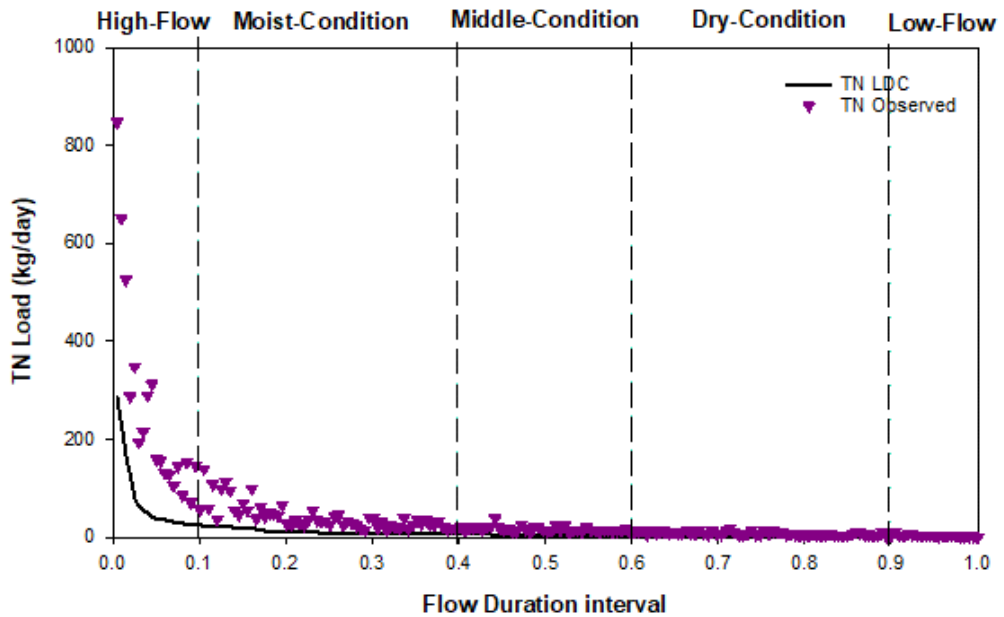
[그림 4-52] 창릉천 Point 5 SS 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-53] 창릉천 Point 5 TP 부하지속곡선 (Level 3)



[그림 4-54] 창릉천 Point 5 TN 부하지속곡선 (Level 3)



2) Base line level 2

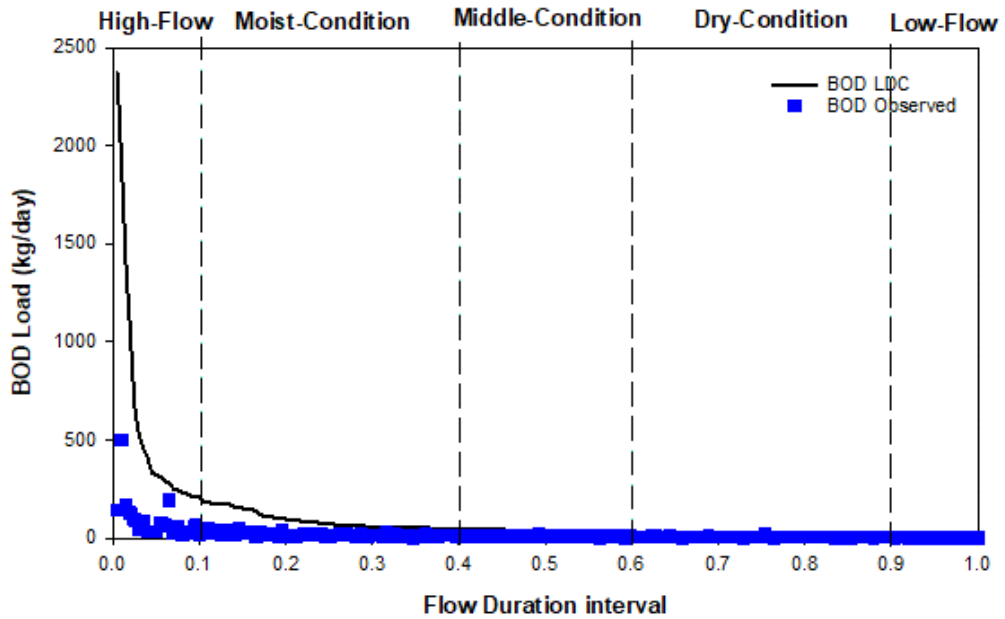
창릉천 Point 5(창릉교) 지점의 BOD, COD, SS, TP, TN 및 TOC의 항목을 Level 2를 기준으로 비교하여 오염기여도를 분석하여 [표 4-14]에 나타내었으며 [그림 4-55] ~ [그림 4-60]에는 각각의 비교 그래프를 나타내었다. 비교 결과 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 기준 부하량을 초과하였다. 모든 등급에서는 모든 항목이 기준 부하량을 초과하였으며, High-flow 등급에서는 BOD, SS, TOC는 40%를 초과하였으며 COD는 60%, TP은 20%, TN은 100% 초과하였다. Moist condition 등급에서는 BOD, COD, SS, TP, TN, TOC 항목이 33.3% 55.6%, 27.8%, 16.7%, 100% 및 1.6% 초과하였으며 Middle condition 등급에서는 각각 66.7%, 88.3%, 16.7%, 58.3%, 100% 및 66.7% 초과하였으며, Dry condition 등급에서는 각각 61.1%, 94.4%, 16.7%, 50%, 100% 및 61.1% 초과하였다. Low Flow 등급에서는 BOD, COD, TN 항목이 100% 초과하였으며, SS 및 TP가 71.4%, TOC가 85.7% 초과하였는데 최종적으로 COD가 60개의 데이터 중에 47개, TN이 총 60개의 데이터 중 60개의 데이터가 기준 부하량을 총 78.3% 및 100% 초과하였다.

[표 4-13] 창릉천 Point 5 오염기여도 (Level 2)

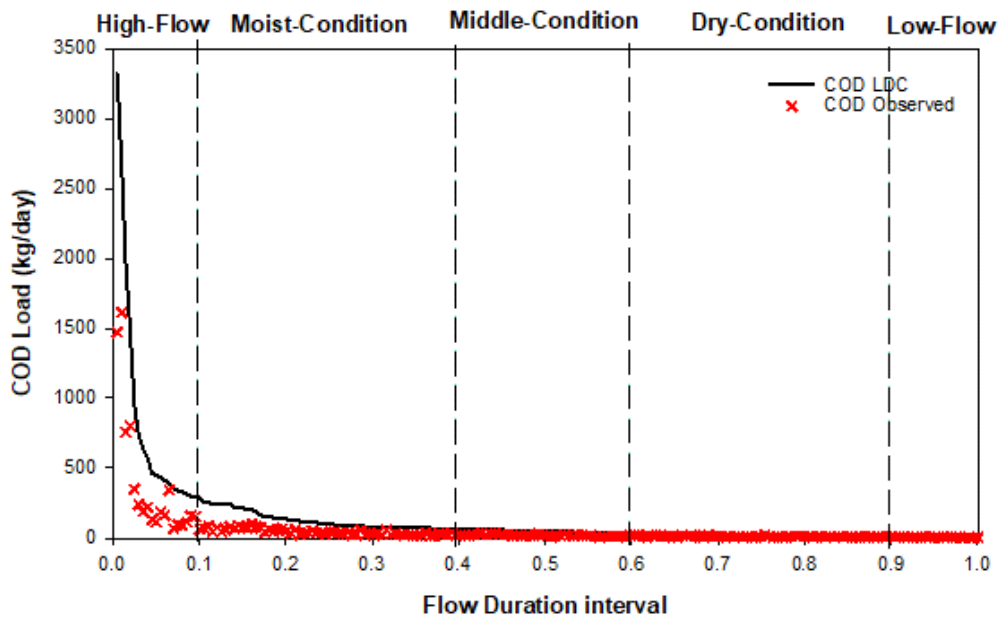
Total						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	34	47	17	25	60	28
Data	60	60	60	60	60	60
Ratio (Over)	56.7%	78.3%	28.3%	41.7%	100.0%	46.7%
High-Flow (0 ~ 10%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	2	3	2	1	5	2
Data	5	5	5	5	5	5
Ratio (Over)	40.0%	60.0%	40.0%	20.0%	100.0%	40.0%
Moist condition (10% ~ 40%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC

Data (Over)	6	10	5	3	18	1
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	33.3%	55.6%	27.8%	16.7%	100.0%	5.6%
Middle condition (40% ~ 60%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	8	10	2	7	12	8
Data	12	12	12	12	12	12
Ratio (Over)	66.7%	83.3%	16.7%	58.3%	100.0%	66.7%
Dry condition (60% ~ 90%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	11	17	3	9	18	11
Data	18	18	18	18	18	18
Ratio (Over)	61.1%	94.4%	16.7%	50.0%	100.0%	61.1%
Low Flow (90% ~ 100%)						
Parameter	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
Data (Over)	7	7	5	5	7	6
Data	7	7	7	7	7	7
Ratio (Over)	100.0%	100.0%	71.4%	71.4%	100.0%	85.7%

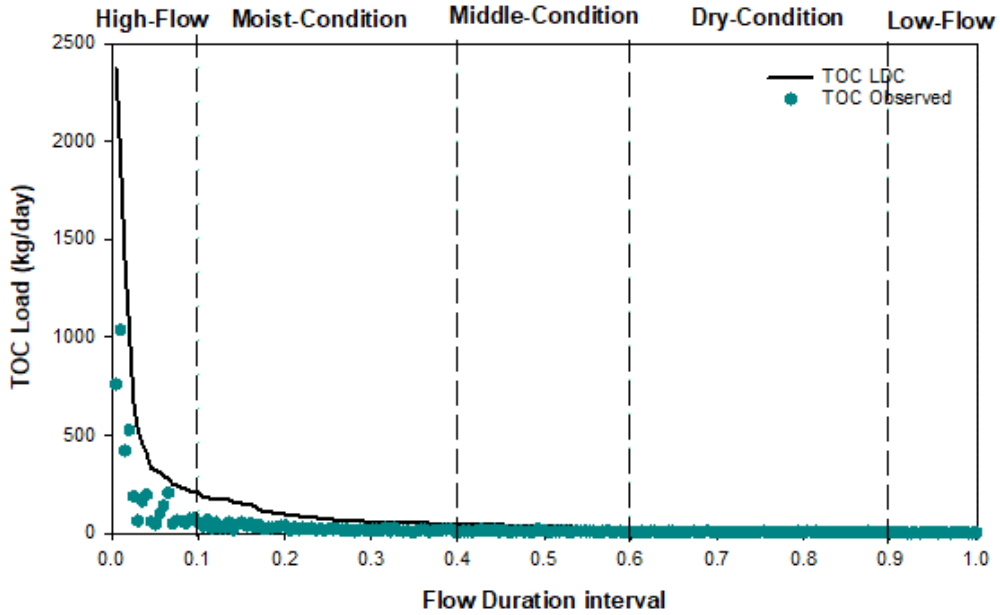
[그림 4-55] 창릉천 Point 5 BOD 부하지속곡선 (Level 2)



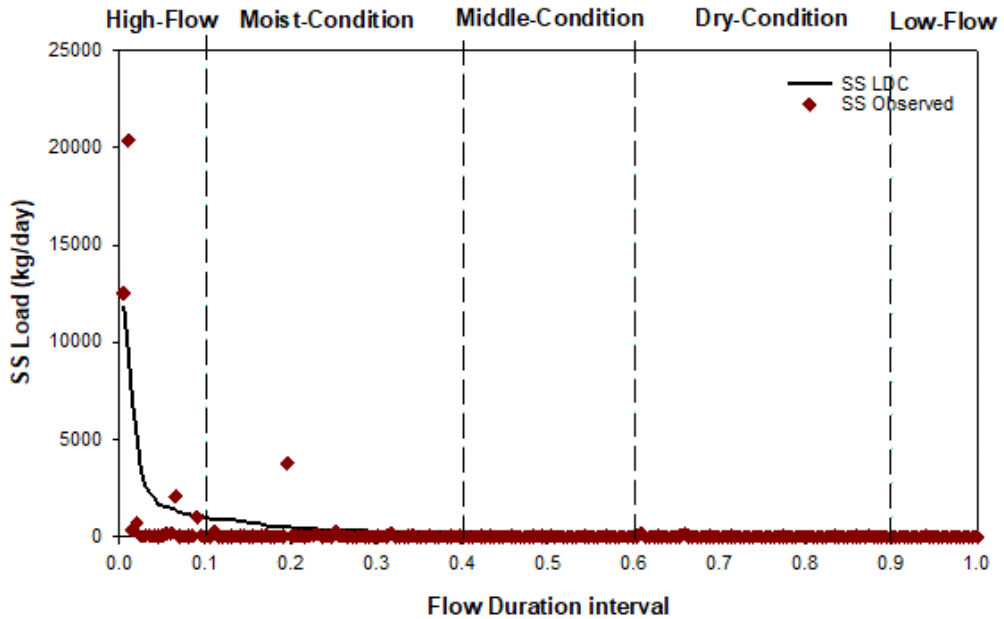
[그림 4-56] 창릉천 Point 5 COD 부하지속곡선 (Level 2)



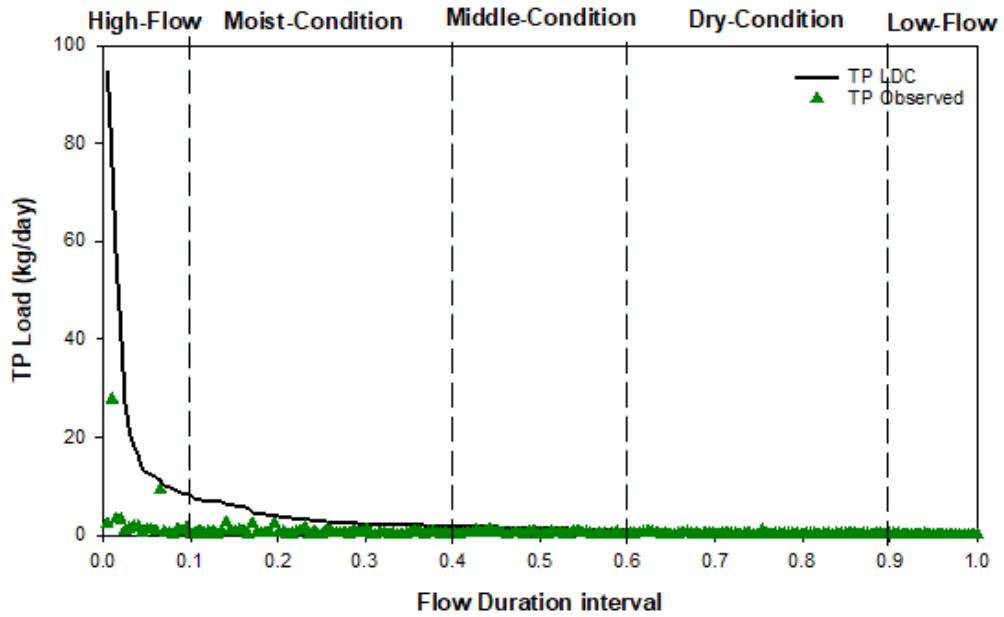
[그림 4-57] 창릉천 Point 5 TOC 부하지속곡선 (Level 2)



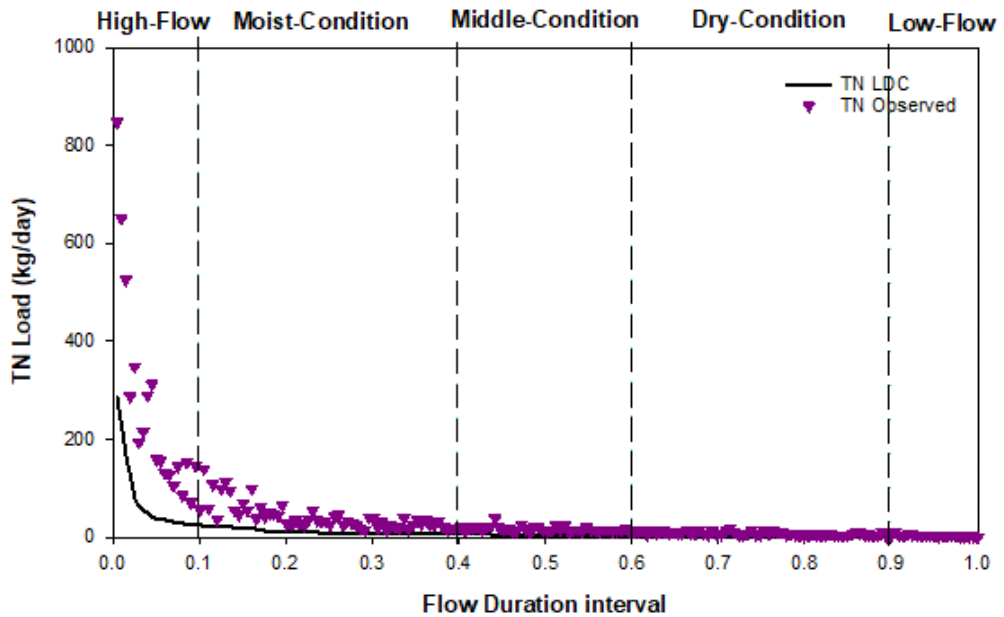
[그림 4-58] 창릉천 Point 5 SS 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-59] 창릉천 Point 5 TP 부하지속곡선 (Level 2)



[그림 4-60] 창릉천 Point 5 TN 부하지속곡선 (Level 2)



8. 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약

본 절에서는 하천의 생활환경기준과 호소의 생활환경기준을 기반으로 창릉천 구간 별 부하지속곡선 분석 결과를 정리하였다. [표 4-14]는 문헌상에서 제시하고 있는 부하지속곡선 유량 조건에 따른 오염기여도 예시를 보여주며, 이를 기반으로 분석 자료를 해석하여 창릉천 구간 별·오염항목 별 오염기여도를 분석하였다. [표 4-15]와 [표 4-16]은 하천 및 호소 생활환경기준의 보통등급 (Ⅲ 등급)을 기준으로 한 창릉천 분석 결과를 보여준다. [표 4-15]에는 각 구간 별·오염물질 항목 별로 수질 기준을 과도하게 초과하는 조건을 정리하였으며, [표 4-16]에서는 해당 조건에서 주요 오염원으로 작용하는 원인을 나타내었다. 먼저, [표 4-15]에서 창릉천 하류(창릉천 Point 4와 창릉천 Point 5)구간에서는 모든 오염물질 항목에서 기준치(하천 및 호소의 생활환경기준 Ⅲ 등급)를 초과하는 것으로 나타났으며, 그 주요 원인은 Stormwater(강우, 비점오염원), CSO(합류식 하수도 월류수), WW system,(하수도 시스템) 및 Point Source(점오염원)이 복합적으로 작용한 것으로 나타났다. 단, TN은 다른 오염항목과 다르게 창릉천 전 구간에 걸쳐 전 유량 조건에서 수질 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

[표 4-17]과 [표 4-18]에서는 하천 및 호소 생활환경기준의 약간 좋음 (Ⅱ 등급)을 기준으로 [표 4-15]와 [표 4-16]와 동일한 방법으로 분석한 창릉천 분석 결과를 정리하였다. [표 4-18]에서 창릉천 중·하류(창릉천 Point 3, 창릉천 Point 4와 창릉천 Point 5)구간에서는 SS를 제외한 모든 오염물질 항목에서 기준치(하천 및 호소의 생활환경기준 Ⅱ 등급)를 초과하는 결과를 보였으며, 그 주요 원인은 앞서 분석 결과와 동일한 것으로 분석되었다. 여기서, 수질 기준 상향에 따라 창릉천 Point 3 구간까지 포함되어 오염물질 초과 대상 지역이 확대된 특징을 보였다. 그리고, TN은 앞 선 Ⅲ등급 분석과 동일하게 창릉천 전 구간에 걸쳐 전 유량 조건에서 수질 기준을 초과하는 것으로 나타났다. 즉, 창릉천의 수질 기준을 하천 및 호소 생활환경기준의 약간 좋음 등급 및 보통 (Ⅱ 및 Ⅲ 등급)으로 할 경우, 창릉천 하류 및 TN에 관해 집중적인 관리가 필요할 것으로 판단되며, 이는 창릉천 효율적인 활용을 위한 전제조건으로 제시될 수 있다.

[표 4-14] 부하지속곡선 내 유량 조건에 따른 오염기여도 예시

Hydrologic condition class	High flows	Moist conditions	Middle conditions	Dry conditions	Low conditions
Flow duration interval	0% ~10%	10% ~ 40%	40% ~ 60%	60% ~ 90%	90% ~ 100%
Point Source				Medium	High
On-site wastewater systems			High	Medium	
Riparian areas		High	High	High	
Storm water : Impervious areas	High	High	High	High	
Combined sewer overflows	High	High	High		
Storm water	High	High	Medium		
Bank erosion	High	Medium			

[표 4-15] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-1

항목	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
BOD	-	-	-	Low	Middle, Low
COD	-	-	-	Middle, Low	Middle, Dry, Low
TOC	-	-	-	Middle, Low	High, Middle, Dry, Low
SS	High	-	-	High	High, Moist, Middle, Dry, Low
TP	-	-	High	Low	High, Low
TN	High, Moist, Middle, Dry, Low	High, Moist, Middle, Dry, Low	High, Moist, Middle, Dry, Low	High, Moist, Middle, Dry, Low	High, Moist, Middle, Dry, Low

[표 4-16] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-2

항목	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
BOD	-	-	-	WW system Point Source	Stormwater CSO WW system
COD	-	-	-	Stormwater WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
TOC	-	-	-	Stormwater WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
SS	Stormwater CSO	-	-	Stormwater CSO	Stormwater CSO WW system Point Source
TP	-	-	Stormwater CSO	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
TN	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source

[표 4-17] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-3

항목	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
BOD	-	-	Dry	High,Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low
COD	-	-	Middle, Dry	High,Moist, Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low
TOC	-	-	High, Dry	High,Middle, Dry, Low	High,MoistMiddle, Dry, Low
SS	High	-	-	High	High,Moist, Middle, Dry, Low
TP	Middle, Dry, Low		High,Moist, Dry, Low	High,Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low
TN	High,Moist, Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low	High,Moist, Middle, Dry, Low

[표 4-18] 창릉천 오염기여도 분석 결과 요약-4

항목	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
BOD	-	-	WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
COD	-	-	Stormwater WW system	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
TOC	-	-	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
SS	Stormwater CSO	-	-	Stormwater CSO	Stormwater CSO WW system Point Source
TP	Stormwater CSO WW system	-	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source
TN	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source	Stormwater CSO WW system Point Source

제2절 하수처리장 영향 분석

1. 농도 기준 하수처리장 방류수 영향

1) 상류하천수 대비 방류수 수질 농도 증가율

상류하천수와 방류수를 각각 Point 3과 삼송수질복원센터에서 제공한 자료를 기반으로 수질 농도를 비교하였다. 분석 일자 는 2021년 3월 10일부터 2022년 3월 30일까지 3개월 간격으로 총 5회 실시하였다. 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율은 [표 4-19]에 나타내었고, 채수 날짜에 대한 농도 증가율 그래프는 각각 [그림 4-61] ~ [그림 4-65]에 나타내었다. 또한, 채수날짜 동안의 강우는 없었으며 채수날짜에 대한 강우, 일강우량 및 건기일수를 [표 4-20]에 나타내었다. 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율을 비교하였을 때 BOD는 58% ~ 97%, TOC는 19% ~ 74%, SS는 75% ~ 84%, TN은 60% ~ 72%, TP는 66% ~ 72%, 대장균군은 68% ~ 98% 범위에 있었다.

[표 4-19] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율

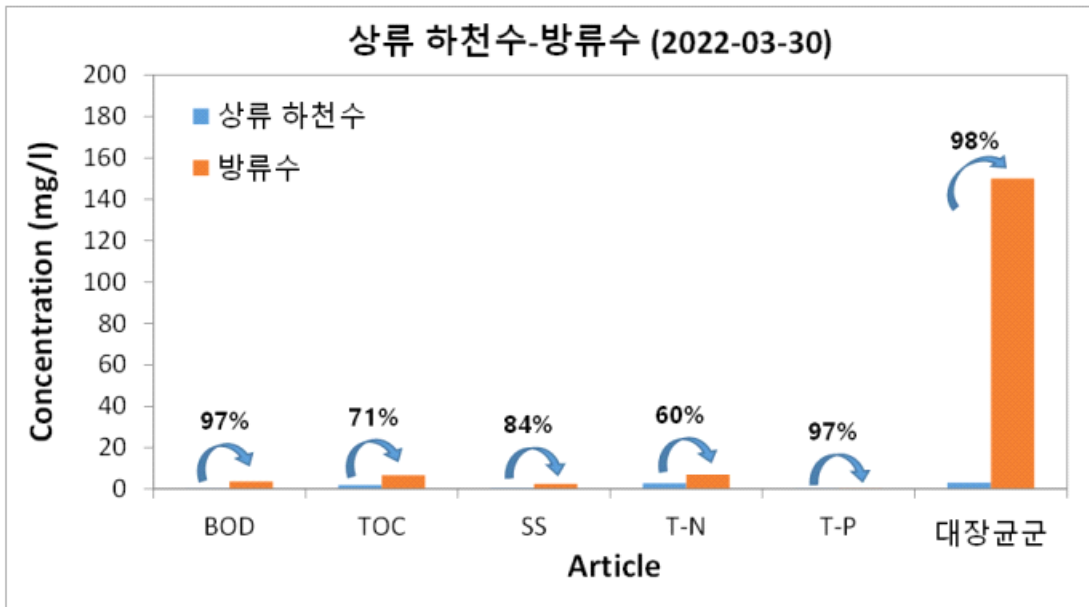
채수위치	날짜	증가율					
		BOD	TOC	SS	T-N	T-P	대장균군
상류하천수-방류수	2022-03-30	97%	71%	84%	60%	97%	98%
	2021-12-28	92%	19%	77%	71%	82%	96%
	2021-09-14	58%	68%	-%	56%	67%	73%
	2021-06-23	69%	59%	-%	72%	66%	68%
	2021-03-10	73%	74%	75%	64%	83%	94%

[표 4-20] 상류하천수 및 방류수 채수 날짜 별 강우

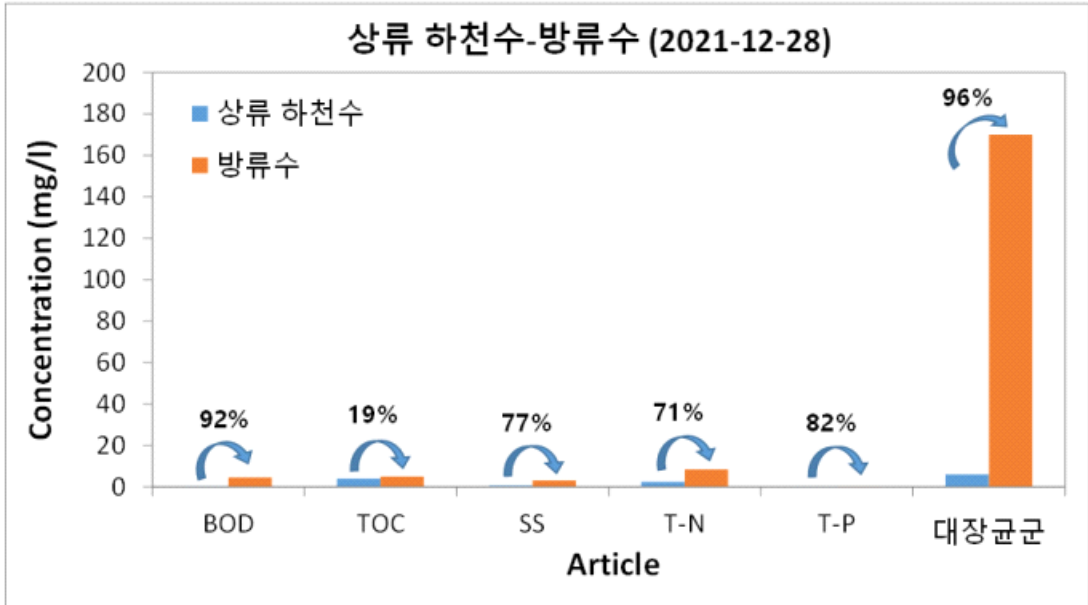
날짜	강우	일강우량	건기일수
2022-03-30	X	0	1
2021-12-28	X	0	12
2021-09-14	X	0	5
2021-06-23	X	0	4
2021-03-10	X	0	7

<출처> 기상청 날씨누리(https://www.weather.go.kr/plus/land/current/aws_table_popup.jsp)

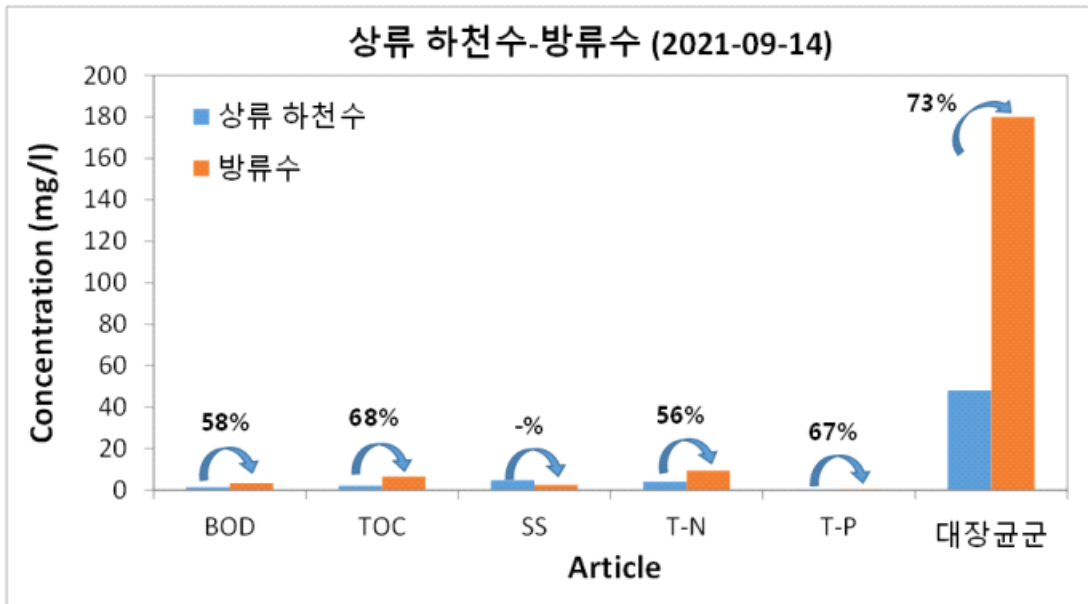
[그림 4-61] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2022-03-30)



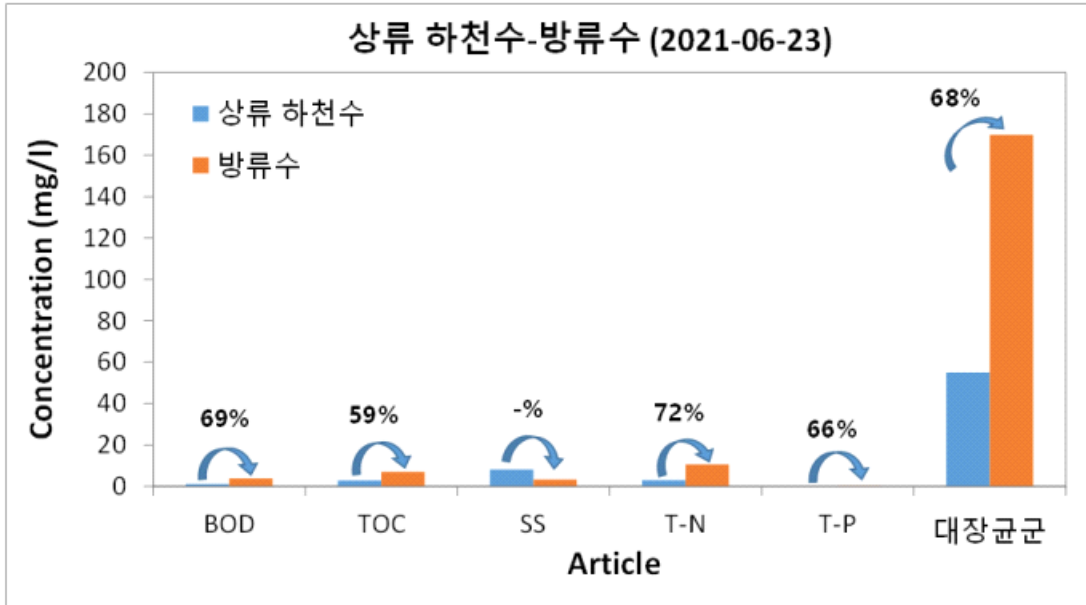
[그림 4-62] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-12-28)



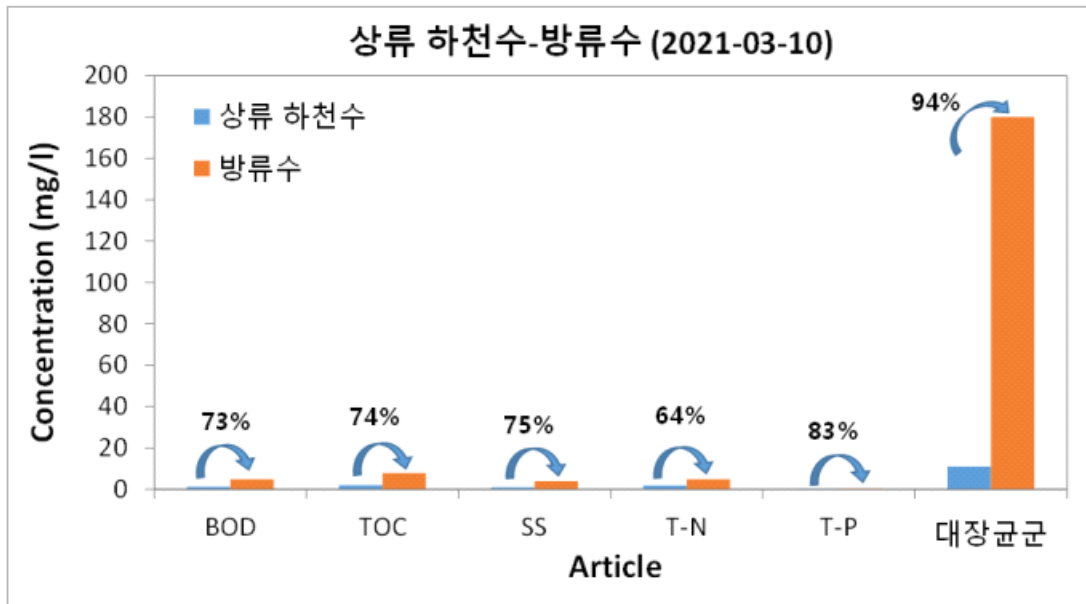
[그림 4-63] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-09-14)



[그림 4-64] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-06-23)



[그림 4-65] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 (2021-03-10)



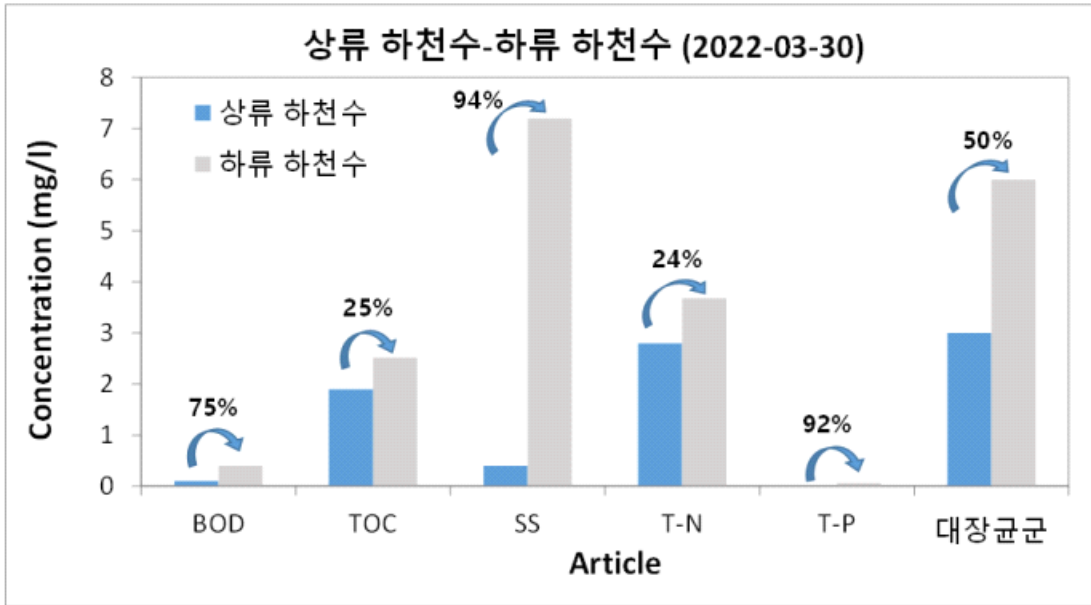
2) 상류하천수 대비 하류 하천수 수질 농도 증가율

상류하천수와 하류하천수를 각각 Point 3과 Point 4 위치에서 채수하여 수질 농도를 비교하였다. 채수 날짜는 2021년 3월 10일부터 2022년 3월 30일까지 3개월 간격으로 총 5번 채수하였다. 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율은 [표 4-21]에 나타내었고, 채수 날짜에 대한 농도 증가율 그래프는 각각 [그림 4-68] ~ [그림 4-72]에 나타내었다. 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율을 비교하였을 때 BOD는 58% ~ 97%, TOC는 19% ~ 74%, SS는 75% ~ 84%, TN은 60% ~ 72%, TP는 66% ~ 72%, 대장균군은 68% ~ 98% 범위에 있었다.

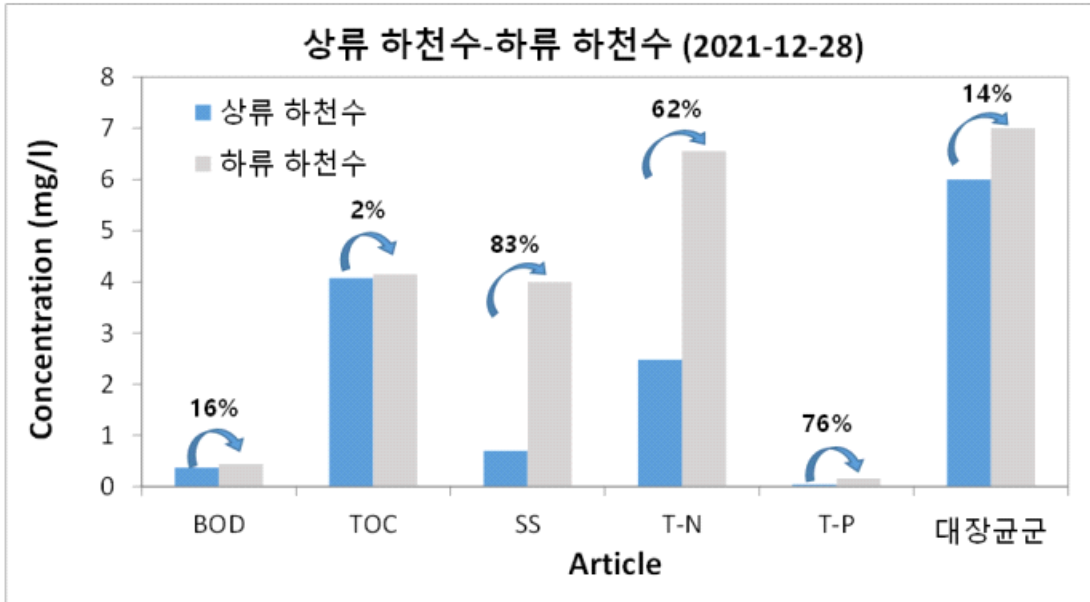
[표 4-21] 상류하천수 대비 하천하류수의 수질 농도 증가율

채수위치	날짜	증가율					대장균군
		BOD	TOC	SS	T-N	T-P	
상류하천수-하류하천수	2022-03-30	75%	25%	94%	24%	92%	50%
	2021-12-28	16%	2%	83%	62%	76%	14%
	2021-09-14	26%	26%	-%	14%	42%	-%
	2021-06-23	64%	29%	-%	49%	46%	15%
	2021-03-10	52%	64%	85%	50%	65%	74%

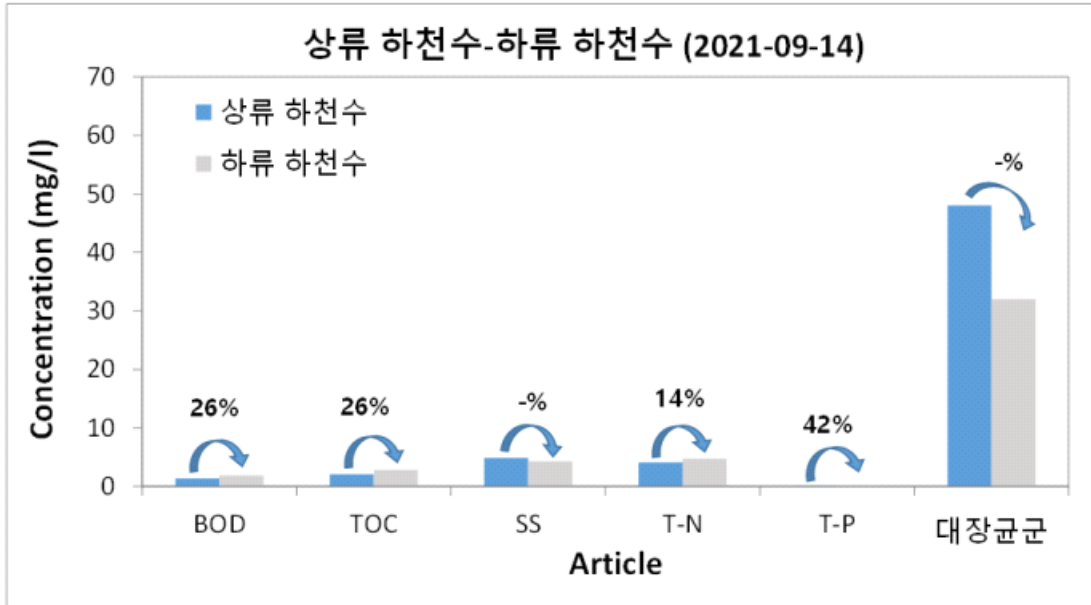
[그림 4-66] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2022-03-30)



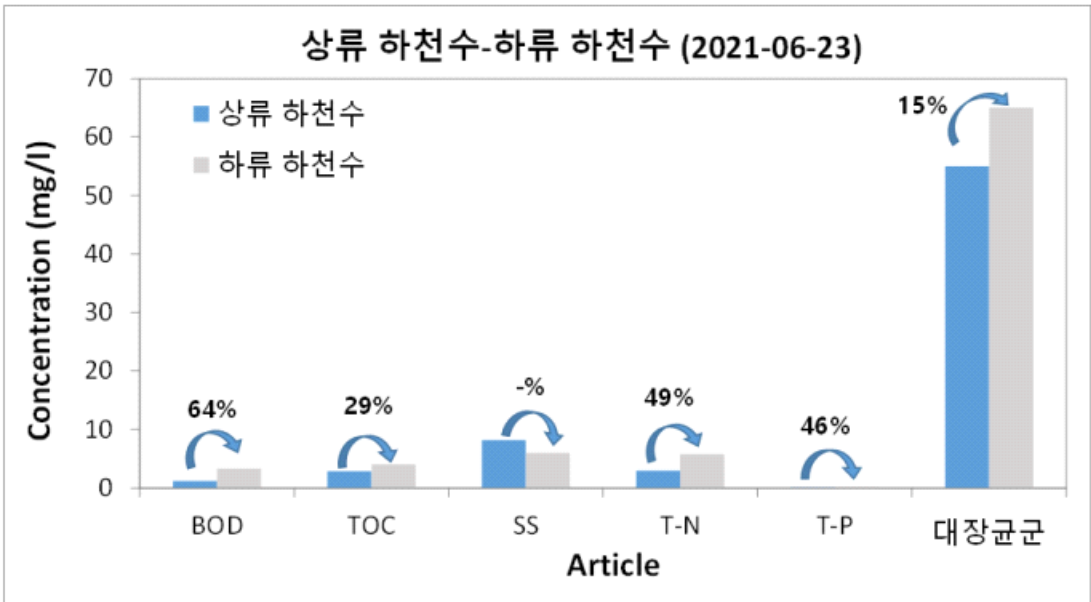
[그림 4-67] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-12-28)



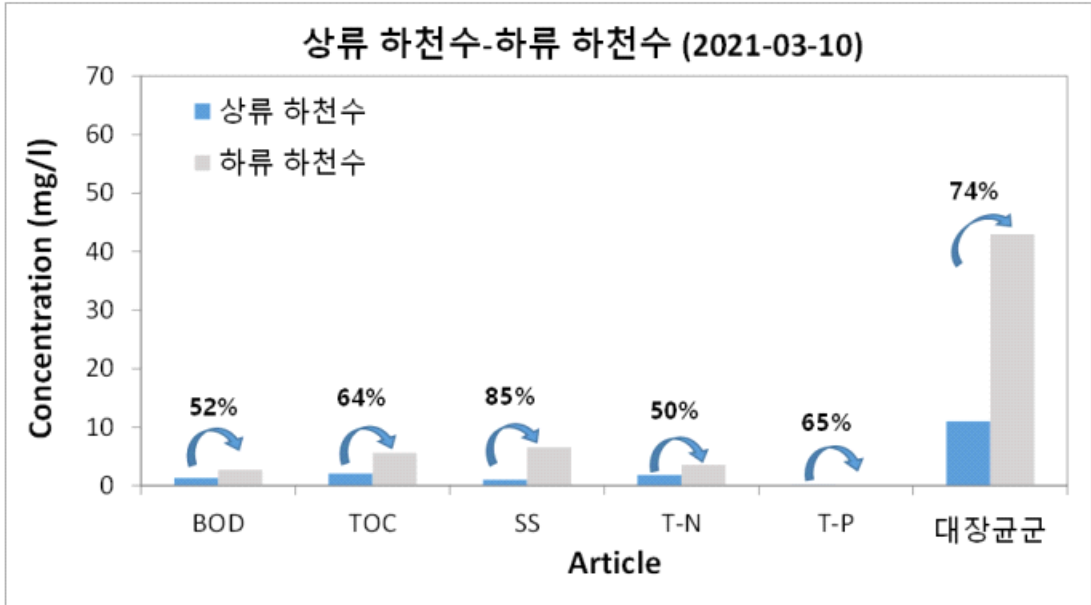
[그림 4-68] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-09-14)



[그림 4-69] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-06-23)



[그림 4-70] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 (2021-03-10)



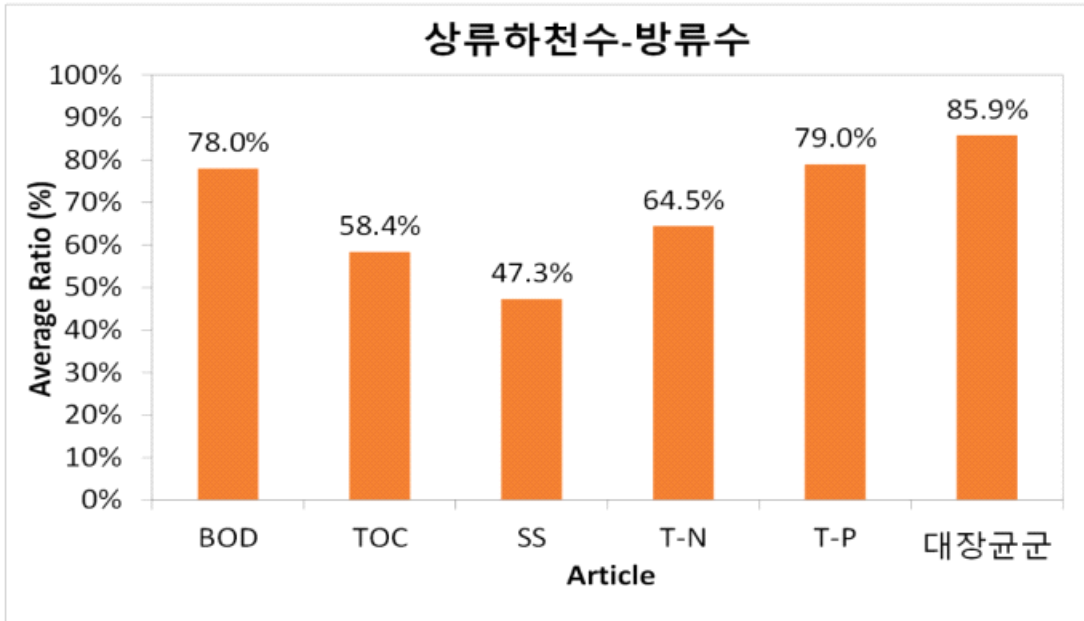
3) 수질 농도 증가율 평균

상류하천수와 방류수 및 하류하천수를 채수기간 동안의 수질 농도 증가율의 평균을 [표 4-22]과 [그림 4-73],[그림 4-74]에 나타내었다. 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 78%, TOC는 58%, SS는 47%, TN은 65%, TP는 86%, 대장균군은 88%이었다. 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 47%, TOC는 29%, SS는 52%, TN은 40%, TP는 64%, 대장균군은 31%이었다.

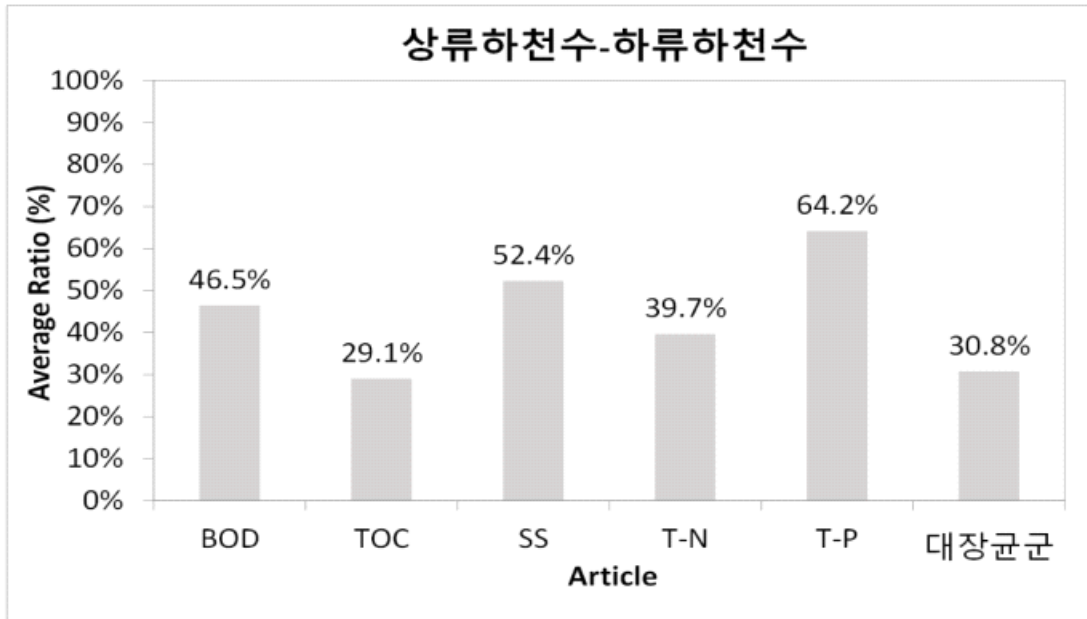
[표 4-22] 농도 증가율 평균

채수위치	증가율 평균					
	BOD	TOC	SS	T-N	T-P	대장균군
상류하천수-방류수	78%	58%	47%	65%	79%	86%
상류하천수-하류하천수	47%	29%	52%	40%	64%	31%

[그림 4-71] 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 평균



[그림 4-72] 상류하천수 대비 하류 하천수의 수질 농도 증가율 평균



4) 방류수 합류 전·후 부하량 기준

물환경정보시스템과 삼송수질복원센터에서 제공된 자료를 기반으로 2017년부터 2021년까지 방류수 합류 전·후 부하량을 산정하였다. 산정된 값을 기반으로 BOD, COD, TOC, SS, TP, TN의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이와 부하증가율을 [표 4-25]에 나타내었다. 또한, 방류수 합류 전 Point 3지점의 부하량과 방류수 합류 후 Point 4지점의 부하량을 각각 [표 4-23] 및 [표 4-24]에 나타내었다. 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이를 계산해본 결과 BOD는 6.8~214.4kg/일의 범위에 있었으며 평균 50.5kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 100~12,870%에 평균 1,380%이었다. COD의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이는 30.8 ~ 361.7kg/일의 범위에 있었으며 평균 247.9kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 130~ 10,510%에 평균 1,220%이었다. TOC의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이는 27.3 ~ 453.8 kg/일의 범위에 있었으며 평균 81.2kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 120 ~ 8,660%에 평균 1,150%이었다. SS의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이는 -220.6~ 4,365.0kg/일의 범위에 있었으며 평균 1,247.9kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 50~ 14,910%에 평균 1,720%이었다. TN의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이는 22.9 ~ 109.3kg/일의 범위에 있었으며 평균 65.2kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 110~ 19,380%에 평균 1,160%이었다. TP의 방류수 합류 전과 후의 부하량의 차이는 -13.5~ 7.7kg/일의 범위에 있었으며 평균 1.4kg/일이었고 부하량 증가율은 범위 60 ~ 40,830%에 평균 2,690%이었다.

[표 4-23] 부하량을 기준으로 하수처리장 방류수 영향 분석

항목	부하량차 (kg/일)		부하증가율(합류 후 / 합류 전) %	
	범위	평균	범위	평균
BOD	6.8 ~ 214.4	50.5	100 ~ 12,870	1,380
COD	30.8 ~ 361.7	247.9	130~ 10,510	1,220
TOC	27.3 ~ 453.8	81.2	120 ~ 8,660	1,150
SS	-220.6~ 4,365.0	1,247.9	50~ 14,910	1,720
TP	-13.5~ 7.7	1.4	60 ~ 40,830	2,690
TN	22.9 ~ 109.3	65.2	110~ 19,380	1,160

[표 4-24] 하수처리장 방류수 합류 이전 수질 분석

Date	창릉천 Point 3 (하수처리장 방류수 합류 이전)						
	Flow (m ³ /d)	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
2017-10-01	2764.8	3.0	5.0	1.1	0.1	8.0	2.2
2017-02-02	1036.8	1.7	2.4	3.3	0.1	3.3	1.9
2017-03-20	345.6	0.8	0.9	2.1	0.0	1.0	0.8
2017-04-04	345.6	0.5	0.7	1.2	0.0	1.0	0.8
2017-05-18	432.0	0.5	1.3	1.0	0.0	0.2	1.1
2017-06-09	950.4	1.0	3.3	5.3	0.0	1.7	2.5
2017-07-13	77414.4	147.1	278.7	123.9	8.4	308.6	193.5
2017-08-11	16761.6	31.8	57.0	46.9	0.7	46.8	43.6
2017-09-05	23328.0	14.0	53.7	65.3	1.3	71.2	49.0
2017-10-16	604.8	0.6	1.1	1.0	0.0	1.7	1.3
2017-11-16	3456.0	6.6	10.7	9.7	1.2	21.8	9.0
2021-03-08	16761.6	18.4	40.2	10.1	0.2	59.3	28.5
2021-04-08	66355.2	86.3	146.0	106.2	1.1	185.3	106.2
2021-05-12	16934.4	16.9	52.5	57.6	0.4	40.5	35.6
2021-06-09	29548.8	44.3	91.6	53.2	0.8	65.9	68.0
2021-07-01	104457.6	73.1	334.3	1169.9	2.2	216.5	282.0
2021-08-12	3715.2	3.3	17.5	20.1	0.1	11.7	13.4
2021-09-09	56851.2	73.9	181.9	375.2	1.3	98.5	113.7
2021-10-13	37756.8	34.0	86.8	234.1	1.0	73.0	60.4
2021-11-18	4579.2	11.4	27.9	16.5	0.4	16.8	14.7
2021-12-06	9331.2	9.3	29.9	33.6	0.2	29.6	24.3

[표 4-25] 하수처리장 방류수 합류 이후 수질 분석

Date	창릉천 Point 4 (하수처리장 방류수합류 이후)						
	Flow (m3/d)	BOD	COD	SS	T-P	TN	TOC
2017-10-01	11035.8	23.2	59.6	48.6	0.7	56.9	30.9
2017-02-02	8961.8	36.7	55.6	75.3	1.1	47.2	50.2
2017-03-20	7808.6	55.4	75.7	81.2	1.7	43.1	71.8
2017-04-04	7414.6	28.9	72.7	50.4	1.7	40.9	67.5
2017-05-18	7529.0	24.8	67.0	51.2	1.2	38.4	51.2
2017-06-09	7950.4	31.0	69.2	63.6	0.9	37.3	49.3
2017-07-13	82826.4	157.4	364.4	1093.3	7.6	335.1	240.2
2017-08-11	24685.6	200.0	187.6	148.1	6.5	137.1	140.7
2017-09-05	31935.0	89.4	134.1	217.2	1.9	128.6	102.2
2017-10-16	8329.8	20.0	41.6	139.9	0.9	35.6	32.5
2017-11-16	12647.0	36.7	56.9	91.1	1.7	69.2	53.1
2021-03-08	30547.6	91.6	146.6	143.6	1.3	138.7	125.2
2021-04-08	83109.2	174.5	307.5	349.1	4.7	284.2	241.0
2021-05-12	34943.4	80.4	174.7	440.3	1.9	122.3	104.8
2021-06-09	48075.8	86.5	211.5	442.3	2.9	149.8	134.6
2021-07-01	124908.6	149.9	437.2	949.3	6.1	312.0	387.2
2021-08-12	23339.2	44.3	126.0	196.0	2.2	72.2	95.7
2021-09-09	76821.2	99.9	238.1	399.5	3.7	181.2	192.1
2021-10-13	56669.8	73.7	158.7	192.7	3.3	146.2	113.3
2021-11-18	19881.2	35.8	83.5	71.6	1.5	96.1	53.7
2021-12-06	28256.2	42.4	98.9	118.7	1.6	138.9	81.9

제 5 장
결론

결론

본 연구에서는 수질적 측면을 중심으로 고양시의 물 재이용률 향상을 위한 하수처리장 재이용수 활용 방안을 제시하였다. 이를 위해 물 재이용과 관련된 법과 조례를 조사하고 관련 사례들을 조사하였으며, 하수처리장 방류수와 하천 수질 특성 분석을 통해 하천 수질 오염 기여도와 방류수 활용 가능 범위를 분석하였다. 본 연구의 최종 결론이라 할 수 있는 하수처리장 재이용수 활용 방안을 정리하면 다음과 같다.

○ 창릉천 오염 기여도 평가

Point 1(장산교) 및 2(통일교) 지점의 수질에 대한 생활환경 등급은 Point 3(삼송교) 지점과 유사한 수준이었고, Point 3 이후 생활환경 등급이 다소 높아졌다. Point 4(제2화전교) 지점의 BOD, COD, TOC, SS의 최대값은 Point 3지점에 비해 1 ~ 2등급 높아졌으며 TN은 최소값이 3등급 높아졌다. Point 4 지점과 Point 5(창릉교) 지점의 수질에 대한 생활환경 등급은 비슷한 수준이었다[표 5-1].

○ 하수처리장 방류수 영향 분석

상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 78%, TOC는 58%, SS는 47%, TN은 65%, TP는 86%, 대장균군은 88%이었다. 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율 비교 결과 BOD는 47%, TOC는 29%, SS는 52%, TN은 40%, TP는 64%, 대장균군은 31%이었다. SS를 제외한 모든 수질 농도 증가율은 상류하천수 대비 방류수의 수질 농도 증가율이 상류하천수 대비 하류하천수의 수질 농도 증가율보다 높았다[표 5-2].

[표 5-1] 창릉천 수질에 대한 생활환경 등급

측정종류	Point 1 (장산교)	Point 2 (통일교)	Point 3 (삼송교)	Point 4 (제2화전교)	Point 5 (창릉교)
BOD	0.2 ~ 5.1mg/L 1등급 ~ 3등급	0.2 ~ 2.9mg/L 1등급 ~ 2등급	0.4 ~ 3.7mg/L 1등급 ~ 3등급	0.8 ~ 8.1mg/L 1등급 ~ 5등급	1.2 ~ 11.0mg/L 1등급 ~ 6등급
COD	1.3 ~ 6.6mg/L 1등급 ~ 3등급	1.1 ~ 7.5mg/L 1등급 ~ 4등급	1.8 ~ 6.5mg/L 1등급 ~ 4등급	2.8 ~ 9.8mg/L 1등급 ~ 5등급	3.4 ~ 11.2mg/L 1등급 ~ 6등급
TOC	0.5 ~ 3.7mg/L 1등급 ~ 2등급	0.5 ~ 4.5mg/L 1등급 ~ 3등급	0.8 ~ 5.5mg/L 1등급 ~ 4등급	2.0 ~ 9.2mg/L 1등급 ~ 6등급	2.4 ~ 8.2mg/L 1등급 ~ 6등급
SS	0.1 ~ 184mg/L 1등급 ~ 5등급	0.1 ~ 350mg/L 1등급 ~ 5등급	0.4 ~ 15.2mg/L 1등급 ~ 5등급	0.4 ~ 80.8mg/L 1등급 ~ 4등급	3.6 ~ 62.0mg/L 1등급 ~ 4등급
TP	0.0 ~ 0.28mg/L 1등급 ~ 4등급	0.00 ~ 0.24mg/L 1등급 ~ 4등급	0.01 ~ 0.34mg/L 1등급 ~ 5등급	0.04 ~ 0.37mg/L 1등급 ~ 5등급	0.02 ~ 0.23mg/L 1등급 ~ 4등급
TN	0.3 ~ 4.9mg/L 2등급 ~ 6등급	0.3 ~ 4.0mg/L 2등급 ~ 6등급	0.5 ~ 9.5mg/L 3등급 ~ 6등급	2.2 ~ 6.5mg/L 6등급	2.4 ~ 7.7mg/L 6등급

[표 5-2] 수질 농도 증가율

채수위치	날짜	증가율					
		BOD	TOC	SS	T-N	T-P	대장균군
상류하천수-방류수	2022-03-30	97%	71%	84%	60%	97%	98%
	2021-12-28	92%	19%	77%	71%	82%	96%
	2021-09-14	58%	68%	-%	56%	67%	73%
	2021-06-23	69%	59%	-%	72%	66%	68%
	2021-03-10	73%	74%	75%	64%	83%	94%
	평균	78%	58%	79%	65%	79%	86%
상류하천수-하류하천수	2022-03-30	75%	25%	94%	24%	92%	50%
	2021-12-28	16%	2%	83%	62%	76%	14%
	2021-09-14	26%	26%	-%	14%	42%	-%
	2021-06-23	64%	29%	-%	49%	46%	15%
	2021-03-10	52%	64%	85%	50%	65%	74%
	평균	47%	29%	87%	40%	64%	31%

참고문헌

[국내문헌]

- 정운석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전 방안. 저널 물 정책·경제
 류승미, 하수재이용 국내외 동향 녹색기술동향보고서
 문상연 외(2010), 송도2단계 공공하수처리시설 증설사업 기본설계(TK)
 정운석 외(2016), 물 재이용 운영 사례 및 발전방안
 유선아 외(2010). [녹색산업기술] 추수원 없는 싱가포르, 물 자급자족도 가능해

[기타자료]

- 환경부 웹사이트(me.go.kr)
 대구광역시 홈페이지(https://www.daegu.go.kr/env/index.do?menu_id=00001286)
 파주시 홈페이지(<https://www.paju.go.kr>)
 기호일보(<http://www.kihoilbo.co.kr>)
 서울일보(www.seouilbo.com/news/articleView.html?idxno=163884)
 오산시청 홈페이지(www.osan.go.kr)
 머니투데이(<https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2007122511041477960>)
 워터저널(<http://www.waterindustry.co.kr/data/data06.php?ptype=view&code=data06&idx=9363>)
 부천일보(http://www.mypuchon.com/mob/news.html?news_num=12158)
 워터저널(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=12884>)
 기상청 날씨누리(https://www.weather.go.kr/plus/land/current/aws_table_popup.jsp)

Abstract

Research on improving water reuse rate in Goyang City 1: Focusing on sewage treatment water reuse

Jiyeol Im*, Nakyung Oh**

In this study, a plan to utilize recycled water at a sewage treatment plant was proposed to improve the water reuse rate in Goyang City, focusing on the water quality aspect. To this end, laws and ordinances related to water reuse were investigated, and related cases were investigated, and the contribution of river water pollution and the scope of use of discharged water were analyzed through the analysis of discharged water and river water quality characteristics. The final conclusion of this study is as follows. The living environment rating for the water quality of Point 1 (Jangsan Bridge) and Point 2 (Unification Bridge) was similar to that of Point 3 (Unification Bridge), and the living environment rating increased slightly after Point 3. The maximum values of BOD, COD, TOC, and SS at Point 4 (Yongdu-dong) point increased by 1 to 2 grades compared to Point 3 points, and the minimum value of TN increased by 3 grades. The living environment ratings for the water quality at Point 4 and Point 5 were similar. As a result of comparing the rate of increase in the water concentration of discharged water compared to upstream river water, BOD was 78%, TOC was 58%, SS was 47%, TN was 65%, TP was 86%, and E. coli was 88%. As a result of comparing the rate of increase

* Research Fellow, Goyang Research Institute, South Korea

** Research, Goyang Research Institute, South Korea

in the water concentration of downstream river water compared to upstream river water, BOD was 47%, TOC was 29%, SS was 52%, TN was 40%, TP was 64%, and E. coli group was 31%. The rate of increase in all water quality concentrations except SS was higher than that of downstream river water compared to upstream river water.