

최종보고서

한강수계 2단계 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위한 하천모니터링

2018. 6.



경기도수자원본부

제 출 문

경기도수자원본부장 귀하

본 보고서를 “한강수계 2단계 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위한 하천모니터링” 용역의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 6.

성균관대학교 산학협력단
유 지 범

주식회사 엔솔파트너스
김 원 기

경기도 환경보전협회
김 종 찬

명화환경산업 주식회사
박 철 수

참 여 연 구 진

주 관 연 구 기 관 : 성균관대학교 산학협력단
연 구 기 간 : 2017. 6. 28~2018. 6. 28
연 구 책 임 자 : 손 대 희
연 구 원 : 염익태, 김형수, 이강훈, 정상구, 김현지, 이준석,
김민희, 김민지, 김상효, 팍주영, 박상연, 오현주,
황덕희, 이소연

공 동 연 구 기 관 : 주식회사 엔솔파트너스
연 구 기 간 : 2017. 6. 28~2018. 6. 28
공 동 연 구 책 임 자 : 안 태 웅
연 구 원 : 김원기, 이두현, 김동민, 엄태원, 배수정, 전지예,
김병수, 박형진

공 동 연 구 기 관 : 경기도 환경보전협회
연 구 기 간 : 2017. 6. 28~2018. 6. 28
공 동 연 구 책 임 자 : 김 종 찬
연 구 원 : 이준희, 조규영, 조경민, 전창익, 박민상, 정래민,
민다희, 한현정, 지선희, 김소영, 이한슬

공 동 연 구 기 관 : 명화환경산업 주식회사
연 구 기 간 : 2017. 6. 28~2018. 6. 28
공 동 연 구 책 임 자 : 박 철 수
연 구 원 : 김우식, 이승욱, 장호연, 황인호, 장문규, 전선주,
김소영

제 목 목 차

제1장 서 론	1
제1절 연구의 배경 및 필요성	1
제2절 연구 목적	7
제3절 연구의 범위	7
1. 조사대상 지점	7
제2장 유량·수질 모니터링 지점	11
제1절 조사대상지점 선정	11
제2절 참여기관별 조사대상지점 모니터링 계획	15
제3절 유량 및 수질 모니터링 지점 현황	19
제4절 모니터링 수계별 유량 및 수질현황	20
1. 경안천 수계	20
2. 남한강 수계	23
3. 북한강 수계	31
4. 한강서울·고양 수계	36
5. 임진강 수계	46
제5절 수문기상 특성	54
1. 한강권역의 기상 현황	54
2. 모니터링 지점별 강수 현황	55
제3장 유량·수질 모니터링 방법	59
제1절 유량 모니터링 방법	59
1. 유량 모니터링 개요	59
2. 유량 모니터링 장소	59
3. 유량측정 장비	60
4. 유량측정 방법	61
제2절 수질 모니터링 방법	66
1. 수질 모니터링 개요	66
2. 수질항목별 분석기기	68
3. 수질 정도보증/정도관리(QA/QC)	70
4. 하천 생활환경기준	77
제4장 유량 측정 결과	79
제1절 유량 모니터링 성과	79

제2절 불확실도 및 최대구간유량비 산정방법	81
제5장 조사/측정 자료의 통계분석 결과	83
제1절 경안천 수계	83
1. 경안천 수계의 지천별 수질분석 결과	83
2. 수질분석 결과 비교 검토	88
3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과	91
제2절 남한강 수계	107
1. 남한강 수계의 지천별 수질분석 결과	107
2. 수질분석 결과 비교 검토	114
3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과	117
제3절 북한강 수계	133
1. 북한강 수계의 지천별 수질분석 결과	133
2. 수질분석 결과 비교 검토	138
3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과	141
제4절 한강서울·고양 수계	157
1. 한강서울·고양 수계의 지천별 수질분석 결과	157
2. 수질분석 결과 비교 검토	168
3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과	171
제5절 임진강 수계	187
1. 임진강 수계의 지천별 수질분석 결과	187
2. 수질분석 결과 비교 검토	194
3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과	197
제6장 결 론	213
제1절 유량 및 수질조사 및 측정자료의 분석	213
1. 수질 및 유량의 시·공간적 변화특성	213
2. 하천수질 결과에 대한 등급 평가	217
제2절 활용방안	225
참고문헌	229

표 목 차

표 1-1. 한강수계 수질오염총량관리 및 하천 모니터링 관련 주요 연구현황	3
표 2-1. 단위유역별 수계 및 측정지점 현황	11
표 2-2. 연구기관별 조사대상지점의 유량 및 수질 모니터링 계획	15
표 2-3. 유량 및 수질 모니터링 회차별 시료채취 일정	16
표 2-4. 유량 및 수질 측정지점별 강수량 현황	55
표 3-1. 일반적인 하천 유량측정방법	61
표 3-2. 유속 측선수의 국제기준 비교	62
표 3-3. 유량 측정 기준 측선수	63
표 3-4. 유량 측정 기준 측정수	63
표 3-5. 조사대상 항목별 시료의 보존방법	67
표 3-6. 현장측정 항목별 분석기기	68
표 3-7. 실험실분석 항목별 분석기기	68
표 3-8. 정도관리시료의 항목별 빈도와 방법	72
표 3-9. 정도관리/정도보증(QA/QC)와 관련된 수식	75
표 3-10. BOD 정도보증/정도관리 결과	75
표 3-11. COD 정도보증/정도관리 결과	75
표 3-12. T-N 정도보증/정도관리 결과	76
표 3-13. T-P 정도보증/정도관리 결과	76
표 3-14. TOC 정도보증/정도관리 결과	76
표 3-15. 하천의 생활환경기준	77
표 4-1. 경기-001(마평교) 지점 유량모니터링 성과 예	80
표 4-2. 측정 방법에 따른 구간유량비와 최대구간유량비의 권고기준	81
표 4-3. 불확실도와 관련된 수식	82
표 5-1. 경안천 본류의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	83
표 5-2. 곤지암천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	84
표 5-3. 경안천 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	85
표 5-4. 경기-005 (배머루교) 지점의 상관성분석 결과	91
표 5-5. 경안A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	97

표 5-6. 경기-009 (장지교) 지점의 상관성분석 결과	99
표 5-7. 경안B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	105
표 5-8. 청미천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	107
표 5-9. 양화천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	108
표 5-10. 북하천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	109
표 5-11. 흑천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	110
표 5-12. 남한강 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	111
표 5-13. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성분석 결과	117
표 5-14. 북하A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	123
표 5-15. 경기-035 (금당교) 지점의 상관성분석 결과	125
표 5-16. 한강E 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	131
표 5-17. 가평천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	133
표 5-18. 조종천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	134
표 5-19. 북한강 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	135
표 5-20. 경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성분석 결과	141
표 5-21. 가평A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	147
표 5-22. 경기-065 (내구운교) 지점의 상관성분석 결과	149
표 5-23. 한강F(북한강수계) 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	155
표 5-24. 왕숙천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	157
표 5-25. 탄천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	158
표 5-26. 중랑천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	159
표 5-27. 안양천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	160
표 5-28. 창릉천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	161
표 5-29. 굴포천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	162
표 5-30. 공릉천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	163
표 5-31. 한강서울 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	164
표 5-32. 경기-084 (진관교) 지점의 상관성분석 결과	171
표 5-33. 왕숙A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	177
표 5-34. 경기-094 (매송교) 지점의 상관성분석 결과	179
표 5-35. 탄천A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	185
표 5-36. 한탄강의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	187
표 5-37. 영평천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	188
표 5-38. 신천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	189
표 5-39. 임진강의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	190

표 5-40. 문산천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)	191
표 5-41. 경기-104 (봉암교) 지점의 상관성분석 결과	197
표 5-42. 문산A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	203
표 5-43. 경기-131 (용담교) 지점의 상관성분석 결과	205
표 5-44. 한탄B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석	211

그림 목 차

그림 1-1. 수질오염총량관리제도의 관리현황 및 시행효과	6
그림 1-2. 사업의 필요성 및 목표	7
그림 1-3. 한강수계 하천 모니터링 측정지점 현황	8
그림 2-1. 연간 유량 및 수질 모니터링 계획	17
그림 2-2. 유량 및 수질 모니터링 지점 현황(수계 구분)	19
그림 2-3. 경안천 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치	20
그림 2-4. 경안A 지점의 연평균 유량과 수질농도	21
그림 2-5. 경안B 지점의 연평균 유량과 수질농도	22
그림 2-6. 남한강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치	23
그림 2-7. 복하A 지점의 연평균 유량과 수질농도	24
그림 2-8. 섬강B 지점의 연평균 유량과 수질농도	25
그림 2-9. 양화A 지점의 연평균 유량과 수질농도	26
그림 2-10. 청미A 지점의 연평균 유량과 수질농도	27
그림 2-11. 한강E 지점의 연평균 유량과 수질농도	28
그림 2-12. 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도	29
그림 2-13. 흑천A 지점의 연평균 유량과 수질농도	30
그림 2-14. 북한강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치	31
그림 2-15. 가평A 지점의 연평균 유량과 수질농도	32
그림 2-16. 북한D 지점의 연평균 유량과 수질농도	33
그림 2-17. 조종A 지점의 연평균 유량과 수질농도	34
그림 2-18. 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도	35
그림 2-19. 한강서울·고양 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치	36
그림 2-20. 공릉A 지점의 연평균 유량과 수질농도	37
그림 2-21. 굴포A 지점의 연평균 유량과 수질농도	38
그림 2-22. 안양A 지점의 연평균 유량과 수질농도	39
그림 2-23. 왕숙A 지점의 연평균 유량과 수질농도	40
그림 2-24. 중랑A 지점의 연평균 유량과 수질농도	41
그림 2-25. 탄천A 지점의 연평균 유량과 수질농도	42
그림 2-26. 한강G 지점의 연평균 유량과 수질농도	43
그림 2-27. 한강H 지점의 연평균 유량과 수질농도	44
그림 2-28. 한강I 지점의 연평균 유량과 수질농도	45

그림 2-29. 임진강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치	46
그림 2-30. 문산A 지점의 연평균 유량과 수질농도	47
그림 2-31. 신천A 지점의 연평균 유량과 수질농도	48
그림 2-32. 영평A 지점의 연평균 유량과 수질농도	49
그림 2-33. 임진A 지점의 연평균 유량과 수질농도	50
그림 2-34. 임진B 지점의 연평균 유량과 수질농도	51
그림 2-35. 한탄A 지점의 연평균 유량과 수질농도	52
그림 2-36. 한탄B 지점의 연평균 유량과 수질농도	53
그림 3-1. 유량 측정을 위한 참여기관의 보유장비	60
그림 3-2. 조사대상지점의 유속측정 방법	63
그림 3-3. 유량 모니터링 수행절차	64
그림 3-4. 하천 유량측정 절차	64
그림 3-5. 수질분석 업무체계	73
그림 3-6. 정도관리 운영체계	74
그림 4-1. 불확도 및 최대구간유량비 성과	79
그림 5-1. 경안천 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)	86
그림 5-2. 경안천 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)	87
그림 5-3. 경안천 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과	89
그림 5-4. 경안천 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과	89
그림 5-5. 경안천 수계의 T-N, NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N 분석 결과	90
그림 5-6. 경안천 수계의 T-P, PO ₄ -P 분석 결과	90
그림 5-7. 경기-005 (배머루교) 지점의 상관성분석 결과	91
그림 5-8. 경기-005 (배머루교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	93
그림 5-9. 경기-005 (배머루교) 지점의 현장측정 결과	93
그림 5-10. 경기-005 (배머루교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	94
그림 5-11. 경기-005 (배머루교) 지점의 T-N 계열 결과	94
그림 5-12. 경기-005 (배머루교) 지점의 T-P 계열 결과	95
그림 5-13. 경기-005 (배머루교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	95
그림 5-14. 경안A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	96
그림 5-15. 경안A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	96
그림 5-16. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(경안A)	97

그림 5-17. 경기-005 (배머루교) 지점의 오염부하량 산정결과	98
그림 5-18. 경기-009 (장지교) 지점의 상관성분석 결과	99
그림 5-19. 경기-009 (장지교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	101
그림 5-20. 경기-009 (장지교) 지점의 현장측정 결과	101
그림 5-21. 경기-009 (장지교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	102
그림 5-22. 경기-009 (장지교) 지점의 T-N 계열 결과	102
그림 5-23. 경기-009 (장지교) 지점의 T-P 계열 결과	103
그림 5-24. 경기-009 (장지교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	103
그림 5-25. 경안B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	104
그림 5-26. 경안B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	104
그림 5-27. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(경안B)	105
그림 5-28. 경기-009 (장지교) 지점의 오염부하량 산정결과	106
그림 5-29. 남한강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)	112
그림 5-30. 남한강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)	113
그림 5-31. 남한강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과	115
그림 5-32. 남한강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과	115
그림 5-33. 남한강 수계의 T-N, NH3-N, NO2-N, NO3-N 분석 결과	116
그림 5-34. 남한강 수계의 T-P, PO4-P 분석 결과	116
그림 5-35. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성분석 결과	117
그림 5-36. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	119
그림 5-37. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 현장측정 결과	119
그림 5-38. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	120
그림 5-39. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-N 계열 결과	120
그림 5-40. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-P 계열 결과	121
그림 5-41. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	121
그림 5-42. 북하A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	122
그림 5-43. 북하A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	122
그림 5-44. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(북하A)	123
그림 5-45. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 오염부하량 산정결과	124
그림 5-46. 경기-035 (금당교) 지점의 상관성분석 결과	125
그림 5-47. 경기-035 (금당교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	127
그림 5-48. 경기-035 (금당교) 지점의 현장측정 결과	127
그림 5-49. 경기-035 (금당교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	128
그림 5-50. 경기-035 (금당교) 지점의 T-N 계열 결과	128

그림 5-51. 경기-035 (금당교) 지점의 T-P 계열 결과	129
그림 5-52. 경기-035 (금당교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	129
그림 5-53. 한강E 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	130
그림 5-54. 한강E 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	130
그림 5-55. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한강E)	131
그림 5-56. 경기-035(금당교) 지점의 오염부하량 산정결과	132
그림 5-57. 북한강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)	136
그림 5-58. 북한강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)	137
그림 5-59. 북한강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과	139
그림 5-60. 북한강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과	139
그림 5-61. 북한강 수계의 T-N, NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N 분석 결과	140
그림 5-62. 북한강 수계의 T-P, PO ₄ -P 분석 결과	140
그림 5-63. 경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성분석 결과	141
그림 5-64. 경기-053 (도대리상교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	143
그림 5-65. 경기-053 (도대리상교) 지점의 현장측정 결과	143
그림 5-66. 경기-053 (도대리상교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	144
그림 5-67. 경기-053 (도대리상교) 지점의 T-N 계열 결과	144
그림 5-68. 경기-053 (도대리상교) 지점의 T-P 계열 결과	145
그림 5-69. 경기-053 (도대리상교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	145
그림 5-70. 가평A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	146
그림 5-71. 가평A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	146
그림 5-72. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(가평A)	147
그림 5-73. 경기-053 (도대리상교) 지점의 오염부하량 산정결과	148
그림 5-74. 경기-065 (내구운교) 지점의 상관성분석 결과	149
그림 5-75. 경기-065 (내구운교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	151
그림 5-76. 경기-065 (내구운교) 지점의 현장측정 결과	151
그림 5-77. 경기-065 (내구운교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	152
그림 5-78. 경기-065 (내구운교) 지점의 T-N 계열 결과	152
그림 5-79. 경기-065 (내구운교) 지점의 T-P 계열 결과	153
그림 5-80. 경기-065 (내구운교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	153
그림 5-81. 한강(북한강수계) 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	154
그림 5-82. 한강(북한강수계) 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	154
그림 5-83. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한강F(북한강수계))	155
그림 5-84. 경기-065(내구운교) 지점의 오염부하량 산정결과	156

그림 5-85. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC)	165
그림 5-86. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(SS, 클로로필-a)	166
그림 5-87. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(T-N, DTN, NH ₃ -N)	166
그림 5-88. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(NO ₂ -N, NO ₃ -N)	167
그림 5-89. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(T-P, DTP, PO ₄ -P)	167
그림 5-90. 한강서울·고양 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과	169
그림 5-91. 한강서울·고양 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과	169
그림 5-92. 한강서울·고양 수계의 T-N, NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N 분석 결과	170
그림 5-93. 한강서울·고양 수계의 T-P, PO ₄ -P 분석 결과	170
그림 5-94. 경기-084 (진관교) 지점의 상관성분석 결과	171
그림 5-95. 경기-084 (진관교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	173
그림 5-96. 경기-084 (진관교) 지점의 현장측정 결과	173
그림 5-97. 경기-084 (진관교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	174
그림 5-98. 경기-084 (진관교) 지점의 T-N 계열 결과	174
그림 5-99. 경기-084 (진관교) 지점의 T-P 계열 결과	175
그림 5-100. 경기-084 (진관교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	175
그림 5-101. 왕숙A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	176
그림 5-102. 왕숙A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	176
그림 5-103. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(왕숙A)	177
그림 5-104. 경기-084(진관교) 지점의 오염부하량 산정결과	178
그림 5-105. 경기-094 (매송교) 지점의 상관성분석 결과	179
그림 5-106. 경기-094 (매송교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	181
그림 5-107. 경기-094 (매송교) 지점의 현장측정 결과	181
그림 5-108. 경기-094 (매송교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	182
그림 5-109. 경기-094 (매송교) 지점의 T-N 계열 결과	182
그림 5-110. 경기-094 (매송교) 지점의 T-P 계열 결과	183
그림 5-111. 경기-094 (매송교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	183
그림 5-112. 탄천A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	184
그림 5-113. 탄천A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	184
그림 5-114. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(탄천A)	185
그림 5-115. 경기-094(매송교) 지점의 오염부하량 산정결과	186
그림 5-116. 임진강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)	192
그림 5-117. 임진강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)	193
그림 5-118. 임진강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과	195

그림 5-119. 임진강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과	195
그림 5-120. 임진강 수계의 T-N, NH ₃ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N 분석 결과	196
그림 5-121. 임진강 수계의 T-P, PO ₄ -P 분석 결과	196
그림 5-122. 경기-104 (봉암교) 지점의 상관성분석 결과	197
그림 5-123. 경기-104 (봉암교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	199
그림 5-124. 경기-104 (봉암교) 지점의 현장측정 결과	199
그림 5-125. 경기-104 (봉암교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	200
그림 5-126. 경기-104 (봉암교) 지점의 T-N 계열 결과	200
그림 5-127. 경기-104 (봉암교) 지점의 T-P 계열 결과	201
그림 5-128. 경기-104 (봉암교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	201
그림 5-129. 문산A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	202
그림 5-130. 문산A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	202
그림 5-131. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(문산A)	203
그림 5-132. 경기-104 (봉암교) 지점의 오염부하량 산정결과	204
그림 5-133. 경기-131 (용담교) 지점의 상관성분석 결과	205
그림 5-134. 경기-131 (용담교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과	207
그림 5-135. 경기-131 (용담교) 지점의 현장측정 결과	207
그림 5-136. 경기-131 (용담교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과	208
그림 5-137. 경기-131 (용담교) 지점의 T-N 계열 결과	208
그림 5-138. 경기-131 (용담교) 지점의 T-P 계열 결과	209
그림 5-139. 경기-131 (용담교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과	209
그림 5-140. 한탄B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	210
그림 5-141. 한탄B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	210
그림 5-142. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한탄B)	211
그림 5-143. 경기-131(용담교) 지점의 오염부하량 산정결과	212
그림 6-1. 경안천 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	218
그림 6-2. 경안천 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	218
그림 6-3. 남한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	219
그림 6-4. 남한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	220
그림 6-5. 북한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	221
그림 6-6. 북한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	221
그림 6-7. 한강서울·고양 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	222
그림 6-8. 한강서울·고양 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	223

그림 6-9. 임진강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)	224
그림 6-10. 임진강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)	224
그림 6-11. 연구결과 활용방안(1)	225
그림 6-12. 연구결과 활용방안(2)	226
그림 6-13. 연구결과 활용방안(3)	227

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

물환경보전법에 따른 대권역, 중권역 계획과 관련된 한강수계는 수도권의 주요 상수원으로 이용되고 있는 팔당호를 포함한 북한강, 남한강, 경안천, 임진강, 시화호, 안성천 등을 포함하고 34,305 km²의 유역면적을 가진 매우 넓은 지역에 속한다. 수질오염총량관리제에서는 한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률(이하 한강수계법)에 의해 한강수계의 범위가 규정되어 있으며, 한강을 통해 서해로 유입되지 않으면 한강수계에서 제외(안성천, 시화호 등)하고 있다. 남한강과 북한강의 합류이전까지는 오염배출부하량이 비교적 낮은 편이나, 합류이후의 한강서울, 한강고양, 임진강하류의 중권역에서의 부하량은 서울특별시와 인천광역시에서 배출되는 생활계 부하량의 영향으로 높게 나타나고 있다. 또한 시화호, 안성천의 경우는 기존 물관리 종합대책에 포함되지 않았던 이유로 부하량이 매우 높게 나타나고 있다. 특히, 북한강, 남한강, 경안천으로부터 유입되는 팔당호의 경우, 총 유역면적은 약 23,800 km²이며, 이 중 북한강 유역이 37%, 남한강 유역이 60% 정도로 대부분을 차지하고 있고 경안천 유역은 전체 팔당호 유역의 3%에 불과하나 많은 오염원이 밀집되어 있고 수량도 풍부한 편이 안에서 수질관리상 많은 문제점을 안고 있는 지역이기도 하다(경기도보건환경연구원, 2009)¹⁾.

1963년의 「공해방지법」과 1966년의 「하수도법」으로부터 시작된 국내의 수질보전 환경정책은 공해로부터 피해를 줄이려는 소극적 위생개념에 기초를 두고 있었으며, 이후 보다 적극적 개념의 규정들이 포함된 「환경보전법」을 거쳐, 1990년대에는 「수질환경보전법」이 제정되면서 본격적인 수질관리정책이 추진되었다. 하지만 1990년대의 이러한 정책들은 환경기초시설 설치 등 점오염원 중심의 정책으로 추진되어 수질개선에서 만족할만한 성과를 얻지 못하였으며, 특히, 배출허용기준 중심의 농도규제 정책은 근본적으로 오염물질 배출량을 감소시키는 데에는 한계가 있어 효율적인 수질개선 정책으로는 미흡한 측면이 있었다.

도시화, 산업화 등으로 인하여 하천으로 유입되는 오염물질의 양은 나날이 늘어가고 있으며, 기존에 시행해오던 배출허용기준을 통한 개별배출원에 대한 농도규제에서 벗어나 유역의 목표수질을 달성할 수 있는 배출부하량에 대한 관리방법인 수질오염총량관리제도를 도입하였다. 기존의 배출허용기준 중심의 농도규제로는 배출되는 폐수가 법으로 규정된 오염물질의 농도를 넘지 않는 한, 법규에 저촉되지 않기 때문에 오염물질의 양적인 증가에 대해서는 억제할 수 없었다. 또, 사업자도 배출허용기준만 달성하면 되므로 오염물질의 양을 줄이기 위한 방지 및 저감시설의 설치와 처리효율 증대 및 공정개선과 같은 경제적 유인 효과가 미흡하였다. 더불어, 대부분의 상수원 유역에는 이미 여러 종류의 오염배출시설이 입지한 상태로, 해당 지역

1) 경기도보건환경연구원, 경기도 하천 수질 모니터링, p4. 2009.

의 추가적인 개발압력은 여타지역에 비해 큰 반면, 토지이용제한에 따른 주민들의 재산권 행사는 제한을 받고 있어 불만이 증대되어 왔기 때문에 이를 해소할 수 있는 대안이 필요하였고, 그 대안 중 하나가 수질오염총량관리제도의 도입이었다(국립환경과학원, 2010)²⁾.

정부는 종합적인 물 관리를 위하여 중장기 정책으로 1996년에 물관리종합대책을 수립하여 오염원에 대한 배출농도 중심의 규제를 시행하였다. 그러나 공공수역의 환경용량(허용부하량)을 고려하지 않는 배출허용기준 중심의 농도규제만으로는 팔당호의 수질을 개선하는데 한계가 있었다. 또한, 면적규제를 통한 오염원 관리는 오히려 소규모 난개발이라는 부작용을 가져와 수질관리 정책을 전환시킬 필요가 있었다.

이에 환경부에서는 2005년까지 수도권 상수원인 팔당호의 수질을 BOD 1.0 mg/L 이내로 달성하기 위한 수질개선 대책으로 1998년 11월에 「팔당호 등 한강수계 상수원 수질개선 특별대책(이하 한강특별종합대책)」을 수립하여 발표하였다. 한강특별종합대책을 수립하면서 수질오염총량관리, 물이용부담금, 수변구역, 자연정화복원, 물수요관리 등 새로운 유역관리의 개념과 방향을 정립하였다. 또한, 한강특별종합대책을 근거로 1999년 2월 한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률(이하 한강수계법)이 제정되었다.

특히 정부는 2006년부터 2015년까지의 물환경관리기본계획에 따라 목표수질 설정 및 달성을 위한 권역별 계획을 추진하였으며, 한강의 경우, 좋은 물 비율을 2004년 74%에서 2015년 82%까지 높일 계획이었다. 이에 따라 한강수계 팔당호 특별대책지역의 당초 7개 시·군은 2010년 5월 한강수계법 개정에 따라 수질오염총량관리제도를 의무적으로 시행하게 되었고, 2013년 6월부터는 의무시행이 28개 시·군으로 확대되었다. 이와 관련하여 한강수계 하천 모니터링 및 수질오염총량관리 등의 연구가 수행되었으며, 한강수계 수질오염총량관리 및 하천 모니터링 관련 주요 연구현황을 <표 1-1>에 나타내었다.

한강수계관리위원회(2017)에서 수행한 「2017년도 한강수계 소유역 하천 모니터링 용역」에서는 본류 하천 수질에 근간을 이루고 있는 지류·지천의 수질 및 유량 조사가 미흡하여 오염수준 조차 파악하기 어려운 여건에 있다는 것에 대한 문제점을 제기하였다. 이를 해결하기 위해서 한강수계 유입지류의 수질 및 유량 모니터링을 수행하여 지류·지천의 수계관리를 위한 물환경 기반자료 구축하고자 하였다.

강원도(2017)에서 수행한 「강원도 한강수계 하천모니터링 용역」에서는 강원도 한강수계 15개 시·군 143개 지점에 대한 수질 및 유량조사의 실시하여 수문자료를 확보하고 수질모델링 시 소유역별 수질변동 특성파악 및 합리적인 유달율을 산정하여 수질오염총량관리 기본계획의 수립에 필요한 환경적으로 건전하고 지속가능한 유역개발을 위한 DB를 구축하고자 하였다.

한강수계관리위원회(2016)에서 수행한 「2016년 한강수계 소유역 하천 모니터링」에서는 한강수계 수질오염총량관리제가 의무제로 전환됨에 따라 소하천 유량과 수질을 지속적으로 모니터

2) 국립환경과학원, 수질오염총량관리를 위한 유역관리모델 적용방안 연구, p.1, 2010.

링하고자 하였다. 또한 효율적인 이행평가 산정자료 확보 단위유역 내 2개 이상의 지자체가 위치하고 있는 경우 지자체별 목표수질관리 기여정도 등을 확인하기 위한 근거자료를 확보하여 향후 분쟁조정 시 활용 또한, 한강수계 오염수역의 중점관리 등 소하천관리를 위한 정책수립 및 수계관리를 위한 물환경 기반자료 확보하고자 하였다.

본 연구의 1단계 과제인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강수계 하천모니터링 용역사업」에서는 한강수계 수질오염총량관리 의무제 전환의 내용을 담은 「한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한법률」이 공포됨에 따라 오염총량관리 기본계획 수립을 위하여 주요 하천에 대한 수질 및 유량조사 실시하였다.

표 1-1. 한강수계 수질오염총량관리 및 하천 모니터링 관련 주요 연구현황

구 분	연구개요 및 주요 연구내용	
	연구개요	주요 연구내용
주요 선행 연구	1 · 과제명 : 강원도 한강수계 하천모니터링 용역 · 연구자(연도) : 강원도(2017) · 연구목적 : 수질오염총량관리 기본계획의 정확하고 합리적인 수립을 위해 주요 하천에 대한 수질 및 유량조사의 실시하여 수문자료를 확보하고 수질모델링시 소유역별 수질변동 특성파악 및 합리적인 유달율을 산정하고자 함.	· 목표수질을 달성·유지하기 위한 총량관리 단위유역별·지방자치단체별 오염물질 할당 부하량(허용총량)을 산정하여 오염물질 배출 부하량을 할당부하량 이내로 관리 · 시·도경계지점 목표수질의 달성유지가 가능한 수질오염총량관리 기본계획의 수립
	2 · 과제명 : 2017년도 한강수계 소유역 하천 모니터링 용역 · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2017) · 연구목적 : 본류 하천 수질에 근간을 이루는 지류·지천은 수질조사가 미흡하여 오염수준 조차 파악하기 어려운 여건에 있음, 한강수계 유입지류의 수질, 유량 통합 조사를 통해 대상 지류의 수계관리를 위한 물환경 기반자료 구축	· 지점별 유량수질 모니터링, 오염부하량 산정 및 변화추이 분석 · 과업 추진과 관련된 제반 사항 계획 수립, 보고 및 기타 사항 · 소하천 수위-유량 관계곡선식 개발 · 하천 유량측정 자료 품질평가
	3 · 과제명 : 인천광역시 한강수계 하천 모니터링(수질·유량조사)용역 · 연구자(연도) : 인천광역시(2017) · 연구목적 : 수질오염총량관리기본계획 수립 시 정확하고 객관적인 수질 데이터를 확보하여 목표수질 설정의 과학적인 평가 자료로 제시하는데 목적이 있다.	· 인천광역시 주요 하천을 기준으로 선정된 조사지점에서 수리수문(유속, 수심, 유량, 강수량) 측정 · 19개 항목 수질모니터링 측정
	4 · 과제명 : 2017년 서울시 하천 수질,유량 모니터링 용역 · 연구자(연도) : 서울특별시(2017) · 연구목적 : 유역별 수질변동 특성을 파악하고 목표수질 설정 지점에 도달하는 오염물질 양을 산정하기 위한 주요지점의 수질 및 유량 자료 확보하는데 있다.	· 기존 수질측정망 지점을 포함한 서울시 주요 하천을 기준으로 선정된 조사지점에서 수리수문(유속, 수심, 유량, 강수량) 측정 · 측정된 유량 및 수질자료 정리
	5 · 과제명 : 2016년 한강수계 소유역 하천 모니터링 용역 · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2016) · 연구목적 : 한강수계 수질오염총량관리제가 2013년 6월부터 임의제에서 의무제로 전환됨에 따라 해당 사군의 목표수질 달성 이행여부를 평가하고 소하천 유량과 수질을 지속적으로 모니터링하여 효율적인 이행평가 산정자료 확보 단위유역 내 2개 이상의 지자체가 위치하고 있는 경우 지자체별 목표수질관리 기여정도 등을 확인하기 위한 근거자료를 확보하여 향후 분쟁조정 시 활용 또한, 한강수계 오염수역의 중점관리 등 소하천관리를 위한 정책수립 및 수계관리를 위한 물환경 기반자료 확보	· 지점별 유량수질 모니터링, 오염부하량 산정 및 변화추이 분석 · 과업 추진과 관련된 제반 사항 계획 수립, 보고 및 기타 사항 · 소하천 수위-유량 관계곡선식 개발 · 하천 유량측정 자료 품질평가

표 1-1. 한강수계 수질오염총량관리 및 하천 모니터링 관련 주요 연구현황(계속)

구 분		연구개요 및 주요 연구내용	
		연구개요	주요 연구내용
주요 선행 연구	6	· 과제명 : 한강수계 지류지천 수질·유량 모니터링(Ⅳ) · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2016) · 연구목적: 본류 하천 수질에 근간을 이루는 지류·지천은 수질조사가 미흡하여 오염수준 조차 파악하기 어려운 여건에 있음, 한강수계 유입지류의 수질, 유량 통합 조사를 통해 대상 지류의 수계관리를 위한 물환경 기반자료 구축	· 한강청 관할 15개 중권역내 지류지천의 목록화 및 오염현황 조사 · 중점관리 지류지천의 선정 및 수질·유량 모니터링 조사 · 중점관리 지류지천별 주요 오염원인 및 우선관리순위 제시 · 지류지천 수질·유량 모니터링 결과 DB화
	7	· 과제명 : 2015년 한강수계 소유역 하천 모니터링 · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2015) · 연구목적: 한강수계 수질오염총량관리제가 2013년 6월부터 임의제에서 의무제로 전환됨에 따라 해당 사군의 목표수질 달성 이행여부를 평가하고 소하천 유량과 수질을 지속적으로 모니터링하여 효율적인 이행평가 산정자료 확보 단위유역 내 2개 이상의 지자체가 위치하고 있는 경우 지자체별 목표수질관리 기여정도 등을 확인하기 위한 근거자료를 확보하여 향후 분쟁조정 시 활용 또한, 한강수계 오염수역의 중점관리 등 소하천관리를 위한 정책수립 및 수계관리를 위한 물환경 기반자료 확보	· 지점별 유량수질 모니터링, 오염부하량 산정 및 변화추이 분석 · 과업 추진과 관련된 제반 사항 계획 수립, 보고 및 기타 사항 · 소하천 수위-유량 관계곡선식 개발 · 하천 유량측정 자료 품질평가
	8	· 과제명 : 한강수계 지류지천 수질·유량 모니터링 · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2014) · 연구목적: 한강수계 중점관리 유입지류 설정 및 지류지천의 수질·유량 모니터링 강화, 중점관리 유입지류의 수질, 유량, 오염원 등 정밀 조사를 통해 대상 지류의 수계관리를 위한 물환경 기반자료 확보	· 의암댐, 한탄강, 안성천 중권역 유역특성 및 주요 오염원 조사를 통한 하천·유역환경조사 · 한강수계 유입지류 수질·유량 모니터링 조사 · 과년도 조사수행 중권역 내 중점관리 유입지류 선정 및 수질·유량 중점 모니터링 조사 및 우선관리 대상항목 선정
	9	· 과제명 : 한강수계 소유역 하천 모니터링 · 연구자(연도) : 한강수계관리위원회(2013) · 연구목적: 한강수계 수질오염총량관리제가 2013년 6월부터 임의제에서 의무제로 전환됨에 따라 해당 사군의 목표수질 달성 이행여부를 평가하고 소하천 유량과 수질을 지속적으로 모니터링하여 효율적인 이행평가 산정자료 확보 또한, 한강수계 오염수역의 중점관리 등 소하천관리를 위한 정책수립 및 수계관리를 위한 물환경 기반자료 확보	· 소하천 64개 지점 선정 · 소하천 유량변동 및 수질변화 모니터링 · 소하천 수위-유량 관계곡선식 개발 · 하천 유량측정 자료 품질평가
	10	· 과제명 : 한강수계 하천모니터링 용역 사업 · 연구자(연도) : 팔당 수질개선 본부(2010) · 연구목적: 한강수계 수질오염총량관리 의무제 전환의 내용을 담은 「한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한법률」이 공포됨에 따라 오염총량관리 기본계획 수립을 위하여 주요 하천에 대한 수질 및 유량조사 실시	· 유량/수질 측정 · 수질/유량 지점의 타당성 검토 · 수질/유량 조사지점의 확정 · 조사/측정 자료의 분석

수질오염총량관리제도는 과학적 토대 위에서 수계 하천별로 목표수질을 설정하고 해당 하천의 유역 안에서 배출되는 오염물질의 총량이 공공수역의 목표수질을 달성·유지 할 수 있는 환경용량 이내가 되도록 관리하는 제도이다(환경부, 2003)³⁾. 수질오염총량관리제 시행 대상지역은 목표수질을 초과한 수계지역에서만 시행되며, 시행 시 지자체에서 오염물질의 배출량을 줄이면 줄일수록 해당지역에서 개발할 수 있는 지역개발 용량은 커지므로 지자체의 수질보전에 대한 노력 그 자체가 해당 지자체의 인센티브로 돌아오게 되어 지자체의 환경 친화적 지역개발을 촉진하는데 있다(강원발전연구원, 2004)⁴⁾.

기존의 일률적인 농도규제 방식은 오염원이 밀집한 경우에는 오염배출시설이 배출허용기준 및 방류수수질기준을 준수하더라도 하천으로 유입되는 오염물질의 양이 증가하여, 수질개선 효과가 매우 낮게 된다(전남발전연구원, 2012)⁵⁾. 이에 대한 사례로 팔당호 유입하천인 경안천의 경우 방류수 수질기준을 준수했음에도 불구하고 오염물질 배출량 증가로 인해 수질이 I등급(BOD 1.0 mg/L)에서 IV등급 수준(BOD 6.4 mg/L, 2003년)으로 악화된 것으로 보고되었다(환경부, 2014). 이러한 이유로 하천의 허용부하량을 고려하지 않는 농도규제로는 오염부하의 양적증가에 의한 수질 악화의 우려가 있기 때문에 지방자치단체에서 수계구간별 목표수질을 설정하여 환경용량을 초과하지 않는 범위 내에서 오염부하의 총량을 스스로 관리하고, 환경 친화적인 지역개발과 수질목표 달성의 조화를 이룰 수 있도록 하기 위해서 수질오염총량관리제도가 도입된 이유이다.

한강수계는 4대강 수계 중 처음으로 1999년 「한강수계 상수원 수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률」의 제정을 통해 수질오염총량관리제의 시행 근거를 마련하였으나, 오염원 배출의 기득권 논란, 상·하류간의 형평성 문제 등으로 인해 의무제 도입에 반대하여 임의제로 시행되어 왔다. 다른 3대강 수계에서는 2004년부터 BOD를 대상으로 1단계 총량제를 의무제로 시행하였으며, 2단계(2011~2015년)에서는 T-P가 대상항목으로 추가되어 시행되고 있다.

수질오염총량관리제를 시행하는데 있어서 할당부하량 및 이를 결정하게 되는 목표수질은 단위유역간의 형평성에 있어서 중요하다고 할 수 있다. 이에, 목표수질은 수질오염총량관리제 계획·시행단계에서 오염부하량 할당방법을 개선하기 위해서 다양한 연구가 시도되고 있으며, 무엇보다도 단위유역 특성을 고려한 적절한 목표수질을 제시하는 것이 가장 중요하다(환경부, 2004)⁶⁾. 이러한 수질오염총량관리제는 3대강 수계에서 2005~2010년의 1단계를 진행하였으며, 2011~2015년에 2단계를 거쳐 3단계가 시행중이며, 한강수계는 1단계가 진행중이며, 한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위해 한강수계 주요 하천에 대한 수질 및 유량조사를 경기도에서 수행중이다.

3) 환경부, 오염총량관리 업무편람, p1. 2003.

4) 강원발전연구원, 한강수계 오염총량관리제도의 검토 및 대응방안, p1. 2003.

5) 환경부, 수질오염총량관리제도, p2. 2014.

6) 환경부, 수질오염총량관리 업무편람, p47. 2004.

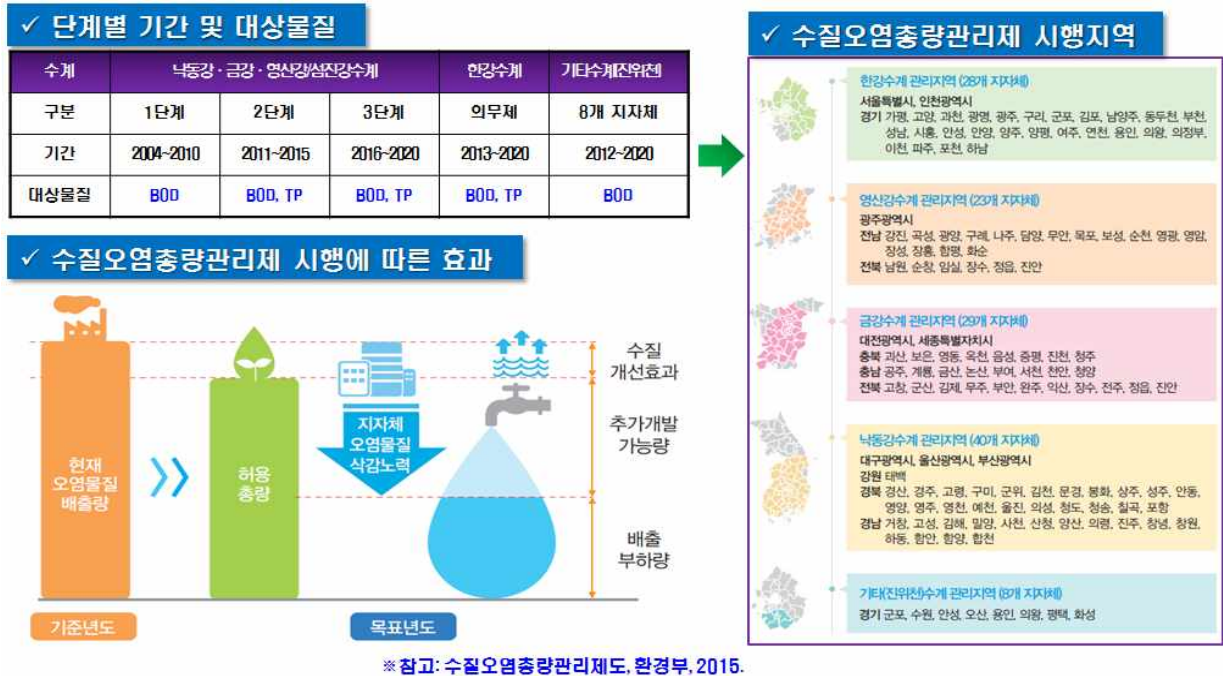


그림 1-1. 수질오염총량관리제도의 관리현황 및 시행효과

수질오염총량관리제를 시행하고 있는 대표적인 나라인 미국에서는 1992년부터 매 2년마다 문제가 되는 수역의 목록을 작성하고, 오염정도에 따라 우선순위를 정하여 수질환경기준을 달성할 수 있도록 총일최대부하량(Total Maximum Daily Loads, TMDLs)을 정하여 관리하고 있다. 또한 점오염원은 미국 환경청(Environment Protection Agency, EPA)에서 국가오염저감시스템(National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)에 따라 연방정부의 수질환경기준이 설정되어 있지만 배출 및 수용수계에 대한 배출영향을 해당 주(州)별 설정 기준 등을 평가하여 보다 엄격한 규제를 시행하고 있다(인천발전연구원, 2010)⁷⁾.

국내에서는 수질오염총량관리제 기본계획을 수립하여 지자체장이 유역환경 조사를 수행하여 수계환경자료를 조사하도록 규정하고 있다. 수계환경자료로는 기상, 수자원, 하천, 호소에 관한 자료와 유량 및 수질조사, 수질모델링에 필요한 자료 등이 포함된다. 또한, 수질오염총량관리를 위해서 단위유역, 소유역 및 행정구역별로 오염원을 조사하여야 한다. 이렇게 조사된 수질 및 오염원 자료는 수질오염총량관리계획 승인 요청 시 할당부하량 산정 및 준수를 위한 삭감계획 등에 중요한 자료로 활용된다. 따라서 수질오염총량관리제 운영성과에 대한 평가, 제도의 효과적 운영을 위해서는 과학적이고 체계적인 방법을 통하여 해당 유역 내 오염물질 거동과 오염부하량을 파악하여야 한다. 즉, 목표수질 설정과 배출부하량 할당을 위한 기준유량을 설정하고, 목표수질 달성 이행여부를 평가하기 위해서는 연중 실측된 하천수질 및 유량모니터링 자료가 확보되어야 한다.

7) 인천발전연구원, 한강수계 오염총량관리제 전면 확대에 따른 인천광역시 대응방안, p25. 2010.

제2절 연구 목적

본 연구의 목적은 첫째, 한강수계 26개 시·군 135개 지점에 대한 수위, 유량 및 수질을 지속적으로 모니터링하고, 변화추이를 분석함으로써 한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위해 주요 하천에 대한 수질 및 유량조사 실시하는데 있다. 둘째, 수질오염총량관리 기본계획의 정확하고 합리적인 수립을 위해 시·군 경계 및 주요지점에 대한 유량 및 수질 모니터링을 실시하여 수문자료를 확보하고 수질모델링 시 소유역별 수질변동 특성 파악 및 합리적인 유달율을 산정하는 근거로 활용하는데 있다. 셋째, 향후 수질오염총량관리계획 이행평가 등 모니터링 기반을 구축하고 환경적으로 건전하고 지속가능한 유역개발을 위한 과학적 토대로 구축하는데 있다.

<그림 1-2>에는 본 사업의 필요성 및 목표를 나타내었다.



그림 1-2. 사업의 필요성 및 목표

제3절 연구의 범위

1. 조사대상 지점

1) 조사대상 지점 : 26개 시·군 135개 지점

- 경기도 측정지점(135개소) 중 시도 및 시·군 경계 지점은 12개소, 기타 주요지점은 123개소이며, 국토교통부의 유량측정 지점은 5개소를 포함하여 조사하였음

- 수질/유량조사는 현장조사와 실험실 분석으로 구분하여 실시
- 현장조사 : 유량, 수온, 수소이온농도(pH), 전기전도도, 용존산소(DO) 등 5개 항목
- 실험실분석 : BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P, Chl-a, TOC, DTN, DTP 등 13개 항목
- 조사주기 : 8일 이상 간격 (연 36회 이상 측정·조사)

3) 조사 및 분석 방법

(1) 유량 측정

- 유량조사는 오염총량관리시행계획 이행평가기준 제4조제5항 규정에 해당되는 조사기관이 직접 조사
- 조사지점별 평균 8일 간격으로 36회 이상 실시
- 국토교통부 중복지점 5개소의 유량측정은 국토교통부로부터 제공받은 자료 활용
- 오염총량관리시행계획 이행평가기준 제4조제3항 규정에 따른 유량조사는 하천법 제18조제1항 규정에 따라 국토교통부장관이 정한 방법에 따라 도섭법을 원칙으로 수행하되, 홍수기·강우 등으로 인한 유량의 급격한 변화로 도섭법으로 유량측정이 불가능한 경우에는 교량법, 보트법 등 사용
- 조사지점에 대한 현장조사시 유량측정이 불가능한 지점이 발생하였을 경우, 경기도와 협의하여 조사지점을 변경

(2) 수질측정

- 수질측정은 오염총량관리시행계획 이행평가기준 제4조제4항 규정에 해당되는 수질검사기관에서 직접 측정
- 시료의 채취, 운반, 보존, 분석은 수질오염공정기준을 준수
- 유량조사 지점과 동일한 지점에서 수질을 측정
- 기후변화(우천 등)로 인하여 수질시료의 채취가 곤란할 때에는 경기도와 협의하여 수질시료 채취 일정을 조정하였음

(3) 수질/유량지점의 타당성 검토

- 현장조사 및 기존측정망 운영자료에 근거하여 수질/유량 측정지점의 적정성 및 타당성을 재검토
- 수질/유량조사 지점은 원칙적으로 유량측정 지점과 동일해야 하며, 홍수 등과 같은 안전상의 문제 및 공사·결빙 등과 같은 불가피한 이유로 동일지점의 조사가 불가능한 경우는 수질-유량간의 관계를 훼손시키지 않는 최 근접지점을 선정
- 수질/유량 조사지점은 기존에 설치 또는 운영 중인 모니터링과 지점과 연계성·보완성이 확보되도록 설정

(4) 수질/유량 조사지점의 확정

- 수질 및 유량조사 지점은 한강수계 수질오염총량관리 기본계획 수립(수질모델링 및 유달을 산정 등)에 필요한 조사지점으로 경기도와 협의하여 확정할 수 있음
- 부적절한 지점에 대해서는 경기도와 협의하여 조사지점을 재조정
- 상기 재검토 작업을 통해 확정된 조사지점에 대해서는 GPS 및 현장 사진 등을 통해 정확한 위치정보를 제시
- GIS 또는 행정자료를 이용하여 해당지점에 영향을 미치는 행정구역(최소 행정리 단위) 목록 작성

4) 조사/측정 자료의 분석

(1) 수질항목간의 연관성 분석

- BOD-COD, 유량-수질 항목 간의 연관 등 각 수질항목 간의 관계분석을 통해 수질 인자간의 상관성 및 수질측정에 있어 불확실성을 파악
- 수질인자 간의 상관성(통계)분석을 통해 수질관리에 있어 시사점 분석

(2) 수질의 공간적 변화특성 분석

- 수질의 공간적 분포특성을 통해 우선적으로 수질관리가 요구되는 항목 및 지점 파악
- 전국오염원조사, 통계자료 또는 수질오염총량관리계획 수립과 연관하여 파악된 오염원(부하량)자료가 가용한 경우 수질악화 원인 파악
- 해당지역에 영향을 미치는 상류유역의 부하량 자료가 가용한 경우 해당유역의 유달을 추정

(3) 수질의 시간적 변화특성 분석

- 수질의 시계열적 변화 분석을 통해 수질에 영향을 미치는 인위적(오염원, 처리시설 등) 또는 자연적(수온, 강우, 토양 특성 등) 요인 분석
- 시계열적 변화 분석을 통해 수질관리(특히 계절적 요인)의 시사점 분석

(4) 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

- 조사지점 중 환경부 수질측정망 등의 수질오염총량 관리 지원을 위한 측정지점 자료 이용 가능
- 통계 또는 요인분석을 통해 중복되는 측정자료의 차이에 대한 원인 분석
- 과거자료의 분석을 통해 해당년도 수질자료의 특이점 분석
- 이상의 자료를 종합하여 수질관리(특히 상이한 측정자료 간의 차이)의 시사점 분석
- 수질 모니터링 및 유량조사시 하천에 대한 계획연장은 지점별 0.04 km로 한다.

제2장 유량·수질 모니터링 지점

제1절 조사대상지점 선정

경기도 26개 시·군을 대상으로 135개 지점을 선정하여 유량 및 수질 모니터링을 수행하였다. 경기도 측정지점(135개소) 중 시·도 및 시·군 경계 지점은 12개소, 기타 주요지점은 123개소이다. 국토교통부의 유량측정 지점은 5개소로 국토교통부의 유량측정 자료를 활용하였다.

〈표 2-1〉에는 조사대상지점(26개 시·군을 대상으로 135개 지점)에 대하여 본 사업에 참여하는 연구기관별 하천모니터링 조사지점을 나타내었다.

표 2-1. 단위유역별 수계 및 측정지점 현황

수계	단위유역	측정지점	하천명	조사지점위치	유입하천	선정사유	비고
경안천수계	경안A	경기-001 마평교	경안천	용인시 김량장동(마평교)	경안천	주요지점	-
		경기-002 금복교	금학천	용인시 김량장동(금복교)	경안천	주요지점	-
		경기-003 고진교	양지천	용인시 김량장동(고진교)	경안천	주요지점	-
		경기-004 고림교	대대천	용인시 고림동(고림교)	경안천	주요지점	-
		경기-005 배머루교	영문천	용인시 포곡읍 영문리(배머루교)	경안천	주요지점	-
		경기-006 신대1교	신대천	용인시 포곡읍 전대리 (농로교각, 신대1교)	경안천	주요지점	-
		경기-007 초현교	초하천	용인시 처인구 포곡읍 삼계리 (초현교)	경안천	주요지점	-
		경기-008 월촌교	능원천	용인시 모현면 일산리(월촌교)	경안천	주요지점	-
	경안B	경기-009 장지교	중대천	광주시 장지동(장지교)	경안천	주요지점	-
		경기-010 송정교	목현천	광주시 송정동 송정교(GS앞다리)	경안천	주요지점	-
		경기-011 동남교	곤지암천	광주시 실촌읍 하열미리 (동남교하류100m지점)	곤지암천	주요지점	-
		경기-012 곤재교	노곡천	광주시 도척면 궁평리(곤재교)	곤지암천	주요지점	-
		경기-013 선린교	곤지암천	광주시 초월읍 대쌍령리(선린교)	곤지암천	주요지점	-
	한강F (경안천수계)	경기-014 신월2교	신월천	광주시 초월읍 지월1리(신월2교)	경안천	주요지점	-
		경기-015 번천1교	번천	광주시 중부면 상번천리 (번천-1교)	경안천	주요지점	-
		경기-016 무명교	번천	광주시 중부면 하번천리(무명교)	경안천	주요지점	-
		경기-017 오리교	우산천	광주시 퇴촌면 광동1리(오리교)	경안천	주요지점	-
남한강수계	북하A	경기-018 오미교	장암천	이천시 호법면 후안3리(오미교)	북하천	주요지점	-
		경기-019 구만리교	중리천	이천시 안흥동(구만리교)	북하천	주요지점	-
		경기-020 이천환경 사업소	신둔천	이천시 갈산동(환경사업소앞)	북하천	주요지점	-
		경기-021 고백교	죽당천	이천시 부발읍 고백1리(고백교)	북하천	주요지점	-
		경기-022 덩바위교	송말천	이천시 백사면 백우리(덩바위교)	북하천	주요지점	-
	양화A	경기-023 무명교	도리천	이천시 대월면 부평2리 (도리천말단 무명교)	양화천	주요지점	-
		경기-024 응암교	해룡천	이천시 부발읍 응암리 (해룡천 말단 응암교)	양화천	주요지점	-
		경기-025 솟단교	대신천	여주군 능서면 마래리(솟단교)	양화천	주요지점	-
	청미A	경기-026 다라물 농원앞	죽산천	안성시일죽면월정리 (다라물농원앞)	청미천	주요지점	-
		경기-027 도경계	석원천	이천시 율면 석산3리(도경계)	청미천	시도경계	-

		경기-028	고당교	석원천	이천시 울면 고당3리(청미합류전)	청미천	(이천-충북) 주요지점	-	
		경기-029	제요교	제요천	이천시 설성면 제요3리(제요교)	청미천	주요지점	-	
		경기-030	월포2교	청미천	이천시 장호원읍 어석리(월포2교)	청미천	주요지점	중권역 목표	
		경기-031	풍계교	설성천	이천시 장호원읍 노탑1리(풍계교)	청미천	주요지점	-	
		경기-032	금곡천	금곡천	여주군 점동면 부구리 유입전	청미천	주요지점	-	
	한강E	경기-033	신진교	연양천	여주군 여주읍 신진리(신진교)	남한강	주요지점	-	
		경기-034	이호교	간매천	여주군 강천면 이호1리(이호교)	남한강	주요지점	-	
		경기-035	금당교	금당천	여주군 여주읍 천송1리(금당교)	남한강	주요지점	-	
		경기-036	하동교	소양천	여주군 여주읍 하2리(하리보도교)	남한강	주요지점	-	
		경기-037	천남 2호수문	한천	여주군 대신면 천남2리 (천남2호수문)	남한강	주요지점	-	
		경기-038	보통교	곡수천	여주군 대신면 당산2리(보통교)	남한강	주요지점	-	
		경기-039	희망교	용담천	여주군 산북면 용담리(희망교)	남한강	시군경계(여주-양평)	-	
	한강F (남한강수계)	경기-040	오빈교	덕평천	양평군 양평읍 오빈리 521 (오빈교)	남한강	주요지점	최하류부 (신규)	
		경기-041	강하교	항금천	양평군 강하면 왕창리(강하교)	남한강	주요지점	-	
	흑천A	경기-042	여물교	흑천	양평군 청운면 용두리(여물교)	흑천	주요지점	-	
		경기-043	용두교	용두천	양평군 청운면 용두리(용두교)	흑천	주요지점	-	
		경기-044	청운교	흑천	양평군 청운면 비룡1리(청운교)	흑천	주요지점	-	
		경기-045	벗고개천	벗고개천	양평군 청운면 가현1리(마을회관 앞)	흑천	주요지점	-	
		경기-046	무명교	고송천	양평군 단월면 삼가리 (흑천합류전 무명교)	흑천	주요지점	-	
		경기-047	봉상교	부안천	양평군 단월면 봉상리(봉상교)	흑천	주요지점	-	
		경기-048	삼가교	흑천	양평군 단월면 삼가리(삼가교)	흑천	주요지점	-	
		경기-049	송현1교	지평천	양평군 지평면 송현리(송현1교)	흑천	주요지점	-	
		경기-050	마룡교	용문천	양평군 용문면 마룡리(마룡교)	흑천	주요지점	-	
		경기-051	다문교	연수천	양평군 용문면 다문리(다문교)	흑천	주요지점	-	
		경기-052	백산교	흑천	양평군(백산교, 연수천 합류후 흑천 하류 1.2km)	흑천	주요지점	-	
	북한강수계	가평A	경기-053	도대리 상교	가평천	가평군 북면 도대리(도대리상교)	가평천	주요지점	-
			경기-054	항아리교	가평천	가평군 북면 도대리(항아리교)	가평천	주요지점	-
			경기-055	대원사 인접	백둔천	가평군 북면 백둔리(대원사 인접)	가평천	주요지점	최하류부
			경기-056	목동2교	화악천	가평군 북면 목동리(목동2교)	가평천	주요지점	최하류부
			경기-057	계량교	승안천	가평군 가평읍 승안리(계량교)	가평천	주요지점	최하류부
		북한D	경기-058	오목교	달전천	가평군 가평읍 대곡리(오목교)	북한강	주요지점	최하류부
			경기-059	장돌교	미원천	가평군 설악면 선촌리(장돌교)	북한강	주요지점	최하류부
조종A		경기-060	운악교	조종천	가평군 하면 하판리(운악교)	조종천	주요지점	-	
		경기-061	이문안교	마일천	가평군 하면 신하리(이문안교)	조종천	주요지점	최하류부	
		경기-062	반계교	십이탄천	가평군 상면 연하리(반계교)	조종천	주요지점	최하류부	
		경기-063	대보교	조종천	가평군 하면 대보1리(대보교)	조종천	주요지점	조종천 중류	
		경기-064	오촌교	상천천	가평군 상면 하천리(오촌교)	조종천	주요지점	최하류부	
한강F (북한강수계)		경기-065	내구운교	구운천	남양주시 화도읍 구암리 (내구운교)	북한강	주요지점	-	
		경기-066	수입교	벽계천	양평군 서종면 수입리(수입교)	북한강	시군경계 (양평-가평)	-	
		경기-067	제2금남교	월산천	남양주시 화도읍 금남리 (제2금남교)	북한강	주요지점	-	
		경기-068	제1금남교	묵현천	남양주시 화도읍 금남리 (제1금남교)	북한강	주요지점	-	
		경기-069	송촌교	시우천	남양주시 조안면 송촌리 91-1	북한강	주요지점	최하류부	

		(송촌교)					(신규)
		경기-070	진중교	진중천	남양주시 조안면 진중리(진중교)	북한강	주요지점 -
	홍천A	경기-071	산음천	산음천	양평군 단월면 석산1리 시군경계하천	홍천강	시도경계 (양평-홍천) -
한강서울· 고양수계	공릉A	경기-072	제1대자교	벽제천	고양시 대자동(제1대자교)	공릉천	주요지점 벽제천 하류
		경기-073	봉일천교	공릉천	파주시 조리읍 봉일천리 (봉일천교)	공릉천	주요지점 -
		경기-074	고산교	고산천	파주시 금능동(고산교)	공릉천	주요지점 -
		경기-075	와동 새마을교	소리천	파주시 교하읍 와동리 (와동새마을교)	공릉천	주요지점 -
	굴포A	경기-076	무명교	굴포천	김포시 고촌읍 전호리 (굴포교 상류 300m지점 무명교)	굴포천	시도경계 (김포-인천) -
	안양A	경기-077	갈현천	갈현천	안양시 동안구 관양동 갈현천	안양천	시군경계 (안양-과천) -
		경기-078	비산교	학의천	안양시 비산동(비산교 하류)	안양천	주요지점 -
		경기-079	노온사교	목감천	시흥시(노온4교)	안양천	시군경계 (시흥-광명) -
	왕숙A	경기-080	부평교	엄현천	남양주시 진접읍 부평리(부평교)	왕숙천	주요지점 -
		경기-081	광릉교 앞	진별천	남양주시 진접읍 부평리 (광릉교 앞)	왕숙천	주요지점 -
		경기-082	부대 앞	봉산사 천	남양주시 진접읍 부평리 (부대 앞)	왕숙천	주요지점 -
		경기-083	연평교	진건천	남양주시 진접읍 연평리(연평교)	왕숙천	주요지점 -
		경기-084	진관교	사릉천	남양주시 진건읍 신월리(진관교)	왕숙천	주요지점 -
		경기-085	갈매 교차로	갈매천	구리시 갈매동 갈매동사거리	왕숙천	주요지점 -
		경기-086	무명교	왕숙천	남양주시 진건읍 배양리 (무명교, 용암천 합류 직후)	왕숙천	주요지점 -
		경기-087	왕숙교	왕숙천	구리시 수택동(왕숙교)	왕숙천	시군공유지 점 -
	중랑A	경기-088	부용교	부용천	의정부시 신곡동(부용교)	중랑천	주요지점 -
		경기-089	동의교	백석천	의정부시 의정부동(동의교)	중랑천	주요지점 -
	탄천A	경기-090	언남동 456-30	탄천	용인시 기흥구 언남동 456-30	탄천	주요지점 최하류부 (신규)
		경기-091	죽전동 1423	성북천	용인시 수지구 죽전동 1423	탄천	주요지점 최하류부 (신규)
		경기-092	수내교	탄천	성남시 수내동(수내교)	탄천	주요지점 -
		경기-093	무명교	분당천	성남시 분당구 수내동 44 (무명교)	탄천	주요지점 최하류부 (신규)
		경기-094	매송교	운중천	성남시 분당구 이매동(매송교)	탄천	주요지점 -
		경기-095	여수천교	여수천	성남시 분당구 야탑동 489 (여수천교)	탄천	주요지점 최하류부 (신규)
	한강G	경기-096	세곡3교	세곡천	성남시 수정구 신촌동(세곡3교)	탄천	주요지점 최하류부
		경기-097	산곡3교	산곡천	하남시 창우동(산곡3교)	한강서울	주요지점 -
		경기-098	덕풍교	덕풍천	하남시 신장동(덕풍교)	한강서울	주요지점 -
		경기-099	덕소2교	월문천	남양주시외부읍덕소리(덕소2교)	한강서울	주요지점 -
	한강H	경기-100	석실교	홍릉천	남양주시 지금동(석실교)	한강서울	주요지점 -
		경기-101	제2화전교	창릉천	고양시 화전동(제2화전교)	창릉천	주요지점 창릉천 중류
	문산A	경기-102	창릉교	창릉천	고양시 현천동(창릉교)	창릉천	주요지점 -
		경기-103	월릉교	문산천	파주시 월릉면 위전리(월릉교)	문산천	주요지점 -
		경기-104	봉암교	갈곡천	파주시 파주읍 봉암리(봉암교)	문산천	주요지점 -
임진강수계		경기-105	문산1교	동문천	파주시 문산읍 문산리(문산1교)	문산천	주요지점 -
	신천A	경기-106	운암 잠수교	신천	양주시 남면 상수리(운암잠수교)	신천	주요지점 -

		경기-107	회천교	청담천, 회암천	양주시 봉양동(회천교)	신천	주요지점	-
		경기-108	강변교	상패천	동두천시 상패동303(강변교)	신천	주요지점	상패천 유입지점
		경기-109	신천교	신천	동두천시 상패동 (성결교회 앞 교량7)	신천	주요지점	-
		경기-110	원터교	동두천	동두천시 보산동(원터교)	신천	주요지점	원터교
	영평A	경기-111	무명교	영평천	포천시 이동면 도평리 산269-1(무명교)	영평천	주요지점	영평천 상류도 평천합 류후지 점(신규)
		경기-112	맑은교	수입천	포천시 일동면 수입리 711-2번지(맑은교)	영평천	주요지점	최하류 부
		경기-113	사은교	영평천	포천시 영중면 영송리(사은교)	영평천	주요지점	-
		경기-114	가산교	포천천	포천시 소흘읍 송우리(가산교)	영평천	주요지점	-
		경기-115	한내교	포천천	포천시 포천동(한내교)	영평천	주요지점	-
		경기-116	만세교	명덕천	포천시 신북면 만세교리(만세교)	영평천	주요지점	최하류부
		경기-117	은현교	포천천	포천시 영중면 양문리(은현교)	영평천	주요지점	수질만 측정 (국토부 유량측 정지점)
		경기-118	영평교-1	영평천	포천시 영중면 영송리(영평교)	영평천	주요지점	수질만 측정 (국토부 유량측 정지점)
		경기-119	영평교-2	외북천	포천시 창수면 주원리(영평교)	영평천	주요지점	최하류부
	임진A	경기-120	임진교	임진강	연천군 미산면 진상리(임진교)	임진강상류	주요지점	수질만 측정 (국토부 유량측 정지점)
		경기-121	설운교	황공천	연천군 미산면 우정리	임진강상류	주요지점	최하류부
	임진B	경기-122	삼화리 242-4	임진강	연천군 미산면 삼화리 242-4번지	임진강하류	시군경계 (연천-파주)	-
		경기-123	무명교	간파천	파주시 적성면 울포리 산35일대 (무명교)	임진강하류	주요지점	-
		경기-124	비룡대교	임진강	파주시 적성면 가월리(비룡대교)	임진강하류	주요지점	수질만 측정 (국토부 유량측 정지점)
		경기-125	전동교	석장천	연천군 장남면 원당리 (전동교하류 2km지점)	임진강하류	주요지점	최하류부
		경기-126	가월1교	설마천	파주시 적성면 가월리 193-4일대(가월1교)	임진강하류	주요지점	-
		경기-127	금파교	늘노천	파주시 파평면 금파리(금파교)	임진강하류	주요지점	-
		경기-128	두포교	두포천	파주시 파평면 두포리(두포교)	임진강하류	주요지점	-
	한탄A	경기-129	봉우교	대교천	포천시 관인면 탄동리(봉우교)	한탄강	시도경계 (포천-철원)	최하류부 한탄강 유입하천
	한탄B	경기-130	용담교	한탄강	포천시 관인면 냉정리(용담교)	한탄강	시도경계 (포천-철원)	-
		경기-131	무명교	한탄강	포천시 관인면 냉정리 847번지	한탄강	시도경계	-

		(무명교)			(포천-철원)	
		경기-132	문암교	부소천	포천시 영북면 문암리(문암교)	한탄강
		경기-133	영노교	한탄강	포천시 창수면 운산리(영노교)	한탄강
		경기-134	사랑교	한탄강	연천군 전곡읍 전곡리(사랑교)	한탄강
		경기-135	장진교	차탄천	연천군 군남면 남계리 (장진교아래200m 지점 잡수교)	한탄강
						주요지점
						최하류부

제2절 참여기관별 조사대상지점 모니터링 계획

- 135개 조사대상지점별로 4개의 참여기관에서 6개의 팀(A-F팀)을 구성하여 경기도환경보전협회가 43지점, 명화환경산업이 43지점, 성균관대학교가 24지점, (주)엔솔파트너스가 25지점을 대상으로 8일 간격으로 유량 및 수질 모니터링을 수행하였다.
- 당일 현장조사(수질 및 유량)를 수행하고 신속하게 시료를 분석자에게 인수인계를 할 수 있도록 조사대상지점을 세부적으로 검토하여 현장조사 일정을 수립하였다.

표 2-2. 연구기관별 조사대상지점의 유량 및 수질 모니터링 계획

Team 일차	성균관대학교 산학협력단		경기도 환경보전협회		주식회사 엔솔파트너스		명화환경산업 주식회사		지점 수
	A팀		B팀	C팀	D팀		E팀	F팀	
1일차	40. 덕평천 46. 고송천 51. 연수천 66. 벽계천	41. 형금천 47. 부안천 52. 흑천 71. 산음천	111. 영평천 113. 영평천 115. 포천천 117. 포천천 119. 외북천 130. 한탄강 132. 부소천	112. 수입천 114. 포천천 116. 명덕천 118. 영평천 129. 대교천 131. 한탄강 133. 한탄강	53. 가평천 55. 백둔천 57. 송안천 62. 십이탄천	54. 가평천 56. 화악천 58. 달천천 64. 상천천	73. 곡룡천 75. 소리천 104. 갈곡천 120. 임진강 122. 임진강 124. 임진강 126. 설마천 135. 차탄천	74. 고산천 103. 문산천 105. 동문천 121. 황곡천 123. 간파천 125. 석장천 134. 한탄강	45
2일차	34. 간매천 43. 용두천 45. 벗고개천 49. 지평천	42. 흑천 44. 흑천 48. 흑천 50. 용문천	9. 중대천 11. 곤지암천 13. 곤지암천 15. 번천 17. 우산천 98. 덕풍천 107. 청담/화암천 109. 신천	10. 목현천 12. 노곡천 14. 신월천 16. 번천 97. 산곡천 106. 신천 108. 신천 110. 동두천	59. 미원천 63. 조종천 99. 월문천 70. 진중천 100. 홍통천	60. 조종천 61. 마일천 69. 시우천 86. 왕숙천	72. 벽제천 77. 갈현천 79. 목감천 87. 왕숙천 89. 백석천 101. 창룡천 127. 늘노천	76. 굴포천 78. 학의천 85. 갈매천 88. 부용천 93. 분당천 102. 창룡천 128. 두포천	47
3일차	25. 대신천 33. 연양천 36. 소양천 38. 곡수천	32. 금곡천 35. 금당천 37. 한천 39. 용담천	18. 장암천 20. 신둔천 22. 복하천 24. 해룡천 27. 석원천 29. 계요천 31. 설성천	19. 중리천 21. 죽당천 23. 도리천 26. 죽산천 28. 석원천 30. 청미천	65. 구운천 68. 목현천 81. 진별천 83. 진건천	67. 월산천 80. 엄현천 82. 봉산사천 84. 사릉천	1. 경안천 3. 양지천 5. 영문천 7. 경안천 9. 탄천 92. 탄천 95. 여수천	2. 금학천 4. 대대천 6. 신대천 8. 오산천 91. 성북천 94. 운중천 96. 세곡천	43
지점수	24		43		25		43		135

표 2-3. 유량 및 수질 모니터링 회차별 시료채취 일정

회차	일정	회차	일정
1	2017.08.02~2017.08.07	19	2018.01.02~2018.01.05
2	2017.08.17~2017.08.27	20	2018.01.09~2018.01.12
3	2017.08.28~2017.08.31	21	2018.01.17~2018.01.20
4	2017.09.04~2017.09.07	22	2018.01.25~2018.01.28
5	2017.09.12~2017.09.15	23	2018.01.31~2018.02.03
6	2017.09.18~2017.09.21	24	2018.02.06~2018.02.09
7	2017.09.24~2017.09.27	25	2018.02.19~2018.02.22
8	2017.10.11~2017.10.14	26	2018.02.25~2018.02.28
9	2017.10.17~2017.10.20	27	2018.03.05~2018.03.08
10	2017.10.23~2017.10.26	28	2018.03.13~2018.03.16
11	2017.10.29~2017.11.01	29	2018.03.21~2018.03.24
12	2017.11.03~2017.11.08	30	2018.03.27~2018.03.30
13	2017.11.12~2017.11.15	31	2018.04.02~2018.04.05
14	2017.11.17~2017.11.22	32	2018.04.08~2018.04.11
15	2017.11.27~2017.11.30	33	2018.04.16~2018.04.19
16	2017.12.04~2017.12.07	34	2018.04.24~2018.04.27
17	2017.12.18~2017.12.21	35	2018.05.01~2018.05.04
18	2017.12.26~2017.12.29	36	2018.05.13~2018.05.16

※ 현장조사는 3일을 원칙으로 하지만 강우, 건천 등으로 인해 조사가 불가피할 경우에는 연장하여 수행함.

○ 한강수계 하천 모니터링 조사대상지점별로 유량 및 수질 모니터링을 과업수행 계획대로 연간 일정을 수립하여 모니터링을 수행하였다.

- 한강수계 하천 모니터링 일정은 월요일~금요일로 최초 조사계획을 세웠지만 착수보고 회 자문 의견에서 주말까지 포함하여 현장조사를 수행해달라는 의견을 있어서 주말인 토요일과 일요일을 포함하여 전체 일정에 요일 안배를 하면서 현장조사를 수행하였다.

2017년																				
6월			7월			8월			9월			10월			11월			12월		
일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수
1	목		1	토		1	화		1	금		1	일		1	수		1	금	
2	금		2	일		2	수	1(완료)	2	토		2	월		2	목		2	토	
3	토		3	월		3	목	1(완료)	3	일		3	화	개천절	3	금	12(완료)	3	일	
4	일		4	화	시연회	4	금	1(완료)	4	월	4(완료)	4	수	추석	4	토		4	월	16(완료)
5	월		5	수		5	토		5	화	4(완료)	5	목	추석	5	일		5	화	16(완료)
6	화	현충일	6	목		6	일		6	수	4(완료)	6	금	대체휴일	6	월	12(완료)	6	수	16(완료)
7	수		7	금		7	월	수문 조사자 수시 교육	7	목		7	토		7	화	12(완료)	7	목	
8	목		8	토		8	화		8	금		8	일		8	수		8	금	
9	금		9	일		9	수		9	토		9	월	한글날	9	목		9	토	
10	토		10	월	사전조사	10	목		10	일		10	화		10	금		10	일	
11	일		11	화	사전조사	11	금		11	월		11	수	8(완료)	11	토	(주말포함)	11	월	
12	월		12	수	사전조사	12	토		12	화	5(완료)	12	목	8(완료)	12	일	13(완료)	12	화	
13	화		13	목	사전조사	13	일		13	수	5(완료)	13	금	8(완료)	13	월	13(완료)	13	수	
14	수		14	금	사전조사	14	월		14	목	5(완료)	14	토		14	화	13(완료)	14	목	중간보고회
15	목		15	토		15	화	광복절	15	금		15	일		15	수		15	금	
16	금		16	일		16	수		16	토		16	월		16	목		16	토	
17	토		17	월	사전조사	17	목	2(완료)	17	일		17	화	9(완료)	17	금	14(완료)	17	일	폭설(강추위)
18	일		18	화	사전조사	18	금	2(완료)	18	월	6(완료)	18	수	9(완료)	18	토		18	월	17(연기)
19	월		19	수		19	토		19	화	6(완료)	19	목	9(완료)	19	일		19	화	17(연기)
20	화		20	목		20	일		20	수	6(완료)	20	금		20	월	14(완료)	20	수	17(연기)
21	수		21	금		21	월	2(완료)	21	목		21	토		21	화	14(완료)	21	목	
22	목		22	토		22	화	2(완료)	22	금		22	일		22	수		22	금	
23	금		23	일		23	수	강우	23	토	(주말포함)	23	월	10(완료)	23	목		23	토	
24	토		24	월		24	목	2(완료)	24	일	7(완료)	24	화	10(완료)	24	금		24	일	
25	일		25	화	착수보고회	25	금		25	월	7(완료)	25	수	10(완료)	25	토		25	월	성탄절
26	월		26	수		26	토		26	화	7(완료)	26	목		26	일		26	화	17(완료)
27	화		27	목		27	일		27	수	BOD고려	27	금		27	월	15(완료)	27	수	17(완료)
28	수	용역계약	28	금		28	월	3(완료)	28	목		28	토	(주말포함)	28	화	15(완료)	28	목	17(완료)
29	목		29	토		29	화	3(완료)	29	금		29	일	11(완료)	29	수	15(완료)	29	금	
30	금		30	일		30	수	3(완료)	30	토		30	월	11(완료)	30	목		30	토	
			31	월		31	목					31	화	11(완료)				31	일	

그림 2-1. 연간 유량 및 수질 모니터링 계획

- 한강수계 하천 모니터링 일정 중에서 폭설과 강추위 등 하천 모니터링이 불가능한 시기에는 경기도수자원본부에 보고하고 협의를 통해 연기를 하여 일정을 조정하였다. 또한 각 조사지점별 하천 공사, 결빙 등으로 조사 횟수가 부족했던 지점은 보완조사를 통해 각 지점별 36회 이상 현장조사를 모두 완료하였다.

2018년																	
1월			2월			3월			4월			5월			6월		
일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수	일	요일	횟수
1	월	신청	1	목	21(완료)	1	목	삼일절	1	일	29(완료)	1	화	35(완료)	1	금	
2	화	18(완료)	2	금	21(완료)	2	금		2	월		2	수	35(완료)	2	토	
3	수	18(완료)	3	토		3	토		3	화		3	목	35(완료)	3	일	
4	목	18(완료)	4	일		4	일		4	수	30(완료)	4	금		4	월	
5	금		5	월	폭설(강추위)	5	월	24(완료)	5	목	30(완료)	5	토		5	화	
6	토		6	화	22(연기)	6	화	24(완료)	6	금	30(완료)	6	일		6	수	현충일
7	일		7	수	22(연기)	7	수	24(완료)	7	토		7	월	대체휴일	7	목	유량측정 및 수질분석 결과(종합)
8	월		8	목	22(연기)	8	목		8	일		8	화		8	금	
9	화	19(완료)	9	금		9	금		9	월	31(완료)	9	수		9	토	
10	수	19(완료)	10	토		10	토	25(완료)	10	화	31(완료)	10	목		10	일	
11	목	19(완료)	11	일		11	일	25(완료)	11	수	31(완료)	11	금	36(완료)	11	월	지방선거
12	금		12	월		12	월	25(완료)	12	목		12	토	36(완료)	12	화	
13	토		13	화		13	화		13	금		13	일	36(완료)	13	수	
14	일		14	수		14	수		14	토	32(완료)	14	월		14	목	
15	월		15	목	설날	15	목	26(완료)	15	일	32(완료)	15	화		15	금	
16	화		16	금	설날	16	금	26(완료)	16	월	32(완료)	16	수		16	토	
17	수	20(완료)	17	토		17	토	26(완료)	17	화		17	목	보완조사	17	일	
18	목	20(완료)	18	일		18	일		18	수		18	금	보완조사	18	월	
19	금	20(완료)	19	월	22(완료)	19	월		19	목	33(완료)	19	토	보완조사	19	화	최종보고회
20	토		20	화	22(완료)	20	화	27(완료)	20	금	33(완료)	20	일	보완조사	20	수	
21	일		21	수	22(완료)	21	수	27(완료)	21	토	33(완료)	21	월	보완조사	21	목	
22	월		22	목		22	목	27(완료)	22	일		22	화	석가탄신일	22	금	
23	화	폭설(강추위)	23	금		23	금		23	월		23	수	보완조사	23	토	
24	수	(주말포함)	24	토	(주말포함)	24	토		24	화		24	목	보완조사	24	일	
25	목	21(연기)	25	일	23(완료)	25	일	28(완료)	25	수		25	금	보완조사	25	월	최종보고서 제출예정
26	금	21(연기)	26	월	23(완료)	26	월	28(완료)	26	목	34(완료)	26	토	보완조사	26	화	
27	토	21(연기)	27	화	23(완료)	27	화	28(완료)	27	금	34(완료)	27	일	보완조사	27	수	
28	일		28	수		28	수		28	토	34(완료)	28	월	보완조사	28	목	과업종료
29	월					29	목		29	일		29	화	보완조사	29	금	
30	화					30	금	29(완료)	30	월		30	수	보완조사	30	토	
31	수	21(완료)				31	토	29(완료)				31	목				

그림 2-1. 연간 유량 및 수질 모니터링 계획(계속)

제3절 유량 및 수질 모니터링 지점 현황

한강수계 내 26개 시·군 135개 지점에 대한 유량 및 수질 조사를 수행하였다. 경기도에서 실측한 지점은 시도 및 시·군 경계인 12개소 지점을 포함한 123개 지점이며, 이 중 국토교통부 유량측정지점 5개소(국토부 자료 활용)를 포함하고 있다.

경기도 측정지점인 135개 지점은 경안천수계에서 17개 지점(경안천 본류 - 1개 지점, 곤지암천 - 3개지점, 경안천 지천 -13개 지점), 남한강수계에서 35개 지점(청미천 - 7개 지점, 양화천 - 3개 지점, 북한천 - 5개 지점, 흑천 - 11개 지점, 남한강지천 - 9개 지점), 북한강수계에서 19개 지점(가평천 - 5개 지점, 조종천 - 5개 지점, 북한강 지천 - 8개 지점, 홍천강 지천 - 1개 지점), 임진강수계에서 33개 지점(영평·포천천 - 9개 지점, 신천 - 5개 지점, 문산천 - 3개 지점, 임진강본류-9개 지점, 한탄강본류 - 7개 지점), 한강서울고양수계에서 31개 지점(왕숙천 - 8개 지점, 탄천 -7개 지점, 중랑천 - 2개 지점, 안양천 - 3개 지점, 창릉천 - 2개 지점, 굴포천 - 1개 지점, 공릉천 - 4개 지점, 한강서울고양지천 - 4개 지점)으로 세분화하였다.

<그림 2-2>에는 135개 조사대상지점을 수계로 구분하여 유량 및 수질 모니터링 지점 현황을 나타내었다.

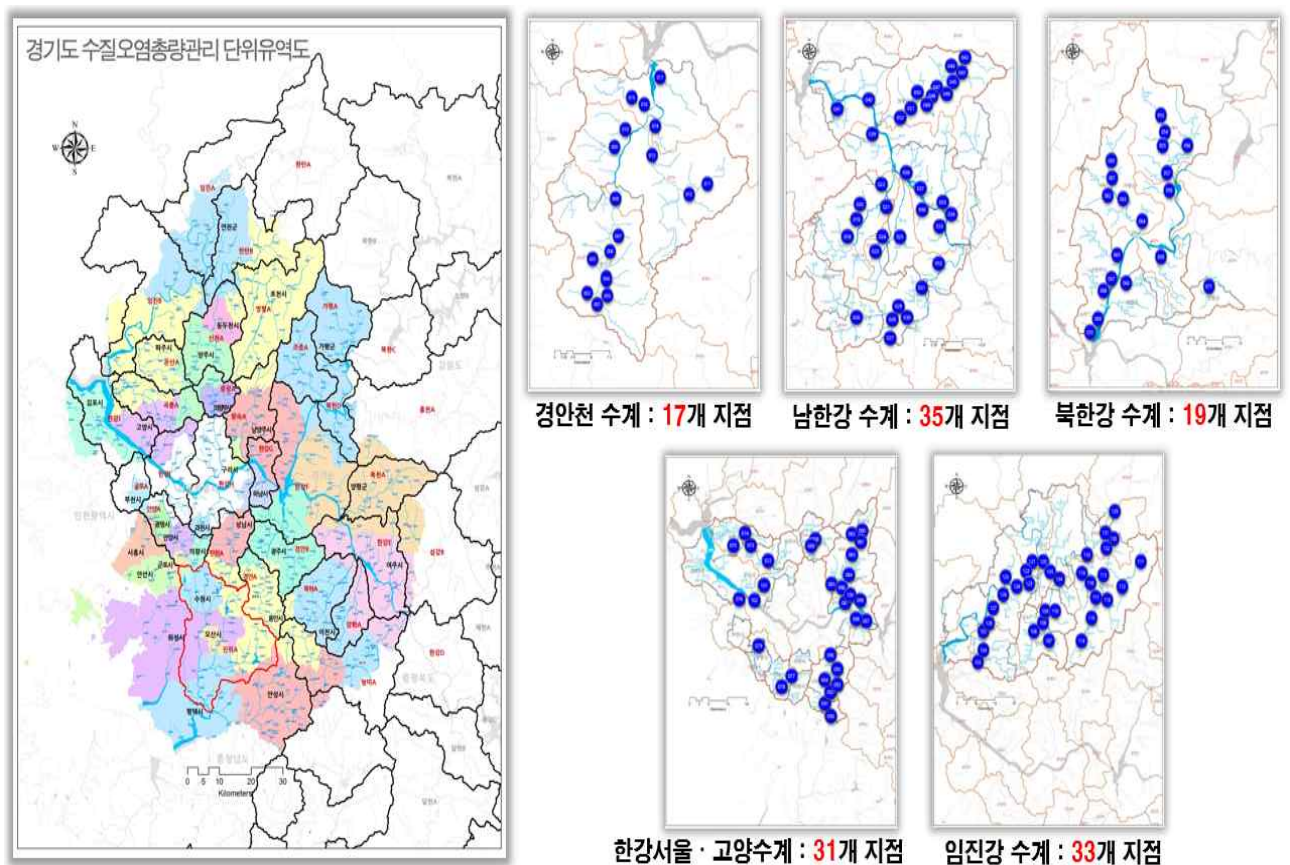


그림 2-2. 유량 및 수질 모니터링 지점 현황(수계 구분)

제4절 모니터링 수계별 유량 및 수질현황

1. 경안천 수계

경안천 유역은 동경 127° 8' 6" ~127° 26' 50" , 북위 37° 9' 40" ~37° 29' 27" 사이에 위치하고 있으며, 동측으로 곤지암천 유역, 청미천 유역과 경계를 이루고 있으며, 남측으로 진위천 유역, 서측으로 탄천 유역과 각각 경계를 이루고 있다.

유역면적은 561.12 km²(광주시 373.92 km², 용인시 187.21 km²)이며, 유로연장은 49.3 km인 한강의 제 1지류이다. 경안천은 직할하천으로 오산천, 고산천, 중대천, 목현천, 곤지암천, 신월천, 무갑천, 번천, 우산천 등의 제 1지천과 신현천을 포함한 8개의 제 2지천, 유정천 등의 제 3지천으로 구성되고 있다. 그 중 곤지암천은 경안천 이상의 하천연장을 가지고 있으며 곤지암천의 법정하천인 지방하천은 총 9개로서 각 지류는 비교적 등간격으로 곤지암천의 좌우안측에서 본류로 유입되고 있다.

행정구역상 상류에 용인시, 하류에 광주시로 구성되어 있고 전체유역 면적 중 용인시가 33%, 광주시가 67%를 차지하고 있으며, 33개 읍·면·동 86개리로 구성되어 있다. 권역별로 살펴보면 경안천은 5개의 소권역 경안천상류(경안천발원지~오산천 하류구간), 경안천중류(오산천발원지~오산천 하류구간), 경안천수위표(오산천하류~곤지암천 하류구간), 곤지암천(곤지암천유역), 경안천하류(곤지암천하류~경안천 하류구간)로 이루어져 있다.

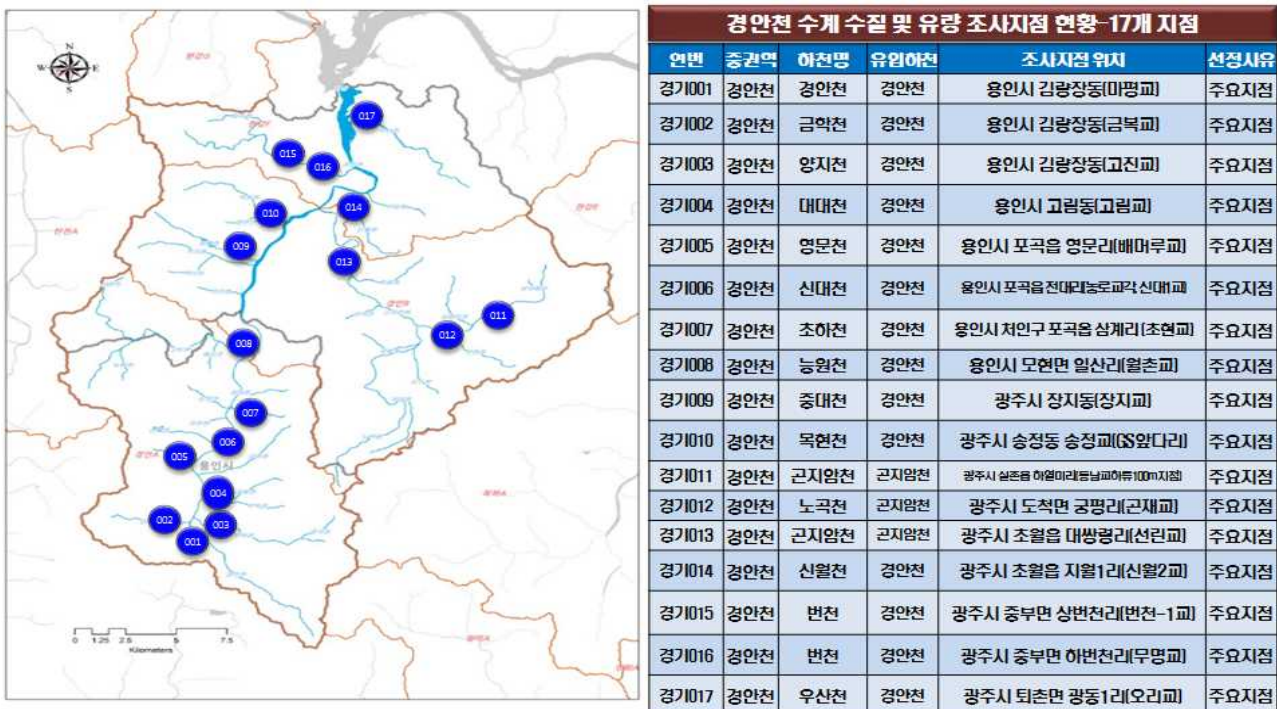


그림 2-3. 경안천 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 경안천 수계 경안A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-4>에 나타내었다.

경안A 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2011년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다. 2014년부터 2017년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2009년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으나, 2014년부터 다시 증가하여 2018년 평균 BOD는 2.7 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 6.1 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2015년까지 감소하다가 이후 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 6.847 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2009년부터 급격히 감소하는 경향을 보였는데 T-P 방류수 기준 강화로 인해 하천의 수질이 좋아진 것으로 판단된다. 2018년 평균 T-P는 0.178 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

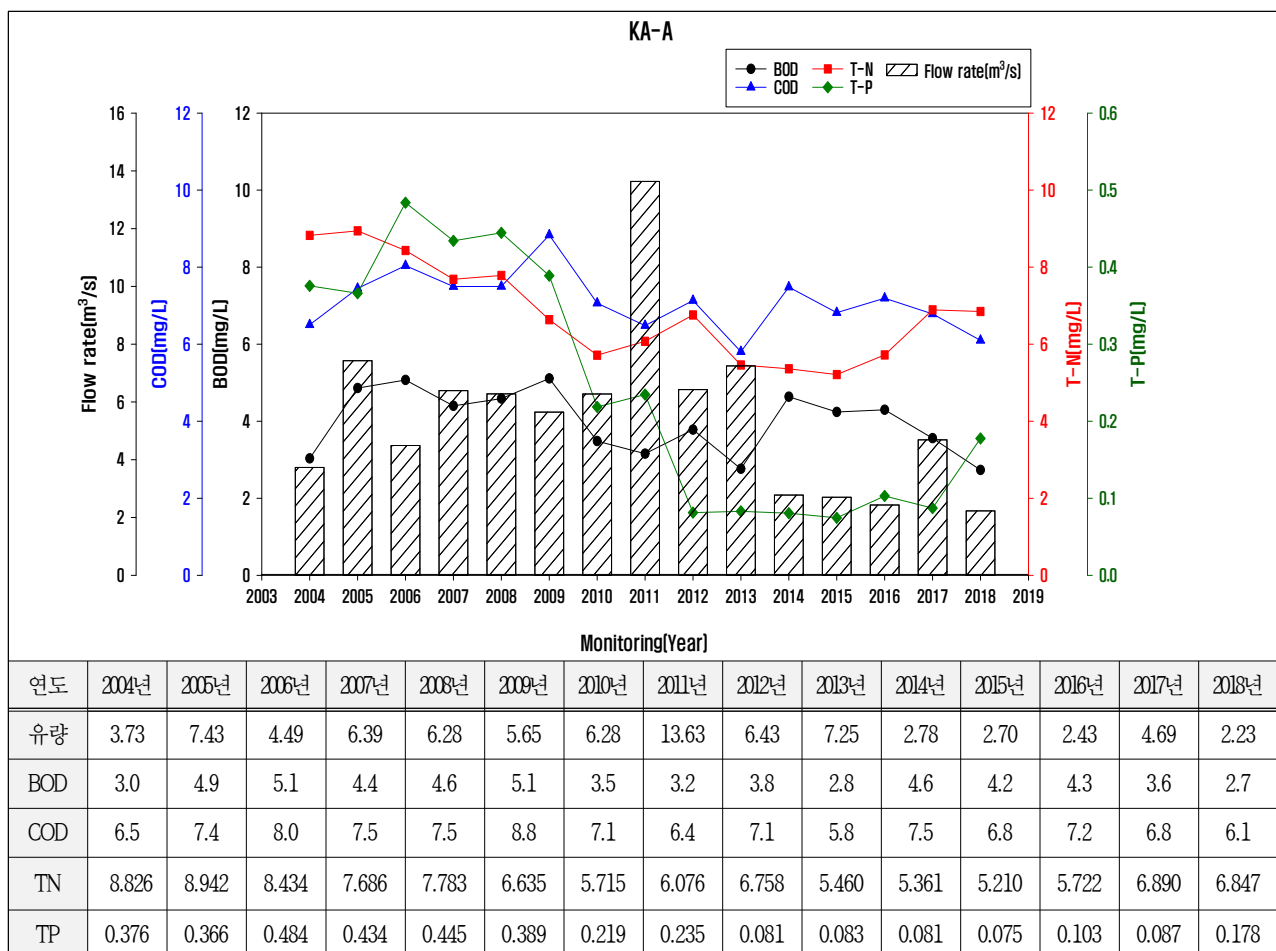


그림 2-4. 경안A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 경안천 수계 경안B 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-5>에 나타내었다.

경안B 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2011년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다. 2014년부터 2018년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2006년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으나, 2014년에 일시적으로 증가하였고 2018년 평균 BOD는 1.8 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으나 BOD에 비해 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 COD는 5.2 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2013년까지 감소하다가 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 7.748 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2006년부터 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.062 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

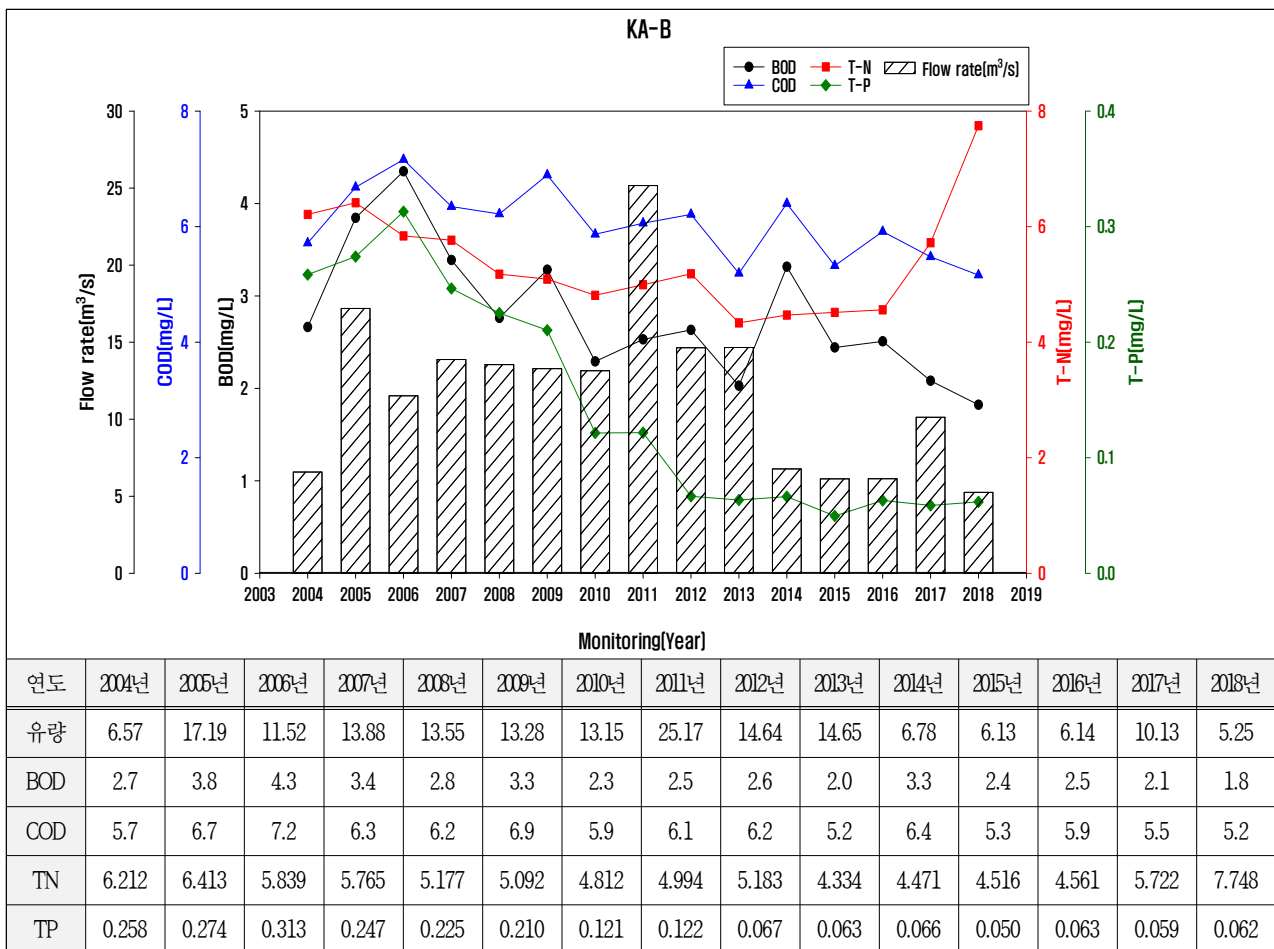


그림 2-5. 경안B 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

2. 남한강 수계

남한강은 오대산 부근에서 발원하여 평창강, 달천강 지류와 합류한 후 북향으로 유로를 바꿔 양수리에서 북한강과 합류한 후 강화도 북쪽으로 유하하여 서해에 이른다.

남한강 전체 유역면적은 13,514 km², 유역총길이는 11,966.3 km이고, 본 유역의 상류부는 고산지대로 V자형을 이루는 협곡으로 되어 있으며, 제천, 충주, 여주, 이천 유역은 넓은 준평원지대를 이루고 있다. 이 지역의 평균하폭은 약 600 m, 하천경사는 0.8~4.30으로서 상류로 올라갈수록 급격히 증가한다.

남한강유역 중 본 연구범위는 섬강, 청미천, 금당천, 양화천, 곡수천, 북하천, 흑천, 남한강본류 유역으로 남한강 수계 중 본 연구의 모니터링 지점이 속한 중권역은 남한강하류와 충주댐하류로 남한강하류 중권역은 2,073 km²로 경기도 광주시(1%), 안성시(5%), 양평군(29%), 여주시(28%), 용인시(6%), 이천시(22%), 충청북도 음성군(9%)이 속한다. 충주댐하류 중권역은 524 km²로 강원도 원주시(22%)와 충청북도 충주시(78%)가 속하고 본 연구의 수질측정지점 중 남한강-1과 섬강 지점이 이에 포함된다.

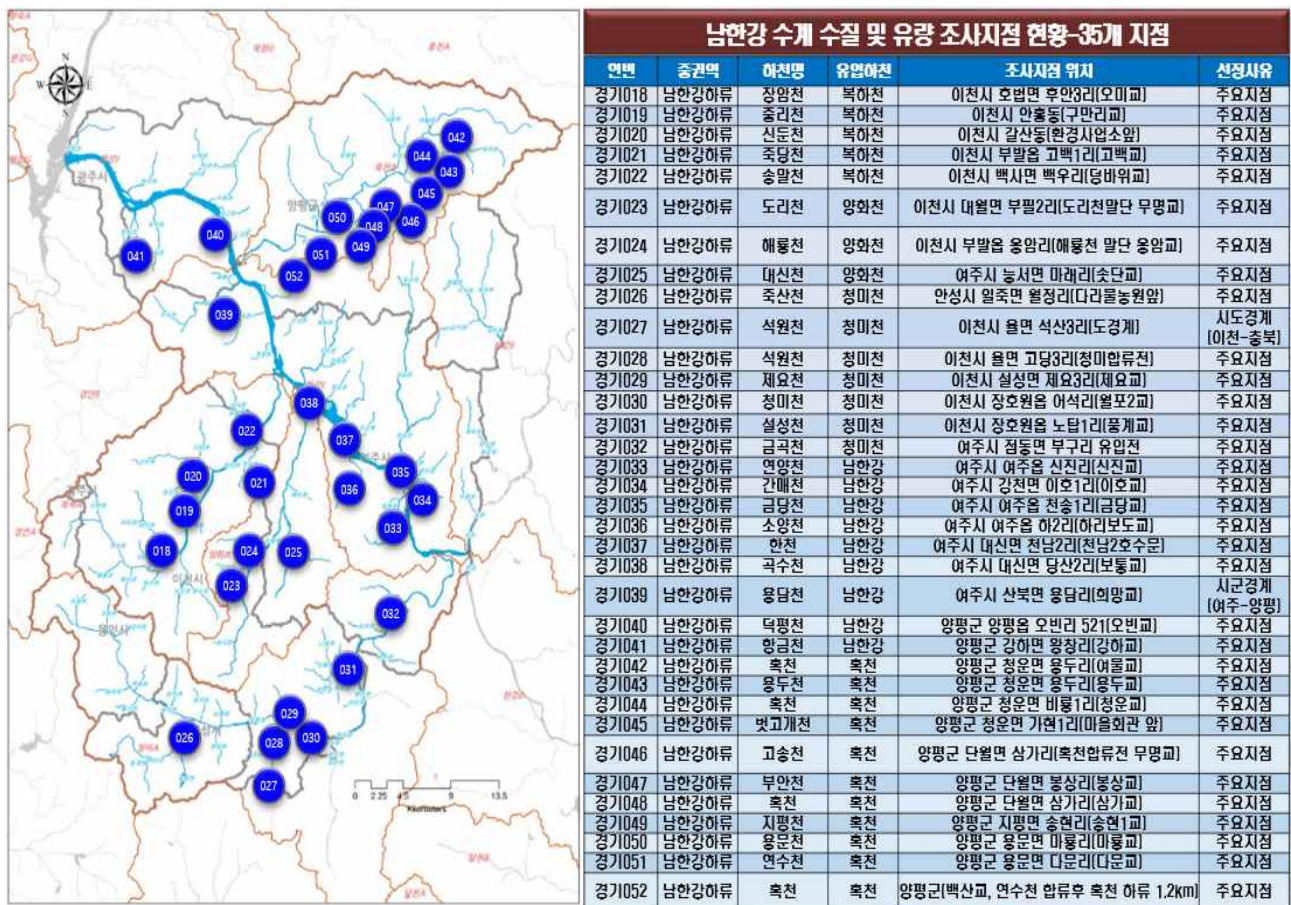


그림 2-6. 남한강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 북하A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-7>에 나타내었다.

북하A 지점의 유량은 2004년부터 2012년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2014년부터 2018년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하고 BOD와 T-N은 크게 증가한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2006년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으나, 2014년부터 다시 급격하게 증가하여 2018년 평균 BOD는 4.7 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 약간 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 6.5 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2013년까지 큰 변화가 없다가 2014년부터 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 11.259 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2009년부터 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.181 mg/L, 수질등급은 II등급(보통)으로 나타났다.

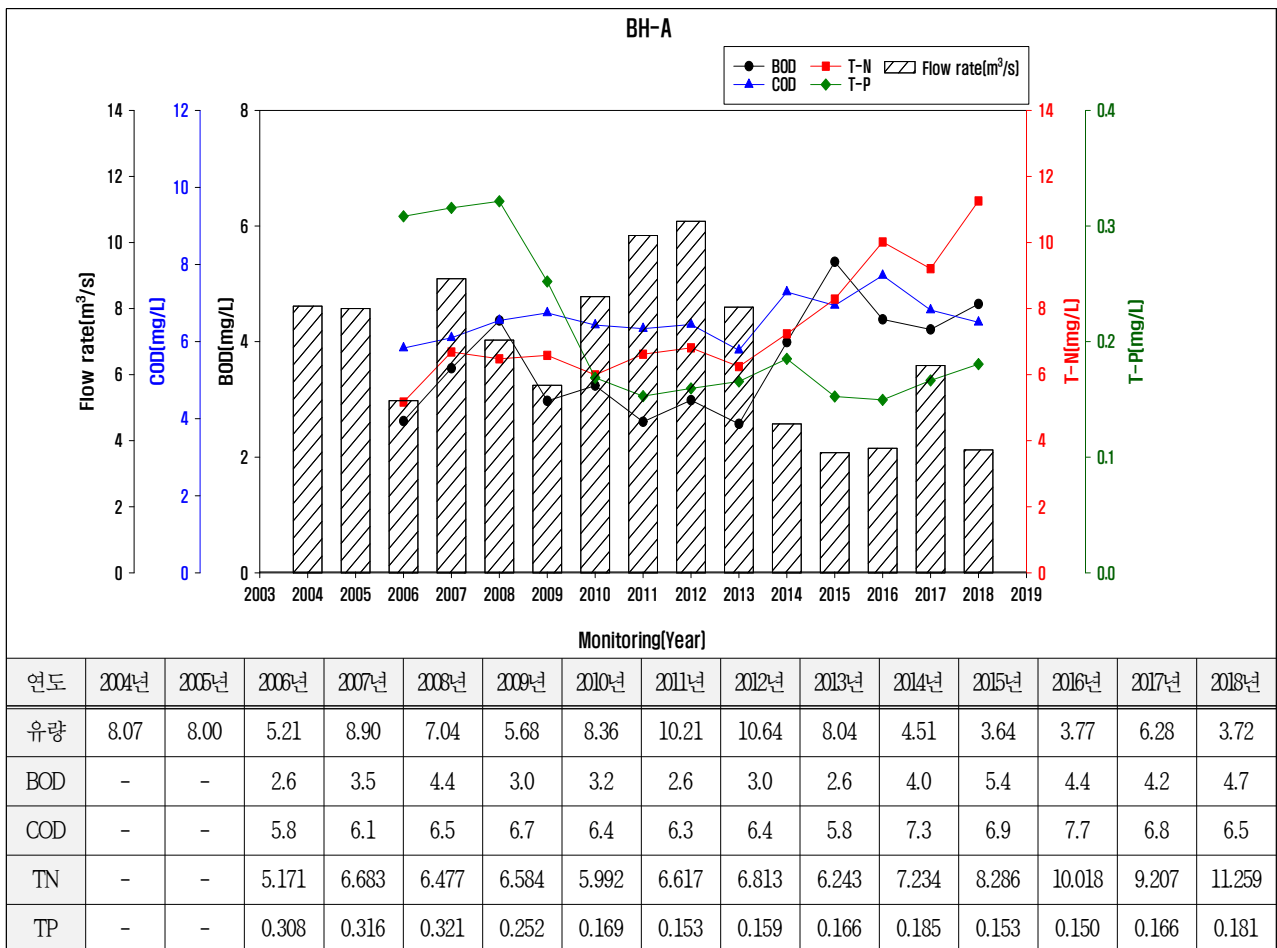


그림 2-7. 북하A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 섬강B 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-8>에 나타내었다.

섬강B 지점의 유량은 2004년부터 2013년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2005년 증가한 이후 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 BOD는 1.9 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 2004년부터 큰 변화 없이 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 5.9 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2007년에 소폭 증가하고, 2014년에 소폭 감소하는 모습을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 7.093 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년까지 꾸준히 증가하다가 2010년부터 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.041 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

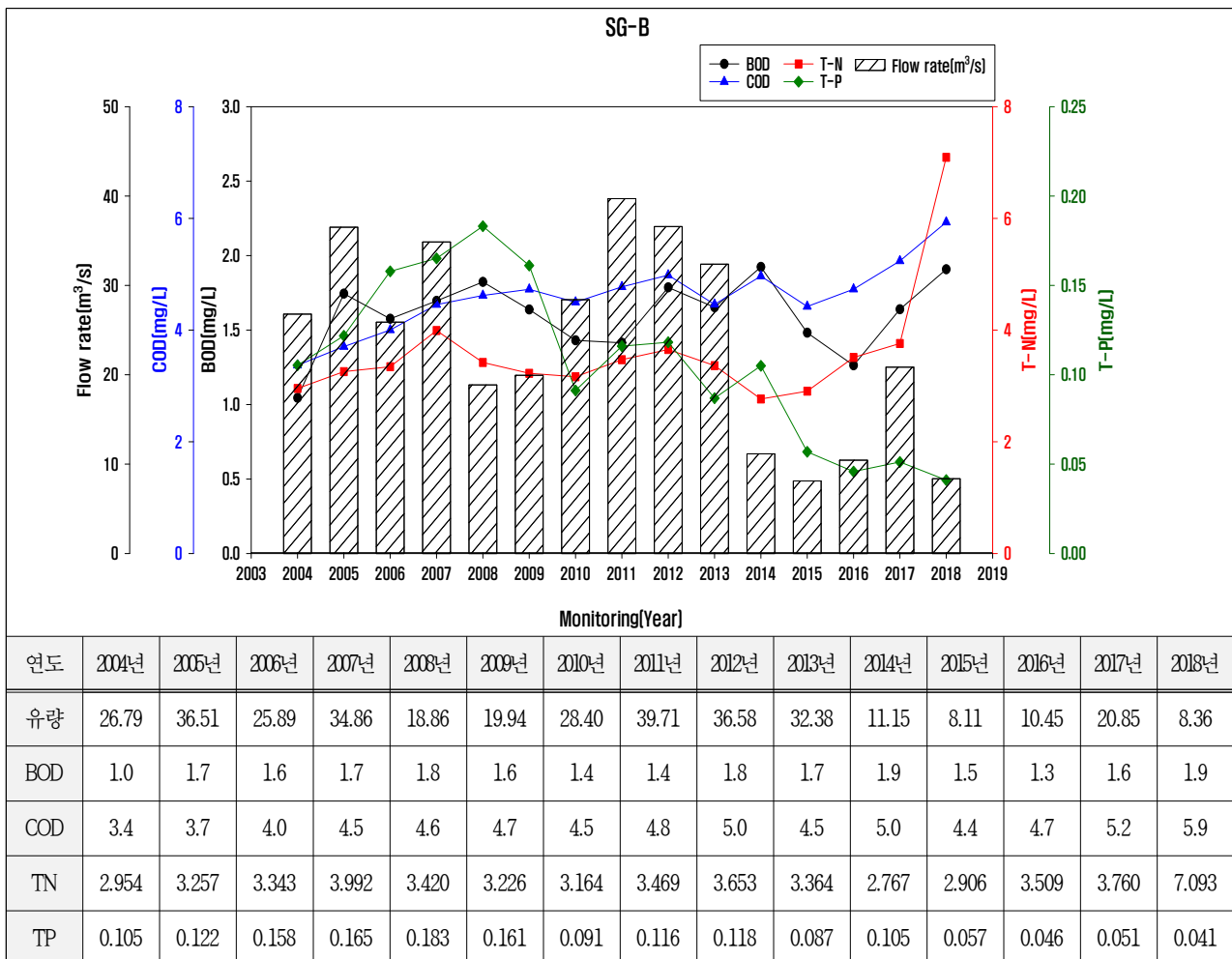


그림 2-8. 섬강B 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 양화A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-9>에 나타내었다.

양화A 지점의 유량은 2006년부터 2011년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2012년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다. 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2007년에 일시적으로 증가한 이후 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 BOD는 2.3 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 연평균 BOD와 비슷한 경향을 보이며, 2018년 평균 COD는 6.5 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2011년에 5.215 mg/L를 기록한 후 감소하다가 2017년부터 증가했으며, 2018년 평균 T-N은 6.424 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 T-P는 0.163 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

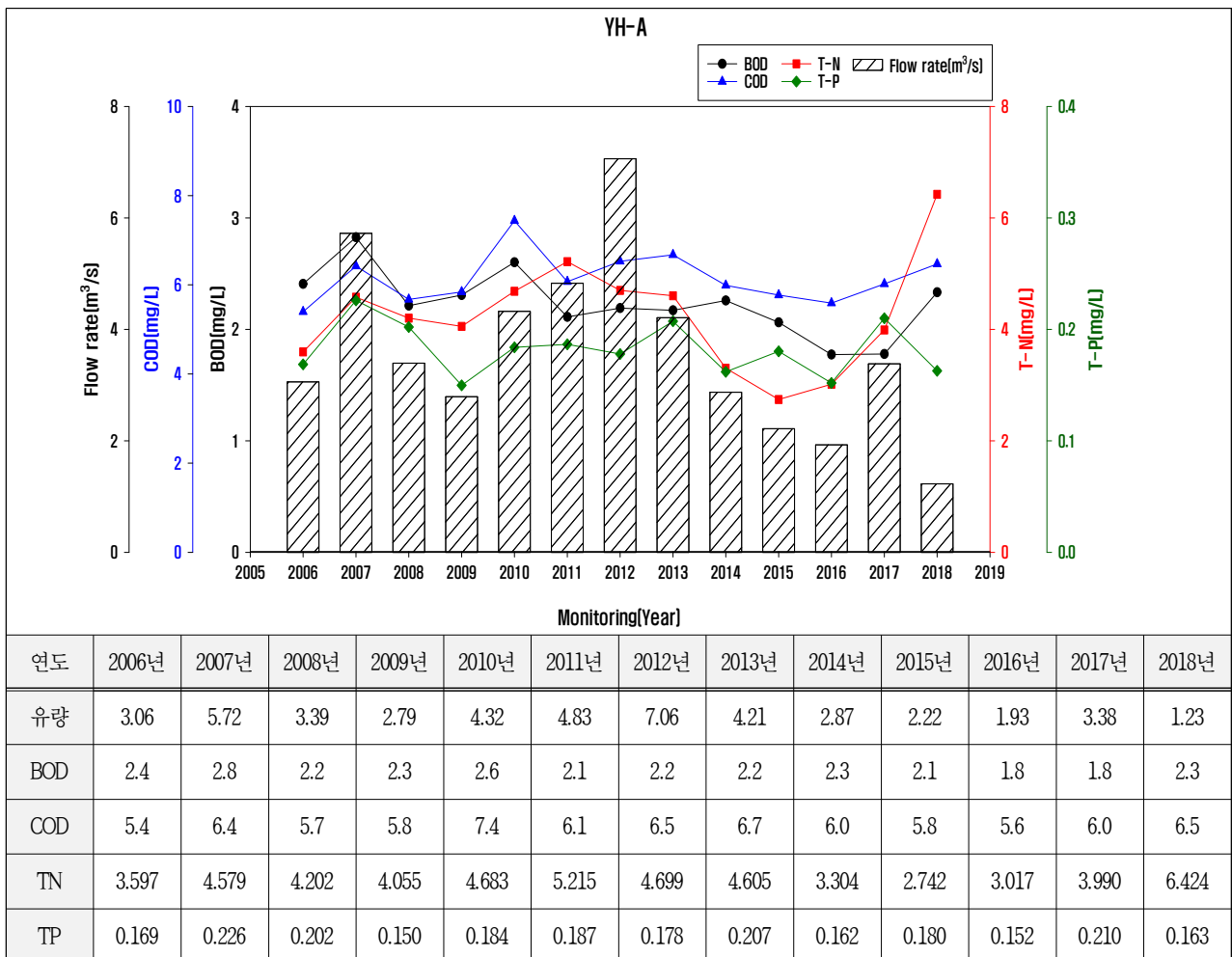


그림 2-9. 양화A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 청미A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-10>에 나타내었다.

청미A 지점의 유량은 2006년, 2008년, 2009년, 2015년, 2016년에 강우량이 적어서 매우 감소한 것으로 나타났다. 2011년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2015년에 급격히 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 2.3 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 연평균 BOD와 비슷한 경향을 보이며, 2018년 평균 COD는 6.3 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2007년에 일시적으로 증가한 이후 2018년에 급격히 증가하여 2018년 평균 T-N은 5.732 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2009년까지 감소하는 경향을 보이다가 다시 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.112 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

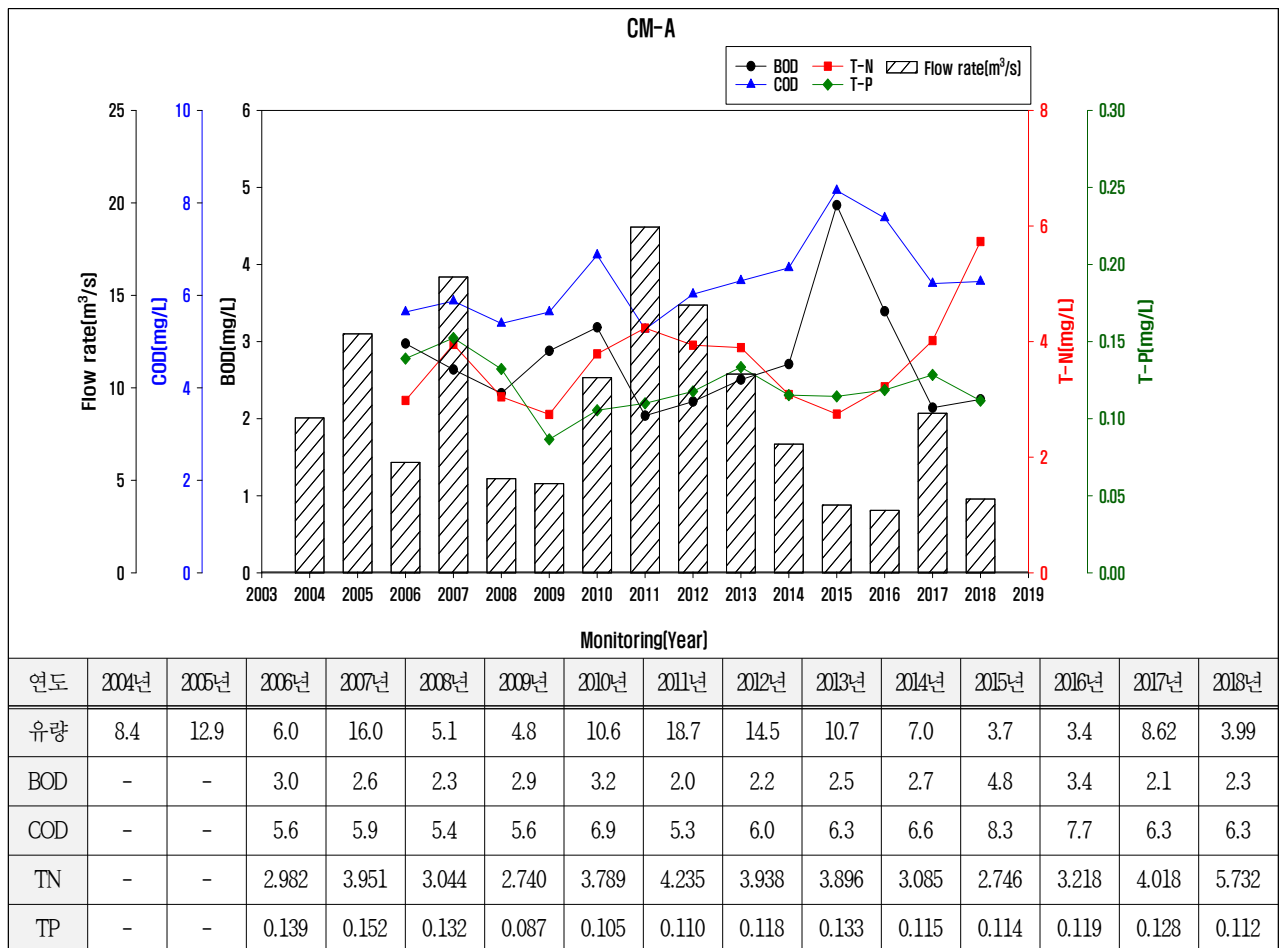


그림 2-10. 청미A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 한강E 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-11>에 나타내었다.

한강E 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2011년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다. 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으나, 2014년부터 다시 증가하여 2018년 평균 BOD는 2.0 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 2011년까지 증가한 이후 개선되다가 2015년 이후 소폭 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 4.4 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 큰 변화가 없다가 2018년에 크게 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 3.352 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년, 2011년, 2017년에 소폭 증가하였으나 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.036 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

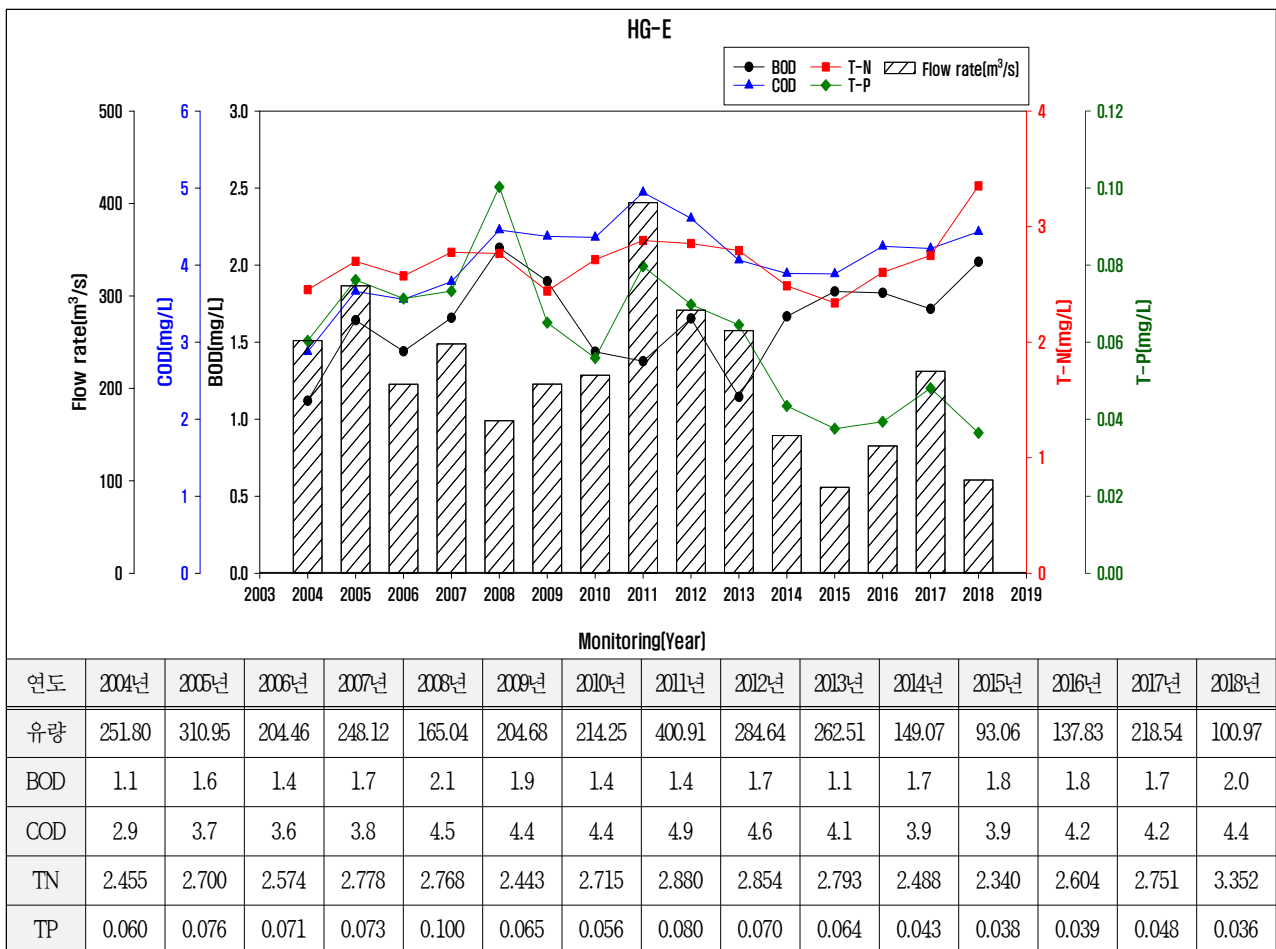


그림 2-11. 한강E 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-12>에 나타내었다.

한강F 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지는 비슷한 경향을 보였으나, 2011년도에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다. 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2009년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 1.4 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였지만 2014년 이후 소폭 증가하였으며, 2018년 평균 COD는 4.0 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2008년, 2015년 에 소폭 감소하였으나 2018년에 크게 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 2.836 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2006년, 2011년, 2017년에 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.029 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

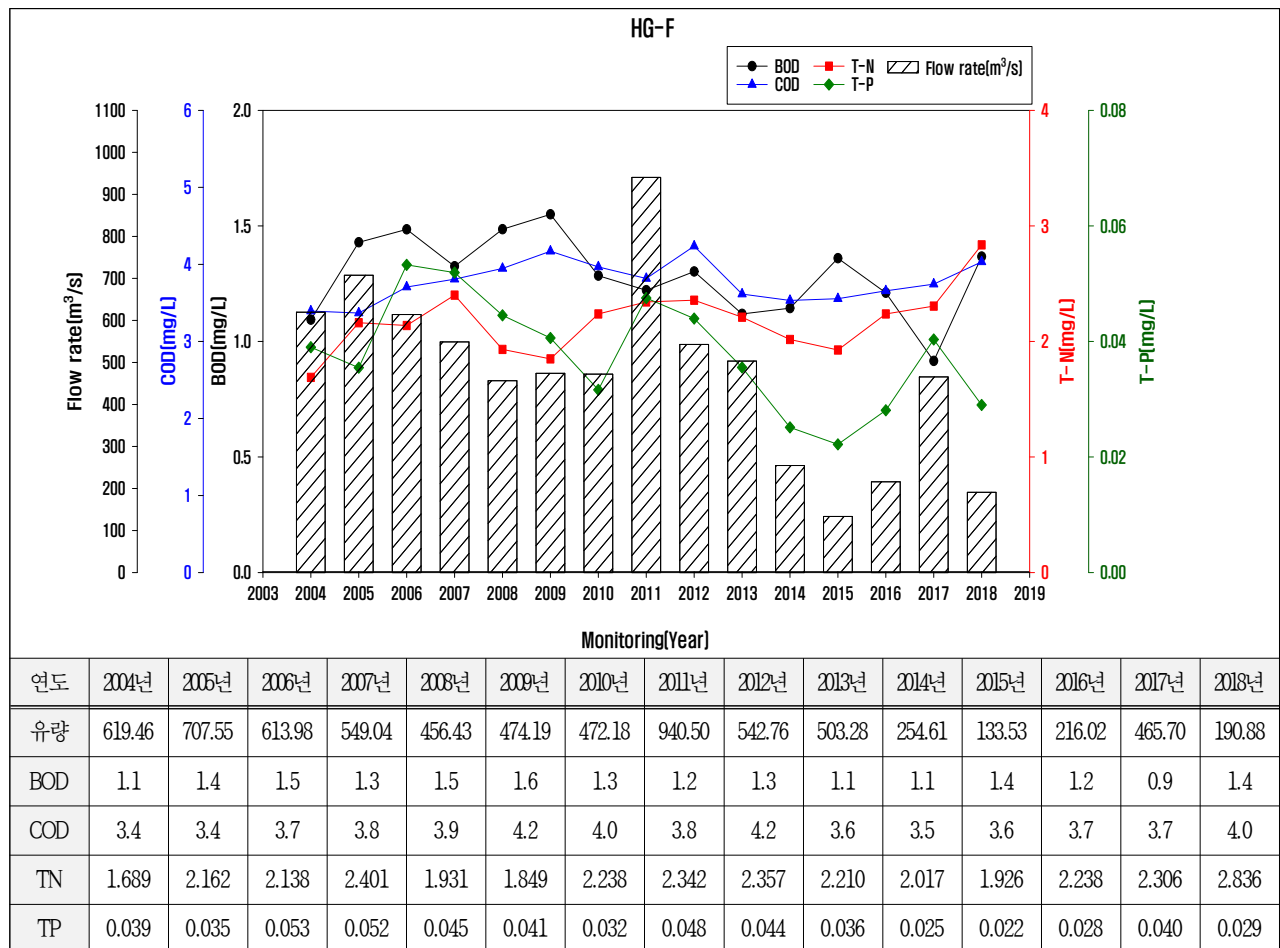


그림 2-12. 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 남한강 수계 흑천 A지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-13>에 나타내었다.

흑천A 지점의 유량은 2004년부터 2012년까지는 증가하는 경향을 보였으나, 2013년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 큰 변화가 없다가 2014년, 2017년에 일시적으로 증가하였으며, 2018년 평균 BOD는 1.0 mg/L, 수질등급은 Ia등급(매우 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 3.3 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2012년까지 증가한 후 감소하는 경향을 보였으나 2016년 이후 다시 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 3.537 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2006년에 일시적으로 증가하였으나 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.021 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

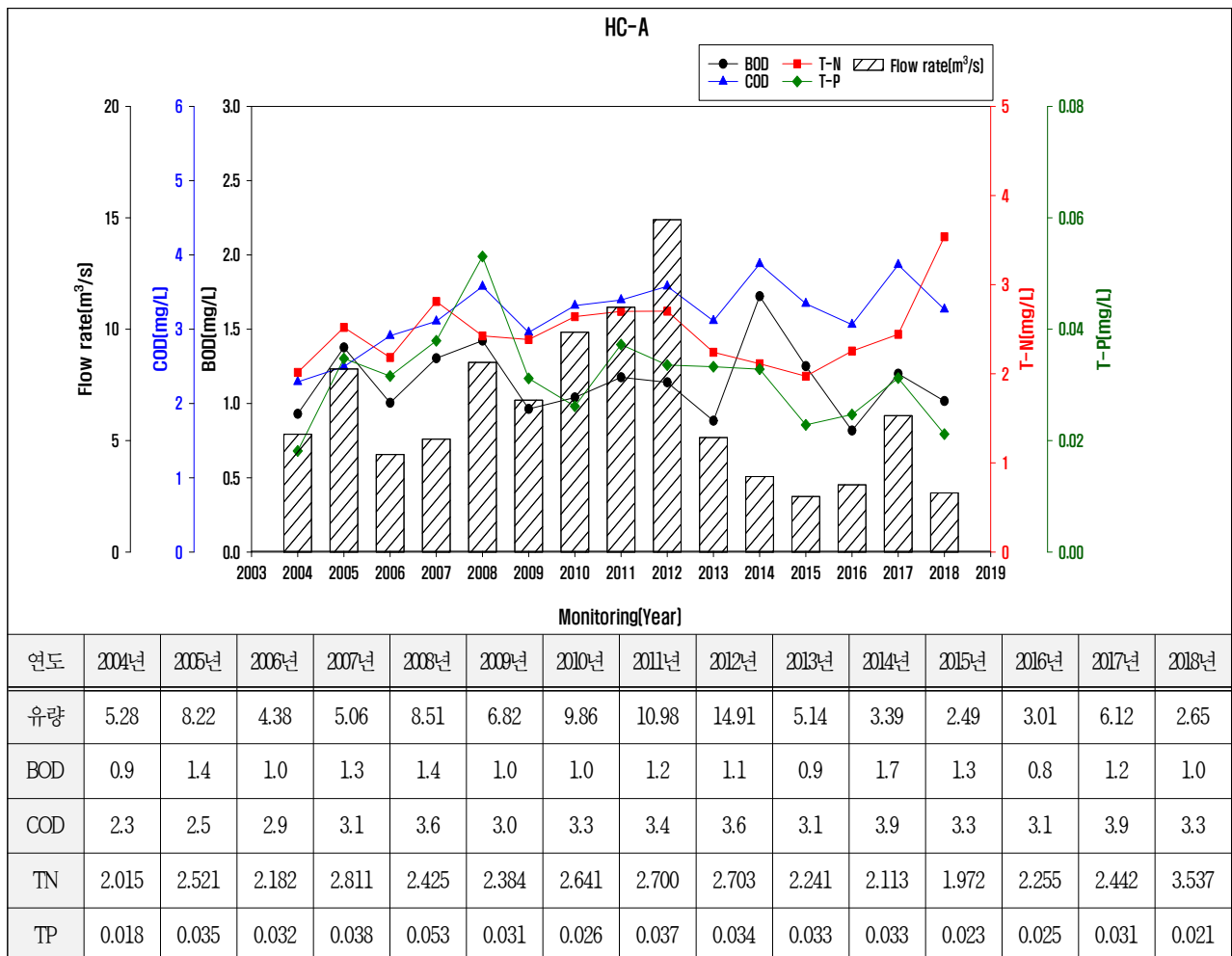


그림 2-13. 흑천A 지점의 연평균 유량과 수질농도

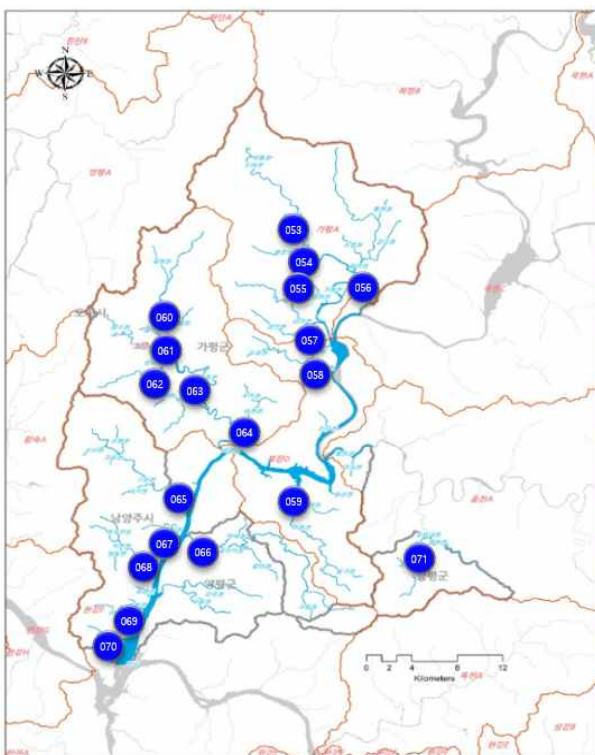
※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

3. 북한강 수계

북한강 수계는 북한지역인 강원도 회양군에서 발원하여 경기도 양평군 양수리에서 남한강과 합류된다. 유역면적이 11,020 km²로서 한강유역 전체면적 25,945 km²의 42.5%를 차지하고, 이중 3,808 km²가 휴전선 이북에 위치하고 있다. 북한강수계의 의암댐 및 청평댐 중권역의 인구는 각각 234,399명(2006년 기준)과 127,583명(2006년 기준)에 해당한다.

북한강 수계의 토지이용현황을 보면 임야(84.2%), 전(5.6%), 답(3.2%), 대지(0.6%) 순으로 유역의 대부분이 임야로 이루어져 있다. 상류로부터 파로호, 춘천호, 소양호, 의암호 및 청평호 등 5개의 대규모 호소가 있어 풍부한 수량을 공급하고 있으며, 이들 유역은 많은 부대와 군인들이 주둔해 있고 산과 호수가 많은 반면, 산업발달이 미약하여 인구밀도가 낮다. 따라서 점오염원의 영향이 적어 대부분의 하천과 호소의 수질은 I~II등급으로 양호하다.

본 연구에서의 조사하천 중 북한강 수계에 속하는 하천으로는 가평천, 조종천 등이 있다. 북한강 수계 중본 연구의 모니터링 지점이 속한 중권역은 의암댐, 청평댐, 홍천강으로 분류된다. 의암댐 중권역은 722 km²로 경기도 가평군(52%)과 강원도 춘천시(48%)가 속하고, 청평댐 중권역은 761 km²로 경기도 가평군(60%), 남양주시(24%), 양평군(16%)가 속한다. 홍천강 중권역은 1,566 km²로 경기도 가평군(1%), 양평군(4%), 강원도 춘천시(11%), 홍천군(85%)이 포함된다.



북한강 수계 수질 및 유량 조사지점 현황-19개 지점					
연번	중권역	하천명	유입하천	조사지점 위치	선정사유
경기063	의암댐	가평천	가평천	가평군 북면 도대리(도대리상교)	주요지점
경기064	의암댐	가평천	가평천	가평군 북면 도대리(항아리교)	주요지점
경기065	의암댐	백둔천	가평천	가평군 북면 백둔리(대원사 인접)	주요지점
경기066	의암댐	화악천	가평천	가평군 북면 북동리(북동2교)	주요지점
경기067	의암댐	승안천	가평천	가평군 가평읍 승안리(계량교)	주요지점
경기068	의암댐	달전천	북한강	가평군 가평읍 대곡리(오목교)	주요지점
경기069	청평댐	미원천	북한강	가평군 설악면 선촌리(장동교)	주요지점
경기060	청평댐	조종천	조종천	가평군 하면 하판리(운악교)	주요지점
경기061	청평댐	마일천	조종천	가평군 하면 신하리(이문안교)	주요지점
경기062	청평댐	십이탄천	조종천	가평군 상면 연하리(반계교)	시군경계 [양평-가평]
경기063	청평댐	조종천	조종천	가평군 하면 대보리(대보교)	주요지점
경기064	청평댐	상전천	조종천	가평군 상면 하천리(오촌교)	주요지점
경기065	청평댐	구운천	북한강	남양주시 화도읍 구암리(내구운교)	주요지점
경기066	청평댐	벽계천	북한강	양평군 서종면 수입리(수입교)	주요지점
경기067	청평댐	월산천	북한강	남양주시 화도읍 금남리(제2금남교)	주요지점
경기068	청평댐	묵연천	북한강	남양주시 화도읍 금남리(제1금남교)	주요지점
경기069	청평댐	시우천	북한강	남양주시 조안면 송촌리 91-1(송촌교)	주요지점
경기070	청평댐	진중천	북한강	남양주시 조안면 진중리(진중교)	주요지점
경기071	홍천강	산울천	홍천강	양평군 단월면 석산1리 시군경계하천	시도경계 [양평-홍천]

그림 2-14. 북한강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 북한강 수계 가평A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-15>에 나타내었다.

가평A 지점의 유량은 2004년부터 2011년까지 증가하는 경향을 보였으나, 2012년부터 감소하는 경향을 보이다가 다시 2017년에 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2005년, 2014년에 일시적으로 증가하였으나 전체적으로 개선되는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 0.5 mg/L, 수질등급은 Ia등급(매우 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 2.1 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2012년까지 증가하는 경향을 보이다가 이후 감소하였으며, 2018년 평균 T-N은 2.350 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2011년까지 증가하는 경향을 보이다가 이후 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.005 mg/L, 수질등급은 Ia등급(매우 좋음)으로 나타났다.

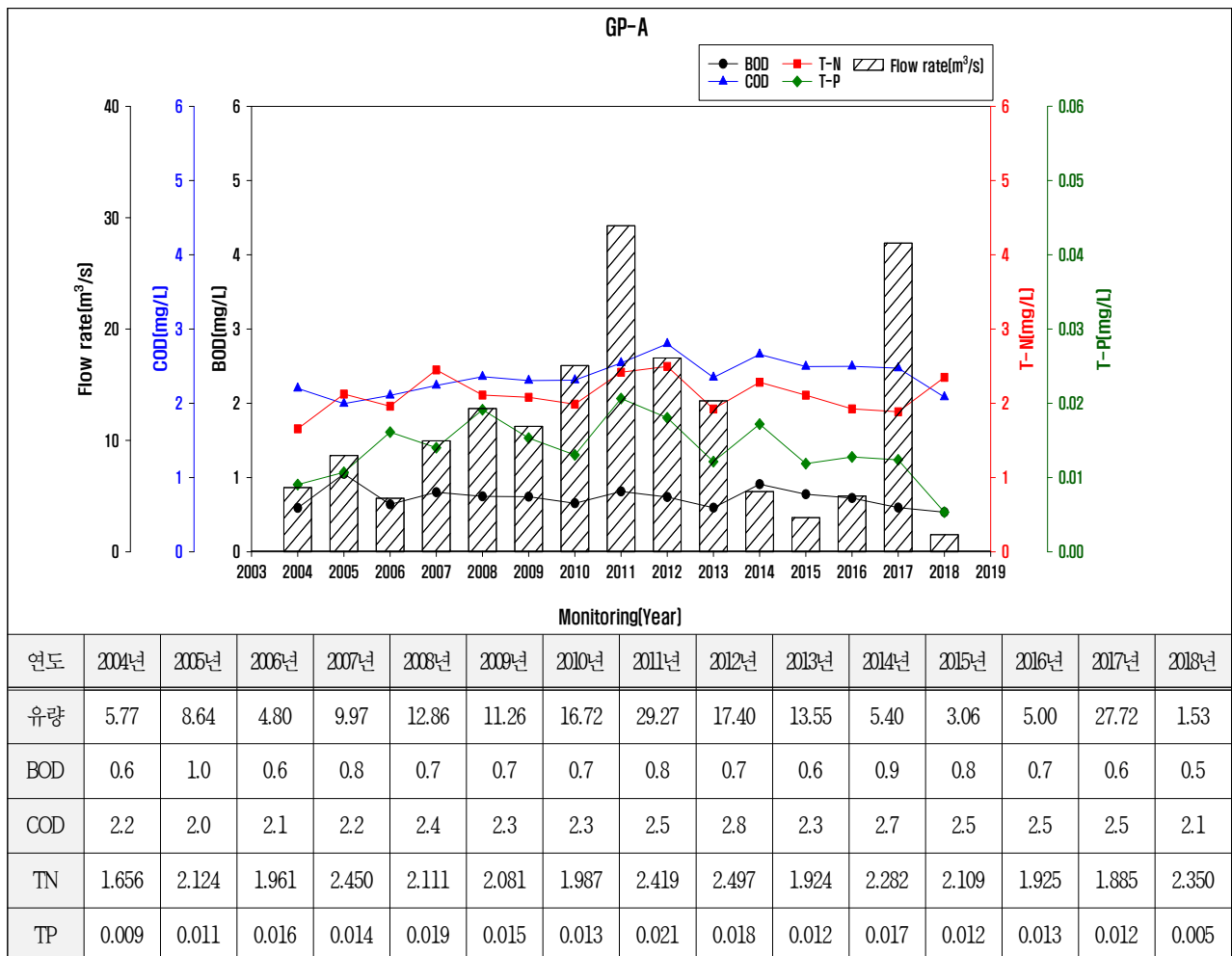


그림 2-15. 가평A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 북한강 수계 북한D 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-16>에 나타내었다.

북한D 지점의 유량은 2004년부터 2017년까지 큰 변화가 없었으나, 2011년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년에 증가한 이후 개선되는 경향을 보이다가 2016년에 일시적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 0.7 mg/L, 수질등급은 1a등급(매우 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 3.1 mg/L, 수질등급은 1b등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 거의 일정한 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 1.660 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2011년에 일시적으로 증가한 것을 제외하면 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.010 mg/L, 수질등급은 1a등급(매우 좋음)으로 나타났다.

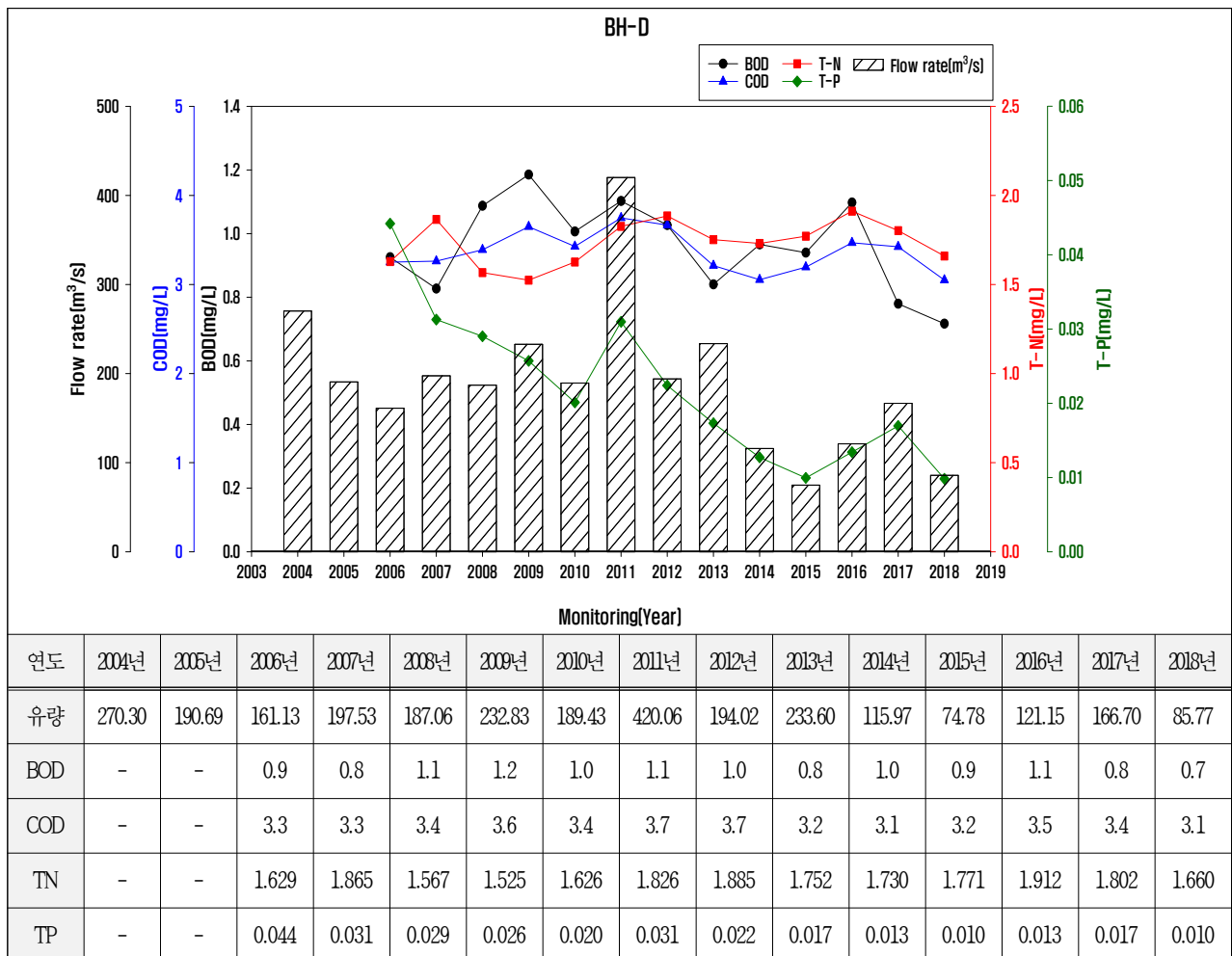


그림 2-16. 북한D 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 북한강 수계 조종A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-17>에 나타내었다.

조종A 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지 큰 변화가 없었으나, 2011년과 2017년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 급격히 증가한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2005년, 2007년, 2014년 일시적으로 증가한 것 외에는 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 BOD는 1.1 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비교적 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 3.0 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2007년에 급격히 증가한 이후 감소하는 경향을 보였으나, 다시 증가하여 2018년 평균 T-N은 3.293 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년까지 급격히 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.023 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

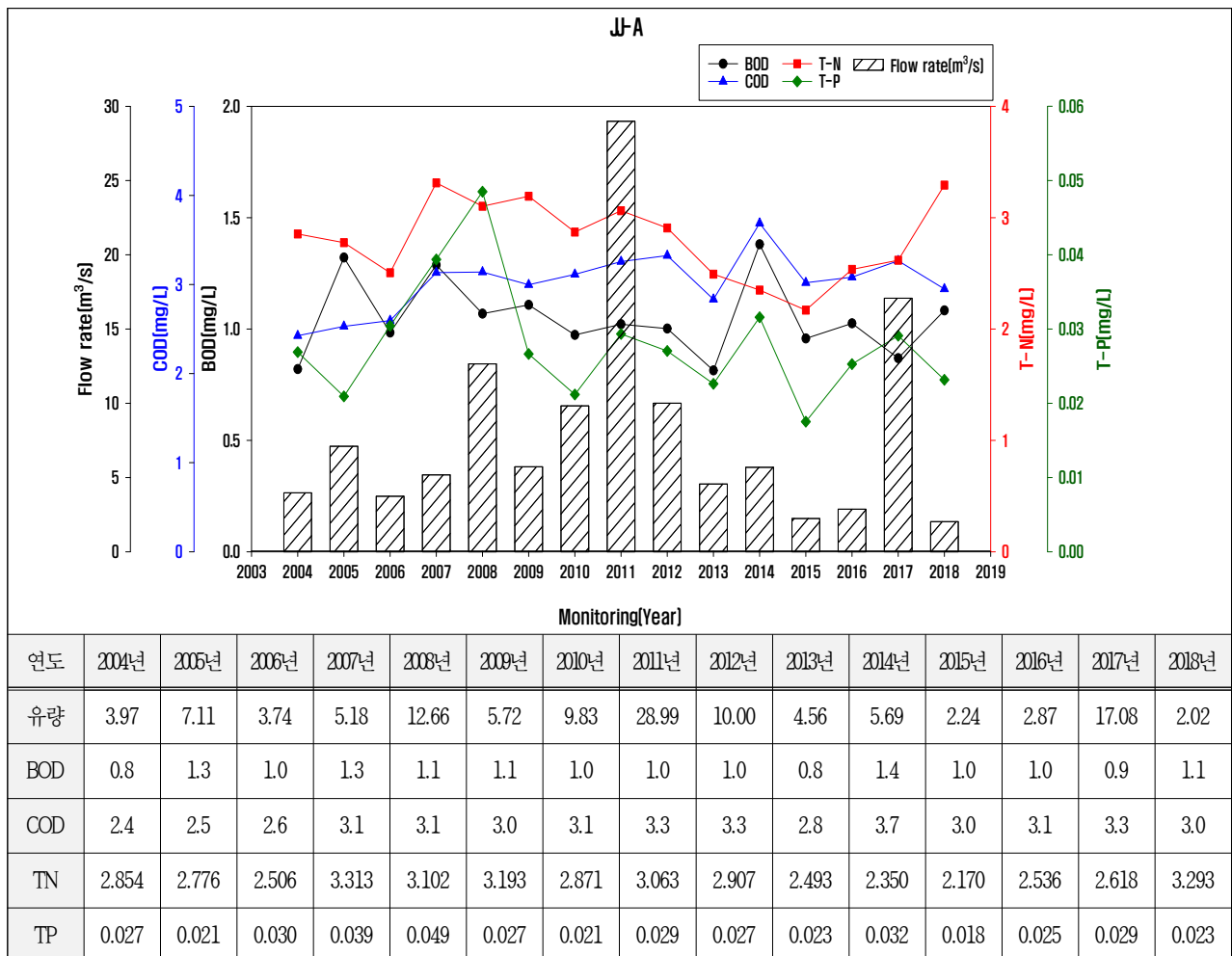


그림 2-17. 조종A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 북한강 수계 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-18>에 나타내었다.

한강F 지점의 유량은 2004년부터 2010년까지 큰 변화가 없었으나, 2011년과 2017년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량도 증가한 것으로 확인되었으며 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량도 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2009년까지 증가한 이후 개선되는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 1.4 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 4.0 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 T-N은 2.836 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2006년, 2011년, 2017년에 다소 증가하였지만 전체적으로 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 T-P는 0.029 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

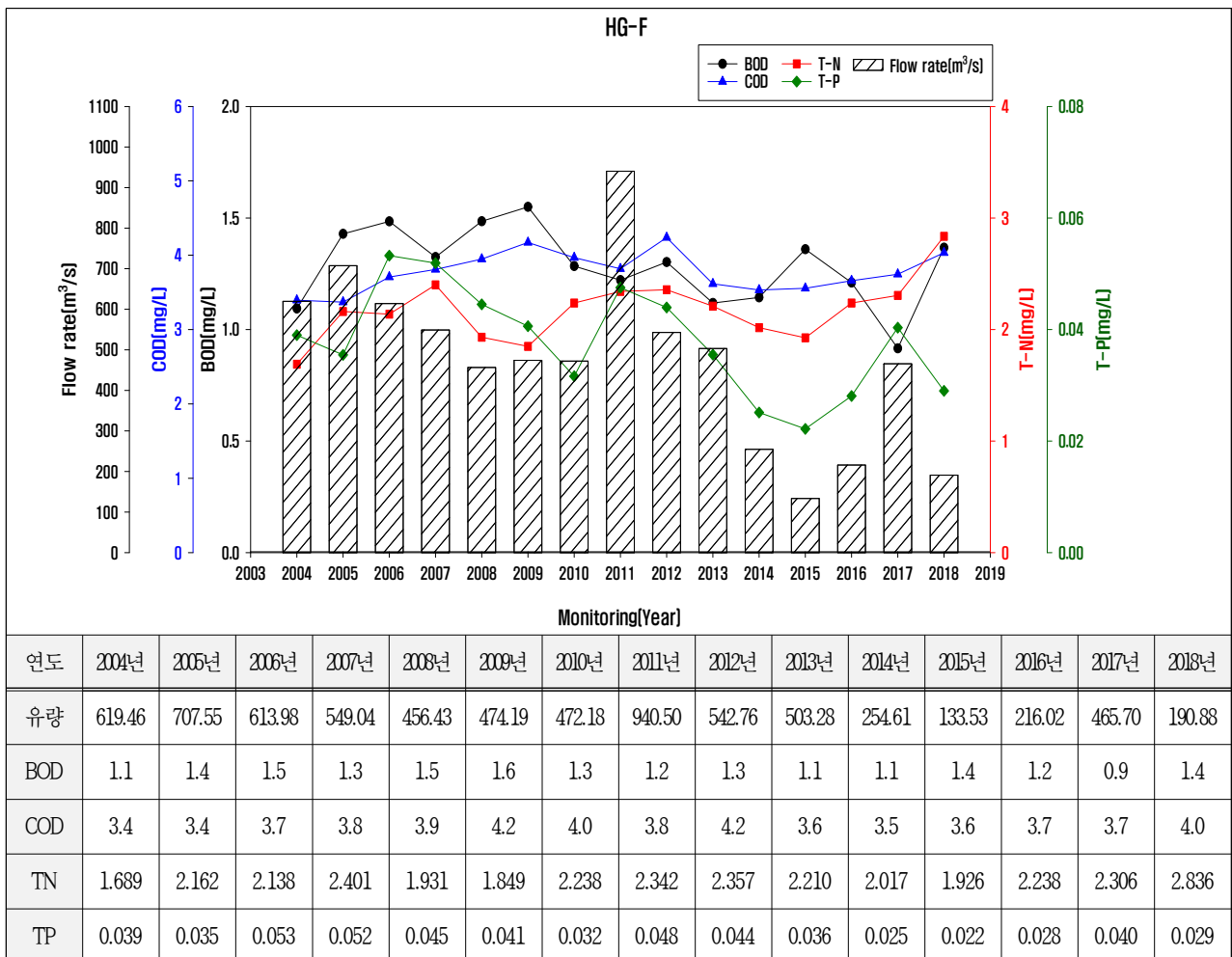


그림 2-18. 한강F 지점의 연평균 유량과 수질농도

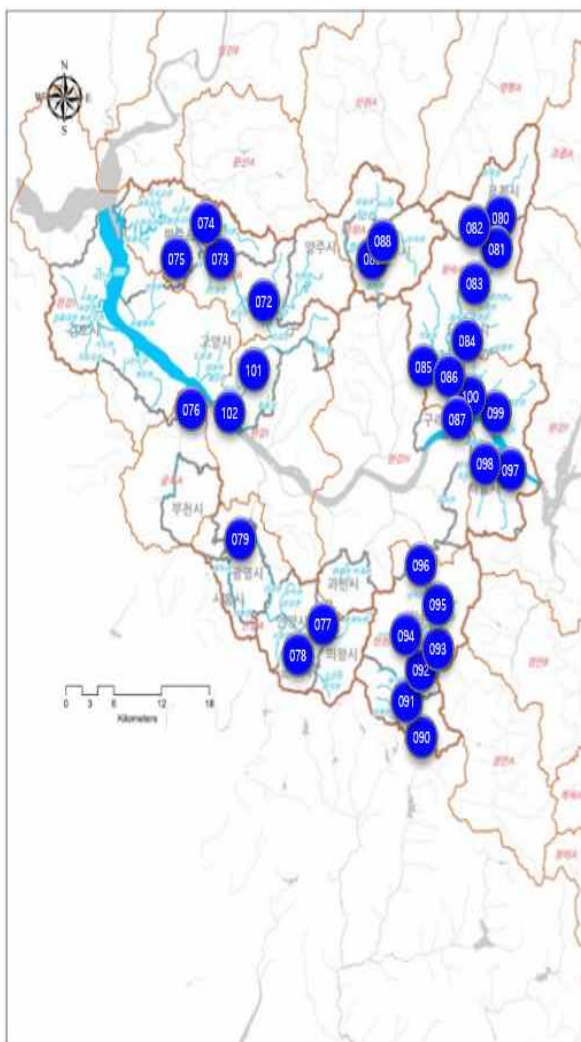
※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

4. 한강서울·고양 수계

본 과제에서는 한강 수계는 한강서울과 한강고양의 중권역에 해당하는 유역으로, 한강서울 중권역에는 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 목감천이 해당하며, 창릉천, 공릉천은 한강고양 중권역에 포함된다.

한강서울 중권역의 유역면적은 1,537 km²로써 서울특별시(36%), 남양주시(17%), 기타 경기도내 시·군(47%)로 이루어져 있다. 유역내 총인구는 13,636,326명(2005년 말 기준)으로 한강 수계에 속하는 중권역중 가장 높은 인구가 밀집되어 있다.

또 하나의 중권역인 한강고양유역은 826 km²의 유역면적으로 가지고 있으며, 고양시(32%), 김포시(18%), 파주시(17%), 기타 인천광역시 및 경기도내 시·군(33%)이 해당된다.



한강서울·고양 수계 수질 및 유량 조사지점 현황-31개 지점					
연번	중권역	하천명	유역면적	조사지점명	성격
경기072	한강고양	백재천	공릉천	고양시 대저동(제1대저교)	주요지점
경기073	한강고양	공릉천	공릉천	파주시 조리읍 불암천(불암천교)	주요지점
경기074	한강고양	고산천	공릉천	파주시 금동(고산교)	주요지점
경기075	한강고양	소리천	공릉천	파주시 교하읍 화동리(화동새마을교)	주요지점
경기076	한강고양	굴포천	굴포천	김포시 고촌읍 전호리 (굴포교 상류 300m지점 무영교)	시도경계 (김포-인천)
경기077	한강서울	갈현천	안양천	안양시 동안구 관왕동 갈현천	시군경계 (안양-과천)
경기078	한강서울	학의천	안양천	안양시 비산동(비산교 하류)	시군경계 (서울-관악)
경기079	한강서울	목감천	안양천	시흥시(노오4교)	주요지점
경기080	한강서울	염천	왕숙천	남양주시 진접읍 부평리(부평교)	주요지점
경기081	한강서울	진접천	왕숙천	남양주시 진접읍 부평리(부평교 앞)	주요지점
경기082	한강서울	불산천	왕숙천	남양주시 진접읍 부평리(부대 앞)	주요지점
경기083	한강서울	진건천	왕숙천	남양주시 진접읍 연평리(연평교)	주요지점
경기084	한강서울	시흥천	왕숙천	남양주시 진건읍 신월리(진건교)	주요지점
경기085	한강서울	갈매천	왕숙천	구리시 갈매동 갈매동사거리	시군 공유지점
경기086	한강서울	왕숙천	왕숙천	남양주시 진건읍 배양리(무영교, 용암천 합류 직후)	주요지점
경기087	한강서울	왕숙천	왕숙천	구리시 수택동(왕숙교)	시군 공유지점
경기088	한강서울	부평천	중랑천	의정부시 신곡동(부평교)	주요지점
경기089	한강서울	백석천	중랑천	의정부시 의정부동(동양교)	주요지점
경기090	한강고양	탄천	탄천	용인시 기흥구 연남동 456-30	주요지점
경기091	한강고양	상북천	탄천	용인시 수지구 죽전동 1423	주요지점
경기092	한강서울	탄천	탄천	성남시 수내동(수내교)	주요지점
경기093	한강서울	분당천	탄천	성남시 분당구 수내동 44(무영교)	주요지점
경기094	한강서울	운중천	탄천	성남시 분당구 이매동(매송교)	주요지점
경기095	한강서울	여수천	탄천	성남시 분당구 아람동 489(여수천교)	주요지점
경기096	한강서울	새곡천	탄천	성남시 수정구 신촌동(새곡3교)	주요지점
경기097	한강서울	신곡천	한강서울	하남시 창우동(신곡3교)	주요지점
경기098	한강서울	덕동천	한강서울	하남시 신장동(덕동교)	주요지점
경기099	한강서울	월문천	한강서울	남양주시 화북읍 덕소리(덕소2교)	주요지점
경기100	한강서울	홍동천	한강서울	남양주시 지곡동(석실교)	주요지점
경기101	한강서울	창릉천	창릉천	고양시 화천동(제2화천교)	주요지점
경기102	한강서울	창릉천	창릉천	고양시 현천동(창릉교)	주요지점

그림 2-19. 한강서울·고양 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 한강서울·고양 수계 공릉A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-20>에 나타내었다.

공릉A 지점의 유량은 2007년부터 2010년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2011년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년, 2014년에 일시적으로 증가한 것을 제외하면 전체적으로 큰 변화는 없었으며, 2018년 평균 BOD의 농도는 4.9 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 9.3 mg/L, 수질등급은 V등급(나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2018년에 크게 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 11.489 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으나 2018년에 다시 증가하여 2018년 평균 T-P는 0.288 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다.

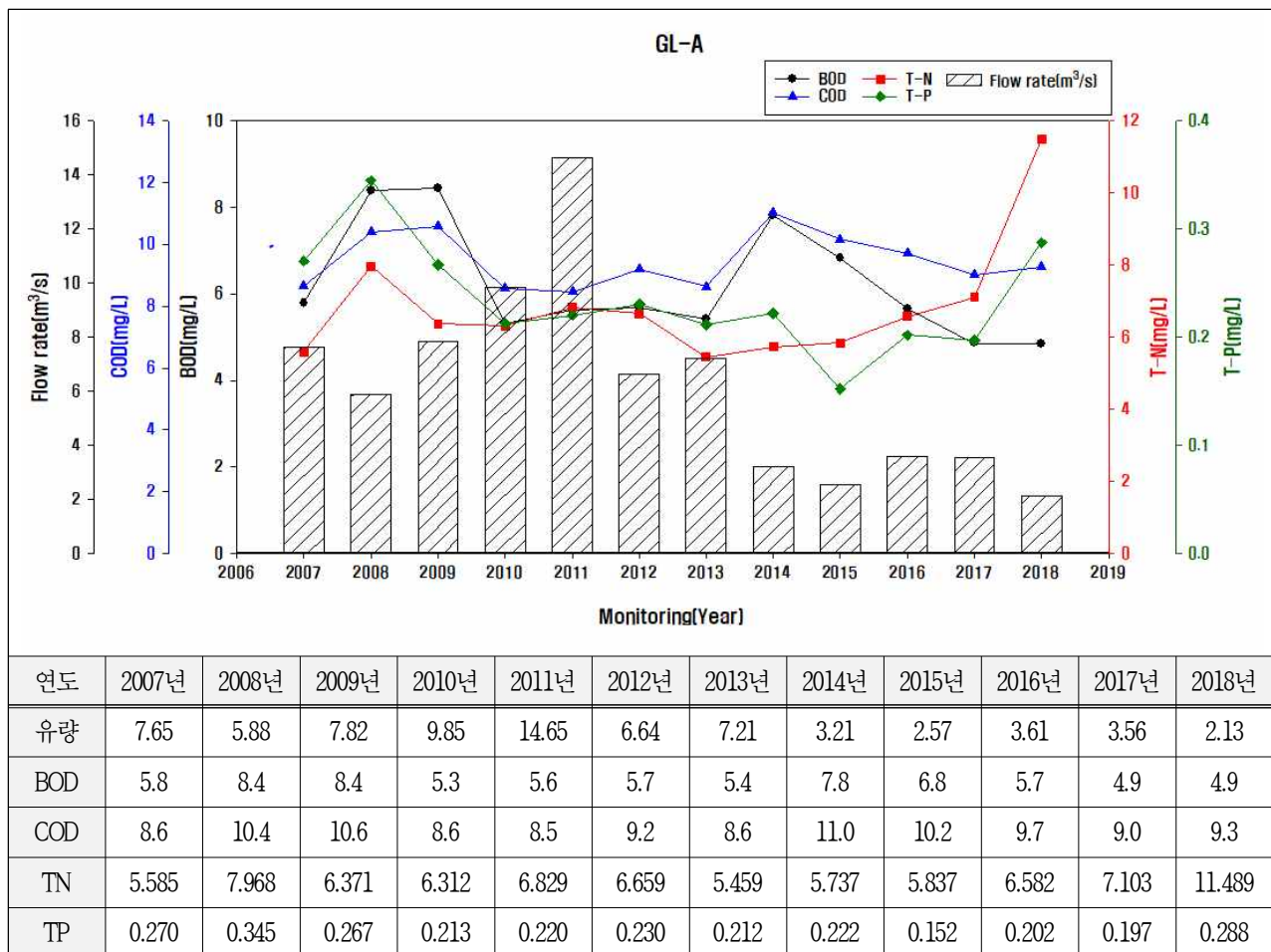


그림 2-20. 공릉A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 한강서울·고양 수계 굴포A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-21>에 나타내었다.

굴포A 지점의 유량은 2007년 이후 전체적으로 큰 변화 없이 약간 감소하였고, 보통의 다른 지역들과는 다르게 2014년부터 2016년까지의 유량이 비교적 연평균 유량에 근접하게 유지되는 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 1.6 mg/L, 수질등급은 Ib등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 7.0 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 전체적으로 큰 변화는 없었으며, 2018년 평균 T-N은 14.788 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년, 2013에 급격히 증가하였지만 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.263 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다.

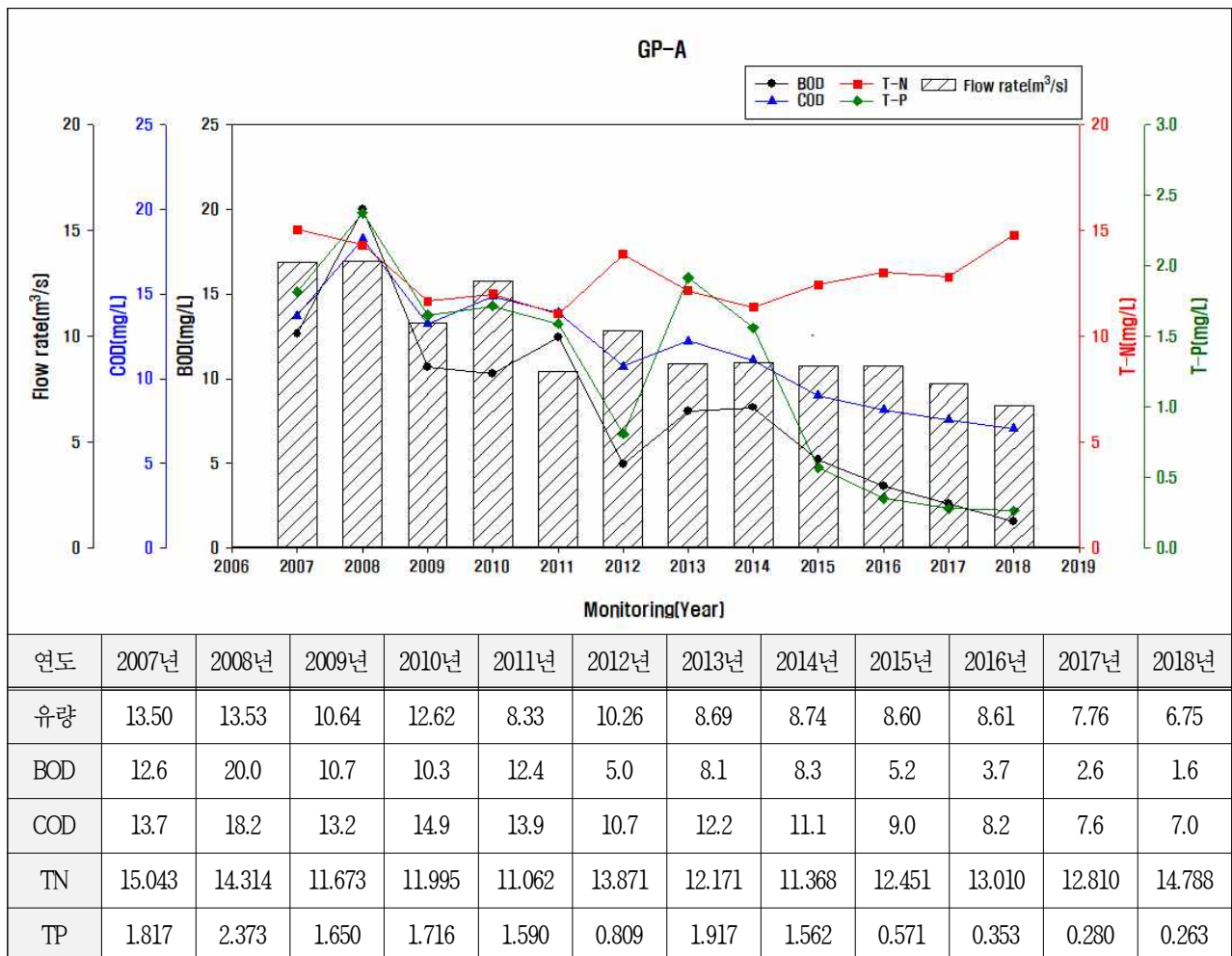


그림 2-21. 굴포A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 한강서울·고양 수계 안양A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-22>에 나타내었다.

안양A 지점의 유량은 2008년, 2011년, 2017년에 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 다른 연도는 전체적으로 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년, 2015년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 5.9 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 10.6 mg/L, 수질등급은 V등급(나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2008년, 2014년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였다가 2018년에 다시 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 15.490 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년에 급격히 증가하였지만 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.123 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

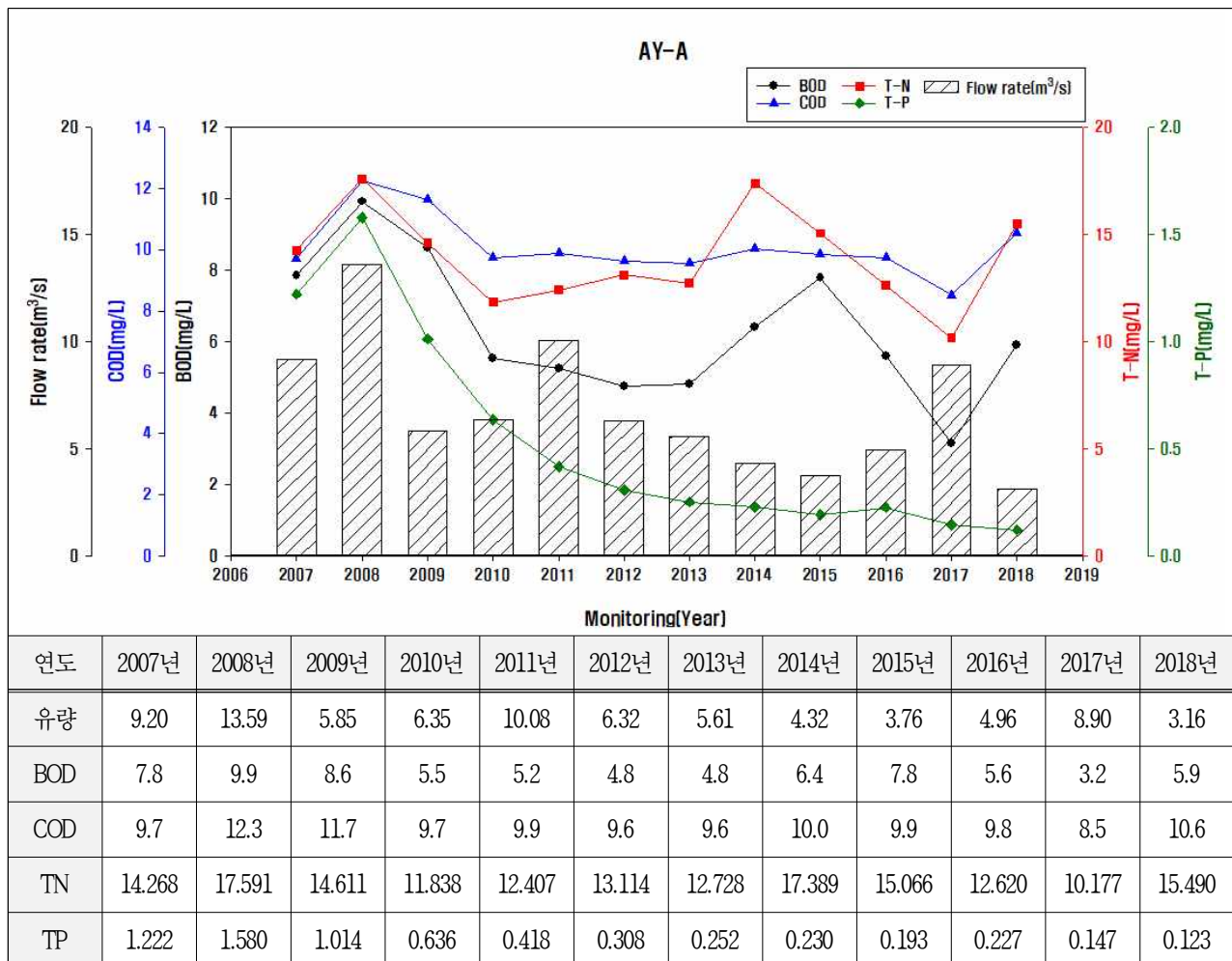


그림 2-22. 안양A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 한강서울·고양 수계 왕숙A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-23>에 나타내었다.

왕숙A 지점의 유량은 2006년까지 증가하다가 감소하였고, 다시 2011년까지 증가하다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년까지 증가한 이후 감소하는 경향을 보이다가 2018년에 다시 증가하였으며, 2018년 평균 BOD는 7.0 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 9.2 mg/L, 수질등급은 V등급(나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2008년까지 증가하다가 이 후 전체적으로 감소하는 경향을 보이다가 2018년에 다시 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 11.871 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년까지 증가하다가 이 후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.252 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다.

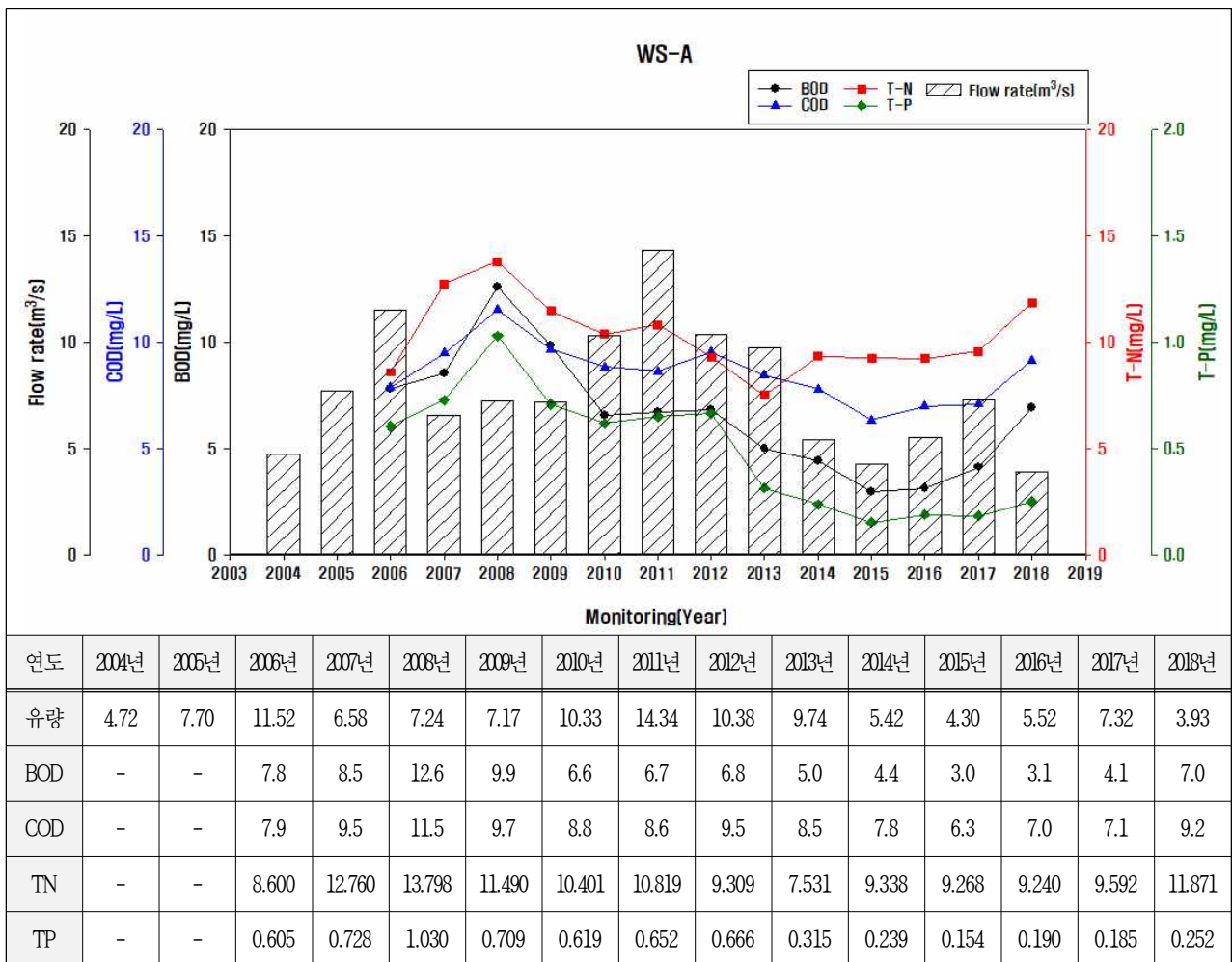


그림 2-23. 왕숙A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부의 물환경정보시스템 조사자료(2006년~2018년)를 토대로 한강서울·고양 수계 중량A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-24>에 나타내었다.

중량A 지점의 유량은 전체적으로 큰 변화는 없었지만 2006년에 가장 높았고, 이후 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2007년, 2012년에 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 5.2 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD 농도와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 8.6 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2007년에 증가하였지만 이후 감소하였으며, 2018년 평균 T-N은 10.449 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2007년에 증가하였지만 이후 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.248 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다.

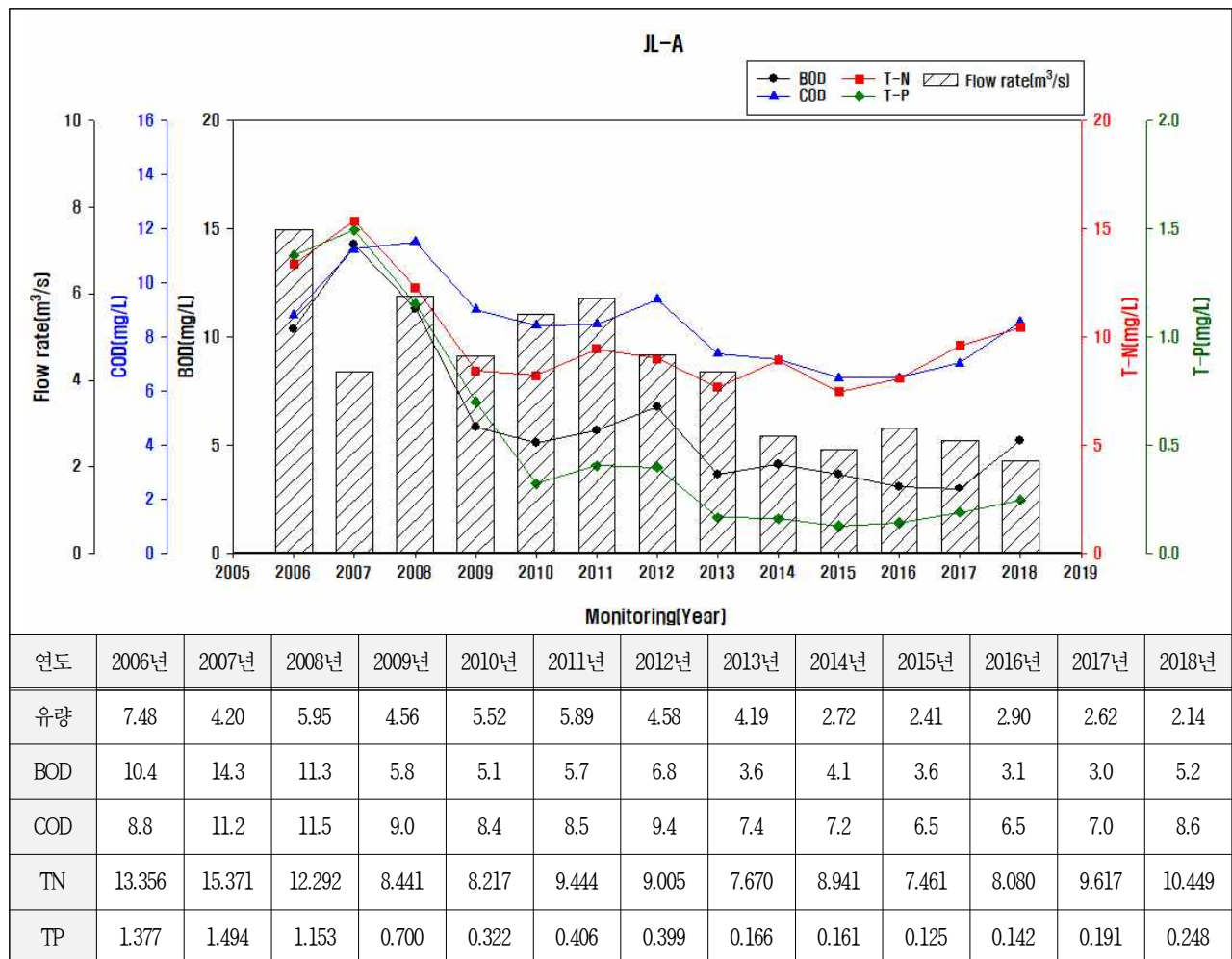


그림 2-24. 중량A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부의 물환경정보시스템 조사자료(2006년~2018년)를 토대로 한강서울·고양 수계 탄천A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-25>에 나타내었다.

탄천A 지점의 유량은 2008년, 2011년, 2017년에 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 전체적으로 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년에 급격히 감소한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 4.4 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 8.4 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 전체적으로 감소하는 경향을 보였다가 2018년에 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 9.521 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P 또한 2008년과 2014년에 비교적 급격히 감소한 이후 꾸준히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.129 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

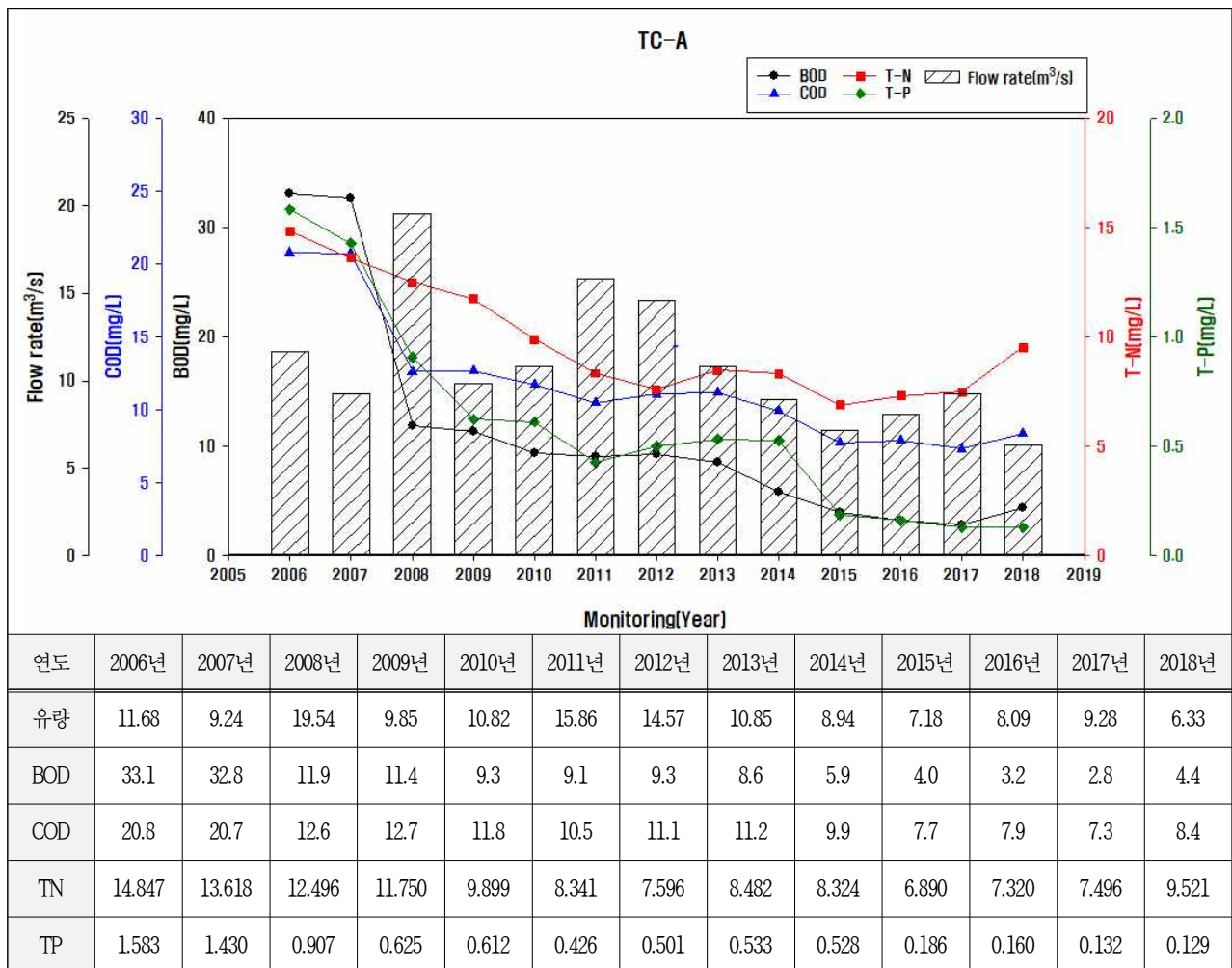


그림 2-25. 탄천A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부의 물환경정보시스템 조사자료(2005년~2018년)를 토대로 한강서울·고양 수계 한강G 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-26>에 나타내었다.

한강G 지점의 유량은 2005년부터 2010년까지 큰 변화가 없었지만, 2011년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평소보다 적어서 유량이 감소하였다.

연평균 BOD는 2009년, 2015년에 일시적으로 증가하였으나 전체적으로 큰 변화는 없었으며, 2018년 평균 BOD는 1.8 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 4.6 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2018년에 크게 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 3.199 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 전체적으로 감소하는 경향을 보였으나 2017년에 다소 증가하였으며, 2018년 평균 T-P는 0.034 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

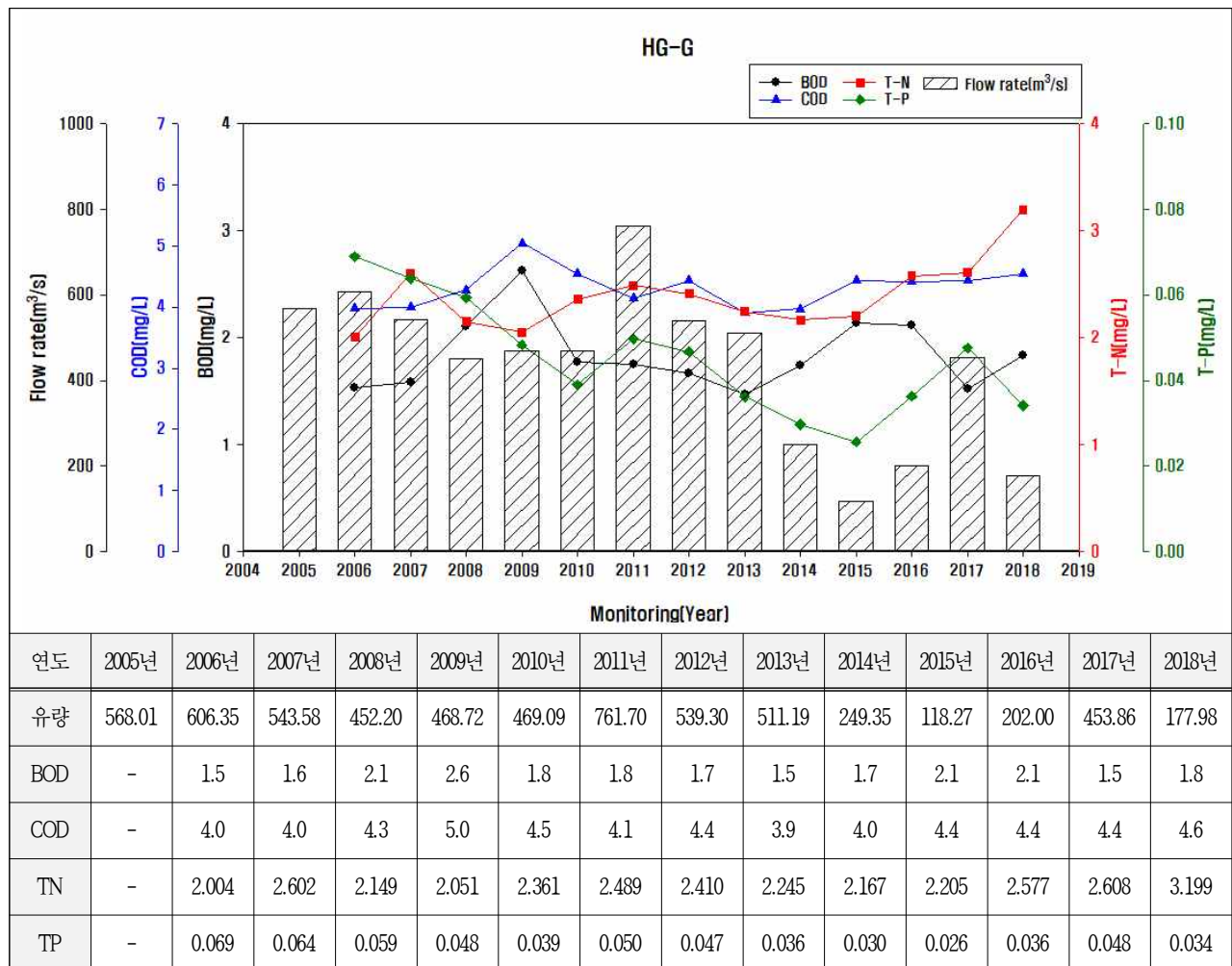


그림 2-26. 한강G 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부의 물환경정보시스템 조사자료(2007년~2018년)를 토대로 한강서울·고양 수계 한강H 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-27>에 나타내었다.

한강H 지점의 유량은 2007년, 2011년, 2017년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년, 2015년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 2.0 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 5.0 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 큰 변화가 없다가 2014년 이후 급격하게 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 6.456 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년, 2014년에 급격히 증가하였지만 이후 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.053 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

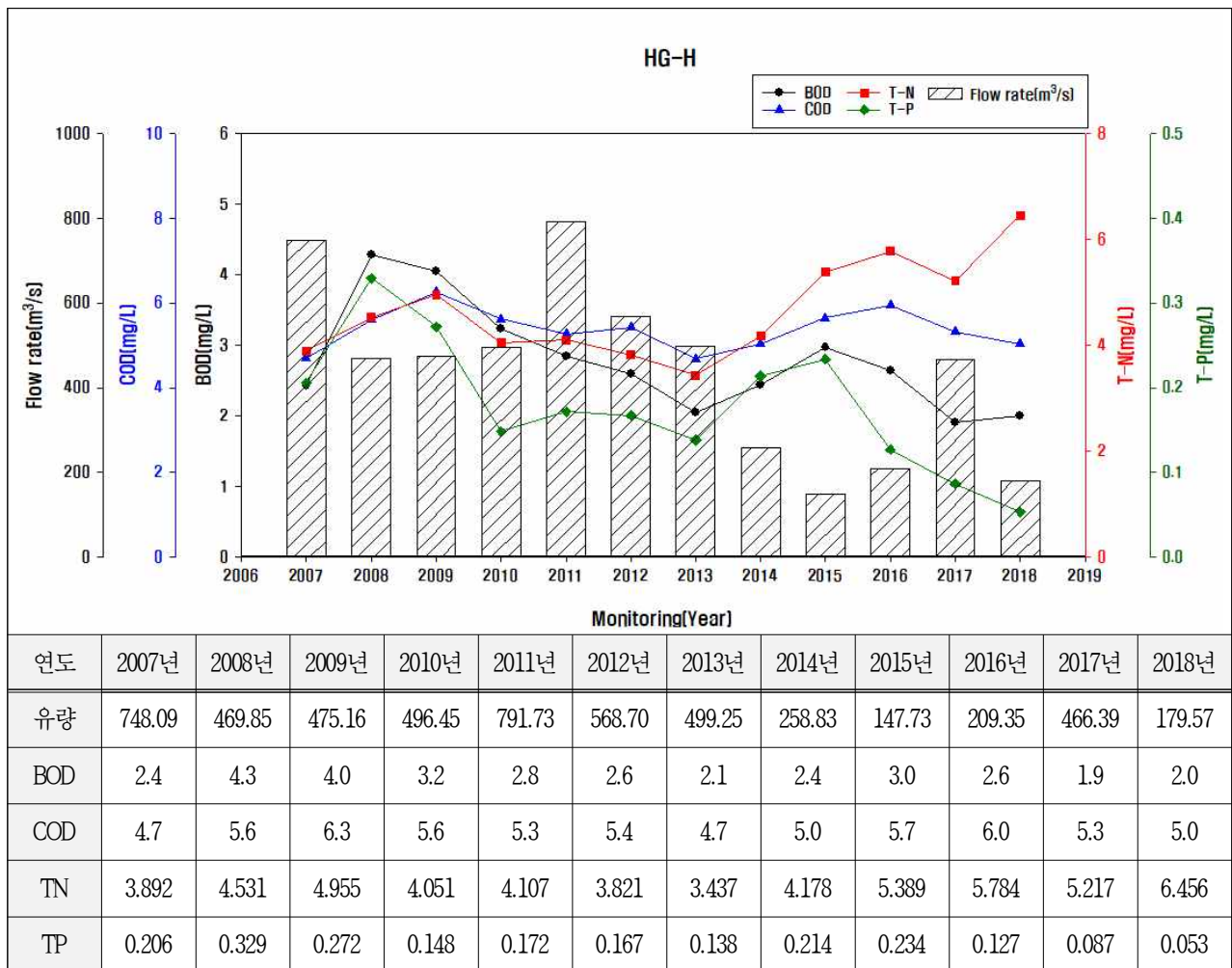


그림 2-27. 한강H 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부의 물환경정보시스템 조사자료(2007년~2018년)를 토대로 한강서울·고양 수계 한강I 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-28>에 나타내었다.

한강I 지점의 유량은 2007년, 2011년, 2017년에는 강우량이 평년보다 많아서 유량이 증가하였고, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 BOD는 3.6 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 7.1 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2008년, 2015년, 2018년에 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 8.069 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년, 2015년에 급격히 증가하였지만 그 이후에는 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.092 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

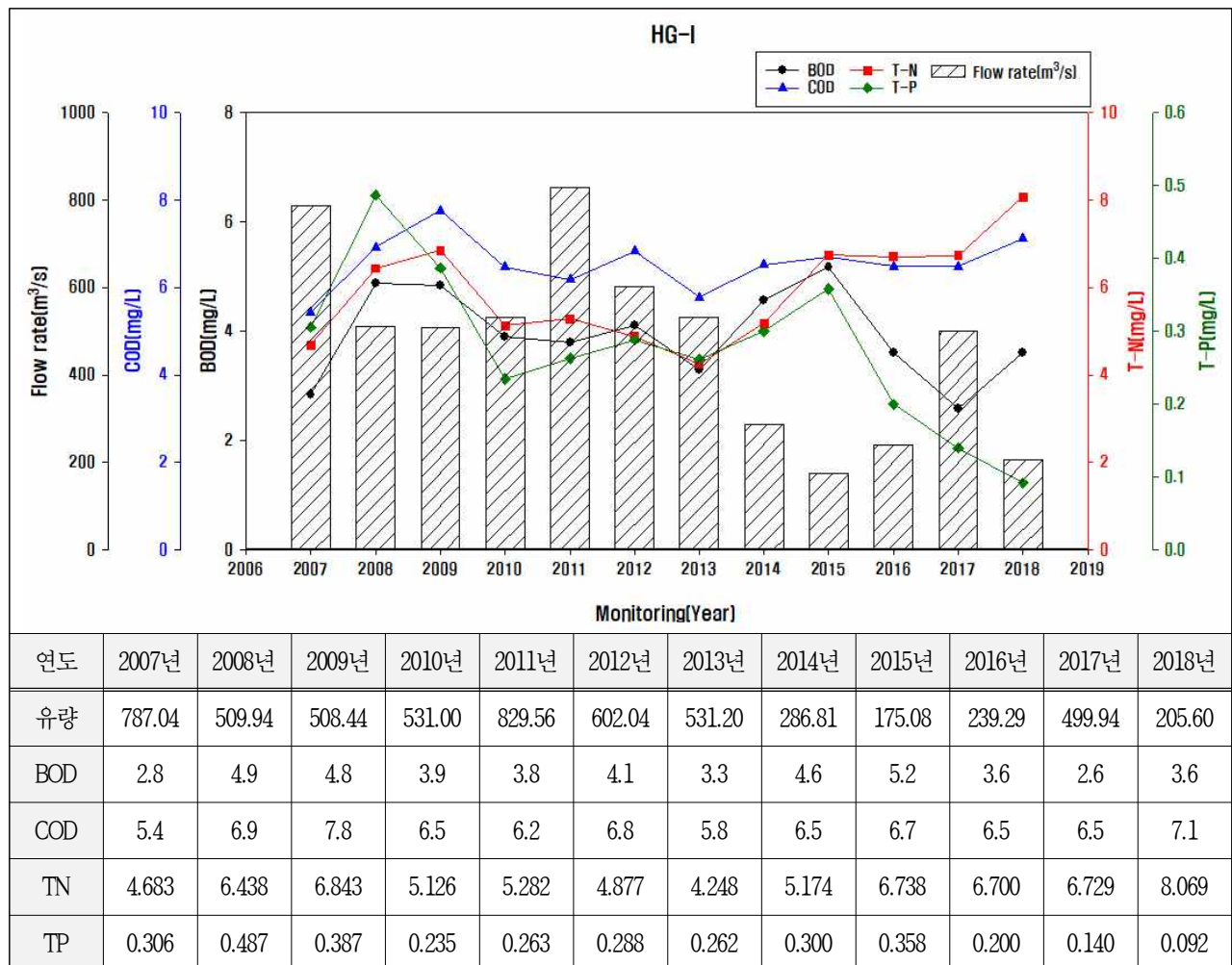


그림 2-28. 한강I 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

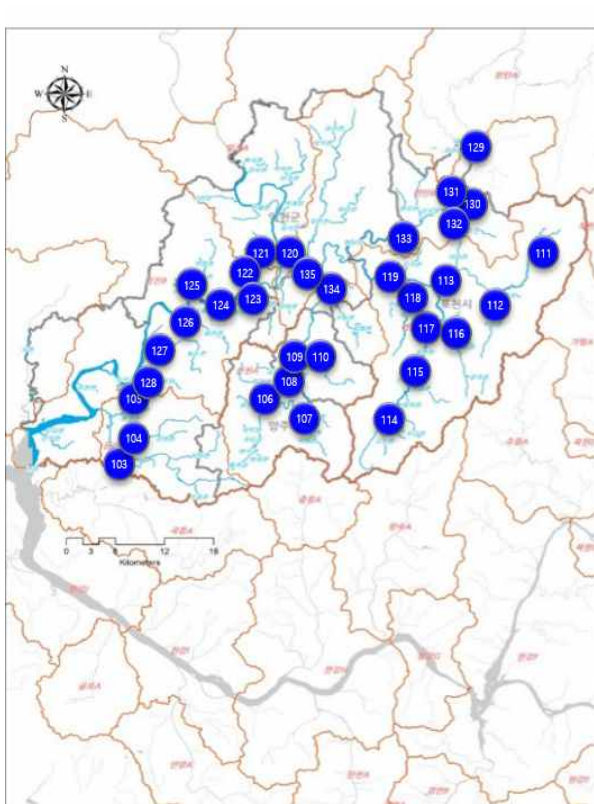
5. 임진강 수계

임진강은 한반도 중앙부에서 동북으로 길게 위치한 우상형태(pinnate form basin)를 가지는 유역이다. 북한의 함경남도 덕원군 마식령의 남계에서 발원하여 남쪽으로 흐르다가 고미탄천, 평안천 및 역곡천과 합류하고 이후 한탄강과 합류한 후 서남향으로 흐르다 파주시 탄현면 부근에서 한강 하구에 합류하여 서해로 유입한다.

임진강 유역의 전체 유역면적은 8,117.5 km²이고 총 유로연장은 254.6 km이다. 그 중 군사분계선(MDL)을 기준으로 볼 때, 남한지역의 유역면적은 3,008.7 km²로 전체 유역의 약 1/3(37.1%)에 불과하며 나머지 2/3(62.9%)는 북한지역에 위치하고 있다.

유역 내 행정구역을 살펴보면 남한지역에서는 2도(경기도, 강원도), 2시(파주시, 동두천시), 4군(연천군, 포천군, 양주군, 철원군)이 있고, 북한지역에서는 해방 당시 6도 9개시였으나 해방 이후 행정체제 간소화 및 행정구역 개편을 거쳐 현재는 개성직할시에 1시 3군, 황해북도에 1군, 그리고 강원도에 8군 등 총 1개시 12군이 포함되어 있다.

유역의 지세는 험준한 산악구릉이며 일부 구간을 제외한 대부분의 본류 및 지류하천은 험준한 협곡 사이에 형성된 급류하천으로 만곡부 구간이 많으며, 대체로 연안 경작지가 협소한 편이나 철원군 부근과 하류부 등 평야를 형성하고 있는 곳이 있다.



임진강 수계 수질 및 유량 조사지점 현황-33개 지점					
연번	중간역	하상평	유역내	조사지점 위치	선정사유
경기103	임진강하류	문산천	문산천	파주시 불문면 위천리(불문교)	주요지점
경기104	임진강하류	갈곡천	문산천	파주시 파주읍 불암리(불암교)	주요지점
경기105	임진강하류	동문천	문산천	파주시 문산읍 문산리(문산1교)	주요지점
경기106	한탄강	신천	신천	양주시 남면 침수리(문암삼수교)	주요지점
경기107	한탄강	청담천, 회암천	신천	양주시 불암동(회암교)	주요지점
경기108	한탄강	상학천	신천	동두천시 상학동303(강변교)	주요지점
경기109	한탄강	신천	신천	동두천시 상학동(상학교와 앞 교차로)	주요지점
경기110	한탄강	동두천	신천	동두천시 보산동(원터교)	주요지점
경기111	한탄강	영평천	영평천	포천시 이대면 도평리 산209-1(무명교)	주요지점
경기112	한탄강	수암천	영평천	포천시 일동면 수암리 711-2번(지왕문교)	주요지점
경기113	한탄강	영평천	영평천	포천시 영북면 영송리(사문교)	주요지점
경기114	한탄강	포천천	영평천	포천시 소불읍 송우리(가산교)	주요지점
경기115	한탄강	포천천	영평천	포천시 포천동(한내교)	주요지점
경기116	한탄강	영평천	영평천	포천시 신북면 만세교리(만세교)	주요지점
경기117	한탄강	포천천	영평천	포천시 영북면 평문리(문연교)	주요지점
경기118	한탄강	영평천	영평천	포천시 영북면 영송리(영평교)	주요지점
경기119	한탄강	외북천	영평천	포천시 창수면 주원리(영평교)	주요지점
경기120	임진강상류	임진강	임진강상류	연천군 미산면 전상리(임진교)	주요지점
경기121	임진강상류	왕궁천	임진강상류	연천군 미산면 우정리	주요지점
경기122	임진강하류	임진강	임진강하류	연천군 미산면 삼화리 242-4번지	시도경계 (연천-파주)
경기123	임진강하류	간파천	임진강하류	파주시 적성면 출포리 산35(대우명교)	주요지점
경기124	임진강하류	임진강	임진강하류	파주시 적성면 가월리(비룡대교)	주요지점
경기125	임진강하류	석장천	임진강하류	연천군 장남면 원당리(천동교하류 2km지점)	주요지점
경기126	임진강하류	섬마천	임진강하류	파주시 적성면 가월리 193-4(대가월1교)	주요지점
경기127	임진강하류	늘노천	임진강하류	파주시 파평면 굴파리(굴파교)	주요지점
경기128	임진강하류	두포천	임진강하류	파주시 파평면 두포리(두포교)	주요지점
경기129	한탄강	대교천	한탄강	포천시 편안면 탐동리(불우교)	시도경계 (포천-불평)
경기130	한탄강	한양강	한탄강	포천시 편안면 냉정리 947번지(무명교)	시도경계 (포천-불평)
경기131	한탄강	한양강	한탄강	포천시 편안면 냉정리(용담교)	주요지점
경기132	한탄강	부소천	한탄강	포천시 영북면 문암리(문암교)	주요지점
경기133	한탄강	한양강	한탄강	포천시 창수면 문산리(영노교)	주요지점
경기134	한탄강	한양강	한탄강	연천군 전곡읍 전곡리(시암교)	수출관리
경기135	한탄강	차탄천	한탄강	연천군 군남면 남계리 (장전교하류200m 지점 침수교)	주요지점

그림 2-29. 임진강 수계의 유량 및 수질 조사지점 위치

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 문산A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-30>에 나타내었다.

문산A 지점의 유량은 2007년부터 2011년까지는 증가하는 경향을 보이다가, 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량도 감소한 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2014년에 일시적으로 증가한 것을 제외하면 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 4.9 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 2008년 일시적으로 증가한 것을 제외하면 연평균 BOD와 비슷한 경향을 보이며, 2018년 평균 COD는 8.4 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2018년에 급격하게 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 6.534 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.260 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다.

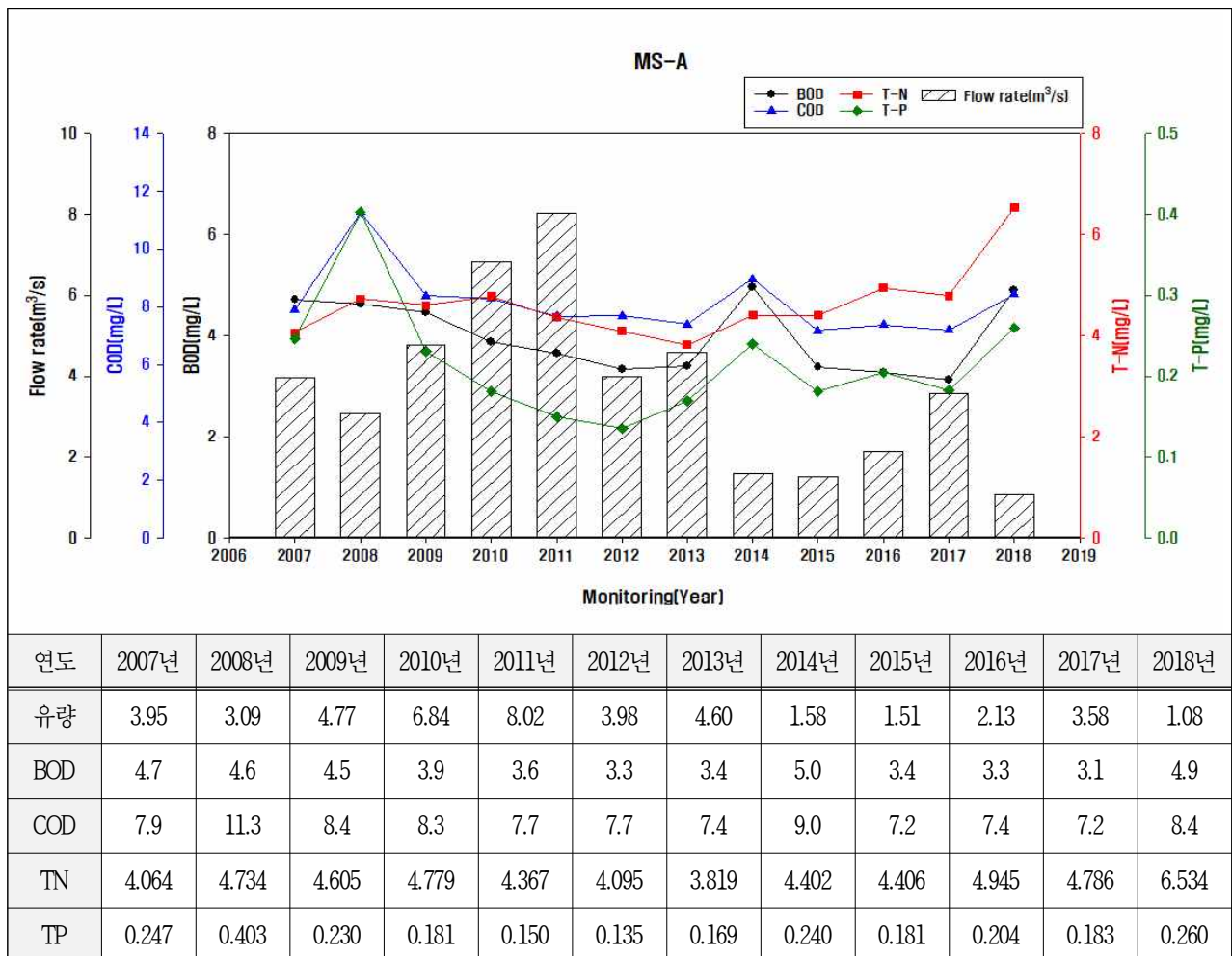


그림 2-30. 문산A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 신천A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-31>에 나타내었다.

신천A 지점의 유량은 2007년부터 2011년까지는 증가하는 경향을 보이다가 다시 감소하였으나, 2016년부터는 약간 증가하는 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 8.4 mg/L, 수질등급은 V등급(나쁨)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으나 전체적으로 큰 변화는 없었으며, 2018년 평균 COD는 14.6 mg/L, 수질등급은 VI등급(매우 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 유량이 줄어든 2014년과 2018년에 크게 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 12.033 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2009년부터 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.136 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

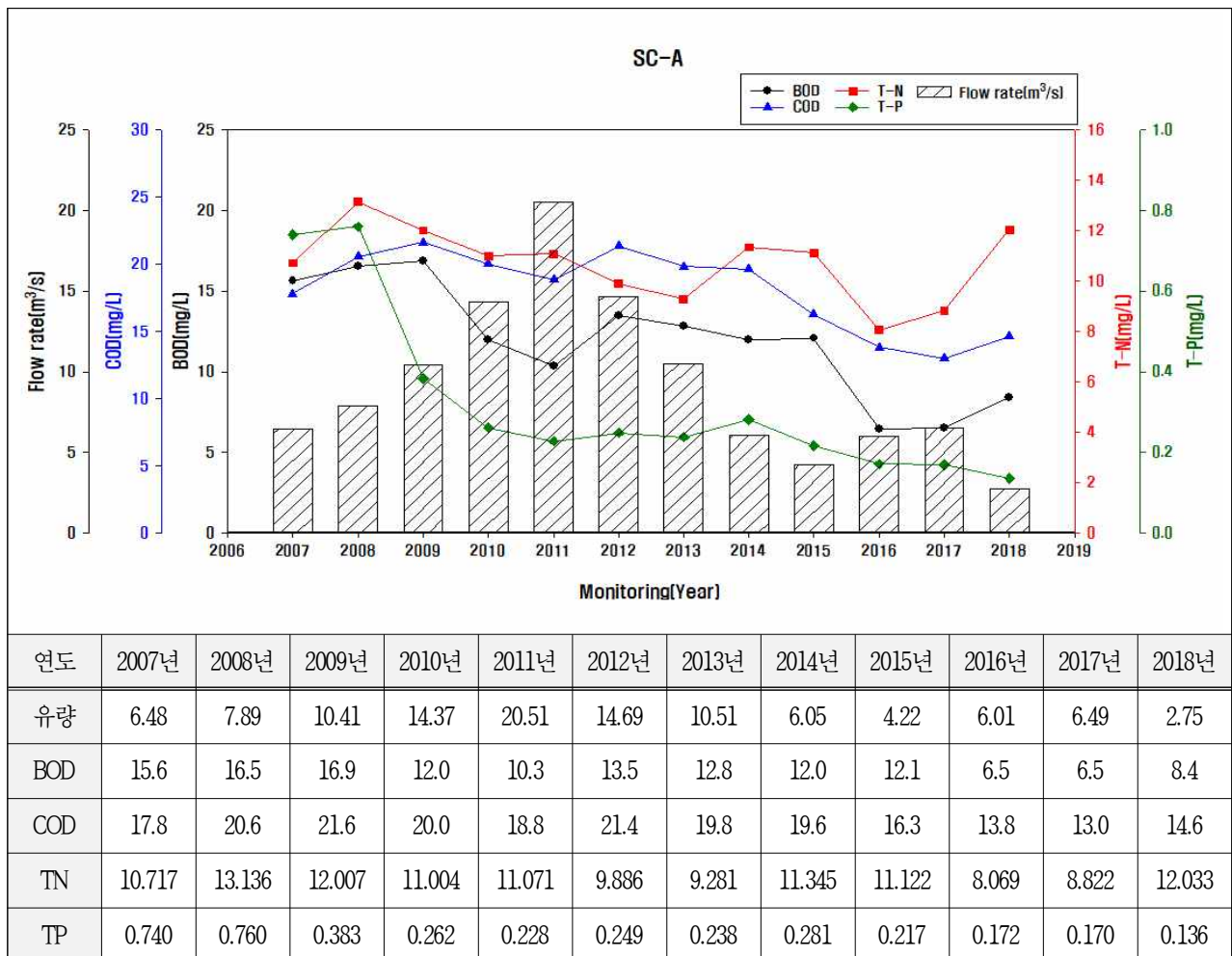


그림 2-31. 신천A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 영평A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-32>에 나타내었다.

영평A 지점의 유량은 2007년부터 2013년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하였고, 이후 꾸준히 증가하여 2017년에는 유량이 회복된 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년, 2014년에 급격히 증가한 것을 제외하면 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 4.6 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD 농도와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 8.5 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 전체적으로 소폭 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 9.767 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2009년부터 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.118 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다.

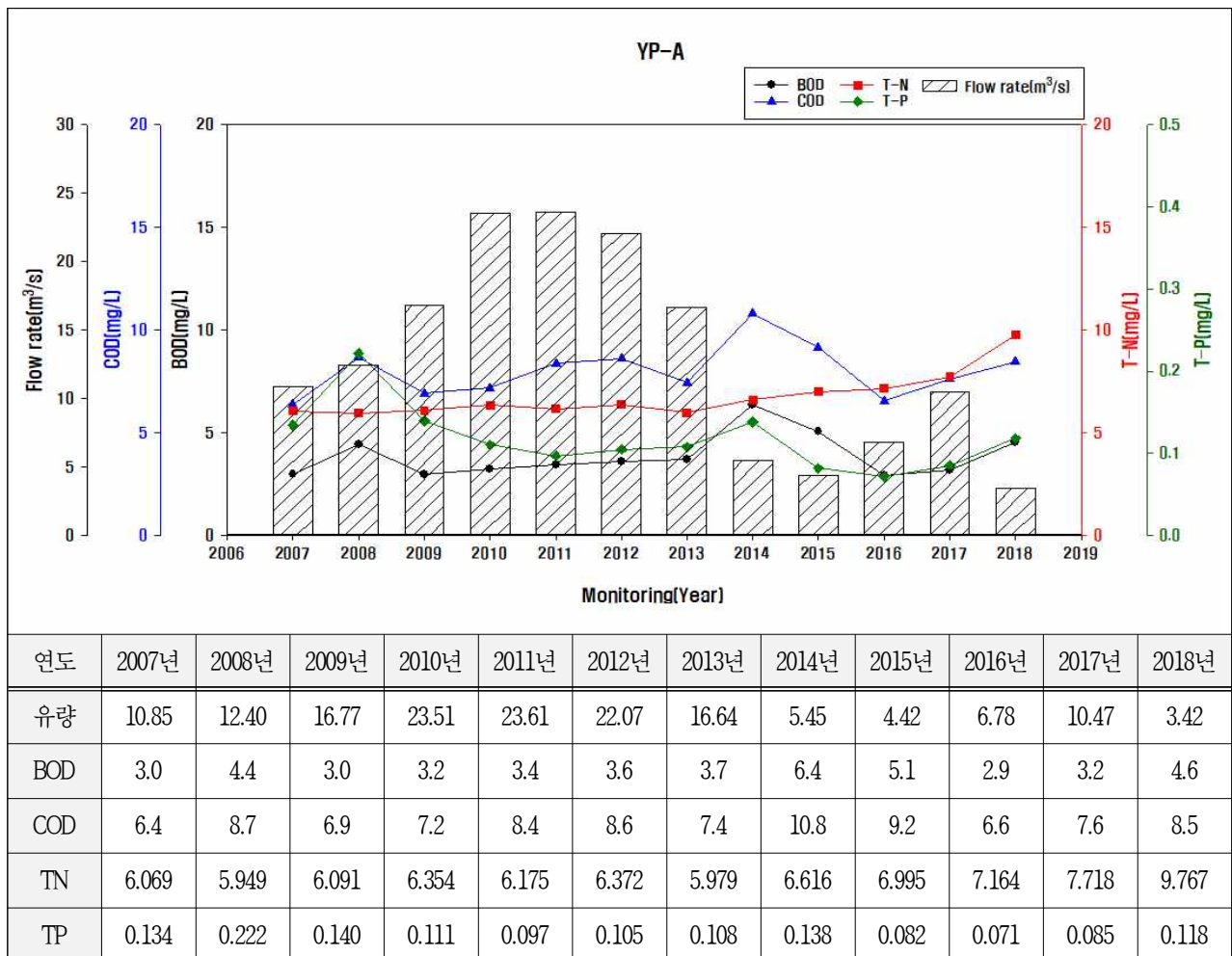


그림 2-32. 영평A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 임진A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-33>에 나타내었다.

임진A 지점의 유량은 2007년부터 2013년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하였고, 이후 다시 증가하여 2017년에는 유량이 회복된 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 1.0 mg/L, 수질등급은 Ⅰa등급(매우 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 3.5 mg/L, 수질등급은 Ⅰb등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2014년 소폭 감소한 것을 제외하면 전체적으로 큰 변화가 없었으며, 2018년 평균 T-N은 1.228 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 큰 변화가 없다가 2018년에 크게 감소하였으며, 2018년 평균 T-P는 0.012 mg/L, 수질등급은 Ⅰa등급(매우 좋음)으로 나타났다.

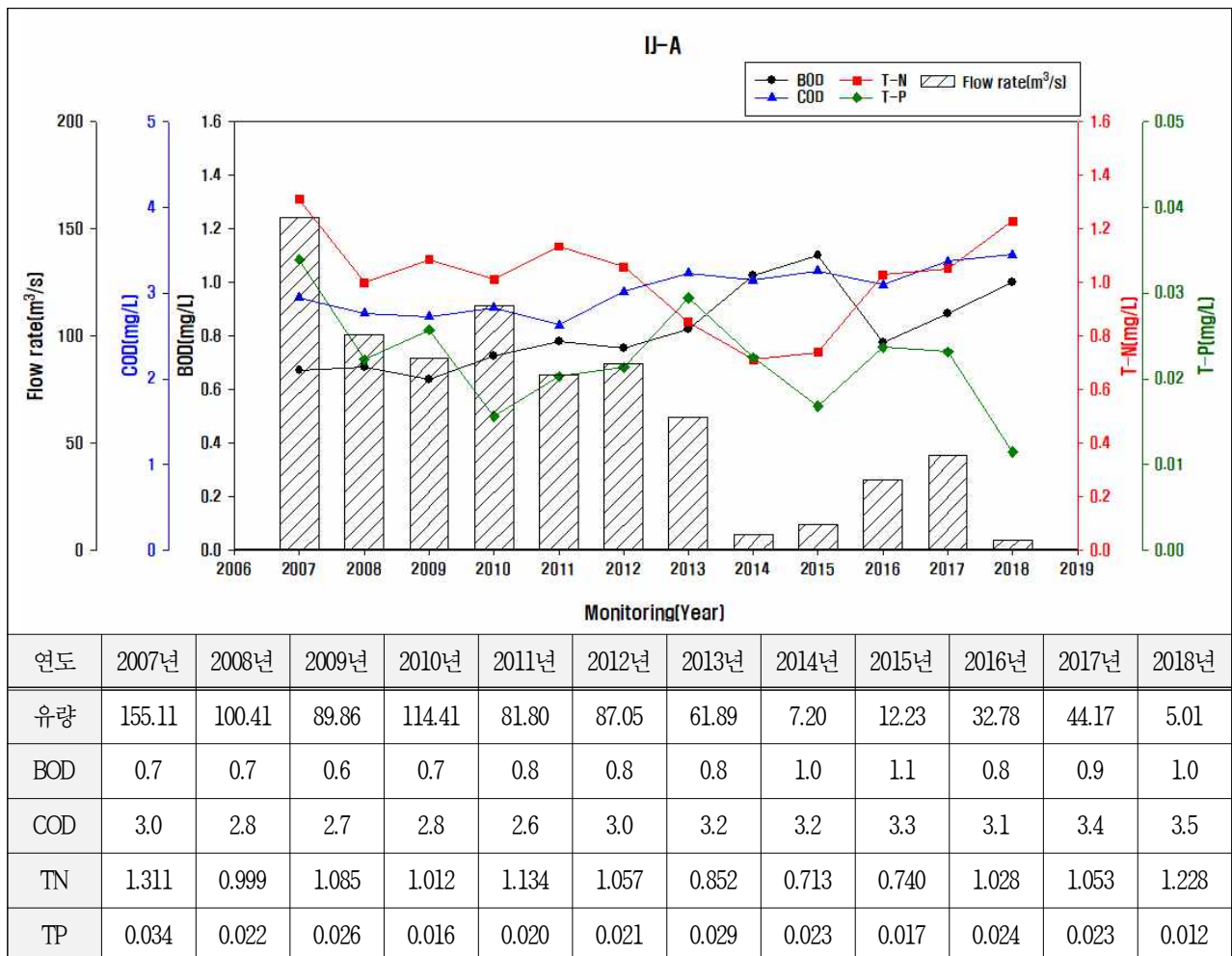


그림 2-33. 임진A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 임진B 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-34>에 나타내었다.

임진B 지점의 유량은 2007년부터 2013년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하였고, 이후 꾸준히 증가하여 2017년에는 유량이 회복된 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 2.6 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD 농도와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 6.6 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 T-N은 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-N은 5.120 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 전체적으로 증가하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.059 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

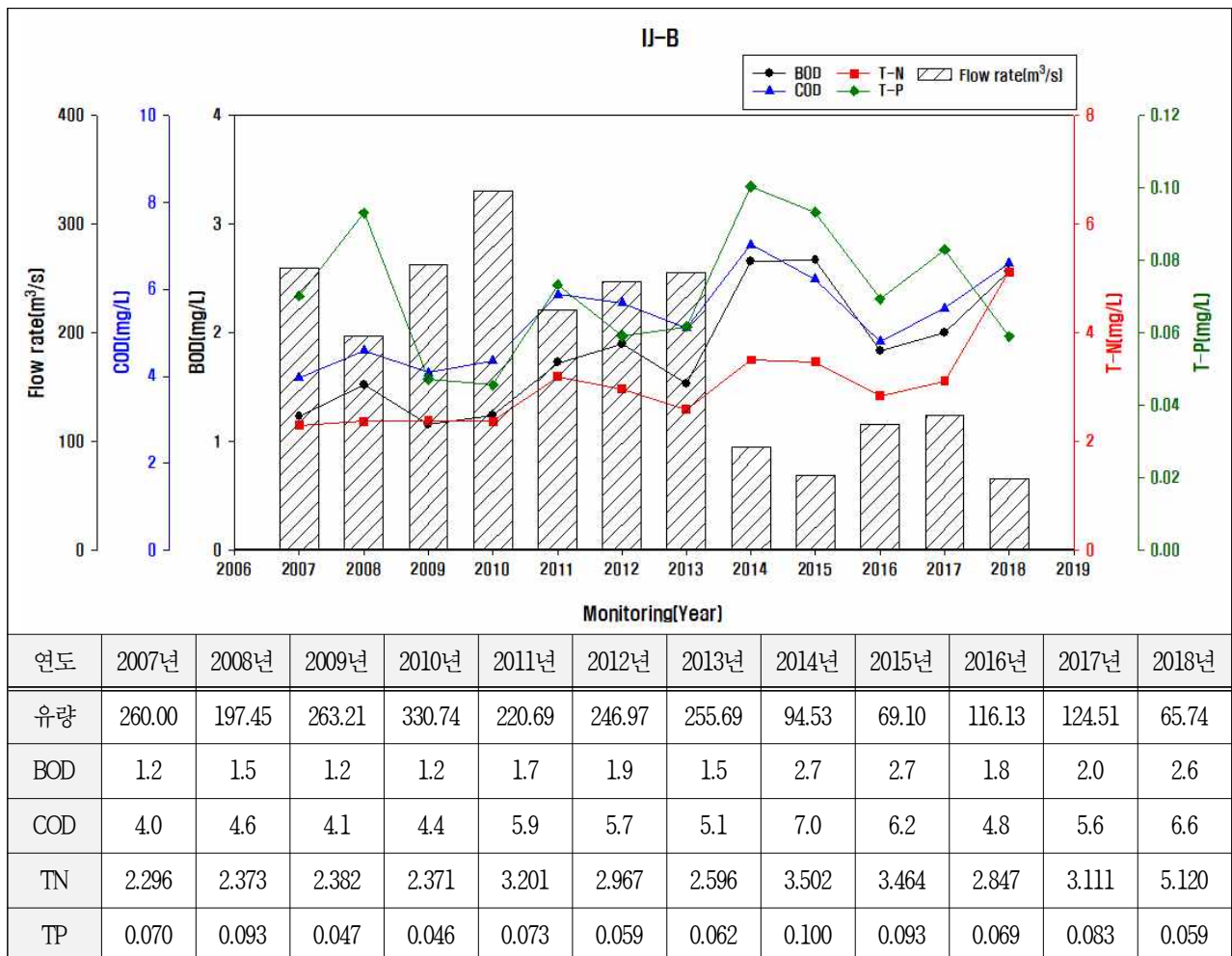


그림 2-34. 임진B 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 한탄A 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-35>에 나타내었다.

한탄A 지점의 유량은 2007년부터 2013년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하였고, 이후 꾸준히 증가하여 2017년에는 유량이 크게 회복된 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2008년, 2018년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 큰 변화는 없었으며, 2018년 평균 BOD는 1.5 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 3.7 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2018년에 급격히 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 2.600 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.030 mg/L, 수질등급은 Ib등급(좋음)으로 나타났다.

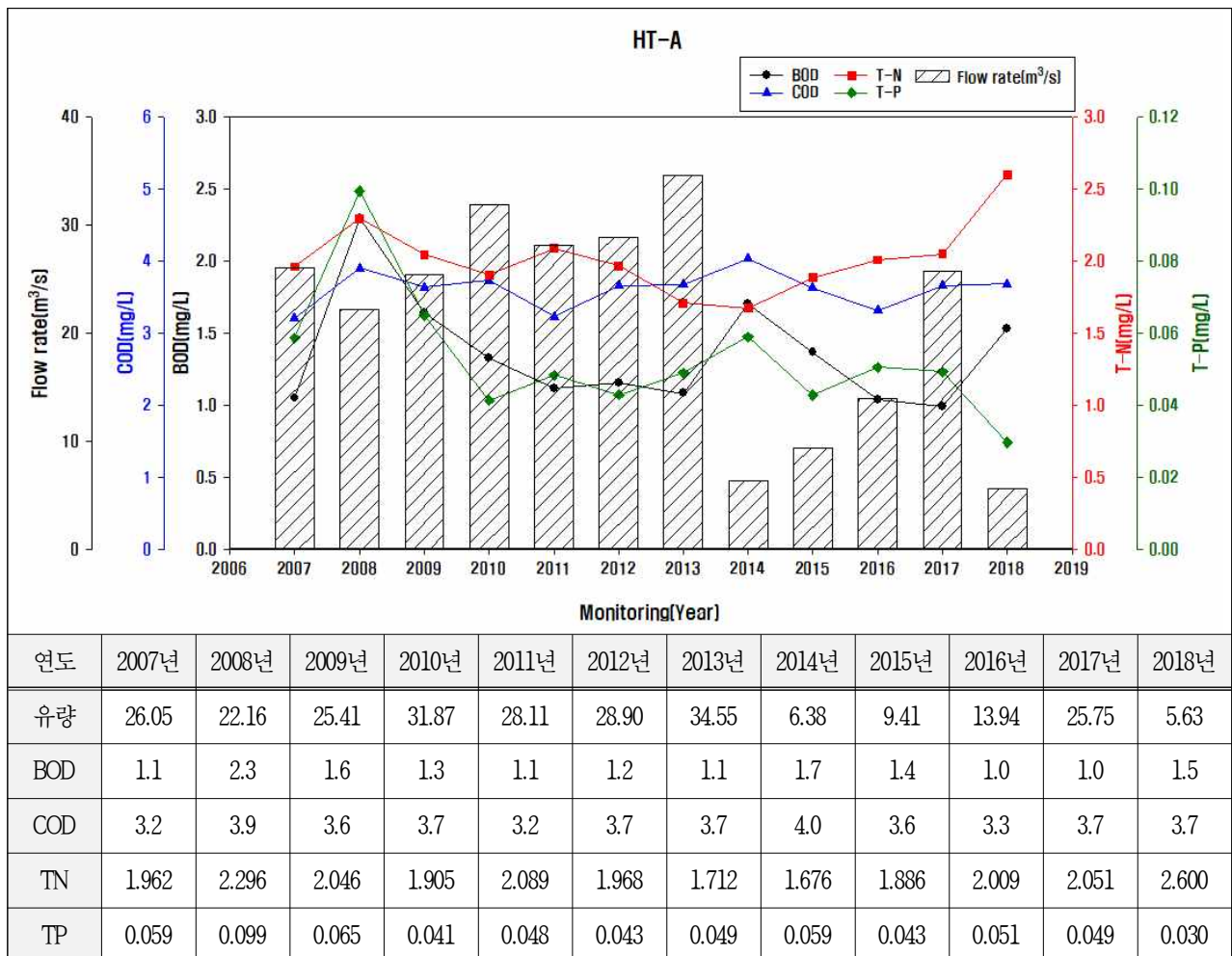


그림 2-35. 한탄A 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

환경부 물환경정보시스템의 조사자료(2004년 1월부터 2018년 3월까지)를 토대로 임진강 수계 한탄B 지점의 연평균 유량과 수질농도를 <그림 2-36>에 나타내었다.

한탄B 지점의 유량은 2007년부터 2013년까지는 큰 변화를 보이지 않다가 2014년부터 2016년까지는 강우량이 평년보다 적어서 유량이 감소하였고, 이후 꾸준히 증가하여 2017년에는 유량이 회복된 것으로 나타났다.

연평균 BOD는 2014년에 급격히 증가한 것을 제외하면 전체적으로 감소하는 경향을 보였으며, 2018년 평균 BOD는 4.1 mg/L, 수질등급은 III등급(보통)으로 나타났다. 연평균 COD는 BOD와 비슷한 경향을 보였으며, 2018년 평균 COD는 8.1 mg/L, 수질등급은 IV등급(약간 나쁨)으로 나타났다. 연평균 T-N은 2018년에 급격히 증가하였으며, 2018년 평균 T-N은 7.728 mg/L로 나타났다. 연평균 T-P는 2008년에 급격히 증가한 이후 전체적으로 감소한 후 지속되는 경향을 보였으며, 2018년 평균 T-P는 0.067 mg/L, 수질등급은 II등급(약간 좋음)으로 나타났다.

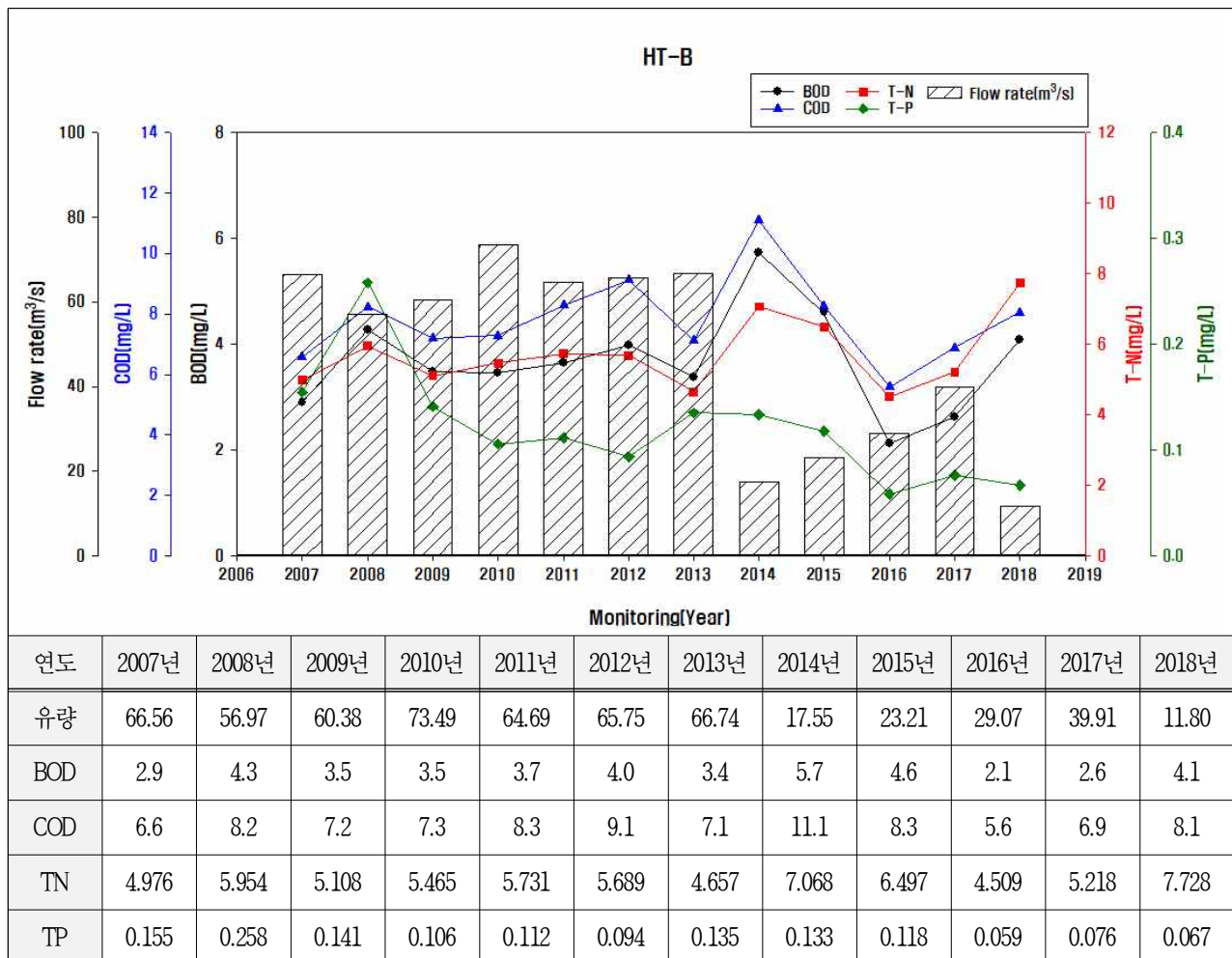


그림 2-36. 한탄B 지점의 연평균 유량과 수질농도

※ 2018년 자료는 환경부 물환경정보시스템의 2018년 1월 ~ 3월까지의 조사자료임.

제5절 수문기상 특성

1. 한강권역의 기상 현황

한강권역의 기상은 한반도의 중심부(북위 36° 30′ ~ 38° 55′, 동경 126° 24′ ~ 129° 02′)에 위치하고 있기 때문에 대체로 한반도 전체의 기후 및 기상을 대표한다고 할 수 있다. 유역면적은 총 41,956.97 km²이고, 이 중 휴전선 이북의 면적 8,953.88 km²를 제외하면, 남한의 한강권역 면적은 33,003.09 km²이다. 여름에는 남동계절풍의 영향으로 고온 다습하고 겨울에는 북서 계절풍의 영향으로 한랭 건조한 전형적인 대륙성 기후를 나타내고 있다. 한강권은 크게 한강, 안성천, 한강동해, 한강서해 권역의 4개 대권역으로 구분되고 중권역 30개, 표준유역 289개로 구분된다. 한강권역의 국가하천은 총 43개이며, 지방 1급 하천과 지방 2급 하천을 합쳐 907개에 달달하고, 한강 본류의 제천천, 달천, 섬강, 청미천, 경안천, 안양천과 북한강의 소양강, 홍천강, 한강 하류부에서 합류하는 임진강 등이 있다.

봄에는 발달된 양쯔강기단이 동서방향으로 위치하여 이동성 고기압으로 한반도를 통과하면 장기간 맑은 날씨가 지속되며, ‘봄가뭄’이 초래되기도 한다.

여름에는 시베리아기단이 크게 약화되어 소규모로 시베리아 북부에 위치하며, 북태평양기단이 서서히 북상하게 되어, 두 기단의 경계를 나타내는 한대전선대는 대략 6월 중순에 한반도의 남부, 6월 하순 초반에서 7월 상순에 한반도 중부, 7월 하순이면 만주로 북상하게 된다. 한대전선대가 한반도에 위치할 때 많은 강수가 연속적으로 내리는 장마가 되며, 대략 6월 하순에 시작하여 약 30일 정도 지속되나 간헐적으로 강수강도가 강화되어 국지적으로 집중호우를 나타내 많은 피해를 초래하기도 한다. 한반도의 대부분 지역에서 여름 강수량의 반 이상이 이 장마기에 집중된다. 장마기가 지난 후 습기가 많고, 온도가 높은 무더운 날씨를 보이지만, 불안정한 대기상태가 될 경우가 많아 소나기와 뇌우 등이 국지적으로 잘 발달하기도 한다. 또한 북태평양고압대의 중심 위치의 북상으로 6월과 9월 사이에는 저위도에서 형성된 열대저기압이 태풍으로 발달하여 연 2~3개 정도가 북상하며, 한반도에 접근하는 태풍의 빈도는 8월이 가장 많고, 9월, 7월의 순으로 많다.

가을철에는 8월 하순에서 9월 하순사이에는 중국 만주지방에 위치하고 있던 한대전선대가 한반도로 남하해서 한반도는 가을장마라고 하는 가을비가 빈번하게 내리는데 시베리아기단은 빠르게 발달하므로 가을장마는 단기간에 끝나는 경향이 있어서 뚜렷이 드러나지 않는 해가 많다.

겨울철에는 시베리아고기압과 알류산저기압이 거의 정체성을 띠면서 강력하게 발달하므로 한반도는 북서풍이 자주 불며, 시베리아기단의 장출경로가 북쪽일수록 기단의 변질이 적어서 한반도에 추운 날씨를 초래한다. 장출경로가 중국 화북지방에서 남동방향일 경우 한반도의 남서해안지역에서, 만주지방으로 장출하는 경우는 영동지방에 강설 현상이 나타난다(기상청, 2014).

2. 모니터링 지점별 강수 현황

한강수계 하천 모니터링 조사지점별(135개 지점) 강수량 현황을 <표 2-4>에 나타내었다.

표 2-4. 유량 및 수질 측정지점별 강수량 현황

(단위 : mm)

순서	하천명	지형지물	2017년						2018년					총 강수량
			7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	
경기-001	경안천	마평교	532	305	40	26	34	38	8	29	85	159	269	1,525
경기-002	금학천	금북교	532	305	40	26	34	38	8	29	85	159	269	1,525
경기-003	양지천	고진교	532	305	40	26	34	38	8	29	85	159	269	1,525
경기-004	대대천	고림교	659	310	25	23	39	33	6	44	82	148	243	1,612
경기-005	영문천	배머루교	659	310	25	23	39	33	6	44	82	148	243	1,612
경기-006	신대천	신대1교	659	310	25	23	39	33	6	44	82	148	243	1,612
경기-007	초하천	초현교	659	310	25	23	39	33	6	44	82	148	243	1,612
경기-008	경안천	월촌교	664	310	41	21	31	25	5	44	83	115	201	1,540
경기-009	중대천	장지교	680	272	27	25	35	24	4	16	71	94	214	1,462
경기-010	목현천	송정교	680	272	27	25	30	24	4	16	71	94	214	1,457
경기-011	곤지암천	동남교	680	272	27	25	38	24	4	16	71	94	214	1,465
경기-012	노곡천	곤재교	680	272	27	25	30	24	4	16	71	94	214	1,457
경기-013	곤지암천	선린교	680	272	27	25	30	24	4	16	71	94	214	1,457
경기-014	신월천	신월2교	680	272	27	25	30	24	4	16	71	94	214	1,457
경기-015	번천	번천1교	699	322	34	38	30	33	5	23	81	118	256	1,639
경기-016	번천	무명교	699	322	34	38	30	33	5	23	81	118	256	1,639
경기-017	우산천	오리교	608	313	21	42	35	28	6	31	65	153	230	1,532
경기-018	장암천	오미교	494	271	26	20	39	28	8	28	74	144	187	1,319
경기-019	중리천	구만리교	494	271	26	20	32	28	8	28	74	144	187	1,312
경기-020	신통천	이천환경사업소	494	271	26	20	20	28	8	28	74	144	187	1,300
경기-021	죽당천	고백교	494	271	26	20	32	28	8	28	74	144	187	1,312
경기-022	송말천	당바위교	494	271	26	20	29	28	8	28	74	144	187	1,309
경기-023	도리천	무명교	555	316	59	20	46	26	7	34	74	128	206	1,471
경기-024	해룡천	응암교	494	271	26	20	32	28	8	28	74	144	187	1,312
경기-025	대신천	숫단교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-026	죽산천	다라물농원	591	308	29	29	32	27	11	28	71	132	165	1,423
경기-027	석원천	도경계	555	316	59	20	29	26	7	34	74	128	206	1,454
경기-028	석원천	고당교	555	316	59	20	42	26	7	34	74	128	206	1,467
경기-029	제요천	제요교	555	316	59	20	32	26	7	34	74	128	206	1,457
경기-030	청미천	월포2교	555	316	59	20	32	26	7	34	74	128	206	1,457
경기-031	설성천	풍계교	555	316	59	20	31	26	7	34	74	128	206	1,456
경기-032	금곡천	금곡천	526	312	29	15	32	27	8	32	66	125	217	1,389
경기-033	연양천	신진교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-034	간매천	이호교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-035	금당천	금당교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-036	소양천	하동교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-037	한천	천남2호수문	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-038	곡수천	보통교	447	259	29	13	26	23	4	16	56	137	180	1,190
경기-039	용담천	희망교	758	362	58	28	35	30	7	36	96	151	239	1,800
경기-040	덕평천	오빈교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-041	항금천	강하교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-042	흑천	여물교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-043	용두천	용두교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-044	흑천	청운교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-045	벗고개천	벗고개천	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387

표 2-4. 유량 및 수질 측정지점별 강수량 현황(계속)

(단위 : mm)

순서	하천명	지형지물	2017년						2018년					총 강수량
			7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	
경기-046	고송천	무명교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-047	부안천	봉상교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-048	흑천	삼가교	540	343	42	35	23	15	3	26	49	66	245	1,387
경기-049	지평천	송현1교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-050	용문천	마룡교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-051	연수천	다문교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-052	흑천	백산교	554	307	21	27	31	29	1	36	72	132	185	1,395
경기-053	가평천	도대리상교	501	431	28	28	23	20	3	51	31	119	204	1,439
경기-054	가평천	항아리교	501	431	28	28	23	20	3	51	31	119	204	1,439
경기-055	백둔천	대원사 인접	501	431	28	28	23	20	3	51	31	119	204	1,439
경기-056	화악천	목동2교	501	431	28	28	23	20	3	51	31	119	204	1,439
경기-057	승안천	계량교	523	346	51	45	20	17	3	34	29	137	233	1,438
경기-058	달전천	오목교	523	346	51	45	20	17	3	34	29	137	233	1,438
경기-059	미원천	장돌교	655	398	34	58	44	26	2	35	83	190	290	1,815
경기-060	조종천	운악교	520	330	65	27	24	32	4	35	39	129	236	1,441
경기-061	마일천	이문안교	520	330	65	27	24	32	4	35	39	129	236	1,441
경기-062	십이탄천	반계교	520	330	65	27	24	32	4	35	39	129	236	1,441
경기-063	조종천	대보교	520	330	65	27	24	32	4	35	39	129	236	1,441
경기-064	상천천	오촌교	519	320	28	45	41	33	3	36	52	176	232	1,485
경기-065	구운천	내구운교	519	320	28	45	41	33	3	36	52	176	232	1,485
경기-066	벽계천	수입교	655	398	34	58	44	26	2	35	83	190	290	1,815
경기-067	월산천	제2금남교	519	320	28	45	41	33	3	36	52	176	232	1,485
경기-068	목현천	제1금남교	519	320	28	45	41	33	3	36	52	176	232	1,485
경기-069	시우천	송촌교	459	302	19	43	41	33	3	36	52	176	232	1,396
경기-070	진중천	진중교	459	302	19	43	41	33	3	36	52	176	232	1,396
경기-071	산음천	산음천	517	280	41	38	28	24	2	26	34	128	212	1,330
경기-072	벽계천	제1대자교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-073	공릉천	봉일천교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-074	고산천	고산교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-075	소리천	와동새마을교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-076	굴포천	무명교	441	279	27	20	39	37	4	28	49	128	198	1,250
경기-077	갈현천	갈현천	697	345	24	33	32	39	4	41	93	114	176	1,598
경기-078	학의천	비산교	566	303	20	43	32	36	3	25	79	105	168	1,380
경기-079	목감천	노온사교	469	266	21	22	39	40	3	31	71	117	179	1,258
경기-080	엄현천	부평교	534	363	31	30	29	43	2	31	44	94	212	1,413
경기-081	진별천	광릉교 앞	534	363	31	30	29	43	2	31	44	94	212	1,413
경기-082	봉산사천	부대 앞	534	363	31	30	29	43	2	31	44	94	212	1,413
경기-083	진건천	연평교	534	363	31	30	29	43	2	31	44	94	212	1,413
경기-084	사릉천	진관교	645	329	26	26	33	41	6	25	50	128	256	1,565
경기-085	갈매천	갈매교차로	645	329	26	26	33	41	6	25	50	128	256	1,565
경기-086	왕숙천	무명교	645	329	26	26	33	41	6	25	50	128	256	1,565
경기-087	왕숙천	왕숙교	645	329	26	26	33	41	6	25	50	128	256	1,565
경기-088	부용천	부용교	548	370	32	24	27	31	2	30	44	128	203	1,439
경기-089	백석천	동의교	548	370	32	24	27	31	2	30	44	128	203	1,439
경기-090	탄천	언남동 456-30	710	368	35	33	34	36	7	32	85	133	241	1,714

표 2-4. 유량 및 수질 측정지점별 강수량 현황(계속)

(단위 : mm)

순서	하천명	지형지물	2017년						2018년					총 강수량
			7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	
경기-091	성북천	죽전동 1423	710	368	35	33	34	36	7	32	85	133	241	1,714
경기-092	탄천	수내교	585	305	32	31	39	36	6	28	97	140	214	1,513
경기-093	분당천	무명교	585	305	32	31	19	36	6	28	97	140	214	1,493
경기-094	운중천	매송교	694	343	27	42	39	40	6	37	88	134	229	1,679
경기-095	여수천	여수천교	668	342	22	38	29	41	3	58	81	132	263	1,677
경기-096	세곡천	세곡3교	576	281	19	33	39	36	3	25	67	124	210	1,413
경기-097	산곡천	산곡3교	456	302	19	43	44	29	4	25	61	119	209	1,311
경기-098	덕풍천	덕풍교	459	302	19	43	44	29	4	25	61	119	209	1,314
경기-099	월문천	덕소2교	537	273	22	24	11	23	1	55	49	127	258	1,380
경기-100	홍릉천	석실교	537	273	22	24	11	23	1	55	49	127	258	1,380
경기-101	창릉천	제2화전교	441	279	27	20	20	37	4	28	49	128	171	1,204
경기-102	창릉천	창릉교	441	279	27	20	20	37	4	28	49	128	171	1,204
경기-103	문산천	월릉교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-104	갈곡천	봉암교	419	272	26	14	13	31	3	29	39	115	242	1,203
경기-105	동문천	문산1교	349	262	32	12	14	19	7	25	33	116	194	1,063
경기-106	신천	운암잠수교	361	323	29	17	22	24	6	46	41	113	197	1,179
경기-107	창암하천	화전교	361	323	29	17	22	24	6	46	41	113	197	1,179
경기-108	상패천	강변교	361	323	29	17	22	24	6	46	41	113	197	1,179
경기-109	신천	신천교	361	323	29	17	22	24	6	46	41	113	197	1,179
경기-110	동두천	원터교	361	323	29	17	22	24	6	46	41	113	197	1,179
경기-111	영평천	무명교	437	344	52	17	29	22	6	21	27	121	249	1,325
경기-112	수입천	맑은교	437	344	52	17	33	22	6	21	27	121	249	1,329
경기-113	영평천	사은교	364	363	35	11	33	15	3	14	24	83	243	1,188
경기-114	포천천	가산교	448	405	25	23	29	2	1	26	32	135	241	1,367
경기-115	포천천	한내교	421	432	27	24	29	23	6	27	35	137	265	1,426
경기-116	명덕천	만세교	364	363	35	11	39	15	3	14	24	83	243	1,194
경기-117	포천천	은현교	364	363	35	11	29	15	3	14	24	83	243	1,184
경기-118	영평천	영평교-1	364	363	35	11	24	15	3	14	24	83	243	1,179
경기-119	외북천	영평교-2	364	363	35	11	29	15	3	14	24	83	243	1,184
경기-120	임진강	임진교	326	323	24	7	15	8	4	11	14	116	229	1,077
경기-121	황궁천	설운교	326	323	24	7	15	8	4	11	14	116	229	1,077
경기-122	임진강	삼화리 242-4	383	368	37	11	25	20	1	26	35	123	229	1,258
경기-123	간파천	무명교	383	368	37	11	25	20	1	26	35	123	229	1,258
경기-124	임진강	비룡대교	383	368	37	11	25	20	1	26	35	123	229	1,258
경기-125	석장천	전동교	348	325	38	10	20	15	3	17	42	118	197	1,133
경기-126	설마천	가월1교	348	325	38	10	20	15	3	17	42	118	197	1,133
경기-127	늘노천	금파교	348	325	38	10	20	15	3	17	42	118	197	1,133
경기-128	두포천	두포교	348	325	38	10	20	15	3	17	42	118	197	1,133
경기-129	대교천	봉우교	537	349	19	8	39	14	6	13	32	123	251	1,391
경기-130	한탄강	무명교	537	349	19	8	33	14	6	13	32	123	251	1,385
경기-131	한탄강	용담교	537	349	19	8	29	14	6	13	32	123	251	1,381
경기-132	부소천	문암교	537	349	19	8	33	14	6	13	32	123	251	1,385
경기-133	한탄강	영노교	364	363	35	11	29	15	3	14	24	83	243	1,184
경기-134	한탄강	사랑교	383	368	37	11	25	20	1	26	35	123	229	1,258
경기-135	차탄천	장진교	326	323	24	7	15	8	4	11	14	116	229	1,077

제3장 유량·수질 모니터링 방법

제1절 유량 모니터링 방법

1. 유량 모니터링 개요

하천 유량은 단위시간에 일정 횡단면을 통과하는 물의 양을 의미하며, 그 양은 시시각각으로 변한다. 하천 유량측정의 목표는 유량측정이 수위와 같이 연속관측하기 어렵기 때문에 한정된 횡수의 유량측정 성과를 바탕으로 **한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립**을 위한 자료로 활용하고 향후 수질오염총량관리계획 이행평가 등 **모니터링 기반을 구축하고 환경적으로 건전하고 지속가능한 유역개발을 위한 과학적 토대로 구축**하는데 있다.

한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위해서는 하천의 유량측정은 필수적이며, 따라서 유량측정 자료는 신뢰성이 높아야 한다. 이를 위해서 최적의 유량측정 지점을 선정하고 수질오염공정시험기준, 하천유량측정지침, 수문관측매뉴얼 등에 있는 유량측정방법을 준수하여 유량측정의 정확도를 높였다.

본 연구에서 수행한 유량산정방식은 유속-면적법(velocity-area method)으로 소단면의 평균유속을 측정하고 이를 단면적으로 곱하여 유량을 산정하는 방식이다.

2. 유량 모니터링 장소

정확한 유량 산정을 위해 다음과 같은 사항을 고려하여 지점별로 유량측정에 적합한 곳을 선정하였다.

- ① 하상변동이 적은 곳
- ② 여울이나 사수역이 없고, 안정된 곳
- ③ 하천 양안 및 관측구간의 시야가 확보된 곳
- ④ 유속선이 각자 평행한 직선구간
- ⑤ 하상이 평평해서 소도의 연직성분이 발생하지 않는 곳
- ⑥ 보의 직상하류, 댐의 직하류, 대규모 도수 직 상하류에서는 안정된 흐름이 되는 곳까지 거리를 둔 곳

각 지점의 측정위치 선정은 공사 등으로 부득이하게 측정 장소를 옮겨야 하는 이유를 제외하고 동일한 장소에서 실시하였다.

3. 유량측정 장비

○ 측정 장비 : Flowtracker-2(유속계), Tagline(하폭 측정), Staff(수심 및 하폭 측정) 등

Flowtracker-2 (유속계)	ADCP(Advanced Display Core Processor)
	
Valeport 106 (교량용)	Price AA 유속계
	
Tagline (하폭 측정)	Staff (수심 및 하폭 측정)
	

그림 3-1. 유량 측정을 위한 참여기관의 보유장비

- Staff : Staff는 수심을 측정할 때에 이용하였다. Staff를 이용하여 수심을 측정할 경우 항상 연직수심을 원칙으로 하여 측정하였으며, 최대한 동일단면에서 측정을 하였다. 또한, 큰 돌이나 물의 흐름을 방해할 수 있는 장애물이 있을 경우에는 제거 후 흐름이 안정될 때 수심을 측정하였다. 단위는 mm단위로 읽었다.
- 유속계(FlowTracker-2) : 본 과업에서 사용한 유속계는 Sontek사의 FlowTracker-2를 이용하였다. 도섭법에 의해 유속을 측정할 수 있는 장비로써 초음파를 이용하여 유속을 측정한다.
- Tagline : 단면의 임의의 지점까지의 거리는 수면이 시작되는 지점으로부터 측정한다.

도섭, 보트, 표기가 없는 교량에서의 측정은 주로 tagline이 사용된다. 본 과업에서도 tagline을 사용하여 측정간격을 나누었다. Tag의 지점 위치를 파악하기 위해 1 m마다 눈금표시가 되어있으며, 10 m 마다 추가 눈금이 표시되어 눈금을 두 개로 표시되어 있다.

4. 유량측정 방법

일반 하천에서 유량측정 방법은 하천의 조건에 따라 다르다. 전통적인 방법으로는 크게 구조물에 의한 방법, 유속계 측정에 의한 유속 면적법, 부자에 의한 유속 면적법, 그리고 희석법 등이 있다. 본 과업에서는 현장에 가장 적용하기 좋은 유속-면적법을 이용하여 유량측정을 수행하였다. <표 3-1>에서는 일반적인 하천 유량측정방법을 나타내었다.

표 3-1. 일반적인 하천 유량측정방법

측정방법		적용대상	특징	일반 하천	소하천 인공수로
유속 측정 방법	유속계	일반 하천에서의 홍수 및 평저수지 인공수로	적은비용, 편리성, 정확도 높음, 가장 일반적	○	○
	부자	대하천 홍수량 측정 시	적은비용, 편리성, 정확도 적음	○	○
	전자파 표면 유속계	일반 하천에 설치된 교량에서 측정 시	유속, 유량이 많은 경우, 야간측정, 안 전한 유량측정	○	○
	초음파 측정법	홍수유출량, 조수영향을 받는 수로, 수위-유량 관계식 유도 힘든 지역 수초지역 및 실트질 바닥은 부적합	연속 측정 가능, 유사량이 없는 곳, 설 치비용이 많음	○	○
	희석법	계류나 소하천, 저수 시 일반하천, 인공수로	단면내 유속의 불분포와 무관하여 측정 검증에 적합	-	○
	경사- 면적법	대하천 홍수 시 유량측정을 못한 경우 간접 측정하는 방법	상하류 수위혼선에 의한 수면경사, 단 면적으로 계산	-	○
수위 측정 방법	웨어 및 플룸	계류, 소하천, 인공수로	설치비용 많음 편리성, 정확도 높음, 관개수로에 가장 일반적	○	○
기타	음향법	소하천, 인공수로	유속측정법	-	○
	수중 오리피스	인공수로	수위측정법	-	○
	피토관	소하천, 잡초지역에 유리	수위측정법, 빠른 유속 호 름에 적합, 정확도 낮음	○	○
	용적법	웨어 또는 플룸 검증	직접유량측정법, 아주 적은 유량에 적합, 정확	○	○

유속 측정방법은 다음과 같이 다양한 방법이 있으나 일반적으로 점유속을 측정하는 방법을 사용하고 있다.

- ① 점유속을 측정하는 방법 : 유속계 및 부자를 사용
- ② 수면경사를 이용하는 방법

- ③ 위어를 이용하는 방법
- ④ 약품농도의 희석을 이용하는 방법
- ⑤ 수중을 투과하는 물리량에 의하여 측정하는 방법(전자, 초음파 유량계)
- ⑥ 간접유량측정방법

본 과업에서의 유속측정은 점유속을 측정하는 방법으로 하였으며, 평·저수시 유속측정은 하천법 제18조제1항의 규정에 의거하여 도섭법으로 수행하였다. 하지만 도섭이 불가능한 지역은 추내림법(교량)을 이용하여 유속을 측정하였다.

표 3-2. 유속 측선수의 국제기준 비교

수면폭 (m)	ISO748			일본 수문관측	
	횡수		측선간격(m)	측선간격(m)	횡수
20 이하	수면폭	측선수	간격	2	10 이하
	0 ~ 0.5	3 ~ 4	0.125		
	0.5 ~ 1	4 ~ 5	0.125 ~ 0.2		
	1 ~ 3	5 ~ 8	0.2 ~ 0.375		
	3 ~ 5	8 ~ 10	0.375 ~ 0.5		
	5 ~ 10	10 ~ 20	0.5		
10 이상	20 이상	0.5 이상			
20 ~ 40	20개 이상, 다만, 각 구간에서의 유량이 전체 유량의 5% 미만인 되도록 하여야 하며 가능한 한 10%를 초과하지 않아야 한다. 수로가 충분히 균등한 경우 위에서의 사항들과 상관없이 측선수를 줄이거나 측선과 간격을 균등히 하는 것도 가능하다.		1 ~ 2	4	5 ~ 10
40 ~ 60			2 ~ 3	6	7 ~ 10
60 ~ 80			3 ~ 4	8	8 ~ 10
80 ~ 100			4 ~ 5	10	8 ~ 10
100 ~ 150			5 ~ 7.5	12	9 ~ 13
150 ~ 200			7.5 ~ 10	20	8 ~ 10
200 이상			10 이상	30	7 이상

ISO 기준은 횡수로 표시되어 있으며, 거리(m)는 환산한 것임.

국토해양부 유량측정 연구지시서는 거리(m)로 표시되어 있으며, 횡수는 환산한 것임.

ISO 기준은 횡수로 표시되어 있으며, 거리(m)는 환산한 것임.

국토해양부 유량측정 연구지시서는 거리(m)로 표시되어 있으며, 횡수는 환산한 것임.

유속 측정시간은 유속기준으로 0.2 m/s 이하인 경우 120초 이상, 0.2 m/s 초과인 경우 40초 동안 측정하였다. 단, 수위 급변시 측정 시간을 20초로 단축한다. 유속 측선수와 측선간격 배치 기준을 ISO(ISO 748, 2007)32), 일본 및 우리기준을 비교 검토하면 <표 3-2>와 같이 측선수의 기준이 조금씩 상이한 것으로 나타났다. 즉, ISO 기준은 하폭이 10 m 이상일 경우 20개 이상의 측선수를 확보할 것을 권장하고 있으며, 하폭이 10 m 이하인 경우는 20개미만으로 하폭에 따라 측선수를 줄이도록 하고 있다. 측선의 간격 또한 ISO는 각 측선의 구간 유량이 전체 유량의 5% 미만이 되도록 하며, 가능한 한 10%를 초과하지 않도록 할 것을 제안하고 있다. 유량측정 기준에 관한 사항은 <표 3-2>에 나타내었다. 본 과업에서는 측선수와 측정수를

<표 3-3> 및 <표 3-4>와 같이 수행하였다.

표 3-3. 유량 측정 기준 측선수

수면폭 (m)	0~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	3.0~5.0	5.0~10.0	10~100	100~200
유속 측선수	3~4	4~5	5~8	8~10	10~20	20~25	25~30

표 3-4. 유량 측정 기준 측점수

수심(m)	0.6 이하	0.6~1.0	1.0 이상
수심 측점수	1점법 (0.6h)	2점법 (0.6h, 0.8h)	3점법 (0.2h, 0.6h, 0.8h)

※ 수위급변 시 측점수 단축, 측점수 준수 여부는 평균수심 대비 평균 측점수를 이용하여 분석 실시

- 측정방법 : 수질오염공정시험방법기준 및 하천유량측정지침에 준하며, 하천법 제18조제1항의 규정에 의거하여 도섭법으로 수행함. 즉, 조사대상지점에서 하상 특성에 적합하게 일정구간을 구획하여 구간별 유속(유속계 이용)을 측정하고, 대상지점에서의 하상단면(수심, 하폭)을 작성하여 실측된 유속과 하상단면값을 이용하여 유량을 산정함(등유량법). 단, 조사지점의 지형적 특성(접근성) 및 강우로 인한 유량의 급격한 증가로 도섭법으로 유량측정이 불가능한 경우에는 인근 교량에서 측정

	도섭법	교량법
사진		
장점	• 유속의 흐름을 확인 • 정확한 유량 측정 • 적은 인원으로 측정 가능	• 큰 하천에 효율적으로 측정 가능 • 빠른 유속에도 가능 • 수심의 제약이 크지 않음
단점	• 유속, 수심에 대한 제약이 많음	• 교각에 의한 와류 등으로 오차 발생 • 유속 확인이 불가능

그림 3-2. 조사대상지점의 유속측정 방법

○ 측정순서 : 신뢰성 있는 유량측정 및 불확도를 줄이기 위해 다음과 같은 순으로 진행함

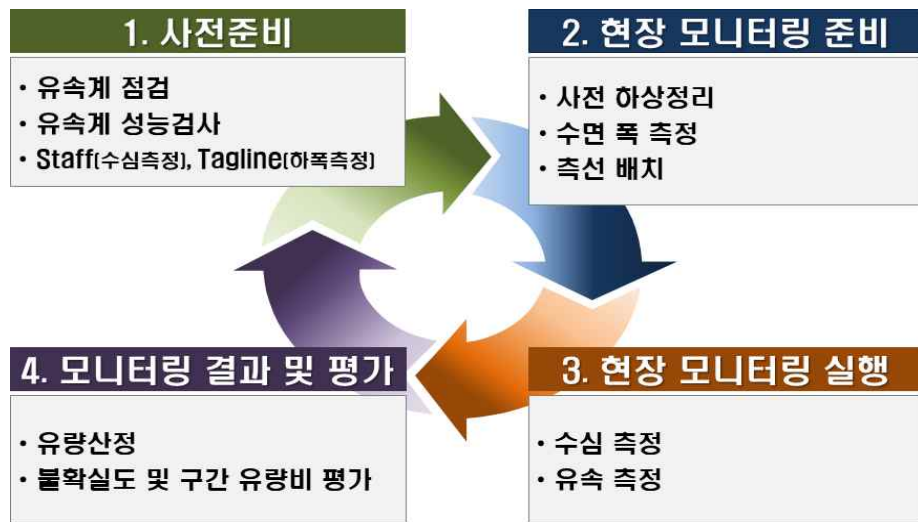


그림 3-3. 유량 모니터링 수행절차

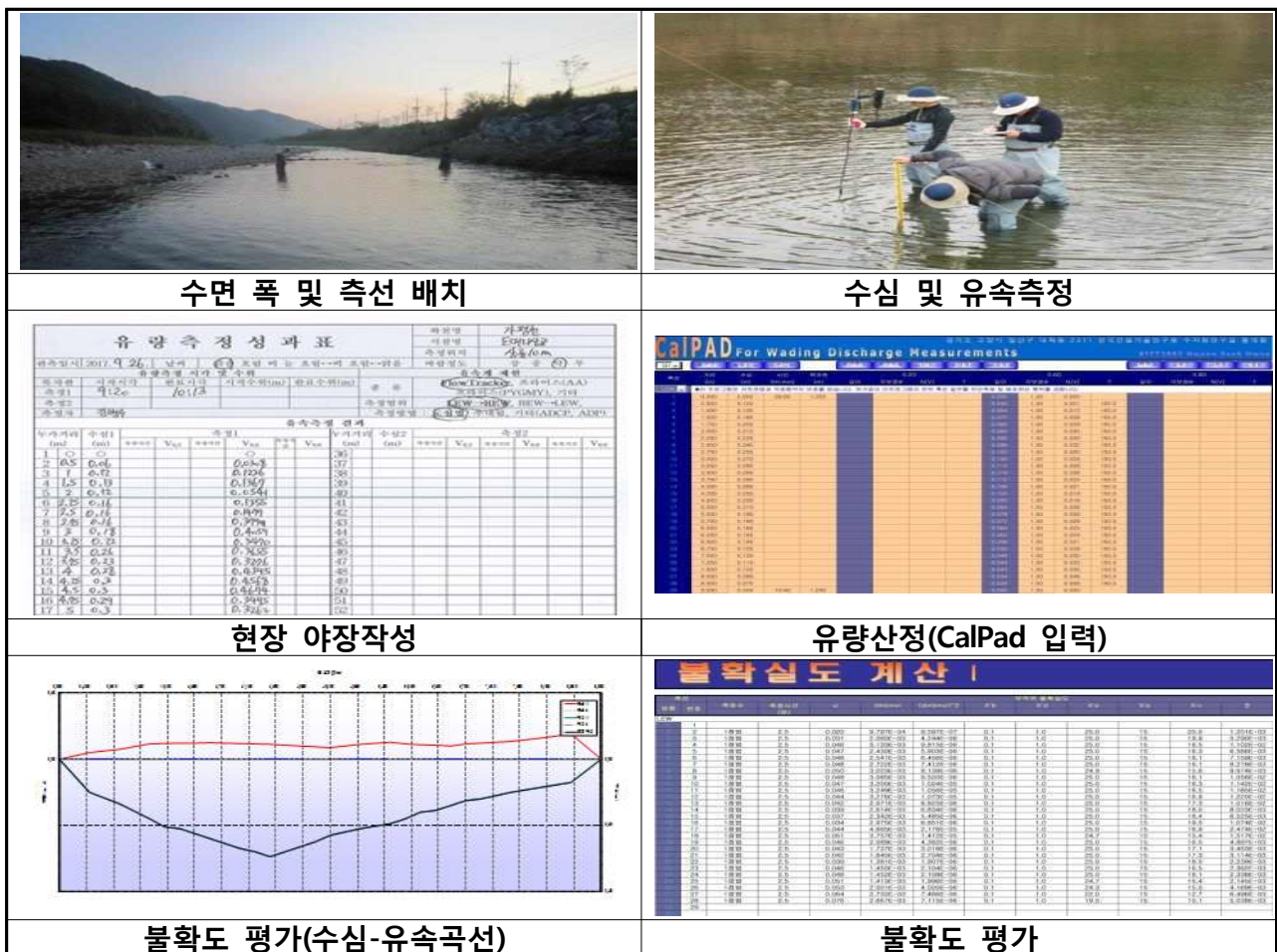


그림 3-4. 하천 유량측정 절차

유량산정은 각 측선별로 단면적을 산정한 후 측정된 점유속을 평균유속으로 환산하여 단면적과 평균유속을 곱함으로써 구간 유량을 산정한다. 모든 측선에 대하여 산정된 구간 유량을 합산함으로써 해당 수위에 대한 유량으로 산정되며, 산정된 유량은 불확실도 분석을 통해 등급을 평가할 수 있다(한국건설기술연구원, 2004).

○ 평균유속의 산정

측정된 점유속을 이용하여 평균유속을 구하는 방법은 정밀법, 1~6점법, 수표면 일점법 등이 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- 정밀법 : 수면으로부터 0.3 m 깊이마다 유속을 측정하여 연직방향의 유속곡선을 그린 다음 유속곡선의 면적을 총 수심으로 나누어 평균유속을 구하는 방법이다.
- 1점법 : 수면 기준으로 수심 h 의 $0.6h$ 인 지점의 유속을 측정하여 이를 평균유속으로 한다.
- 2점법 : 수면 기준으로 수심 h 의 $0.2h$, $0.8h$ 인 지점의 유속을 측정하여 평균유속을 구하는 방법이다.
- 3점법 : 수면 기준으로 수심 h 의 $0.2h$, $0.6h$, $0.8h$ 인 지점의 유속을 측정하여 평균유속을 구하는 방법이다.
- 5점법 : 수면 기준으로 수심 h 의 $0.2h$, $0.6h$, $0.8h$ 인 지점과 수면과 하상 가까이의 유속을 측정하여 평균유속을 구하는 방법이다.
- 6점법 : 수면 기준으로 수심 h 의 $0.2h$, $0.4h$, $0.6h$, $0.8h$ 인 지점과 수면과 하상 가까이의 유속을 측정하여 평균유속을 구하는 방법이다.
- 수표면 일점법 : 유속이 빨라 수면 아래 적정한 위치에 놓을 수 없는 경우나 위에서 기술한 방법이 적합하지 않은 복잡한 다른 조건일 경우 유속을 수면 바로 아래 지점에서 관측하는 방법이다. 측정된 수표면 유속을 평균유속으로 환산하기 위한 계수는 일반적으로 $0.84\sim0.90$ 의 값을 가지며, 하상이 매끈한 경우는 $0.88\sim0.90$ 정도의 값을 가지는 것으로 알려져 있다.

본 사업에서는 주로 1~3점법의 점 유속을 측정하였으며, 위에서 제시한 방법에 의해 평균유속을 산정하였다.

제2절 수질 모니터링 방법

1. 수질 모니터링 개요

○ 수질변화 모니터링

- 조사주기 : 경제활동 등으로 인한 요일별 수계 내 수리·수문 및 수질변동 특성을 반영하기 위해 **지점별 평균 8일 간격으로 총 36회 이상(유량모니터링 주기와 일치)**

○ 조사지점 : 유량모니터링 지점과 동일한 지점에서 수질모니터링 실시

- 현장측정 : 독일 Aqua Lytic AL15 meter 등을 이용하여 현장에서 수온, DO, pH 및 전기전도도 직접 측정
- 분석항목 : 현장에서 채수한 시료를 실험실에서 BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P, Chl-a, TOC, DTN, DTP 등 13개 항목을 즉시 분석
- 시료의 채취, 운반, 보존, 분석은 수질오염공정시험기준 준수

○ 시료채취 방법 : 시료채취는 수질을 정확히 대표하고 실험실에 도착할 때까지 조성의 변화가 일어나지 않도록 하여야 한다. 시료의 채취 및 보존 방법은 수질오염공정시험기준(환경부고시 제 2017-4호, 2017.1.11)의 ES 04130.1c 시료의 채취 및 보존방법(Collection and Preservation of Samples)에 따라 실시한다.

본 연구의 분석 항목인 수소이온농도(pH), 수온, DO, 전기전도도, BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P, Chl-a, TOC, DTN, DTP 등의 조사대상 항목과 관계된 시료 채취 시 주요 유의사항은 다음과 같다.

- 시료는 목적 시료의 성질을 대표할 수 있는 위치에서 시료채취용기 또는 채수기를 사용하여 채취해야 함
- 시료 채취 용기는 시료를 채우기 전에 시료로 3회 이상 씻은 다음 사용하며, 시료를 채울 때에는 어떠한 경우에도 시료의 교란이 일어나서는 안 되며 가능한 한 공기와 접촉하는 시간을 짧게 하여 채취하여야 함
- 시료채취량은 시험항목 및 시험횟수에 따라 차이가 있으나 보통 3 L~5 L정도이어야 하며, 다만 시료를 즉시 실험할 수 없어 보존하여야 할 경우 또는 시험항목에 따라 각각 다른 채취용기를 사용하여야 할 경우에는 시료채취량의 증감이 가능함
- 시료채취 시에 시료채취시간, 보존제 사용여부, 매질 등 분석결과에 영향을 미칠 수 있는 사항을 기재하여 분석자가 참고할 수 있도록 해야 함
- 용존 가스, 환원성 물질, 휘발성 유기화합물, 냄새, 유류 및 수소이온 등을 측정하기 위한 시료를 채취할 때에는 운반 중 공기와의 접촉이 없도록 시료 용기에 가득 채운 후 빠르게 밀봉하여야 함

- 유류 또는 부유물질 등이 함유된 시료는 시료의 균일성이 유지될 수 있도록 채취해야 하며, 침전물 등이 부상하여 혼입되어서는 안됨
- TOC를 측정하기 위한 시료 채취 시, 시료병은 가능한 외부의 오염이 없어야 하며, 이를 확인하기 위해 바탕시료를 시험하여야 함
- 시료병은 무균채수병(폴리에틸렌(PE, polyethylene))을 사용하여야 함
- 채취된 시료는 즉시 실험하여야 하며, 그렇지 못한 경우에는 시료의 보존방법에 따라 보존하고 규정된 시간 내에 실험하여야 함

○ 시료의 보존방법 : 채취된 시료를 즉시 실험할 수 없을 때에는 따로 규정이 없는 한 <표 3-5>에 나타난 보존방법에 따라 보존하고 어떠한 경우에도 보존기간 이내에 실험을 끝내야 한다.

표 3-5. 조사대상 항목별 시료의 보존방법

항목	시료용기*	보존방법	최대보존기간 (권장보존기간)
수소이온농도	P, G	-	즉시 측정
용존산소	BOD병	-	즉시 측정
전기전도도	P, G	4℃ 보관	24시간
수온	P, G	-	즉시 측정
총 유기탄소(TOC)	P, G	즉시 분석 또는 H ₃ PO ₄ 또는 H ₂ SO ₄ 를 가한 후(pH2) 4℃ 냉암소에서 보관	28일(7일)
생물화학적 산소요구량(BOD ₅)	P, G	4℃ 보관	48시간(6시간)
화학적 산소요구량(COD _{Mn})	P, G	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)
부유물질(SS)	P, G	4℃ 보관	7일
총질소(T-N), 용존성 총질소(DTN)	P, G	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)
총인(T-P), 용존성 총인(DTP)	P, G	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일
아질산성질소(NO ₂ -N)	P, G	4℃ 보관	48시간(즉시)
질산성질소(NO ₃ -N)	P, G	4℃ 보관	48시간
암모니아성 질소(NH ₃ -N)	P, G	4℃ 보관, H ₂ SO ₄ 로 pH 2이하	28일(7일)
인산염인(PO ₄ -P)	P, G	즉시 여과한 후 4℃ 보관	48시간
클로로필(Chl-a)	P, G	즉시 여과한 후 -20℃ 이하 보관	28일(7일)

* P : Polyethylene G : Glass

2. 수질항목별 분석기기

본 연구의 분석 항목인 수소이온농도(pH), 수온, DO, 전기전도도, BOD₅, COD_{Mn}, SS, T-N, T-P, NO₂-N, NO₃-N, NH₃-N, PO₄-P, Chl-a, TOC, DTN, DTP 등의 수질항목별 분석기기는 <표 3-6>~<표 3-7>에 나타내었다.

표 3-6. 현장측정 항목별 분석기기

항 목	분 석 방 법	
수온(Water Temperature)		
수소이온 농도(pH)		
전기전도도(EC)		
용존산소(DO)		

표 3-7. 실험실분석 항목별 분석기기

항 목	분 석 기 기	
생물화학적산소요구량(BOD ₅) - DO Meter - 배양기(인큐베이터)		
화학적산소요구량(COD _{Mn}) - 항온수조		
부유성고형물질(SS) - 정밀저울 - 드라이오븐		

표 3-7. 실험실분석 항목별 분석기기(계속)

항 목	분 석 기 기	
총질소(TN) 용존성총질소(DTN) 총인(TP) 용존성총인(DTP) - 연속흐름측정기		
아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$) 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$) 인산염인($\text{PO}_4\text{-P}$) -이온크로마토그래프		
총유기탄소(TOC) - TOC측정기(고온연소)		
암모니아성 질소($\text{NH}_3\text{-N}$) 클로로필-a -가시선/자외선 흡광광도계		

3. 수질 정도보증/정도관리(QA/QC)

1) 시료채취 정도관리(Field Quality Control)

시료채취 정도관리는 시료채취 장비 정도관리(Equipment Blank/Rinseate Blank), 시료채취 지점 정도관리(Field Duplicate) 시료를 각각 준비하여 분석하고 평가한다.

시료채취 장비 정도관리(Equipment Blank/Rinseate Blank)의 준비는 현장에서 시료를 채취하기 전에 시료채취 장비를 세척한 물을 분취하여 시료와 같은 조건으로 보존하여 분석한 결과를 가지고 평가한다. 특히, 세척에 사용하는 물은 분석실험실에서 준비된 3차 증류수를 사용하며, Equipment Blank/Rinseate Blank의 분석결과는 시료채취장비의 오염도를 평가할 뿐만 아니라 다른 유형의 바탕시험과 함께 시료채취 현장과 시료채취조건을 동시에 평가할 수 있다.

시료채취 지점 정도관리(Field Duplicate): 동일한 지점 및 유역 내에서 두개의 시료를 채취하여 시료채취 지점 정도관리를 평가하는데 사용한다. 이 시료들의 분석결과의 정확도로서 시료채취 방법과 분석방법의 능력을 평가할 수 있다.

2) 분석결과 정도관리 지표와 기준 (QA Objectives)

(1) 감도(Sensitivity)

검출한계는 화학분석(化學分析)을 이용하여 검출할 수 있는 최소 농도를 뜻하며 MDL (Method Detection Limit), LOD(Limit Of Detection)라고도 한다. 검출방법의 예민도를 나타내는 척도이며, 산술적으로 검출된 값이 0보다 클 확률이 99%이상이라는 것을 의미한다. 검출한계는 실제로 분석에 사용되는 방법과 동일한 절차와 시약을 가지고 수행해야 하며, 시료정상별로 요구되는 항목에 대해서 실시해야 한다. 구하는 방법은 일정한 양을 주입한 7개의 동일한 시료의 검출농도의 표준편차에 3.143을 곱한 것을 사용하며, 검출한계는 주입한 농도의 10% 보다 반드시 커야 한다.

정량하한은 실험실에서 구해진 검출한계에 실험기구 및 실험인력 및 시약에서 발생될 수 있는 불확도를 고려하여 검출한계의 2-10배 이내에서 정할 수 있다. ILAC의 규정에서는 MRL (Method Reporting Limit), LOQ(Limit Of Quatitation)라고도 하며, 시료를 휘석할 경우에는 시료의 정량하한은 희석 비율만큼 높아진다.

(2) 치우침(Bias)

실험실 바탕시험값(Method Blank): 정제수를 시료의 시험방법에 따라 시험한 결과로 한다.

검량선 기울기 또는 정량하한 농도의 표준액 측정치: 동일한 시험방법으로 측정한 검량선의

기울기(기기반응/농도) 또는 정량하한용 표준액의 측정치는 두 값 간의 차이가 평균의 20% 이하가 되도록 한다.

(3) 대표성(Representativeness)

실험실에서 시료를 취하거나 분석하는 과정을 통하여 분석값의 대표성이 달라질 수 있다. 동일한 지역에서 채취한 두 시료의 Duplicate나 아니면 동일한 시료병에서 취한 두 시료의 결과값의 RPD값으로서 분석결과의 대표성을 판단할 수 있다. 따라서 분석결과의 대표성은 시료채취의 과정에서 좌우된다고 하여도 과언이 아니다. 그러므로 시료 채취 시에 대표성이 유지될 수 있도록 분석에 알맞은 정확한 시료채취와 시료의 보관 및 운반조건을 수행해야 한다.

(4) 정밀도(Precision)

현장중복 시험값(Field sample variability): 시료채취 현장에서 연달아 두 번 채취한 시료의 측정값의 RPD가 20% 이하가 되도록 하며, 실험과정에서 Blank spike duplicate, Matrix spike duplicate, Matrix duplicate를 통해서 얻어진 측정치의 RPD가 20%이하가 되도록 한다.

$RPD = 100 (X_1 - X_2)/X_m$ (여기서, X_1 = 중복시료 중 하나의 측정값, X_2 = 중복시료 중 또 다른 하나의 측정값, X_m =중복시료의 평균 측정값)

(5) 정확도(Accuracy)

정제수 바탕 회수율(Blank Spike Recovery): 정제수에 표준물질을 검량선의 중간 농도로 첨가한 2개 시료를 실제 시료와 같은 방법에 따라 분석한 후 측정된 농도를 첨가된 농도의 백분율(%)로 한다. 회수율(%) = (측정된 농도/첨가된 농도) × 100

(6) 호환성(Compatibility)

중복시료 크로스체크 측정값(External Lab Test): 현장에서 일정한 지점에서 채취한 동일한 시료를 내부 실험실 및 선정된 외부 실험실 간에 공통 분석한다. 인증 표준시료(Certified Reference Material) 공통 분석은 제 3자가 제조한 인증 표준시료를 공통으로 분석한다.

3) 정도관리시료(Quality Control Sample)의 항목별 빈도와 방법

정도관리시료의 점검사항 및 주기, 허용기준 등을 <표 3-8>에 나타내었다.

본 사업에서 수질분석 업무체계는 <그림 3-5>에 나타난 바와 같이 수행된다. 시료채취와

분석은 참여기관별로 조사지점을 지정하여 용역기간동안 동일한 지점을 각 기관이 연속적으로 조사 및 결과취합을 하도록 하며, 최종검토 및 결과보고는 주관연구기관에서 담당하여 보고하도록 한다.

각 기관의 시료채취와 분석의 내부정도관리는 주관기관에서 담당하여, 각 기관별 기기 검보정, 검출한계 및 정량한계, 회수율 시험, 분석원 자격시험의 정도관리의 수행 및 결과를 검토하도록 한다. 최종적으로 용역의 결과보고서에는 정도관리의 결과를 토대로 정도관리 검증보고서로 제출하도록 한다.

표 3-8. 정도관리시료의 항목별 빈도와 방법

점검사항	점검주기	허용기준	시정조치
초기 검량선 점검	신규 검량선 작성 시	$\pm 25\%$ 이내	시정조치 보고서 작성, 검량선 재작성
연속 검량선 점검	시료분석 직전	$\pm 25\%$ 이내	원인 규명 및 시정. 재분석. 필요시 검량선 재작성
방법 바탕시험	20개 시료	정량한계의 이내	재분석 또는 같은 배치내의 시료 재전처리
방법 회수율 점검시료	20개 시료	$\pm 25\%$ 이내	
시료 회수율 점검시료	1회 이상	$\pm 25\%$ 이내	
시료채취 정도관리시료	시료채취 LOT마다	정량한계 이내	원인 규명 및 시정
시료채취지점 정도관리시료	시료채취 LOT마다	정량한계 이내	원인 규명 및 시정
시험소간 비교시험	1회	RPD $\pm 25\%$ 이내	원인 규명 및 시정
인증 표준물질 시험	1회	적합판정	원인 규명 및 시정
MDL Study	12 개월 주기, 기기변경 시	정량한계 이내	재분석 또는 같은 배치내의 시료 재전처리
분석자 분석능력 평가	분석방법별로 1회	-	

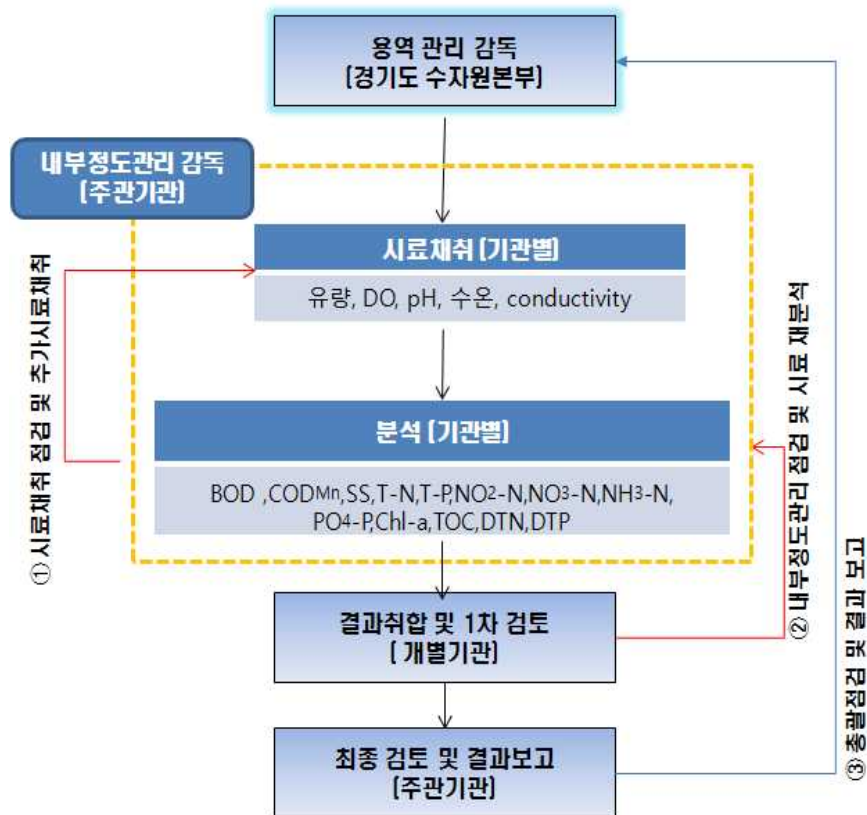


그림 3-5. 수질분석 업무체계

정도관리의 운영체계는 <그림 3-6>에 나타난 바와 같이 수행된다. 용역 수행 전에 용역관리감독기관인 경기도 수자원본부의 정도관리 목표를 확인하고, 주관기관은 분야별 정도관리 실행계획을 수립하여 각 참여기관이 수행하고 그 결과를 검토하여 보고하는 체계로 진행한다.

용역을 수행하는 동안 정도관리의 분야는 내부 및 외부 분야로 나누어서 실시하고, 세부적인 수행은 용역 착수 전 및 착수 후의 분야로 나누어서 수행하도록 하고 착수 전에 내부정도관리의 I 및 II를 실시한다.

현장조사 및 분석수행을 위한 각 기관의 담당항목에 대한 검출한계, 시험자 인증, 시험관련 기기 및 용기에 대한 검·보정을 실시하도록 하며, 모든 시험결과는 주관기관의 실험실정보관리시스템에 등록하여 관리하도록 한다.

사업의 착수보고 이후에는 내부정도관리의 III과 같이 시료채취 과정 중에 발생될 수 있는 교차오염, 시료채취 절차상의 오류를 점검하기 위한 목적으로 실시한다. 또한 시료채취기구의 오염여부, 이중시료 채취, 시료의 보관시스템 점검 등의 항목을 점검하고, 내부정도관리 IV에서는 각 기관의 시험과정 중의 절차를 점검하기 위한 목적으로 각 항목별 바탕시험, 회수율 시험, 표준물질 점검 등의 내용으로 수행한다.

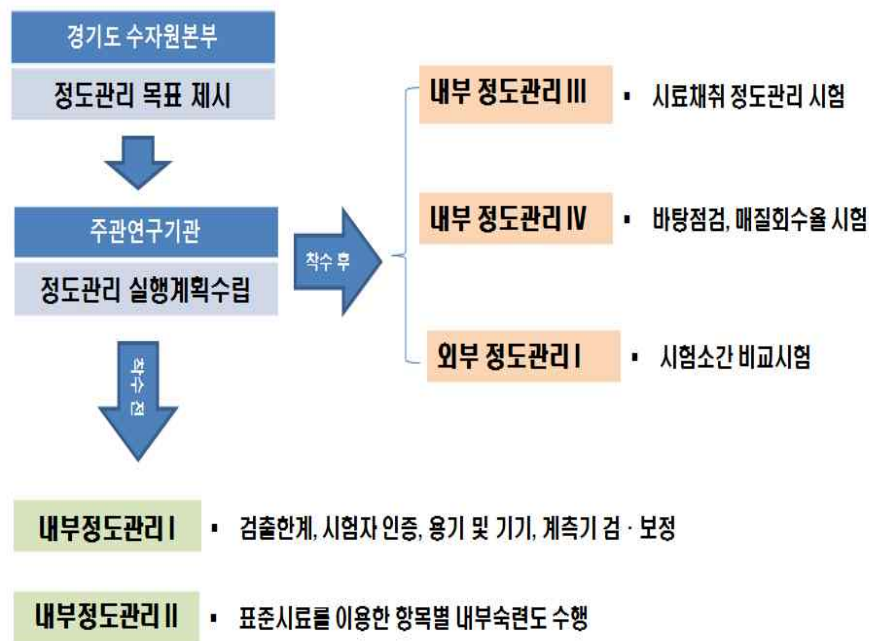


그림 3-6. 정도관리 운영체계

4) 수질 정도보증/정도관리(QA/QC) 결과

시험·검사결과의 정확도 목표를 달성하기 위한 구체적인 기술과 관리를 의미한다. 시험·검사결과의 정확도를 확보하기 위해 수행하는 모든 검정, 교정, 교육, 감사, 검증, 유지·보수, 문서, 관리를 포함한다.

(1) 정도관리/정도보증(QA/QC) 관련 수식

정확도는 측정분석 결과가 얼마나 참값에 접근하는가를 나타내는 척도로서 측정분석 결과값이 참값 또는 기지의 첨가 농도와 차이가 나지 않을 때 분석은 정확하다고 할 수 있으며, 정제수 또는 시료로부터 측정하여 평가한다. 정밀도는 실제 참값의 반복 측정 분석결과의 재현성을 의미한다. 일반적으로 상대표준편차(RSD, Relative Standard Deviation)나 변동계수(CV, Coefficient of Variation)의 계산에 의해 표현된다.

본 수질데이터 정도관리에서는 BOD, COD, T-N, T-P를 평가대상으로 하였으며 정도관리용 시료는 일련의 각 측정 과정에서 2회 이상 측정하였다. 특히 정확도 관리를 위한 시료는 전 분석과정에 걸쳐 안정되고 균질한 시료로서 측정결과에 대한 참값의 평가가 충분히 조사되어 예측값을 알고 있는 정도관리용 시료를 사용하여 명백히 보증할 수 있는 것으로 측정하였다.

각 분석항목별로 고농도의 표준용액을 조제하여 정도관리 분석을 시행하기 직전에 희석을 통하여 기지 표준액의 농도를 측정하였다.

정도관리/정도보증(QA/QC)와 관련된 수식에 대한 용어, 계산식, 정의를 <표 3-9>에 나타내었다.

표 3-9. 정도관리/정도보증(QA/QC)와 관련된 수식

용어	수식	정의
평균	$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$	측정값의 중심. 서로 더하여 평균한 값
표준편차	$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 \right]}$	자료의 상관 분산 측정
상대표준편차	$RSD = \frac{S}{X} \times 100$	관찰값을 수정하기 위한 상대표준편향

(2) 수질항목별 정도보증/정도관리 결과

수질항목별 정도보증/정도관리 결과를 <표 3-10>~<표 3-14>에 나타내었다.

표 3-10. BOD 정도보증/정도관리 결과

구분	방법	정도관리 목표	정도관리 결과 (2017년 하반기)
정도관리용 시료	GGA 표준용액(105℃에서 1시간 건조한 Glucose와 Glutamic acid를 각각 150 mg 정량하여 조제함)	-	-
정확도	300 mgGGA/L 용액의 BOD 측정 농도가 200±30 mg/L의 범위를 벗어나지 않아야 함.	85 % ~ 115 %	102.0
정밀도	미지시료를 선택하여 4회 이상 반복 측정하고 재현율을 통한 정밀도를 산출함.	상대표준편차값 ± 15 % 이하	3.72

표 3-11. COD 정도보증/정도관리 결과

구분	방법	정도관리 목표	정도관리 결과 (2017년 하반기)
정도관리용 시료	글루코스 표준용액(103℃에서 1시간 건조한D-글루코스 1.676g 정량하여 조제함)	-	-
정확도	산성 과망간산칼륨법으로 글루코스 표준용액의 농도를 4개 이상 반복 측정함.	75 % ~ 125 %	113.6
정밀도	미지시료를 선택하여 4회 이상 반복 측정하고 재현율을 통한 정밀도를 산출함.	상대표준편차값 ± 25 % 이하	5.34

표 3-12. T-N 정도보증/정도관리 결과

구분	방법	정도관리 목표	정도관리 결과 (2017년 하반기)
정도관리용 시료	질산성질소 표준용액(105 ℃에서 약 4시간 건조한 질산칼륨 표준시약 0.7218 g을 정량하여 조제함)	-	-
정확도	표준물질을 첨가한 시료를 4개 이상 반복 측정함.	75 % ~ 125 %	102.8
정밀도	미지시료를 선택하여 4회 이상 반복 측정하고 재현율을 통한 정밀도를 산출함.	상대표준편차값 ± 25 % 이하	2.16
검출한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	-	0.005
정량한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	0.06 mg/L	0.02
검정곡선	표준용액을 희석하여단계적으로 농도를 바탕용액을 제외하고 3개 이상 제조함.	결정계수 (R2) ≥ 0.995 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차 ≤ 25 %	R2 = 0.9999

표 3-13. T-P 정도보증/정도관리 결과

구분	방법	정도관리 목표	정도관리 결과 (2017년 하반기)
정도관리용 시료	인산염인 표준용액(미리 105 ℃에서 건조한 인산이수소칼륨 표준시약 0.439 g을 정량하여 조제함)	-	-
정확도	표준물질을 첨가한 시료를 4개 이상 반복 측정함.	75 % ~ 125 %	98.9
정밀도	미지시료를 선택하여 4회 이상 반복 측정하고 재현율을 통한 정밀도를 산출함.	상대표준편차값 ± 25 % 이하	1.20
검출한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	-	0.0008
정량한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	0.003 mg/L	0.003
검정곡선	표준용액을 희석하여단계적으로 농도를 바탕용액을 제외하고 3개 이상 제조함.	결정계수 (R2) ≥ 0.995 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차 ≤ 25 %	R2 = 1.0000

표 3-14. TOC 정도보증/정도관리 결과

구분	방법	정도관리 목표	정도관리 결과 (2017년 하반기)
정도관리용 시료	인산염인 표준용액(105 ℃에서 약 1시간 건조한 프탈산수소 포타슘 표준시약 2.125 g을 정량하여 조제함)	-	-
정확도	표준물질을 첨가한 시료를 4개 이상 반복 측정함.	80 % ~ 120 %	100.3
정밀도	미지시료를 선택하여 4회 이상 반복 측정하고 재현율을 통한 정밀도를 산출함.	상대표준편차값 ± 20 % 이하	1.66
검출한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	-	0.069
정량한계	정제수에 정량한계부근의 농도를 첨가한 시료 7개를 반복 측정함.	0.3 mg/L	0.22
검정곡선	표준용액을 희석하여단계적으로 농도를 바탕용액을 제외하고 3개 이상 제조함.	결정계수 (R2) ≥ 0.98 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차 ≤ 20 %	0.9999

4. 하천 생활환경기준

수질 및 수생태계 환경기준은 수질오염으로부터 건전한 수생태계를 유지하고, 물의 이용목적에 적합한 수질을 보전하기 위한 미래지향적이며, 행정적인 정책목표이다(환경정책기본법 시행령, 2013). 하천의 생활환경기준은 <표 3-15>과 같이 7등급으로 구분하여 단계별로 목표를 설정할 수 있어, 수질모니터링 성과에서 하천의 생활환경기준 등급을 이용하였다.

표 3-15. 하천의 생활환경기준

등급		상태 (캐릭터)	기 준								
			수소 이온 농도 (pH)	생물 화학적 산소 요구량 (BOD) (mg/L)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기탄 소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	대장균군 (균수/100mL)	
										총 대장균군	분원성 대장균군
매우 좋음	Ia		6.5~8.5	1 이하	2 이하	2 이하	25 이하	7.5 이상	0.02 이하	50 이하	10 이하
좋음	Ib		6.5~8.5	2 이하	4 이하	3 이하	25 이하	5.0 이상	0.04 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II		6.5~8.5	3 이하	5 이하	4 이하	25 이하	5.0 이상	0.1 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III		6.5~8.5	5 이하	7 이하	5 이하	25 이하	5.0 이상	0.2 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	9 이하	6 이하	100 이하	2.0 이상	0.3 이하	-	-
나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	11 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상	0.5 이하	-	-
매우 나쁨	VI		-	10 초과	11 초과	8 초과	-	2.0 미만	0.5 초과	-	-

비고

1. 등급별 수질 및 수생태계 상태

- 가. 매우 좋음: 용존산소(溶存酸素)가 풍부하고 오염물질이 없는 청정상태의 생태계로 여과·살균 등 간단한 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 나. 좋음: 용존산소가 많은 편이고 오염물질이 거의 없는 청정상태에 근접한 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수로 사용할 수 있음.
- 다. 약간 좋음: 약간의 오염물질은 있으나 용존산소가 많은 상태의 다소 좋은 생태계로 여과·침전·살균 등 일반적인 정수처리 후 생활용수 또는 수영용수로 사용할 수 있음.

- 라. 보통: 보통의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 일반 생태계로 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 생활용수로 이용하거나 일반적 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 마. 약간 나쁨: 상당량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 농업용수로 사용하거나 여과, 침전, 활성탄 투입, 살균 등 고도의 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 바. 나쁨: 다량의 오염물질로 인하여 용존산소가 소모되는 생태계로 산책 등 국민의 일상생활에 불편감을 주지 않으며, 활성탄 투입, 역삼투압 공법 등 특수한 정수처리 후 공업용수로 사용할 수 있음.
- 사. 매우 나쁨: 용존산소가 거의 없는 오염된 물로 물고기가 살기 어려움.
- 아. 용수는 해당 등급보다 낮은 등급의 용도로 사용할 수 있음.
- 자. 수소이온농도(pH) 등 각 기준항목에 대한 오염도 현황, 용수처리방법 등을 종합적으로 검토하여 그에 맞는 처리방법에 따라 용수를 처리하는 경우에는 해당 등급보다 높은 등급의 용도로도 사용할 수 있음.

제4장 유량 측정 결과

제1절 유량 모니터링 성과

경기도 26개 시·군의 한강수계 135개 지점을 대상으로 2017년 8월부터 2018년 6월까지 총 36회차의 유량 모니터링 성과를 이루었다.

경기도의 한강수계 조사대상지점(135개소) 중 국토교통부의 유량측정 지점(5개소)은 국토교통부 한강홍수통제소에서 주기적으로 모니터링 하는 지점으로 수위-유량관계곡선식에 의한 잠정·확정 유량자료를 활용하였다.

□ 불확도 [유량측정 성과에 대한 불확실도가 유량측정의 정확도를 의미하는 것은 아님]

→ 유량 모니터링 시 불확도를 8% 이내로 유지하도록 노력



□ 최대구간유량비

→ 최대구간유량비가 10% 이내를 유지하도록 노력 (등유량방법으로 흐름특성에 맞게 측선을 배치)



그림 4-1. 불확도 및 최대구간유량비 성과

각 지점별 유량모니터링 성과표는 수위, 유량을 포함하여 다음과 같이 측정일시, 수리특성, 유속계 종류, 평가요소 등 보다 구체적인 자료를 포함하여 제공함으로써 추후 편리하게 유량성 과를 활용할 수 있도록 하였다.

유량 모니터링 지점별 유량모니터링 성과는 <표 4-1>에 나타내었다. 경기-001(마평교) 지점 에서 2017년 8월부터 2018년 6월까지 총 36회에 걸쳐 유량모니터링을 실시하였다. 유량은 0.0 5~5.27 m³/s, 최대구간유량비는 6.1~9.9%, 불확실도는 ±3.90~±6.42%로 조사되었으며, 품질등급 은 Good 6%, Fair 94%, Poor 0%로 나타났다.

135 지점에 대한 유량 모니터링 성과는 [부록]에 나타내었다.

표 4-1. 경기-001(마평교) 지점 유량모니터링 성과 예

회차	측정일시	평균 수심	수면폭	단면적	평균 유속	유량	측정 장비	측선수	구간유량비 (%)		불확도	품질 등급	비고
		m	m	m ²	m/s	m ³ /s	유속계 종류		최대	평균	±, %		
1	2017-08-04 09:35	0.28	17.00	4.82	0.20	0.97	FT-2	27	9.71	4.00	5.13	F	도섭법
2	2017-08-21 14:30	0.60	17.00	10.2	0.53	5.27	FT-2	30	6.11	3.57	3.90	G	도섭법
3	2017-08-28 15:00	0.28	17.00	4.74	0.30	1.37	FT-2	27	7.82	4.00	5.02	F	도섭법
4	2017-09-05 14:50	0.20	14.00	2.78	0.16	0.45	FT-2	24	8.67	4.55	5.63	F	도섭법
5	2017-09-14 15:15	0.16	14.00	2.17	0.14	0.31	FT-2	25	8.40	4.35	5.54	F	도섭법
6	2017-09-19 15:10	0.19	13.00	2.47	0.11	0.26	FT-2	26	7.52	4.17	5.34	F	도섭법
7	2017-09-25 15:10	0.18	12.00	2.19	0.10	0.21	FT-2	28	7.48	3.85	5.01	F	도섭법
8	2017-10-12 14:40	0.19	12.00	2.25	0.07	0.15	FT-2	24	9.83	4.55	5.88	F	도섭법
9	2017-10-18 13:45	0.19	13.00	2.44	0.07	0.18	FT-2	26	9.87	4.17	5.62	F	도섭법
10	2017-10-25 13:50	0.25	13.00	3.20	0.05	0.15	FT-2	25	9.67	4.35	5.68	F	도섭법
11	2017-10-31 14:00	0.24	11.00	2.69	0.06	0.15	FT-2	22	9.60	5.00	6.27	F	도섭법
12	2017-11-03 14:40	0.23	11.00	2.58	0.06	0.16	FT-2	22	9.83	5.00	6.24	F	도섭법
13	2017-11-12 14:40	0.17	12.00	1.99	0.02	0.05	FT-2	23	9.90	4.76	5.96	F	도섭법
14	2017-11-17 13:50	0.21	12.00	2.57	0.04	0.11	FT-2	22	9.84	5.00	6.29	F	도섭법
15	2017-11-27 13:50	0.21	12.00	2.55	0.05	0.14	FT-2	23	9.92	4.76	6.05	F	도섭법
16	2017-12-05 14:10	0.21	11.50	2.44	0.05	0.11	FT-2	22	9.91	5.00	6.31	F	도섭법
17	2018-01-04 13:15	0.20	12.00	2.35	0.04	0.09	FT-2	22	9.06	5.00	6.12	F	도섭법
18	2018-01-18 13:30	0.21	11.00	2.33	0.04	0.10	FT-2	30	8.79	3.57	4.70	G	도섭법
19	2018-01-31 14:00	0.13	6.00	0.78	0.07	0.06	FT-2	23	8.92	4.76	5.93	F	도섭법
20	2018-02-19 14:20	0.21	11.50	2.37	0.03	0.07	FT-2	22	9.44	4.76	6.17	F	도섭법
21	2018-02-28 13:50	0.20	11.00	2.18	0.03	0.07	FT-2	21	9.83	5.26	6.42	F	도섭법
22	2018-03-06 15:00	0.19	13.00	2.41	0.10	0.24	FT-2	25	8.13	4.35	5.48	F	도섭법
23	2018-03-12 15:00	0.17	13.00	2.21	0.06	0.14	FT-2	25	8.10	4.35	5.54	F	도섭법
24	2018-03-17 15:00	0.21	13.00	2.72	0.12	0.31	FT-2	25	9.17	4.35	5.47	F	도섭법
25	2018-03-21 13:30	0.20	13.00	2.61	0.12	0.32	FT-2	25	8.13	4.35	5.48	F	도섭법
26	2018-03-25 13:30	0.19	13.00	2.43	0.19	0.27	FT-2	25	7.90	4.35	5.42	F	도섭법
27	2018-03-30 15:00	0.17	13.50	2.26	0.08	0.18	FT-2	25	9.21	4.35	5.50	F	도섭법
28	2018-04-06 13:00	0.25	13.50	3.39	0.19	0.63	FT-2	25	7.59	4.35	5.36	F	도섭법
29	2018-04-12 13:00	0.19	13.00	2.43	0.19	0.23	FT-2	25	7.73	4.35	5.45	F	도섭법
30	2018-04-14 13:00	0.22	13.00	2.79	0.10	0.27	FT-2	25	7.06	4.35	5.36	F	도섭법
31	2018-04-21 13:00	0.20	12.00	2.37	0.11	0.26	FT-2	24	8.75	4.55	5.63	F	도섭법
32	2018-04-24 16:10	0.36	15.00	5.45	0.32	1.75	FT-2	23	9.23	4.76	5.85	F	도섭법
33	2018-04-29 14:30	0.25	12.00	3.00	0.15	0.46	FT-2	22	7.73	5.00	5.94	F	도섭법
34	2018-05-03 14:20	0.18	12.00	2.11	0.13	0.27	FT-2	22	9.37	5.00	6.06	F	도섭법
35	2018-05-09 14:20	0.19	13.00	2.44	0.15	0.36	FT-2	25	8.30	4.35	5.50	F	도섭법
36	2018-05-11 14:20	0.18	12.50	2.31	0.15	0.35	FT-2	24	8.60	4.55	5.60	F	도섭법
※ 품질등급 : 불확실도 ≤ 2% : 1등급 (Excellent) / 2% < 불확실도 ≤ 5% : 2등급 (Good) / 5% < 불확실도 ≤ 8% : 3등급 (Fair) / 8% < 불확실도 : 4등급 (Poor)													

제2절 불확실도 및 최대구간유량비 산정방법

유량모니터링 성과의 품질 등급은 유량모니터링 불확실도 산정 방법에 의해 산정된 결과에 따라, 유속계 측정의 경우 미국지질조사국(USGS)의 기준을 활용하여 4가지 등급으로 분류하였다.

또한, 유량모니터링 성과에 대한 정확도 및 신뢰도를 검증하기 위해 유량모니터링 성과에 대한 평가를 실시하였다. 평가항목은 유량모니터링 성과의 정확도를 정량적으로 평가할 수 있는 측선수, 구간유량비, 불확실도, 품질등급을 대상으로 평가하였다.

최대구간유량비는 측정된 유량의 측선별 균등 분포를 가늠할 수 있는 평가 지표로서, 일반적으로 어느 한 측선에서 산정된 구간유량이 전체유량에 대해 비중을 많이 차지할수록 측정오차는 커지게 된다. 따라서 모든 측선의 구간유량은 되도록 비슷한 크기를 가질 수 있도록 측정시 유량 분포에 따라 측선 배치를 조정하여 일부구간의 유량이 집중되지 않도록 해야 하며, 일반적으로 최대구간유량비가 작을수록 유량측정의 정확도는 높아진다고 볼 수 있다. 국제적으로 권고하고 있는 최대구간유량비는 유속계 측정성과의 경우 10% 이내이며, 부자측정성과의 경우 20% 이내이다. 최대구간유량비가 기준을 초과했을 경우 그 원인이 무엇인지 파악하여 향후 측정을 개선할 수 있도록 해야 하며, 그 원인으로는 측선수 부족, 측선수 배치의 부적절 등이 있다.

표 4-2. 측정 방법에 따른 구간유량비와 최대구간유량비의 권고기준

구 분	구간유량비(%)	최대구간유량비(%)
유속계측정	5% 이내	10% 이내
부자측정	10% 이내	20% 이내

불확실도는 수면폭, 수심, 유속 측정수, 측정시간, 측선수, 유속계 검정 등의 요소들과 밀접한 관계를 가지고 있어, 유량측정 기준의 준수 여부 및 측정성과의 정확도를 파악하는데 하나의 기준이 되는 값이다. 유량측정성과의 불확실도는 국제표준기준 ISO748에서 제시한 정상류 불확실도 추정방법에 근거하여 산정하였다. 유량측정성과의 불확실도는 무작위 불확실도와 계통 불확실도를 산정하여 이를 결합함으로써 총 불확실도를 산정하게 된다.

표 4-3. 불확실도와 관련된 수식

용 어	수 식
전체 무작위 불확실도	$X'_Q = \pm [X_m'^2 + \sum_{i=1}^m [(b_i d_i \bar{v}_i)^2 \times (X_{bi}'^2 + X_{di}'^2 + X_{ei}'^2 + X_{pi}'^2 + X_{ci}'^2)] / (\sum_{i=1}^m b_i d_i \bar{v}_i)^2]^{1/2}$
전체 계통 불확실도	$X''_Q = \pm \sqrt{X_b''^2 + X_d''^2 X_c''^2}$
총 불확실도	$X_Q = \pm \sqrt{X_Q'^2 + X_Q''^2}$

전체 무작위 불확실도에서 X_Q 는 요소유량에 있어서의 오차백분율의 합/요소유량의 합이다. 전체 무작위 불확실도 식에서 X_b 는 하폭측정에 대한 불확실도, X_d 는 수심측정에 대한 불확실도, X_v 는 측선에서 평균유속에 대한 불확실도이며, 제한된 측선수를 이용함으로써 인한 무작위 불확실도(X_m)가 식에 고려되어야 한다.

추가로 평균유속(X_v)에 있어서의 불확실도는 흐름에 있어서의 진동을 최소화하는데 필요한 측정시간(X_e), 측선에서의 측점수(X_p), 그리고 유속계 검정에 따른 불확실도(X_c)와 같은 요소들을 내포하고 있다. 그러므로 X_{vi}^2 은 $(X_e^2 + X_p^2 + X_c^2)$ 로 바뀌고, 위 식과 같은 형태가 완성된다.

전체 계통 불확실도에서 X''_b , X''_d , 그리고 X''_c 는 각각 하폭 b, 수심 d, 그리고 유속계 c 에서 계통 불확실도의 퍼센트 값이다.

총 불확실도는 전체 무작위 불확실도와 전체 계통 불확실도의 결합(X_Q)이다.

제5장 조사/측정 자료의 통계분석 결과

제1절 경안천 수계

1. 경안천 수계의 지천별 수질분석 결과

본 연구결과(2단계)를 토대로 경안천 수계의 경안천 본류, 곤지암천, 경안지천을 대상으로 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질 항목별 평균값을 비교분석하여 나타내었다.

경안천 본류의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 2.40 m³/s(0.05~47.20 m³/s), 수온이 13.3℃(0.8~29.4℃), pH가 7.56(6.25~8.94), DO가 10.71 mg/L(4.75~16.73 mg/L), 전기전도도가 418.7 μs/cm(140.0~734.0 μs/cm), BOD가 2.0 mg/L(0.8~3.6 mg/L), COD가 5.3 mg/L(1.8~9.4 mg/L), TOC가 2.6 mg/L(1.2~5.0 mg/L), SS가 5.3 mg/L(0.3~49.9 mg/L), T-N이 4.560 mg/L(1.396~9.980 mg/L), DTN이 4.298 mg/L(1.261~9.453 mg/L), NH₃-N 0.236 mg/L(0.000~1.838 mg/L), NO₂-N이 0.261 mg/L(0.009~1.032 mg/L), NO₃-N이 3.514 mg/L(0.917~8.867 mg/L), T-P가 0.129 mg/L(0.031~0.410 mg/L), DTP 0.115 mg/L(0.029~0.336 mg/L), PO₄-P가 0.079 mg/L(0.022~0.325 mg/L), Chl-a가 6.7 mg/m³(0.2~21.5 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 2.40 m³/s로 중간값인 0.99 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우 유형이 하계 집중호우 유형이기 때문이다.

표 5-1. 경안천 본류의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량	수온(℃)	pH	DO(mg/L)	전기전도도(μs/cm)	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	TOC(mg/L)	SS(mg/L)
평균값	2.40	13.3	7.56	10.71	418.7	2.0	5.3	2.6	5.3
최소값	0.05	0.8	6.25	4.75	140.0	0.8	1.8	1.2	0.3
최대값	47.20	29.4	8.94	16.73	734.0	3.6	9.4	5.0	49.9
표준편차	5.95	6.9	0.66	2.84	125.4	0.7	1.5	0.9	7.5
95%ile	9.87	24.4	8.64	14.90	651.3	3.3	7.6	4.0	18.9
75%ile	2.46	17.9	7.97	12.85	524.0	2.5	6.5	3.4	5.2
중간값(median)	0.99	13.8	7.69	11.50	395.5	2.1	5.4	2.5	3.5
25%ile	0.23	7.2	6.95	8.15	330.5	1.4	4.2	1.8	1.6
5%ile	0.07	2.7	6.43	5.96	220.5	0.9	2.8	1.4	0.6
항목	T-N(mg/L)	DTN(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	NO ₂ -N(mg/L)	NO ₃ -N(mg/L)	T-P(mg/L)	DTP(mg/L)	PO ₄ -P(mg/L)	Chl-a(mg/m ³)
평균값	4.560	4.298	0.236	0.261	3.514	0.129	0.115	0.079	6.7
최소값	1.396	1.261	0.000	0.009	0.917	0.031	0.029	0.022	0.2
최대값	9.980	9.453	1.838	1.032	8.867	0.410	0.336	0.325	21.5
표준편차	2.482	2.375	0.359	0.274	1.964	0.079	0.073	0.062	5.0
95%ile	9.573	9.375	1.154	0.960	8.468	0.286	0.270	0.200	16.5
75%ile	5.905	5.720	0.319	0.315	4.028	0.174	0.156	0.099	10.5
중간값(median)	3.766	3.573	0.080	0.127	2.996	0.109	0.094	0.055	5.5
25%ile	2.654	2.544	0.036	0.072	2.202	0.065	0.057	0.035	2.3
5%ile	1.658	1.533	0.000	0.043	1.022	0.036	0.032	0.026	1.1

곤지암천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 1.21 m³/s(0.08~6.57 m³/s), 수온이 12.1℃(0.4~27.8℃), pH가 7.67(6.06~8.97), DO가 11.23 mg/L(6.09~16.41 mg/L), 전기전도도가 327.6 μs/cm(148.0~497.0 μs/cm), BOD가 1.1 mg/L(0.4~3.6 mg/L), COD가 3.6 mg/L(1.4~7.1 mg/L), TOC가 2.4 mg/L(1.2~5.9 mg/L), SS가 5.1 mg/L(0.4~40.0 mg/L), T-N이 3.527 mg/L(1.466~10.303 mg/L), DTN이 3.452 mg/L(0.000~1.400 mg/L), NH₃-N 0.165 mg/L(0.000~1.400 mg/L), NO₂-N이 0.037 mg/L(0.000~0.200 mg/L), NO₃-N이 2.891 mg/L(1.138~8.000 mg/L), T-P가 0.027 mg/L(0.000~0.245 mg/L), DTP 0.022 mg/L(0.000~0.237 mg/L), PO₄-P가 0.012 mg/L(0.000~0.175 mg/L), Chl-a가 5.0 mg/m³(0.8~67.4 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 1.21 m³/s로 중간값인 0.65 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이며, NH₃-N 또한 평균값이 0.165 mg/L로 중간값인 0.063 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-2. 곤지암천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	1.21	12.1	7.67	11.23	327.6	1.1	3.6	2.4	3.1
최소값	0.08	0.4	6.06	6.09	148.0	0.4	1.4	1.2	0.4
최대값	6.57	27.8	8.97	16.41	497.0	3.6	7.1	5.9	40.0
표준편차	1.41	7.1	0.46	2.14	72.0	0.5	1.0	0.7	5.2
95%ile	4.95	22.7	8.68	14.56	453.2	2.1	5.8	3.7	9.5
75%ile	1.48	17.8	7.92	12.90	377.8	1.3	4.1	2.7	2.8
중간값 (median)	0.65	12.9	7.63	11.14	325.5	1.0	3.4	2.3	1.6
25%ile	0.28	5.0	7.37	9.96	278.8	0.8	3.0	1.8	1.0
5%ile	0.17	1.7	7.12	7.40	211.7	0.5	2.0	1.5	0.5
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	3.527	3.452	0.165	0.037	2.891	0.027	0.022	0.012	5.0
최소값	1.446	1.410	0.000	0.000	1.138	0.000	0.000	0.000	0.8
최대값	10.303	10.280	1.400	0.200	8.000	0.245	0.237	0.175	67.4
표준편차	1.147	1.138	0.304	0.028	0.882	0.025	0.024	0.018	7.1
95%ile	5.262	5.225	1.153	0.083	4.185	0.055	0.048	0.030	15.0
75%ile	4.066	4.029	0.119	0.054	3.350	0.035	0.029	0.015	5.3
중간값 (median)	3.399	3.275	0.063	0.026	2.800	0.023	0.018	0.009	3.4
25%ile	2.791	2.679	0.032	0.017	2.300	0.014	0.009	0.003	2.1
5%ile	2.085	2.024	0.009	0.008	1.648	0.006	0.000	0.000	1.2

경안천 지천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.29 m³/s(0.00~3.14 m³/s), 수온이 12.8℃(0.3~25.2℃), pH가 7.64(6.47~8.96), DO가 10.85 mg/L(4.25~18.64 mg/L), 전기전도도가 388.9 μs/cm(143.0~2,905.0 μs/cm), BOD가 1.5 mg/L(0.5~4.2 mg/L), COD가 3.8 mg/L(1.6~6.9 mg/L), TOC가 1.9 mg/L(0.9~4.7 mg/L), SS가 4.4 mg/L(0.2~32.3 mg/L), T-N이 4.077 mg/L(1.181~12.539 mg/L), DTN이 3.875 mg/L(1.074~12.103 mg/L), NH₃-N 0.108 mg/L(0.000~0.644 mg/L), NO₂-N이 0.139 mg/L(0.011~0.827 mg/L), NO₃-N이 3.318 mg/L(0.762~10.380 mg/L), T-P가 0.109 mg/L(0.012~0.684 mg/L), DTP 0.099 mg/L(0.009~0.681 mg/L), PO₄-P가 0.070 mg/L(0.000~0.549 mg/L), Chl-a가 5.7 mg/m³(0.1~46.3 mg/m³)로 나타났다.

표 5-3. 경안천 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.29	12.8	7.64	10.85	388.9	1.5	3.8	1.9	4.4
최소값	0.00	0.3	6.47	4.25	143.0	0.5	1.6	0.9	0.2
최대값	3.14	25.2	8.96	18.64	2,905.0	4.2	6.9	4.7	32.3
표준편차	0.45	6.9	0.44	2.89	268.4	0.7	1.2	0.7	5.4
95%ile	1.24	23.7	8.40	14.82	608.9	2.7	6.1	3.1	15.9
75%ile	0.30	18.6	7.88	12.93	418.5	1.9	4.4	2.2	6.0
중간값 (median)	0.12	13.6	7.65	11.48	364.5	1.3	3.5	1.7	2.2
25%ile	0.05	6.1	7.42	8.42	261.0	1.0	3.0	1.3	0.7
5%ile	0.01	1.8	6.83	5.37	201.3	0.7	2.1	1.1	0.3
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	4.077	3.875	0.108	0.139	3.318	0.109	0.099	0.070	5.7
최소값	1.181	1.074	0.000	0.011	0.762	0.012	0.009	0.000	0.1
최대값	12.539	12.103	0.644	0.827	10.380	0.684	0.681	0.549	46.3
표준편차	2.121	2.048	0.132	0.156	1.881	0.109	0.103	0.073	6.2
95%ile	9.961	9.574	0.397	0.497	8.790	0.300	0.274	0.204	15.7
75%ile	4.635	4.380	0.141	0.180	3.632	0.153	0.132	0.101	9.6
중간값 (median)	3.427	3.289	0.050	0.067	2.955	0.062	0.058	0.042	3.3
25%ile	2.897	2.755	0.022	0.038	2.189	0.038	0.037	0.022	1.2
5%ile	1.825	1.705	0.000	0.019	1.175	0.019	0.019	0.010	0.4

경안천 수계의 주요 하천을 분석한 결과, 경안천 본류는 다른 하천과 비교하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질이 높은 농도로 나타났고 곤지암천은 다른 하천에 비해 오염물질이 낮게 나타났다. 특히, 곤지암천은 BOD가 1.1 mg/L, COD가 3.6 mg/L, SS가 3.1 mg/L, T-P가 0.027 mg/L에 비해 경안천 본류는 BOD가 2.0 mg/L, COD가 5.3 mg/L, SS가 5.3 mg/L, T-P가 0.027 mg/L로 큰 폭의 차이가 나타났다. 이는 경안천 본류로 합류되는 다른 지천 및 점·비점오염원이 경안천 본류의 수질에 큰 영향을 미치는 것으로 파악된다.

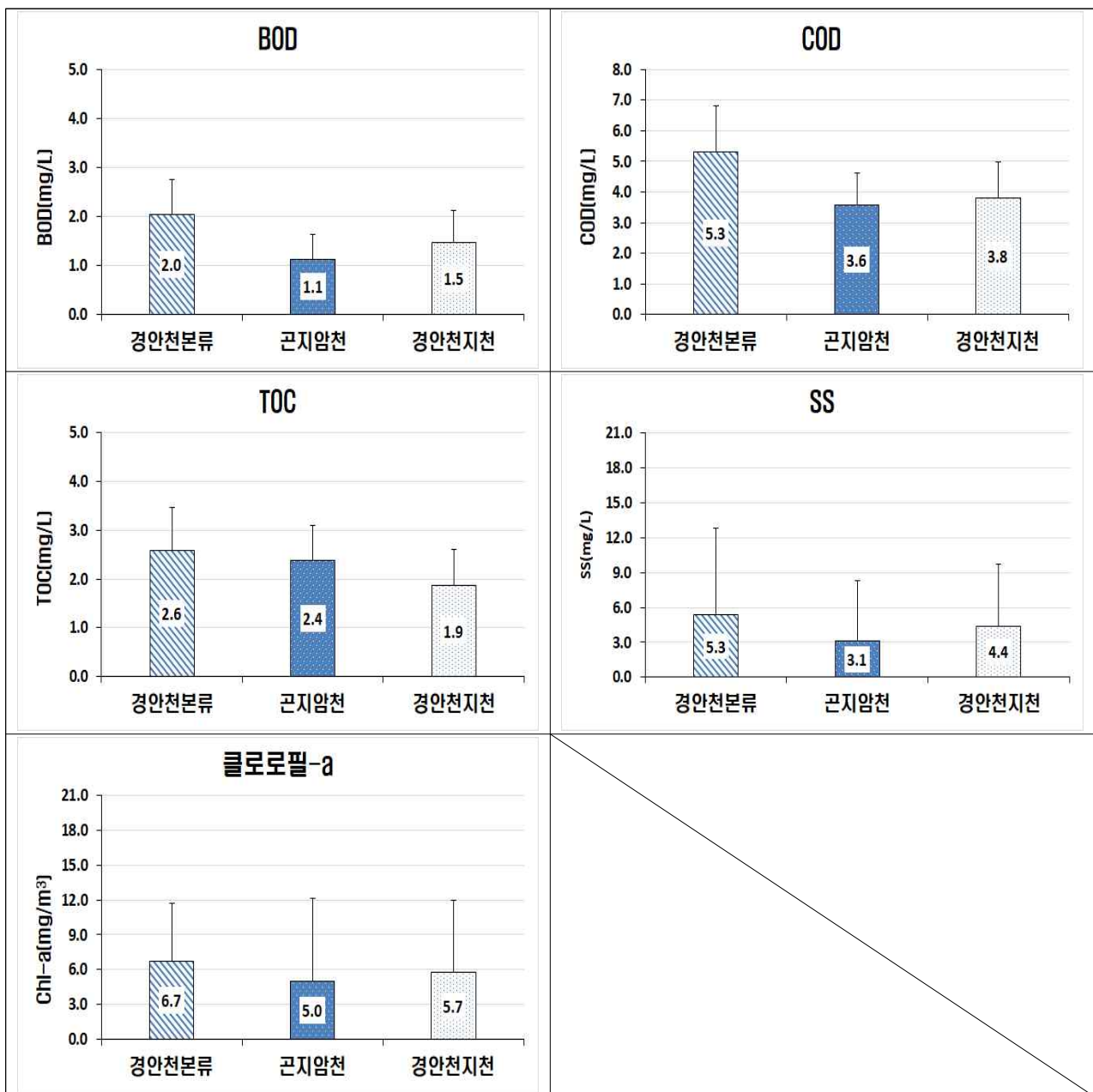


그림 5-1. 경안천 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)

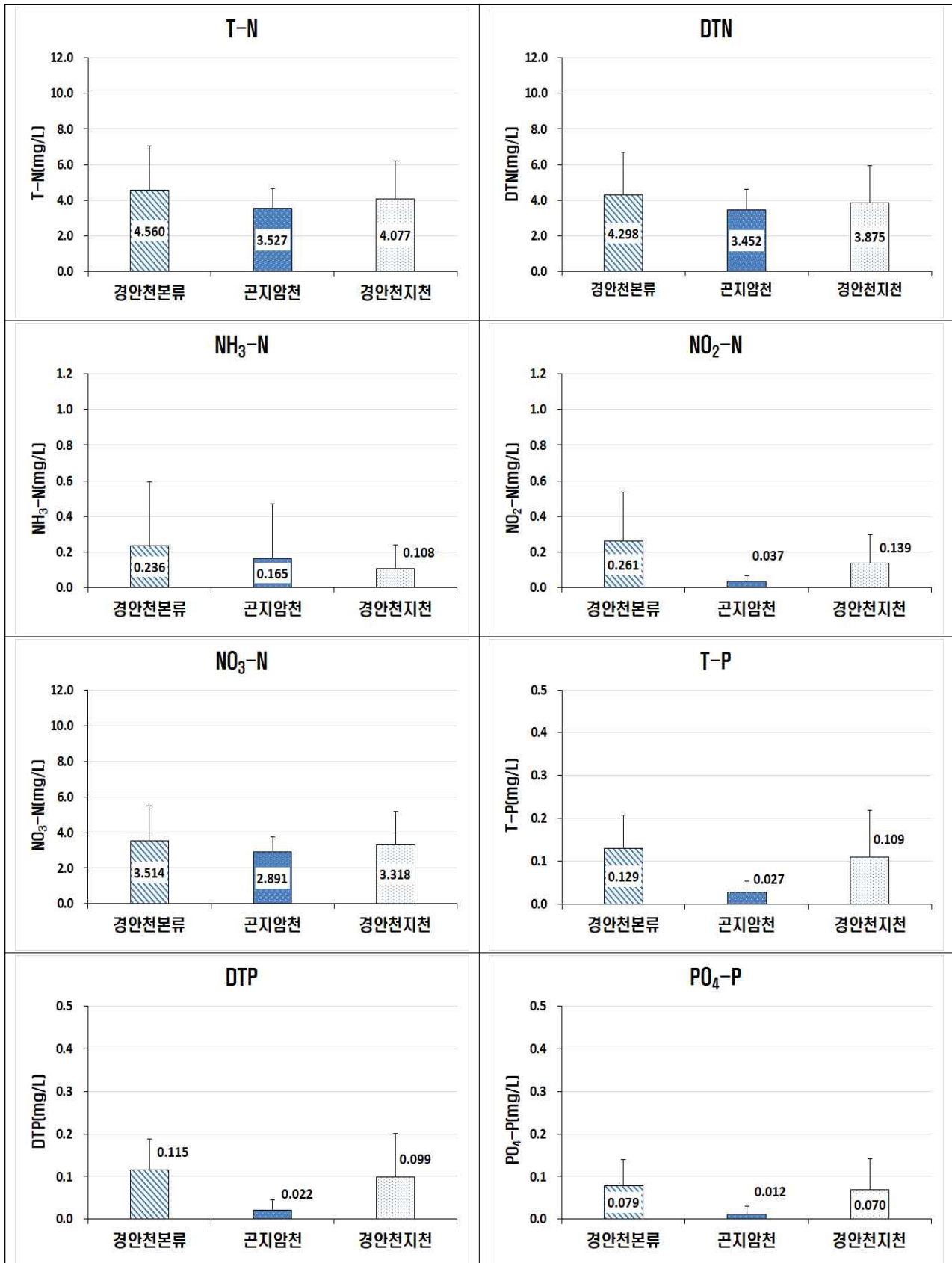


그림 5-2. 경안천 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)

2. 수질분석 결과 비교 검토

본 연구의 1단계 연구용역인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강 수계 하천 모니터링」의 분석결과와 본 연구 결과(2단계)를 토대로 경안천 수계의 수질오염물질 항목별로 비교분석하였다.

경안천 수계의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 14항목에 대해서 1단계 분석결과와 2단계 분석결과의 항목별 평균값을 비교분석하였다. 1단계 분석결과와 2단계 분석결과 모두 수계 내의 모든 데이터로 산술평균을 취하였다.

1단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 17.6℃, pH가 8.01, DO는 10.2 mg/L, 전기전도도는 361.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 3.7 mg/L, COD는 5.0 mg/L, SS는 20.0 mg/L, 클로로필-a는 11.5 mg/m³, NH₃-N은 0.400 mg/L, NO₂-N은 0.067 mg/L, NO₃-N은 3.184 mg/L, T-N은 4.179 mg/L, PO₄-P는 0.083 mg/L, T-P는 0.112 mg/L로 나타났다.

2단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 12.6℃, pH가 7.67, DO는 11.0 mg/L, 전기전도도는 409.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 1.4 mg/L, COD는 4.0 mg/L, SS는 4.3 mg/L, 클로로필-a는 6.4 mg/m³, NH₃-N은 0.136 mg/L, NO₂-N은 0.096 mg/L, NO₃-N은 3.050 mg/L, T-N은 3.732 mg/L, PO₄-P는 0.041 mg/L, T-P는 0.066 mg/L로 나타났다.

1단계와 2단계 조사를 비교한 결과 DO가 약간 증가하였고 BOD와 SS, 클로로필-a, T-P가 크게 감소하여 2011년도에 비해 수질이 상당히 개선된 것으로 파악된다.

경안천 수계의 수질개선을 위해 경기도에서는 최근까지도 팔당호 수질개선을 위해 많은 노력을 하고 있다. 경기도에서는 경안천 수질개선사업의 일환으로 인공습지 조성사업, 수질정화 시설 설치, 하천부지 내 콘크리트 구조물과 주차장 철거, 자연형 호안조성 등 자연형 하천정화사업, 하천유지용수 공급 등 많은 노력을 하며 수질개선에 이바지하고 있다.

2015년에는 팔당호 유입지천인 경안천을 살리기 위해 정부, 지자체, 기업, 환경단체가 협력하여 경안천 생태계 복원을 위한 협약을 체결하기도 하였다. 협약에 따라 각 기관은 수도권 시민의 식수원인 팔당호 수질개선을 위해 유입지천인 경안천을 대상으로 다양한 수질개선과 수생태계 복원사업을 활발하게 진행하고 있다. 용인시는 한강수계기금을 지원받아 물관리 거버넌스 구축, 관리 프로그램 개발·시행, 수질개선팀 운영, 수질 정기 모니터링, 경안천 미차집 오폐수 발생경로 추적, 환경오염물질 배출업소 기술지원 등을 담당하고 있다.

이러한 노력으로 인해서 경안천 수계의 수질개선이 되었기 때문에 1단계 모니터링 결과보다 2단계 모니터링 결과에서 더 좋은 수질을 보이고 있는 것으로 보인다. 특히, BOD가 2011년에는 3.7 mg/L에서 2018년에는 1.4 mg/L로 개선되었고 공공하수처리시설의 시설개선, T-P 기준 강화 등으로 인해서 T-P도 0.112 mg/L에서 0.066 mg/L로 수질이 개선된 것으로 나타났다.

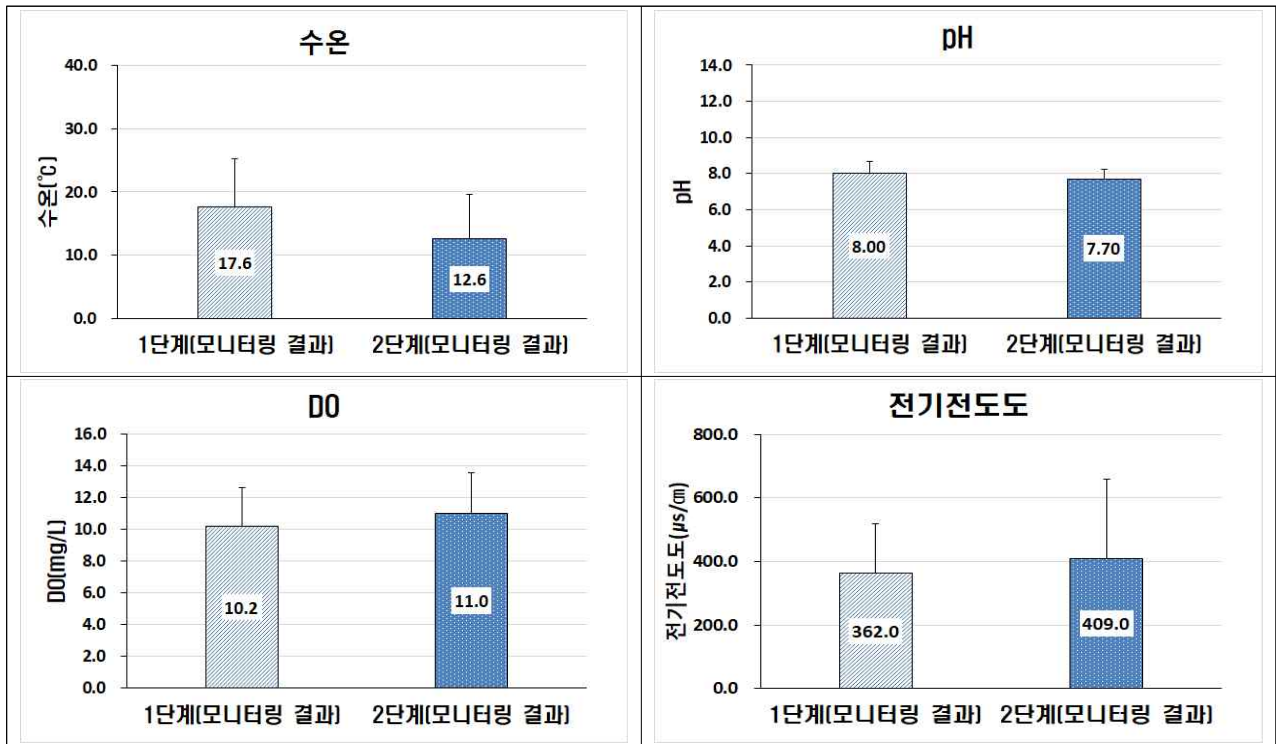


그림 5-3. 경안천 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과

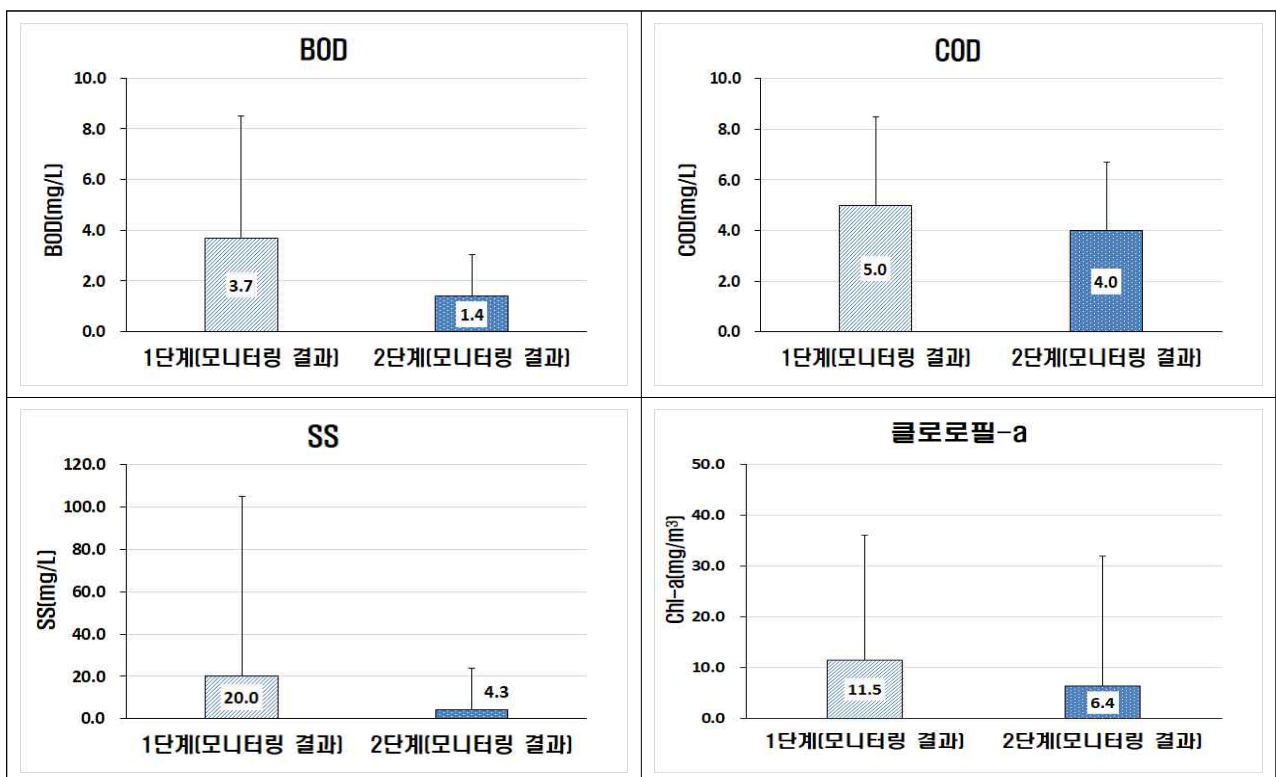


그림 5-4. 경안천 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과

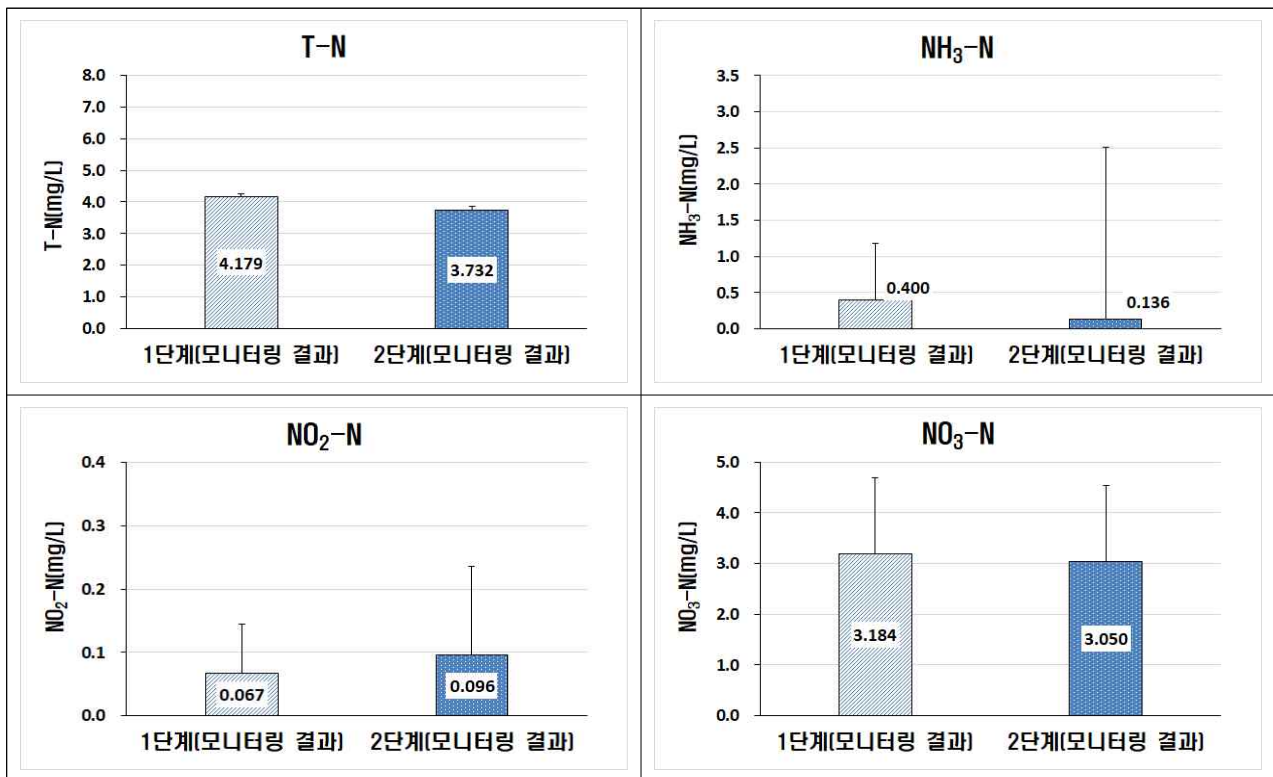


그림 5-5. 경안천 수계의 T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 분석 결과

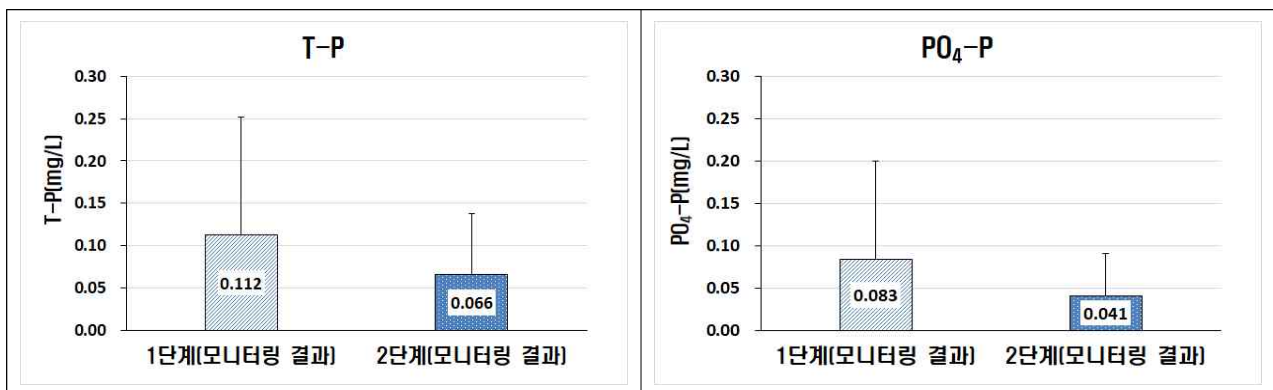


그림 5-6. 경안천 수계의 T-P, PO₄-P 분석 결과

3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과

1) 경안A 단위유역(8개 지점)

(1) 경안A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-005 배머루교

경기-005 (배머루교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-4>에 나타내었다. 경기-005 (배머루교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS는 피어슨 상관계수가 0.5804 로 수질항목간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다. BOD - TN는 피어슨 상관계수가 0.2338 로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - TP, BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.7532, 0.7679 로 수질항목간 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

표 5-4. 경기-005 (배머루교) 지점의 상관성분석 결과

경안천수계(경기-005, 배머루교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.5804	0.2338	0.7532	0.7679
결정계수(R ²)	0.3369	0.0547	0.5672	0.5896

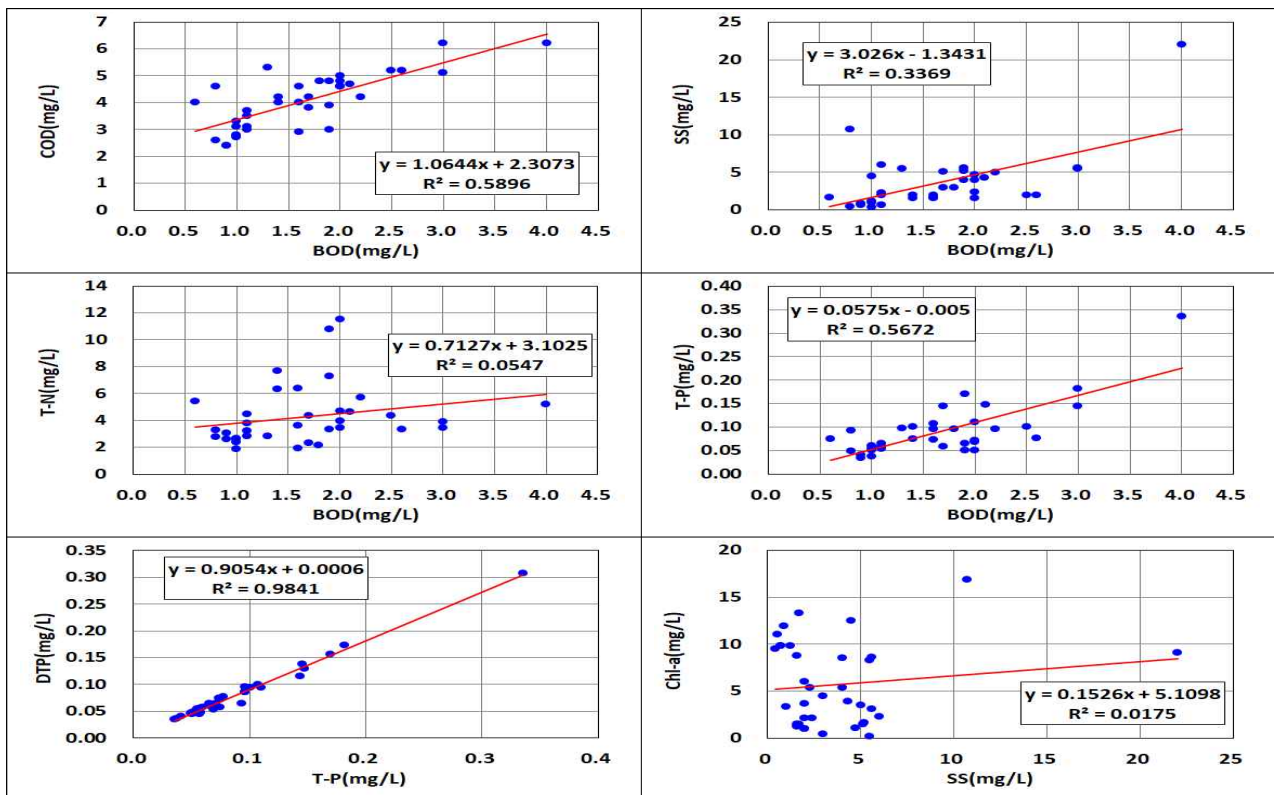


그림 5-7. 경기-005 (배머루교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 경안A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-005 배머루교

경기-005 (배머루교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.03 \sim 0.96 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 5.69% ($4.47 \sim 6.10\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 7.91% ($5.40 \sim 9.90\%$)로 나타났다. 하상재료가 주로 모래이며, 수심은 비교적 일정한 편이다. 하천 인근에 농경지가 분포되어 있다. 특이사항으로는 유량이 우안 쪽으로 더 많이 흐르며, 측정 지점 하류 부근에 배수로가 유입 된다. 하천으로 진입 시 경사가 급하여 주의가 필요하였다. 측정 지점은 영문천 하류 부분이며, 경안천을 본류로 한다. 주변 하천으로는 신대천, 유운천, 금어천 등이 있다.

경기-005 (배머루교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.50 ($6.84 \sim 7.97$)으로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 10.67 mg/L ($4.23 \sim 14.43 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $446.1 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($244.0 \sim 594.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-005 (배머루교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.7 mg/L ($0.6 \sim 4.0 \text{ mg/L}$), COD는 평균 4.1 mg/L ($2.4 \sim 6.2 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 2.1 mg/L ($1.2 \sim 4.3 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-005 (배머루교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 4.282 mg/L ($1.878 \sim 11.534 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 4.054 mg/L ($1.798 \sim 11.206 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.306 mg/L ($0.015 \sim 1.377 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.151 mg/L ($0.045 \sim 0.345 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 3.335 mg/L ($0.878 \sim 9.733 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 25회차 조사 시 공장단지 등의 점오염원 및 교회, 농경지 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-N이 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-005 (배머루교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.090 mg/L ($0.035 \sim 0.336 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.082 mg/L ($0.035 \sim 0.307 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.050 mg/L ($0.009 \sim 0.138 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 31회차 조사 시 농경지 비료 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-005 (배머루교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 25.0 mg/L 이하였으며 평균 3.7 mg/L ($0.4 \sim 22.0 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 20.0 mg/m^3 이하였으며 평균 5.7 mg/m^3 ($0.2 \sim 16.9 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

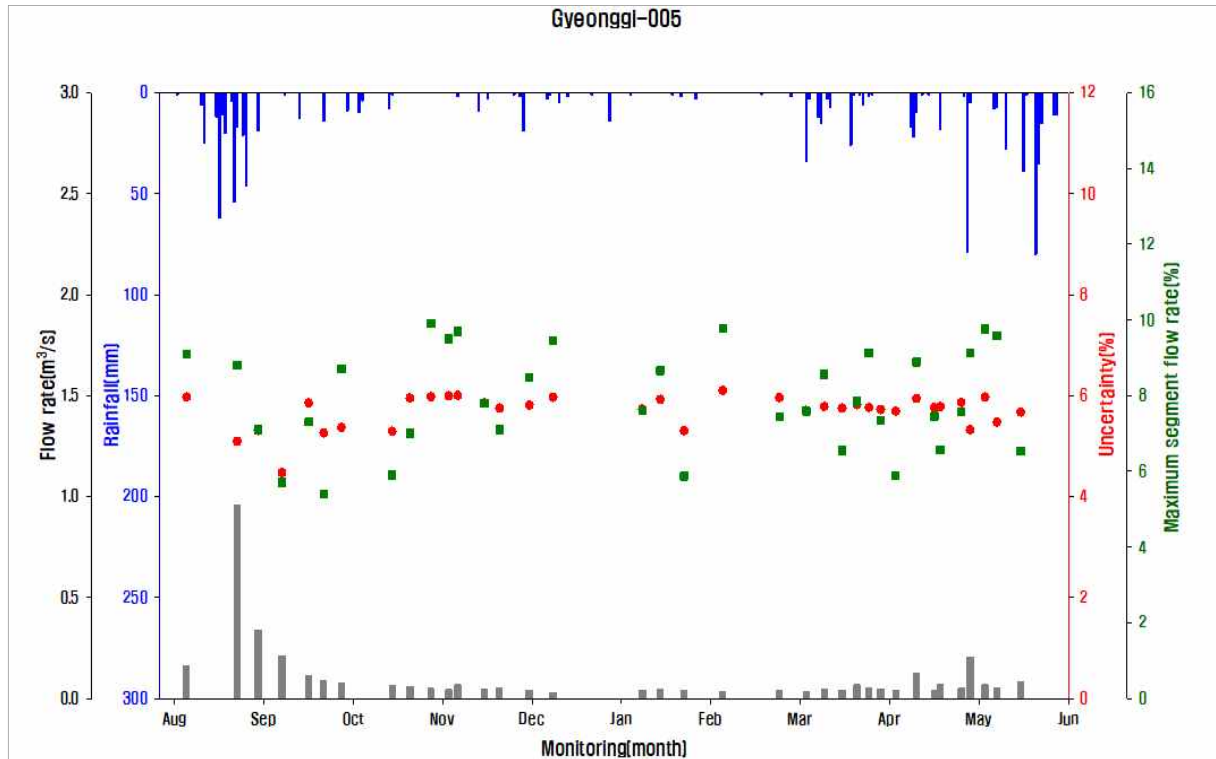


그림 5-8. 경기-005 (배머루교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

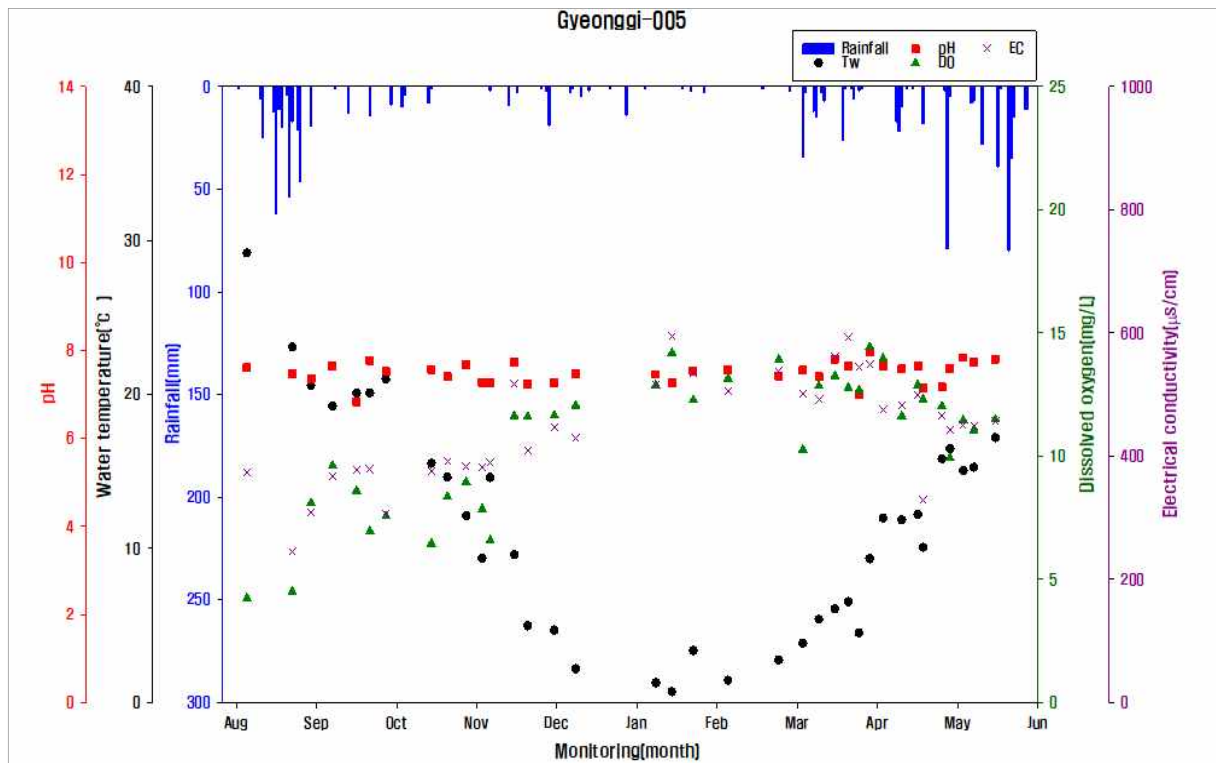


그림 5-9. 경기-005 (배머루교) 지점의 현장측정 결과

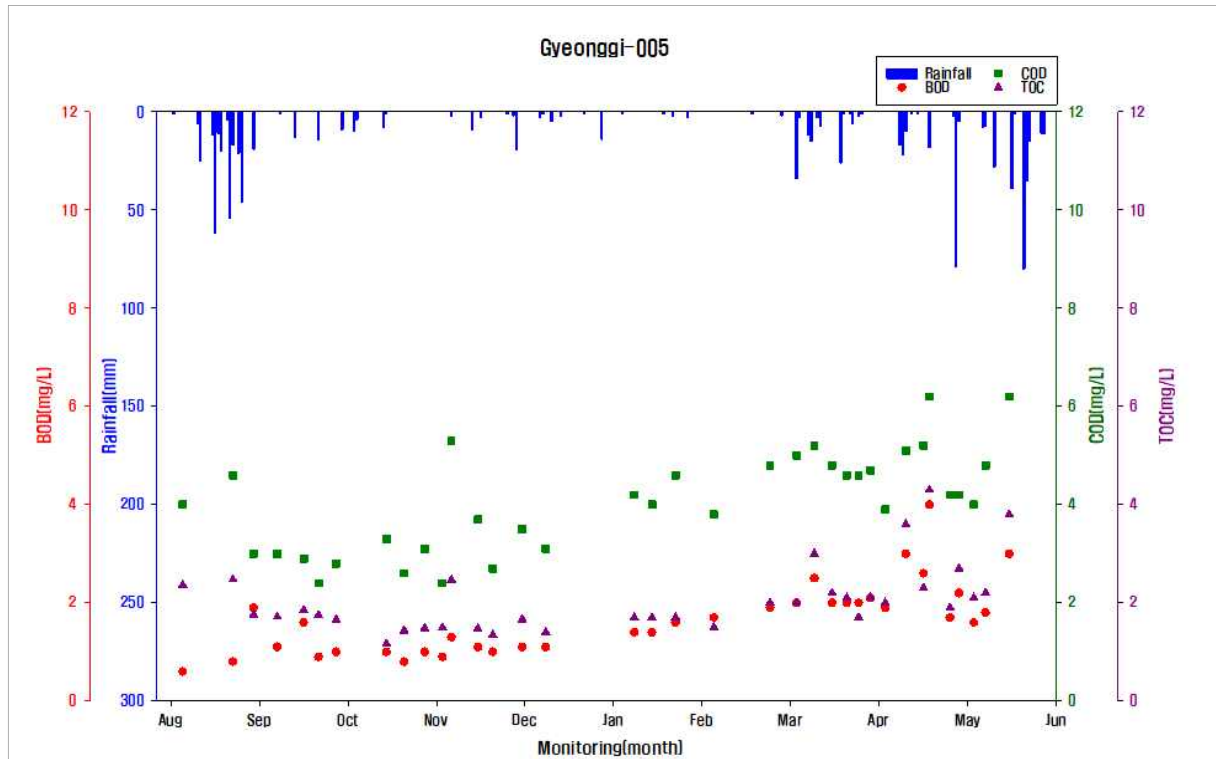


그림 5-10. 경기-005 (배머루교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

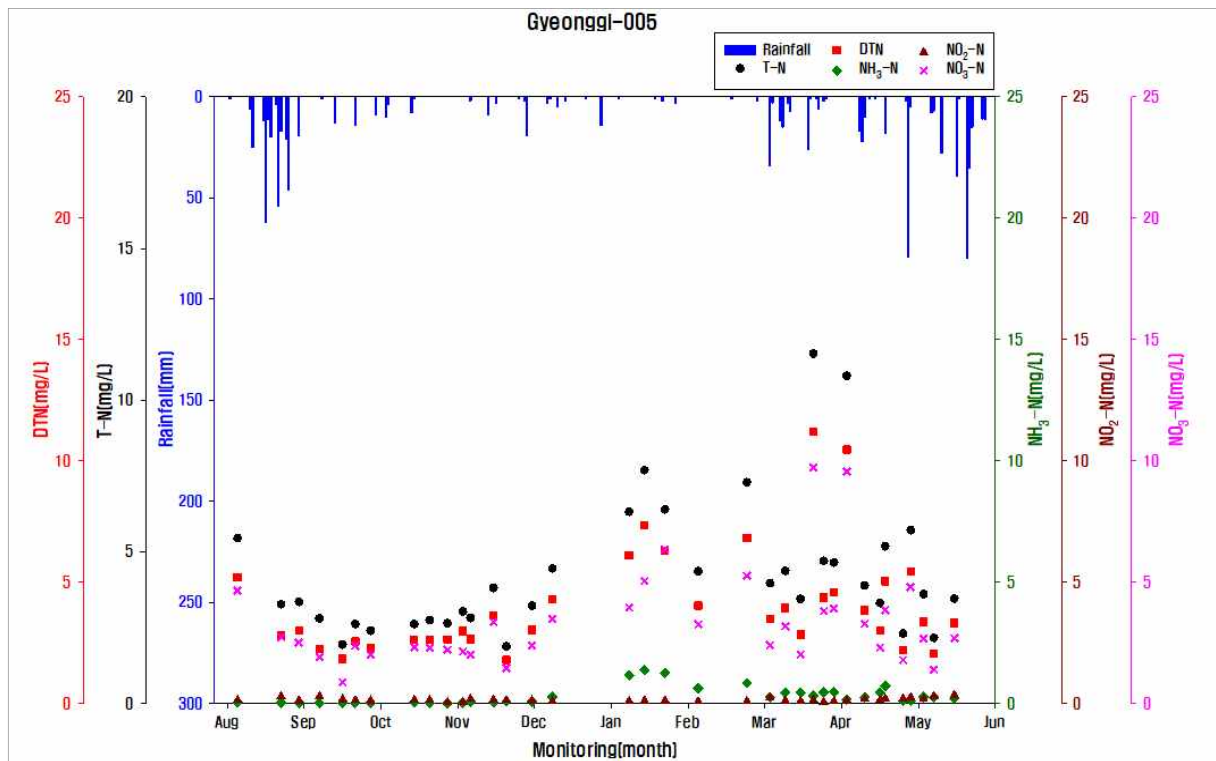


그림 5-11. 경기-005 (배머루교) 지점의 T-N 계열 결과

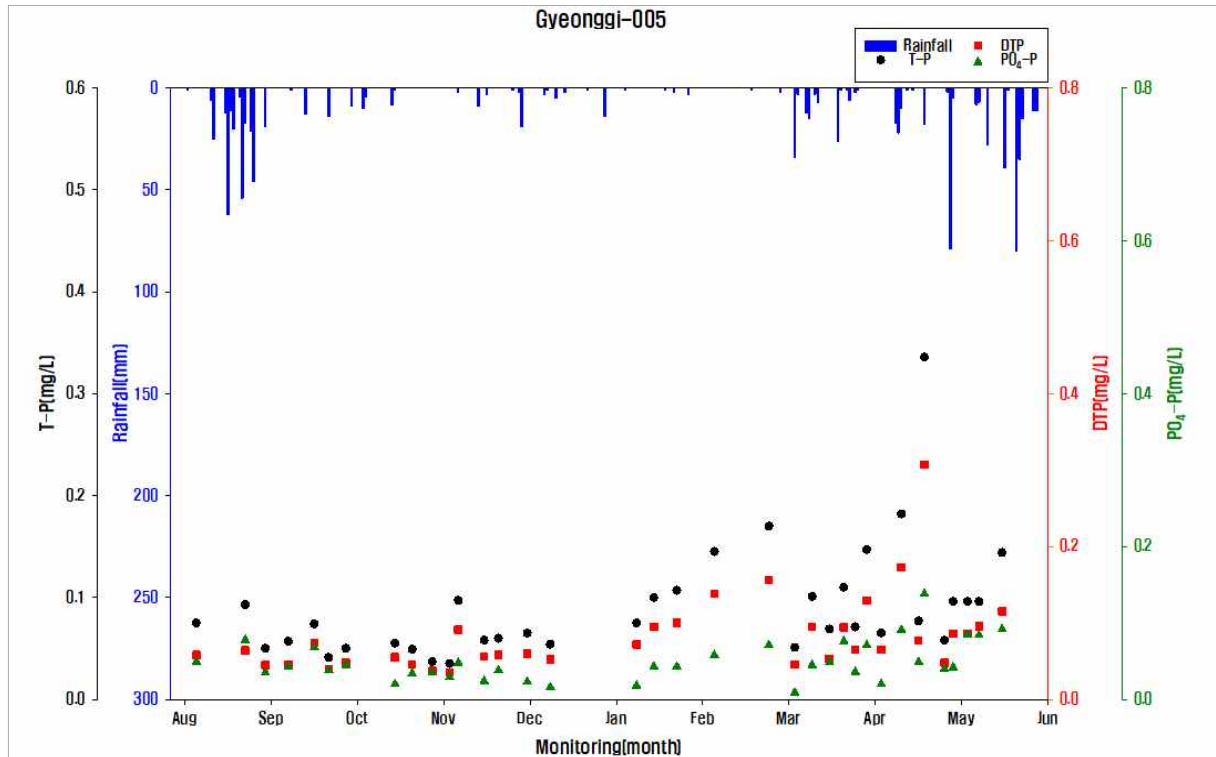


그림 5-12. 경기-005 (배머루교) 지점의 T-P 계열 결과

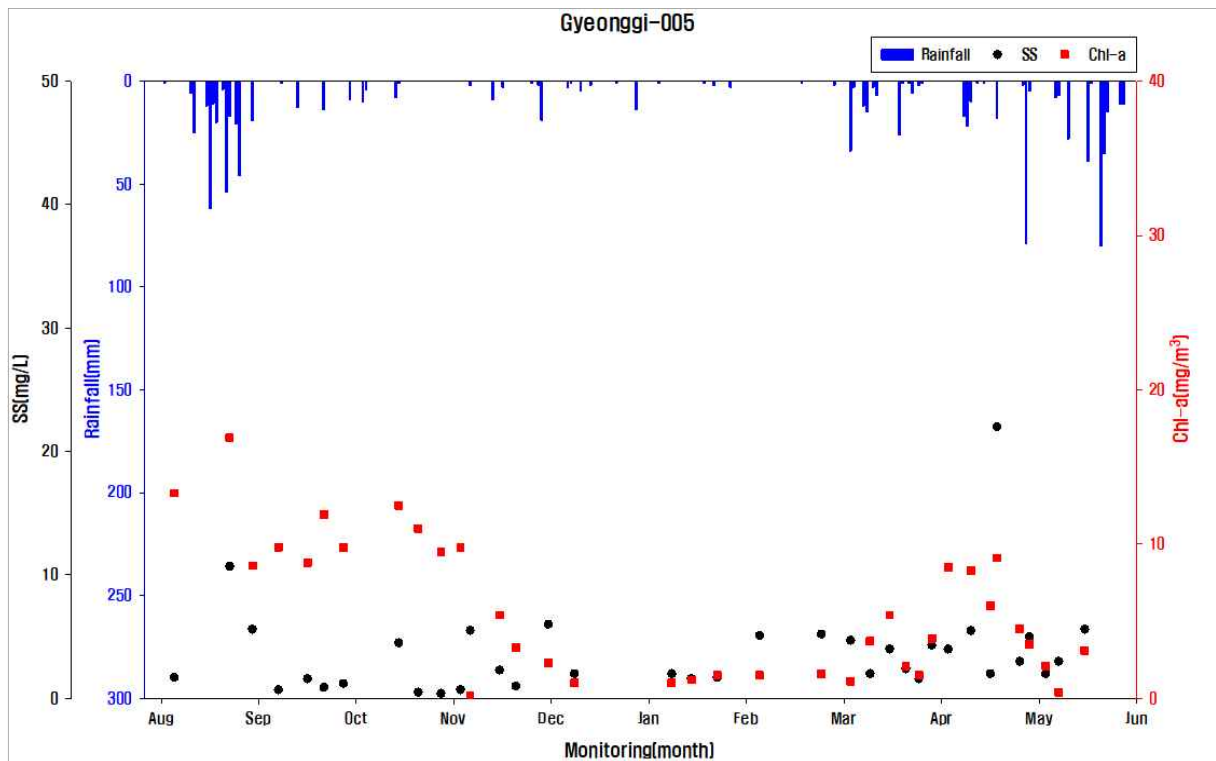


그림 5-13. 경기-005 (배머루교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 경안A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

경안천수계 경안A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-14>~<그림 5-15>에 나타내었다. 경안A 단위유역은 본류인 경안천을 중심으로 경안천-1, 능원천, 신대천, 양지천, 영문천, 금학천, 대대천, 초하천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 경안A 단위유역의 8개 측정 지점(마평교, 월촌교, 신대1교, 고진교, 배머루교, 금북교, 고림교, 초현교)의 BOD는 각각 1.6 mg/L, 2.5 mg/L, 1.7 mg/L, 1.6 mg/L, 1.7 mg/L, 2.0 mg/L, 1.2 mg/L, 1.2 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.087 mg/L, 0.170 mg/L, 0.091 mg/L, 0.089 mg/L, 0.090 mg/L, 0.219 mg/L, 0.063 mg/L, 0.048 mg/L로 나타났다. 관리대상하천은 생활환경기준 보통~약간나쁨에 해당하는 수준이고 오염우심하천은 생활환경기준 나쁨~매우나쁨에 해당하는 수준을 기준으로 하여 나타내었다. 조사 대상지점 총 8지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 좋음(Ib) 7지점(87.5%), 약간좋음(II) 1지점(12.5%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 약간좋음(II) 6지점(75.0%), 보통(III) 1지점(12.5%), 약간나쁨(IV) 1지점(12.5%)으로 나타났으며, 관리대상하천은 2지점(금학천, 능원천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

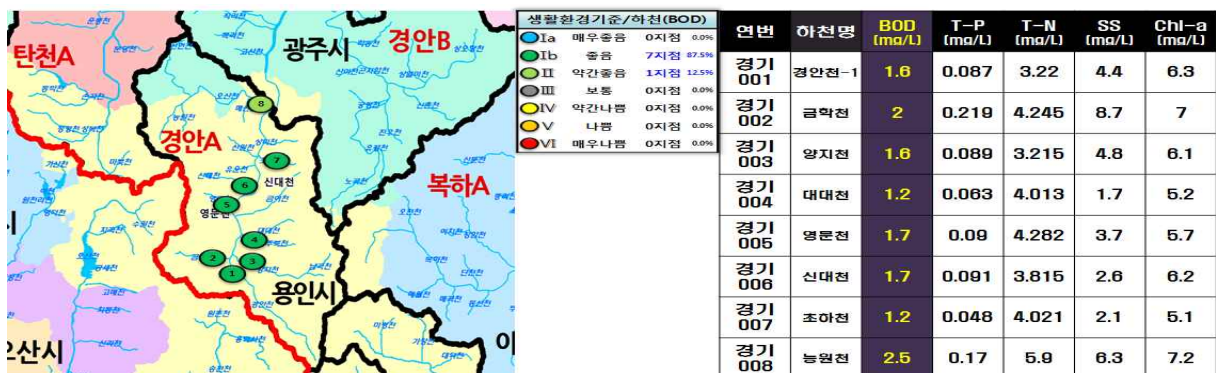


그림 5-14. 경안A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

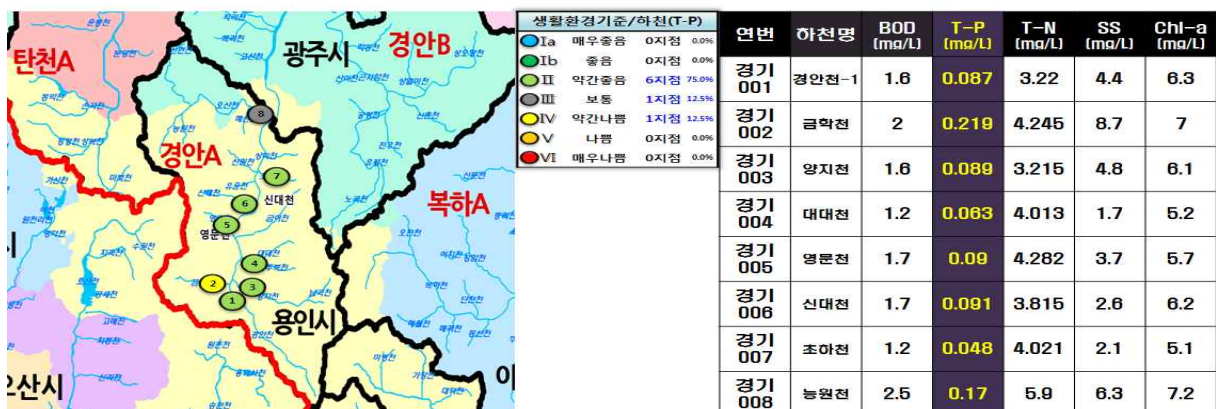


그림 5-15. 경안A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 경안A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

경안A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-5>에 나타내었다.

경안A 단위유역은 본류인 경안천을 중심으로 금학천, 양지천, 대대천, 영문천, 신대천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-경안A가 있다. 경안A 단위유역의 8개 측정지점(마평교, 월촌교, 신대1교, 고진교, 배머루교, 금복교, 고림교, 초현교)의 BOD는 각각 1.6 mg/L, 2.5 mg/L, 1.7 mg/L, 1.6 mg/L, 1.7 mg/L, 2.0 mg/L, 1.2 mg/L, 1.2 mg/L로 수질총량측정망 자료인 3.4 mg/L와 약간의 차이를 보였다. T-P는 각각 0.085 mg/L, 0.170 mg/L, 0.091 mg/L, 0.088 mg/L, 0.090 mg/L, 0.219 mg/L, 0.063 mg/L, 0.048 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.099 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.46 m³/s, 4.34 m³/s, 0.08 m³/s, 0.53 m³/s, 0.10 m³/s, 0.17 m³/s, 0.22 m³/s, 0.06 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 4.36 m³/s로 측정되었다. 경안A 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-5. 경안A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-001. 마평교	1.6	0.085	0.46
경기-002. 금복교	2.0	0.219	0.17
경기-003. 고진교	1.6	0.088	0.53
경기-004. 고림교	1.2	0.063	0.22
경기-005. 배머루교	1.7	0.090	0.10
경기-006. 신대1교	1.7	0.091	0.08
경기-007. 초현교	1.2	0.048	0.06
경기-008. 월촌교	2.5	0.170	4.34
총량측정망 - 경안A	3.4	0.099	4.36

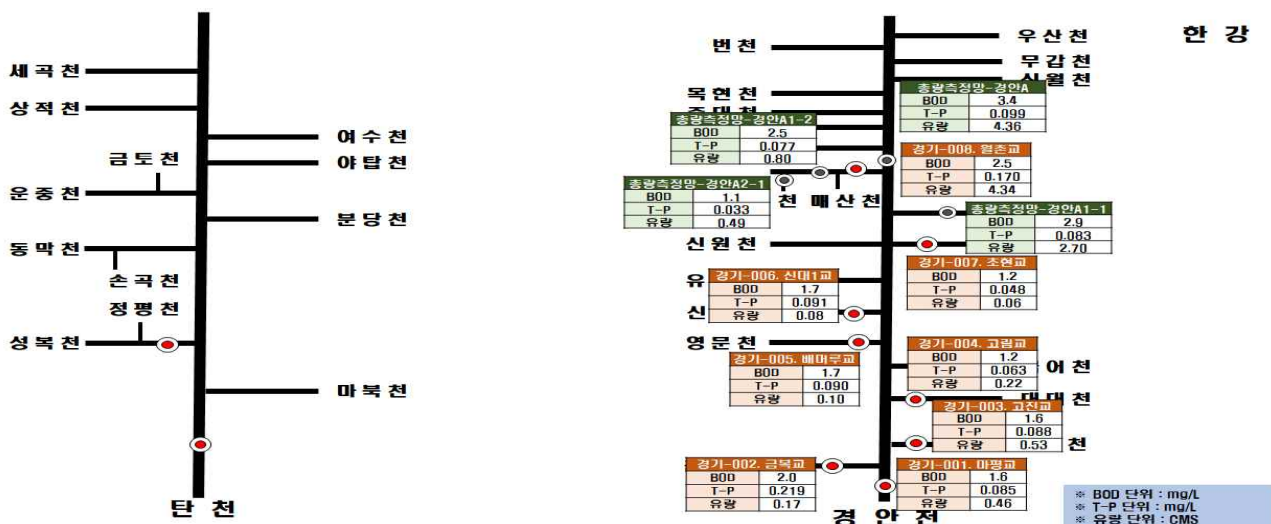


그림 5-16. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(경안A)

(5) 경안A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-005 배머루교

경기-005(배머루교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-17>에 나타내었다.

경기-005(배머루교) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ 였던 유량이 $0.96 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지 증가하였고 BOD 부하량은 66.3 kg/day , COD 부하량은 381.0 kg/day , SS 부하량은 886.2 kg/day , T-N 부하량은 270.7 kg/day , T-P 부하량은 7.7 kg/day 로 나타났다.

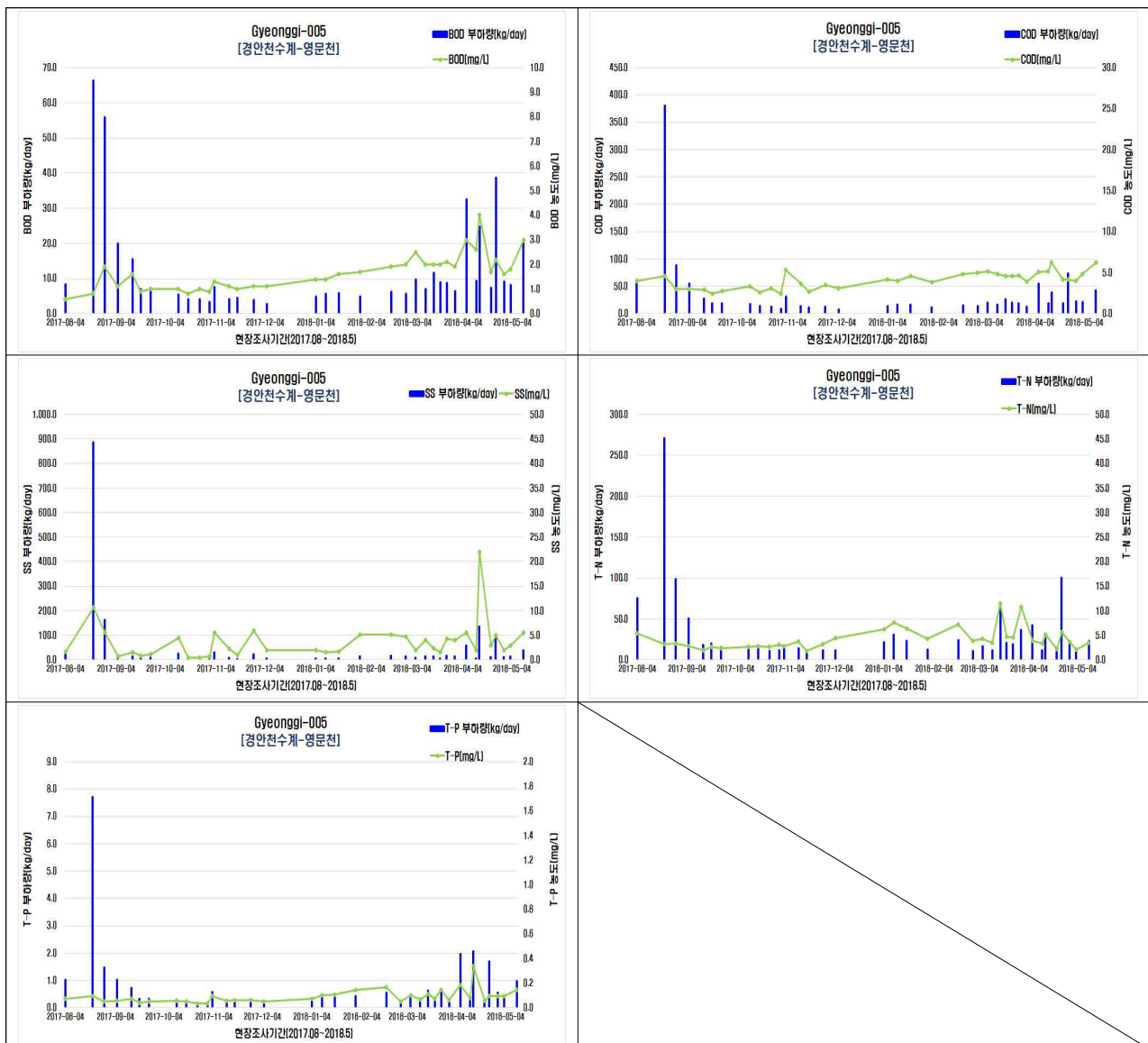


그림 5-17. 경기-005 (배머루교) 지점의 오염부하량 산정결과

2) 경안B 단위유역(5개 지점)

(1) 경안B 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-009 장지교

경기-009 (장지교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-6>에 나타내었다. 경기-009 (장지교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS는 피어슨 상관계수가 0.5399 로 수질항목간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다. BOD - TN, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 -0.4058, 0.0807 로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.8632 으로 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

표 5-6. 경기-009 (장지교) 지점의 상관성분석 결과

경안천수계(경기-009, 장지교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.5399	-0.4058	0.0807	0.8632
결정계수(R ²)	0.2915	0.1647	0.0065	0.7451

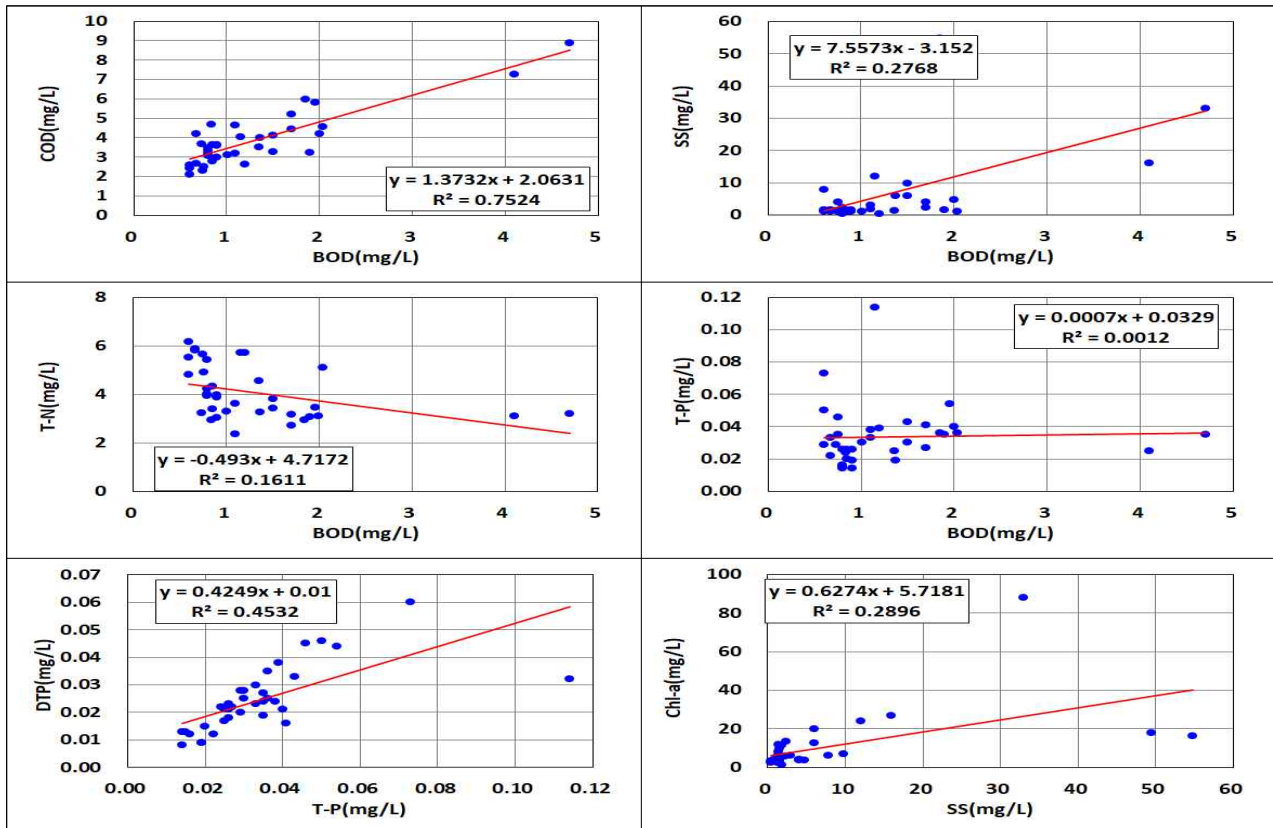


그림 5-18. 경기-009 (장지교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 경안B 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-009 장지교

경기-009 (장지교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.05 \sim 2.21 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 5.03% ($3.47 \sim 6.63\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 7.69% ($4.93 \sim 9.93\%$)로 나타났다. 하상재료가 주로 돌과 모래이며, 돌에 많은 이끼가 발생되어 있다. 특이사항으로는 우안의 흐름이 다소 약한 편이며, 좌안 및 중앙부에 흐름이 집중되어 있다. 상류부에 작은 다리가 있었다. 측정 지점은 중대천 하류 끝 부분으로, 경안천을 본류로 한다. 주변 하천으로는 직리천, 목리천 등이 있다.

경기-009 (장지교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.93 ($7.35 \sim 8.70$)으로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.40 mg/L ($6.12 \sim 16.17 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $419.3 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($278.0 \sim 544.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-009 (장지교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.3 mg/L ($0.6 \sim 4.7 \text{ mg/L}$), COD는 평균 3.8 mg/L ($2.1 \sim 8.9 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 2.5 mg/L ($1.3 \sim 6.2 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 31회차 조사 시 장지IC 인근 공업단지, 인근 주택 단지 등의 점오염원 및 인근 도로 및 농경지 등의 비점오염원 유입으로 인해 COD가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-009 (장지교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 4.045 mg/L ($2.366 \sim 6.154 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 3.979 mg/L ($2.293 \sim 6.081 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.071 mg/L ($0.007 \sim 0.213 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.038 mg/L ($0.014 \sim 0.132 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 3.492 mg/L ($2.000 \sim 5.600 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-009 (장지교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.034 mg/L ($0.014 \sim 0.114 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.024 mg/L ($0.008 \sim 0.060 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.016 mg/L ($0.000 \sim 0.053 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 16회차 조사 시 인근 농경지 비료 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-009 (장지교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 60.0 mg/L 이하였으며 평균 7.0 mg/L ($0.4 \sim 54.8 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 90.0 mg/m^3 이하였으며 평균 9.7 mg/m^3 ($1.4 \sim 88.0 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 2회차 조사 시 전날 30mm의 강우로 인해 증가하였고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

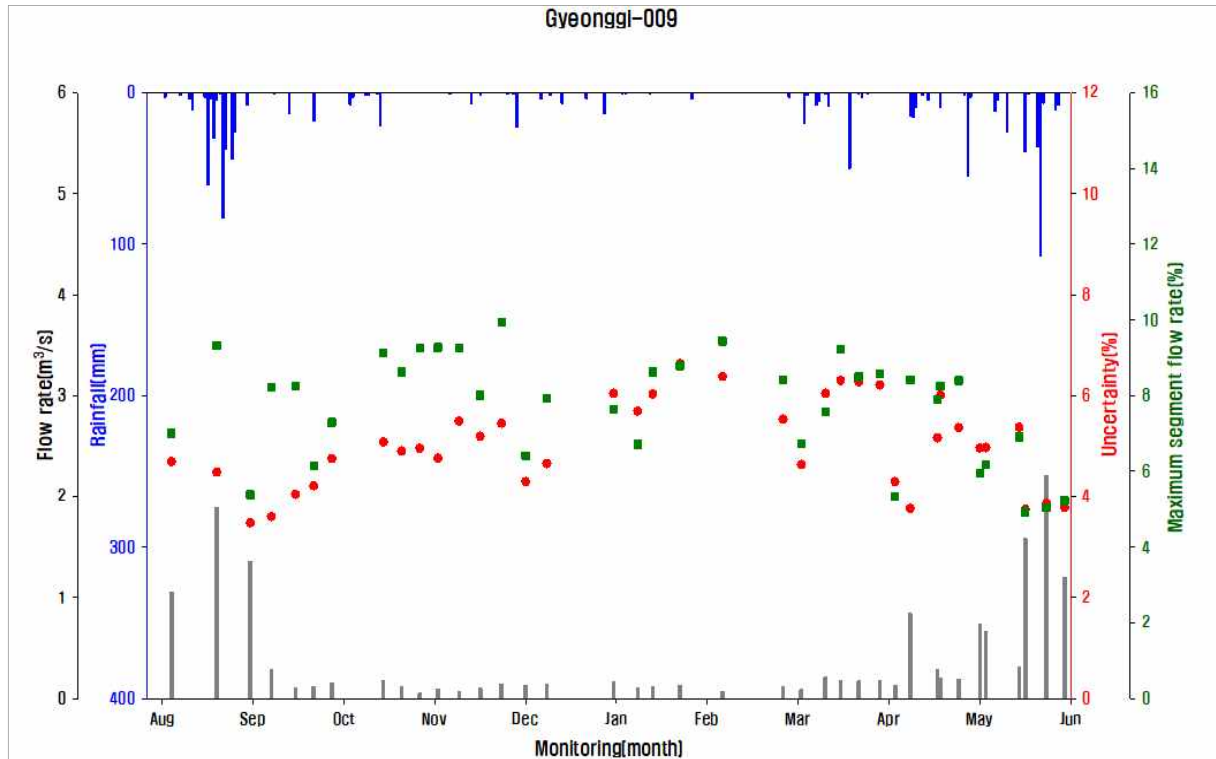


그림 5-19. 경기-009 (장지교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

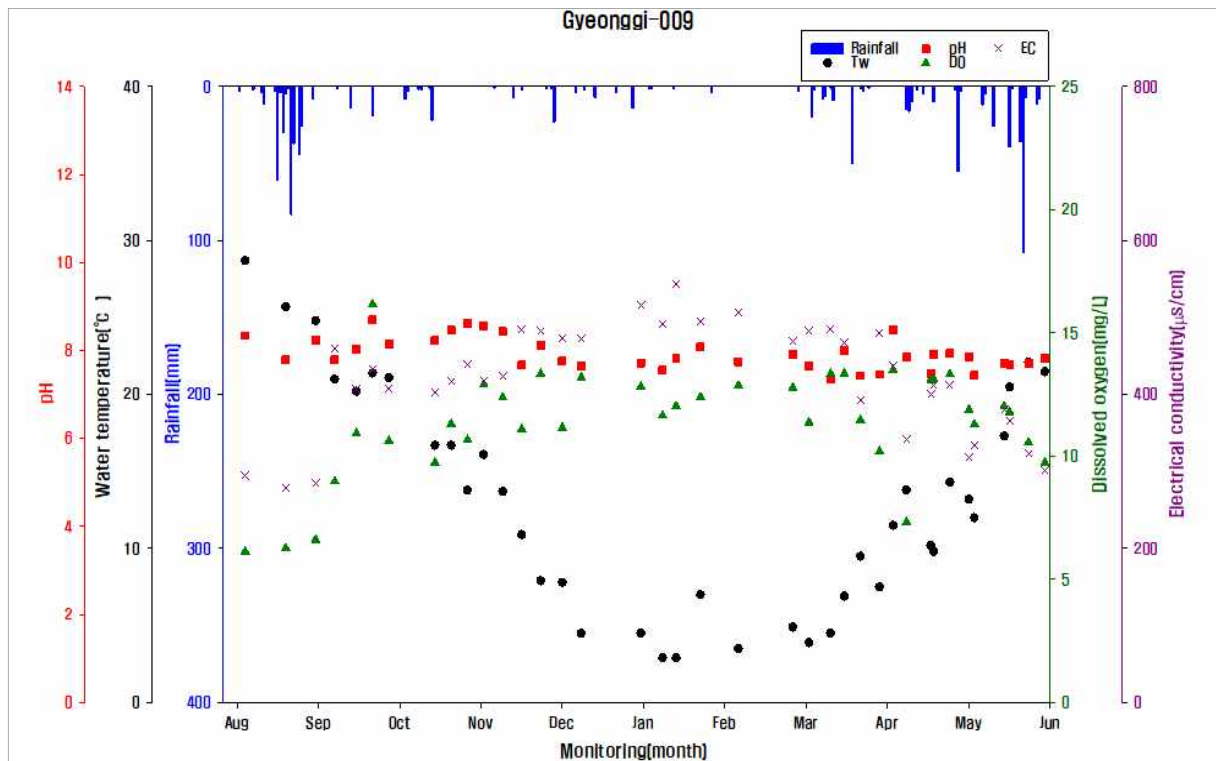


그림 5-20. 경기-009 (장지교) 지점의 현장측정 결과

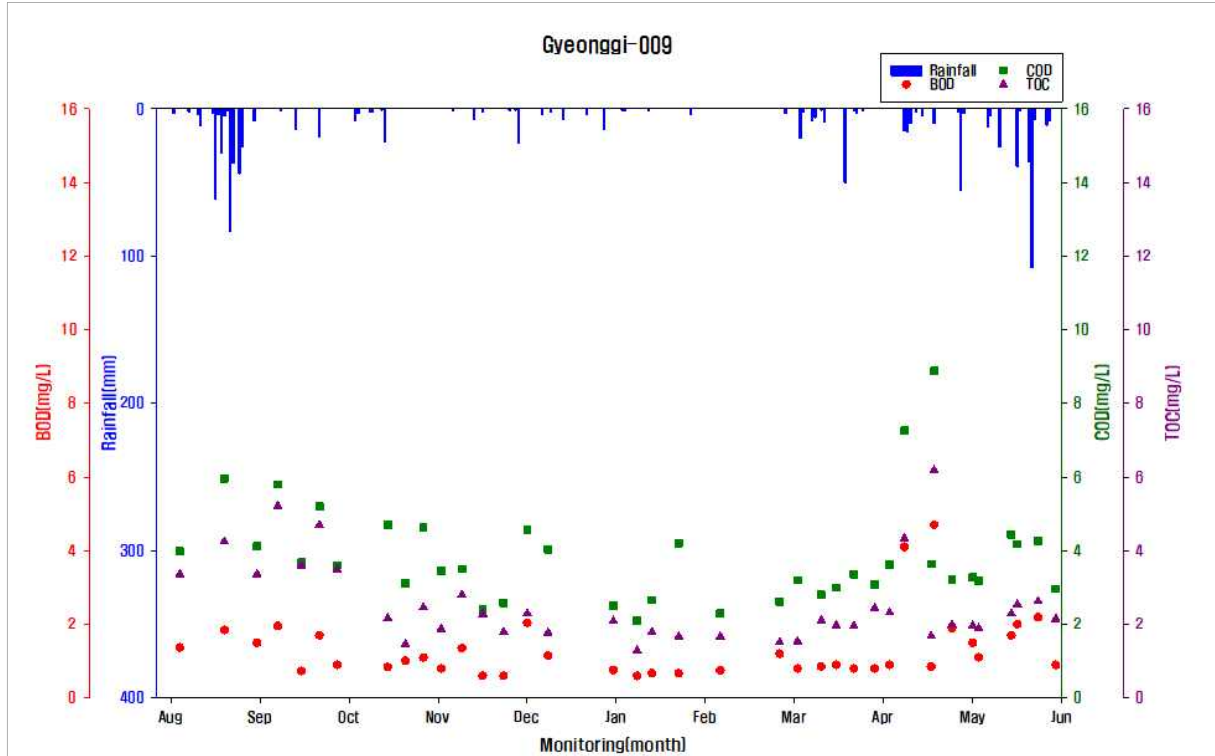


그림 5-21. 경기-009 (장지교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

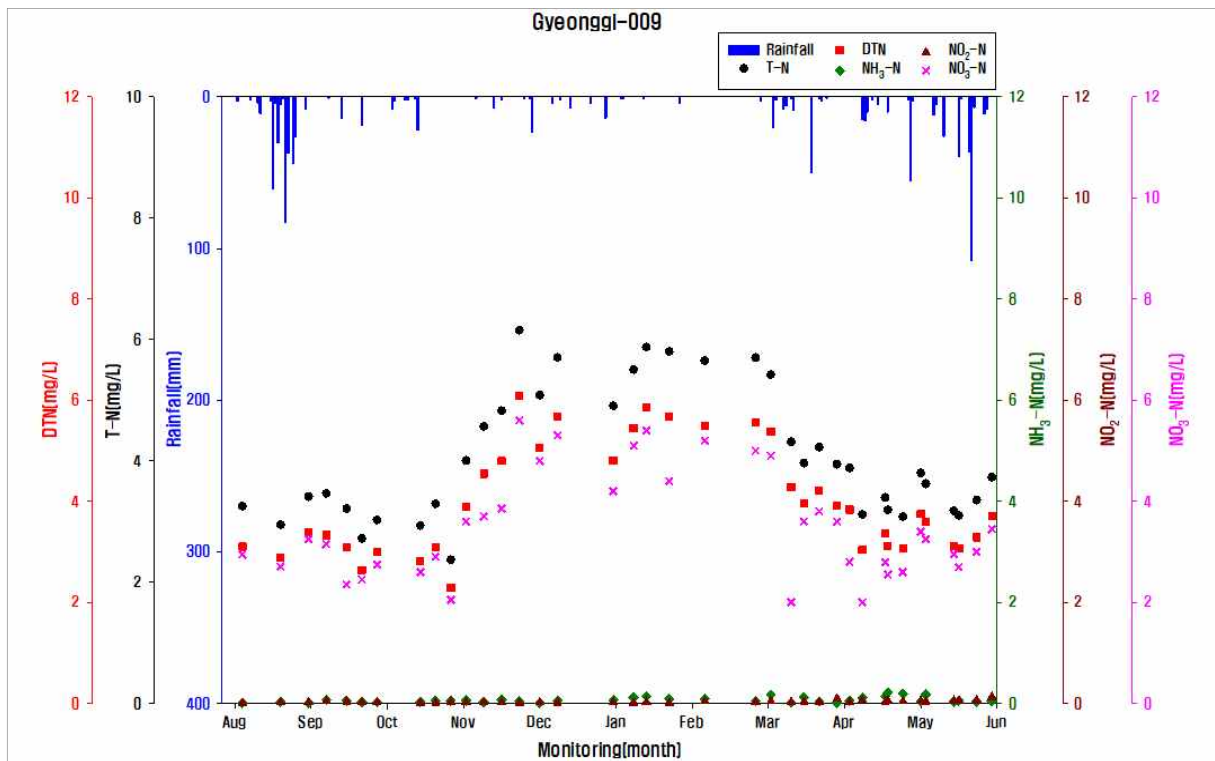


그림 5-22. 경기-009 (장지교) 지점의 T-N 계열 결과

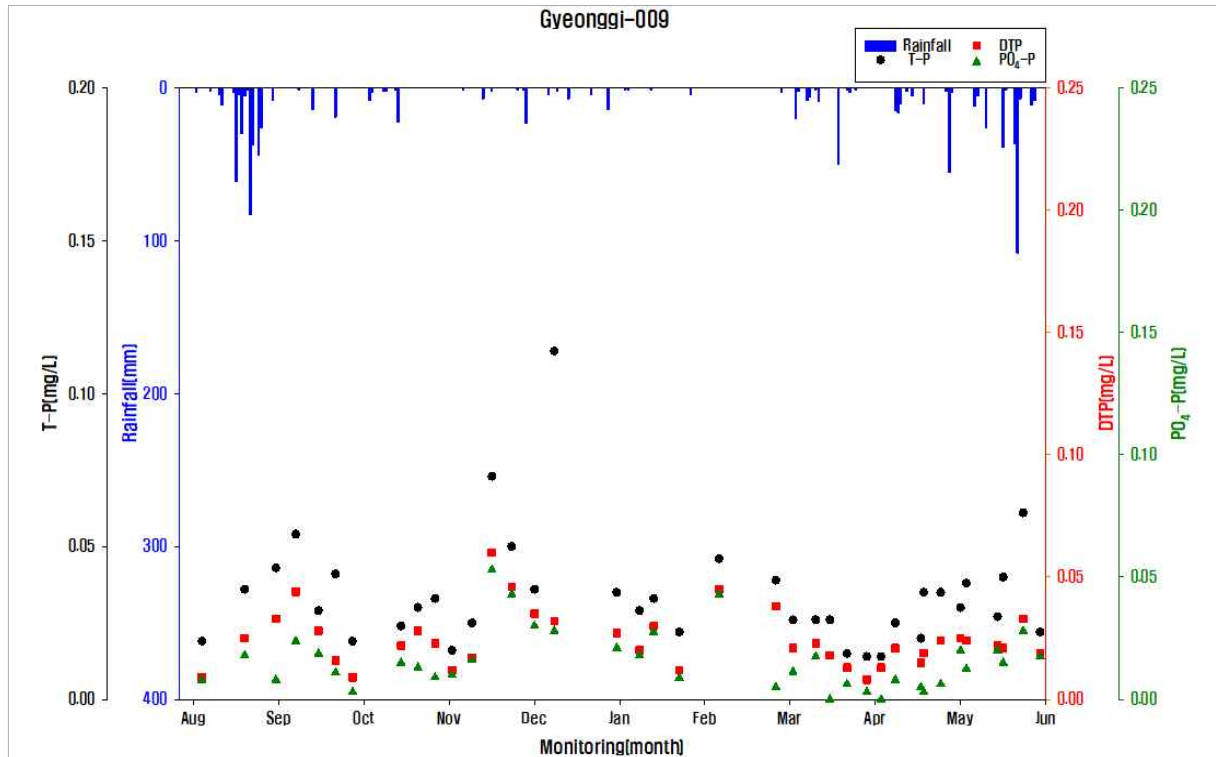


그림 5-23. 경기-009 (장지교) 지점의 T-P 계열 결과

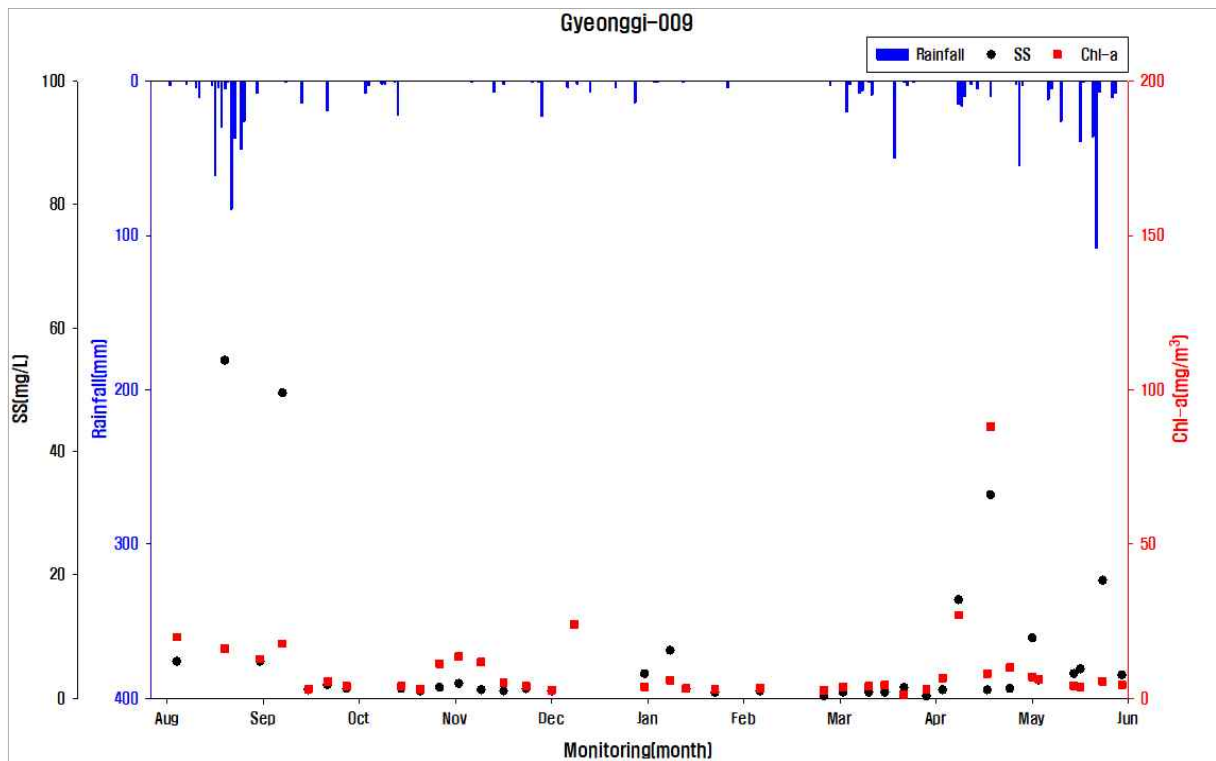


그림 5-24. 경기-009 (장지교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 경안B 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

경안천수계 경안B 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-25>~<그림 5-26>에 나타내었다. 경안B 단위유역은 본류인 경안천을 중심으로 목현천-1, 중대천, 곤지암천-1, 곤지암천-2 노곡천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 경안B 단위유역의 5개 측정지점(송정교, 장지교, 동남교, 선린교, 곤재교)의 BOD는 각각 1.2 mg/L, 1.3 mg/L, 1.0 mg/L, 1.3 mg/L, 1.2 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.047 mg/L, 0.034 mg/L, 0.023 mg/L, 0.022 mg/L, 0.036 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 5지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 1지점(20.0%), 좋음(Ib) 4지점(80.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 좋음(Ib) 4지점(80.0%), 약간좋음(II) 2지점(20.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

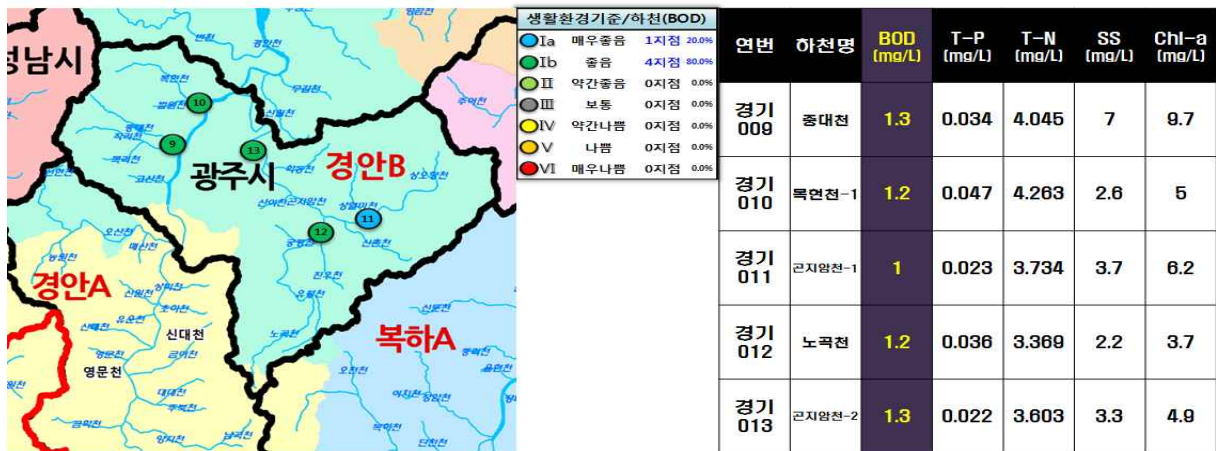


그림 5-25. 경안B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

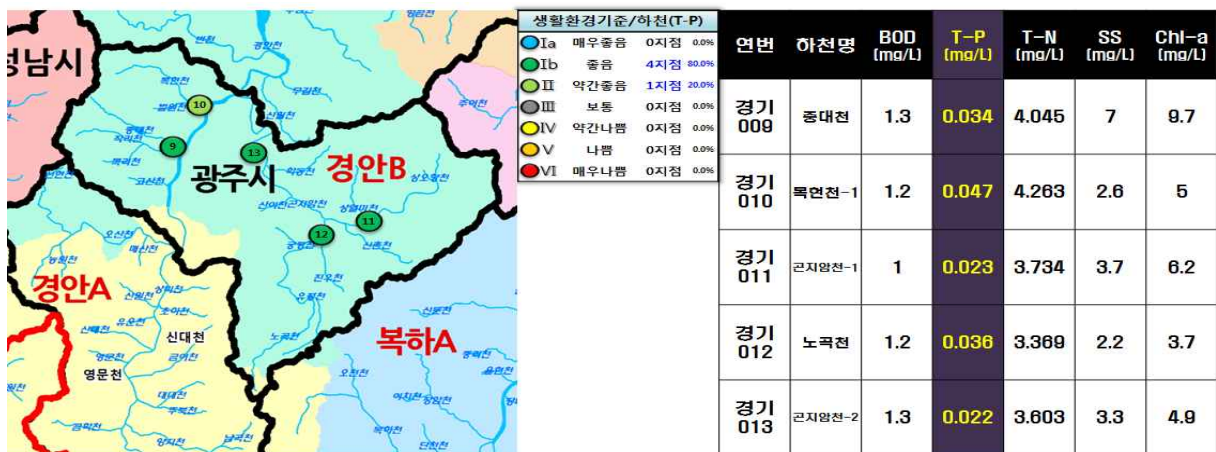


그림 5-26. 경안B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 경안B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

경안B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-7>에 나타내었다.

경안B 단위유역은 본류인 경안천을 중심으로 목현천, 중대천, 곤지암천, 노곡천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-경안B가 있다. 경안B 단위유역의 5개 측정지점(송정교, 장지교, 동남교, 선린교, 곤재교)의 BOD는 각각 1.2 mg/L, 1.3 mg/L, 1.0 mg/L, 1.3 mg/L, 1.2 mg/L로 수질총량측정망 자료인 2.0 mg/L와 약간의 차이를 보였다. T-P는 각각 0.047 mg/L, 0.034 mg/L, 0.023 mg/L, 0.022 mg/L, 0.036 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.059 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.31 m³/s, 0.42 m³/s, 0.79 m³/s, 1.91 m³/s, 0.91 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 9.48 m³/s로 측정되었다. 경안B 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-7. 경안B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-009. 장지교	1.3	0.034	0.42
경기-010. 송정교	1.2	0.047	0.31
경기-011. 동남교	1.0	0.023	0.79
경기-012. 곤재교	1.2	0.036	0.91
경기-013. 선린교	1.3	0.022	1.91
총량측정망 - 경안B	2.0	0.059	9.48

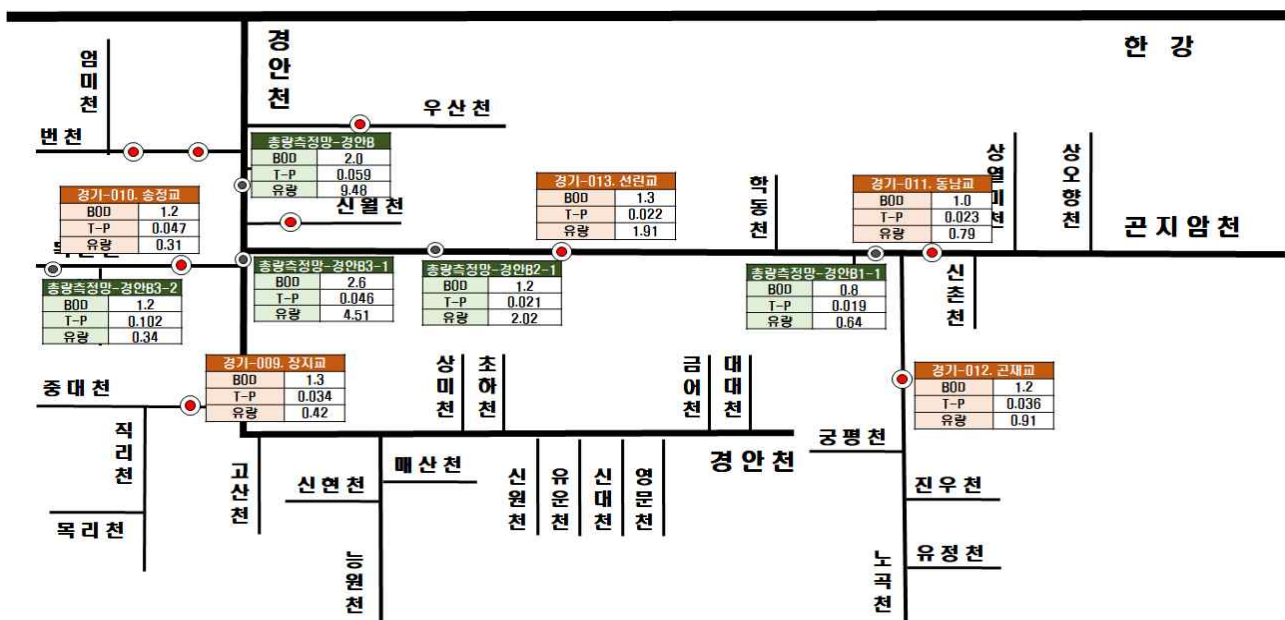


그림 5-27. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(경안B)

(5) 경안B 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-009 장지교

경기-009(장지교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-28>에 나타내었다.

경기-009(장지교) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.42 m³/s였던 유량이 2.21 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 420.1 kg/day, COD 부하량은 813.4 kg/day, SS 부하량은 3,655.2 kg/day, T-N 부하량은 640.2 kg/day, T-P 부하량은 11.6 kg/day로 나타났다.

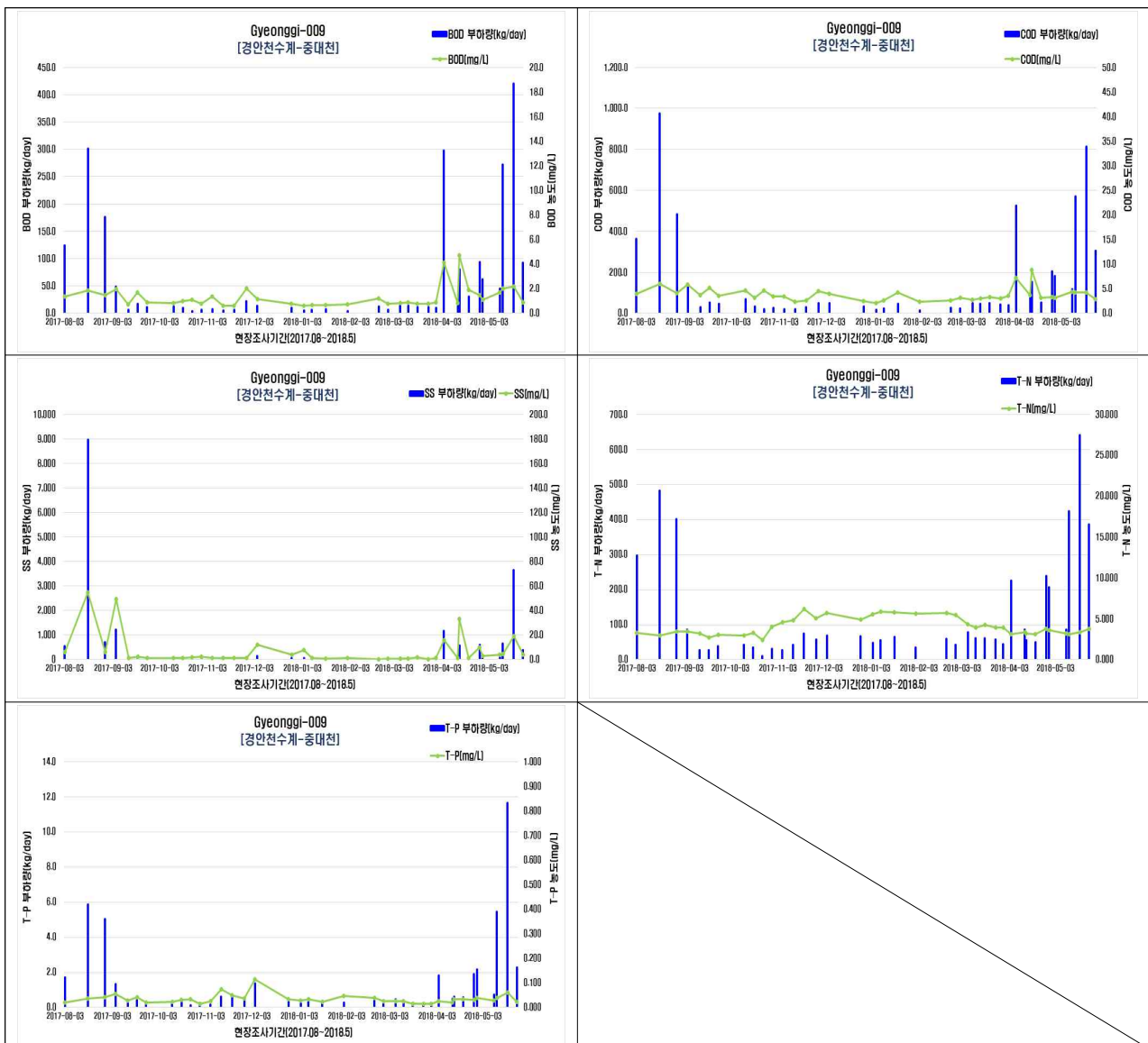


그림 5-28. 경기-009 (장지교) 지점의 오염부하량 산정결과

제2절 남한강 수계

1. 남한강 수계의 지천별 수질분석 결과

본 연구결과(2단계)를 토대로 남한강 수계의 청미천, 양화천, 복하천, 흑천, 남한강 지천을 대상으로 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질 항목별 평균값을 비교분석하였다.

청미천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.89 m³/s(0.02~18.03 m³/s), 수온이 14.1℃(1.0~30.8℃), pH가 7.56(6.83~8.72), DO가 10.15 mg/L(4.99~14.83 mg/L), 전기전도도가 415.7 μs/cm(133.0~1,045.0 μs/cm), BOD가 3.2 mg/L(0.4~22.0 mg/L), COD가 8.7 mg/L(1.9~31.7 mg/L), TOC가 5.1 mg/L(1.4~20.5 mg/L), SS가 16.9 mg/L(0.4~532.0 mg/L), T-N이 7.034 mg/L(1.898~1.481 mg/L), DTN이 6.899 mg/L(1.481~47.923 mg/L), NH₃-N 1.318 mg/L(0.000~23.275 mg/L), NO₂-N이 0.528 mg/L(0.000~10.200 mg/L), NO₃-N이 4.193 mg/L(1.100~16.200 mg/L), T-P가 0.145 mg/L(0.037~1.366 mg/L), DTP 0.122 mg/L(0.027~1.324 mg/L), PO₄-P가 0.089 mg/L(0.004~0.798 mg/L), Chl-a가 15.0 mg/m³(0.6~218.9 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 0.89 m³/s로 중간값인 0.27 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이며, NH₃-N, NO₂-N 또한 평균값이 각각 1.318 mg/L, 0.528 mg/L로 중간값인 0.268 mg/L, 0.108 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-8. 청미천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.89	14.1	7.59	10.15	415.7	3.2	8.7	5.1	16.9
최소값	0.02	1.0	6.83	4.99	133.0	0.4	1.9	1.4	0.4
최대값	18.03	30.8	8.72	14.83	1,045.0	22.0	31.7	20.5	532.0
표준편차	1.95	7.6	0.35	2.04	140.3	2.8	5.7	2.6	40.7
95%ile	3.34	26.5	8.23	13.27	718.5	9.0	21.6	9.4	63.1
75%ile	0.67	20.1	7.80	11.58	439.3	4.3	11.5	6.5	17.0
중간값 (median)	0.27	15.5	7.58	10.34	382.0	2.4	6.5	4.6	6.8
25%ile	0.13	6.8	7.34	8.83	345.8	1.4	4.6	2.9	3.2
5%ile	0.05	2.6	7.05	6.24	243.0	0.8	2.8	1.9	1.0
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	7.034	6.899	1.318	0.528	4.193	0.145	0.122	0.089	15.0
최소값	1.898	1.481	0.000	0.000	1.100	0.037	0.027	0.004	0.6
최대값	48.625	47.923	23.275	10.200	16.200	1.366	1.324	0.798	218.9
표준편차	5.820	5.774	3.144	1.430	1.624	0.118	0.113	0.078	23.1
95%ile	15.931	15.782	5.781	3.804	6.695	0.298	0.275	0.219	53.3
75%ile	7.086	6.890	1.140	0.244	4.872	0.178	0.149	0.104	13.5
중간값 (median)	5.607	5.463	0.268	0.108	3.900	0.116	0.095	0.070	8.5
25%ile	4.487	4.378	0.063	0.057	3.250	0.078	0.065	0.043	4.9
5%ile	3.209	3.155	0.015	0.007	2.305	0.056	0.039	0.019	2.4

양화천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.31 m³/s(0.02~2.83 m³/s), 수온이 14.5℃(0.2~31.5℃), pH가 7.73(6.39~9.03), DO가 10.90 mg/L(4.15~22.20 mg/L), 전기전도도가 519.4 μs/cm(231.0~1,203.0 μs/cm), BOD가 3.1 mg/L(0.6~32.0 mg/L), COD가 8.1 mg/L(3.2~30.4 mg/L), TOC가 5.3 mg/L(2.4~24.6 mg/L), SS가 16.5 mg/L(1.0~472.0 mg/L), T-N이 6.593 mg/L(2.801~17.435 mg/L), DTN이 6.414 mg/L(2.725~17.406 mg/L), NH₃-N 0.756 mg/L(0.000~3.110 mg/L), NO₂-N이 0.157 mg/L(0.000~0.660 mg/L), NO₃-N이 4.848 mg/L(1.137~14.400 mg/L), T-P가 0.180 mg/L(0.046~0.855 mg/L), DTP 0.155 mg/L(0.034~0.845 mg/L), PO₄-P가 0.096 mg/L(0.006~0.375 mg/L), Chl-a가 11.8 mg/m³(0.3~261.0 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 SS의 평균값이 16.5 mg/L로 중간값인 5.6 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 여름철에 강수량이 집중되어 SS의 유입이 크게 증가하였기 때문이다.

표 5-9. 양화천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.31	14.5	7.73	10.90	519.9	3.1	8.1	5.3	16.5
최소값	0.02	0.2	6.39	4.15	231.0	0.6	3.2	2.4	1.0
최대값	2.83	31.5	9.03	22.20	1,203.0	32.0	30.4	24.6	472.0
표준편차	0.46	8.1	0.54	2.97	150.4	3.4	4.7	2.9	49.1
95%ile	1.44	27.2	8.88	15.08	768.2	6.8	17.2	9.1	57.0
75%ile	0.41	21.0	7.92	13.01	595.0	3.8	8.3	6.1	10.2
중간값 (median)	0.14	15.5	7.69	11.03	510.0	2.3	6.5	4.7	5.6
25%ile	0.07	6.9	7.45	9.13	393.0	1.5	5.2	3.6	3.4
5%ile	0.04	0.8	6.93	5.14	344.6	0.9	3.8	2.6	1.6
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	6.593	6.414	0.756	0.157	4.848	0.180	0.155	0.096	11.8
최소값	2.801	2.725	0.000	0.000	1.137	0.046	0.034	0.006	0.3
최대값	17.435	17.406	3.110	0.660	14.400	0.855	0.845	0.375	261.0
표준편차	2.316	2.328	0.784	0.134	2.095	0.107	0.107	0.064	25.7
95%ile	11.846	11.703	2.524	0.466	8.620	0.320	0.297	0.227	34.9
75%ile	7.427	7.255	1.095	0.196	5.800	0.203	0.180	0.134	10.5
중간값 (median)	6.393	6.246	0.467	0.122	4.600	0.156	0.133	0.083	5.6
25%ile	5.272	4.931	0.100	0.070	3.451	0.126	0.103	0.049	3.8
5%ile	3.415	3.274	0.027	0.009	2.171	0.072	0.054	0.020	2.0

북하천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 $0.49 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.03\sim 3.37 \text{ m}^3/\text{s}$), 수온이 14.5°C ($0.1\sim 32.3^\circ\text{C}$), pH가 7.47($5.86\sim 8.66$), DO가 8.92 mg/L ($3.16\sim 14.52 \text{ mg/L}$), 전기전도도가 $634.1 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ($139.0\sim 1,891.0 \text{ }\mu\text{S/cm}$), BOD가 3.7 mg/L ($0.4\sim 31.8 \text{ mg/L}$), COD가 5.7 mg/L ($2.2\sim 37.4 \text{ mg/L}$), TOC가 3.6 mg/L ($1.2\sim 33.6 \text{ mg/L}$), SS가 9.9 mg/L ($0.6\sim 162.7 \text{ mg/L}$), T-N이 6.868 mg/L ($1.727\sim 20.798 \text{ mg/L}$), DTN이 6.706 mg/L ($1.704\sim 20.617 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 1.803 mg/L ($0.000\sim 12.883 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 0.179 mg/L ($0.008\sim 1.640 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 4.041 mg/L ($0.200\sim 10.000 \text{ mg/L}$), T-P가 0.123 mg/L ($0.016\sim 1.010 \text{ mg/L}$), DTP 0.105 mg/L ($0.008\sim 0.953 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 0.077 mg/L ($0.006\sim 0.793 \text{ mg/L}$), Chl-a가 4.9 mg/m^3 ($0.3\sim 46.4 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. 분석결과 중 $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 의 평균값이 각각 1.803 mg/L , 0.179 mg/L 로 중간값인 0.142 mg/L , 0.076 mg/L 와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-10. 북하천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m^3/s)	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.49	14.5	7.47	8.92	634.1	3.7	5.7	3.6	9.9
최소값	0.03	0.1	5.86	3.16	139.0	0.4	2.2	1.2	0.6
최대값	3.37	32.3	8.66	14.52	1,891.0	31.8	37.4	33.6	162.7
표준편차	0.55	7.2	0.46	2.91	508.8	4.3	3.7	2.9	19.7
95%ile	1.49	26.6	8.12	13.78	1705.1	12.2	10.7	7.9	30.9
75%ile	0.79	19.4	7.77	11.62	614.0	4.7	6.8	4.0	9.6
중간값 (median)	0.22	14.6	7.50	8.78	419.0	2.2	4.6	3.0	5.0
25%ile	0.10	8.4	7.25	6.18	319.5	1.2	3.6	2.3	2.4
5%ile	0.04	3.1	6.47	4.72	234.8	0.6	2.5	1.5	1.0
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	Chl-a (mg/m^3)
평균값	6.868	6.706	1.803	0.179	4.041	0.123	0.105	0.077	4.9
최소값	1.727	1.704	0.000	0.008	0.200	0.016	0.008	0.006	0.3
최대값	20.798	20.617	12.883	1.640	10.000	1.010	0.953	0.793	46.4
표준편차	4.781	4.711	2.888	0.247	1.928	0.120	0.107	0.091	5.5
95%ile	16.885	16.796	8.276	0.785	7.910	0.349	0.307	0.281	12.2
75%ile	6.809	6.745	2.157	0.211	5.100	0.133	0.117	0.080	5.5
중간값 (median)	4.767	4.606	0.142	0.076	3.525	0.084	0.074	0.048	3.7
25%ile	3.985	3.798	0.058	0.032	2.650	0.062	0.052	0.028	2.2
5%ile	2.895	2.857	0.013	0.020	1.650	0.032	0.023	0.013	1.1

흑천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.78 m³/s(0.01~18.85 m³/s), 수온이 12.3℃(0.2~28.6℃), pH가 7.53(6.57~8.57), DO가 10.94 mg/L(3.57~15.37 mg/L), 전기전도도가 144.2 μs/cm(67.2~301.0 μs/cm), BOD가 0.8 mg/L(0.2~2.8 mg/L), COD가 1.8 mg/L(0.7~21.0 mg/L), TOC가 1.3 mg/L(0.3~3.9 mg/L), SS가 1.4 mg/L(0.0~23.6 mg/L), T-N이 3.051 mg/L(1.022~6.981 mg/L), DTN이 2.888 mg/L(0.993~5.934 mg/L), NH₃-N 0.045 mg/L(0.000~0.859 mg/L), NO₂-N이 0.007 mg/L(0.000~0.081 mg/L), NO₃-N이 2.637 mg/L(0.924~4.939 mg/L), T-P가 0.017 mg/L(0.000~0.201 mg/L), DTP 0.015 mg/L(0.000~0.186 mg/L), PO₄-P가 0.007 mg/L(0.000~0.184 mg/L), Chl-a가 1.9 mg/m³(0.0~31.1 mg/m³)로 나타났다.

표 5-11. 흑천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.78	12.3	7.53	10.94	144.2	0.8	1.8	1.3	1.4
최소값	0.01	0.2	6.57	3.57	67.2	0.2	0.7	0.3	0.0
최대값	18.85	28.6	8.57	15.37	301.0	2.8	21.0	3.9	23.6
표준편차	1.47	7.4	0.38	2.58	37.5	0.4	1.2	0.5	2.1
95%ile	2.91	23.5	8.16	14.52	228.8	1.7	3.2	2.3	4.0
75%ile	0.77	18.9	7.83	12.97	154.6	1.0	2.1	1.5	1.6
중간값 (median)	0.37	12.5	7.54	11.18	140.8	0.7	1.6	1.2	0.8
25%ile	0.14	5.8	7.22	9.50	123.8	0.5	1.3	0.9	0.4
5%ile	0.06	0.8	6.93	5.83	89.0	0.3	1.0	0.5	0.2
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	3.051	2.888	0.045	0.007	2.637	0.017	0.015	0.007	1.9
최소값	1.022	0.993	0.000	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.0
최대값	6.981	5.934	0.859	0.081	4.939	0.201	0.186	0.184	31.1
표준편차	0.850	0.791	0.108	0.010	0.735	0.018	0.017	0.012	2.8
95%ile	4.453	4.252	0.189	0.027	3.942	0.047	0.046	0.020	6.4
75%ile	3.573	3.396	0.043	0.010	3.079	0.021	0.018	0.008	1.9
중간값 (median)	2.997	2.815	0.015	0.005	2.556	0.012	0.010	0.004	1.1
25%ile	2.448	2.336	0.000	0.000	2.102	0.008	0.007	0.000	0.6
5%ile	1.810	1.714	0.000	0.000	1.539	0.000	0.000	0.000	0.3

남한강 지천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.02\sim 3.06 \text{ m}^3/\text{s}$), 수온이 12.7°C ($0.1\sim 31.8^\circ\text{C}$), pH가 7.53($6.34\sim 8.52$), DO가 10.85 mg/L ($4.14\sim 16.81 \text{ mg/L}$), 전기전도도가 $264.8 \mu\text{S/cm}$ ($101.1\sim 569.0 \mu\text{S/cm}$), BOD가 1.3 mg/L ($0.2\sim 9.4 \text{ mg/L}$), COD가 3.4 mg/L ($0.9\sim 22.7 \text{ mg/L}$), TOC가 2.4 mg/L ($0.5\sim 19.8 \text{ mg/L}$), SS가 9.2 mg/L ($0.0\sim 410.0 \text{ mg/L}$), T-N이 2.780 mg/L ($1.428\sim 7.410 \text{ mg/L}$), DTN이 2.620 mg/L ($1.286\sim 6.674 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.148 mg/L ($0.000\sim 2.240 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 0.023 mg/L ($0.000\sim 0.203 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 2.219 mg/L ($0.948\sim 5.865 \text{ mg/L}$), T-P가 0.069 mg/L ($0.000\sim 0.889 \text{ mg/L}$), DTP 0.062 mg/L ($0.000\sim 0.860 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 0.027 mg/L ($0.000\sim 0.550 \text{ mg/L}$), Chl-a가 4.6 mg/m^3 ($0.3\sim 49.3 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. 분석결과 중 SS의 평균값이 9.2 mg/L 로 중간값인 2.8 mg/L 와 큰 차이를 보였는데 이는 여름철에 강수량이 집중되어 SS의 유입이 크게 증가하였기 때문이며, $\text{NH}_3\text{-N}$ 또한 평균값이 0.148 mg/L 로 중간값인 0.036 mg/L 와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-12. 남한강 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m^3/s)	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.35	12.7	7.53	10.85	264.8	1.3	3.4	2.4	9.2
최소값	0.02	0.1	6.34	4.14	101.1	0.2	0.9	0.5	0.0
최대값	3.06	31.8	8.52	16.81	569.0	9.4	22.7	19.8	410.0
표준편차	0.43	7.8	0.33	2.52	84.9	1.0	2.8	1.8	30.7
95%ile	1.34	25.0	8.04	14.34	430.8	2.9	8.6	5.2	29.3
75%ile	0.37	19.2	7.74	12.68	304.3	1.6	3.8	2.7	6.0
중간값 (median)	0.22	12.4	7.54	11.18	268.0	1.1	2.7	2.0	2.8
25%ile	0.10	6.2	7.31	9.26	197.8	0.7	2.0	1.4	1.2
5%ile	0.04	1.0	6.95	5.86	139.6	0.4	1.4	0.9	0.4
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	Chl-a (mg/m^3)
평균값	2.780	2.620	0.148	0.023	2.219	0.069	0.062	0.027	4.6
최소값	1.428	1.286	0.000	0.000	0.948	0.000	0.000	0.000	0.3
최대값	7.410	6.674	2.240	0.203	5.895	0.889	0.860	0.550	49.3
표준편차	0.929	0.853	0.338	0.030	0.768	0.096	0.078	0.043	5.2
95%ile	4.438	4.177	0.748	0.086	3.669	0.201	0.181	0.090	12.4
75%ile	3.152	2.975	0.099	0.028	2.464	0.076	0.073	0.037	5.5
중간값 (median)	2.550	2.439	0.036	0.011	2.085	0.048	0.044	0.013	3.1
25%ile	2.190	2.075	0.014	0.005	1.731	0.022	0.020	0.005	1.7
5%ile	1.665	1.569	0.000	0.000	1.337	0.010	0.010	0.000	1.0

남한강 수계의 주요 하천을 분석한 결과, 청미천은 다른 하천과 비교하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질이 높은 농도로 나타났고 흑천은 다른 하천에 비해 오염물질이 낮게 나타났다. 특히, 가평천은 BOD가 3.2 mg/L, COD가 8.7 mg/L, SS가 16.9 mg/L, T-P가 0.145 mg/L에 비해 흑천은 BOD가 0.8 mg/L, COD가 1.8 mg/L, SS가 1.4 mg/L, T-P가 0.017 mg/L로 큰 폭의 차이가 나타났다. 청미천은 남한강 상류에서 유입되고 흑천은 남한강 하류에서 유입되어 남한강 수계의 수질에 영향을 미치는 것으로 파악된다.

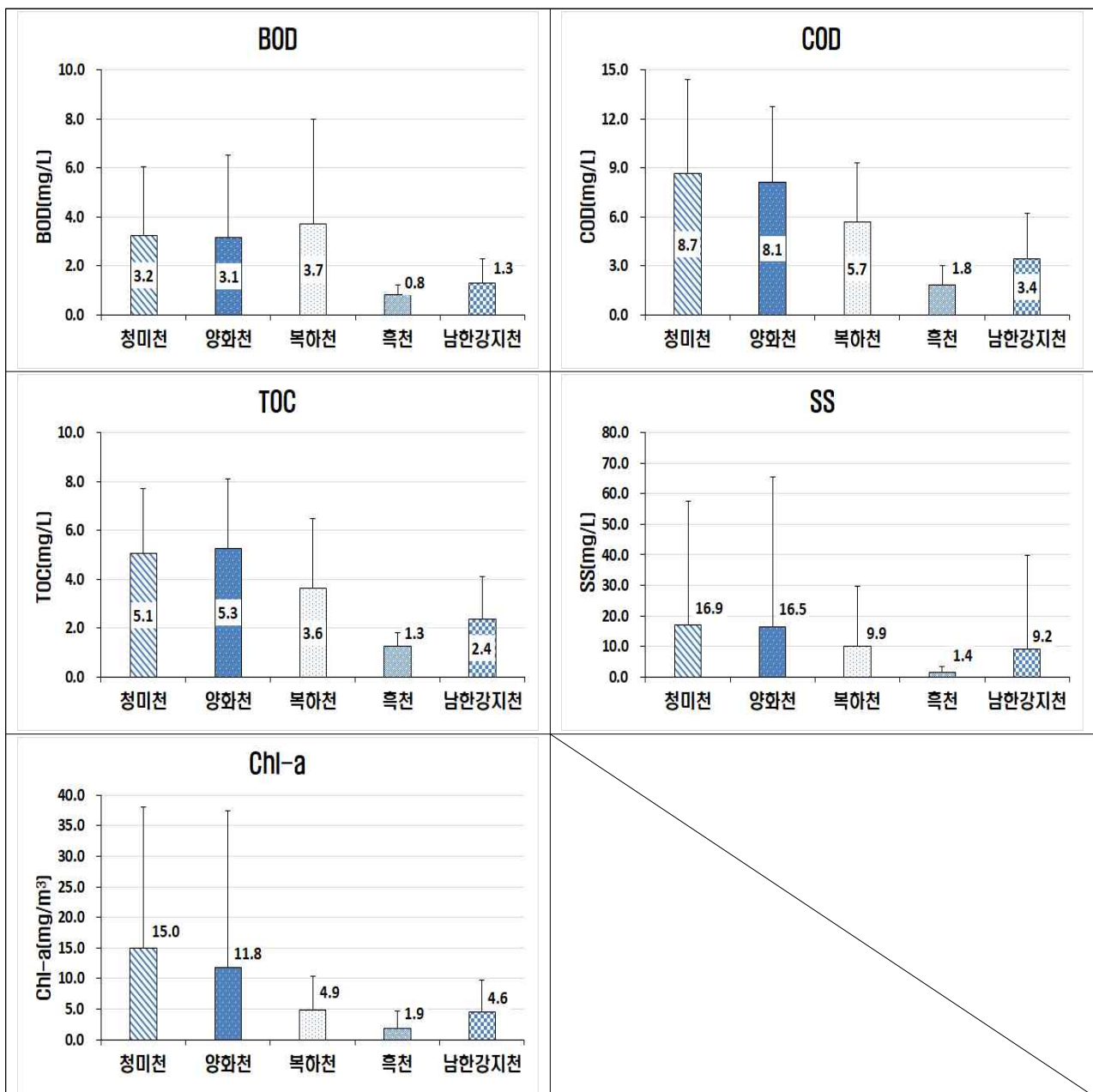


그림 5-29. 남한강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)

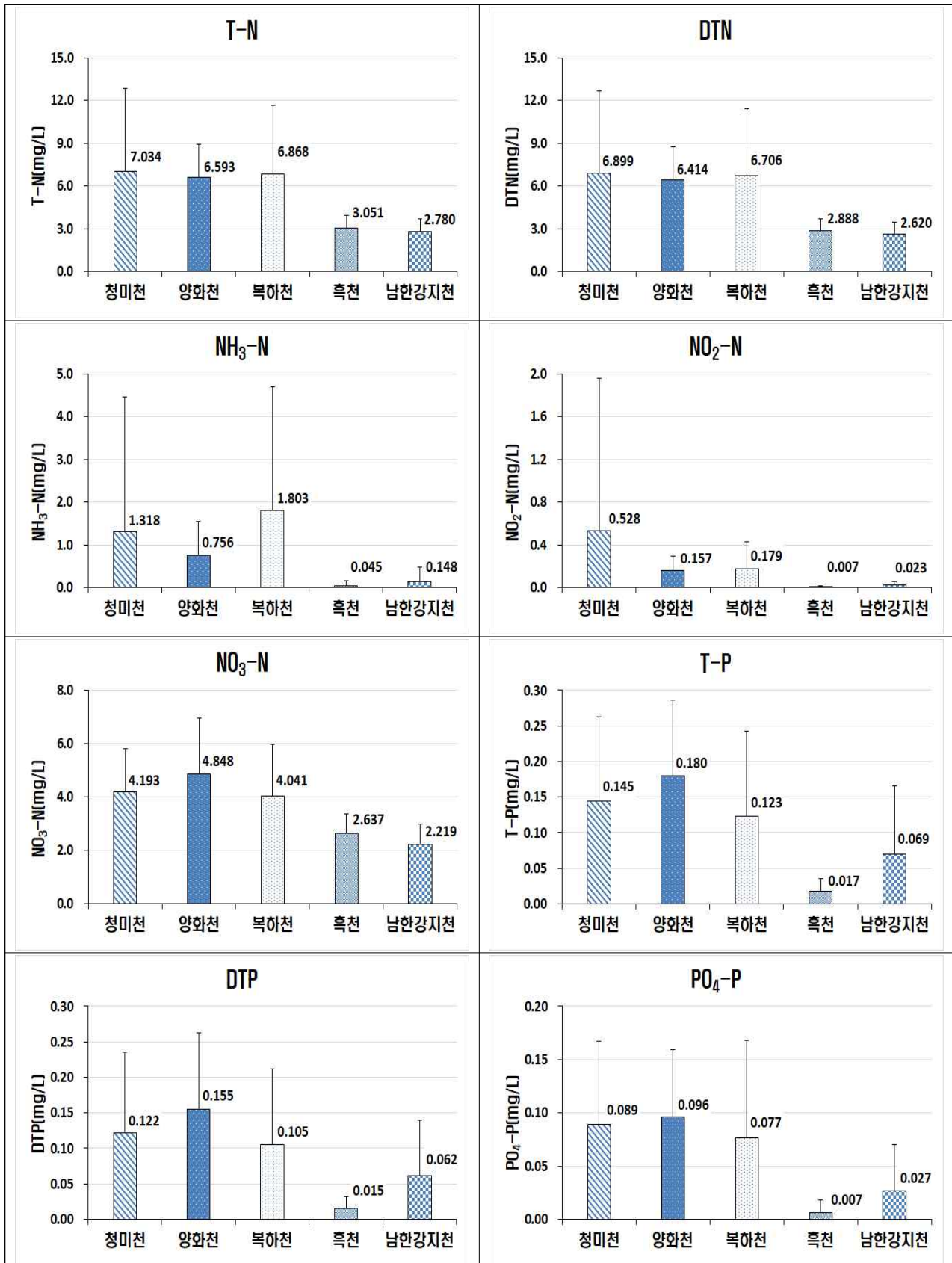


그림 5-30. 남한강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)

2. 수질분석 결과 비교 검토

본 연구의 1단계 연구용역인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강 수계 하천 모니터링」의 분석결과와 본 연구 결과(2단계)를 토대로 남한강 수계의 수질오염물질 항목별로 비교분석하였다.

남한강 수계의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 14항목에 대해서 1단계 분석결과와 2단계 분석결과의 항목별 평균값을 비교분석하였다. 1단계 분석결과와 2단계 분석결과 모두 수계 내의 모든 데이터로 산술평균을 취하였다.

1단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 17.3℃, pH가 7.79, DO는 9.0 mg/L, 전기전도도는 266.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 2.9 mg/L, COD는 4.4 mg/L, SS는 27.7 mg/L, 클로로필-a는 8.8 mg/m^3 , $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 0.398 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.060 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 2.962 mg/L, T-N은 3.926 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 0.062 mg/L, T-P는 0.084 mg/L로 나타났다.

2단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 13.3℃, pH가 7.55, DO는 10.5 mg/L, 전기전도도는 331.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 2.0 mg/L, COD는 4.7 mg/L, SS는 9.0 mg/L, 클로로필-a는 6.5 mg/m^3 , $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 0.786 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.195 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 3.231 mg/L, T-N은 4.627 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 0.053 mg/L, T-P는 0.088 mg/L로 나타났다.

1단계와 2단계 조사를 비교한 결과 DO와 전기전도도, COD, 질소계열 오염물질이 약간 증가하였고 BOD와 SS가 크게 감소하여 2011년도에 비해 수질이 개선된 것으로 파악된다.

2011년 제천시가 부영양화의 원인물질을 제거하기 위해 4대강 정부정책사업의 일환으로 총인처리시설 사업을 추진하였다. 총인시설의 처리공법은 응집침전 후 2단(섬유+마이크로)여과 공법이며 해당 시설이 가동되면서 남한강 수질개선에 기여하고 있다.

2015년 충북 담양군에서는 매년 관광객이 급증하면서 생활오수 등으로 남한강 수계 하천오염이 심화된다는 것을 파악하였다. 이에 대한 조치로 2018년까지 232억원을 투자하여 소규모하수처리시설 18곳을 설치하였다.

2017년 여주시는 금당리와 양귀리에 2개의 공공하수처리시설을 준공하였다. 이는 391세대에서 발생하는 생활하수를 처리함으로써 주민생활편익 증대와 개인하수도 유지비용 절감, 남한강 수질개선 등 지역사회와 수질개선에 크게 이바지하고 있다.

이러한 노력으로 인해서 남한강 수계의 수질개선이 되었기 때문에 1단계 모니터링 결과보다 2단계 모니터링 결과에서 더 좋은 수질을 보이고 있는 것으로 보인다. 특히, BOD가 2011년에는 2.9 mg/L에서 2018년에는 2.0 mg/L로 개선되었고 SS가 27.7 mg/L에서 2018년 9.0 mg/L로 대폭 개선된 것으로 나타났다.

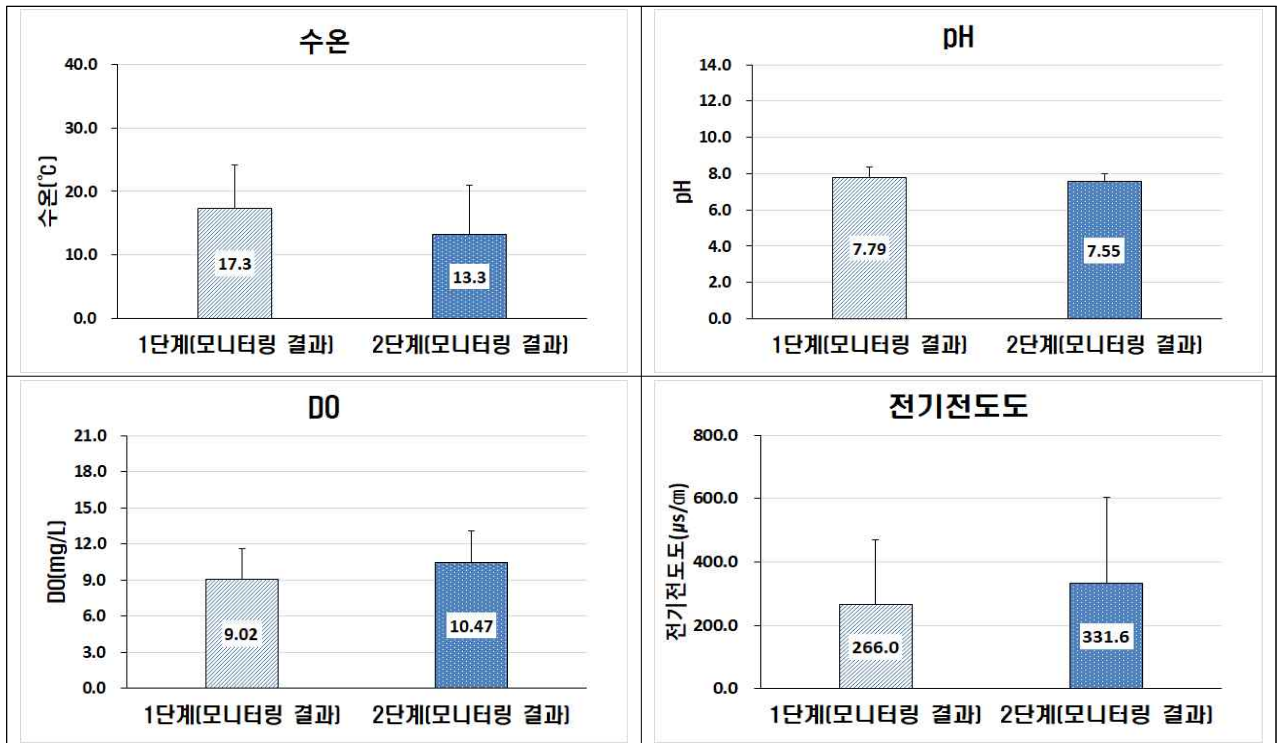


그림 5-31. 남한강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과

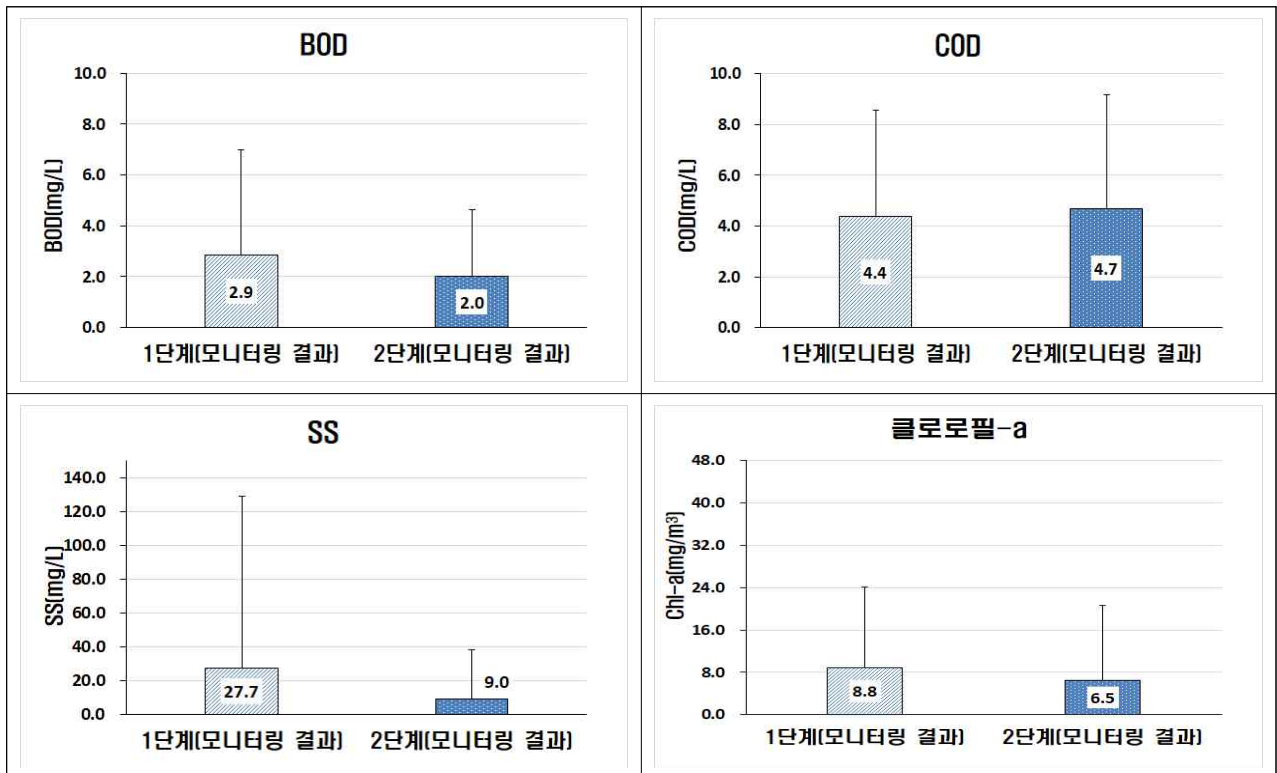


그림 5-32. 남한강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과

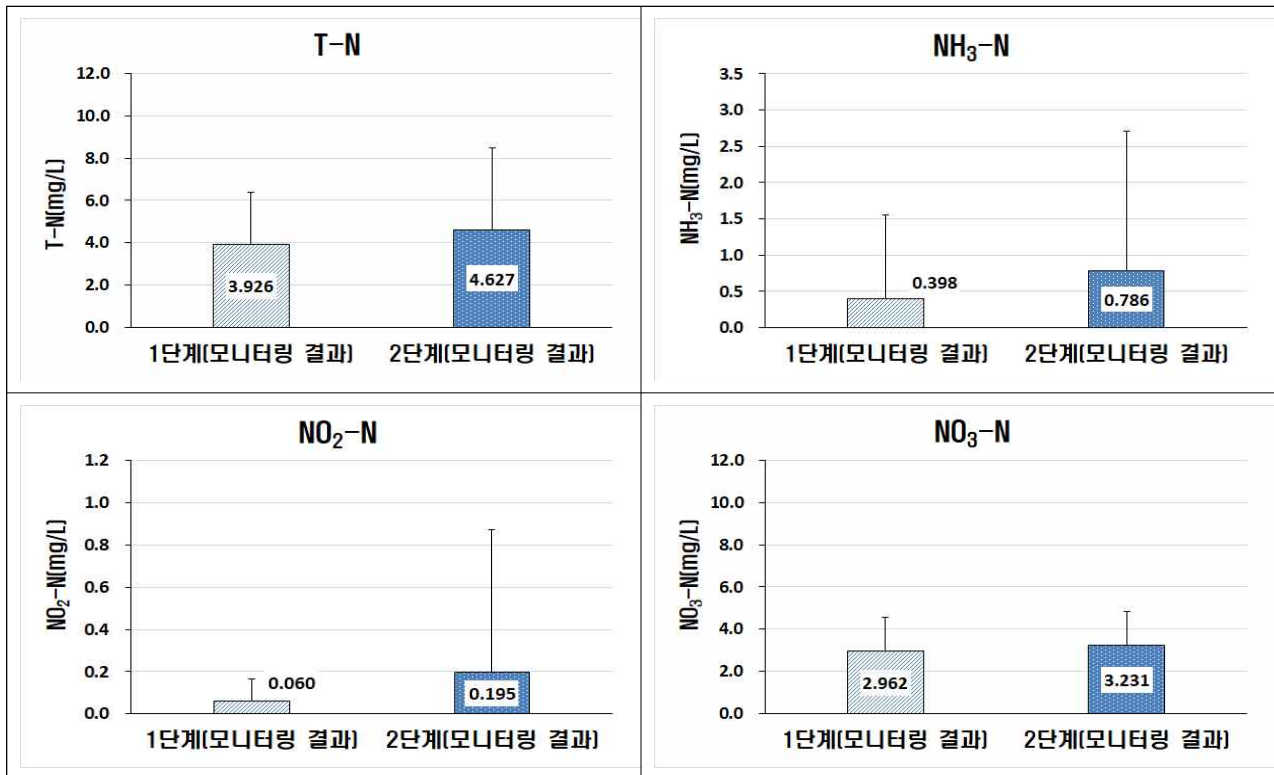


그림 5-33. 남한강 수계의 T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 분석 결과

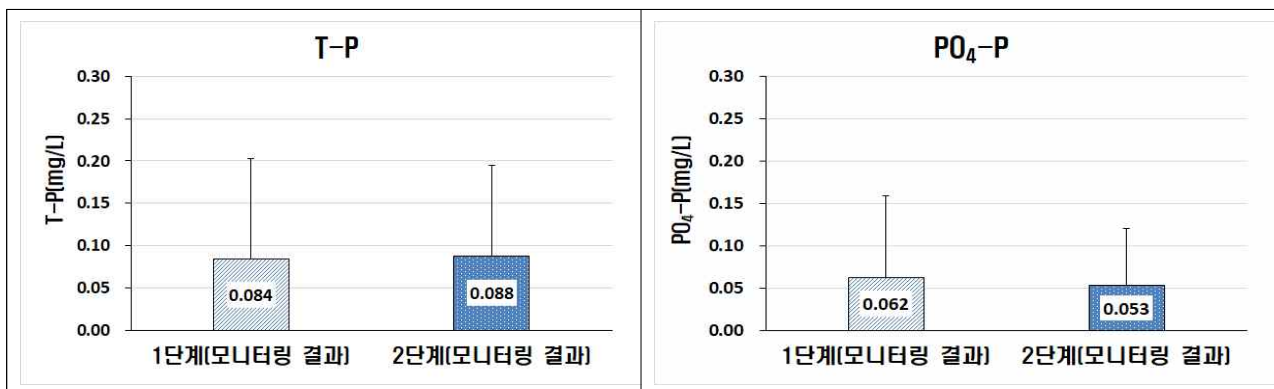


그림 5-34. 남한강 수계의 T-P, PO₄-P 분석 결과

3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과

1) 복하A 단위유역(5개 지점)

(1) 복하A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-020 이천환경사업소

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-13>에 나타내었다. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS는 피어슨 상관계수가 0.7229 로 수질항목간 상관관계가 높은 것으로 나타났다. BOD - TN는 피어슨 상관계수가 -0.0363 로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - TP, BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.5060, 0.6144 으로 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다.

표 5-13. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성분석 결과

남한강수계(경기-020, 이천환경사업소)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.7229	-0.0363	0.5060	0.6144
결정계수(R ²)	0.5226	0.0013	0.2560	0.3775

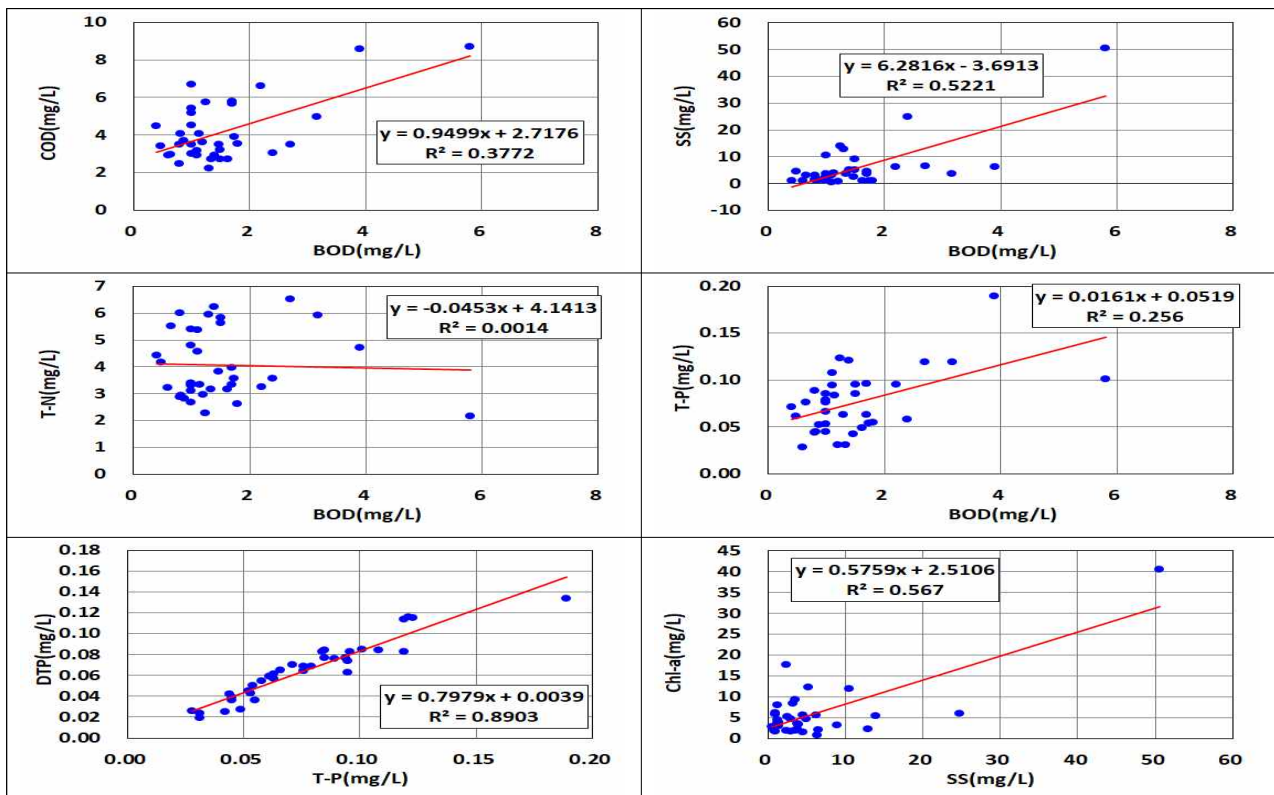


그림 5-35. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 상관성분석 결과

(2) 복하A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-020 이천환경사업소

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $4.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.10 \sim 3.37 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 4.89% ($3.27 \sim 6.23\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.0% 이하였으며 평균 6.84% ($4.22 \sim 9.28\%$)로 나타났다. 하상재료가 주로 모래이며 좌안 수심이 깊고 우안은 알아지는 형상을 띤다. 특이사항으로는 주변에 이천 환경사업소가 위치하고 있었다. 하류부는 물줄기가 두 개로 갈라진다. 측정 지점은 신문천의 하류부분이며 복하천을 본류로 한다. 상류 방향으로 신대천이 유입되고 있으며, 주변 하천으로는 송말천, 중리천 등이 있다.

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.51 ($6.17 \sim 8.40$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.11 mg/L ($5.18 \sim 14.36 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $333.8 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($170.0 \sim 423.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.5 mg/L ($0.4 \sim 5.8 \text{ mg/L}$), COD는 평균 4.1 mg/L ($2.2 \sim 8.7 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 2.7 mg/L ($1.2 \sim 4.9 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 13회차 조사 시 이천 환경사업소, 한국야쿠르트 이천공장, 하이트진로 이천공장 등의 점오염원 및 인근 도로 및 농경지 등의 비점오염원 유입으로 인해 COD가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 4.069 mg/L ($2.152 \sim 6.513 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 3.987 mg/L ($2.126 \sim 6.489 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.114 mg/L ($0.000 \sim 1.023 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.049 mg/L ($0.014 \sim 0.205 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 3.351 mg/L ($1.200 \sim 6.000 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.076 mg/L ($0.028 \sim 0.189 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.065 mg/L ($0.019 \sim 0.134 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.049 mg/L ($0.008 \sim 0.118 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 13회차 조사 시 농경지 비료 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-020 (이천환경사업소) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 55.0 mg/L 이하였으며 평균 5.7 mg/L ($0.6 \sim 50.5 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 45.0 mg/m^3 이하였으며 평균 5.7 mg/m^3 ($0.8 \sim 40.6 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 31회차 조사 시 당일 31mm의 강우로 인해 증가하였고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

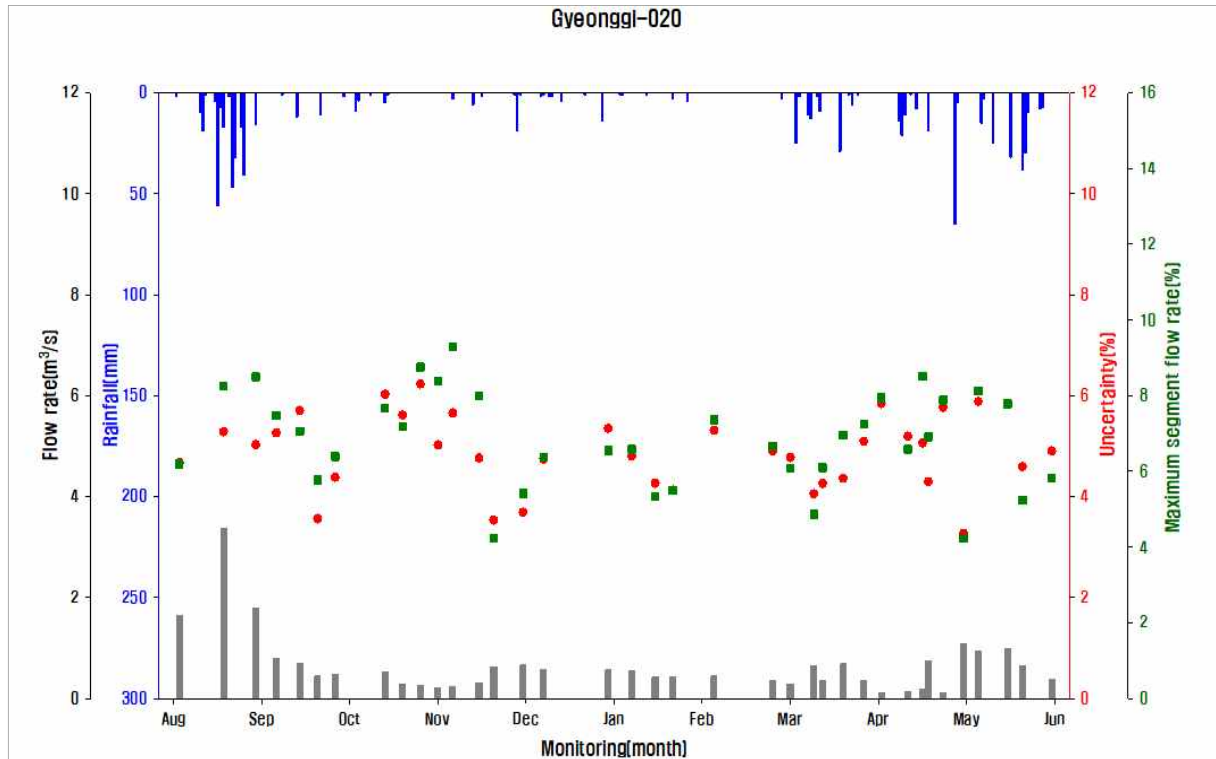


그림 5-36. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

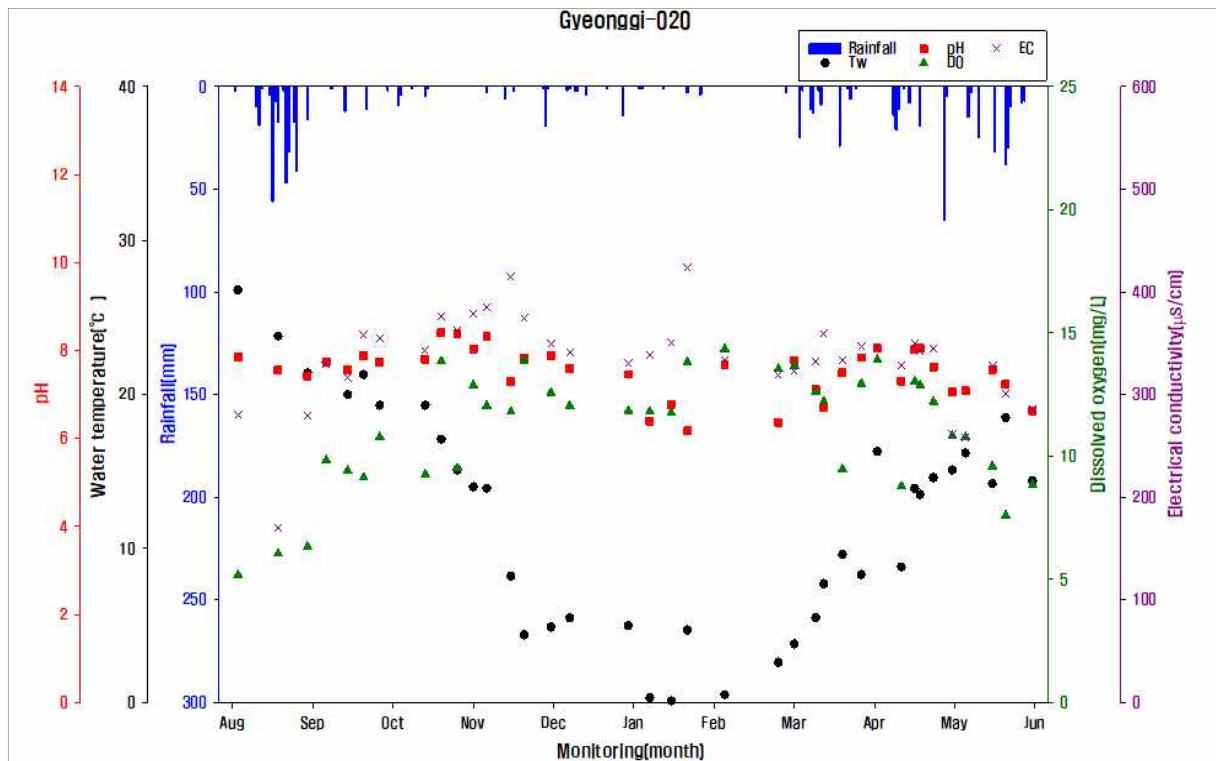


그림 5-37. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 현장측정 결과

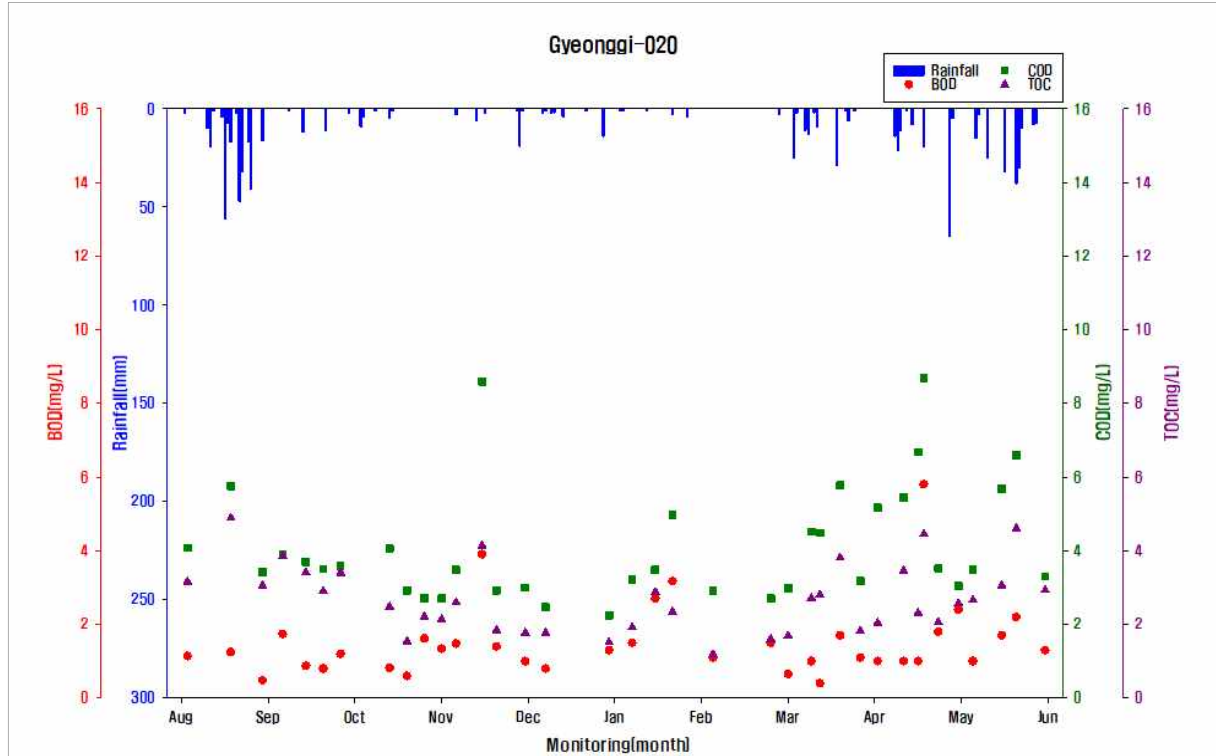


그림 5-38. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

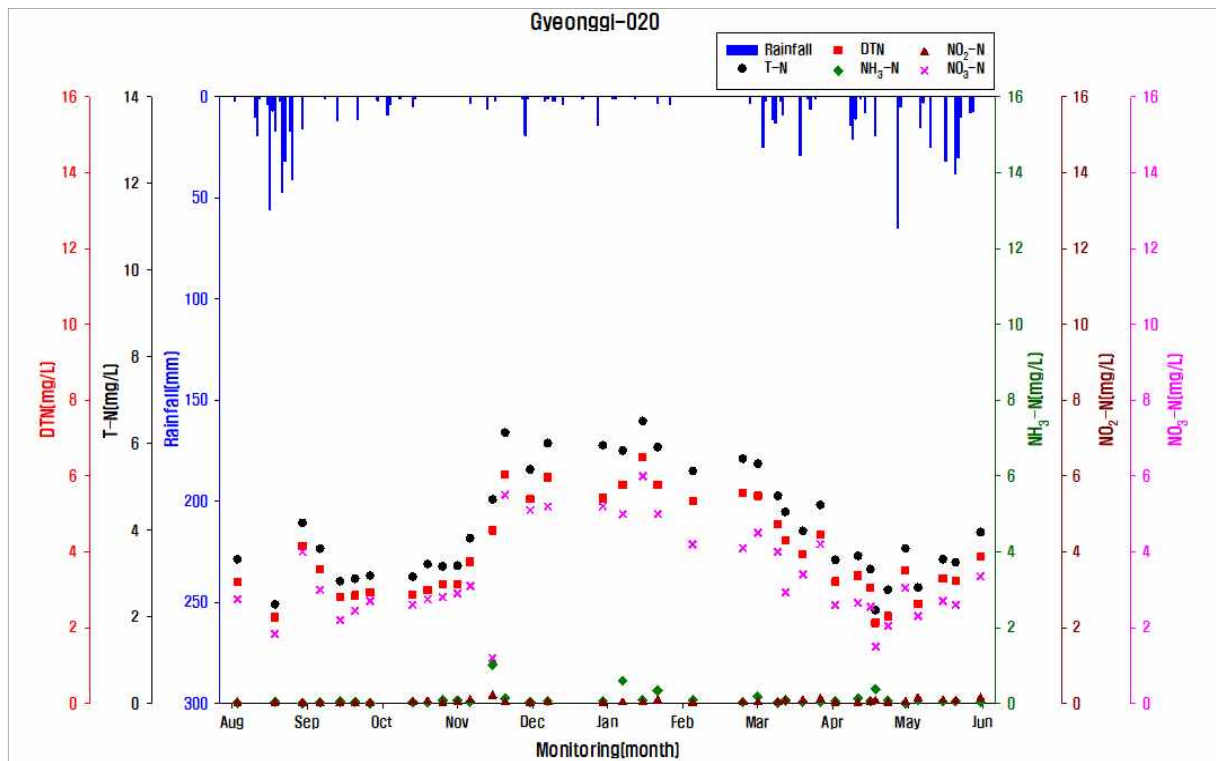


그림 5-39. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-N 계열 결과

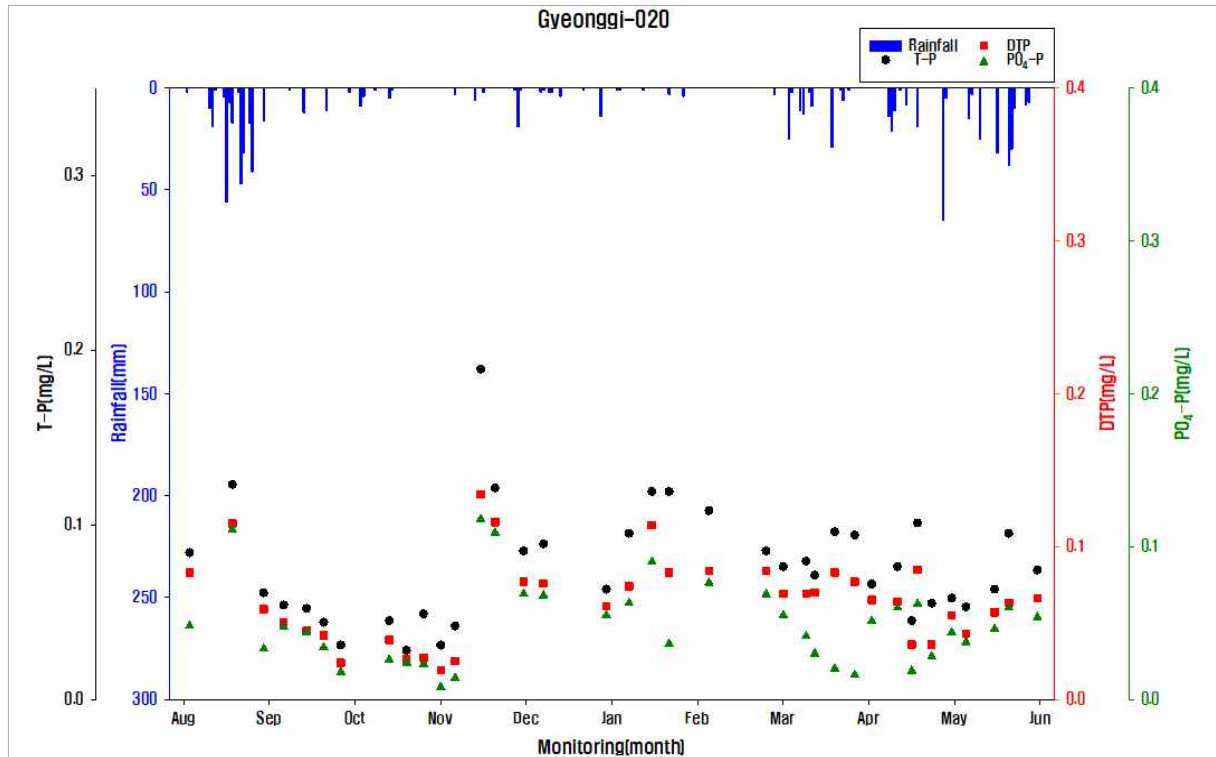


그림 5-40. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 T-P 계열 결과

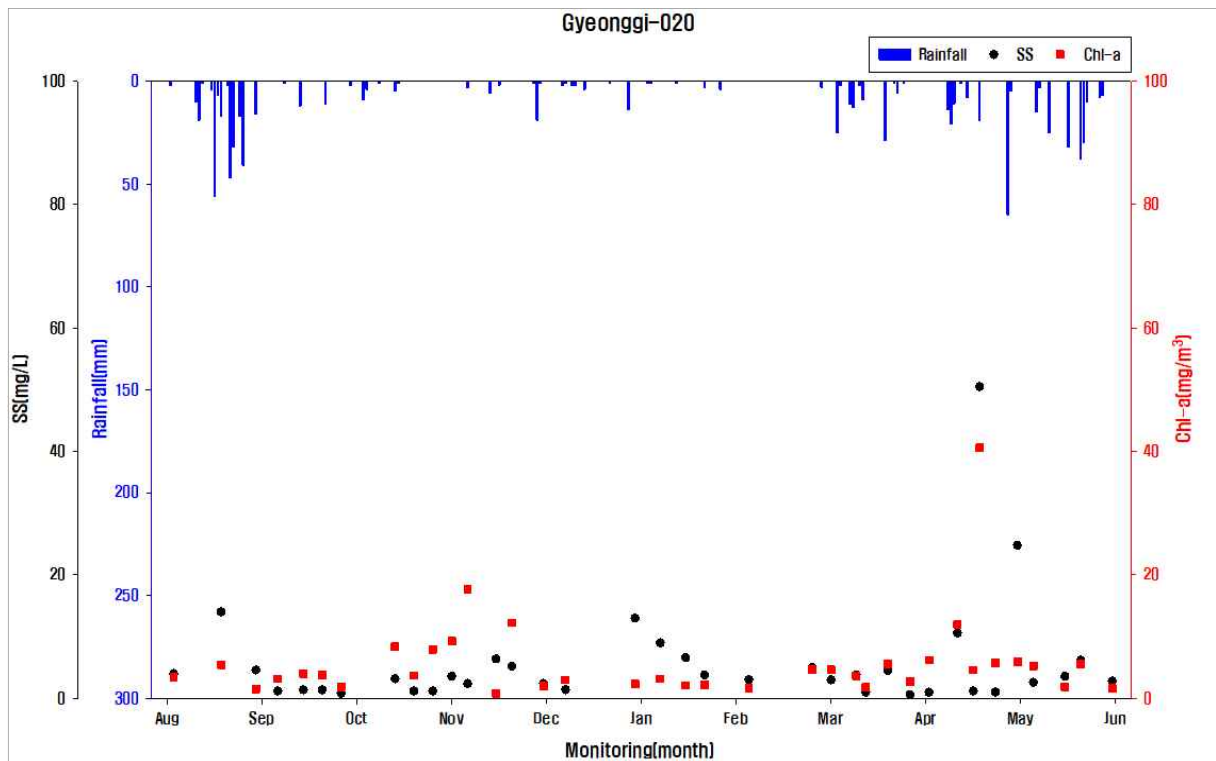


그림 5-41. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 북하A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

남한강 수계 북하A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-42>~<그림 5-43>에 나타내었다. 북하A 단위유역은 본류인 북하천을 중심으로 송말천, 신둔천, 장암천, 죽당천, 중리천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 북하A 단위유역의 5개 측정지점(덩바위교, 환경사업소앞, 오미교, 고백교, 구만리교)의 BOD는 각각 1.9 mg/L, 1.5 mg/L, 1.4 mg/L, 5.0 mg/L, 8.7 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.082 mg/L, 0.076 mg/L, 0.067 mg/L, 0.103 mg/L, 0.288 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 5지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 좋음(Ib) 3지점(60.0%), 약간나쁨(IV) 1지점(20.0%), 나쁨(V) 1지점(20.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(죽당천), 오염우심하천 1지점(중리천)으로 확인되었다. T-P는 약간좋음(II) 3지점(60.0%), 보통(III) 1지점(20.0%), 약간나쁨(IV) 1지점(20.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 2지점(죽당천, 중리천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

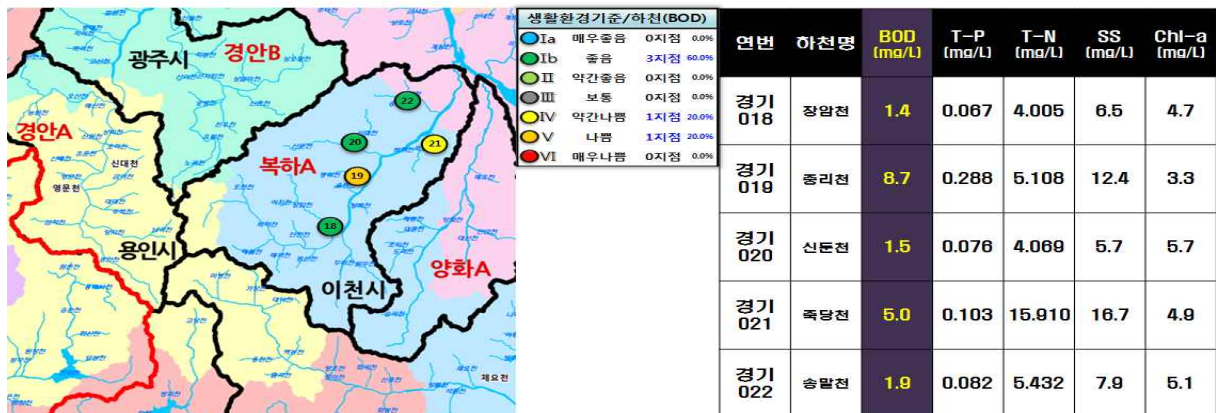


그림 5-42. 북하A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

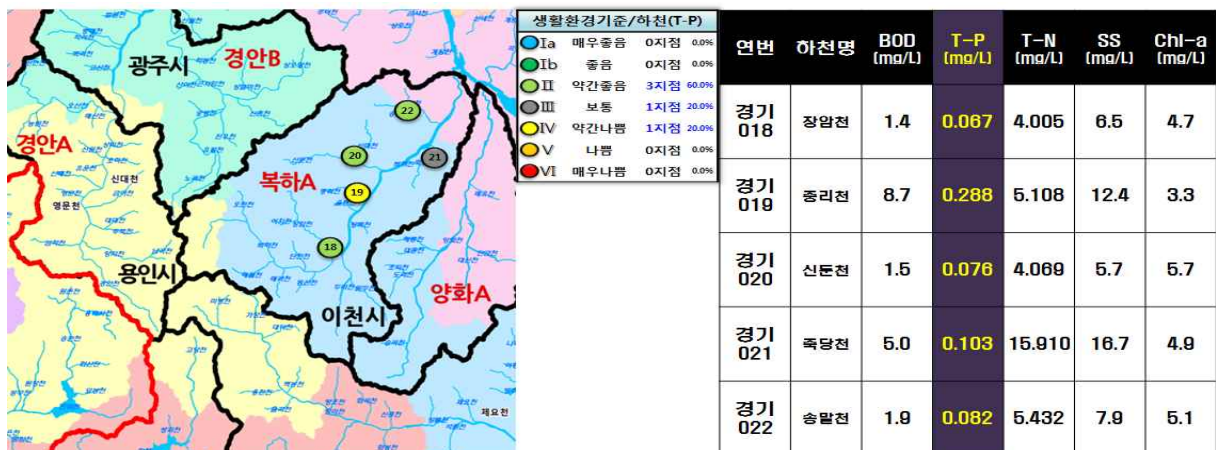


그림 5-43. 북하A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 복하A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

복하A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-14>에 나타내었다.

복하A 단위유역은 분류인 복하천을 중심으로 송말천, 죽당천, 신문천, 중리천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-복하A가 있다. 복하A 단위유역의 5개 측정지점(덩바위교, 이천환경사업소, 오미교, 고백교, 구만리교)의 BOD는 각각 1.9 mg/L, 1.5 mg/L, 1.4 mg/L, 4.7 mg/L, 8.1 mg/L로 수질총량측정망 자료인 4.3 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.082 mg/L, 0.076 mg/L, 0.067 mg/L, 0.103 mg/L, 0.288 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.168 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.16 m³/s, 0.63 m³/s, 0.24 m³/s, 1.31 m³/s, 0.09 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 5.94 m³/s로 측정되었다. 복하A 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-14. 복하A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-018. 오미교	1.4	0.067	0.24
경기-019. 구만리교	8.1	0.288	0.09
경기-020. 이천환경사업소	1.5	0.076	0.63
경기-021. 고백교	4.7	0.103	1.31
경기-022. 덩바위교	1.9	0.082	0.16
총량측정망 - 복하A	4.3	0.168	5.94

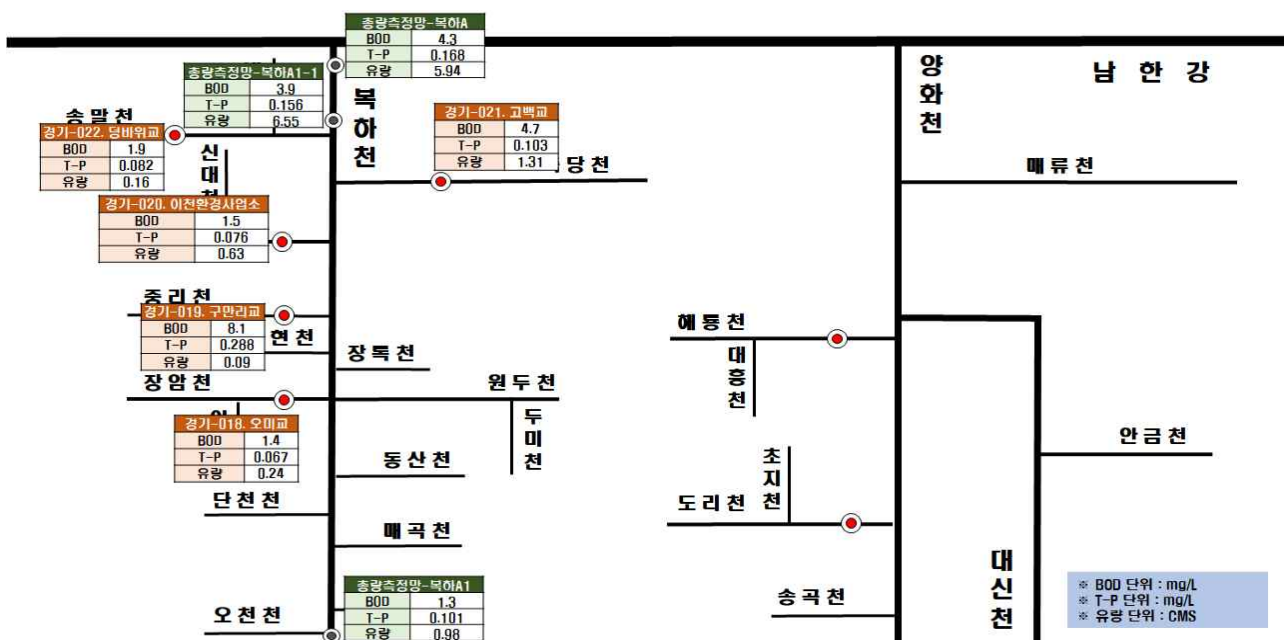


그림 5-44. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(복하A)

(5) 복하A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-020 이천환경사업소

경기-020(이천환경사업소) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-45>에 나타내었다.

경기-020(이천환경사업소) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.63 m³/s였던 유량이 3.37 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 363.6 kg/day, COD 부하량은 1,678.2 kg/day, SS 부하량은 4,079.0 kg/day, T-N 부하량은 666.0 kg/day, T-P 부하량은 35.8 kg/day로 나타났다.

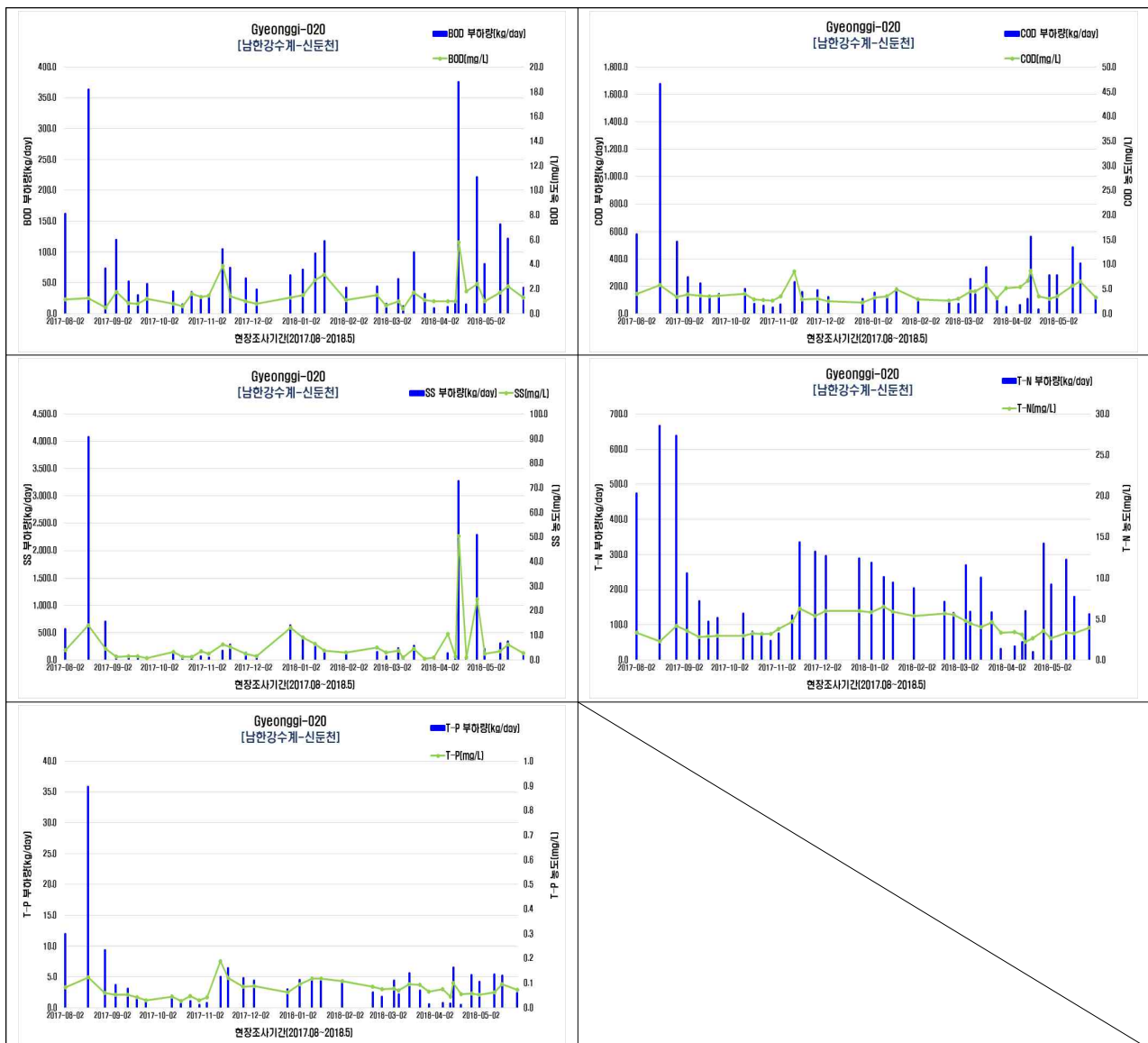


그림 5-45. 경기-020 (이천환경사업소) 지점의 오염부하량 산정결과

2) 한강E 단위유역(7개 지점)

(1) 한강E 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-035 금당교

경기-035 (금당교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-15>에 나타내었다. 경기-035 (금당교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - TN피어슨 상관계수가 0.0263으로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - SS, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.3030, 0.3116 으로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.7309 로 수질항목간 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

표 5-15. 경기-035 (금당교) 지점의 상관성분석 결과

남한강수계(경기-035, 금당교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.3030	0.0263	0.3116	0.7309
결정계수(R ²)	0.0918	0.0007	0.0971	0.5342

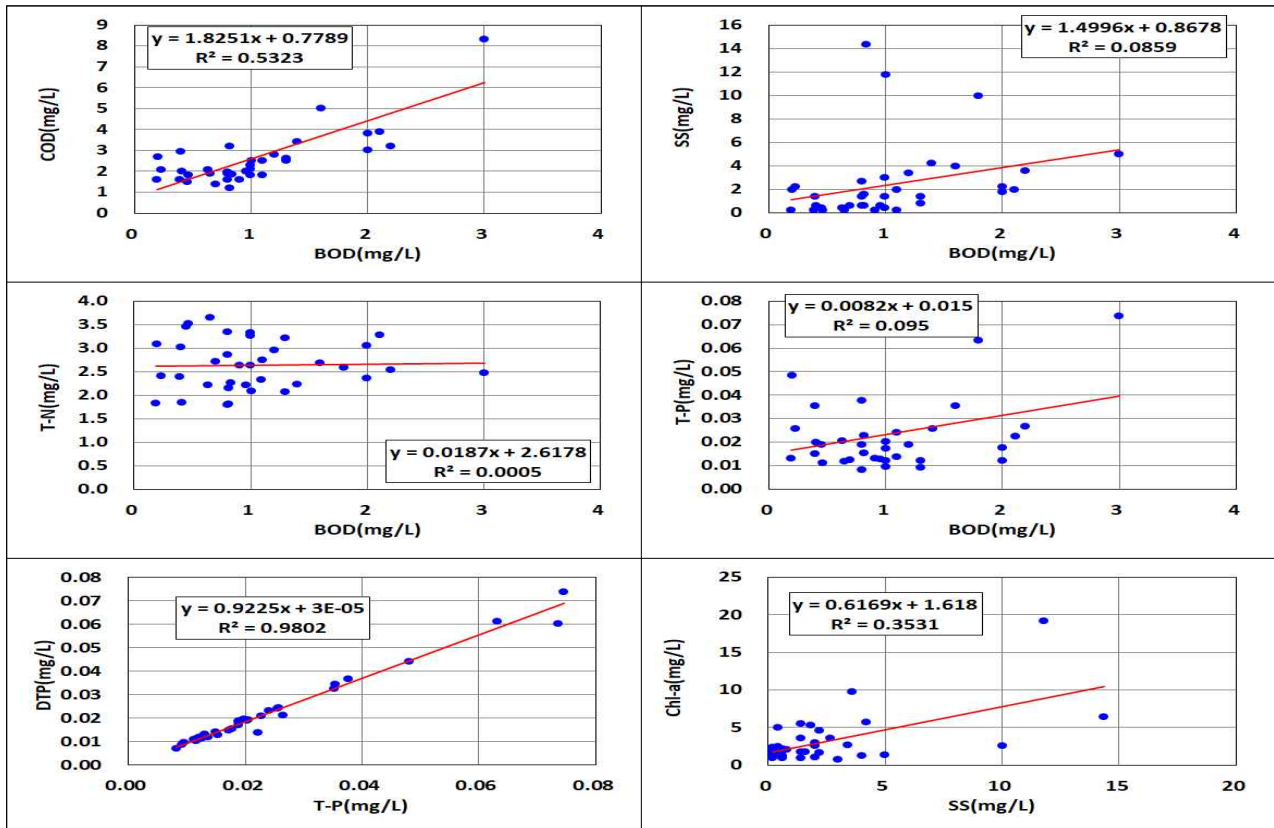


그림 5-46. 경기-035 (금당교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 한강E 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-035 금당교

경기-035 (금당교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $4.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.68 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.05 \sim 3.06 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 5.47% ($3.81 \sim 6.07\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 일부를 제외하면 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 6.91% ($5.35 \sim 8.74\%$)로 나타났다. 하상재료가 주로 모래와 자갈이며 수심은 비교적 일정한 편이다. 특이사항으로는 하천 주변에 수문이 설치되어 있으며, 낚시 행락객이 비교적 많은 편이었다. 측정 지점은 금당천의 하류부분이며 남한강을 본류로 한다. 상류 방향으로 일신천, 완장천이 유입되고 있고 주변 하천으로는 오금천, 가정천 등이 있다.

경기-035 (금당교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.47 ($6.86 \sim 8.16$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 10.50 mg/L ($5.69 \sim 14.83 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $241.8 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($163.7 \sim 369.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-035 (금당교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.1 mg/L ($0.2 \sim 3.0 \text{ mg/L}$), COD는 평균 2.7 mg/L ($1.2 \sim 8.3 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 1.9 mg/L ($0.8 \sim 4.6 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 24회차 조사 시 주거시설, 공장, 가정집수장 등의 점오염원 및 논, 밭, 공사현장 부지 등의 비점오염원 유입으로 인해 COD가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-035 (금당교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 2.641 mg/L ($1.790 \sim 3.642 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 2.497 mg/L ($1.697 \sim 3.487 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.068 mg/L ($0.000 \sim 0.648 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.013 mg/L ($0.000 \sim 0.113 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 2.190 mg/L ($1.174 \sim 3.207 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-035 (금당교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.024 mg/L ($0.008 \sim 0.075 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.022 mg/L ($0.007 \sim 0.074 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.009 mg/L ($0.000 \sim 0.039 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 24회차 조사 시 논, 밭의 비료, 공사현장 부지 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-035 (금당교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 15.0 mg/L 이하였으며 평균 2.5 mg/L ($0.2 \sim 14.3 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 20.0 mg/m^3 이하였으며 평균 3.2 mg/m^3 ($0.7 \sim 19.1 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

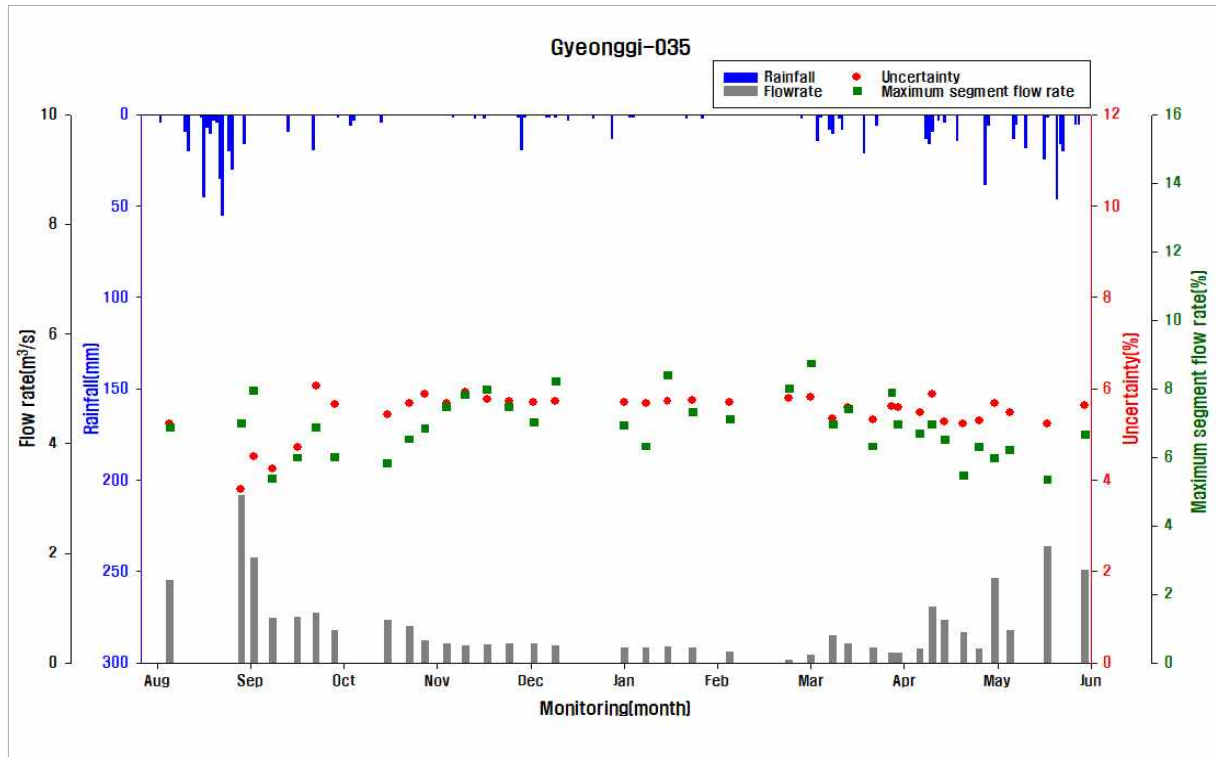


그림 5-47. 경기-035 (금당교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

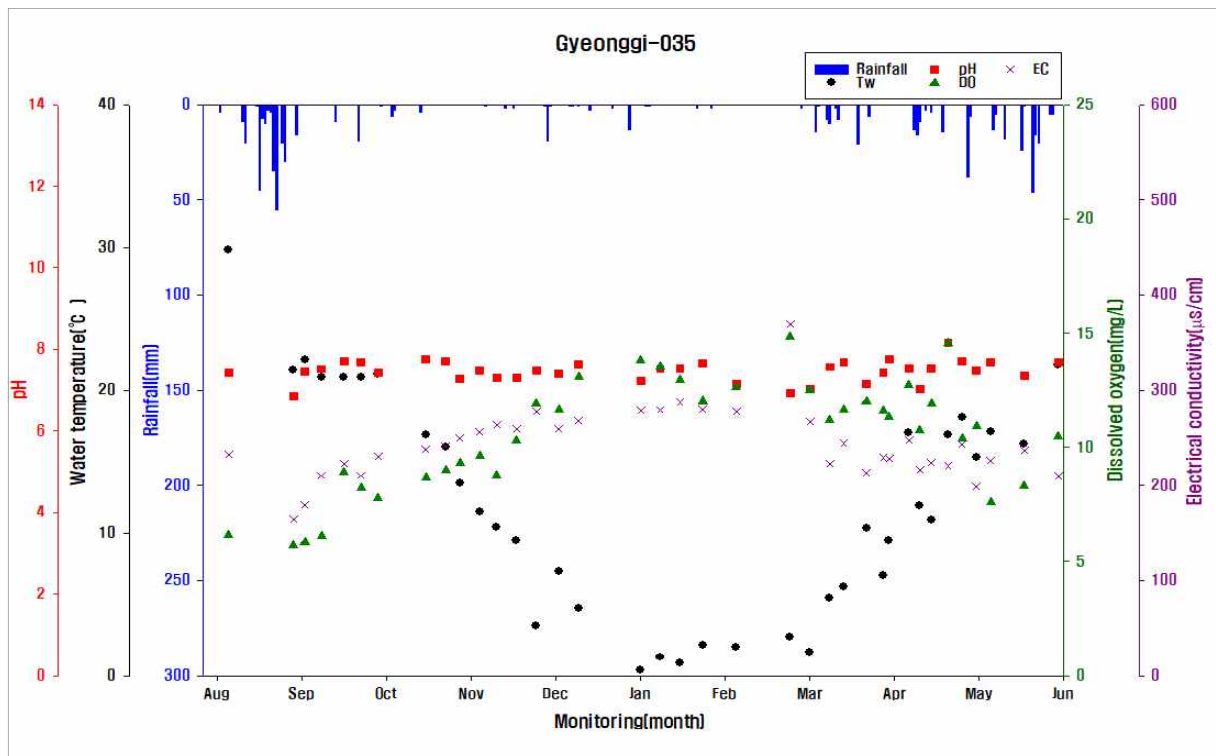


그림 5-48. 경기-035 (금당교) 지점의 현장측정 결과

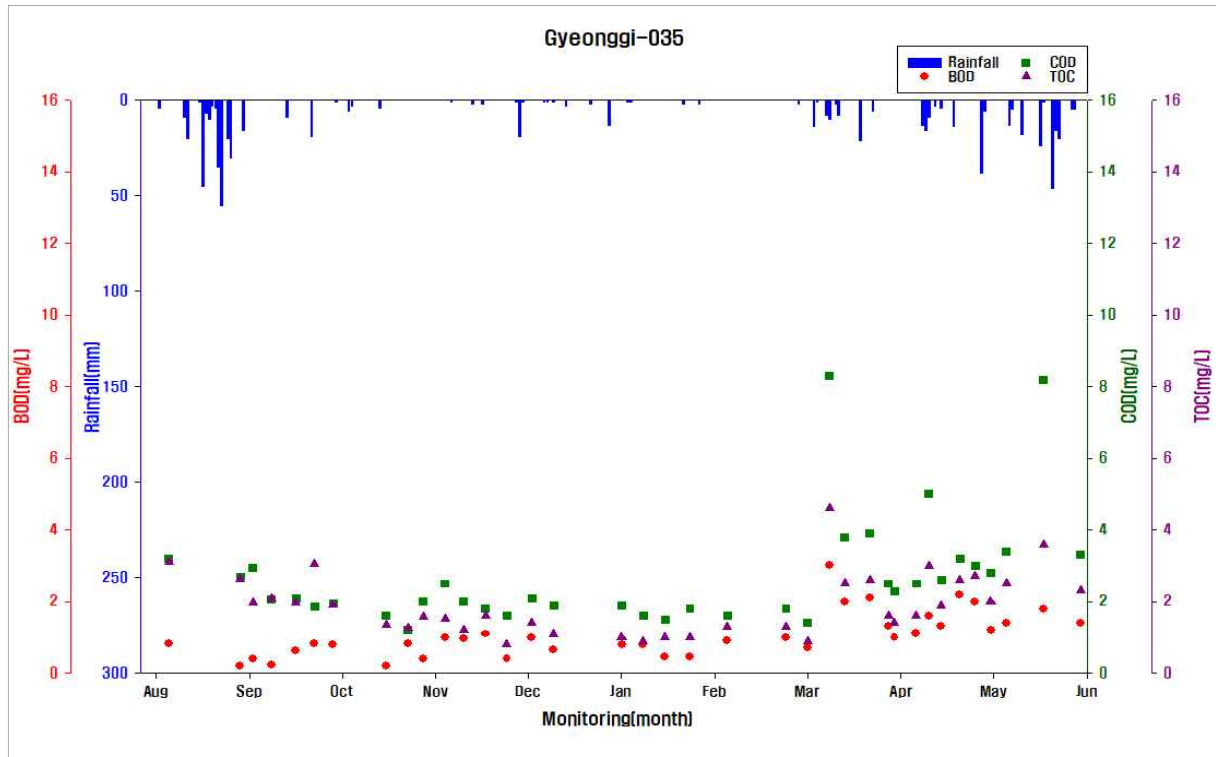


그림 5-49. 경기-035 (금당교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

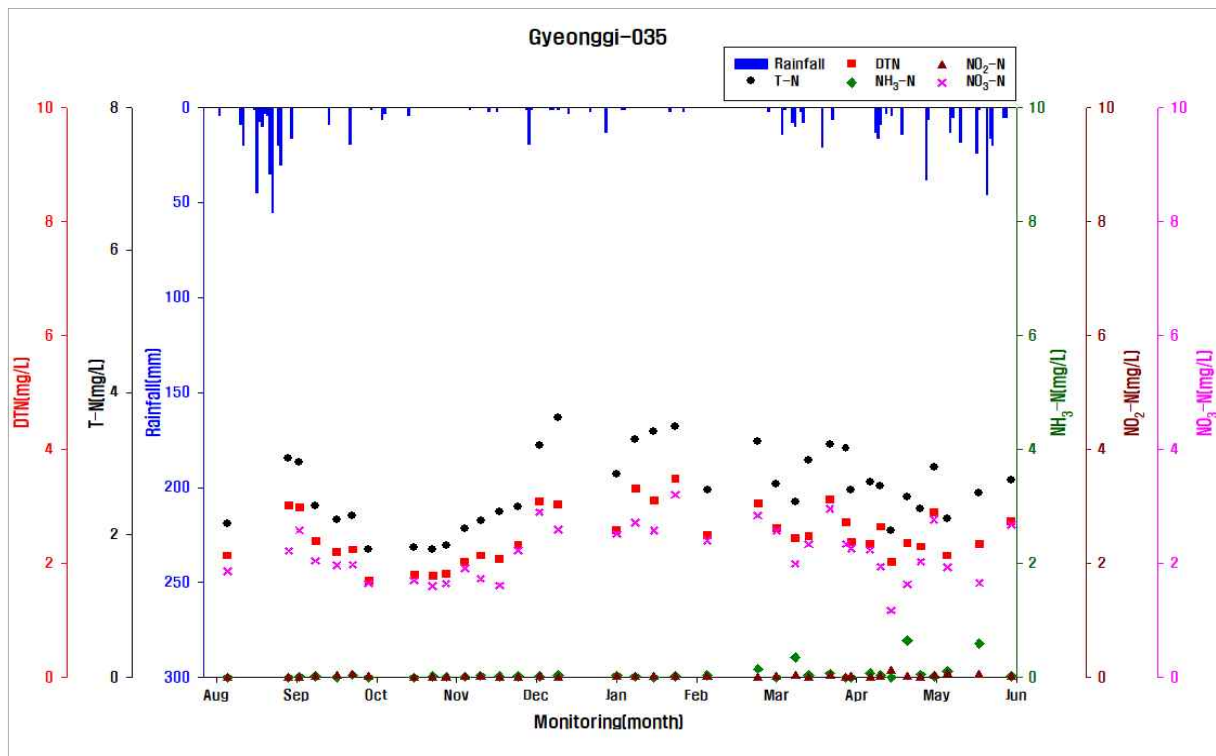


그림 5-50. 경기-035 (금당교) 지점의 T-N 계열 결과

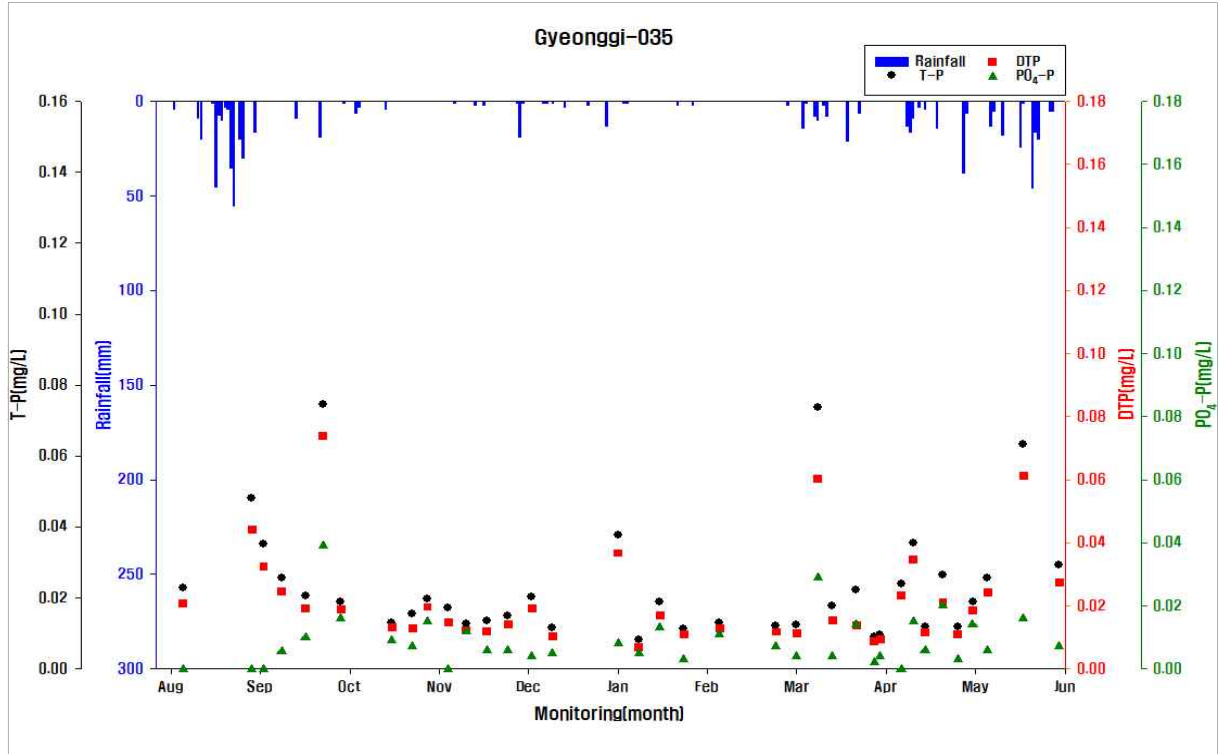


그림 5-51. 경기-035 (금당교) 지점의 T-P 계열 결과

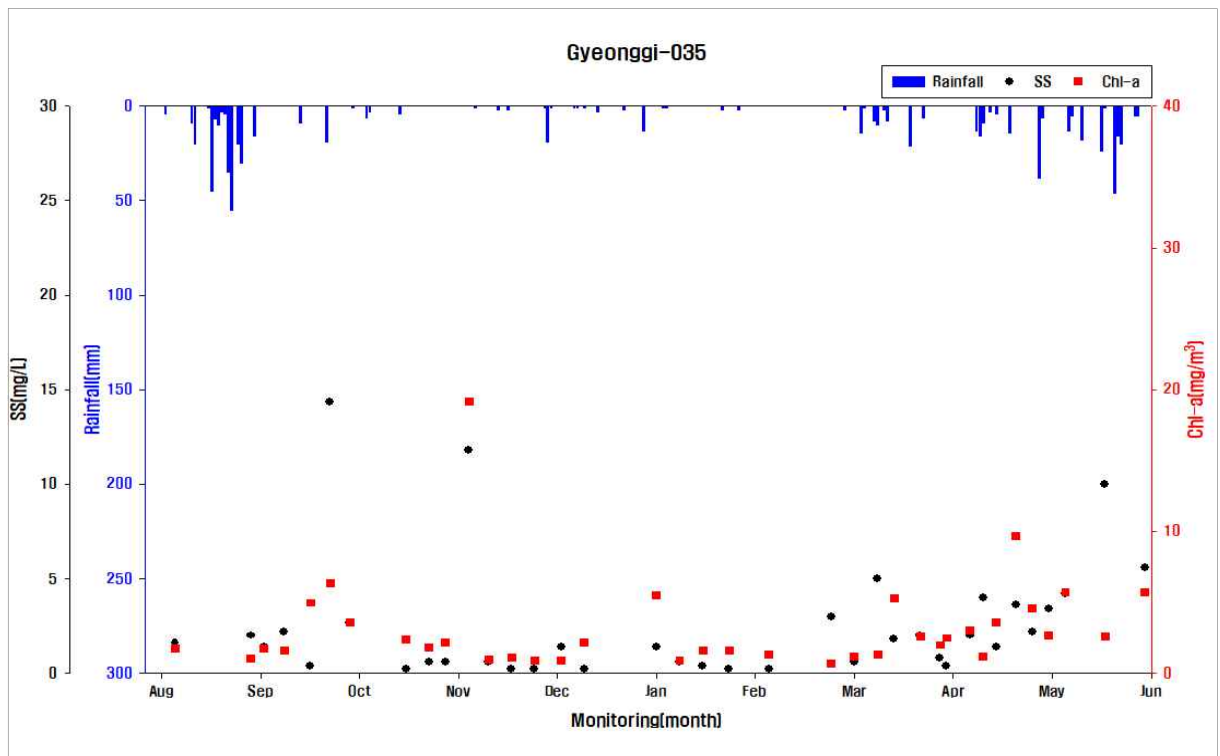


그림 5-52. 경기-035 (금당교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 한강E 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

남한강 수계 한강E 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-53>~<그림 5-54>에 나타내었다. 한강E 단위유역은 본류인 남한강을 중심으로 간매천, 곡수천, 금당천, 소양천, 연양천, 용담천, 한천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 한강E 단위유역의 7개 측정지점(이호교, 보통교, 금당교, 하리보도교, 신진교, 희망교, 천남2호수문)의 BOD는 각각 1.2 mg/L, 1.3 mg/L, 1.1 mg/L, 1.7 mg/L, 2.1 mg/L, 0.8 mg/L, 1.4 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.070 mg/L, 0.087 mg/L, 0.024 mg/L, 0.085 mg/L, 0.091 mg/L, 0.019 mg/L, 0.133 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 7지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 1지점(14.3%), 좋음(Ib) 5지점(71.4%), 약간좋음(II) 1지점(14.3%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 매우좋음(Ia) 1지점(14.3%), 좋음(Ib) 1지점(14.3%), 약간좋음(II) 4지점(57.1%), 보통(III) 1지점(14.3%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(한천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

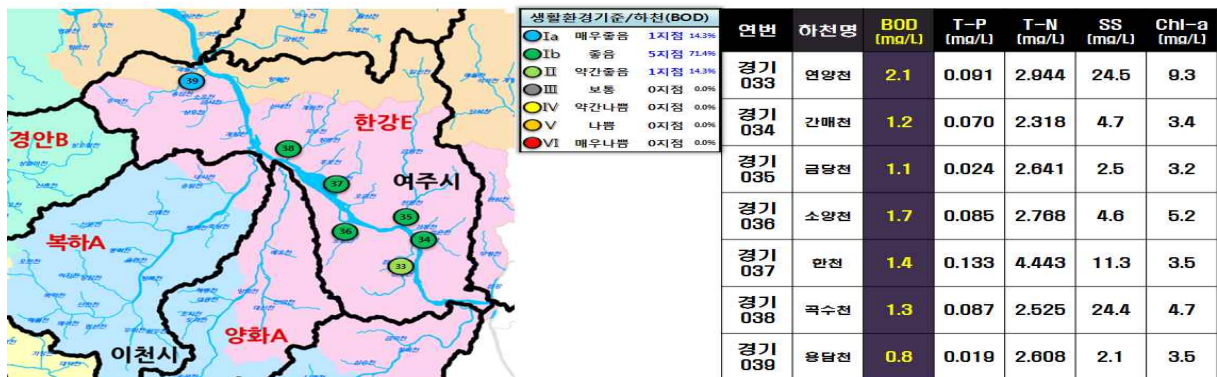


그림 5-53. 한강E 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

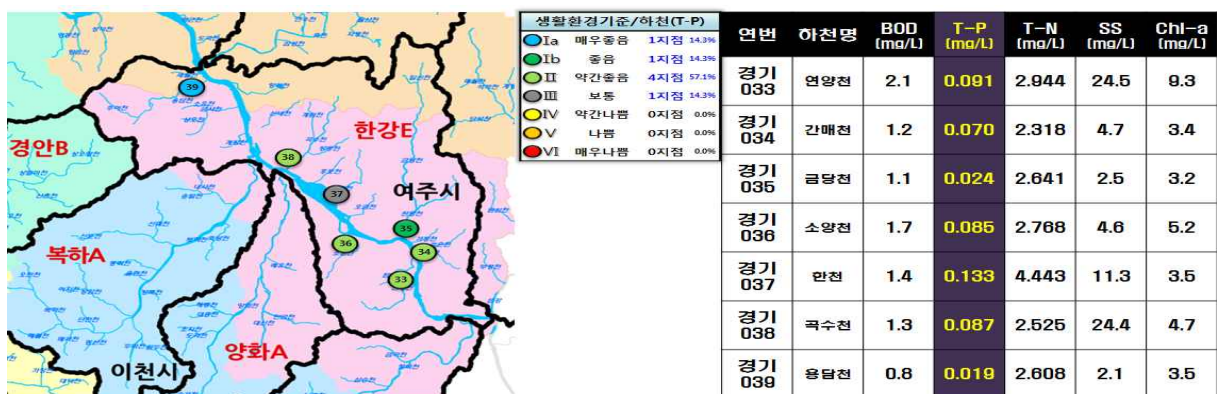


그림 5-54. 한강E 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 한강E 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

한강E 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-16>에 나타내었다.

한강E 단위유역은 본류인 남한강을 중심으로 용담천, 곡수천, 한천, 금당천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-한강E가 있다. 한강E 단위유역의 7개 측정지점(이호교, 보통교, 금당교, 하동교, 신진교, 희망교, 천남2호수문)의 BOD는 각각 1.2 mg/L, 1.3 mg/L, 1.1 mg/L, 1.7 mg/L, 2.1 mg/L, 0.8 mg/L, 1.4 mg/L로 수질총량측정망 자료인 1.8 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.070 mg/L, 0.087 mg/L, 0.024 mg/L, 0.085 mg/L, 0.091 mg/L, 0.019 mg/L, 0.133 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.046 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.22 m³/s, 0.58 m³/s, 0.68 m³/s, 0.21 m³/s, 0.48 m³/s, 0.36 m³/s, 0.30 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 247.59 m³/s로 측정되었다. 한강E 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-16. 한강E 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-033. 신진교	2.1	0.091	0.48
경기-034. 이호교	1.2	0.070	0.22
경기-035. 금당교	1.1	0.024	0.68
경기-036. 하동교	1.7	0.085	0.21
경기-037. 천남2호수문	1.4	0.133	0.30
경기-038. 보통교	1.3	0.087	0.58
경기-039. 희망교	0.8	0.019	0.36
총량측정망 - 한강E	1.8	0.046	247.59

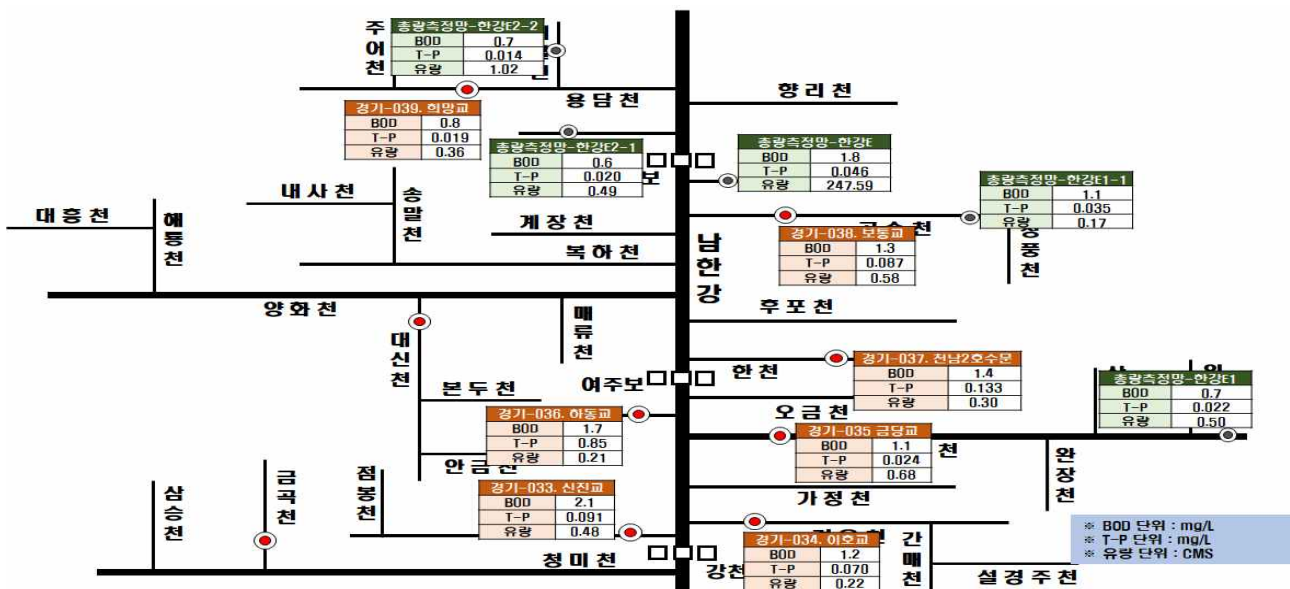


그림 5-55. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한강E)

(5) 한강E 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-035 금당교

경기-035(금당교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-56>에 나타내었다.

경기-035(금당교) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.68 m³/s였던 유량이 3.06 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 52.9 kg/day, COD 부하량은 713.9 kg/day, SS 부하량은 528.8 kg/day, T-N 부하량은 813.7 kg/day, T-P 부하량은 12.7 kg/day로 나타났다.

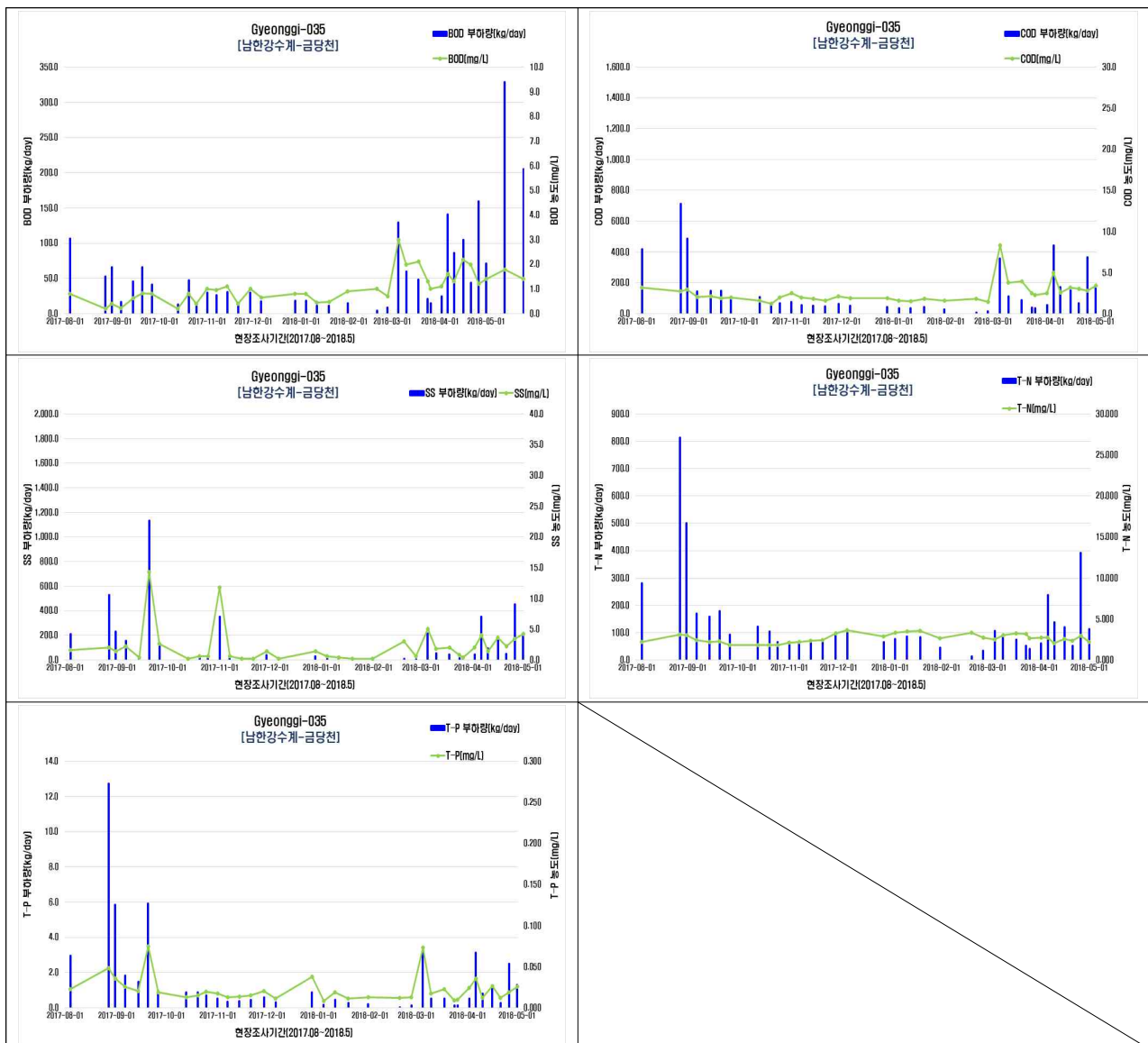


그림 5-56. 경기-035(금당교) 지점의 오염부하량 산정결과

제3절 북한강 수계

1. 북한강 수계의 지천별 수질분석 결과

본 연구결과(2단계)를 토대로 북한강 수계의 가평천, 조종천, 북한강 지천을 대상으로 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질 항목별 평균값을 비교분석하였다.

가평천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.95 m³/s(0.03~8.17 m³/s), 수온이 11.1℃(0.0~29.4℃), pH가 7.83(6.78~9.19), DO가 11.44 mg/L(7.78~15.13 mg/L), 전기전도도가 100.6 μs/cm(44.6~169.6 μs/cm), BOD가 0.6 mg/L(0.1~2.3 mg/L), COD가 1.8 mg/L(0.7~7.8 mg/L), TOC가 0.8 mg/L(0.3~4.3 mg/L), SS가 1.3 mg/L(0.0~20.6 mg/L), T-N이 1.989 mg/L(1.014~3.136 mg/L), DTN이 1.874 mg/L(1.007~3.071 mg/L), NH₃-N 0.027 mg/L(0.000~0.591 mg/L), NO₂-N이 0.007 mg/L(0.000~0.126 mg/L), NO₃-N이 1.744 mg/L(0.817~3.019 mg/L), T-P가 0.011 mg/L(0.000~0.041 mg/L), DTP 0.009 mg/L(0.000~0.036 mg/L), PO₄-P가 0.004 mg/L(0.000~0.030 mg/L), Chl-a가 0.8 mg/m³(0.0~5.4 mg/m³)로 나타났다.

표 5-17. 가평천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.95	11.1	7.83	11.44	100.6	0.6	1.8	0.8	1.3
최소값	0.03	0.0	6.78	7.78	44.6	0.1	0.7	0.3	0.0
최대값	8.17	29.4	9.19	15.13	169.6	2.3	7.8	4.3	20.6
표준편차	1.58	7.2	0.41	1.79	26.7	0.3	0.8	0.4	2.1
95%ile	5.67	22.2	8.65	14.42	149.2	1.0	2.6	1.5	4.4
75%ile	1.06	16.9	8.06	12.99	119.2	0.7	2.1	0.9	1.6
중간값 (median)	0.37	12.2	7.78	11.14	99.7	0.5	1.8	0.8	0.8
25%ile	0.15	3.8	7.54	9.99	81.3	0.4	1.3	0.6	0.4
5%ile	0.06	0.6	7.22	8.84	60.6	0.2	0.9	0.4	0.2
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	1.898	1.874	0.027	0.007	1.744	0.011	0.009	0.004	0.8
최소값	1.014	1.007	0.000	0.000	0.817	0.000	0.000	0.000	0.0
최대값	3.136	3.071	0.591	0.126	3.019	0.041	0.036	0.030	5.4
표준편차	0.464	0.464	0.054	0.013	0.435	0.007	0.006	0.005	0.9
95%ile	2.655	2.631	0.089	0.025	2.486	0.024	0.021	0.012	2.6
75%ile	2.218	2.206	0.030	0.010	2.037	0.013	0.011	0.007	1.1
중간값 (median)	1.933	1.925	0.017	0.005	1.780	0.010	0.008	0.004	0.5
25%ile	1.537	1.489	0.000	0.000	1.383	0.007	0.006	0.000	0.2
5%ile	1.149	1.100	0.000	0.000	1.033	0.002	0.000	0.000	0.0

조종천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.64 m³/s(0.01~10.00 m³/s), 수온이 11.7℃(0.0~30.3℃), pH가 7.70(6.80~8.71), DO가 11.43 mg/L(6.36~15.39 mg/L), 전기전도도가 188.4 μs/cm(83.8~319.9 μs/cm), BOD가 0.8 mg/L(0.2~4.3 mg/L), COD가 2.5 mg/L(0.7~18.7 mg/L), TOC가 1.1 mg/L(0.3~7.4 mg/L), SS가 3.0 mg/L(0.2~156.0 mg/L), T-N이 3.194 mg/L(1.606~5.776 mg/L), DTN이 3.153 mg/L(1.542~5.472 mg/L), NH₃-N 0.069 mg/L(0.000~0.690 mg/L), NO₂-N이 0.013 mg/L(0.000~0.139 mg/L), NO₃-N이 2.723 mg/L(0.448~4.538 mg/L), T-P가 0.031 mg/L(0.000~0.377 mg/L), DTP 0.027 mg/L(0.000~0.374 mg/L), PO₄-P가 0.015 mg/L(0.000~0.230 mg/L), Chl-a가 2.4 mg/m³(0.2~20.8 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 SS의 평균값이 3.0 mg/L로 중간값인 1.2 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 여름철에 강수량이 집중되어 SS의 유입이 크게 증가하였기 때문이다.

표 5-18. 조종천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.64	11.7	7.70	11.43	188.4	0.8	2.5	1.1	3.0
최소값	0.01	0.0	6.80	6.36	83.8	0.2	0.7	0.3	0.2
최대값	10.00	30.3	8.71	15.39	319.9	4.3	18.7	7.4	156.0
표준편차	1.22	7.2	0.32	1.87	52.3	0.5	1.5	0.7	11.7
95%ile	2.48	23.6	8.37	14.37	271.5	1.8	4.3	2.0	9.1
75%ile	0.59	18.1	7.89	12.94	225.6	0.9	2.8	1.3	2.2
중간값 (median)	0.26	11.6	7.69	11.31	191.0	0.7	2.2	0.9	1.2
25%ile	0.11	5.1	7.52	9.80	140.0	0.5	1.7	0.8	0.6
5%ile	0.04	0.8	7.14	8.68	109.6	0.3	1.0	0.5	0.2
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	3.194	3.153	0.069	0.013	2.723	0.031	0.027	0.015	2.4
최소값	1.606	1.542	0.000	0.000	0.448	0.000	0.000	0.000	0.2
최대값	5.776	5.472	0.690	0.139	4.538	0.377	0.374	0.230	20.8
표준편차	0.730	0.714	0.130	0.020	0.647	0.044	0.040	0.029	2.3
95%ile	4.506	4.470	0.459	0.043	3.934	0.099	0.084	0.045	6.6
75%ile	3.550	3.503	0.052	0.017	3.097	0.032	0.029	0.015	3.1
중간값 (median)	3.205	3.162	0.026	0.006	2.653	0.019	0.016	0.008	1.8
25%ile	2.748	2.711	0.000	0.000	2.250	0.012	0.010	0.003	0.9
5%ile	1.990	1.961	0.000	0.000	1.843	0.007	0.006	0.000	0.3

북한강 지천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 $0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.00\sim 9.46 \text{ m}^3/\text{s}$), 수온이 12.2°C ($0.0\sim 31.6^\circ\text{C}$), pH가 7.89($6.38\sim 9.27$), DO가 11.57 mg/L ($5.35\sim 16.69 \text{ mg/L}$), 전기전도도가 $225.4 \mu\text{S/cm}$ ($62.4\sim 636.4 \mu\text{S/cm}$), BOD가 1.1 mg/L ($0.1\sim 5.2 \text{ mg/L}$), COD가 3.0 mg/L ($0.9\sim 16.8 \text{ mg/L}$), TOC가 1.6 mg/L ($0.3\sim 5.9 \text{ mg/L}$), SS가 4.4 mg/L ($0.0\sim 287.0 \text{ mg/L}$), T-N이 3.656 mg/L ($1.035\sim 18.375 \text{ mg/L}$), DTN이 3.588 mg/L ($0.942\sim 18.145 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.583 mg/L ($0.000\sim 13.100 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 0.020 mg/L ($0.000\sim 0.823 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 2.626 mg/L ($0.342\sim 7.180 \text{ mg/L}$), T-P가 0.042 mg/L ($0.000\sim 0.860 \text{ mg/L}$), DTP 0.036 mg/L ($0.000\sim 0.854 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 0.020 mg/L ($0.000\sim 0.741 \text{ mg/L}$), Chl-a가 4.0 mg/m^3 ($0.0\sim 32.7 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. 분석결과 중 SS의 평균값이 4.4 mg/L 로 중간값인 1.6 mg/L 와 큰 차이를 보였는데 이는 여름철에 강수량이 집중되어 SS의 유입이 크게 증가하였기 때문이며, $\text{NH}_3\text{-N}$ 또한 평균값이 0.583 mg/L 로 중간값인 0.029 mg/L 와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-19. 북한강 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m^3/s)	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.59	12.2	7.89	11.57	225.4	1.1	3.0	1.6	4.4
최소값	0.00	0.0	6.38	5.35	62.4	0.1	0.9	0.3	0.0
최대값	9.46	31.6	9.27	16.69	636.4	5.2	16.8	5.9	287.0
표준편차	1.00	7.3	0.45	2.26	137.8	0.9	1.9	1.1	17.1
95%ile	1.94	22.8	8.63	15.11	522.1	3.5	7.1	4.2	13.5
75%ile	0.62	18.2	8.21	13.42	257.7	1.2	3.8	1.9	3.2
중간값 (median)	0.30	12.6	7.90	11.37	189.9	0.8	2.3	1.2	1.6
25%ile	0.12	5.4	7.56	9.89	117.3	0.6	1.7	0.9	0.8
5%ile	0.02	0.8	7.19	8.22	83.3	0.2	1.1	0.5	0.2
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	Chl-a (mg/m^3)
평균값	3.656	3.588	0.583	0.020	2.626	0.042	0.036	0.020	4.0
최소값	1.035	0.942	0.000	0.000	0.342	0.000	0.000	0.000	0.0
최대값	18.375	18.145	13.100	0.823	7.180	0.860	0.854	0.741	32.7
표준편차	2.700	2.672	1.993	0.055	1.227	0.098	0.096	0.081	5.6
95%ile	9.652	9.518	4.995	0.088	5.531	0.103	0.086	0.035	18.1
75%ile	3.875	3.785	0.062	0.019	3.072	0.039	0.029	0.012	4.2
중간값 (median)	2.896	2.820	0.029	0.007	2.355	0.018	0.015	0.007	1.8
25%ile	2.083	2.028	0.000	0.000	1.802	0.012	0.010	0.003	0.9
5%ile	1.349	1.302	0.000	0.000	1.192	0.007	0.006	0.000	0.4

북한강 수계의 주요 하천을 분석한 결과, 북한강 지천은 다른 하천과 비교하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질이 높은 농도로 나타났고 가평천은 다른 하천에 비해 오염물질이 낮게 나타났다. 특히, 가평천은 BOD가 0.6 mg/L, COD가 1.8 mg/L, SS가 1.3 mg/L, T-P가 0.011 mg/L에 비해 북한강 본류는 BOD가 1.1 mg/L, COD가 3.0 mg/L, SS가 4.4 mg/L, T-P가 0.042 mg/L로 큰 폭의 차이가 나타났다. 가평천은 북한강 상류에서 유입되고 북한강 지천은 북한강 하류에서 유입되어 북한강 수계의 수질에 영향을 미치는 것으로 파악된다.

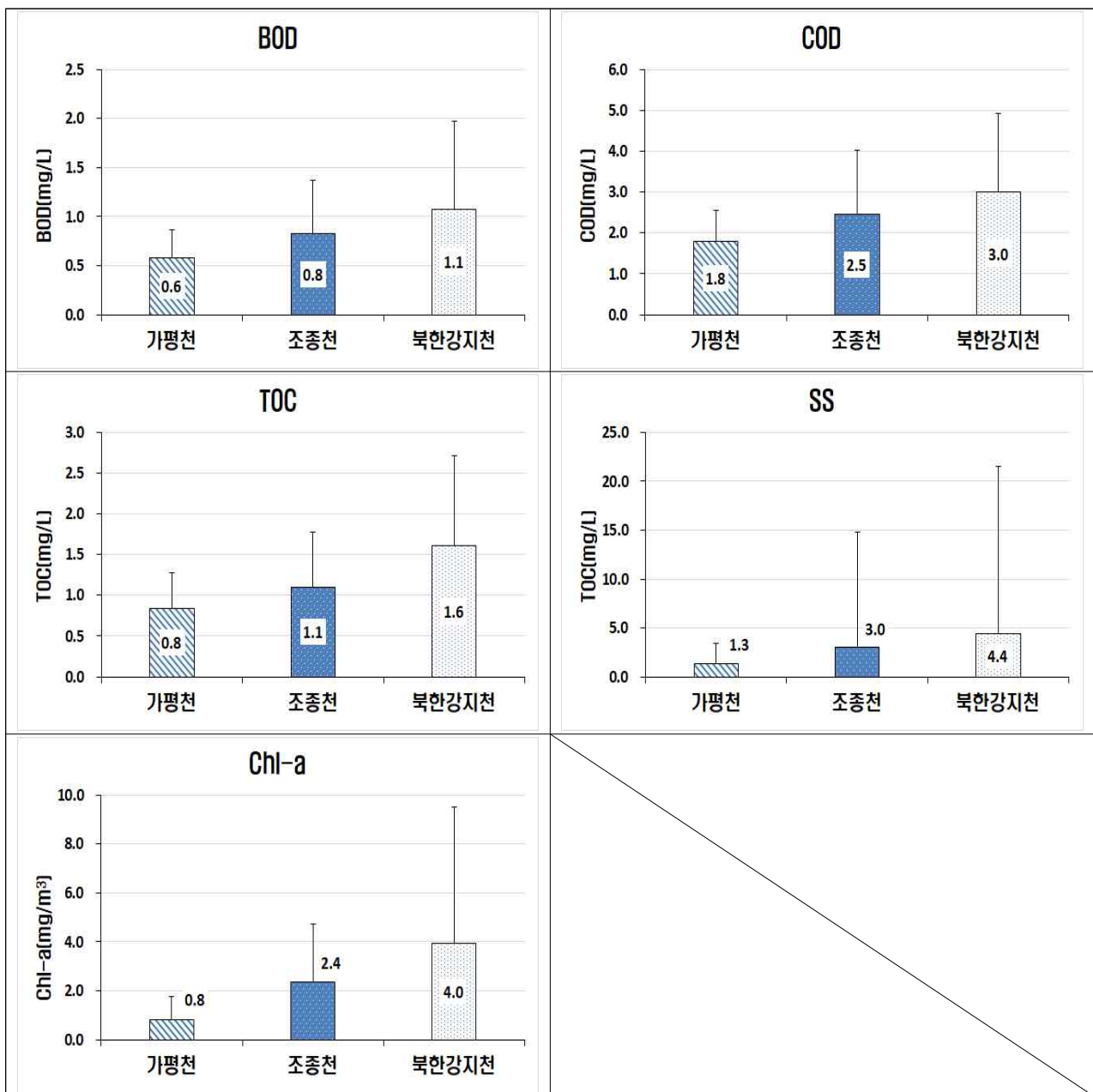


그림 5-57. 북한강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)

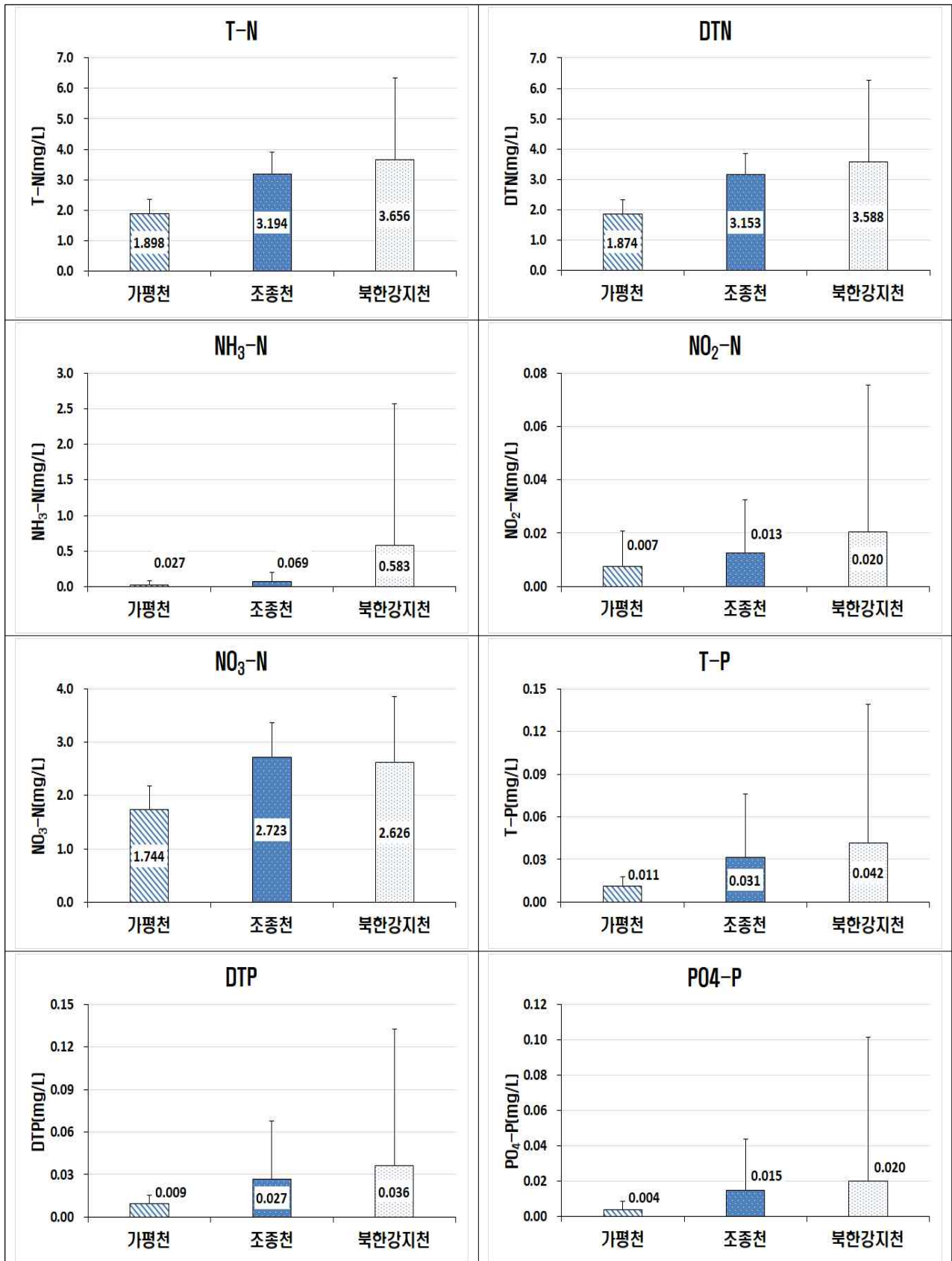


그림 5-58. 북한강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)

2. 수질분석 결과 비교 검토

본 연구의 1단계 연구용역인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강 수계 하천 모니터링」의 분석결과와 본 연구 결과(2단계)를 토대로 북한강 수계의 수질오염물질 항목별로 비교분석하였다.

북한강 수계의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 14항목에 대해서 1단계 분석결과와 2단계 분석결과의 항목별 평균값을 비교분석하였다. 1단계 분석결과와 2단계 분석결과 모두 수계 내의 모든 데이터로 산술평균을 취하였다.

1단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 15.6℃, pH가 7.88, DO는 8.2 mg/L, 전기전도도는 137.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 1.5 mg/L, COD는 2.5 mg/L, SS는 4.7 mg/L, 클로로필-a는 3.4 mg/m³, NH₃-N은 0.508 mg/L, NO₂-N은 0.015 mg/L, NO₃-N은 1.825 mg/L, T-N은 2.936 mg/L, PO₄-P는 0.019 mg/L, T-P는 0.033 mg/L로 나타났다.

2단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 12.1℃, pH가 7.83, DO는 11.5 mg/L, 전기전도도는 182.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 0.9 mg/L, COD는 2.5 mg/L, SS는 3.2 mg/L, 클로로필-a는 2.8 mg/m³, NH₃-N은 0.428 mg/L, NO₂-N은 0.025 mg/L, NO₃-N은 2.420 mg/L, T-N은 3.067 mg/L, PO₄-P는 0.020 mg/L, T-P는 0.032 mg/L로 나타났다.

1단계와 2단계 조사를 비교한 결과 DO와 전기전도도, COD, 질소계열 오염물질이 약간 증가하였고 BOD와 SS가 크게 감소하여 2011년도에 비해 수질이 개선된 것으로 파악된다.

2016년 춘천시는 공지천으로 유입되는 오염물질을 막기 위해 도심시설에 오염물질 차단시설을 설치하였다. 춘천 도심의 도로나 대기 등에서 생기는 먼지, 타이어 마모 물질 등 불특정 미세 오염원(비점오염원)이 우수관을 통해 저장시설로 집수하였다가 하수처리장으로 유입시켜 처리하는 방식이다. 해당시설을 통해 초기우수인 비점오염물질 제거에 이바지함으로써 북한강 수질개선에 기하고 있다.

2016년 화천군은 비점오염원 저감식물 친환경 육성단지 조성사업으로 북한강 주변에 대표적인 비점오염원 저감식물인 눈개승마를 재배하였다. 이를 계기로 수도권 시민들의 식수원인 북한강 상류 수질 개선 효과에 기여하고 있다.

2017년 가평군에서는 가평읍 산유리, 설악면 설곡리, 조종면 마일리 지역의 공공 하수처리시설을 신설 및 가동하였다. 산유리 시설은 400t/d, 설곡리 시설은 하루 180t/d, 마일리 시설은 100t/d의 하수를 처리 할수 있는 용량을 갖추었다. 해당시설이 가동됨으로써 상수원인 북한강 수질을 개선에 기여하고 있다.

이러한 노력으로 인해서 북한강 수계의 수질개선이 되었기 때문에 1단계 모니터링 결과보다 2단계 모니터링 결과에서 더 좋은 수질을 보이고 있는 것으로 보인다. 특히, BOD가 2011년에는 1.5 mg/L에서 2018년에는 0.9 mg/L로 개선되었고 SS가 4.7 mg/L에서 2018년 3.2 mg/L로 개

선된 것으로 나타났다.

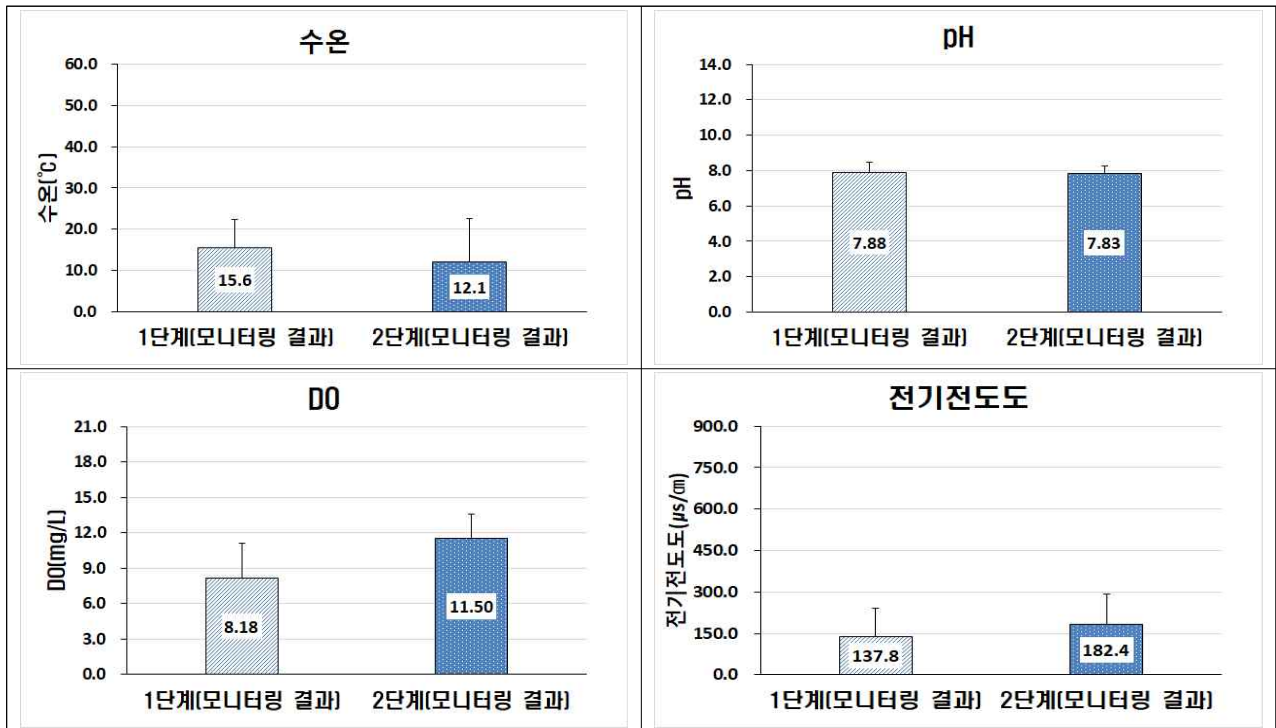


그림 5-59. 북한강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과

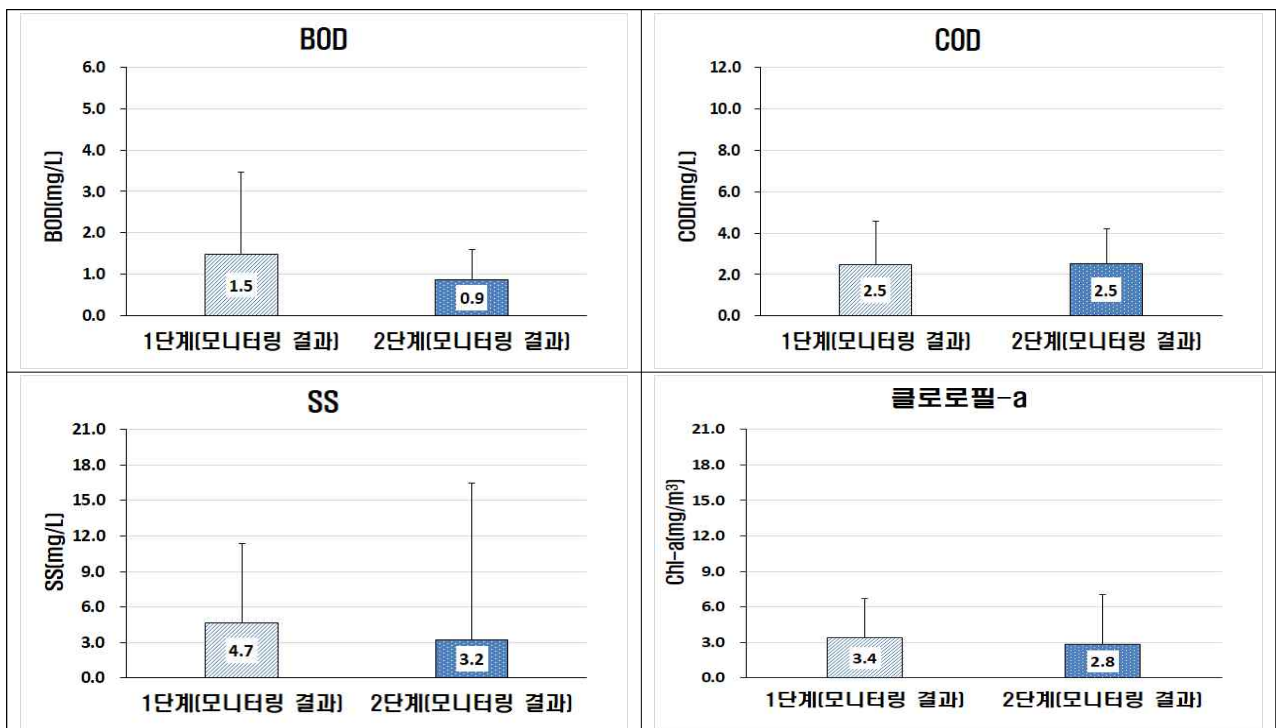


그림 5-60. 북한강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과

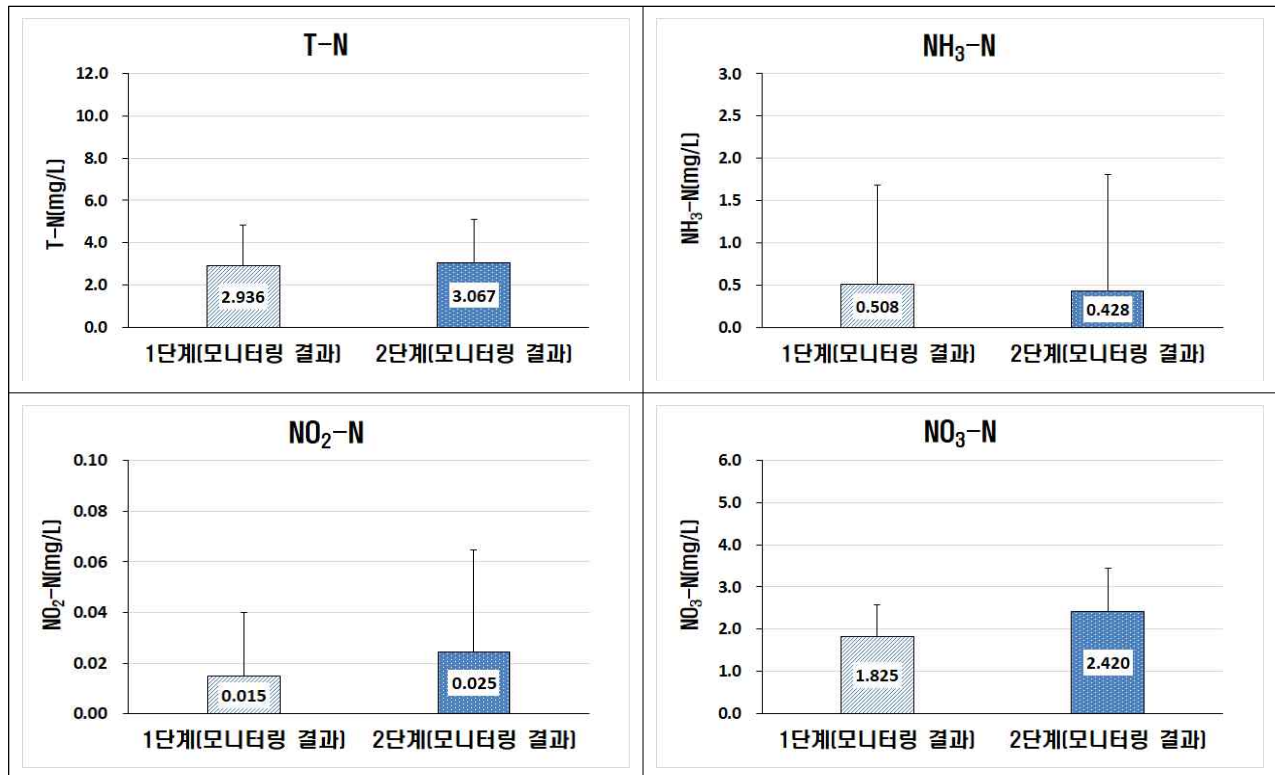


그림 5-61. 북한강 수계의 T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 분석 결과

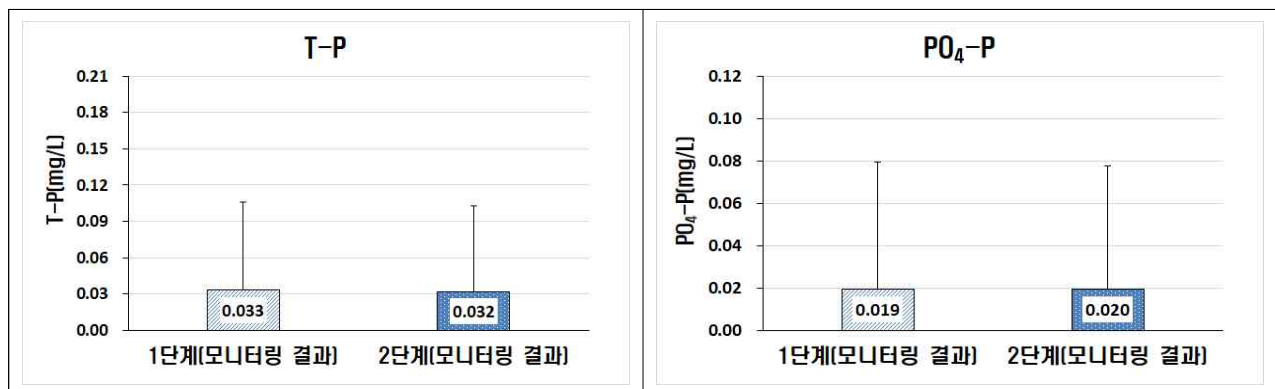


그림 5-62. 북한강 수계의 T-P, PO₄-P 분석 결과

3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과

1) 가평A 단위유역(5개 지점)

(1) 가평A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-053 도대리상교

경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-20>에 나타내었다. 경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS, BOD - TN, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.3397, 0.3468, 0.2225 로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.7525 으로 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

표 5-20. 경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성분석 결과

북한강수계(경기-053, 도대리상교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.3397	0.3468	0.2225	0.7525
결정계수(R ²)	0.1154	0.1203	0.0495	0.5663

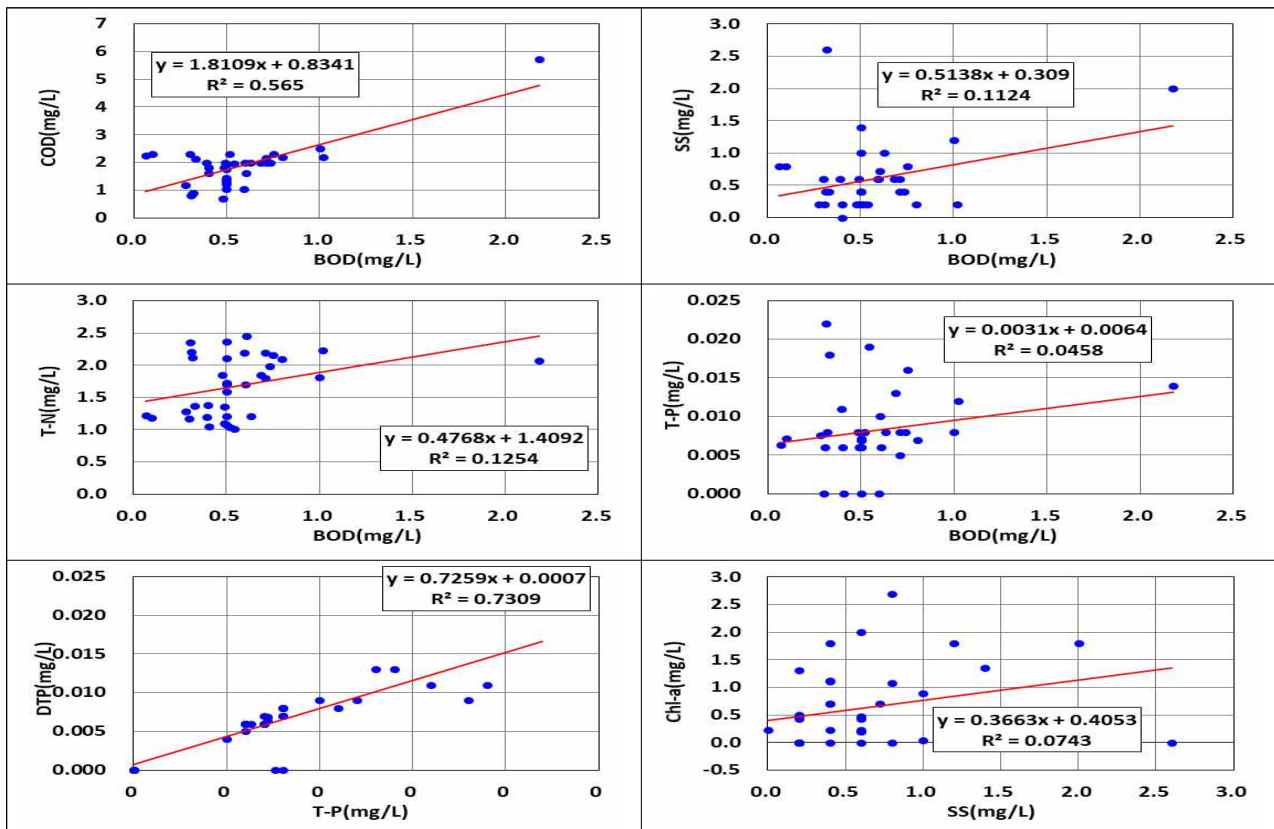


그림 5-63. 경기-053 (도대리상교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 가평A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-053 도대리상교

경기-053 (도대리상교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $1.39 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.07 \sim 7.80 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 8.00% 이하였으며 평균 4.63% ($3.59 \sim 6.44\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 초반부를 제외하면 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 7.85% ($5.05 \sim 10.57\%$)로 나타났다. 하상재료가 주로 자갈과 바위이며, 수심이 일정하지 않은 편이다. 특이사항으로는 하천 인근에 펜션 및 캠핑장 분포하고 주변에 큰 바위가 많으며 다리 공사가 진행 중이었다. 측정 지점은 본류인 가평천과 동일 하천이며, 주변 하천으로는 명지천, 백둔천 등이 있다.

경기-053 (도대리상교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 8.16 ($6.94 \sim 9.19$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.59 mg/L ($8.36 \sim 14.25 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $83.1 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($47.4 \sim 125.5 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-053 (도대리상교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 0.6 mg/L ($0.1 \sim 2.2 \text{ mg/L}$), COD는 평균 1.9 mg/L ($0.7 \sim 5.7 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 0.9 mg/L ($0.3 \sim 3.1 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 24회차 조사 시 학교, 식당, 펜션, 유원지 등의 점오염원 및 수련원, 캠핑장 등의 비점오염원 하수 등의 유입으로 인해 COD가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-053 (도대리상교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 1.645 mg/L ($1.014 \sim 2.449 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 1.627 mg/L ($1.007 \sim 2.445 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.030 mg/L ($0.000 \sim 0.182 \text{ mg/L}$), $\text{N O}_2\text{-N}$ 은 평균 0.008 mg/L ($0.000 \sim 0.126 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 1.520 mg/L ($0.817 \sim 2.271 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-053 (도대리상교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.008 mg/L ($0.000 \sim 0.022 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.007 mg/L ($0.000 \sim 0.021 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.003 mg/L ($0.000 \sim 0.013 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 인은 전체적으로 큰 변화를 보이지 않았다.

경기-053 (도대리상교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 3.00 mg/L 이하였으며 평균 0.6 mg/L ($0.0 \sim 2.6 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 3.00 mg/m^3 이하였으며 평균 0.6 mg/m^3 ($0.0 \sim 2.7 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

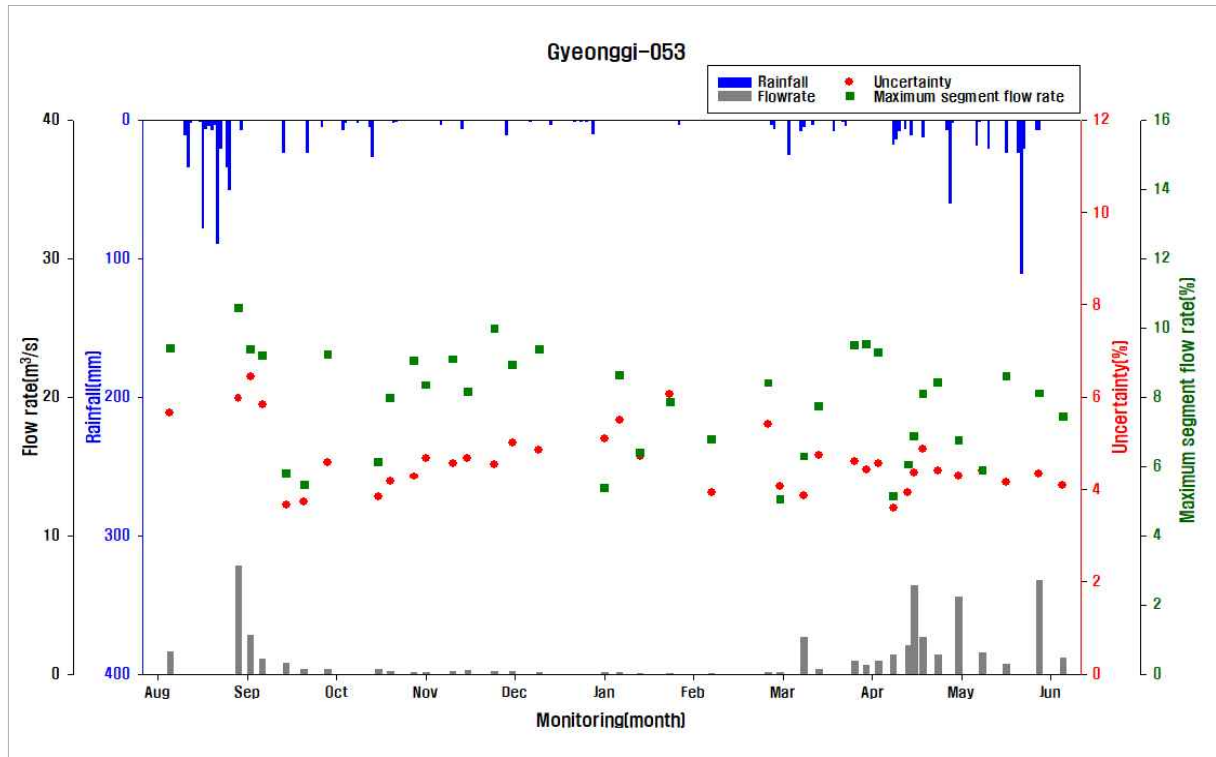


그림 5-64. 경기-053 (도대리상교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

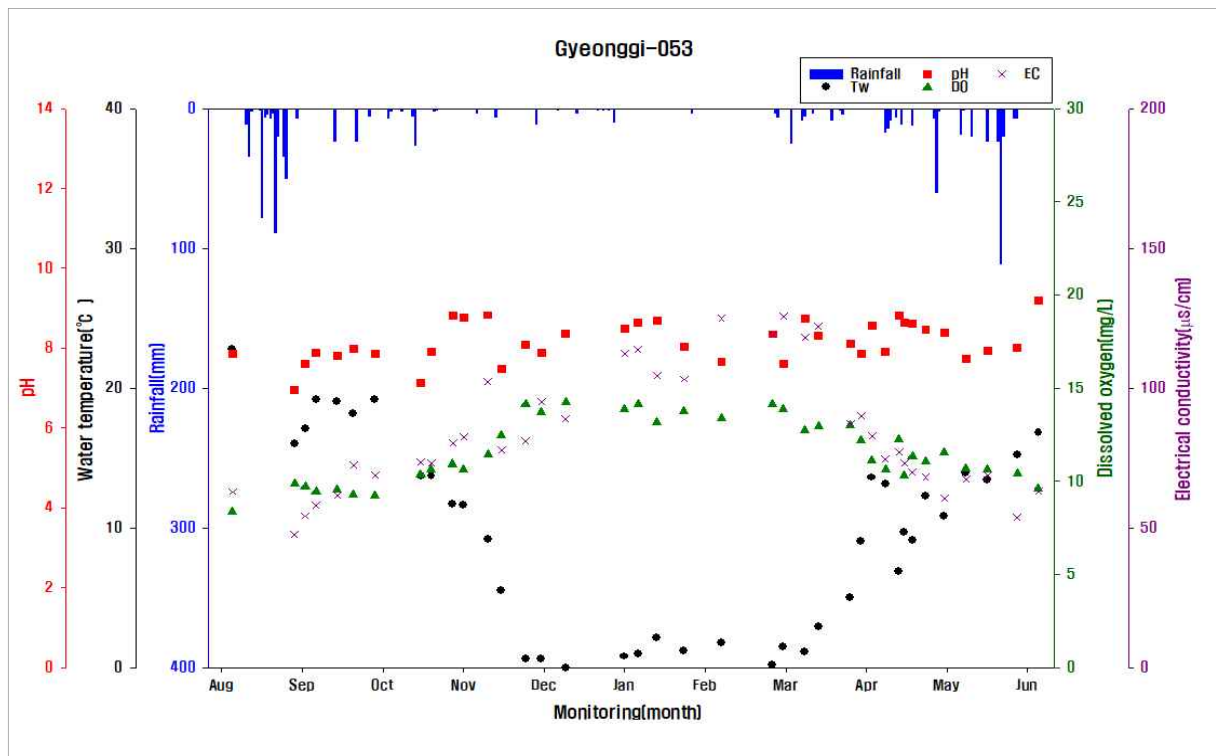


그림 5-65. 경기-053 (도대리상교) 지점의 현장측정 결과

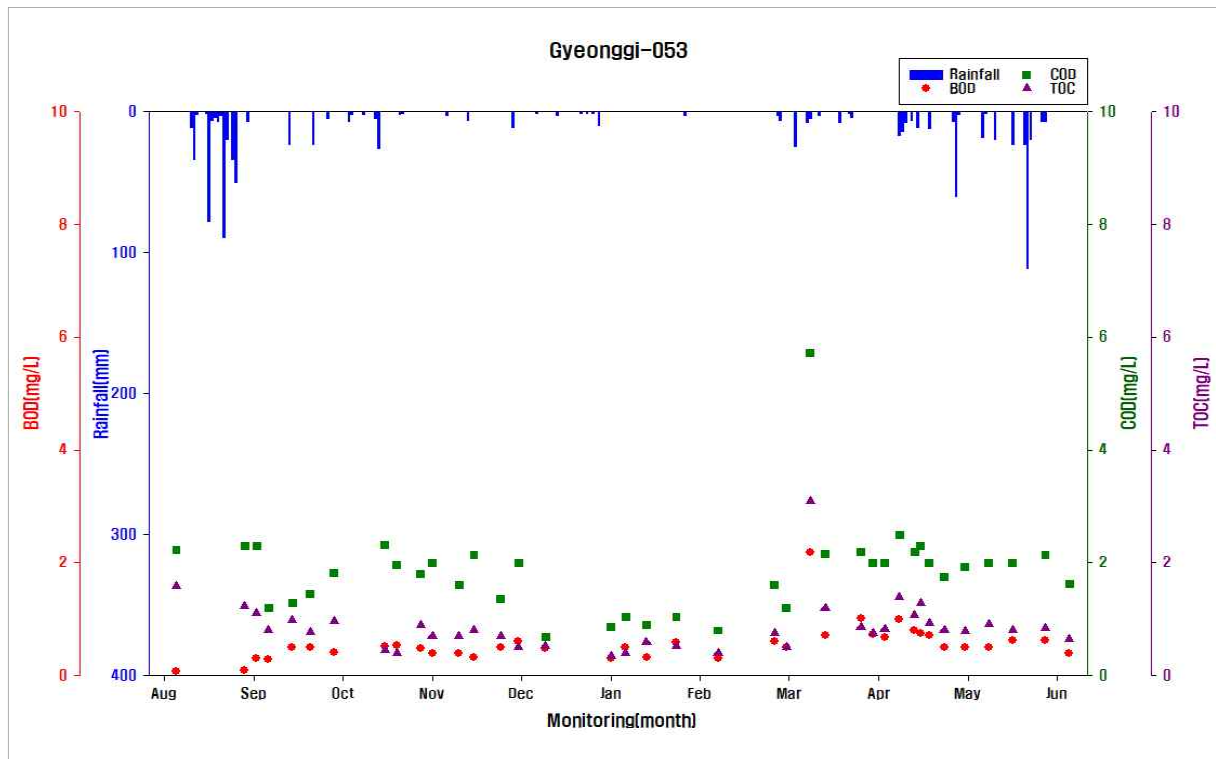


그림 5-66. 경기-053 (도대리상교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

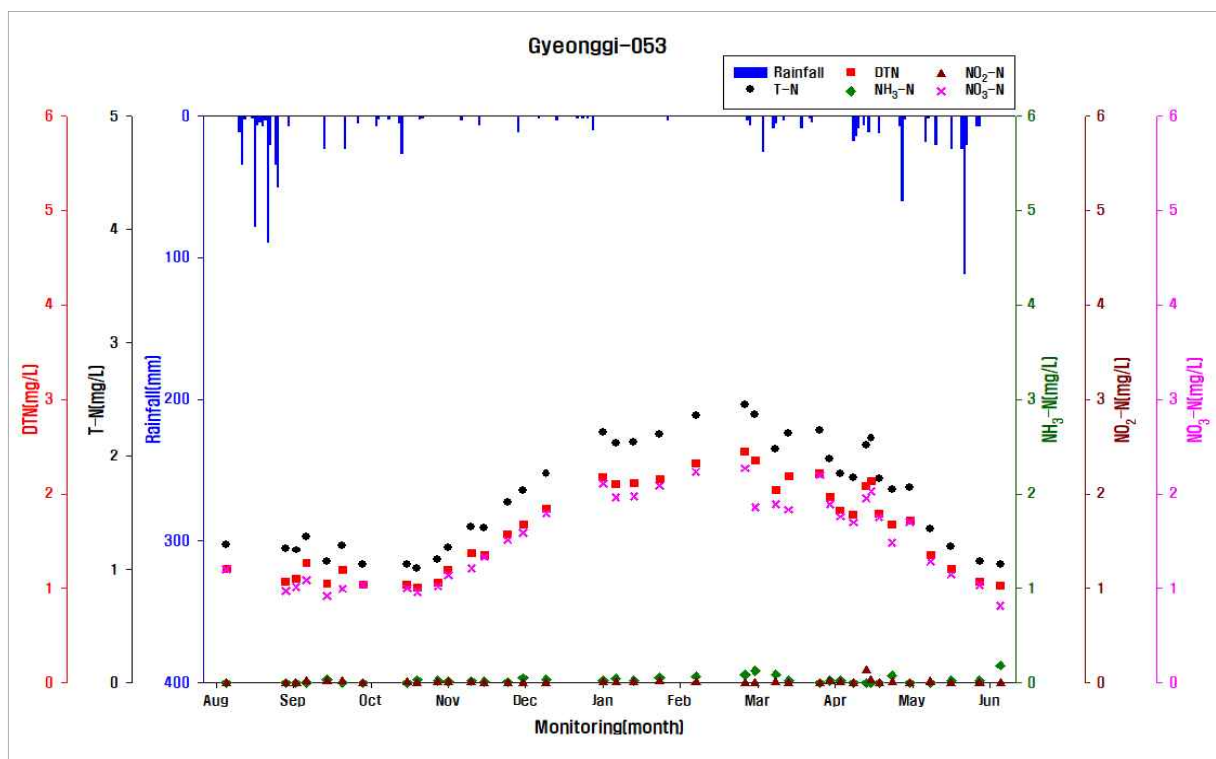


그림 5-67. 경기-053 (도대리상교) 지점의 T-N 계열 결과

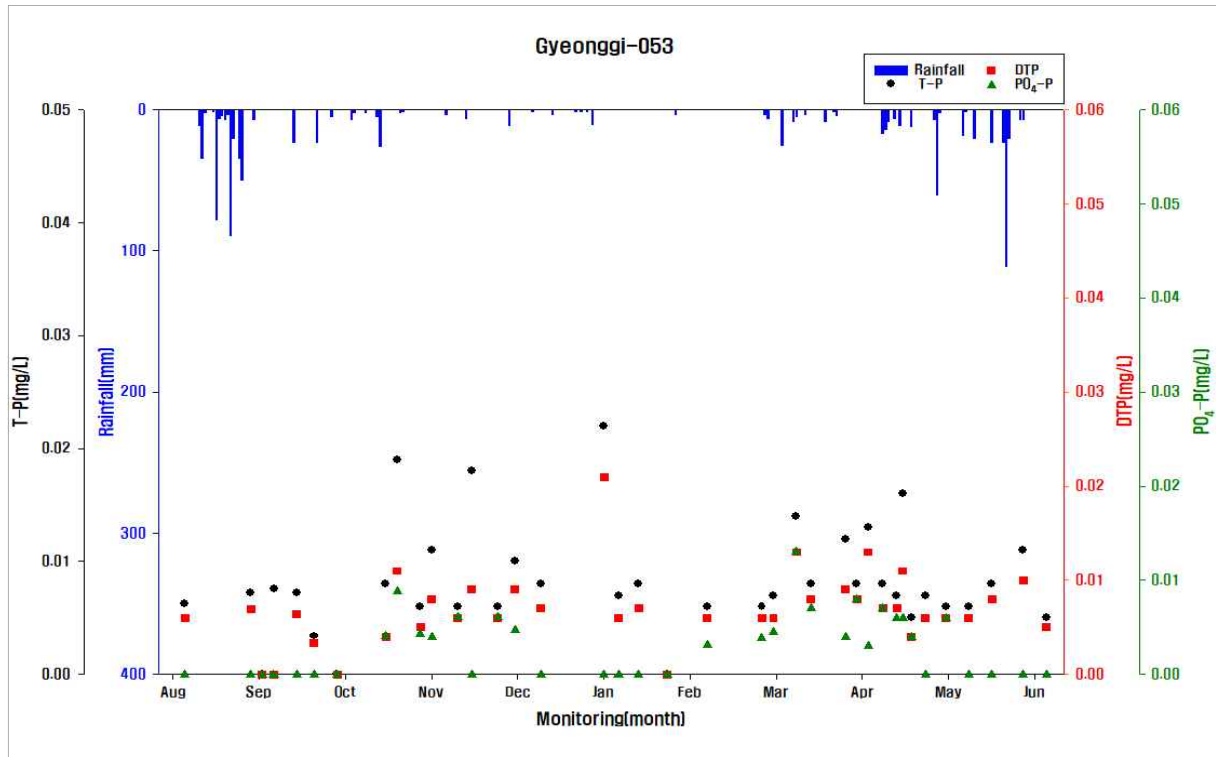


그림 5-68. 경기-053 (도대리상교) 지점의 T-P 계열 결과

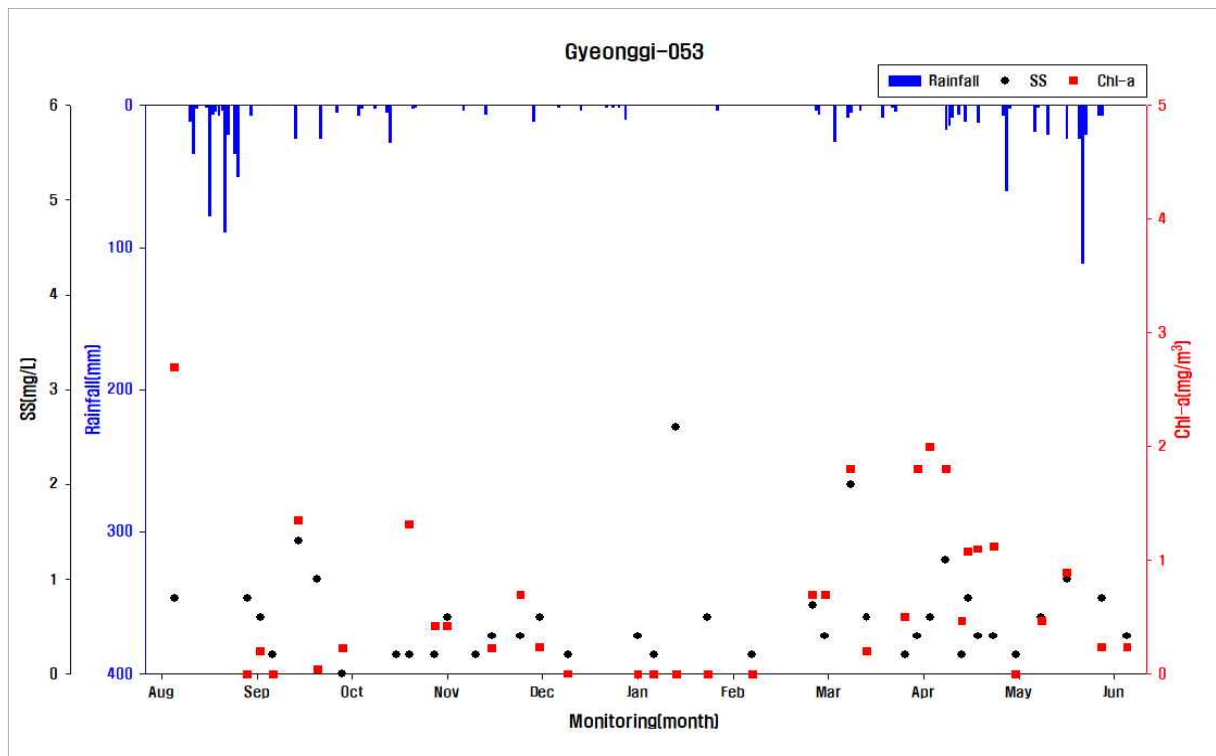


그림 5-69. 경기-053 (도대리상교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 가평A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

북한강 수계 가평A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-70>~<그림 5-71>에 나타내었다. 가평A 단위유역은 본류인 가평천을 중심으로 명지천, 백둔천, 화악천, 개곡천, 승안천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 가평A 단위유역의 5개 측정지점(도대리상교, 향아리교, 대원사인접, 목동2교, 계량교)의 BOD는 각각 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.5 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.008 mg/L, 0.010 mg/L, 0.014 mg/L, 0.011 mg/L, 0.012 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 5지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 5지점(100.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 매우좋음(Ia) 5지점(100.0%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

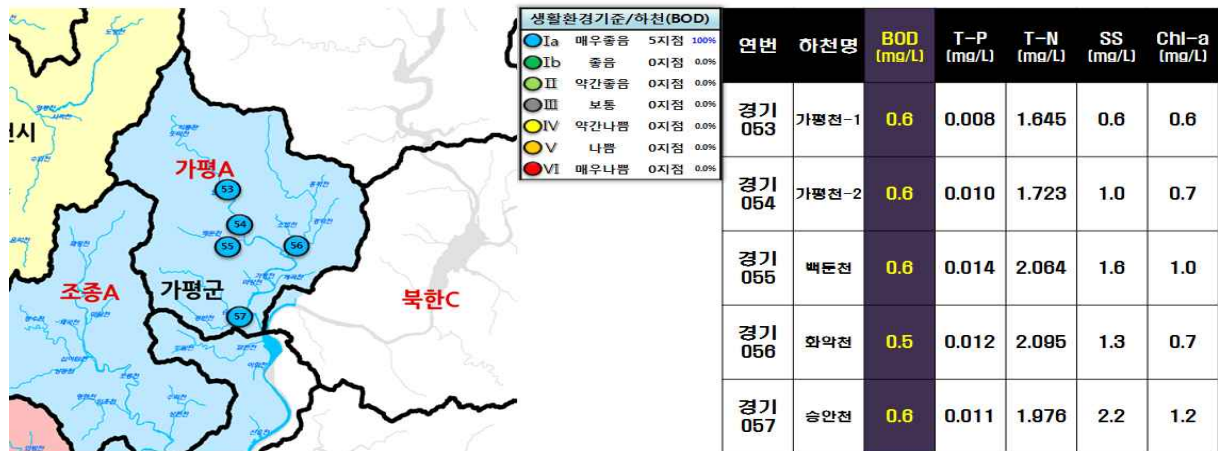


그림 5-70. 가평A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

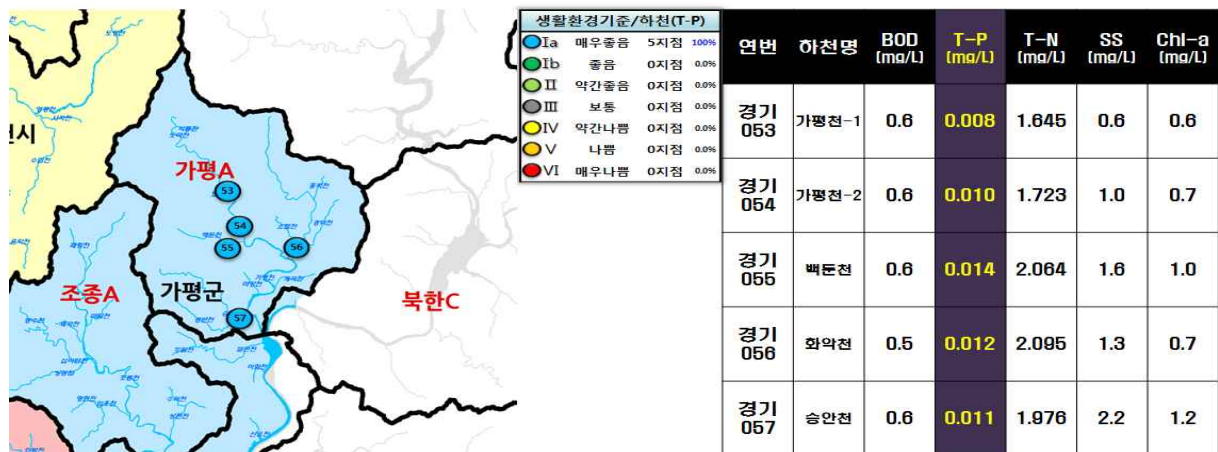


그림 5-71. 가평A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 가평A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

가평A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-21>에 나타내었다.

가평A 단위유역은 본류인 가평천을 중심으로 명지천, 백둔천, 화악천, 개곡천, 승안천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-가평A가 있다. 가평A 단위유역의 5개 측정지점(도대리상교, 향아리고, 대원사인점, 계량교, 목동2교)의 BOD는 각각 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.6 mg/L, 0.5 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.6 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.008 mg/L, 0.010 mg/L, 0.014 mg/L, 0.011 mg/L, 0.012 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.011 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 1.39 m³/s, 1.54 m³/s, 0.39 m³/s, 0.64 m³/s, 0.76 m³/s으로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 24.52 m³/s로 측정되었다. 가평A 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망 자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-21. 가평A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-053. 도대리상교	0.6	0.008	1.39
경기-054. 향아리고	0.6	0.010	1.54
경기-055. 대원사 인접	0.6	0.014	0.39
경기-056. 목동2교	0.5	0.012	0.76
경기-057. 계량교	0.6	0.011	0.64
총량측정망 - 가평A	0.6	0.011	24.52

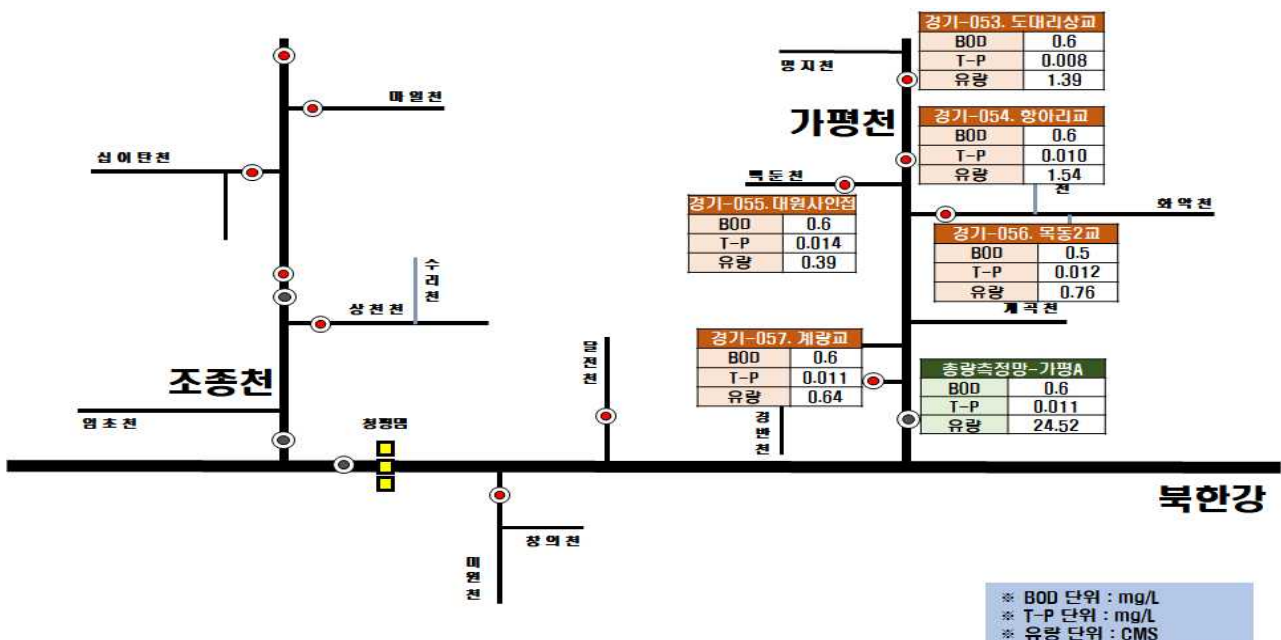


그림 5-72. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(가평A)

(5) 가평A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-053 도대리상교

경기-053(도대리상교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-73>에 나타내었다.

경기-053(도대리상교) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 1.39 m³/s였던 유량이 7.80 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 67.4 kg/day, COD 부하량은 1,550.0 kg/day, SS 부하량은 539.1 kg/day, T-N 부하량은 798.6 kg/day, T-P 부하량은 4.9 kg/day로 나타났다.

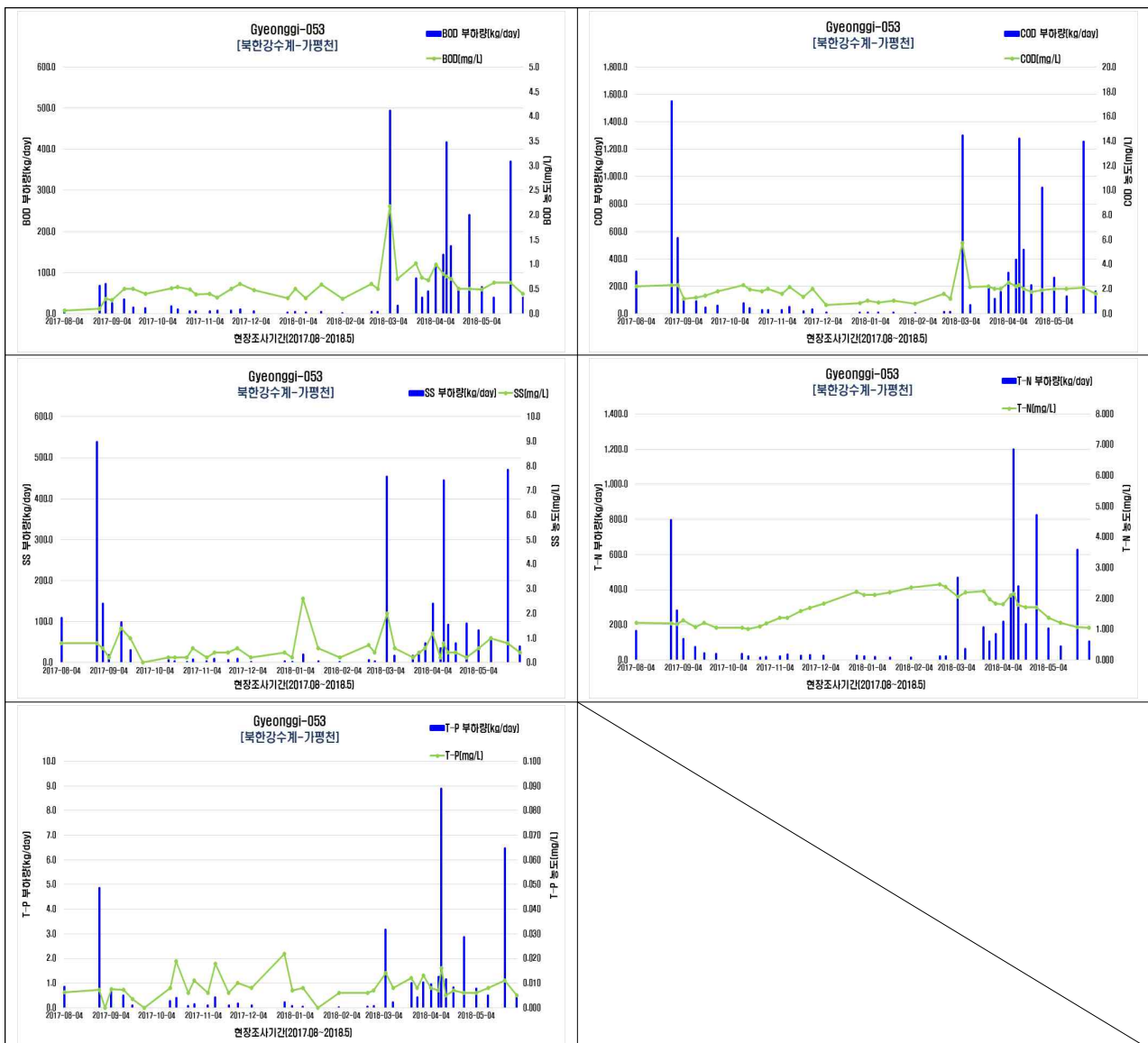


그림 5-73. 경기-053 (도대리상교) 지점의 오염부하량 산정결과

2) 한강F(북한강수계) 단위유역(6개 지점)

(1) 한강F(북한강수계) 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-065 내구운교

경기-065 (내구운교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-22>에 나타내었다. 경기-065 (내구운교)지점의 상관성 분석 결과, BOD - TN는 피어슨 상관계수가 0.0215 으로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - SS, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.2349, 0.2519 으로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.4329 으로 수질항목간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다.

표 5-22. 경기-065 (내구운교) 지점의 상관성분석 결과

북한강수계(경기-065, 내구운교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.2349	0.0215	0.2519	0.4329
결정계수(R ²)	0.0552	0.0005	0.0635	0.1874

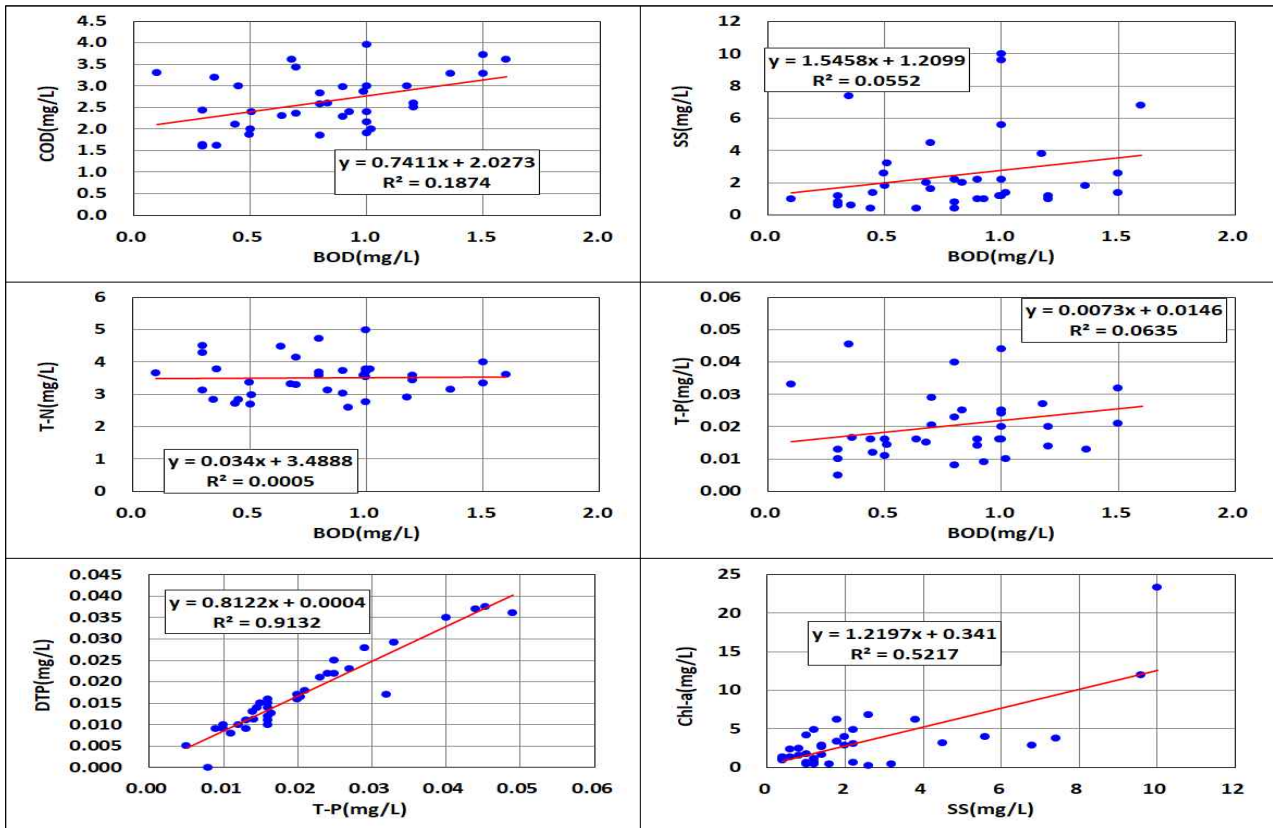


그림 5-74. 경기-065 (내구운교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 한강F(북한강수계) 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-065 내구운교

경기-065 (내구운교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $7.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $1.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.18 \sim 6.10 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 4.42% ($2.98 \sim 6.28\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 7.86% ($3.73 \sim 9.96\%$)로 나타났다. 하상재료가 대부분 자갈이며, 수심이 일정한 편이다. 특이사항으로는 하천 바로 옆에 펜션이 있고 하천 주변에 식물이 많았다. 측정 지점은 구운천의 하류부분이며 북한강을 본류로 한다. 상류방향으로 가곡천이 흐르고 있다.

경기-065 (내구운교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.99 ($6.85 \sim 8.57$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.68 mg/L ($7.30 \sim 14.59 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $223.5 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($127.8 \sim 324.5 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-065 (내구운교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 0.8 mg/L ($0.1 \sim 1.6 \text{ mg/L}$), COD는 평균 2.6 mg/L ($1.6 \sim 4.0 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 1.3 mg/L ($0.6 \sim 2.2 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-065 (내구운교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 3.516 mg/L ($2.602 \sim 4.983 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 3.482 mg/L ($2.540 \sim 4.957 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.029 mg/L ($0.000 \sim 0.100 \text{ mg/L}$), $\text{N O}_2\text{-N}$ 은 평균 0.014 mg/L ($0.000 \sim 0.053 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 3.073 mg/L ($2.175 \sim 4.353 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-065 (내구운교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.021 mg/L ($0.005 \sim 0.049 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.017 mg/L ($0.000 \sim 0.038 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.008 mg/L ($0.000 \sim 0.026 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 30회차 조사 시 펜션, 캠핑장 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-065 (내구운교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 10.0 mg/L 이하였으며 평균 2.5 mg/L ($0.4 \sim 10.0 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 25.0 mg/m^3 이하였으며 평균 3.4 mg/m^3 ($0.2 \sim 23.3 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

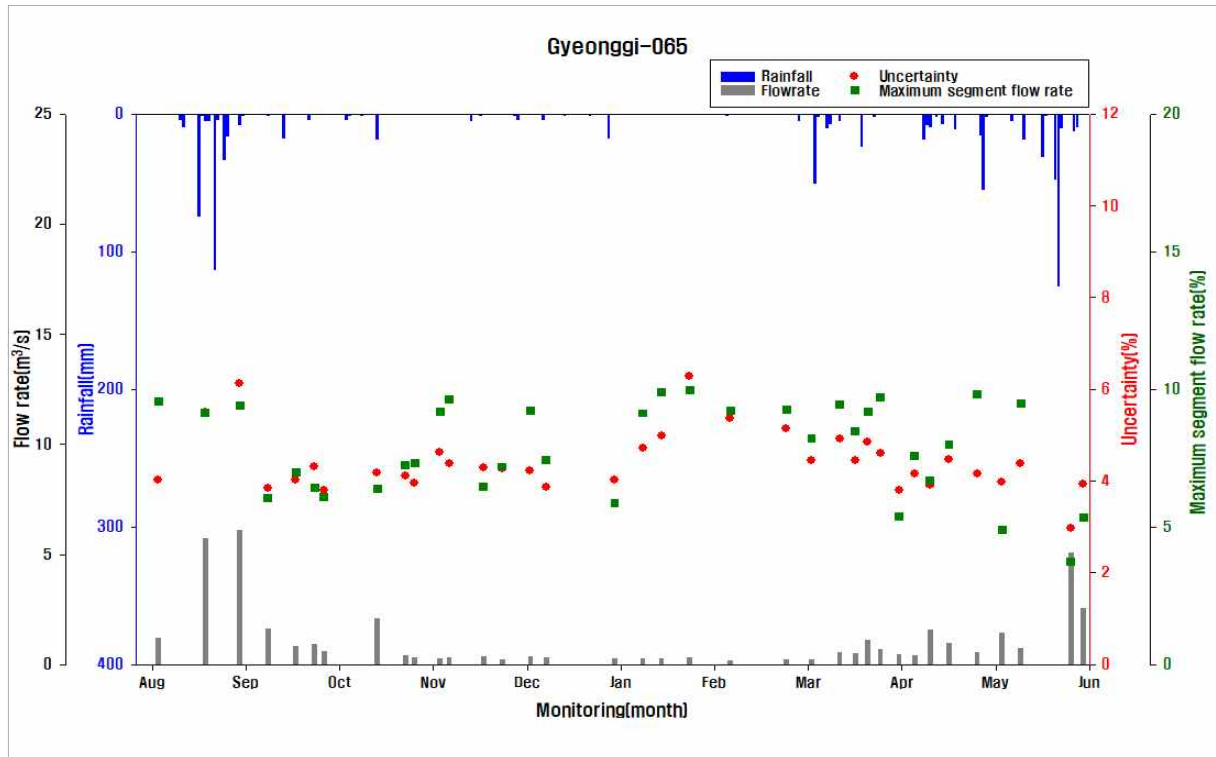


그림 5-75. 경기-065 (내구운교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

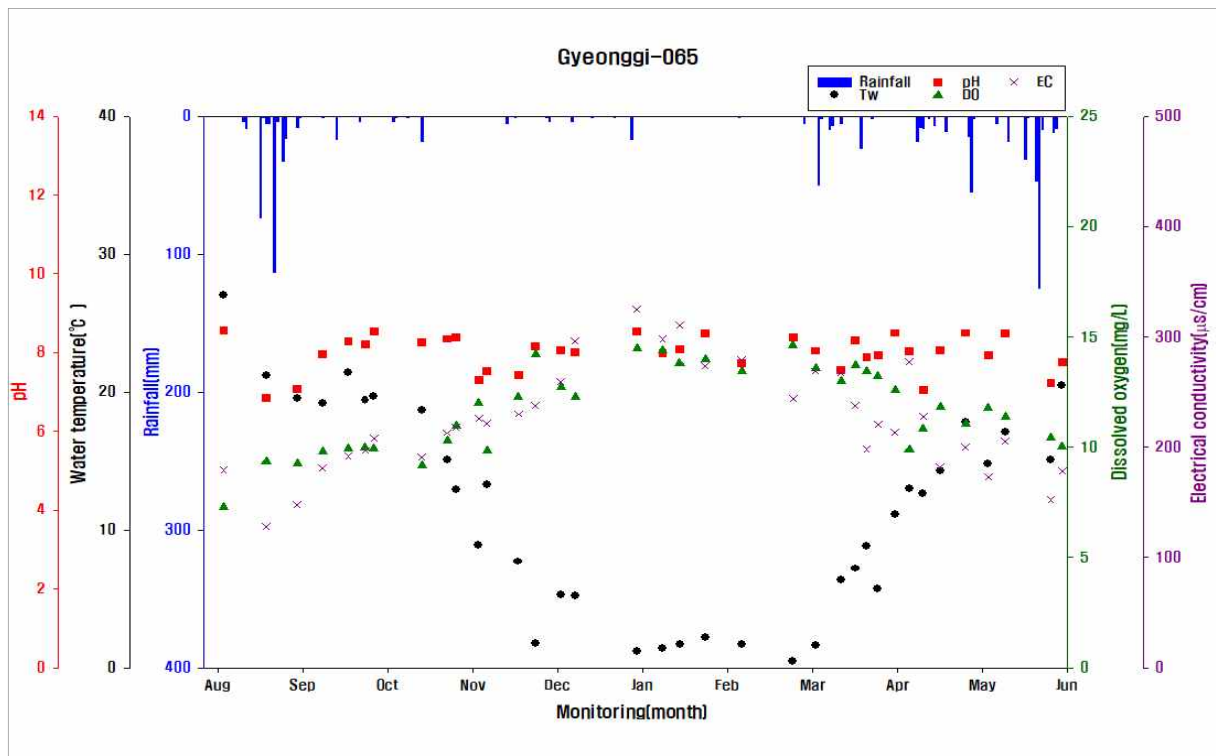


그림 5-76. 경기-065 (내구운교) 지점의 현장측정 결과

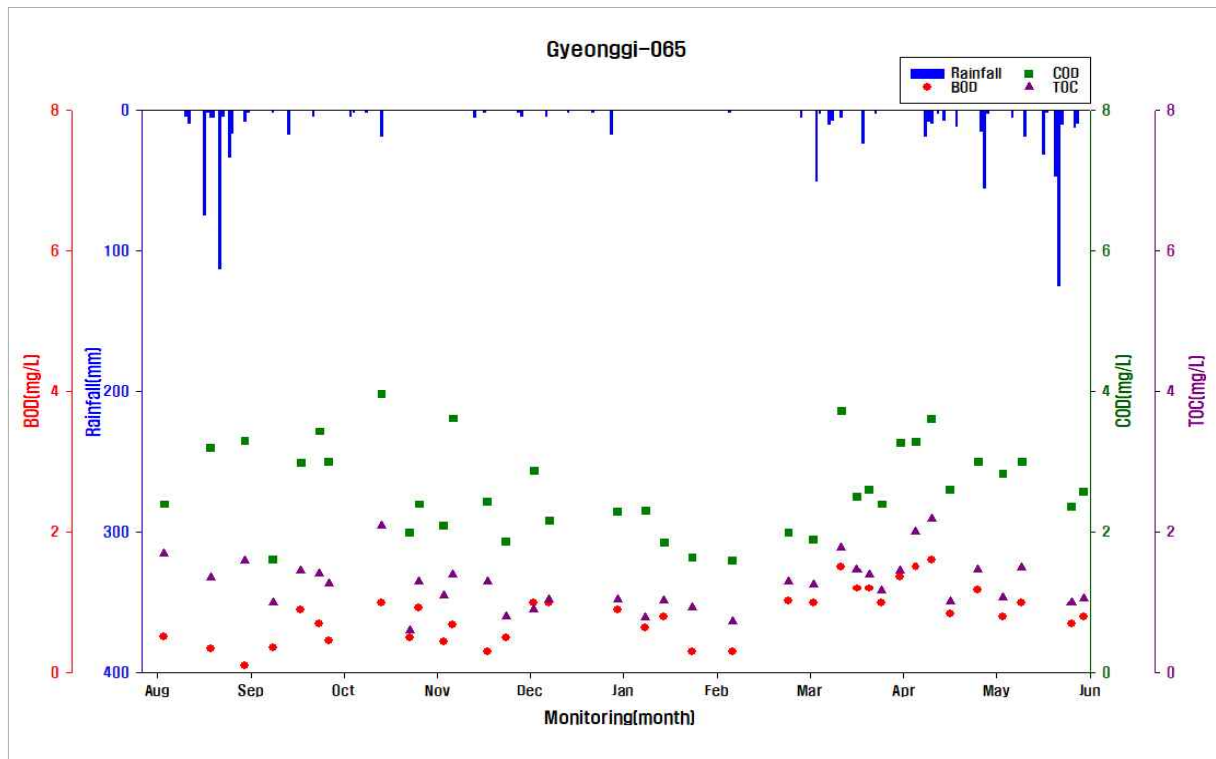


그림 5-77. 경기-065 (내구운교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

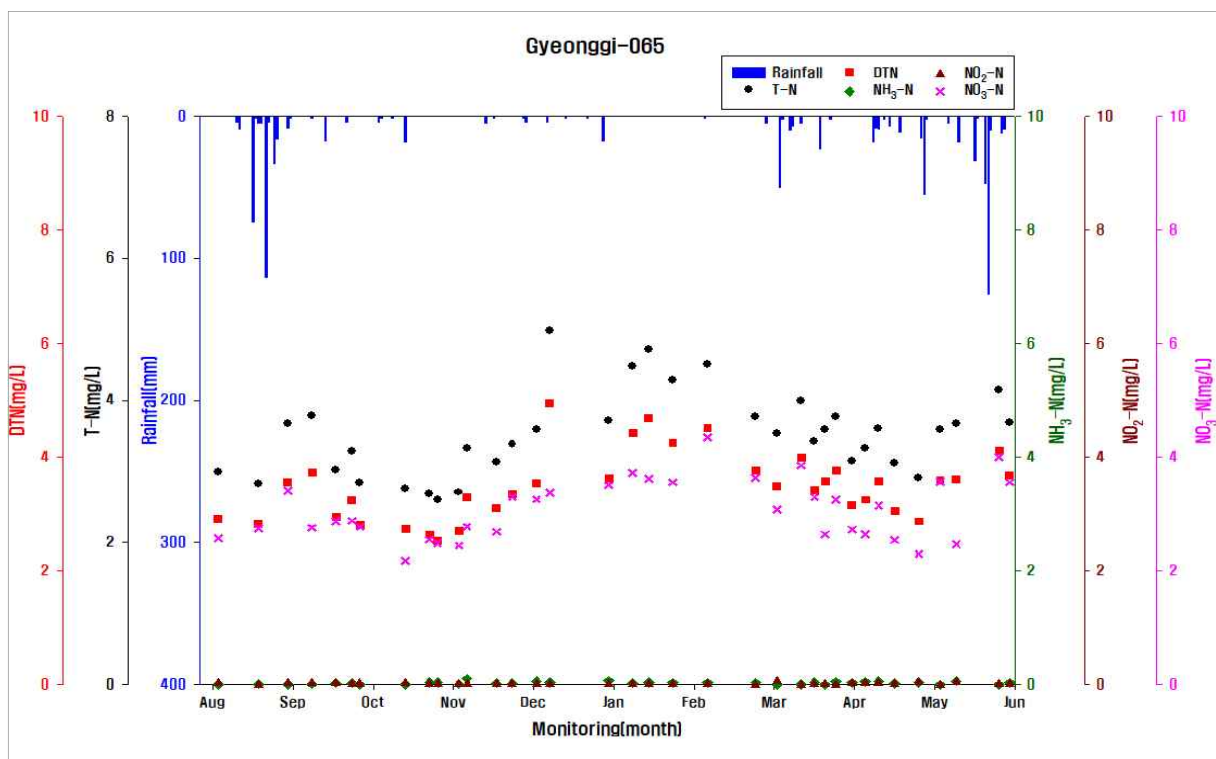


그림 5-78. 경기-065 (내구운교) 지점의 T-N 계열 결과

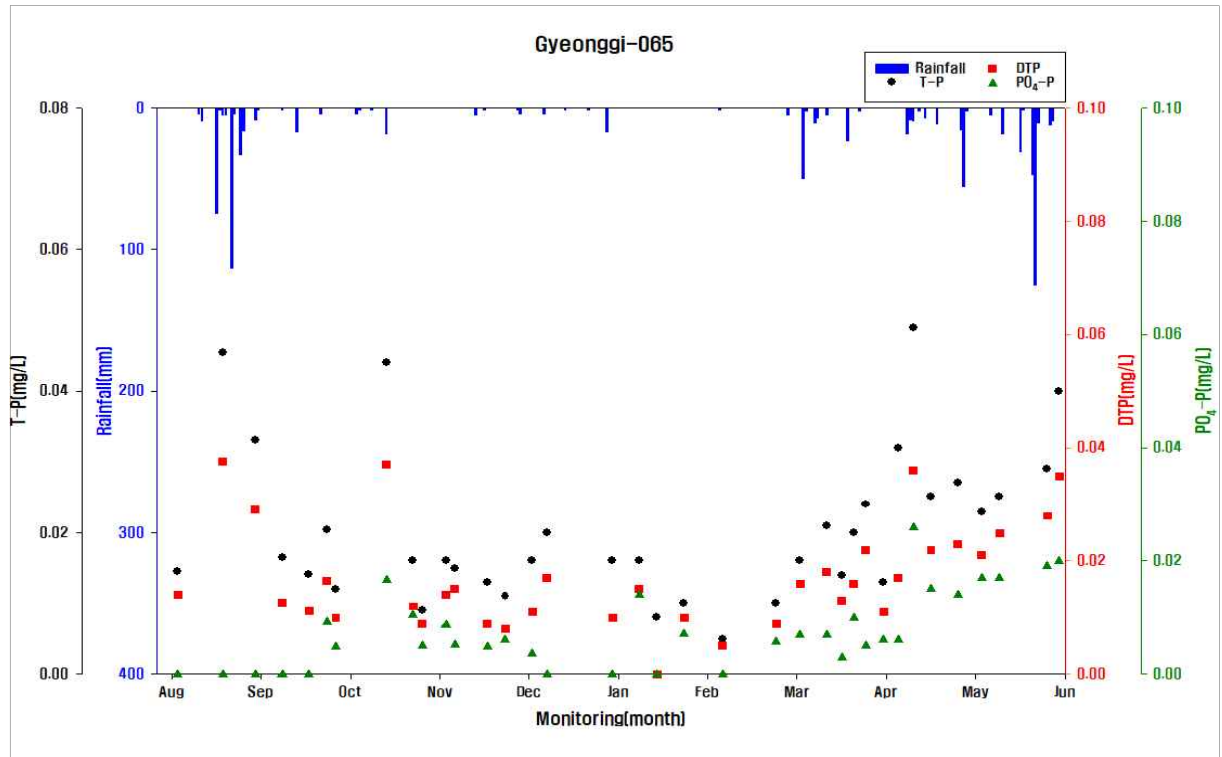


그림 5-79. 경기-065 (내구운교) 지점의 T-P 계열 결과

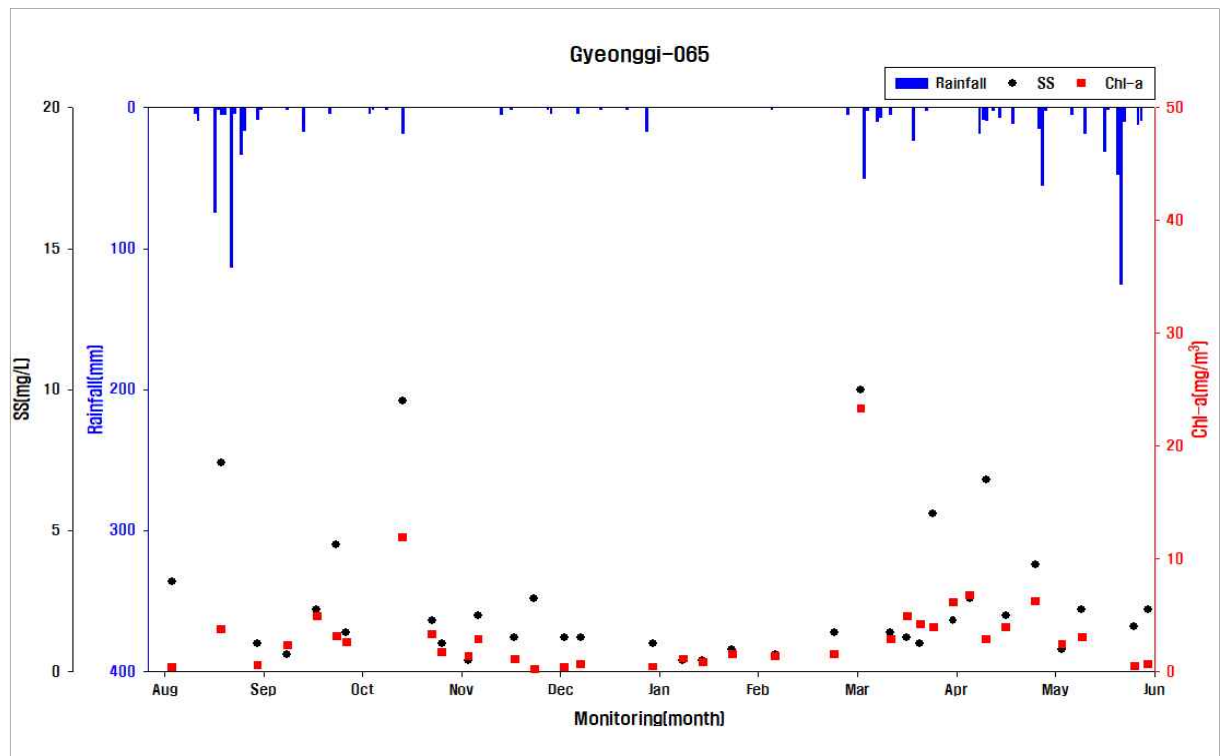


그림 5-80. 경기-065 (내구운교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 한강F(북한강수계) 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

북한강 수계 한강(북한강수계) 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-81>~<그림 5-82>에 나타내었다. 한강(북한강수계) 단위유역은 본류인 한강을 중심으로 구운천, 묵현천, 벽계천-1, 월산천, 진중천, 시우천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 한강(북한강수계) 단위유역의 12개 측정지점(내구운교, 제1금남교, 수엽교, 제2금남교, 진중교, 송촌교)의 BOD는 각각 0.8 mg/L, 2.5 mg/L, 0.8 mg/L, 1.9 mg/L, 0.8 mg/L, 0.5 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.021 mg/L, 0.051 mg/L, 0.013 mg/L, 0.197 mg/L, 0.013 mg/L, 0.024 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 6지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 4지점(66.6%), 좋음(Ib) 1지점(16.7%), 약간좋음(II) 1지점(16.7%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(묵현천)으로 확인되었다. T-P는 매우좋음(Ia) 2지점(33.3%), 좋음(Ib) 2지점(33.3%), 약간좋음(II) 1지점(16.7%), 보통(III) 1지점(16.7%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(묵현천), 오염우심하천 1지점(월산천)으로 확인되었다.

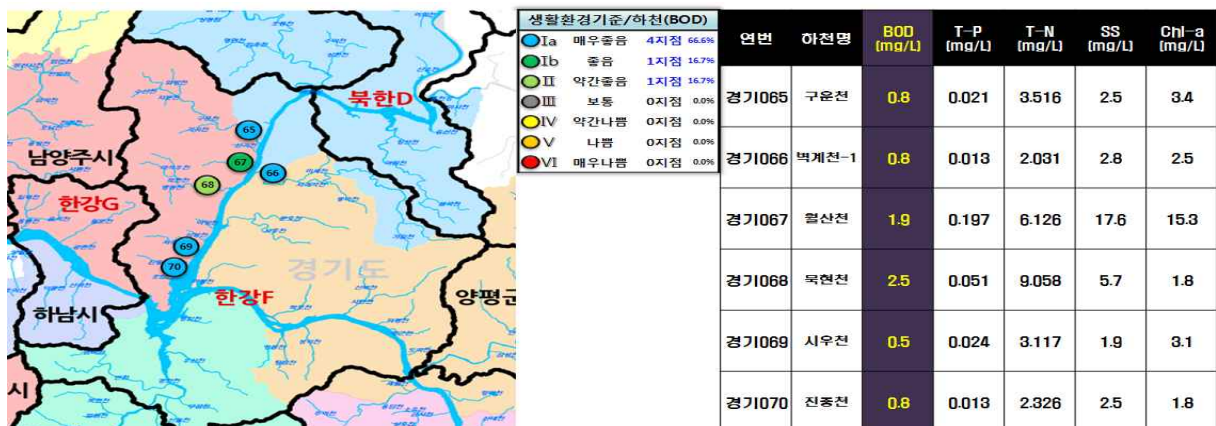


그림 5-81. 한강(북한강수계) 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

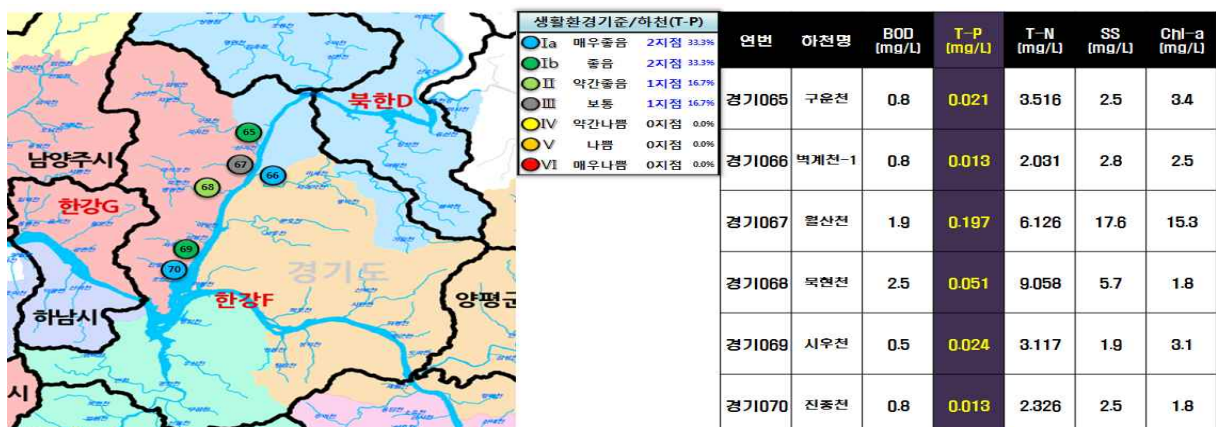


그림 5-82. 한강(북한강수계) 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 한강F(북한강수계) 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

한강F(북한강수계) 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-23>에 나타내었다.

한강F(북한강수계) 단위유역은 본류인 한강을 중심으로 구운천, 벽계천, 월산천, 묵현천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-한강F가 있다. 한강F 단위유역의 12개 측정지점(내구운교, 수입교, 제2금남교, 제1금남교, 송촌교, 진중교)의 BOD는 각각 0.8 mg/L, 0.8 mg/L, 1.9 mg/L, 2.5 mg/L, 0.5 mg/L, 0.8 mg/L로 수질총량측정망 자료인 1.0 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.021 mg/L, 0.013 mg/L, 0.197 mg/L, 0.051 mg/L, 0.024 mg/L, 0.013 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.039 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 1.11 m³/s, 1.10 m³/s, 0.19 m³/s, 0.81 m³/s, 0.15 m³/s, 0.07 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 348.80 m³/s로 측정되었다. 한강F(북한강수계) 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-23. 한강F(북한강수계) 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-065. 내구운교	0.8	0.021	1.11
경기-066. 수입교	0.8	0.013	1.10
경기-067. 제2금남교	1.9	0.197	0.19
경기-068. 제1금남교	2.5	0.051	0.81
경기-069. 송촌교	0.5	0.024	0.15
경기-070. 진중교	0.8	0.013	0.07
총량측정망 - 한강F	1.0	0.039	348.80

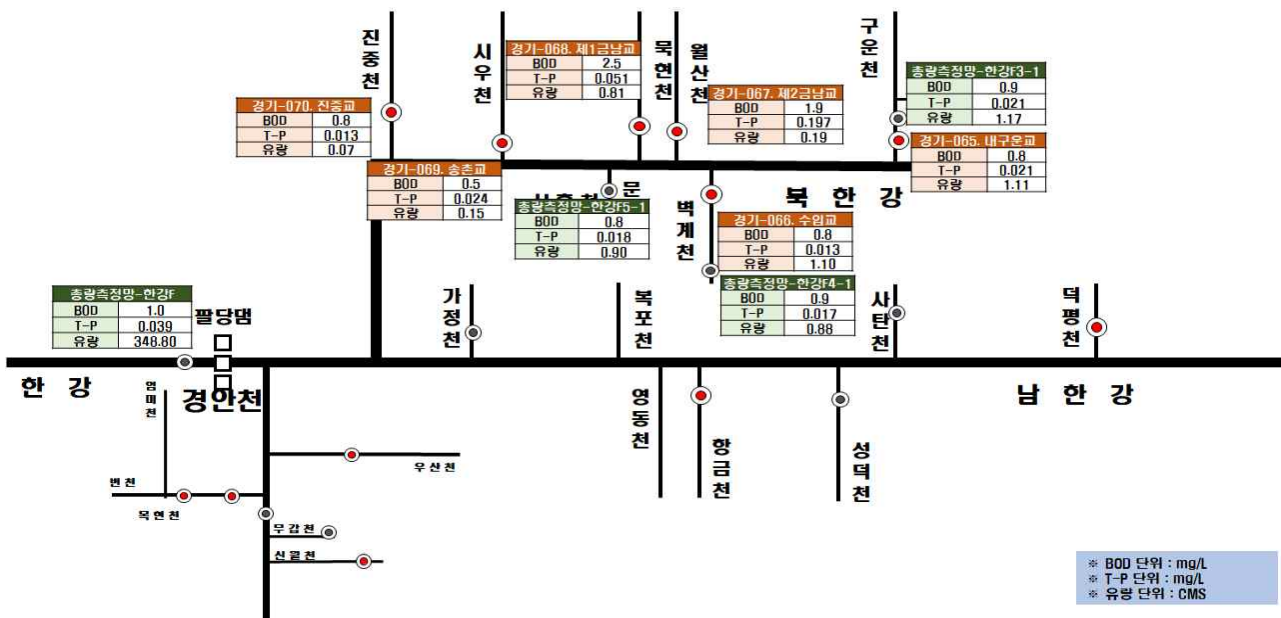


그림 5-83. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한강F(북한강수계))

(5) 한강F(북한강수계) 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-065 내구운교

경기-065(내구운교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-84>에 나타내었다.

경기-065(내구운교) 지점에서는 3회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 1.11 m³/s였던 유량이 6.10 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 52.7 kg/day, COD 부하량은 1,739.2 kg/day, SS 부하량은 527.0 kg/day, T-N 부하량은 1,932.7 kg/day, T-P 부하량은 17.4 kg/day로 나타났다.

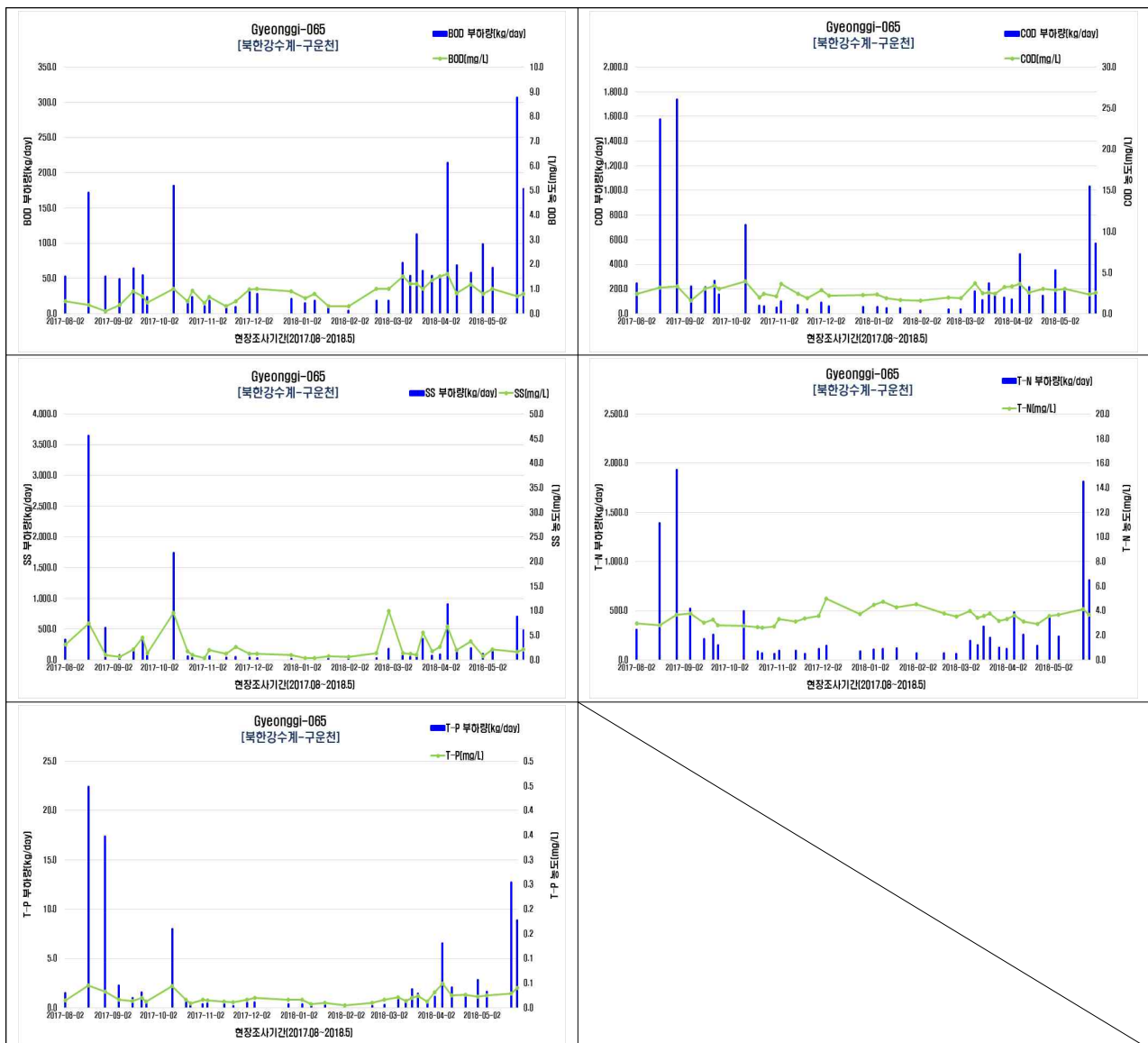


그림 5-84. 경기-065(내구운교) 지점의 오염부하량 산정결과

제4절 한강서울·고양 수계

1. 한강서울·고양 수계의 지천별 수질분석 결과

본 연구결과(2단계)를 토대로 한강서울·고양 수계의 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 창릉천, 굴포천, 공릉천, 한강서울 지천을 대상으로 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질 항목별 평균값을 비교분석하였다.

왕숙천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.86 m³/s(0.00~12.67 m³/s), 수온이 13.4℃(0.0~32.5℃), pH가 8.00(7.12~11.09), DO가 11.01 mg/L(3.86~18.62 mg/L), 전기전도도가 456.4 μs/cm(160.0~1,180.0 μs/cm), BOD가 3.5 mg/L(0.1~153.4 mg/L), COD가 6.2 mg/L(1.7~143.8 mg/L), TOC가 3.5 mg/L(0.7~91.0 mg/L), SS가 22.4 mg/L(0.2~3,000.0 mg/L), T-N이 5.657 mg/L(1.512~34.210 mg/L), DTN이 5.489 mg/L(1.507~30.920 mg/L), NH₃-N 0.616 mg/L(0.000~22.100 mg/L), NO₂-N이 0.108 mg/L(0.000~1.042 mg/L), NO₃-N이 4.129 mg/L(0.143~14.240 mg/L), T-P가 0.116 mg/L(0.009~3.300 mg/L), DTP 0.103 mg/L(0.006~2.870 mg/L), PO₄-P가 0.056 mg/L(0.000~1.549 mg/L), Chl-a가 8.3 mg/m³(0.0~173.7 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 0.86 m³/s로 중간값인 0.10 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이며, NH₃-N 또한 평균값이 0.616 mg/L로 중간값인 0.069 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-24. 왕숙천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.86	13.4	8.00	11.01	456.4	3.5	6.2	3.5	22.4
최소값	0.00	0.0	7.12	3.86	160.0	0.1	1.7	0.7	0.2
최대값	12.67	32.5	11.09	18.62	1180.0	153.4	143.8	91.0	3,000.0
표준편차	1.71	7.9	0.48	2.42	162.1	11.6	9.9	6.8	174.3
95%ile	3.86	25.5	8.86	14.69	734.5	9.3	12.6	6.7	51.1
75%ile	1.08	19.9	8.20	12.73	569.0	2.4	6.2	3.4	8.7
중간값 (median)	0.10	14.3	7.93	11.02	443.0	1.5	4.4	2.2	4.0
25%ile	0.05	6.8	7.71	9.59	318.2	1.0	3.3	1.6	2.2
5%ile	0.01	1.1	7.39	7.12	241.1	0.4	2.1	1.1	0.8
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	5.657	5.489	0.616	0.108	4.129	0.116	0.103	0.056	8.3
최소값	1.512	1.507	0.000	0.000	0.143	0.009	0.006	0.000	0.0
최대값	34.210	30.920	22.100	1.042	14.240	3.300	2.870	1.549	173.7
표준편차	3.730	3.484	2.089	0.164	2.243	0.288	0.250	0.149	13.0
95%ile	13.225	12.714	2.294	0.453	9.238	0.416	0.372	0.199	27.5
75%ile	6.685	6.519	0.268	0.128	4.935	0.087	0.077	0.049	11.1
중간값 (median)	4.332	4.204	0.069	0.034	3.475	0.047	0.044	0.021	4.4
25%ile	3.458	3.428	0.030	0.009	2.709	0.027	0.023	0.009	2.1
5%ile	2.140	2.114	0.000	0.000	1.665	0.016	0.013	0.000	0.5

탄천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.68 m³/s(0.01~14.58 m³/s), 수온이 15.2℃(0.7~28.6℃), pH가 7.89(6.50~9.29), DO가 10.30 mg/L(4.36~15.50 mg/L), 전기전도도가 470.0 μs/cm(173.0~1,018.0 μs/cm), BOD가 2.1 mg/L(0.4~11.8 mg/L), COD가 5.5 mg/L(2.0~21.8 mg/L), TOC가 3.5 mg/L(0.9~13.8 mg/L), SS가 9.6 mg/L(0.3~577.0 mg/L), T-N이 3.653 mg/L(0.216~13.010 mg/L), DTN이 3.504 mg/L(0.200~12.627 mg/L), NH₃-N 0.266 mg/L(0.000~3.992 mg/L), NO₂-N이 0.107 mg/L(0.004~0.470 mg/L), NO₃-N이 2.724 mg/L(0.660~9.841 mg/L), T-P가 0.088 mg/L(0.000~1.411 mg/L), DTP 0.077 mg/L(0.000~1.375 mg/L), PO₄-P가 0.052 mg/L(0.000~1.320 mg/L), Chl-a가 6.0 mg/m³(0.1~42.5 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 NH₃-N의 평균값이 0.266 mg/L로 중간값인 0.083 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-25. 탄천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.68	15.2	7.89	10.30	470.0	2.1	5.5	3.5	9.6
최소값	0.01	0.7	6.50	4.36	173.0	0.4	2.0	0.9	0.3
최대값	14.58	28.6	9.29	15.50	1,018.0	11.8	21.8	13.8	577.0
표준편차	1.30	6.9	0.48	2.30	107.1	1.7	2.5	1.5	42.9
95%ile	2.87	25.4	8.63	13.82	639.2	5.4	9.3	5.9	23.3
75%ile	0.62	20.9	8.22	12.07	528.3	2.6	6.8	4.4	5.0
중간값 (median)	0.28	16.2	7.89	10.42	470.5	1.6	5.1	3.3	2.8
25%ile	0.05	10.3	7.60	8.58	407.5	1.0	3.8	2.4	1.6
5%ile	0.02	2.9	7.09	6.55	270.2	0.6	2.8	1.3	0.5
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	3.653	3.504	0.266	0.107	2.724	0.088	0.077	0.052	6.0
최소값	0.216	0.200	0.000	0.004	0.660	0.000	0.000	0.000	0.1
최대값	13.010	12.627	3.992	0.470	9.841	1.411	1.375	1.320	42.5
표준편차	1.659	1.599	0.542	0.103	1.196	0.115	0.108	0.095	6.1
95%ile	6.720	6.506	1.165	0.332	4.595	0.250	0.205	0.140	16.7
75%ile	4.338	4.239	0.235	0.155	3.308	0.105	0.086	0.062	7.8
중간값 (median)	3.226	3.151	0.083	0.066	2.600	0.058	0.049	0.031	3.9
25%ile	2.594	2.465	0.039	0.032	1.928	0.038	0.031	0.015	2.3
5%ile	1.661	1.559	0.012	0.012	1.100	0.020	0.014	0.003	1.1

중랑천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.36 m³/s(0.17~1.37 m³/s), 수온이 14.1℃(0.3~26.9℃), pH가 7.40(6.44~7.90), DO가 9.91 mg/L(4.55~14.15 mg/L), 전기전도도가 471.2 μs/cm(231.0~911.0 μs/cm), BOD가 2.5 mg/L(0.7~4.6 mg/L), COD가 6.0 mg/L(3.0~10.4 mg/L), TOC가 3.4 mg/L(1.5~6.0 mg/L), SS가 4.6 mg/L(0.4~20.4 mg/L), T-N이 6.062 mg/L(0.964~15.022 mg/L), DTN이 5.852 mg/L(1.062~14.945 mg/L), NH₃-N 0.168 mg/L(0.000~1.628 mg/L), NO₂-N이 0.310 mg/L(0.066~1.406 mg/L), NO₃-N이 4.918 mg/L(0.721~10.617 mg/L), T-P가 0.172 mg/L(0.032~0.339 mg/L), DTP 0.156 mg/L(0.032~0.324 mg/L), PO₄-P가 0.100 mg/L(0.005~0.255 mg/L), Chl-a가 7.0 mg/m³(0.7~32.6 mg/m³)로 나타났다.

표 5-26. 중랑천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.36	14.1	7.40	9.91	471.2	2.5	6.0	3.4	4.6
최소값	0.17	0.3	6.44	4.55	231.0	0.7	3.0	1.5	0.4
최대값	1.37	26.9	7.90	14.15	911.0	4.6	10.4	6.0	20.4
표준편차	0.21	6.4	0.39	2.38	106.0	0.9	1.9	1.2	3.5
95%ile	0.77	24.9	7.85	13.55	598.5	4.2	9.8	5.7	10.8
75%ile	0.37	19.3	7.71	11.67	543.8	3.1	7.9	4.4	5.8
중간값 (median)	0.30	14.4	7.51	10.63	484.0	2.4	5.4	3.0	4.0
25%ile	0.26	9.4	7.23	7.77	402.0	1.8	4.4	2.3	2.0
5%ile	0.18	2.3	6.60	5.82	275.2	1.1	3.2	2.0	0.8
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	6.062	5.852	0.168	0.310	4.918	0.172	0.156	0.100	7.0
최소값	0.964	1.062	0.000	0.066	0.721	0.032	0.032	0.005	0.7
최대값	15.022	14.945	1.628	1.406	10.617	0.339	0.324	0.255	32.6
표준편차	3.287	3.196	0.303	0.299	2.866	0.081	0.076	0.057	6.1
95%ile	11.869	11.430	1.116	1.196	9.736	0.311	0.292	0.195	18.4
75%ile	9.070	8.972	0.137	0.346	8.083	0.241	0.214	0.139	11.7
중간값 (median)	4.879	4.573	0.070	0.202	3.613	0.166	0.148	0.096	4.5
25%ile	3.513	3.163	0.041	0.142	2.432	0.103	0.096	0.054	2.1
5%ile	1.780	1.960	0.017	0.087	1.292	0.052	0.040	0.014	1.0

안양천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.30 m³/s(0.00~1.68 m³/s), 수온이 14.5℃(0.6~29.7℃), pH가 7.86(6.55~8.76), DO가 10.33 mg/L(4.14~16.93 mg/L), 전기전도도가 575.2 μs/cm(7.0~1,142.0 μs/cm), BOD가 2.8 mg/L(0.9~6.5 mg/L), COD가 6.9 mg/L(3.2~12.8 mg/L), TOC가 3.6 mg/L(1.2~11.1 mg/L), SS가 7.8 mg/L(0.3~82.0 mg/L), T-N이 6.343 mg/L(1.374~19.200 mg/L), DTN이 6.017 mg/L(1.321~18.720 mg/L), NH₃-N 0.723 mg/L(0.000~6.591 mg/L), NO₂-N이 0.333 mg/L(0.030~0.976 mg/L), NO₃-N이 4.606 mg/L(0.762~10.407 mg/L), T-P가 0.181 mg/L(0.032~1.055 mg/L), DTP 0.169 mg/L(0.029~2.140 mg/L), PO₄-P가 0.075 mg/L(0.000~0.386 mg/L), Chl-a가 10.2 mg/m³(0.2~129.4 mg/m³)로 나타났다.

표 5-27. 안양천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.30	14.5	7.86	10.33	575.2	2.8	6.9	3.6	7.8
최소값	0.00	0.6	6.55	4.14	7.0	0.9	3.2	1.2	0.3
최대값	1.68	29.7	8.76	16.93	1,142.0	6.5	12.8	11.1	82.0
표준편차	0.32	7.2	0.27	2.87	219.0	1.3	2.0	1.5	8.7
95%ile	0.87	26.2	8.22	15.18	932.0	5.1	10.1	6.1	18.5
75%ile	0.45	21.1	8.01	12.50	734.5	3.8	8.2	4.4	10.6
중간값 (median)	0.21	13.9	7.86	10.34	572.0	2.8	7.0	3.4	6.0
25%ile	0.02	9.0	7.75	8.46	399.5	1.8	5.2	2.4	3.3
5%ile	0.01	2.9	7.43	4.92	214.0	1.1	3.8	1.8	1.4
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	6.343	6.017	0.723	0.333	4.606	0.181	0.169	0.075	10.2
최소값	1.374	1.321	0.000	0.030	0.762	0.032	0.029	0.000	0.2
최대값	19.200	18.720	6.591	0.976	10.407	1.055	2.140	0.386	129.4
표준편차	3.585	3.485	1.088	0.193	2.445	0.154	0.219	0.068	17.0
95%ile	14.114	13.316	3.160	0.671	9.834	0.365	0.375	0.203	32.7
75%ile	7.992	7.756	0.840	0.457	6.159	0.251	0.240	0.108	12.7
중간값 (median)	5.594	5.367	0.376	0.311	4.263	0.134	0.106	0.052	5.4
25%ile	3.343	3.112	0.089	0.194	2.547	0.082	0.067	0.025	2.1
5%ile	2.136	1.955	0.020	0.069	1.270	0.045	0.040	0.005	0.4

창릉천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.17\sim 3.52 \text{ m}^3/\text{s}$), 수온이 13.1°C ($0.8\sim 28.3^\circ\text{C}$), pH가 7.62($6.72\sim 8.11$), DO가 10.48 mg/L ($5.01\sim 16.49 \text{ mg/L}$), 전기전도도가 $526.4 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ($247.0\sim 770.0 \text{ }\mu\text{S/cm}$), BOD가 2.4 mg/L ($1.1\sim 4.8 \text{ mg/L}$), COD가 6.1 mg/L ($3.0\sim 10.4 \text{ mg/L}$), TOC가 3.3 mg/L ($2.1\sim 5.1 \text{ mg/L}$), SS가 9.8 mg/L ($1.0\sim 39.3 \text{ mg/L}$), T-N이 4.910 mg/L ($1.644\sim 11.097 \text{ mg/L}$), DTN이 4.641 mg/L ($1.644\sim 11.040 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.339 mg/L ($0.027\sim 1.124 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 0.302 mg/L ($0.036\sim 0.628 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 3.718 mg/L ($1.116\sim 9.862 \text{ mg/L}$), T-P가 0.165 mg/L ($0.050\sim 0.584 \text{ mg/L}$), DTP 0.148 mg/L ($0.048\sim 0.555 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 0.072 mg/L ($0.017\sim 0.536 \text{ mg/L}$), Chl-a가 6.3 mg/m^3 ($0.4\sim 26.4 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다.

표 5-28. 창릉천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m^3/s)	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.69	13.1	7.62	10.48	526.4	2.4	6.1	3.3	9.8
최소값	0.17	0.8	6.72	5.01	247.0	1.1	3.0	2.1	1.0
최대값	3.52	28.3	8.11	16.49	770.0	4.8	10.4	5.1	39.3
표준편차	0.62	7.0	0.27	2.57	137.5	0.8	1.2	0.7	7.6
95%ile	1.83	24.2	7.98	14.74	729.8	4.0	8.3	4.7	28.5
75%ile	0.89	18.8	7.84	12.42	648.5	2.8	7.0	3.6	13.0
중간값 (median)	0.46	13.0	7.63	10.85	538.5	2.4	6.0	3.3	7.1
25%ile	0.30	7.4	7.44	8.15	446.3	1.9	5.3	2.9	4.7
5%ile	0.23	2.5	7.13	6.44	268.3	1.3	4.0	2.3	2.1
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	Chl-a (mg/m^3)
평균값	4.910	4.641	0.339	0.302	3.718	0.165	0.148	0.072	6.3
최소값	1.644	1.644	0.027	0.036	1.116	0.050	0.048	0.017	0.4
최대값	11.097	11.040	1.124	0.628	9.862	0.584	0.555	0.536	26.4
표준편차	2.077	1.972	0.271	0.131	1.836	0.078	0.071	0.068	5.7
95%ile	10.376	9.639	1.065	0.571	8.521	0.282	0.269	0.173	19.2
75%ile	5.686	5.218	0.445	0.362	4.040	0.200	0.174	0.081	10.0
중간값 (median)	4.603	4.373	0.268	0.301	3.473	0.150	0.137	0.052	4.0
25%ile	3.521	3.406	0.144	0.224	2.608	0.117	0.107	0.040	2.0
5%ile	2.140	1.961	0.033	0.074	1.428	0.059	0.057	0.026	1.1

굴포천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 5.60 m³/s(0.16~12.63 m³/s), 수온이 17.4℃(8.0~25.9℃), pH가 7.4726(6.48~7.90), DO가 7.31 mg/L(0.75~10.00 mg/L), 전기전도도가 562.6 μs/cm(272.0~713.0 μs/cm), BOD가 3.0 mg/L(1.1~28.9 mg/L), COD가 7.5 mg/L(5.0~9.9 mg/L), TOC가 5.4 mg/L(3.8~19.2 mg/L), SS가 8.0 mg/L(2.6~24.0 mg/L), T-N이 10.640 mg/L(4.873~15.359 mg/L), DTN이 10.404 mg/L(4.188~15.332 mg/L), NH₃-N 0.597 mg/L(0.037~2.270 mg/L), NO₂-N이 0.091 mg/L(0.020~0.780 mg/L), NO₃-N이 8.523 mg/L(1.310~12.600 mg/L), T-P가 0.166 mg/L(0.036~1.034 mg/L), DTP 0.136 mg/L(0.020~0.978 mg/L), PO₄-P가 0.081 mg/L(0.010~0.518 mg/L), Chl-a가 14.5 mg/m³(1.2~58.5 mg/m³)로 나타났다.

표 5-29. 굴포천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	5.60	17.4	7.26	7.31	562.6	3.0	7.5	5.4	8.0
최소값	0.16	8.0	6.48	0.75	272.0	1.1	5.0	3.8	2.6
최대값	12.63	25.9	7.90	10.00	713.0	28.9	9.9	19.2	24.0
표준편차	3.08	5.3	0.36	1.94	81.9	4.5	1.1	2.6	4.7
95%ile	11.69	25.2	7.82	9.88	668.0	8.8	9.7	9.1	20.6
75%ile	7.57	21.8	7.54	8.63	610.0	3.0	8.2	5.4	9.7
중간값 (median)	5.22	17.2	7.27	7.74	589.0	2.0	7.4	4.6	6.2
25%ile	3.44	13.2	7.02	6.40	515.5	1.4	6.7	4.4	4.9
5%ile	0.38	8.1	6.53	2.42	359.3	1.1	5.9	3.9	3.1
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	10.640	10.404	0.597	0.091	8.523	0.166	0.136	0.081	14.5
최소값	4.873	4.188	0.037	0.020	1.310	0.036	0.020	0.010	1.2
최대값	15.359	15.332	2.270	0.780	12.600	1.034	0.978	0.518	58.5
표준편차	2.136	2.318	0.475	0.132	2.115	0.152	0.148	0.082	14.6
95%ile	14.594	14.546	1.577	0.406	11.700	0.373	0.328	0.253	46.9
75%ile	12.239	12.146	0.774	0.081	9.900	0.175	0.141	0.095	21.7
중간값 (median)	10.754	10.496	0.503	0.054	9.100	0.142	0.111	0.068	7.2
25%ile	9.419	8.933	0.247	0.032	7.550	0.120	0.083	0.045	2.4
5%ile	6.805	4.991	0.060	0.020	3.506	0.063	0.046	0.014	1.3

공릉천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.68 m³/s(0.03~6.34 m³/s), 수온이 13.1℃(0.2~29.6℃), pH가 7.62(6.33~9.94), DO가 10.57 mg/L(4.21~19.21 mg/L), 전기전도도가 518.3 μs/cm(265.0~841.0 μs/cm), BOD가 2.8 mg/L(0.7~8.4 mg/L), COD가 7.5 mg/L(1.6~18.2 mg/L), TOC가 3.6 mg/L(1.2~14.3 mg/L), SS가 7.1 mg/L(0.5~24.0 mg/L), T-N이 5.840 mg/L(1.335~16.071 mg/L), DTN이 5.563 mg/L(1.208~15.306 mg/L), NH₃-N 0.729 mg/L(0.013~3.550 mg/L), NO₂-N이 0.311 mg/L(0.061~1.141 mg/L), NO₃-N이 4.144 mg/L(0.846~10.976 mg/L), T-P가 0.307 mg/L(0.025~1.792 mg/L), DTP 0.279 mg/L(0.022~1.165 mg/L), PO₄-P가 0.190 mg/L(0.011~1.165 mg/L), Chl-a가 9.7 mg/m³(0.9~47.8 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 0.68 m³/s로 중간값인 0.16 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이다.

표 5-30. 공릉천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.68	13.1	7.62	10.57	518.3	2.8	7.5	3.6	7.1
최소값	0.03	0.2	6.33	4.21	265.0	0.7	1.6	1.2	0.5
최대값	6.34	29.6	9.94	19.21	841.0	8.4	18.2	14.3	24.0
표준편차	1.08	7.6	0.46	2.84	126.6	1.4	3.4	1.9	5.2
95%ile	2.61	25.0	8.08	15.55	724.9	5.5	14.1	6.7	19.6
75%ile	0.97	18.8	7.88	12.19	614.0	3.8	9.2	4.4	10.0
중간값 (median)	0.16	13.7	7.70	10.72	527.0	2.5	6.8	3.4	6.0
25%ile	0.10	5.9	7.45	8.55	424.0	1.9	5.1	2.3	3.3
5%ile	0.04	1.8	6.57	5.48	295.4	1.0	3.2	1.6	0.9
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	5.840	5.563	0.729	0.311	4.144	0.307	0.279	0.190	9.7
최소값	1.335	1.208	0.013	0.061	0.846	0.025	0.022	0.011	0.9
최대값	16.071	15.306	3.550	1.141	10.976	1.792	1.520	1.165	47.8
표준편차	3.189	3.112	0.884	0.204	2.269	0.307	0.279	0.241	8.4
95%ile	12.725	12.427	3.023	0.759	8.992	0.980	0.975	0.805	25.5
75%ile	7.549	7.207	0.941	0.426	5.667	0.358	0.325	0.183	12.9
중간값 (median)	4.656	4.478	0.322	0.255	3.365	0.193	0.164	0.087	7.7
25%ile	3.564	3.402	0.135	0.159	2.496	0.113	0.103	0.048	3.3
5%ile	2.144	1.926	0.039	0.092	1.258	0.065	0.060	0.028	1.2

한강서울 지천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 0.28 m³/s(0.01~5.46 m³/s), 수온이 14.1℃(0.4~31.6℃), pH가 8.16(6.60~9.45), DO가 11.81 mg/L(5.82~16.45 mg/L), 전기전도도가 407.9 μs/cm(130.0~1,032.0 μs/cm), BOD가 1.6 mg/L(0.2~5.0 mg/L), COD가 4.4 mg/L(1.8~11.0 mg/L), TOC가 2.3 mg/L(0.9~6.0 mg/L), SS가 9.6 mg/L(0.2~616.0 mg/L), T-N이 4.366 mg/L(2.147~10.560 mg/L), DTN이 4.235 mg/L(2.040~10.560 mg/L), NH₃-N 0.118 mg/L(0.000~0.818 mg/L), NO₂-N이 0.077 mg/L(0.000~0.637 mg/L), NO₃-N이 3.595 mg/L(1.136~9.669 mg/L), T-P가 0.092 mg/L(0.018~0.652 mg/L), DTP 0.082 mg/L(0.016~0.614 mg/L), PO₄-P가 0.052 mg/L(0.000~0.185 mg/L), Chl-a가 8.3 mg/m³(0.1~85.5 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 SS의 평균값이 9.6 mg/L로 중간값인 2.8 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 여름철에 강수량이 집중되어 SS의 유입이 크게 증가하였기 때문이다.

표 5-31. 한강서울 지천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.28	14.1	8.16	11.81	407.9	1.6	4.4	2.3	9.6
최소값	0.01	0.4	6.60	5.82	130.0	0.2	1.8	0.9	0.2
최대값	5.46	31.6	9.45	16.45	1,032.0	5.0	11.0	6.0	616.0
표준편차	0.55	7.6	0.50	2.46	111.4	0.8	1.6	1.1	50.8
95%ile	0.84	25.9	9.05	15.31	616.3	3.5	7.8	4.9	23.4
75%ile	0.26	19.9	8.46	13.74	445.0	1.9	5.3	2.9	6.4
중간값 (median)	0.16	14.6	8.10	12.30	405.0	1.5	3.8	1.9	2.8
25%ile	0.12	8.2	7.78	9.87	345.0	1.1	3.4	1.6	1.4
5%ile	0.05	1.1	7.44	7.62	251.7	0.5	2.5	1.1	0.6
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	4.366	4.235	0.118	0.077	3.595	0.092	0.082	0.052	8.3
최소값	2.147	2.040	0.000	0.000	1.136	0.018	0.016	0.000	0.1
최대값	10.560	10.560	0.818	0.637	9.669	0.652	0.614	0.185	85.5
표준편차	1.388	1.360	0.130	0.082	1.327	0.076	0.067	0.037	10.7
95%ile	6.501	6.496	0.371	0.207	5.805	0.213	0.198	0.133	29.1
75%ile	5.184	4.920	0.148	0.112	4.234	0.109	0.100	0.066	9.8
중간값 (median)	4.016	3.980	0.074	0.058	3.250	0.074	0.062	0.040	5.1
25%ile	3.393	3.322	0.029	0.018	2.677	0.048	0.043	0.026	2.3
5%ile	2.848	2.681	0.002	0.000	1.905	0.027	0.025	0.014	0.8

한강서울·고양 수계의 주요 하천을 분석한 결과, 굴포천은 다른 하천과 비교하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질이 높은 농도로 나타났고 탄천은 다른 하천에 비해 오염물질이 낮게 나타났다. 특히, 굴포천은 BOD가 3.0 mg/L, COD가 7.5 mg/L, SS가 5.4 mg/L, T-P가 0.166 mg/L에 비해 탄천은 BOD가 2.1 mg/L, COD가 5.5 mg/L, SS가 9.6 mg/L, T-P가 0.172 mg/L로 큰 폭의 차이가 나타났다. 탄천은 한강 상류에서 유입되고 굴포천과 공릉천은 한강 하류에서 유입되어 한강서울·고양 수계의 수질에 영향을 미치는 것으로 파악된다.

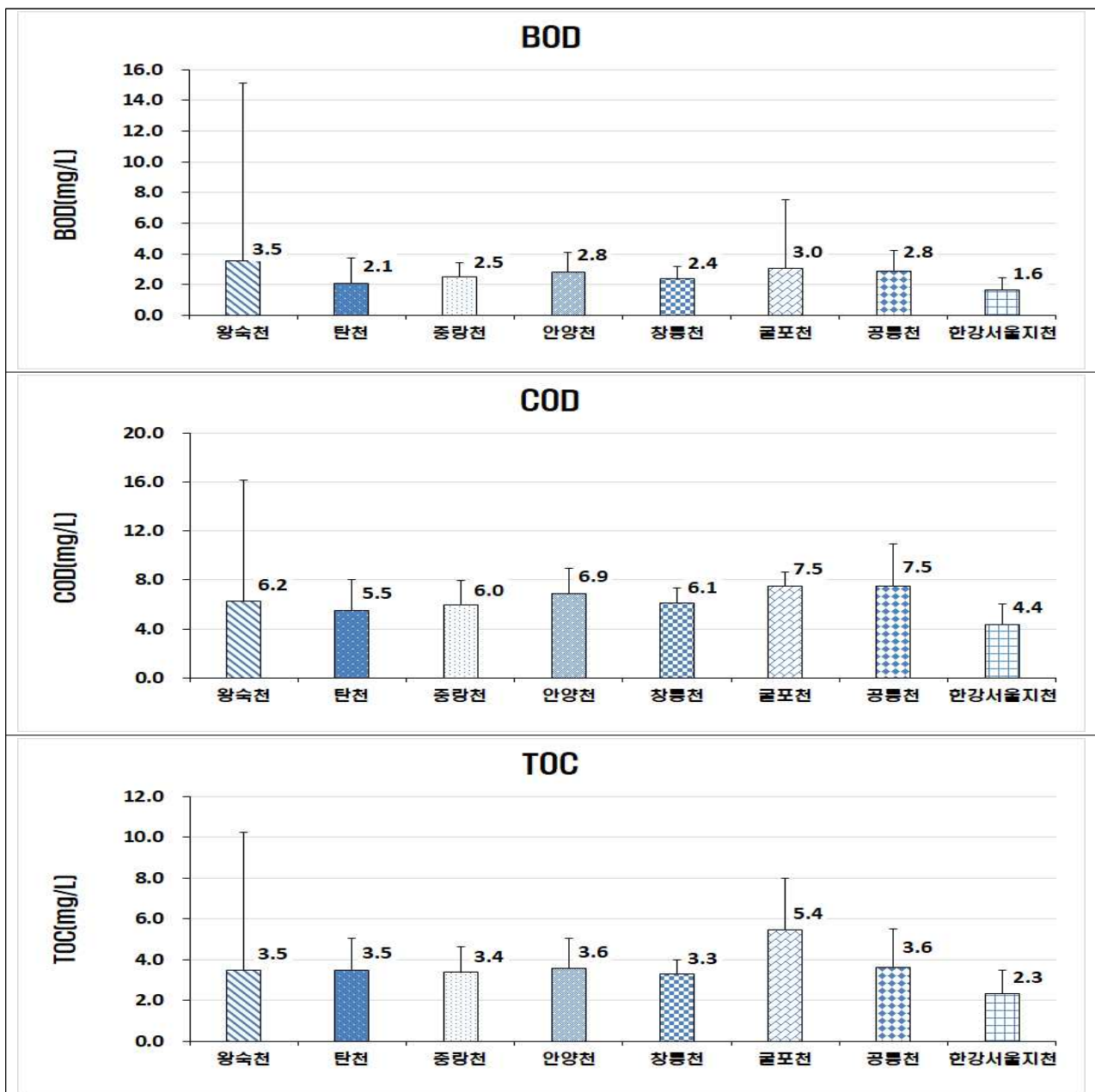


그림 5-85. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC)

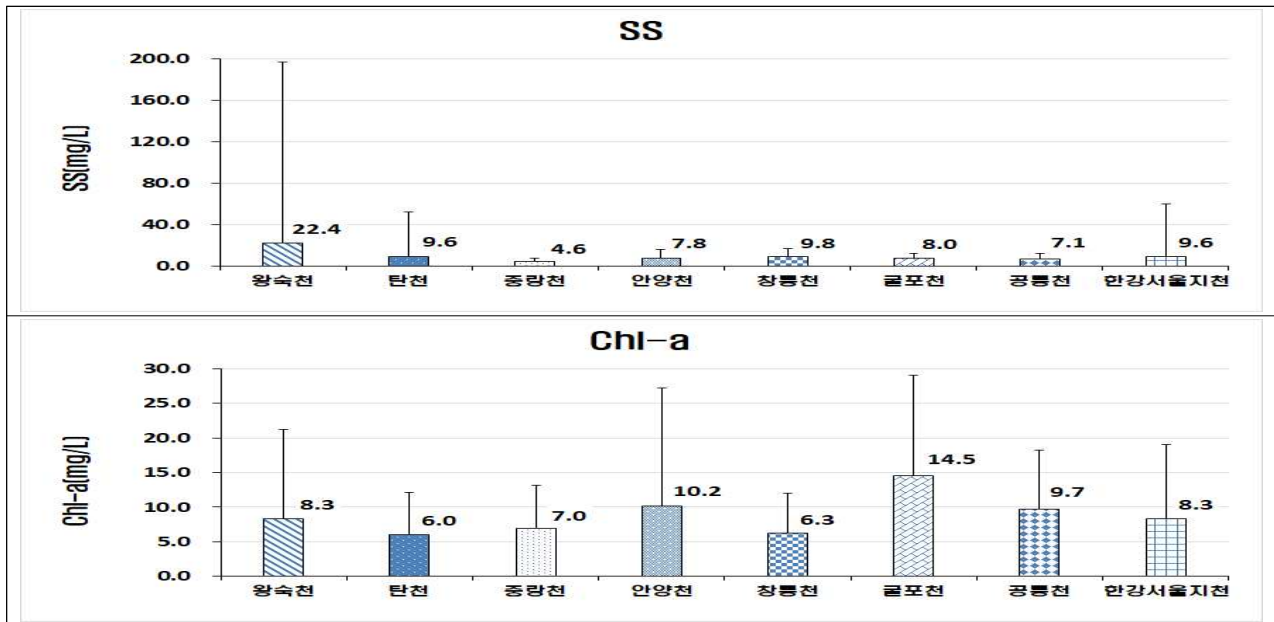


그림 5-86. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(SS, 클로로필-a)

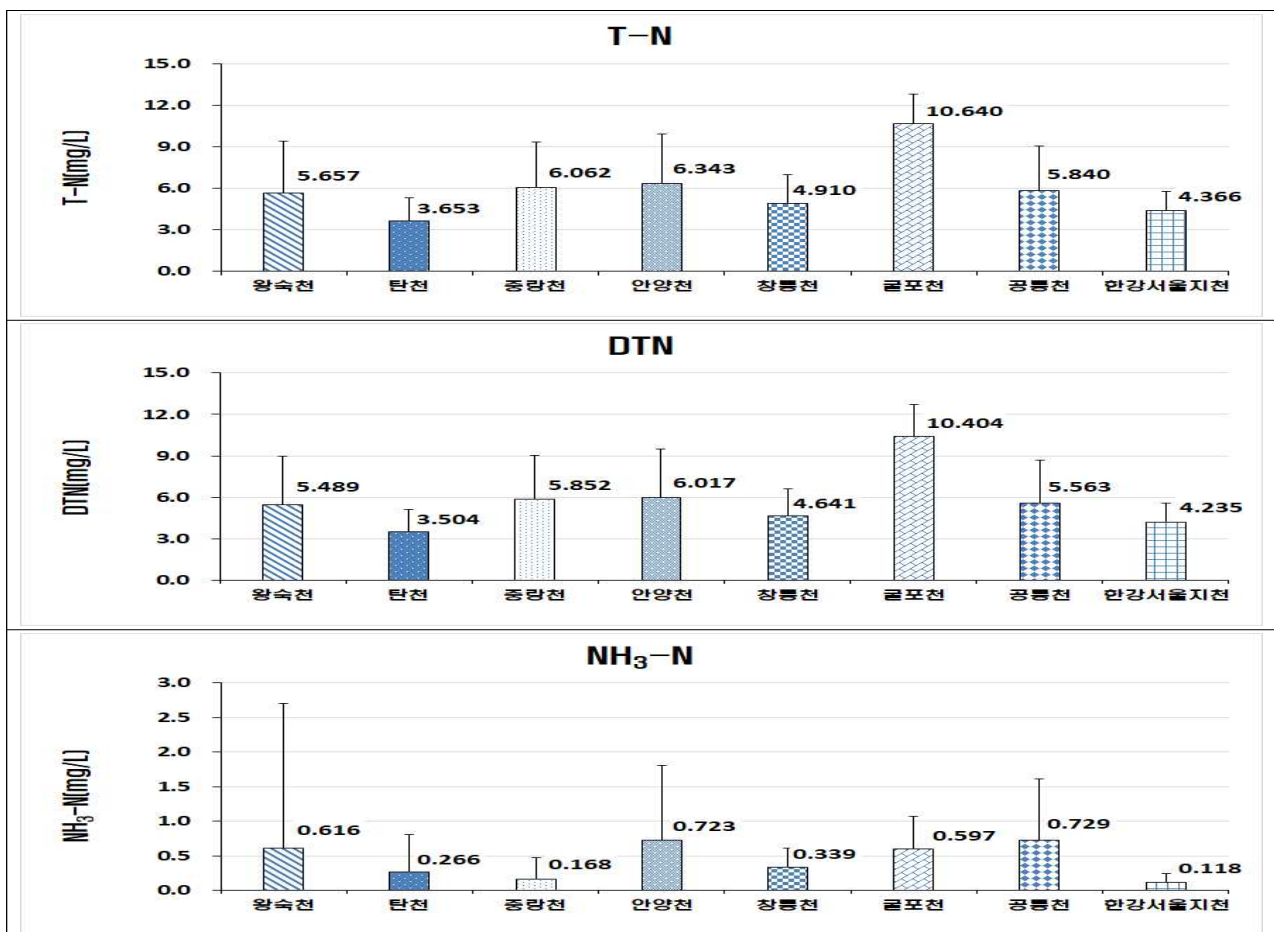
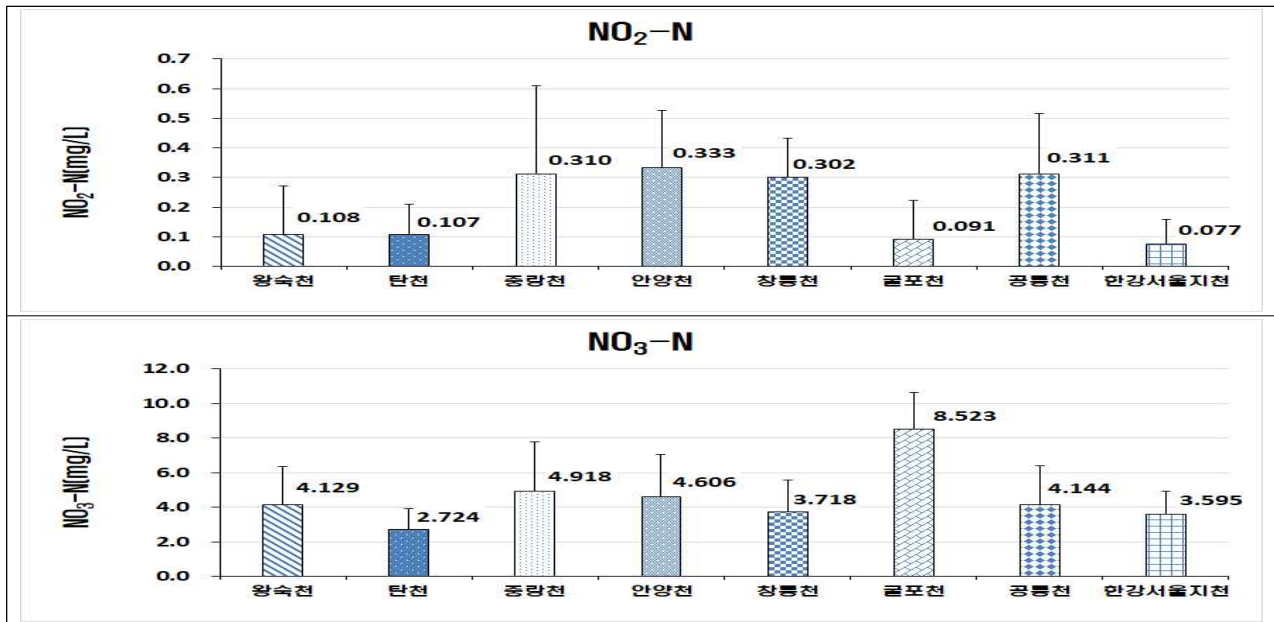
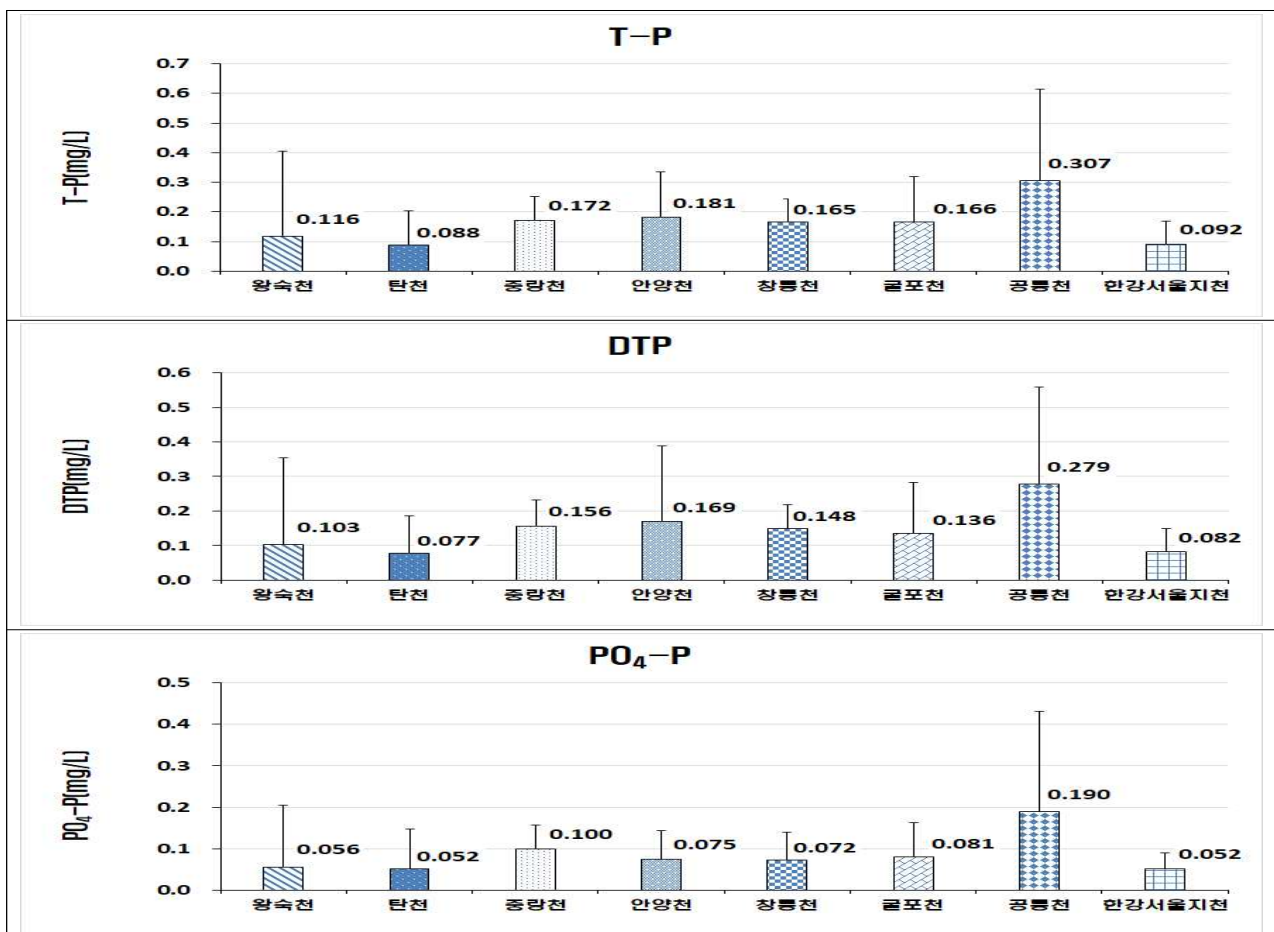


그림 5-87. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(T-N, DTN, NH₃-N)

그림 5-88. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(NO₂-N, NO₃-N)그림 5-89. 한강서울·고양 수계의 주요하천별 평균수질(T-P, DTP, PO₄-P)

2. 수질분석 결과 비교 검토

본 연구의 1단계 연구용역인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강 수계 하천 모니터링」의 분석결과와 본 연구 결과(2단계)를 토대로 한강서울·고양 수계의 수질오염물질 항목별로 비교분석하였다.

한강서울·고양 수계의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 14항목에 대해서 1단계 분석결과와 2단계 분석결과의 항목별 평균값을 비교분석하였다. 1단계 분석결과와 2단계 분석결과 모두 수계 내의 모든 데이터로 산술평균을 취하였다.

1단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 17.2℃, pH가 7.97, DO는 8.4 mg/L, 전기전도도는 396.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 5.3 mg/L, COD는 6.4 mg/L, SS는 27.0 mg/L, 클로로필-a는 15.4 mg/m³, NH₃-N은 1.097 mg/L, NO₂-N은 0.159 mg/L, NO₃-N은 3.069 mg/L, T-N은 5.122 mg/L, PO₄-P는 0.174 mg/L, T-P는 0.223 mg/L로 나타났다.

2단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 14.2℃, pH가 7.85, DO는 10.6 mg/L, 전기전도도는 481.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 2.7 mg/L, COD는 6.1 mg/L, SS는 3.4 mg/L, 클로로필-a는 0.1 mg/m³, NH₃-N은 12.174 mg/L, NO₂-N은 0.473 mg/L, NO₃-N은 0.187 mg/L, T-N은 3.955 mg/L, PO₄-P는 5.265 mg/L, T-P는 0.081 mg/L로 나타났다.

1단계와 2단계 조사를 비교한 결과 DO와 전기전도도, NH₃-N, NO₂-N이 약간 증가하였고 NO₃-N과 PO₄-P는 크게 증가하였다. 반면, BOD와 SS, 클로로필-a가 크게 감소하여 2011년도에 비해 수질이 개선된 것으로 파악된다.

한강서울·고양 수계에 포함된 굴포천의 수질을 개선하기 위해 인천광역시에서는 하수시설 물인 우수토실 27곳의 시설을 개선하고 있다. 또한 부천시에서도 하수도정비와 생태하천 복원 사업, 비점오염저감과 하수재이용(하천유지용수공급) 사업 등 수질개선을 위해 노력하고 있다.

2018년 고양시는 한류천 상류에 조성된 수변공원 개선을 실시하기로 하였다. 한류천은 농로 사이를 흐르는 작은 도랑이었지만, 신도시가 개발되면서 도시에서 나오는 빗물을 한곳으로 모아 한강으로 배출하는 배수로 역할을 담당하였다. 하지만 하천 수위가 한강보다 낮아 자연배수가 안되며 한류천으로 연결된 우수관으로 오폐수가 흘러나오고 있는 것이 수질오염의 주원인이었다. 고양시는 이러한 문제를 해결하기 위해 수변공원 공사를 통해 구조적인 문제를 잡아 수질을 개선하고자 한다.

이러한 노력으로 인해서 한강서울·고양 수계의 수질개선이 되었기 때문에 1단계 모니터링 결과보다 2단계 모니터링 결과에서 더 좋은 수질을 보이고 있는 것으로 보인다. 특히, BOD가 2011년에는 5.3 mg/L에서 2018년에는 2.3 mg/L로 대폭 개선되었고 공공하수처리시설의 시설개선, T-P 기준 강화 등으로 인해서 T-P도 0.223 mg/L에서 0.081 mg/L로 수질이 개선된 것으로 나타났다.

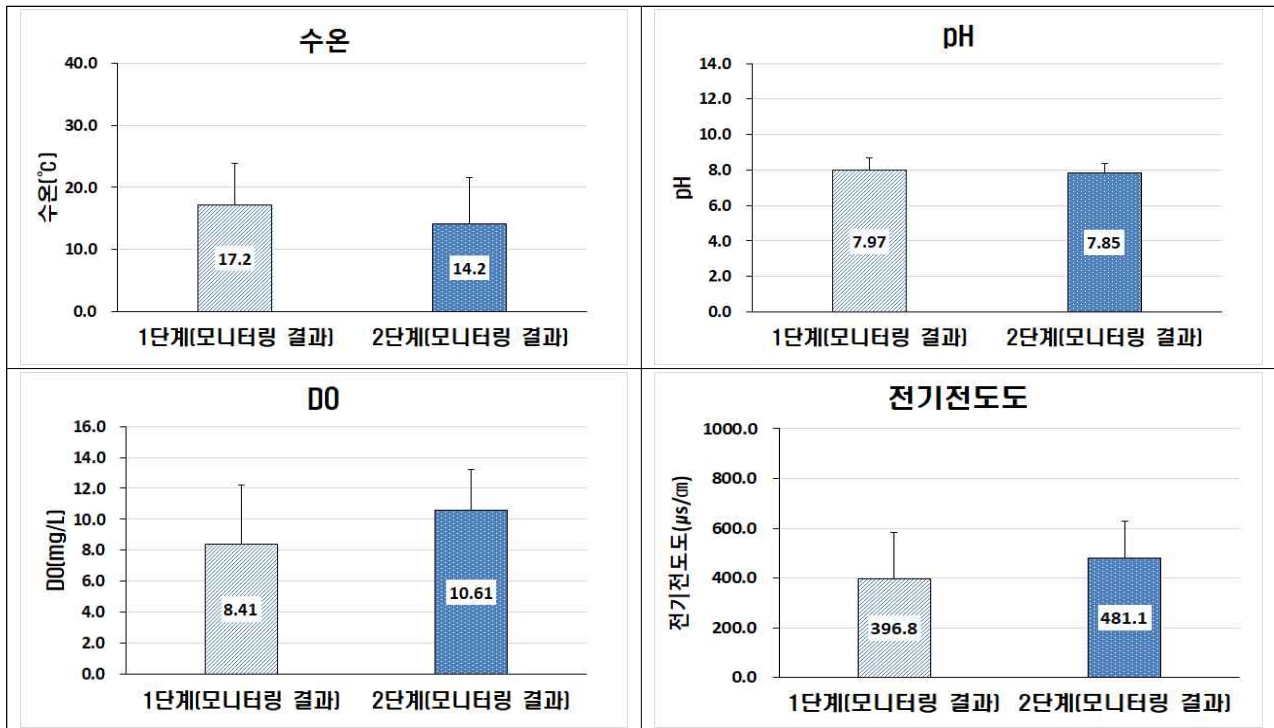


그림 5-90. 한강서울·고양 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과

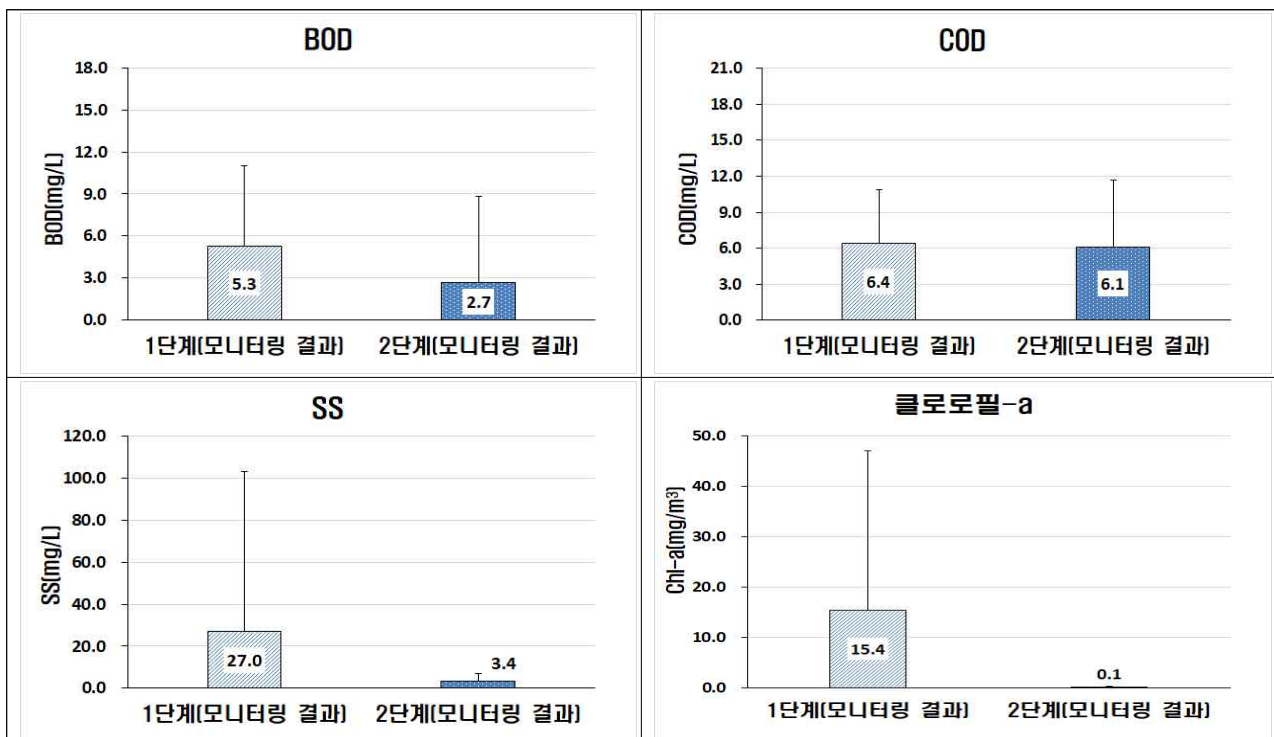


그림 5-91. 한강서울·고양 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과

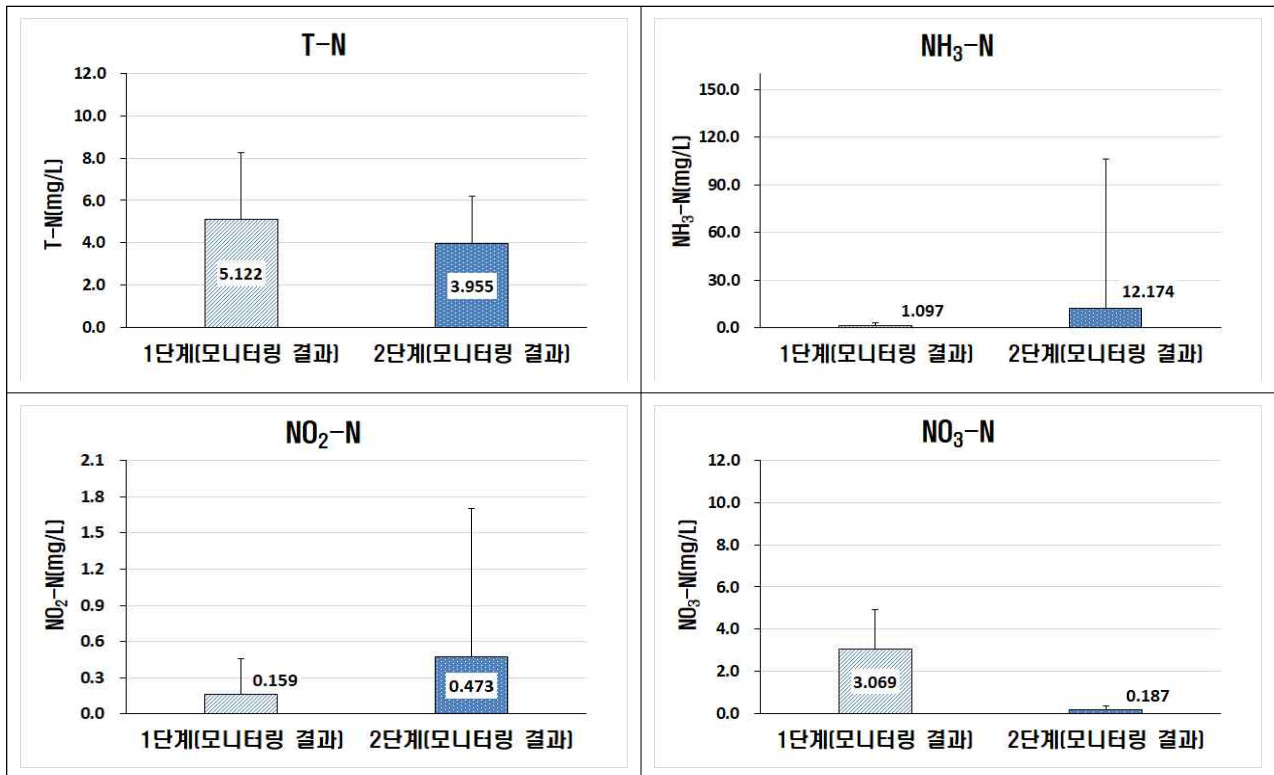


그림 5-92. 한강서울·고양 수계의 T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 분석 결과

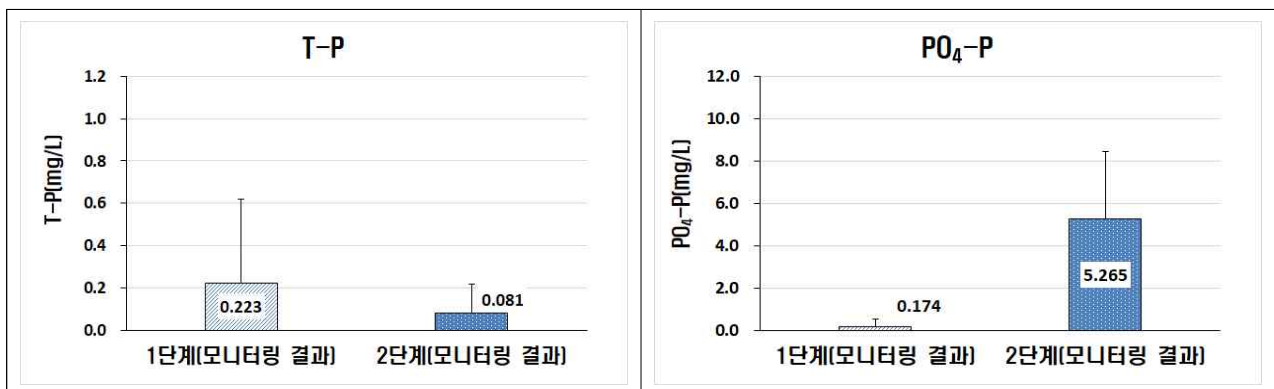


그림 5-93. 한강서울·고양 수계의 T-P, PO₄-P 분석 결과

3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과

1) 왕숙A 단위유역(8개 지점)

(1) 왕숙A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-084 진관교

경기-084 (진관교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-32>에 나타내었다. 경기-084 (진관교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS, BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.5629, 0.4217 로 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다. BOD - TN는 피어슨 상관계수가 -0.2251 로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.2006 로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다.

표 5-32. 경기-084 (진관교) 지점의 상관성분석 결과

한강서울·고양계(경기-084, 진관교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.5629	-0.2251	0.2006	0.4217
결정계수(R ²)	0.3169	0.0507	0.0402	0.1778

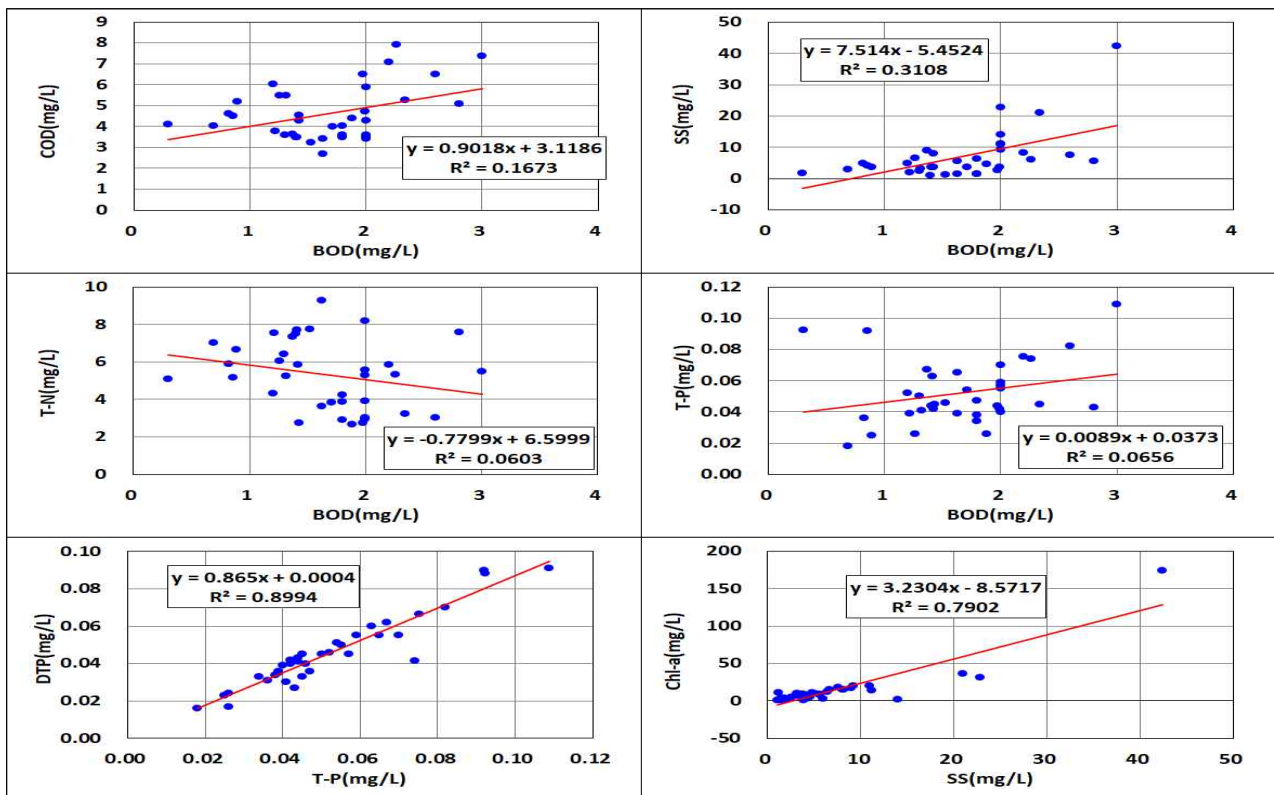


그림 5-94. 경기-084 (진관교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 왕숙A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-084 진관교

경기-084 (진관교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $4.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.01 \sim 3.28 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 6.00% 이하였으며 평균 4.62% ($3.72 \sim 5.89\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 일부를 제외하면 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 7.94% ($5.49 \sim 10.08\%$)로 나타났다. 하상재료가 모래, 자갈 및 바위이며, 수심이 균질한 편이다. 특이사항으로는 하천 옆에 농가와 축산농가가 있으며, 수생식물이 다량 분포해 있었다. 측정 지점은 사릉천 하류부분이며, 왕숙천을 본류로 한다.

경기-084 (진관교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 8.10 ($7.35 \sim 9.75$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.67 mg/L ($7.86 \sim 18.62 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $507.9 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($249.6 \sim 813.6 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-084 (진관교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.6 mg/L ($0.3 \sim 3.0 \text{ mg/L}$), COD는 평균 4.6 mg/L ($2.7 \sim 7.9 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 2.5 mg/L ($1.5 \sim 4.1 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-084 (진관교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 5.244 mg/L ($2.667 \sim 9.295 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 5.191 mg/L ($2.626 \sim 9.295 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.108 mg/L ($0.000 \sim 0.467 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.032 mg/L ($0.000 \sim 0.092 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 4.483 mg/L ($1.626 \sim 8.183 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-084 (진관교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.054 mg/L ($0.018 \sim 0.109 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.047 mg/L ($0.016 \sim 0.091 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.026 mg/L ($0.000 \sim 0.070 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 4회차 조사 시 축산 분뇨 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-084 (진관교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 45.0 mg/L 이하였으며 평균 6.8 mg/L ($1.0 \sim 42.4 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 일부를 제외하면 전체적으로 40.0 mg/m^3 이하였으며 평균 13.3 mg/m^3 ($0.5 \sim 173.7 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

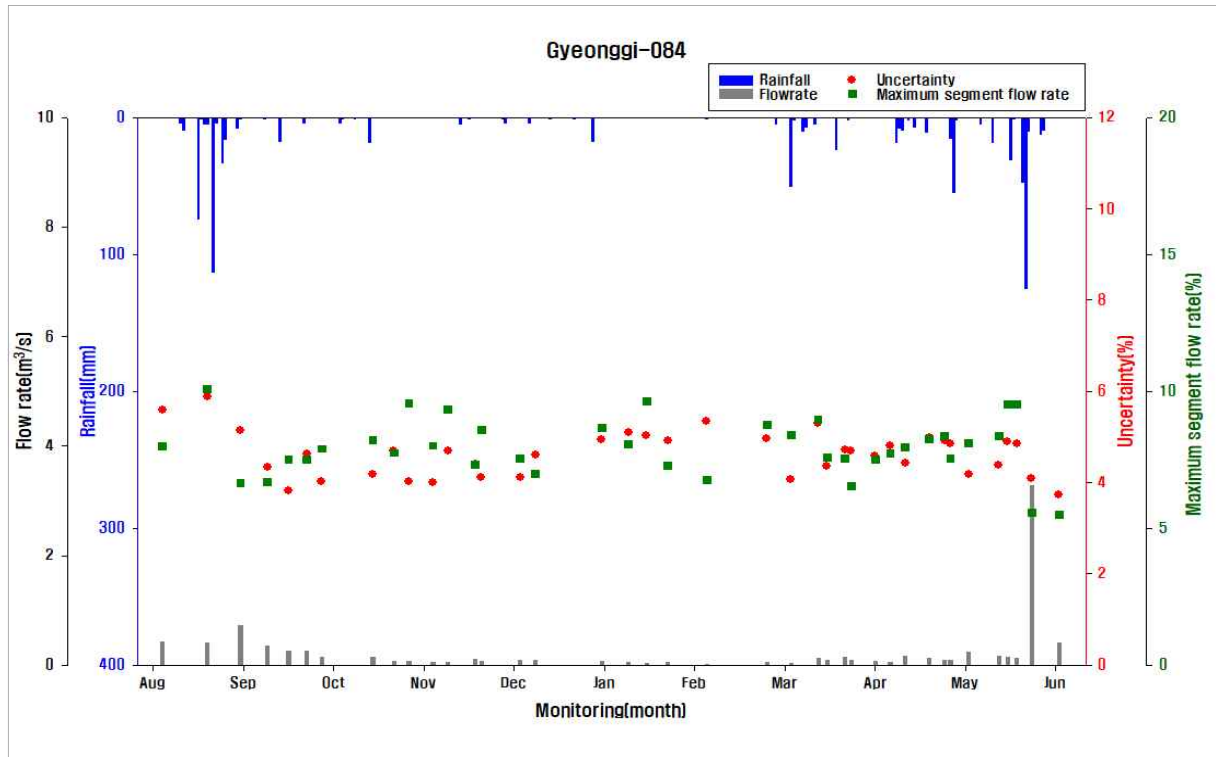


그림 5-95. 경기-084 (진관교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

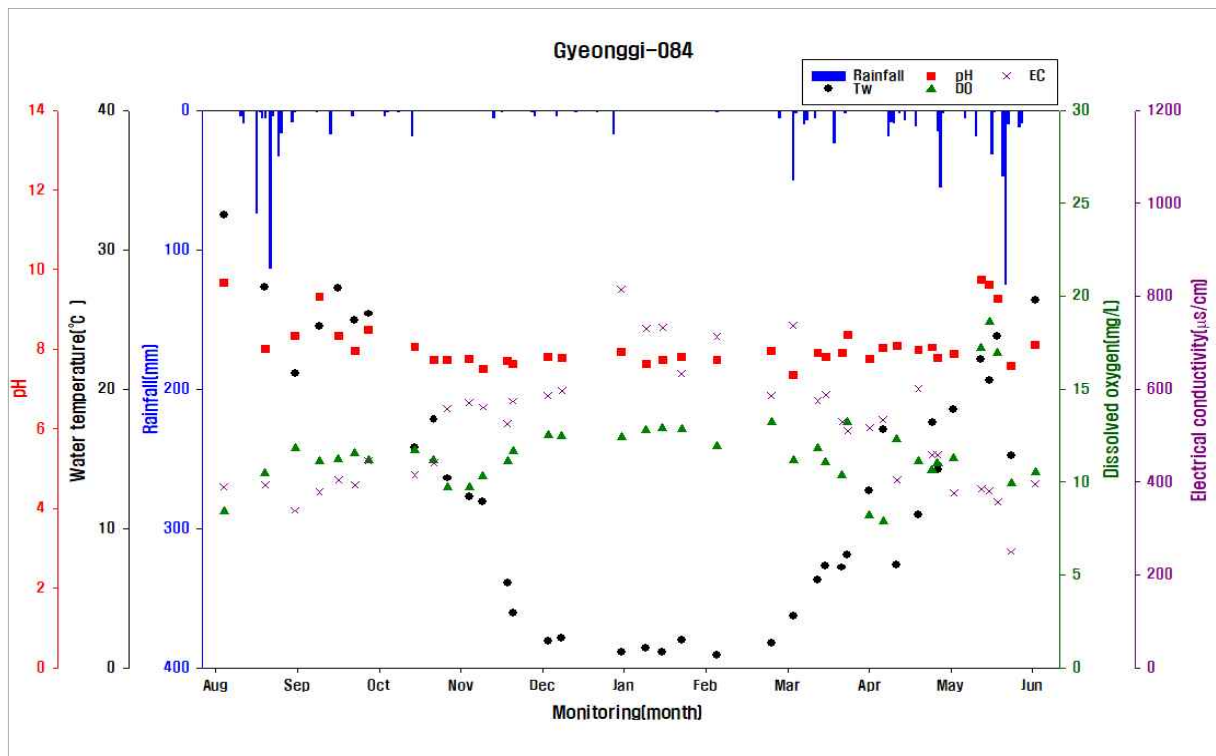


그림 5-96. 경기-084 (진관교) 지점의 현장측정 결과

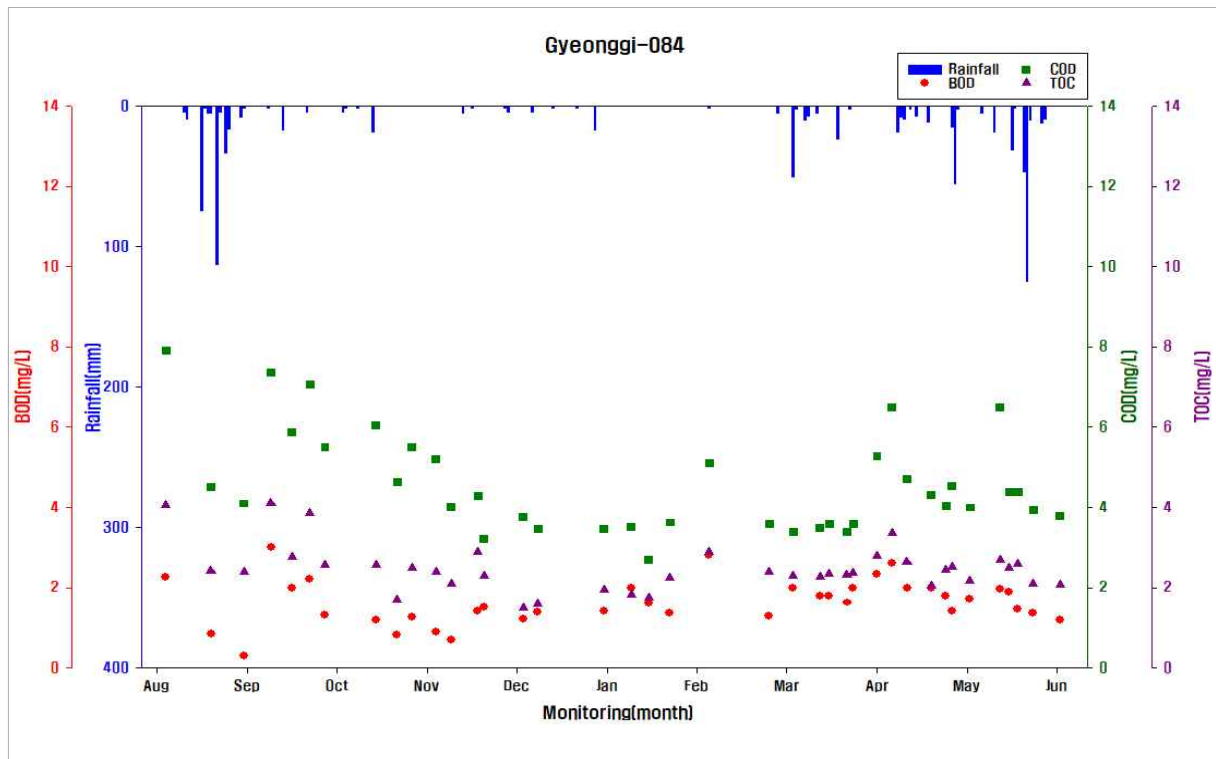


그림 5-97. 경기-084 (진관교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

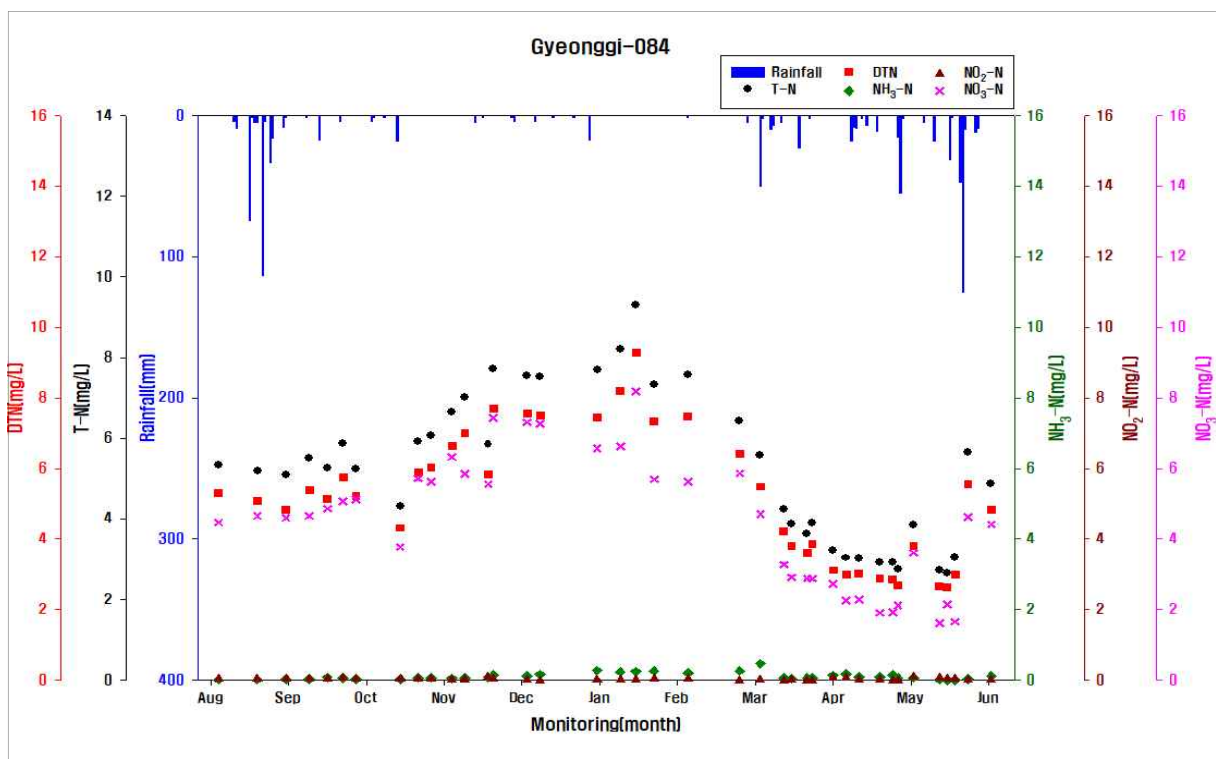


그림 5-98. 경기-084 (진관교) 지점의 T-N 계열 결과

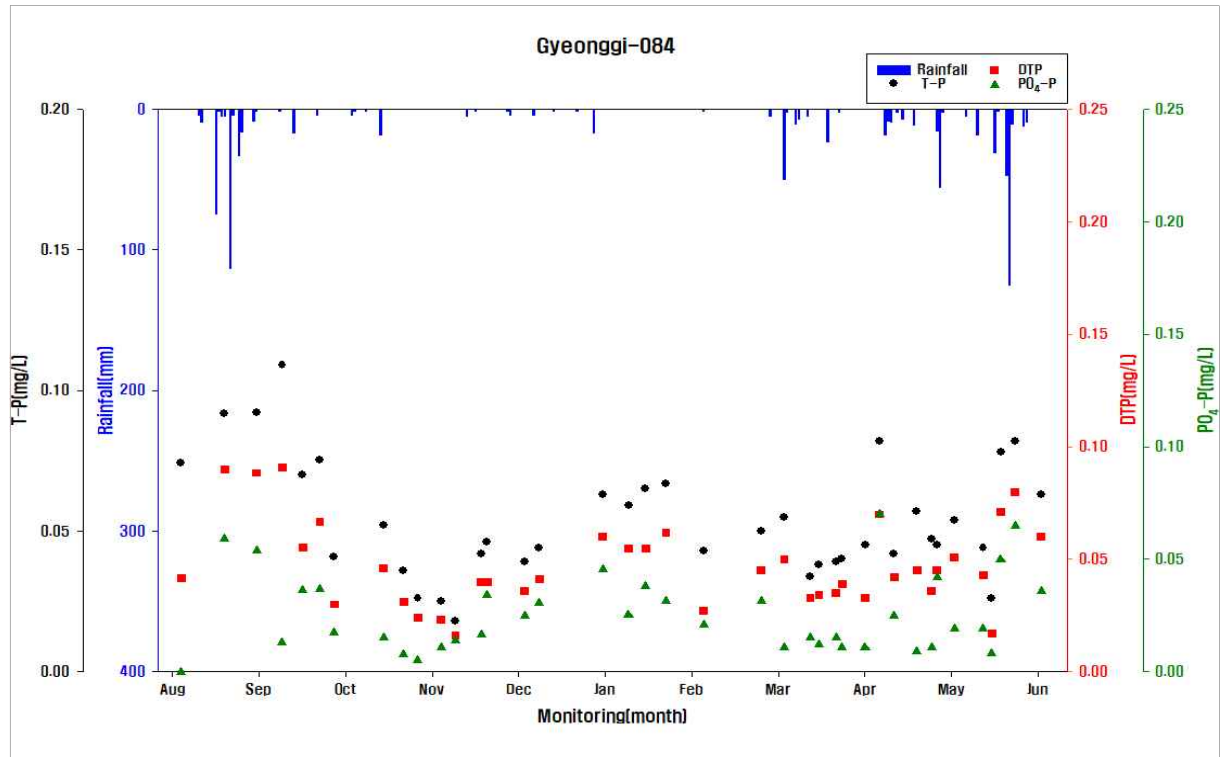


그림 5-99. 경기-084 (진관교) 지점의 T-P 계열 결과

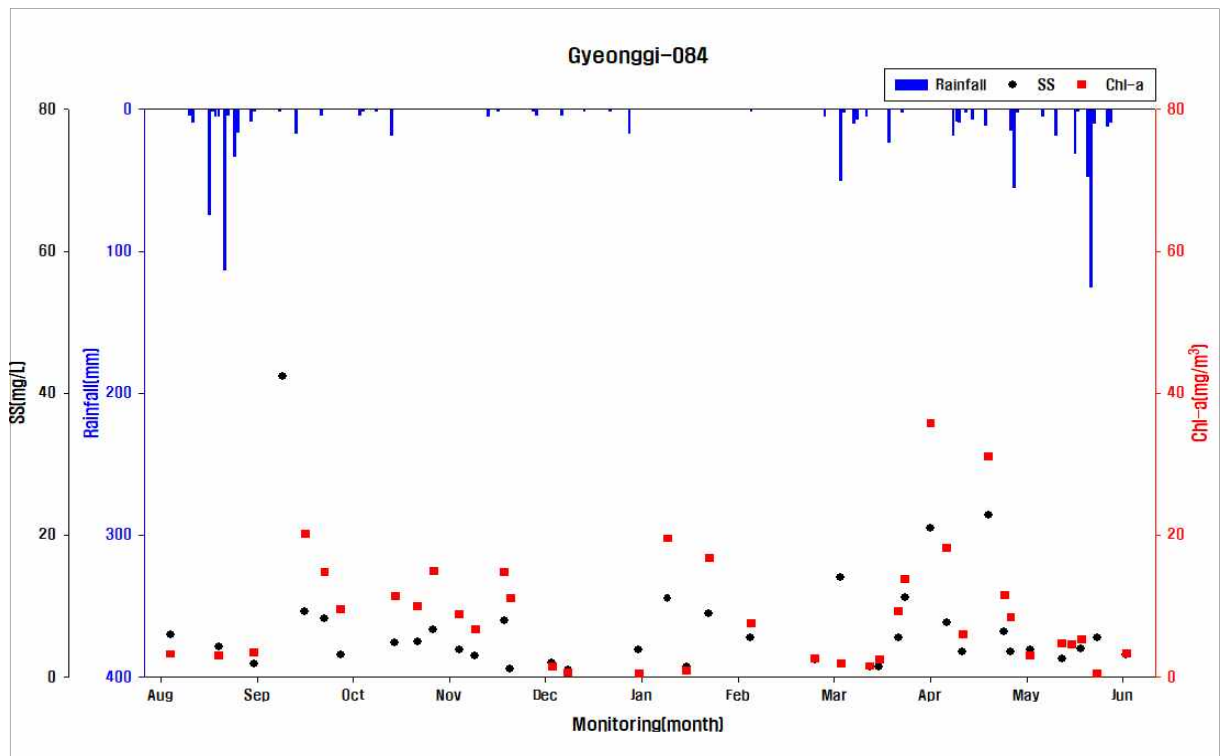


그림 5-100. 경기-084 (진관교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 왕숙A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

한강서울·고양 수계 왕숙A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-101>~<그림 5-102>에 나타내었다. 왕숙A 단위유역은 본류인 왕숙천을 중심으로 갈매천, 봉산사천, 사릉천, 엄현천, 왕숙천-1, 왕숙천-2, 진건천, 진별천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 왕숙A 단위유역의 8개 측정지점(갈매동사거리, 부대앞, 진관교, 부평교, 무명교, 왕숙교, 연평교, 광릉교)의 BOD는 각각 3.1 mg/L, 1.0 mg/L, 1.6 mg/L, 1.0 mg/L, 1.4 mg/L, 2.3 mg/L, 16.6 mg/L, 1.1 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.147 mg/L, 0.026 mg/L, 0.054 mg/L, 0.050 mg/L, 0.034 mg/L, 0.086 mg/L, 0.506 mg/L, 0.025 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 8지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 1지점(12.5%), 좋음(Ib) 4지점(50.0%), 약간좋음(II) 1지점(12.5%), 보통(III) 1지점(12.5%), 매우나쁨(VI) 1지점(12.5%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(갈매천), 오염우심하천 1지점(진건천)으로 확인되었다. T-P는 좋음(Ib) 3지점(37.5%), 약간좋음(II) 3지점(37.5%), 보통(III) 1지점(12.5%), 매우나쁨(VI) 1지점(12.5%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(갈매천), 오염우심하천 1지점(진건천)으로 확인되었다.

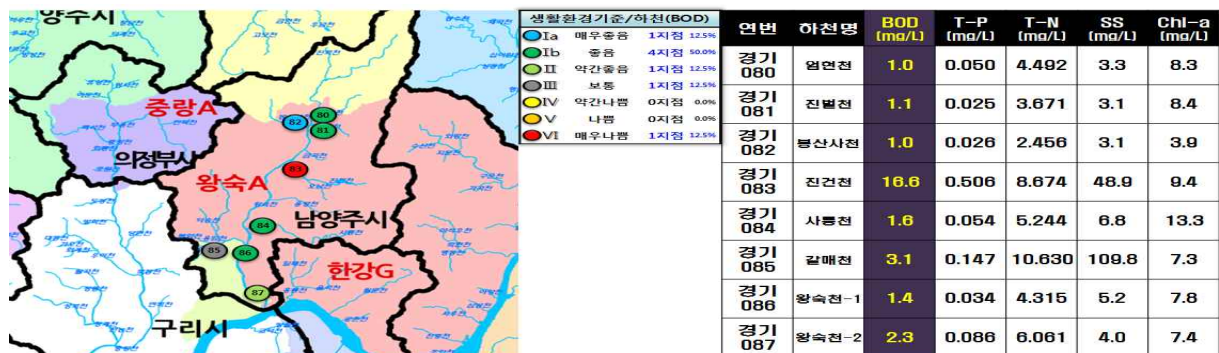


그림 5-101. 왕숙A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

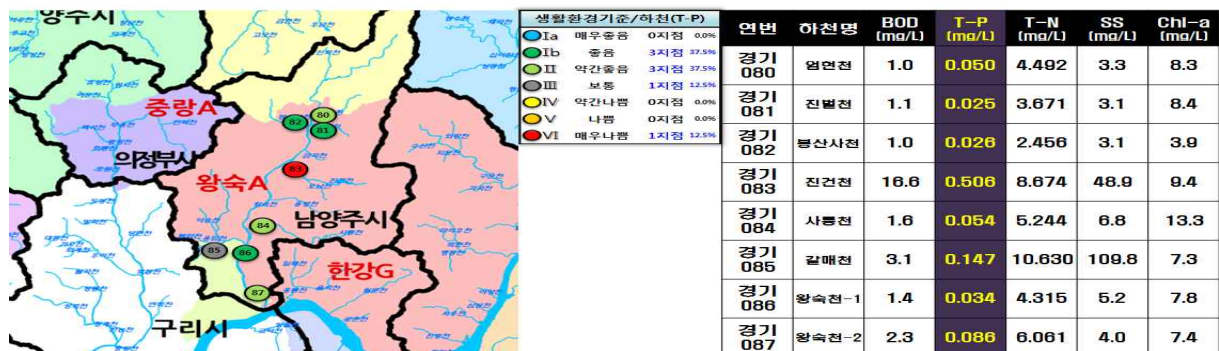


그림 5-102. 왕숙A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 왕숙A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

왕숙A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-33>에 나타내었다.

왕숙A 단위유역은 분류인 영평천을 중심으로 엄현천, 봉산사천, 진별천, 진건천 등의 지류 지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-왕숙A가 있다. 왕숙A 단위유역의 8개 측정지점(갈매교차로, 부대 앞, 진관교, 부평교, 무명교, 왕숙교, 연평교, 광릉교 앞)의 BOD는 각각 3.1 mg/L, 1.0 mg/L, 1.6 mg/L, 1.0 mg/L, 1.4 mg/L, 2.3 mg/L, 16.6 mg/L, 1.1 mg/L로 수질총량측정망 자료인 4.5 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.148 mg/L, 0.026 mg/L, 0.054 mg/L, 0.050 mg/L, 0.034 mg/L, 0.086 mg/L, 0.506 mg/L, 0.025 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.194 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.10 m³/s, 0.24 m³/s, 0.23 m³/s, 0.08 m³/s, 2.49 m³/s, 3.33 m³/s, 0.27 m³/s, 0.18 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 6.18 m³/s로 측정되었다.

표 5-33. 왕숙A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-080. 부평교	1.0	0.050	0.08
경기-081. 광릉교 앞	1.1	0.025	0.18
경기-082. 부대 앞	1.0	0.026	0.24
경기-083. 연평교	16.6	0.506	0.27
경기-084. 진관교	1.6	0.054	0.23
경기-085. 갈매교차로	3.1	0.148	0.10
경기-086. 무명교	1.4	0.034	2.49
경기-087. 왕숙교	2.3	0.086	3.33
총량측정망 - 왕숙A	4.5	0.194	6.18

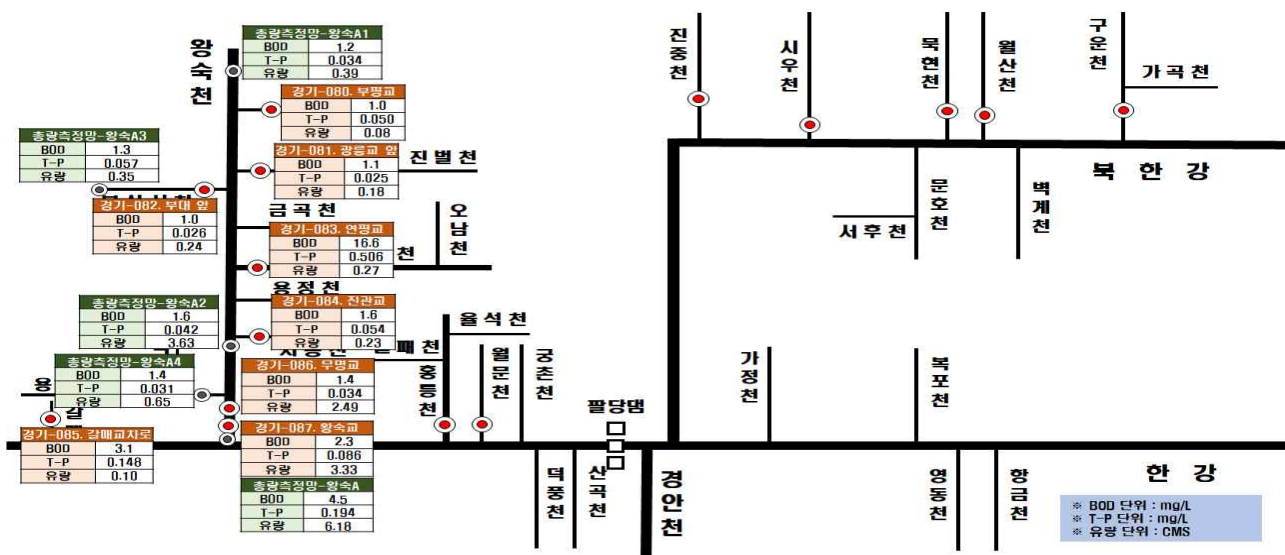


그림 5-103. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(왕숙A)

(5) 왕숙A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-084 진관교

경기-084(진관교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-104>에 나타내었다.

경기-084(진관교) 지점에서는 38회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.23 m³/s였던 유량이 3.28 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 384.3 kg/day, COD 부하량은 1,115.4 kg/day, SS 부하량은 1,587.0 kg/day, T-N 부하량은 1,602.3 kg/day, T-P 부하량은 23.2 kg/day로 나타났다.

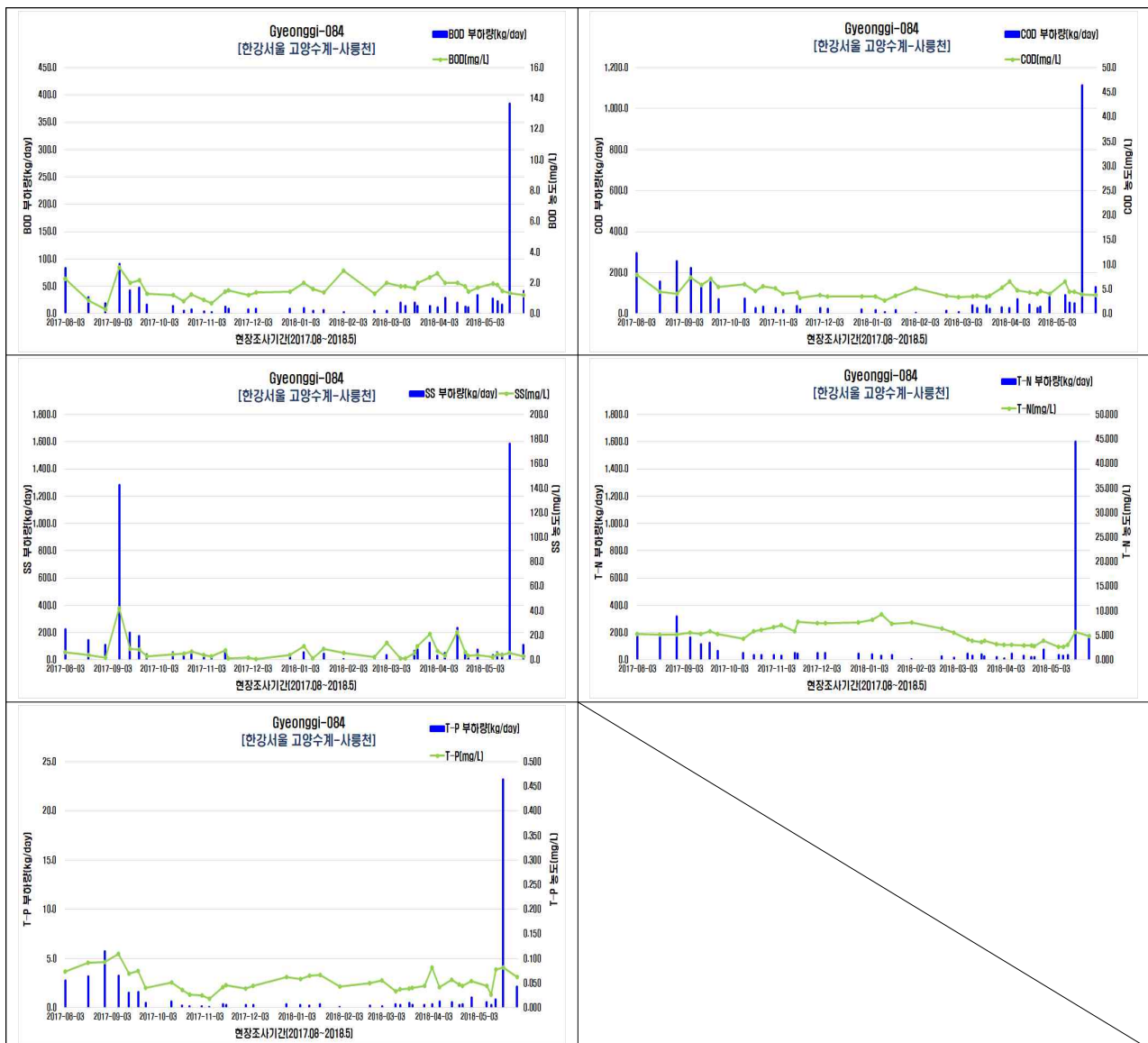


그림 5-104. 경기-084(진관교) 지점의 오염부하량 산정결과

2) 탄천A 단위유역(7개 지점)

(1) 탄천A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-094 매송교

경기-094 (매송교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-34>에 나타내었다. 경기-094 (매송교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.0893, -0.0999 으로 수질항목 간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - TN, BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.4928, 0.6553 로 수질항목 간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다.

표 5-34. 경기-094 (매송교) 지점의 상관성분석 결과

한강서울·고양수계(경기-094, 매송교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.0893	0.4928	-0.0999	0.6553
결정계수(R ²)	0.0080	0.2428	0.0100	0.4294

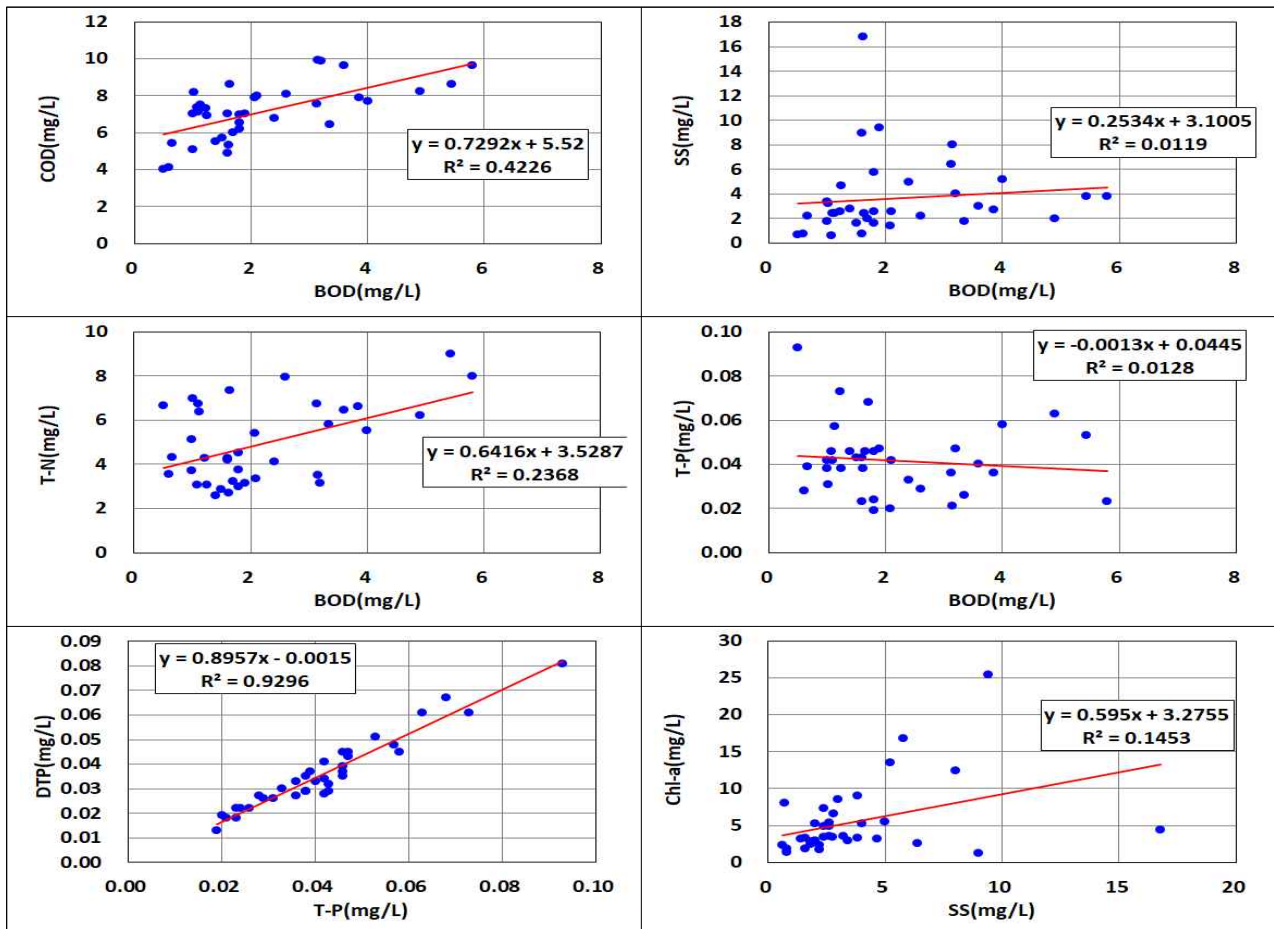


그림 5-105. 경기-094 (매송교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 탄천A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-094 매송교

경기-094 (매송교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $7.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.85 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.49 \sim 6.58 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 3.98% ($3.18 \sim 6.42\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 5.34% ($3.83 \sim 8.86\%$)로 나타났다. 하상재료가 모래이며 중앙부부터 우안까지 곳곳에 큰 돌이 많이 있어 유속에 영향을 끼친다. 또한 하천 폭이 넓고, 좌안 및 우안 수심이 깊으며 중앙부가 비교적 낮다. 특이사항으로는 하류에 돌다리가 존재하였다. 측정 지점은 운중천 하류 부분이며, 탄천을 본류로 한다. 상류 방향으로 금토천이 유입되고 있다.

경기-094 (매송교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.63 ($6.50 \sim 8.45$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 8.92 mg/L ($6.11 \sim 13.75 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $526.8 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($230.0 \sim 701.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-094 (매송교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 2.2 mg/L ($0.5 \sim 5.8 \text{ mg/L}$), COD는 평균 7.0 mg/L ($4.0 \sim 9.9 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 4.8 mg/L ($2.8 \sim 8.8 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-094 (매송교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 4.901 mg/L ($2.601 \sim 8.989 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 4.736 mg/L ($2.560 \sim 8.592 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.737 mg/L ($0.012 \sim 3.992 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.101 mg/L ($0.006 \sim 0.470 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 3.312 mg/L ($1.500 \sim 6.100 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-094 (매송교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.041 mg/L ($0.019 \sim 0.093 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.036 mg/L ($0.013 \sim 0.081 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.016 mg/L ($0.000 \sim 0.074 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-094 (매송교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 20.0 mg/L 이하였으며 평균 3.7 mg/L ($0.6 \sim 16.8 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 30.0 mg/m^3 이하였으며 평균 5.3 mg/m^3 ($1.3 \sim 25.4 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 2회차 조사 시 전날 111mm의 강우로 인해 증가하였고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

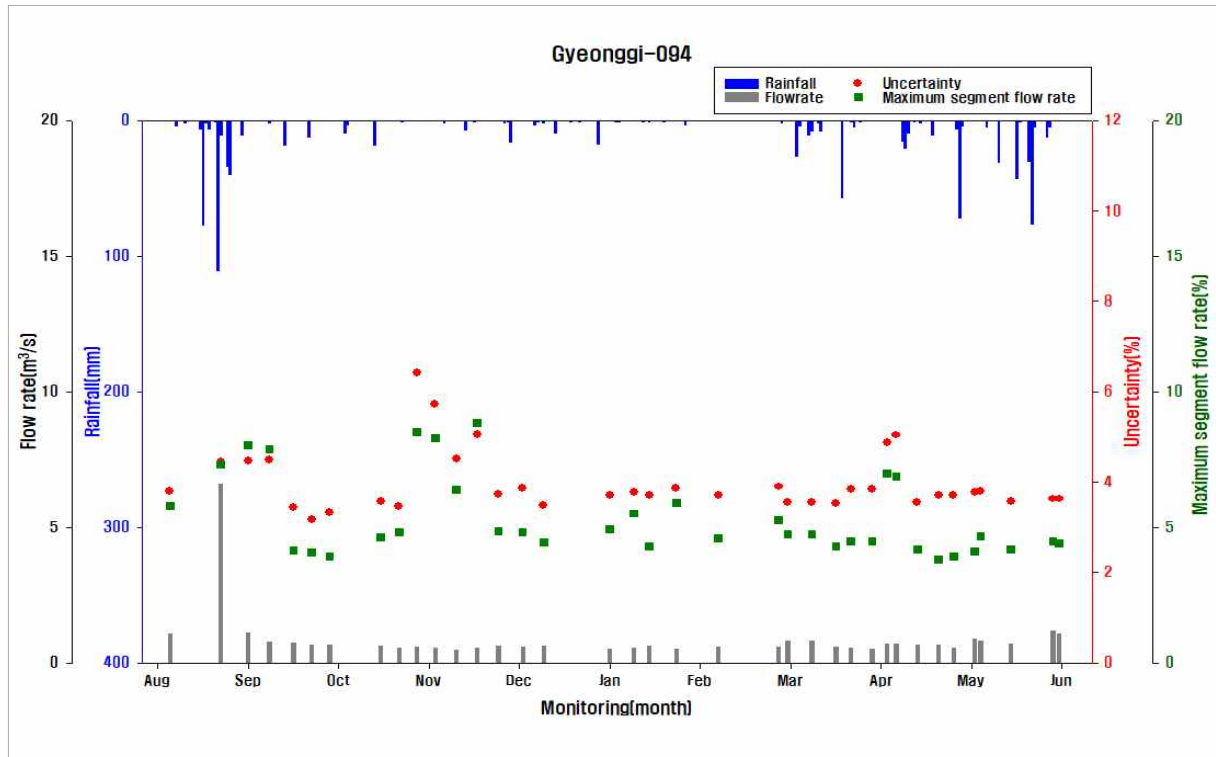


그림 5-106. 경기-094 (매송교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

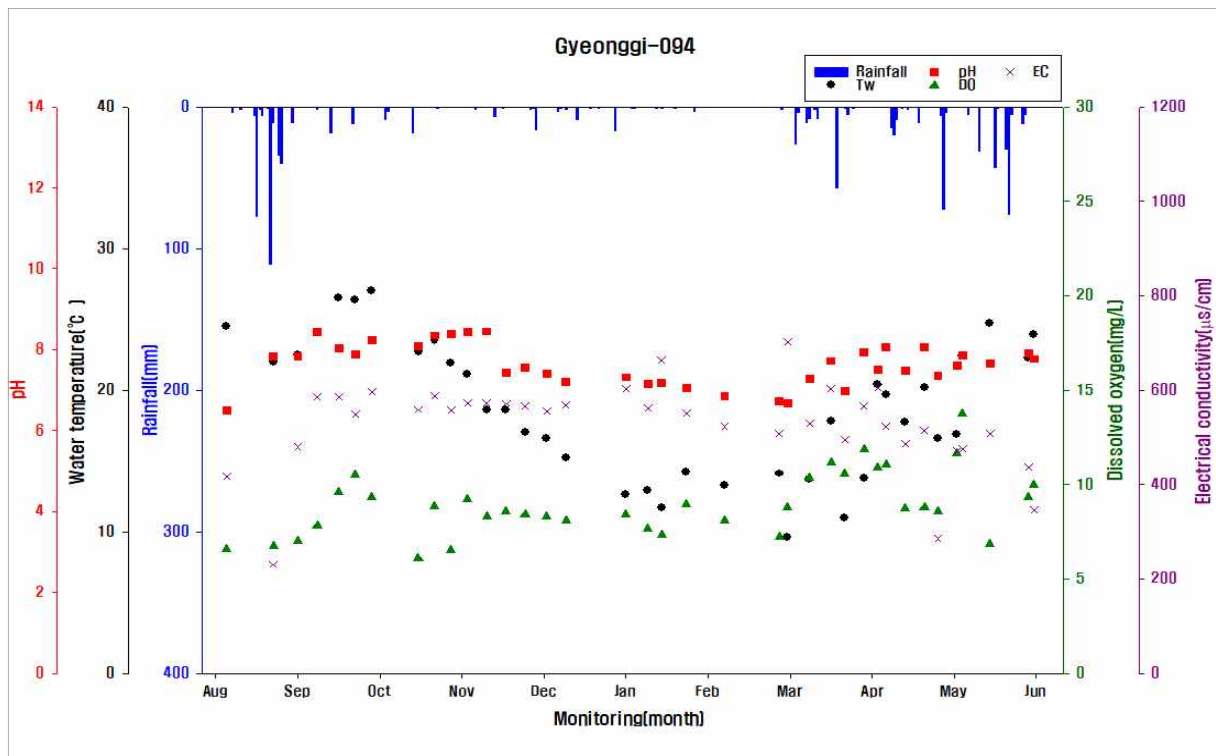


그림 5-107. 경기-094 (매송교) 지점의 현장측정 결과

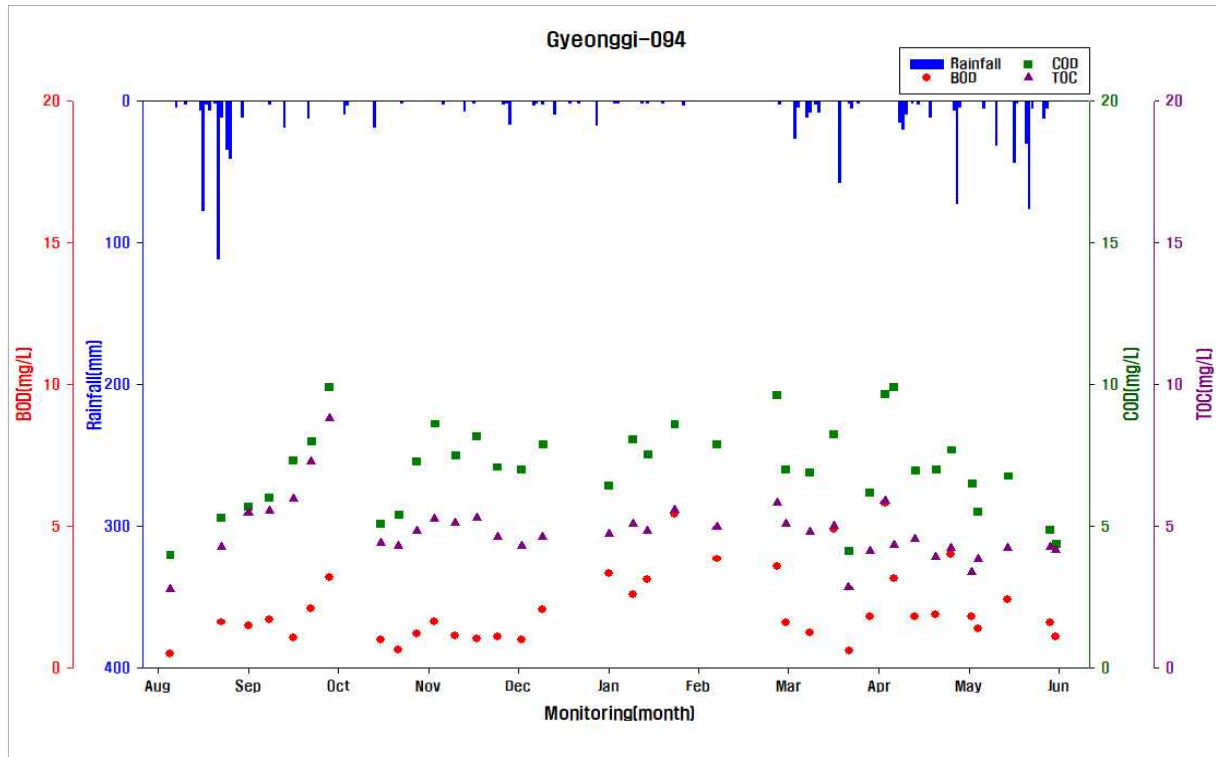


그림 5-108. 경기-094 (매송교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

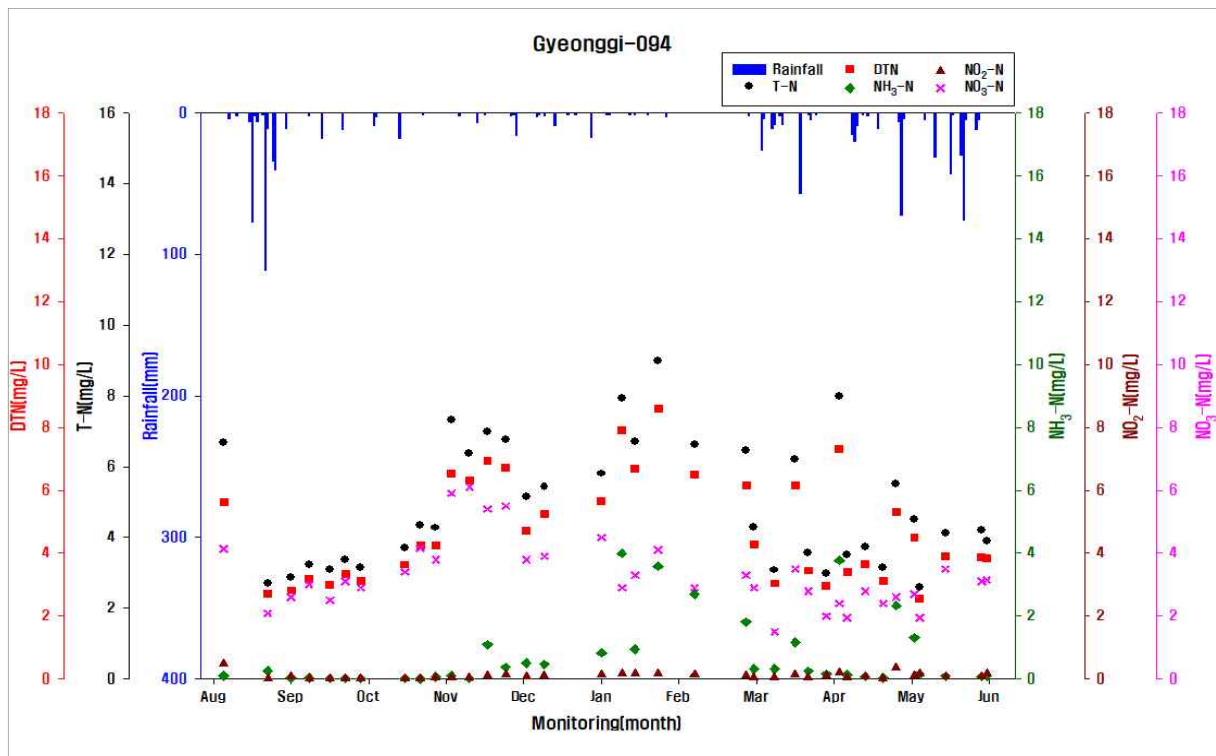


그림 5-109. 경기-094 (매송교) 지점의 T-N 계열 결과

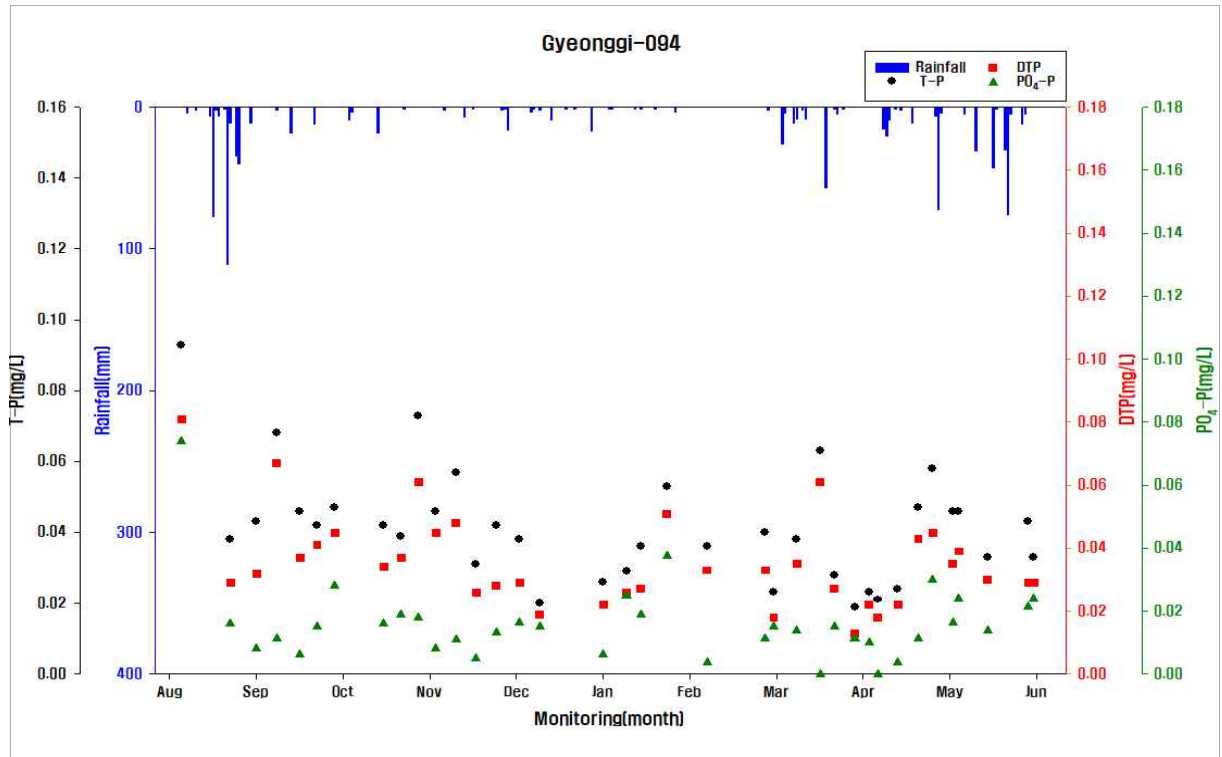


그림 5-110. 경기-094 (매송교) 지점의 T-P 계열 결과

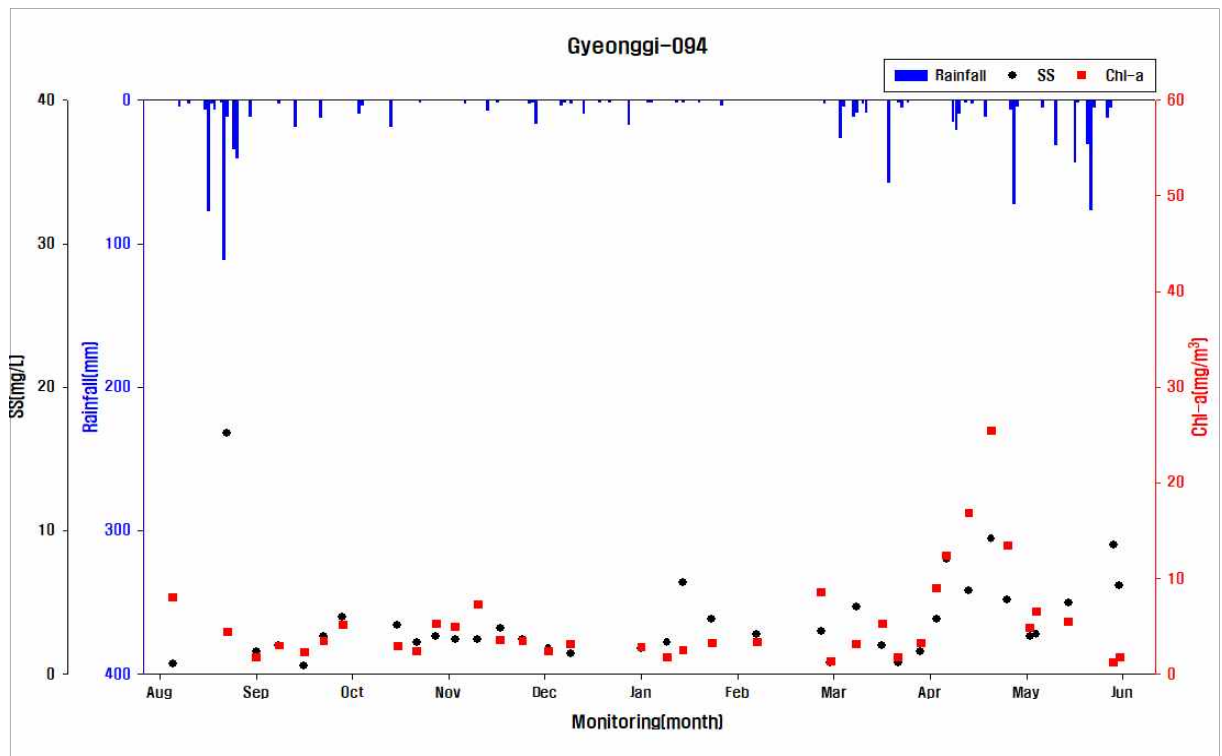


그림 5-111. 경기-094 (매송교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 탄천A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

한강서울·고양 수계 탄천A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-112>~<그림 5-113>에 나타내었다. 탄천A 단위유역은 본류인 탄천을 중심으로 세곡천, 운중천, 탄천-2, 분당천, 성북천, 여수천, 탄천-1 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 탄천A 단위유역의 7개 측정 지점(세곡3교, 매송교, 수내교, 무명교, 죽전동, 여수천교, 언남동)의 BOD는 각각 2.3 mg/L, 2.2 mg/L, 2.9 mg/L, 1.5 mg/L, 2.3 mg/L, 1.3 mg/L, 2.1 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.105 mg/L, 0.041 mg/L, 0.120 mg/L, 0.038 mg/L, 0.147 mg/L, 0.034 mg/L, 0.135 mg/L로 나타났다. 조사 대상지점 총 7지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 좋음(Ib) 2지점(28.6%), 약간좋음(II) 5지점(71.4%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 좋음(Ib) 2지점(28.6%), 약간좋음(II) 1지점(14.3%), 보통(III) 4지점(57.1%)으로 나타났으며, 관리대상하천 4지점(탄천-1, 성북천, 탄천-2, 세곡천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

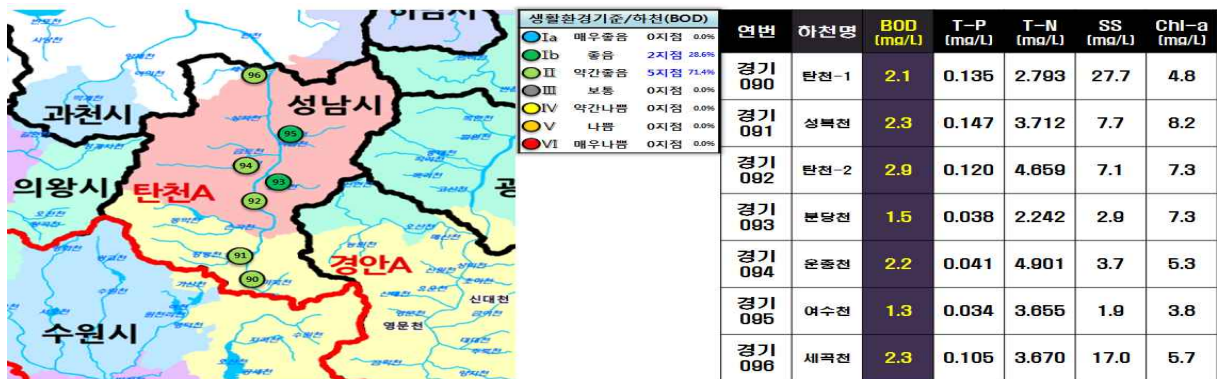


그림 5-112. 탄천A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

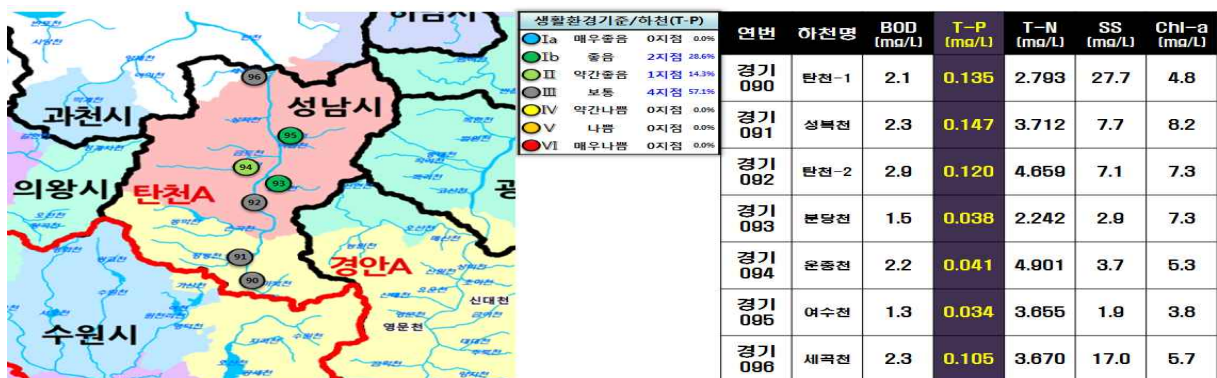


그림 5-113. 탄천A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 탄천A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

탄천A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-35>에 나타내었다.

탄천A 단위유역은 분류인 탄천을 중심으로 세곡천, 여수천, 운중천, 분당천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-탄천A가 있다. 탄천A 단위유역의 7개 측정지점(세곡3교, 매송교, 수내교, 무명교, 죽전동 1423, 여수천교, 언남동 456-30)의 BOD는 각각 2.2 mg/L, 2.2 mg/L, 2.9 mg/L, 1.5 mg/L, 2.3 mg/L, 1.3 mg/L, 4.5 mg/L로 수질총량측정망 자료인 3.0 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.105 mg/L, 0.041 mg/L, 0.120 mg/L, 0.038 mg/L, 0.147 mg/L, 0.034 mg/L, 0.149 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.132 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.22 m³/s, 0.85 m³/s, 2.74 m³/s, 0.18 m³/s, 0.51 m³/s, 0.13 m³/s, 0.09 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 8.78 m³/s로 측정되었다. 탄천A 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-35. 탄천A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-090. 언남동 456-30	4.5	0.149	0.09
경기-091. 죽전동 1423	2.3	0.147	0.51
경기-092. 수내교	2.9	0.120	2.74
경기-093. 무명교	1.5	0.038	0.18
경기-094. 매송교	2.2	0.041	0.85
경기-095. 여수천교	1.3	0.034	0.13
경기-096. 세곡3교	2.2	0.105	0.22
총량측정망 - 탄천A	3.0	0.132	8.78

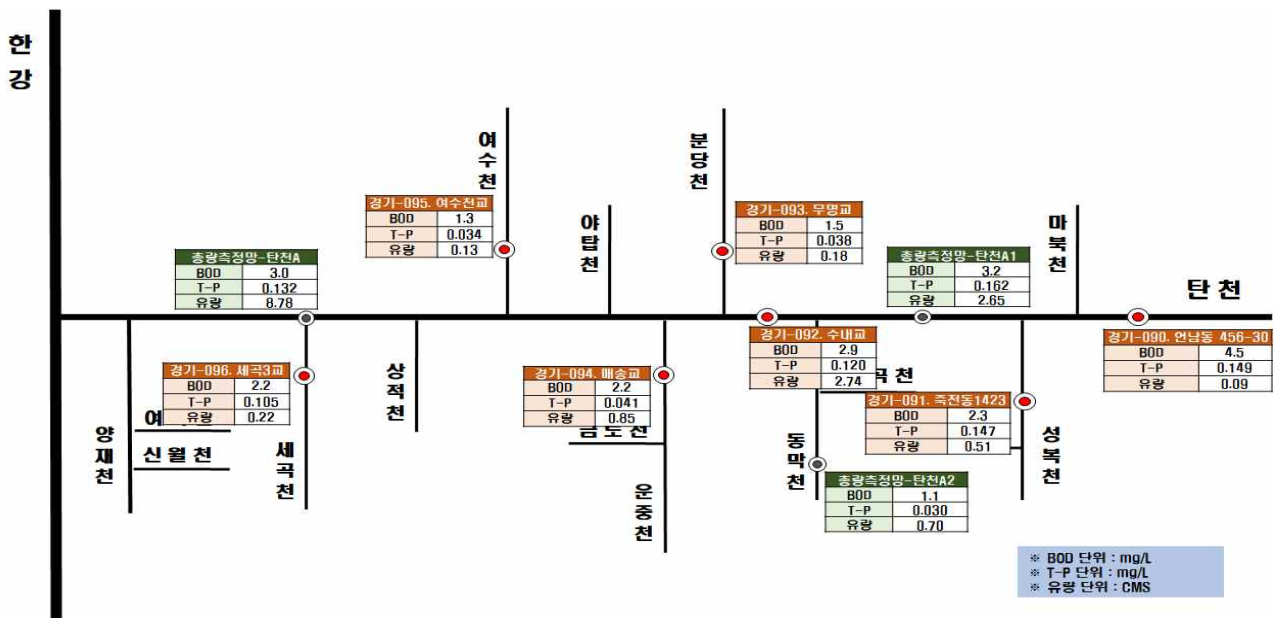


그림 5-114. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(탄천A)

(5) 탄천A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-094 매송교

경기-094(매송교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-115>에 나타내었다.

경기-094(매송교) 지점에서는 2회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.85 m³/s였던 유량이 6.58 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 920.6 kg/day, COD 부하량은 3,023.2 kg/day, SS 부하량은 9,547.1 kg/day, T-N 부하량은 1,537.8 kg/day, T-P 부하량은 21.6 kg/day로 나타났다.

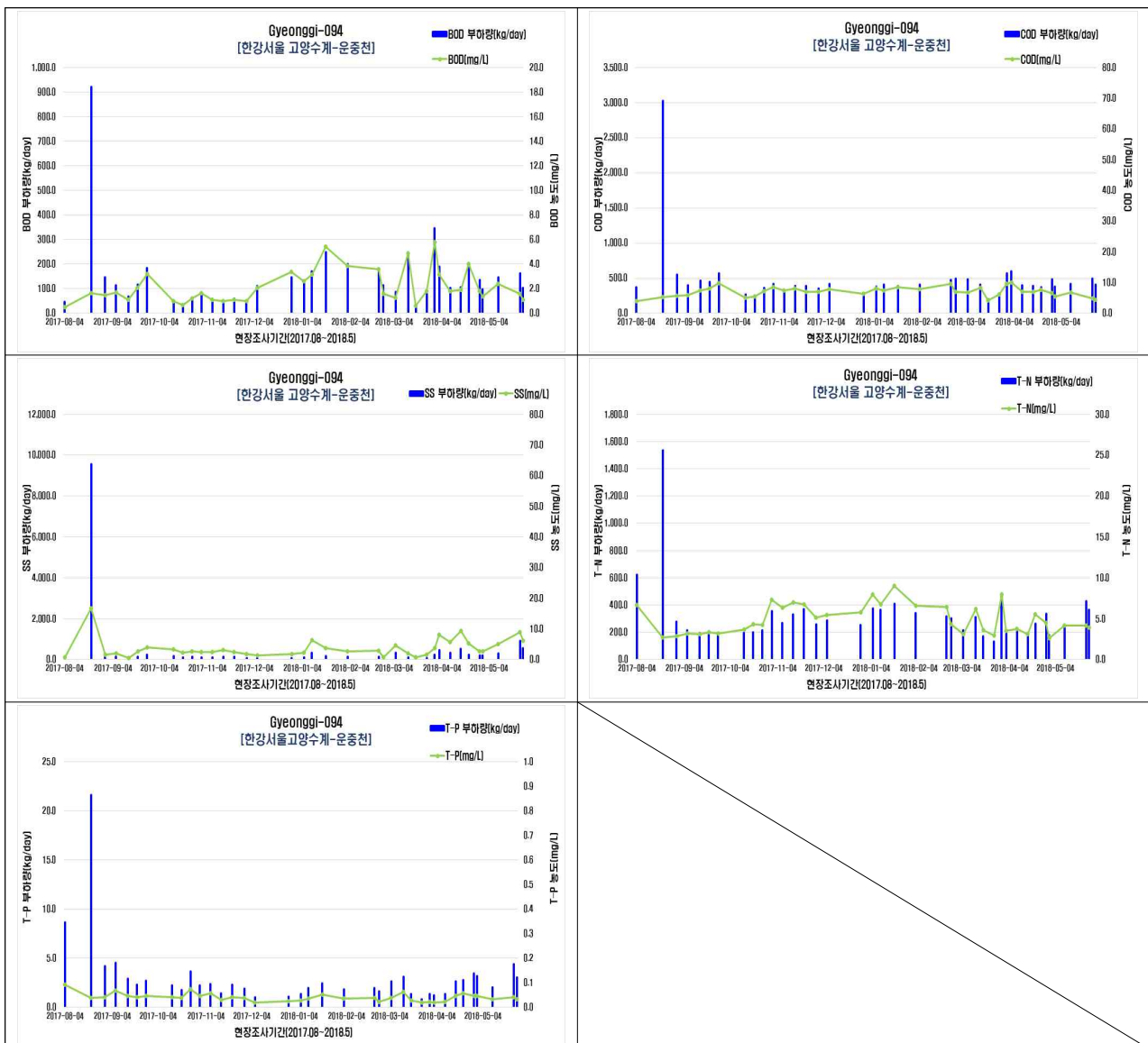


그림 5-115. 경기-094(매송교) 지점의 오염부하량 산정결과

제5절 임진강 수계

1. 임진강 수계의 지천별 수질분석 결과

본 연구결과(2단계)를 토대로 임진강 수계의 한탄강, 영평천, 신천, 임진강, 문산천을 대상으로 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질 항목별 평균값을 비교분석하였다.

한탄강의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 9.70 m³/s(0.03~213.79 m³/s), 수온이 11.5℃(0.1~29.1℃), pH가 7.69(6.11~14.59), DO가 11.30 mg/L(4.63~20.56 mg/L), 전기전도도가 276.8 μs/cm(100.0~3,121.0 μs/cm), BOD가 1.4 mg/L(0.2~7.0 mg/L), COD가 4.0 mg/L(1.1~15.7 mg/L), TOC가 2.3 mg/L(0.9~11.7 mg/L), SS가 5.4 mg/L(0.4~120.0 mg/L), T-N이 3.219 mg/L(1.390~11.624 mg/L), DTN이 3.108 mg/L(1.331~11.535 mg/L), NH₃-N 0.180 mg/L(0.000~3.127 mg/L), NO₂-N이 0.076 mg/L(0.000~0.851 mg/L), NO₃-N이 2.535 mg/L(1.000~9.865 mg/L), T-P가 0.049 mg/L(0.000~0.435 mg/L), DTP 0.040 mg/L(0.000~0.390 mg/L), PO₄-P가 0.022 mg/L(0.000~0.390 mg/L), Chl-a가 5.8 mg/L(0.2~49.0 mg/L)로 나타났다.

표 5-36. 한탄강의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	9.70	11.5	7.69	11.30	276.8	1.4	4.0	2.3	5.4
최소값	0.03	0.1	6.11	4.63	100.0	0.2	1.1	0.9	0.4
최대값	213.79	29.1	14.59	20.56	3,121.0	7.0	15.7	11.7	120.0
표준편차	19.82	7.6	0.73	2.41	324.3	1.0	1.9	1.3	11.3
95%ile	49.46	22.3	8.45	15.04	895.2	3.6	7.8	4.6	17.7
75%ile	10.13	17.3	8.02	12.95	254.5	1.7	4.9	2.7	5.4
중간값 (median)	3.87	12.3	7.64	11.29	180.0	1.1	3.4	1.9	2.4
25%ile	0.99	3.3	7.36	9.73	154.0	0.8	2.7	1.5	1.0
5%ile	0.05	0.6	6.78	7.30	121.9	0.3	2.0	1.1	0.4
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	3.219	3.108	0.180	0.076	2.535	0.049	0.040	0.022	5.8
최소값	1.390	1.331	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.2
최대값	11.624	11.535	3.127	0.851	9.865	0.435	0.422	0.390	49.0
표준편차	1.616	1.573	0.315	0.122	1.301	0.054	0.049	0.037	5.8
95%ile	6.382	6.108	0.603	0.273	5.173	0.151	0.120	0.069	17.3
75%ile	3.693	3.561	0.186	0.074	2.879	0.058	0.048	0.027	7.6
중간값 (median)	2.744	2.649	0.073	0.038	2.200	0.034	0.025	0.010	4.0
25%ile	2.236	2.209	0.040	0.016	1.753	0.017	0.012	0.004	2.4
5%ile	1.712	1.600	0.011	0.006	1.300	0.005	0.000	0.000	1.2

영평천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 3.24 m³/s(0.00~189.86 m³/s), 수온이 12.3℃(0.4~30.8℃), pH가 7.57(6.92~12.16), DO가 9.83 mg/L(1.75~14.14 mg/L), 전기전도도가 496.0 μs/cm(48.0~1,561.0 μs/cm), BOD가 2.7 mg/L(0.2~30.8 mg/L), COD가 6.1 mg/L(1.1~24.7 mg/L), TOC가 3.9 mg/L(0.8~23.8 mg/L), SS가 6.6 mg/L(0.4~212.5 mg/L), T-N이 7.114 mg/L(0.844~34.483 mg/L), DTN이 6.925 mg/L(0.815~34.285 mg/L), NH₃-N 1.409 mg/L(0.000~22.900 mg/L), NO₂-N이 0.125 mg/L(0.000~1.420 mg/L), NO₃-N이 4.673 mg/L(0.600~14.800 mg/L), T-P가 0.082 mg/L(0.000~1.074 mg/L), DTP 0.068 mg/L(0.000~1.045 mg/L), PO₄-P가 0.050 mg/L(0.000~0.999 mg/L), Chl-a가 7.4 mg/m³(0.4~40.2 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 3.24 m³/s로 중간값인 0.80 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이며, NH₃-N 또한 평균값이 1.409 mg/L로 중간값인 0.293 mg/L와 큰 차이를 보였는데 이는 질소의 농도가 겨울철과 봄에 특히 높게 나타났기 때문이다.

표 5-37. 영평천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	3.24	12.3	7.57	9.83	496.0	2.7	6.1	3.9	6.6
최소값	0.00	0.4	6.92	1.75	48.0	0.2	1.1	0.8	0.4
최대값	189.86	30.8	12.16	14.14	1,561.0	30.8	24.7	23.8	212.5
표준편차	15.38	7.0	0.40	1.81	329.4	2.9	3.6	2.6	14.5
95%ile	6.71	22.4	8.10	12.48	1165.2	8.1	13.2	7.6	20.9
75%ile	1.96	17.9	7.79	11.01	665.0	3.1	7.6	4.7	6.4
중간값 (median)	0.80	13.6	7.50	10.09	436.5	2.0	5.3	3.4	3.4
25%ile	0.29	5.8	7.31	8.69	257.3	1.1	3.5	2.2	1.8
5%ile	0.08	1.4	7.10	6.82	86.3	0.5	2.2	1.3	0.4
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	7.114	6.925	1.409	0.125	4.673	0.082	0.068	0.050	7.4
최소값	0.844	0.815	0.000	0.000	0.600	0.000	0.000	0.000	0.4
최대값	34.483	34.285	22.900	1.420	14.800	1.074	1.045	0.999	40.2
표준편차	4.625	4.541	3.358	0.163	1.962	0.113	0.105	0.097	6.5
95%ile	14.944	14.434	7.361	0.351	8.135	0.237	0.217	0.175	20.8
75%ile	8.169	7.967	0.957	0.143	5.700	0.083	0.067	0.050	9.5
중간값 (median)	6.245	6.002	0.293	0.081	4.600	0.057	0.045	0.025	5.3
25%ile	5.102	5.014	0.102	0.048	3.600	0.033	0.026	0.011	3.0
5%ile	1.624	1.513	0.030	0.006	1.100	0.016	0.011	0.003	1.5

신천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 1.42 m³/s(0.05~11.21 m³/s), 수온이 16.2℃(0.3~32.2℃), pH가 7.71(6.52~9.08), DO가 10.31 mg/L(3.48~18.03 mg/L), 전기전도도가 1,359.8 μs/cm(151.0~3,491.0 μs/cm), BOD가 5.0 mg/L(0.7~12.9 mg/L), COD가 12.3 mg/L(2.2~26.9 mg/L), TOC가 7.0 mg/L(1.2~19.3 mg/L), SS가 8.1 mg/L(0.9~29.5 mg/L), T-N이 7.775 mg/L(0.984~21.312 mg/L), DTN이 7.456 mg/L(0.912~20.400 mg/L), NH₃-N 0.909 mg/L(0.000~9.005 mg/L), NO₂-N이 0.438 mg/L(0.018~1.992 mg/L), NO₃-N이 5.611 mg/L(0.339~16.442 mg/L), T-P가 0.230 mg/L(0.020~1.421 mg/L), DTP 0.203 mg/L(0.018~1.258 mg/L), PO₄-P가 0.092 mg/L(0.003~0.908 mg/L), Chl-a가 13.7 mg/m³(0.1~159.9 mg/m³)로 나타났다.

표 5-38. 신천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	1.42	16.2	7.71	10.31	1359.8	5.0	12.3	7.0	8.1
최소값	0.05	0.3	6.52	3.48	151.0	0.7	2.2	1.2	0.9
최대값	11.21	32.2	9.08	18.03	3491.0	12.9	26.9	19.3	29.5
표준편차	1.53	6.8	0.36	2.71	871.9	3.0	6.1	4.2	5.3
95%ile	3.94	25.9	8.21	15.17	2803.8	11.2	24.7	15.2	19.3
75%ile	2.05	21.8	7.98	11.85	2108.5	6.9	16.6	10.1	10.0
중간값 (median)	0.83	16.5	7.71	10.18	1344.0	4.3	11.4	6.1	6.5
25%ile	0.44	10.5	7.50	8.43	528.0	2.6	7.3	3.3	4.4
5%ile	0.11	5.3	7.08	6.42	297.6	1.1	3.9	1.8	2.1
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	7.775	7.456	0.909	0.438	5.611	0.230	0.203	0.092	13.7
최소값	0.984	0.912	0.000	0.018	0.339	0.020	0.018	0.003	0.1
최대값	21.312	20.400	9.005	1.992	16.442	1.421	1.258	0.908	159.9
표준편차	4.050	3.891	1.250	0.315	2.906	0.187	0.169	0.111	20.8
95%ile	15.206	14.173	3.118	0.924	9.910	0.560	0.486	0.300	67.5
75%ile	10.420	9.968	1.238	0.648	7.435	0.279	0.233	0.112	16.6
중간값 (median)	7.235	6.964	0.399	0.431	5.416	0.180	0.155	0.057	6.8
25%ile	4.863	4.656	0.137	0.157	3.352	0.121	0.108	0.029	2.3
5%ile	1.914	1.779	0.031	0.042	1.260	0.062	0.047	0.010	1.2

임진강의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 14.32 m³/s(0.01~500.72 m³/s), 수온이 12.5℃(0.2~29.0℃), pH가 7.58(6.03~8.75), DO가 11.67 mg/L(4.26~19.17 mg/L), 전기전도도가 426.6 μs/cm(103.0~2,121.0 μs/cm), BOD가 1.7 mg/L(0.3~4.8 mg/L), COD가 4.4 mg/L(1.6~12.0 mg/L), TOC가 2.2 mg/L(0.6~11.2 mg/L), SS가 3.1 mg/L(0.3~33.0 mg/L), T-N이 4.416 mg/L(0.404~12.682 mg/L), DTN이 4.174 mg/L(0.296~12.245 mg/L), NH₃-N 0.100 mg/L(0.000~1.328 mg/L), NO₂-N이 0.127 mg/L(0.000~2.990 mg/L), NO₃-N이 3.693 mg/L(0.169~9.866 mg/L), T-P가 0.100 mg/L(0.000~0.589 mg/L), DTP 0.092 mg/L(0.000~0.589 mg/L), PO₄-P가 0.062 mg/L(0.000~0.532 mg/L), Chl-a가 6.0 mg/m³(0.2~38.9 mg/m³)로 나타났다. 분석결과 중 유량의 평균값이 14.32 m³/s로 중간값인 0.28 m³/s와 큰 차이를 보였는데 이는 우리나라의 강우형이 하계 집중호우형이기 때문이다.

표 5-39. 임진강의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m ³ /s)	수온 (℃)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 (μs/cm)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	14.32	12.5	7.58	11.67	462.6	1.7	4.4	2.2	3.1
최소값	0.01	0.2	6.03	4.26	103.0	0.3	1.6	0.6	0.3
최대값	500.72	29.0	8.75	19.17	2,121.0	4.8	12.0	11.2	33.0
표준편차	44.23	7.6	0.41	3.17	293.5	0.8	1.6	1.1	3.8
95%ile	70.20	23.7	8.11	16.14	959.8	3.3	7.2	4.3	10.2
75%ile	12.88	18.8	7.82	14.13	593.0	2.1	5.2	2.6	3.7
중간값 (median)	0.28	12.8	7.66	12.32	357.0	1.6	4.1	2.1	2.0
25%ile	0.12	5.8	7.46	9.05	283.0	1.1	3.2	1.6	1.0
5%ile	0.04	1.1	6.67	6.35	139.0	0.8	2.2	1.0	0.4
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Chl-a (mg/m ³)
평균값	4.416	4.174	0.100	0.127	3.693	0.100	0.092	0.062	6.0
최소값	0.404	0.296	0.000	0.000	0.169	0.000	0.000	0.000	0.2
최대값	12.682	12.245	1.328	2.990	9.866	0.723	0.589	0.532	38.9
표준편차	2.366	2.281	0.152	0.196	2.105	0.096	0.088	0.080	6.1
95%ile	9.037	8.655	0.402	0.395	8.109	0.287	0.263	0.241	17.7
75%ile	5.875	5.521	0.101	0.153	4.740	0.117	0.108	0.077	9.4
중간값 (median)	3.984	3.811	0.045	0.084	3.309	0.074	0.067	0.031	3.3
25%ile	2.587	2.447	0.024	0.039	2.005	0.038	0.037	0.012	1.2
5%ile	1.311	1.188	0.009	0.014	0.990	0.016	0.016	0.004	0.6

문산천의 수질오염물질 항목별 평균값은 유량이 $0.67 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.07\sim 6.00 \text{ m}^3/\text{s}$), 수온이 13.4°C ($0\sim 29.0^\circ\text{C}$), pH가 7.65($6.41\sim 8.30$), DO가 12.05 mg/L ($4.60\sim 19.07 \text{ mg/L}$), 전기전도도가 $724.2 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ($241.0\sim 1,433.0 \text{ }\mu\text{S/cm}$), BOD가 2.6 mg/L ($1.0\sim 5.3 \text{ mg/L}$), COD가 6.3 mg/L ($3.2\sim 12.9 \text{ mg/L}$), TOC가 3.4 mg/L ($1.5\sim 10.1 \text{ mg/L}$), SS가 6.6 mg/L ($0.5\sim 22.4 \text{ mg/L}$), T-N이 4.819 mg/L ($1.680\sim 14.049 \text{ mg/L}$), DTN이 4.570 mg/L ($1.637\sim 13.065 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 0.278 mg/L ($0.000\sim 1.837 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 이 0.268 mg/L ($0.047\sim 2.440 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 3.734 mg/L ($1.193\sim 9.884 \text{ mg/L}$), T-P가 0.147 mg/L ($0.023\sim 1.106 \text{ mg/L}$), DTP 0.124 mg/L ($0.023\sim 0.597 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 가 0.061 mg/L ($0.010\sim 0.182 \text{ mg/L}$), Chl-a가 9.7 mg/L ($0.8\sim 40.4 \text{ mg/L}$)로 나타났다.

표 5-40. 문산천의 수질오염물질 항목별 분석결과(평균)

항목	유량 (m^3/s)	수온 ($^\circ\text{C}$)	pH	DO (mg/L)	전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	SS (mg/L)
평균값	0.67	13.4	7.65	12.05	724.2	2.6	6.3	3.4	6.6
최소값	0.07	0.0	6.41	4.60	241.0	1.0	3.2	1.5	0.5
최대값	6.00	29.0	8.30	19.07	1,433.0	5.3	12.9	10.1	22.4
표준편차	0.91	7.3	0.38	3.05	290.3	1.1	1.9	1.4	4.7
95%ile	2.21	23.2	8.22	17.36	1261.8	4.6	9.7	6.2	17.1
75%ile	0.68	19.1	7.93	13.78	960.3	3.5	7.7	3.9	9.0
중간값 (median)	0.43	15.4	7.71	12.13	672.0	2.6	6.0	3.1	5.6
25%ile	0.21	6.3	7.39	10.26	487.5	1.6	5.0	2.5	3.0
5%ile	0.14	1.8	6.99	7.03	344.7	1.2	3.7	1.9	1.1
항목	T-N (mg/L)	DTN (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	T-P (mg/L)	DTP (mg/L)	$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	Chl-a (mg/m^3)
평균값	4.819	4.570	0.278	0.268	3.734	0.147	0.124	0.061	9.7
최소값	1.680	1.637	0.000	0.047	1.193	0.023	0.023	0.010	0.8
최대값	14.049	13.065	1.837	2.440	9.884	1.106	0.597	0.182	40.4
표준편차	2.361	2.253	0.338	0.257	1.825	0.119	0.072	0.037	7.6
95%ile	9.284	9.110	1.101	0.587	7.726	0.231	0.211	0.149	25.6
75%ile	5.798	5.473	0.364	0.315	4.476	0.174	0.157	0.081	14.1
중간값 (median)	4.176	4.075	0.152	0.207	3.340	0.134	0.115	0.058	8.1
25%ile	3.258	3.119	0.050	0.151	2.536	0.086	0.071	0.030	3.3
5%ile	1.982	1.887	0.021	0.071	1.462	0.041	0.040	0.016	1.2

임진강 수계의 주요 하천을 분석한 결과, 신천은 다른 하천과 비교하여 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 수질오염물질이 높은 농도로 나타났고 한탄강은 다른 하천에 비해 오염물질이 낮게 나타났다. 특히, 한탄강은 BOD가 1.4 mg/L, COD가 4.0 mg/L, T-N이 3.219 mg/L, T-P가 0.049 mg/L에 비해 신천은 BOD가 5.0 mg/L, COD가 12.3 mg/L, T-N이 7.775 mg/L, T-P가 0.230 mg/L로 큰 폭의 차이가 나타났다. 신천의 평균유량은 1.42 m³/s에 비해 한탄강의 평균유량은 9.70으로 신천이 한탄강으로 합류되어 오염물질의 농도가 희석되는 것으로 파악된다.

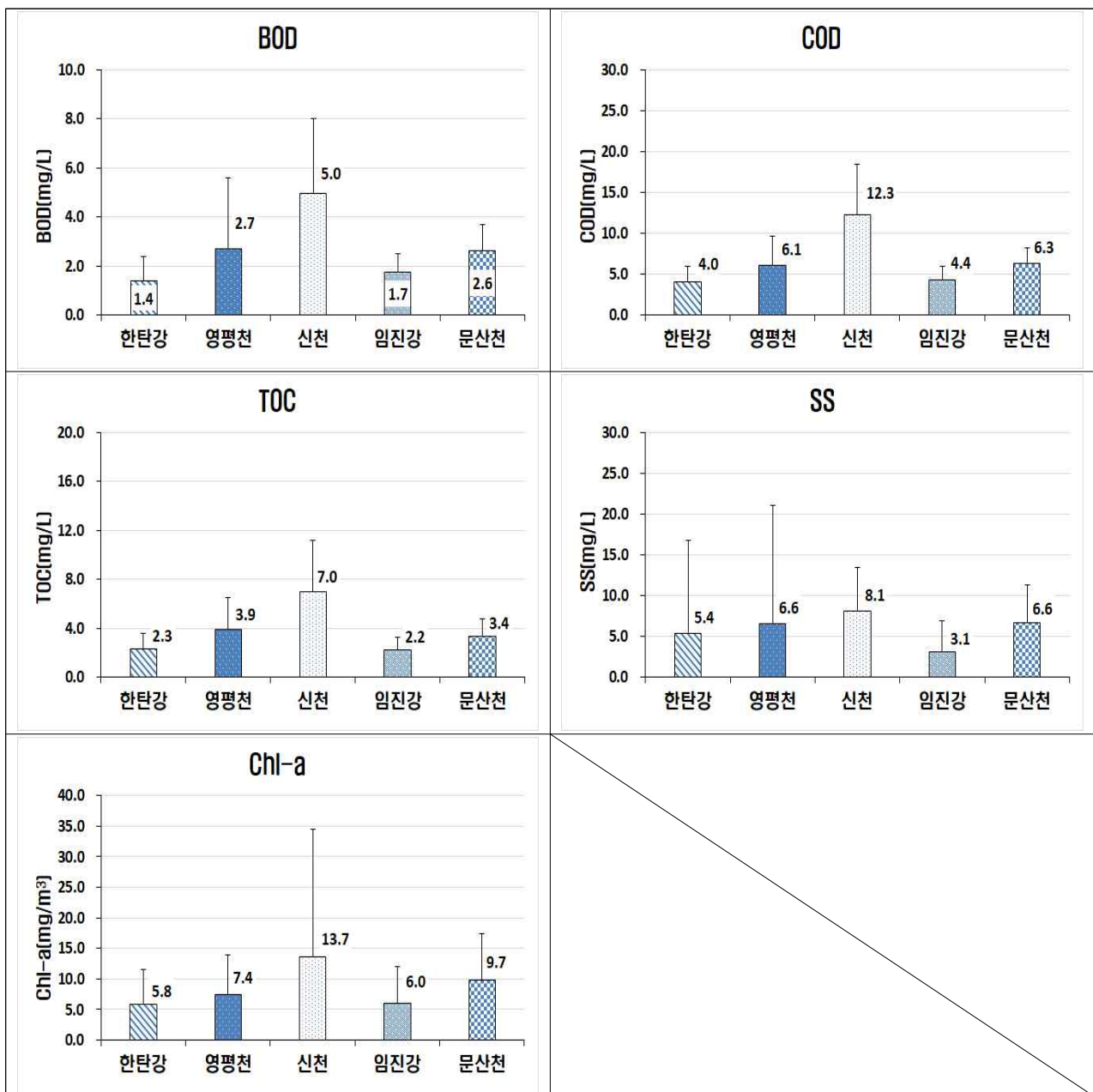


그림 5-116. 임진강 수계의 주요하천별 평균수질(BOD, COD, TOC, SS, 클로로필-a)

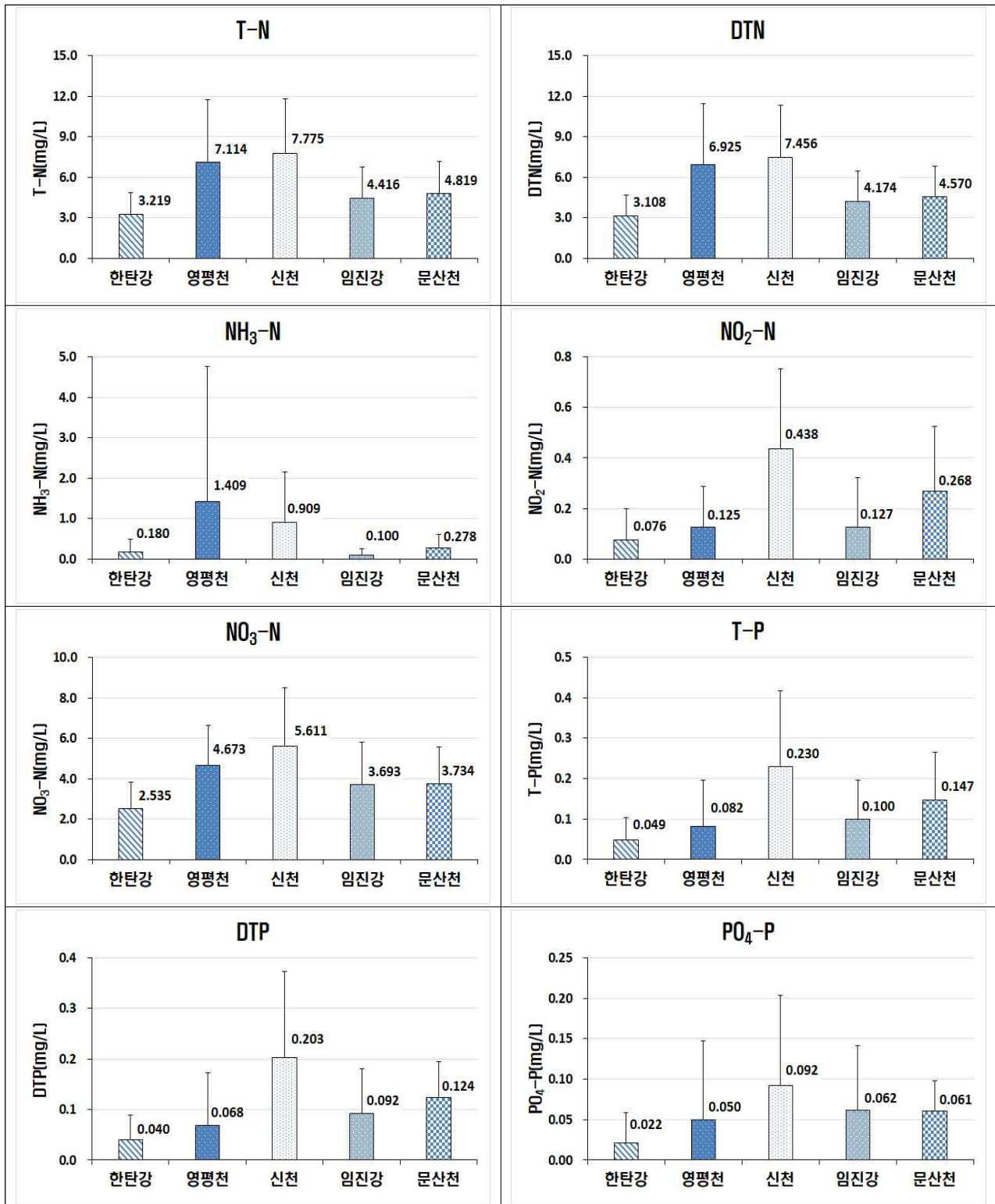


그림 5-117. 임진강 수계의 주요하천별 평균수질(T-N계열, T-P계열)

2. 수질분석 결과 비교 검토

본 연구의 1단계 연구용역인 팔당수질개선본부(2010)에서 수행한 「한강 수계 하천 모니터링」의 분석결과와 본 연구 결과(2단계)를 토대로 임진강 수계의 수질오염물질 항목별로 비교분석하였다.

임진강 수계의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등 14항목에 대해서 1단계 분석결과와 2단계 분석결과의 항목별 평균값을 비교분석하였다. 1단계 분석결과와 2단계 분석결과 모두 수계 내의 모든 데이터로 산술평균을 취하였다.

1단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 17.0℃, pH가 8.03, DO는 8.6 mg/L, 전기전도도는 417.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 3.9 mg/L, COD는 6.2 mg/L, SS는 16.9 mg/L, 클로로필-a는 10.9 mg/m^3 , $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 1.158 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.090 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 2.575 mg/L, T-N은 4.845 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 0.082 mg/L, T-P는 0.127 mg/L로 나타났다.

2단계 수질 분석결과의 항목별 평균값은 수온이 12.9℃, pH가 8.23, DO는 10.9 mg/L, 전기전도도는 592.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, BOD는 2.5 mg/L, COD는 6.1 mg/L, SS는 3.5 mg/L, 클로로필-a는 0.1 mg/m^3 , $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 5.634 mg/L, $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 0.624 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 0.179 mg/L, T-N은 4.012 mg/L, $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 5.448 mg/L, T-P는 0.057 mg/L로 나타났다.

1단계와 2단계 조사를 비교한 결과 DO와 전기전도도가 약간 증가하였고 BOD와 SS, 클로로필-a, T-P, $\text{NO}_3\text{-N}$ 이 크게 감소하여 2011년도에 비해 수질이 상당히 개선된 것으로 파악된다.

1996년 6월 한탄강 신천 합류지점에서 물고기 떼죽음 사태, 한탄강 인근 피혁·염색·도금 업체들이 폐수를 무단으로 방류하는 등 환경문제가 발생하였다. 이를 개선하기 위해 환경부, 지자체, 환경단체가 협력하여 수질개선사업을 진행하였다. 그 대책으로 경기 포천과 연천 등 이들 강 유역에 있는 한센인촌 2곳을 지방산업단지로 지정하여 76개의 무허가 배출시설을 폐업시켰다. 또한 수질개선 대책으로 생태하천 유원지 및 공원 조성, 무허가 시설 단속, 불법 축산폐수 및 폐기물 방류 단속, 하천정화사업 등 많은 노력을 하며 수질개선에 이바지하고 있다.

이러한 노력으로 인해서 임진강 수계의 수질개선이 되었기 때문에 1단계 모니터링 결과보다 2단계 모니터링 결과에서 더 좋은 수질을 보이고 있는 것으로 보인다. 특히, BOD가 2011년에는 3.9 mg/L에서 2018년에는 2.5 mg/L로 개선되었고 공공하수처리시설의 시설개선, T-P 기준 강화 등으로 인해서 T-P도 0.127 mg/L에서 0.057 mg/L로 수질이 개선된 것으로 나타났다.

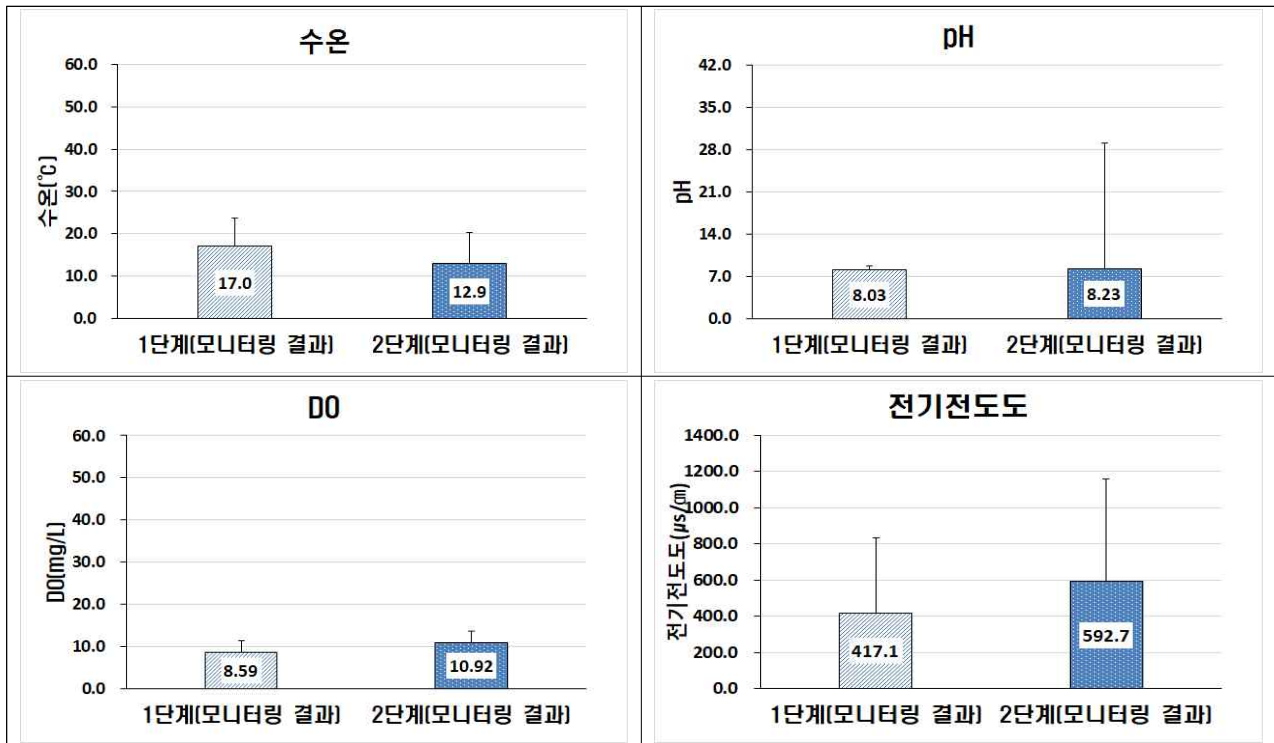


그림 5-118. 임진강 수계의 수온, pH, DO, 전기전도도 분석 결과

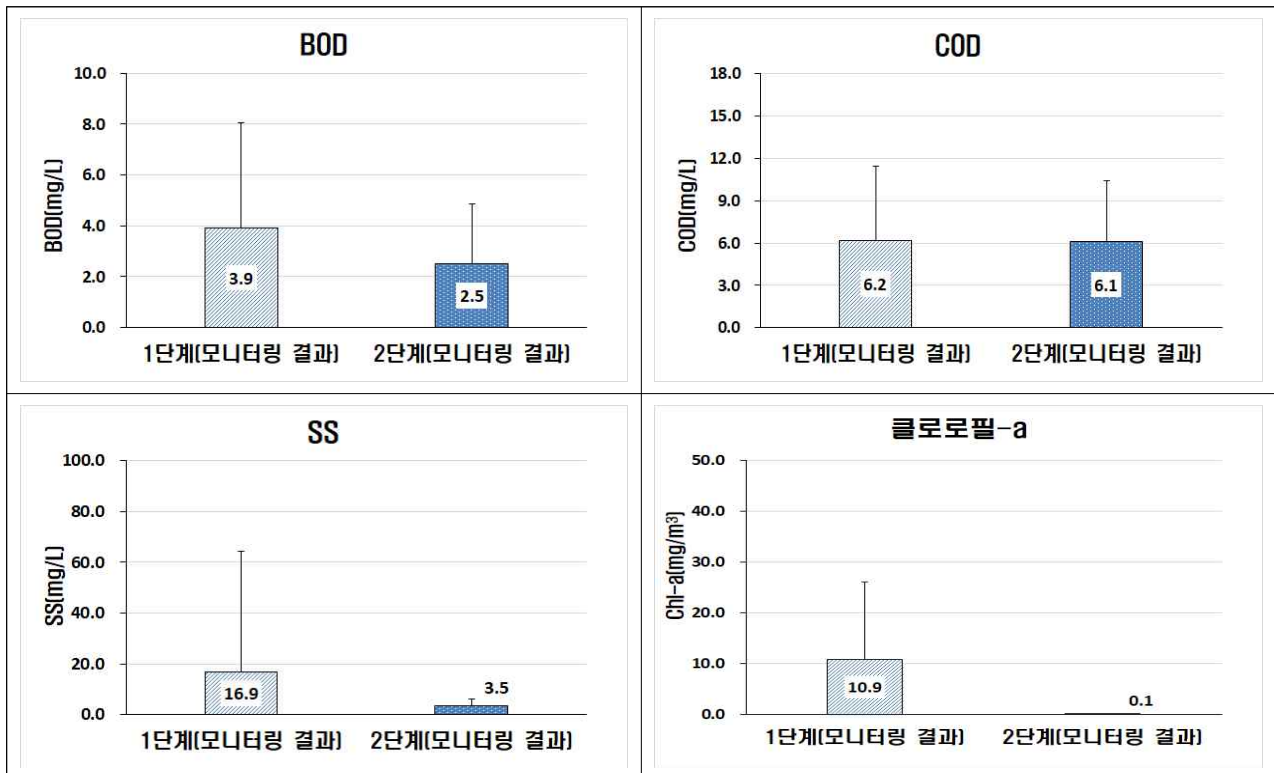


그림 5-119. 임진강 수계의 BOD, COD, SS, 클로로필-a 분석 결과

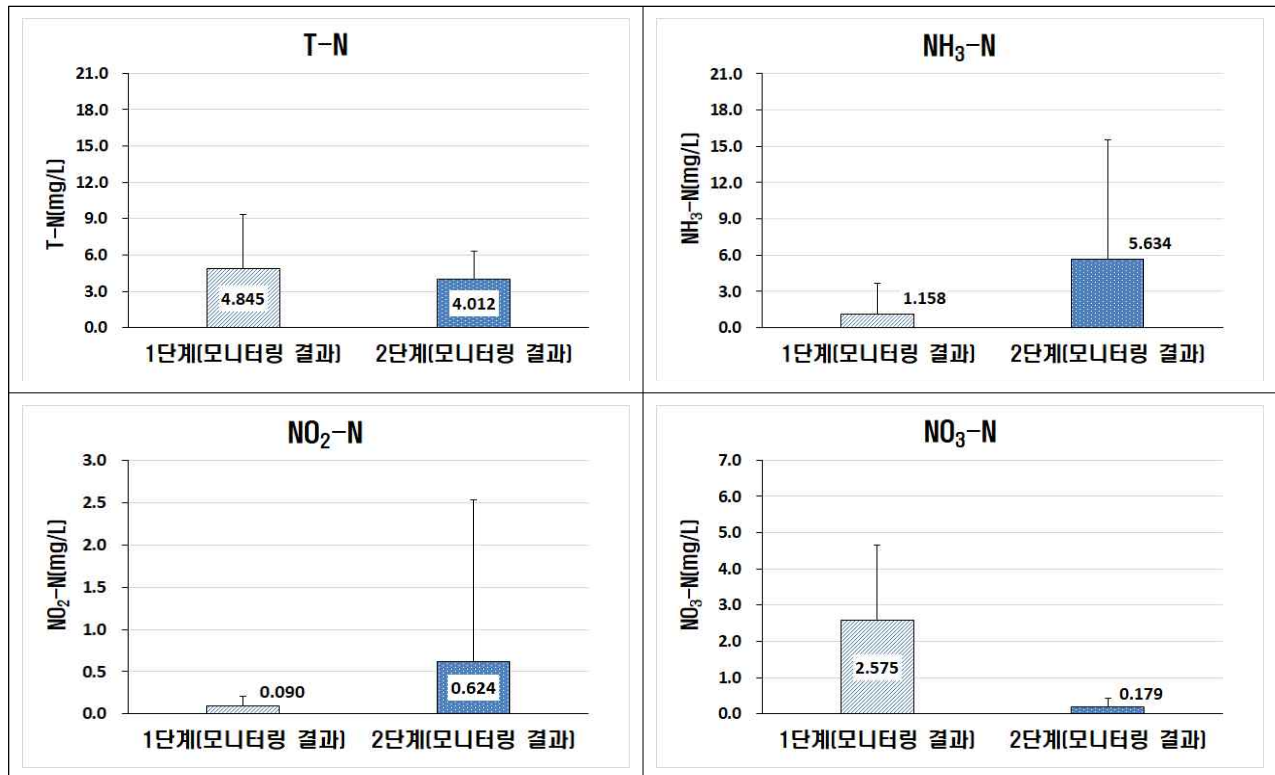


그림 5-120. 임진강 수계의 T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N 분석 결과

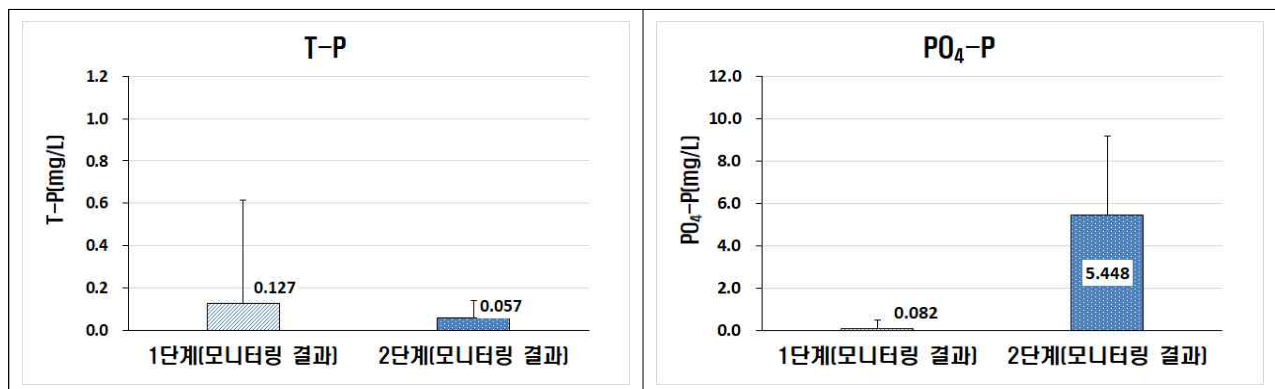


그림 5-121. 임진강 수계의 T-P, PO₄-P 분석 결과

3. 단위유역별 수질조사/측정 자료의 통계분석 결과

1) 문산A 단위유역(3개 지점)

(1) 문산A 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-104 봉암교

경기-104 (봉암교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-41>에 나타내었다. 경기-104 (봉암교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - SS, BOD - TP는 피어슨 상관계수가 0.4529, 0.4958 로 수질항목간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다. BOD - TN는 피어슨 상관계수가 0.3953 으로 수질항목간 상관관계가 있으나 낮은 것으로 나타났다. BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.7657 로 수질항목간 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

표 5-41. 경기-104 (봉암교) 지점의 상관성분석 결과

입진강수계(경기-104, 봉암교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.4529	0.3953	0.4958	0.7657
결정계수(R ²)	0.2051	0.1563	0.2458	0.5863

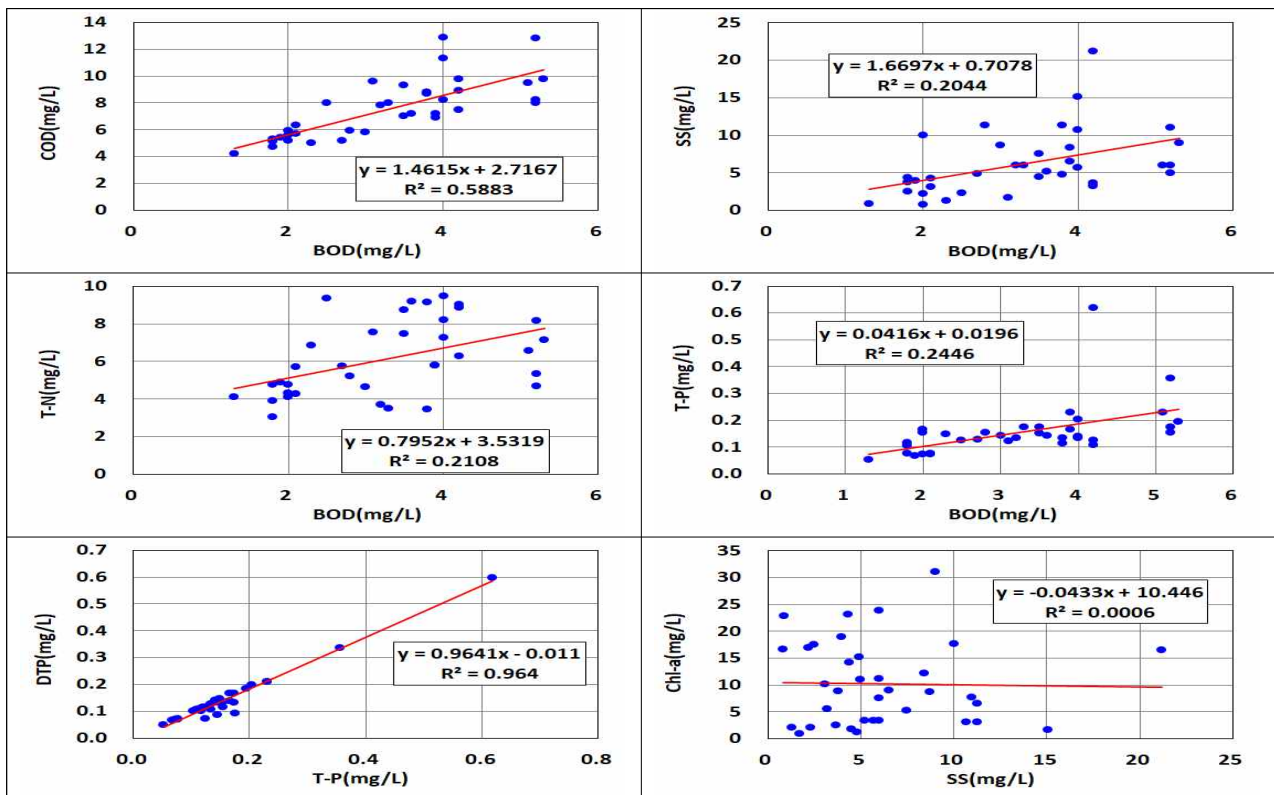


그림 5-122. 경기-104 (봉암교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 문산A 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-104 봉암교

경기-104 (봉암교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0.11 \sim 2.22 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 7.00% 이하였으며 평균 5.53% ($4.79 \sim 6.08\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 8.86% ($6.59 \sim 9.97\%$)로 나타났다. 하상재료가 대부분 바위이며, 수심이 일정하지 않은 편이다. 특이사항으로는 여름철 강우 시 유속이 빨라 주의 하여야 하고, 간혹 물이 많이 탁해지는 것이었다. 측정 지점은 갈곡천 하류 부분이며, 문산천을 본류로 한다. 상류 방향으로 상방천이 흐르고 있다.

경기-104 (봉암교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.68 ($6.74 \sim 8.29$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 12.09 mg/L ($5.61 \sim 19.07 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $815.3 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($365.0 \sim 1160.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-104 (봉암교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 3.3 mg/L ($1.3 \sim 5.3 \text{ mg/L}$), COD는 평균 7.5 mg/L ($4.2 \sim 12.9 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 4.2 mg/L ($2.0 \sim 10.1 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-104 (봉암교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 6.300 mg/L ($3.046 \sim 11.904 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 5.972 mg/L ($2.992 \sim 11.760 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.447 mg/L ($0.018 \sim 1.837 \text{ mg/L}$), $\text{N O}_2\text{-N}$ 은 평균 0.375 mg/L ($0.172 \sim 1.003 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 4.826 mg/L ($2.516 \sim 9.884 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 조사결과 질소는 동절기에 증가하는 경향을 보였다.

경기-104 (봉암교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.155 mg/L ($0.052 \sim 0.618 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.138 mg/L ($0.048 \sim 0.597 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.057 mg/L ($0.014 \sim 0.182 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 12회차 조사 시 농경지 비료 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-104 (봉암교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 25.0 mg/L 이하였으며 평균 6.1 mg/L ($0.8 \sim 21.2 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 35.0 mg/m^3 이하였으며 평균 10.0 mg/m^3 ($0.9 \sim 31.1 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

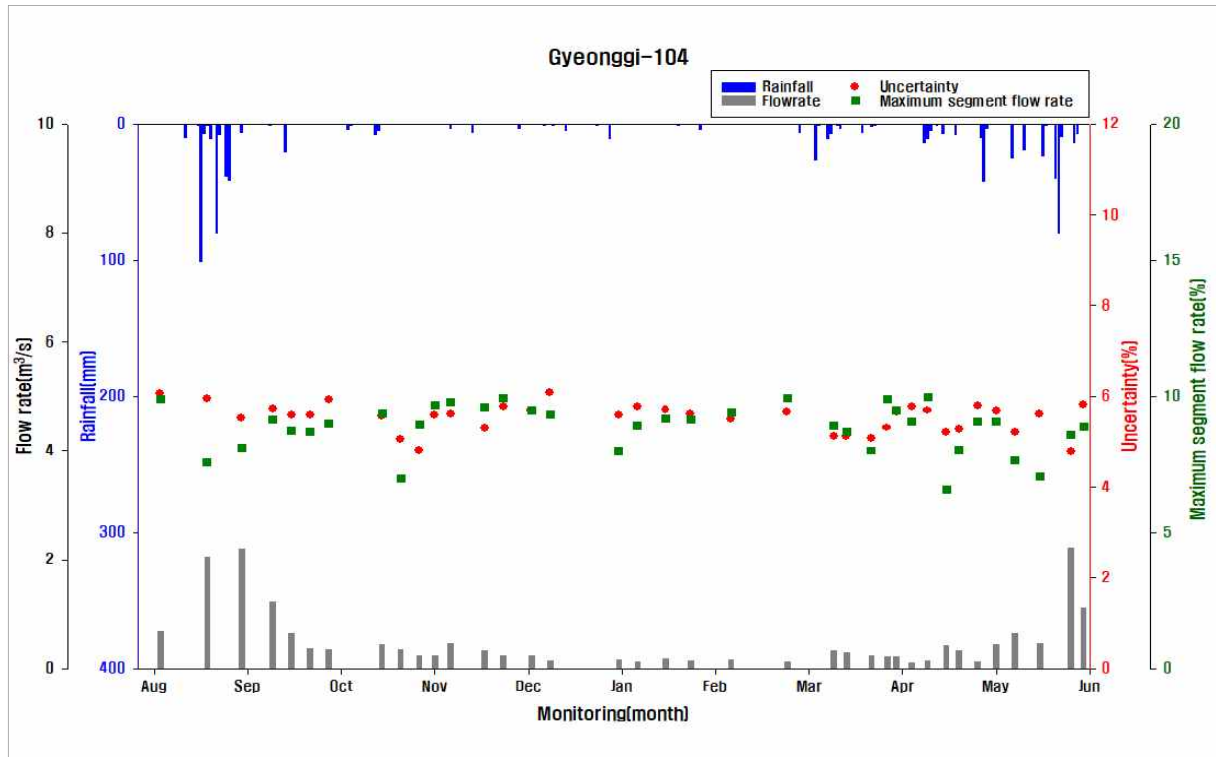


그림 5-123. 경기-104 (봉암교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

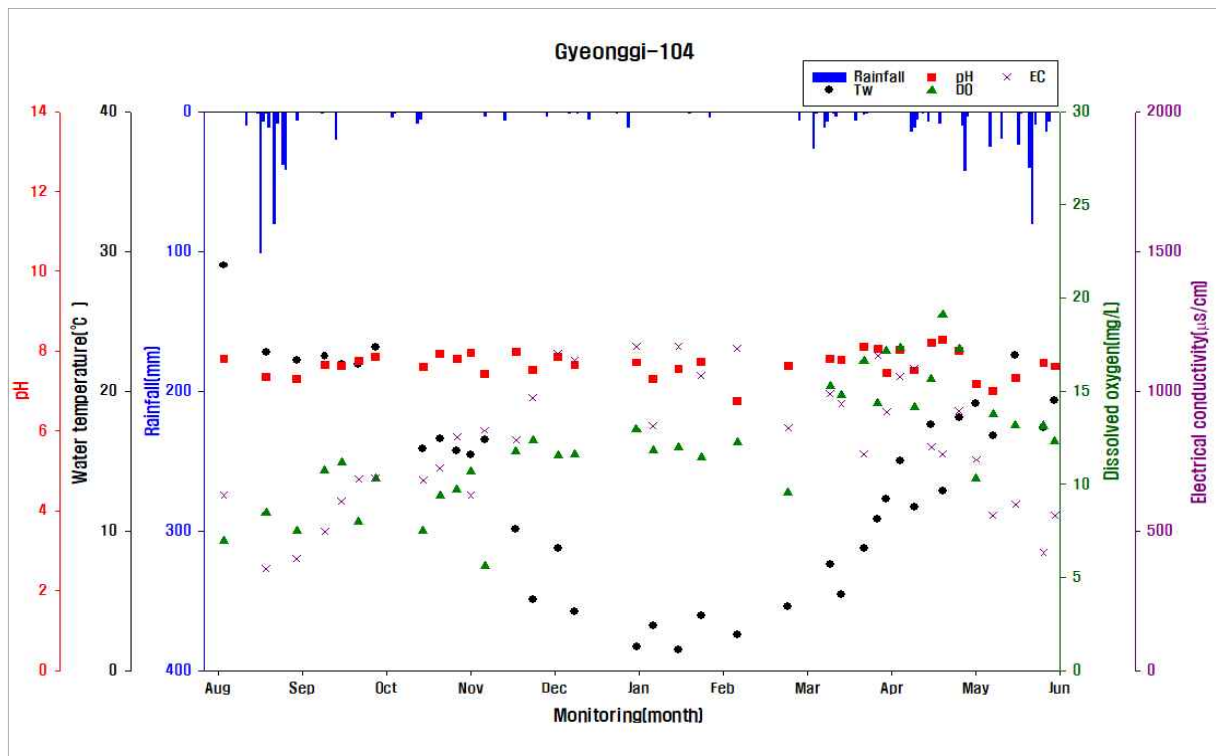


그림 5-124. 경기-104 (봉암교) 지점의 현장측정 결과

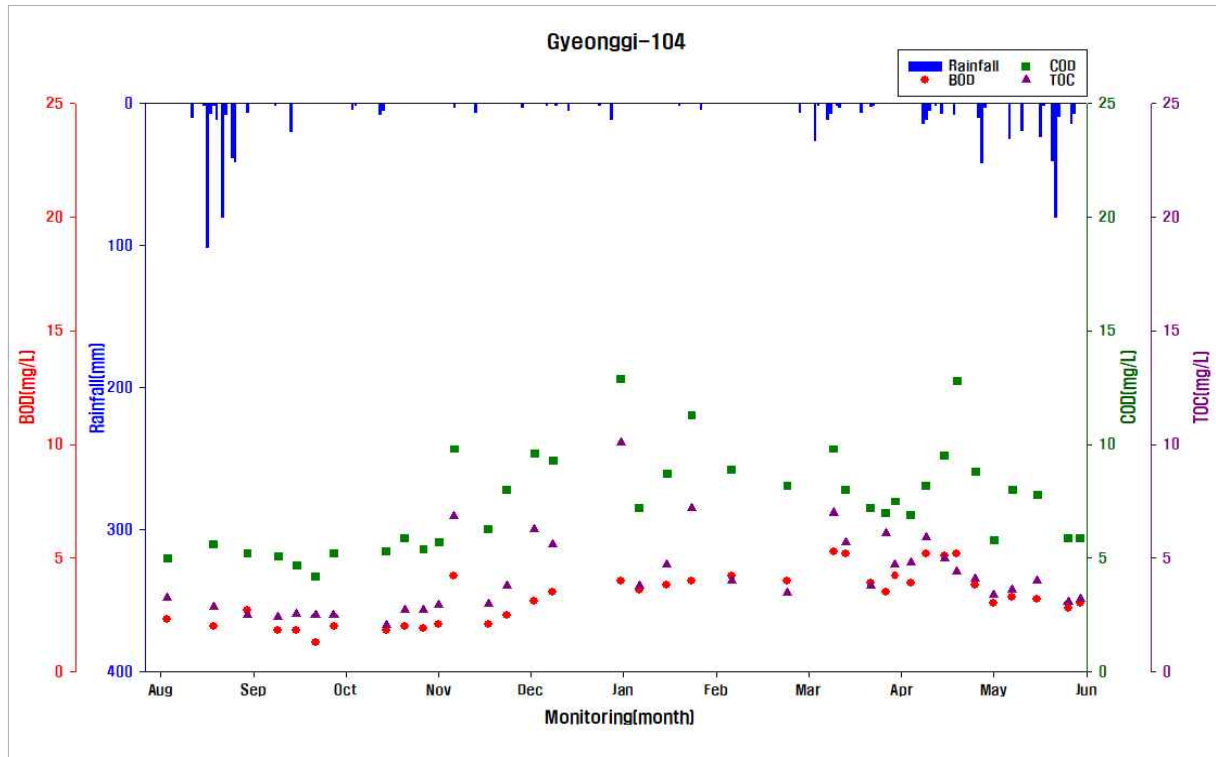


그림 5-125. 경기-104 (봉암교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

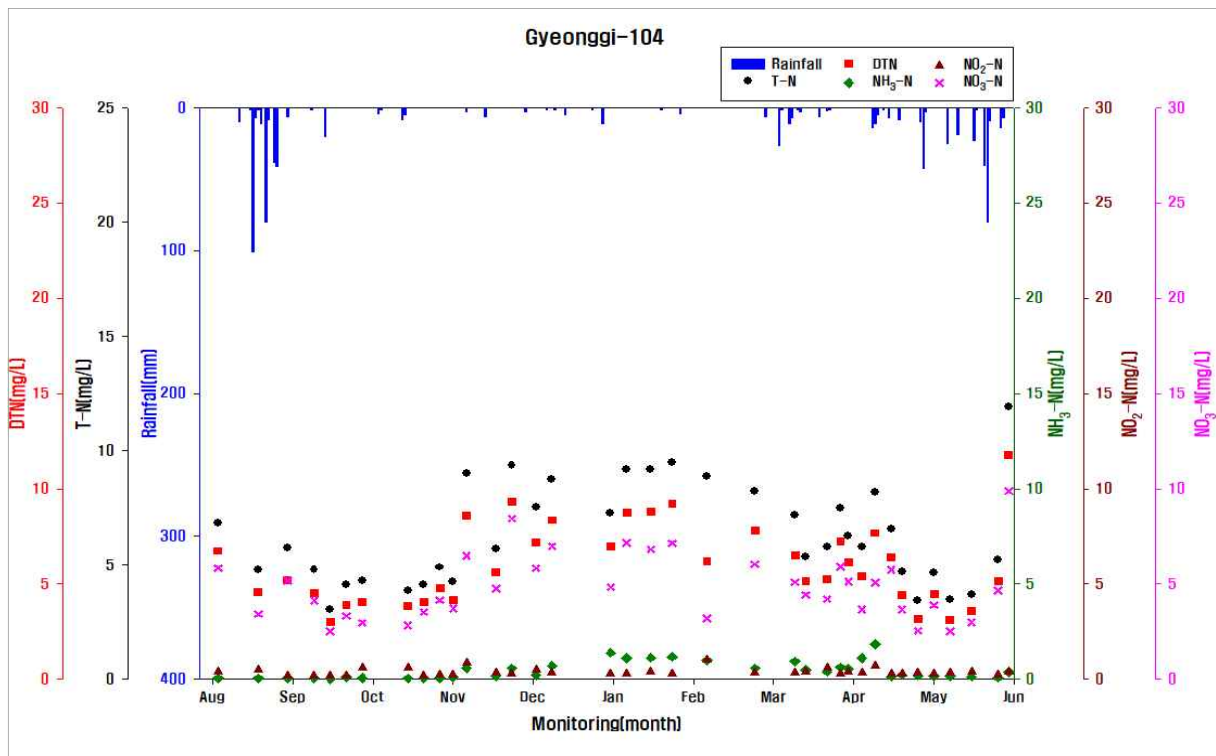


그림 5-126. 경기-104 (봉암교) 지점의 T-N 계열 결과

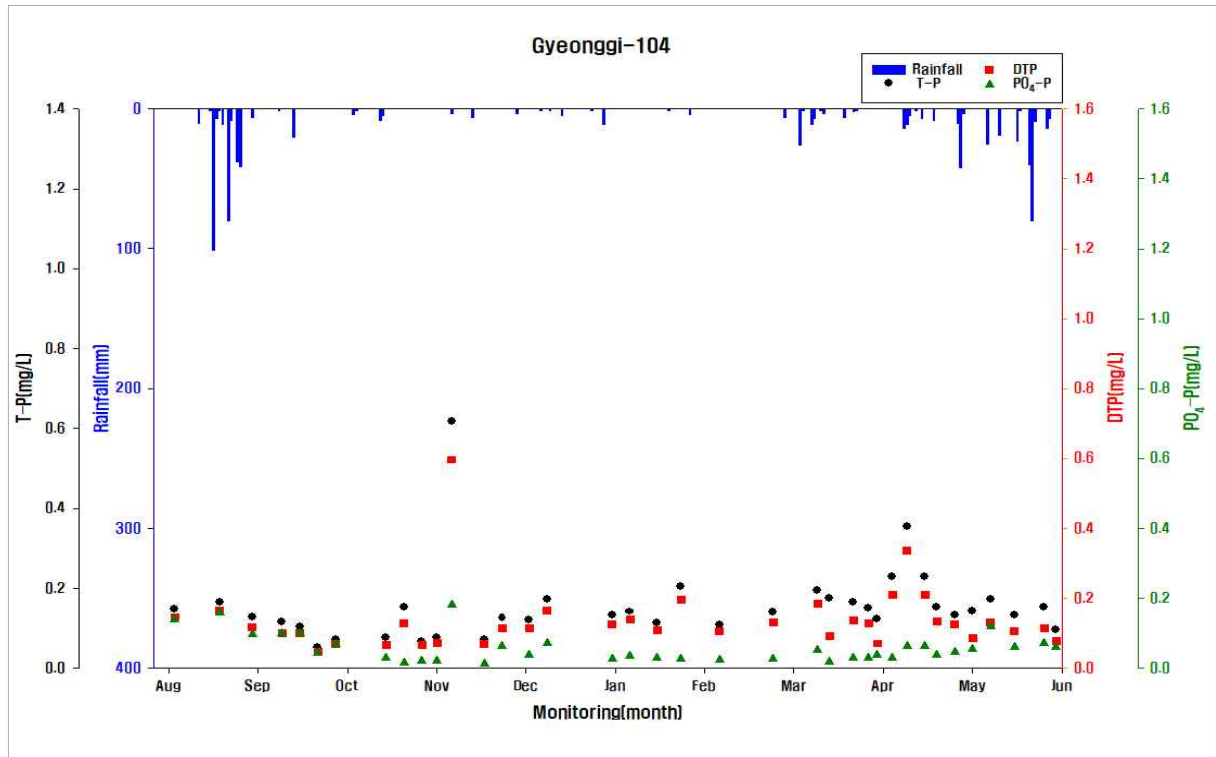


그림 5-127. 경기-104 (봉암교) 지점의 T-P 계열 결과

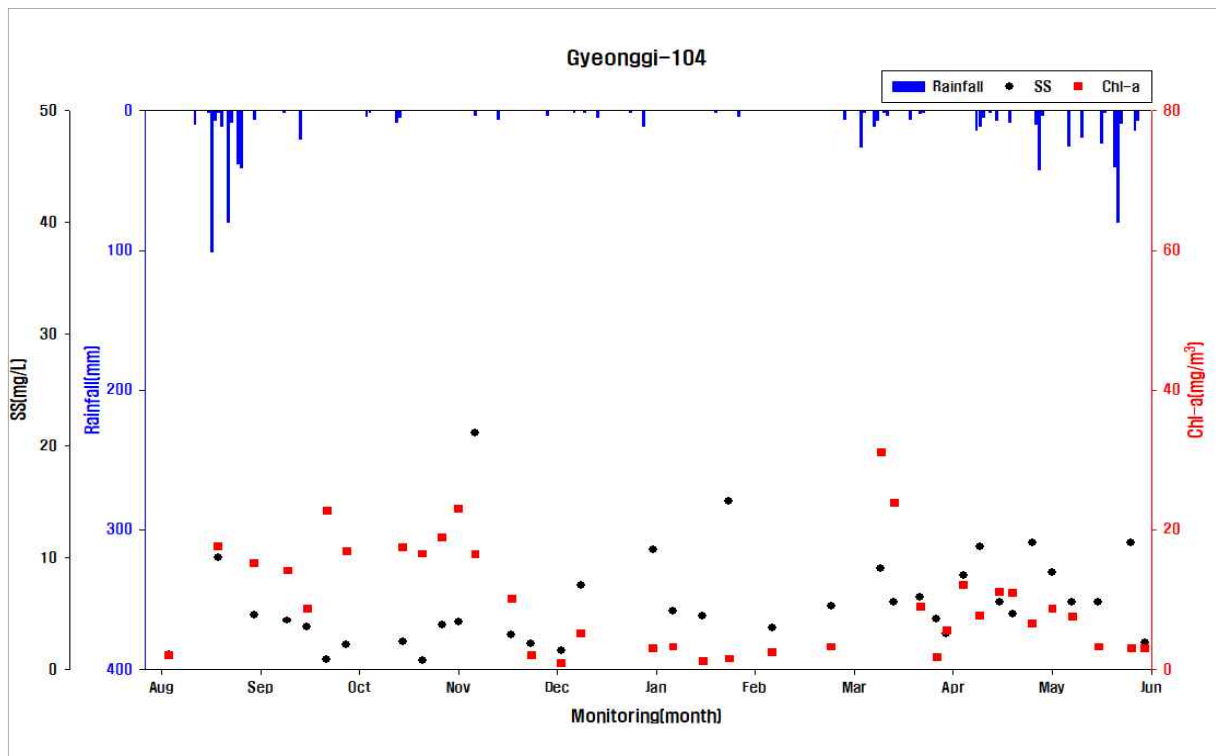


그림 5-128. 경기-104 (봉암교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 문산A 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

임진강 수계 문산A 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-129>~<그림 5-130>에 나타내었다. 문산A 단위유역은 본류인 임진강을 중심으로 갈곡천, 동문천, 문산천-1 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 문산A 단위유역의 3개 측정지점(봉암교, 문산1교, 월릉교)의 BOD는 각각 3.3 mg/L, 2.5 mg/L, 2.1 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.155 mg/L, 0.199 mg/L, 0.086 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 3지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 약간 좋음(Ⅱ) 2지점(66.6%), 보통(Ⅲ) 1지점(33.3%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(갈곡천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 약간 좋음(Ⅱ) 1지점(33.3%), 보통(Ⅲ) 2지점(66.6%)으로 나타났으며, 관리대상하천 2지점(갈곡천, 동문천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

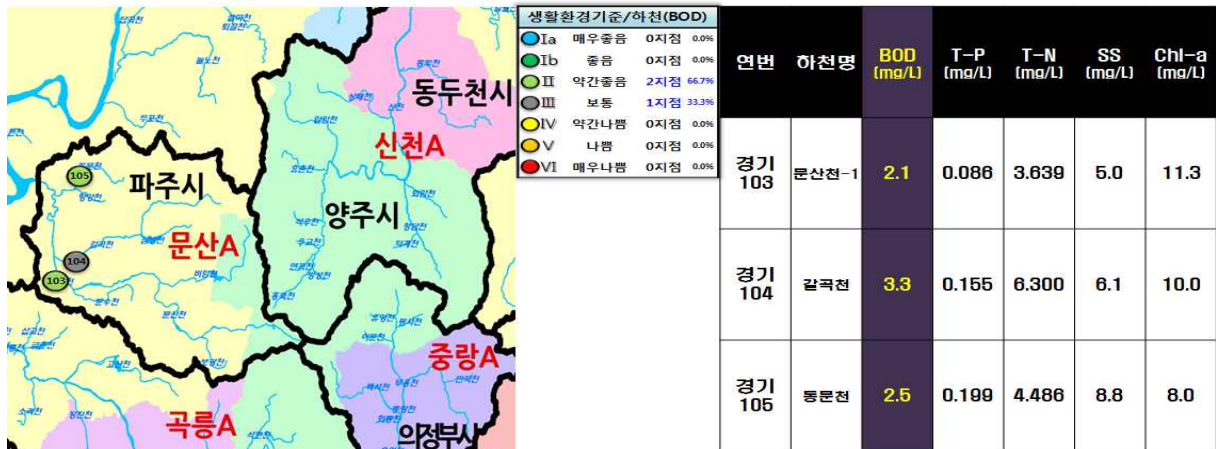


그림 5-129. 문산A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

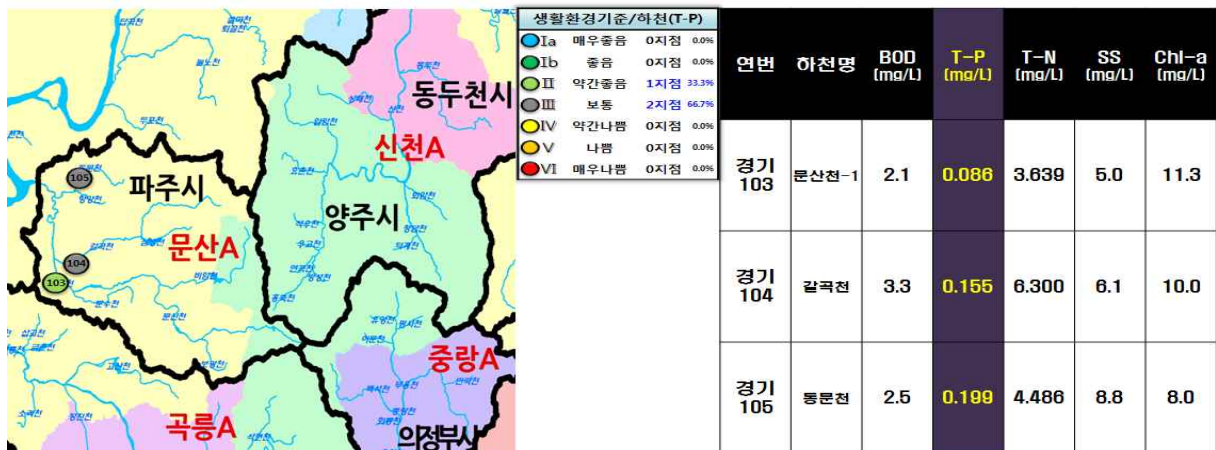


그림 5-130. 문산A 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 문산A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

문산A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-42>에 나타내었다.

문산A 단위유역은 본류인 문산천을 중심으로 갈곡천, 동문천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-문산A가 있다. 문산A 단위유역의 3개 측정지점(봉암교, 문산1교, 월릉교)의 BOD는 각각 3.3 mg/L, 2.5 mg/L, 2.1 mg/L로 수질총량측정망 자료인 3.4 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. T-P는 각각 0.155 mg/L, 0.199 mg/L, 0.086 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.193 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.50 m³/s, 0.31 m³/s, 1.22 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 3.25 m³/s로 측정되었다. 문산A 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-42. 문산A 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-103. 월릉교	2.1	0.086	1.22
경기-104. 봉암교	3.3	0.155	0.50
경기-105. 문산1교	2.5	0.199	0.31
총량측정망 - 문산A	3.4	0.193	3.25

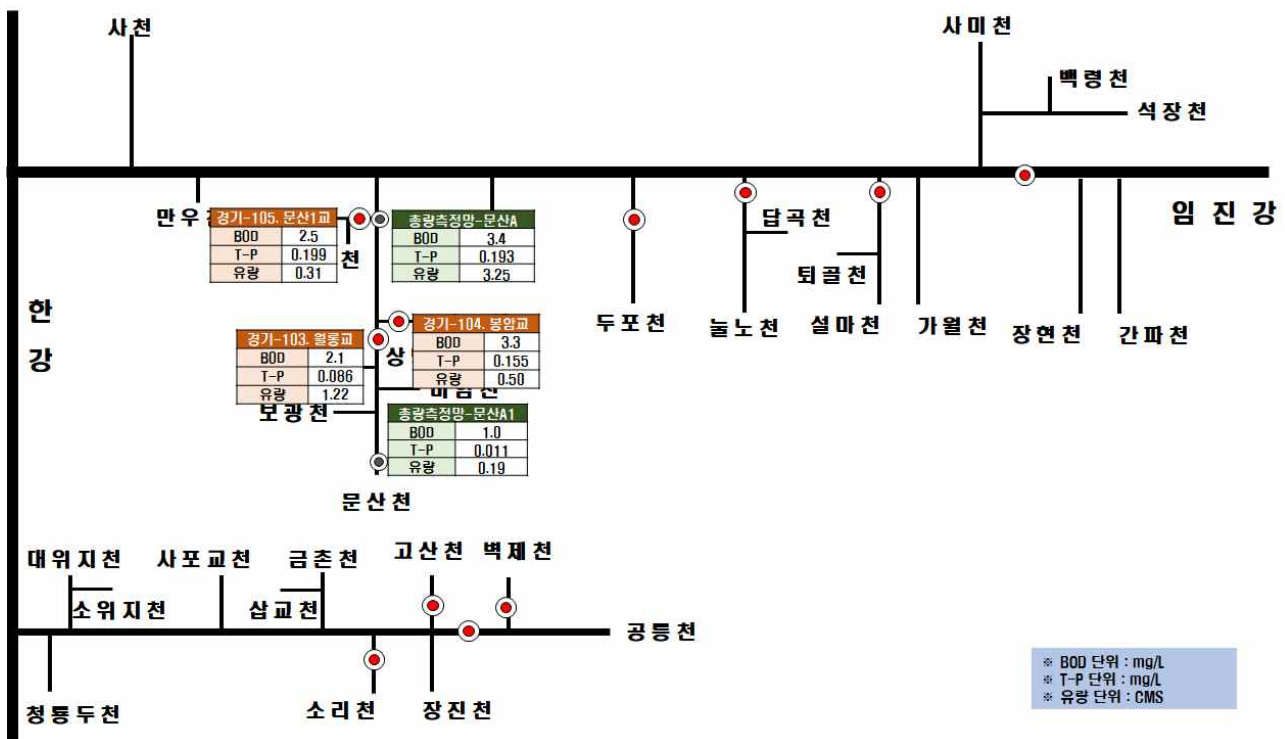


그림 5-131. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(문산A)

(5) 문산A 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-104 봉암교

경기-104(봉암교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-132>에 나타내었다.

경기-104(봉암교) 지점에서는 36회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 0.48 m³/s였던 유량이 2.22 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 536.8 kg/day, COD 부하량은 1,131.1 kg/day, SS 부하량은 2,166.4 kg/day, T-N 부하량은 1,003.0 kg/day, T-P 부하량은 29.5 kg/day로 나타났다.

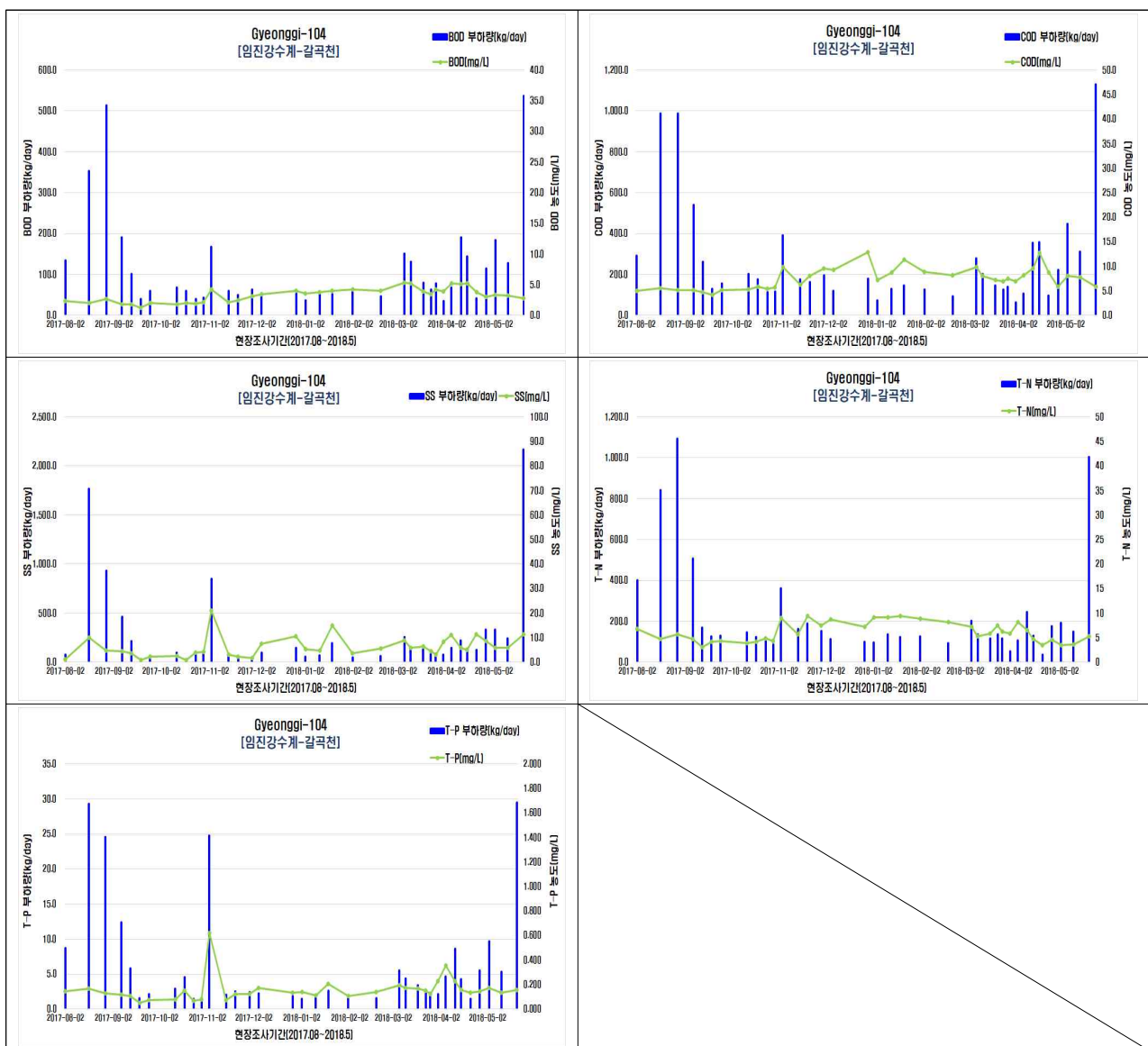


그림 5-132. 경기-104 (봉암교) 지점의 오염부하량 산정결과

2) 한탄B 단위유역(6개 지점)

(1) 한탄B 단위유역의 수질항목간 상관성 분석

(가) 경기-131 용담교

경기-131 (용담교) 지점의 상관성 분석을 실시한 결과를 <표 5-43>에 나타내었다. 경기-131 (용담교) 지점의 상관성 분석 결과, BOD - TN, 는 피어슨 상관계수가 0.1606 으로 수질항목간 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. BOD - SS, BOD - TP, BOD - COD는 피어슨 상관계수가 0.4517, 0.4075, 0.6957 으로 수질항목간 상관관계가 약간 있는 것으로 나타났다.

표 5-43. 경기-131 (용담교) 지점의 상관성분석 결과

입진강수계(경기-131, 용담교)	BOD - SS	BOD - TN	BOD - TP	BOD - COD
피어슨(Pearson) 상관계수(R)	0.4517	0.1606	0.4075	0.6957
결정계수(R ²)	0.2040	0.0258	0.1660	0.4840

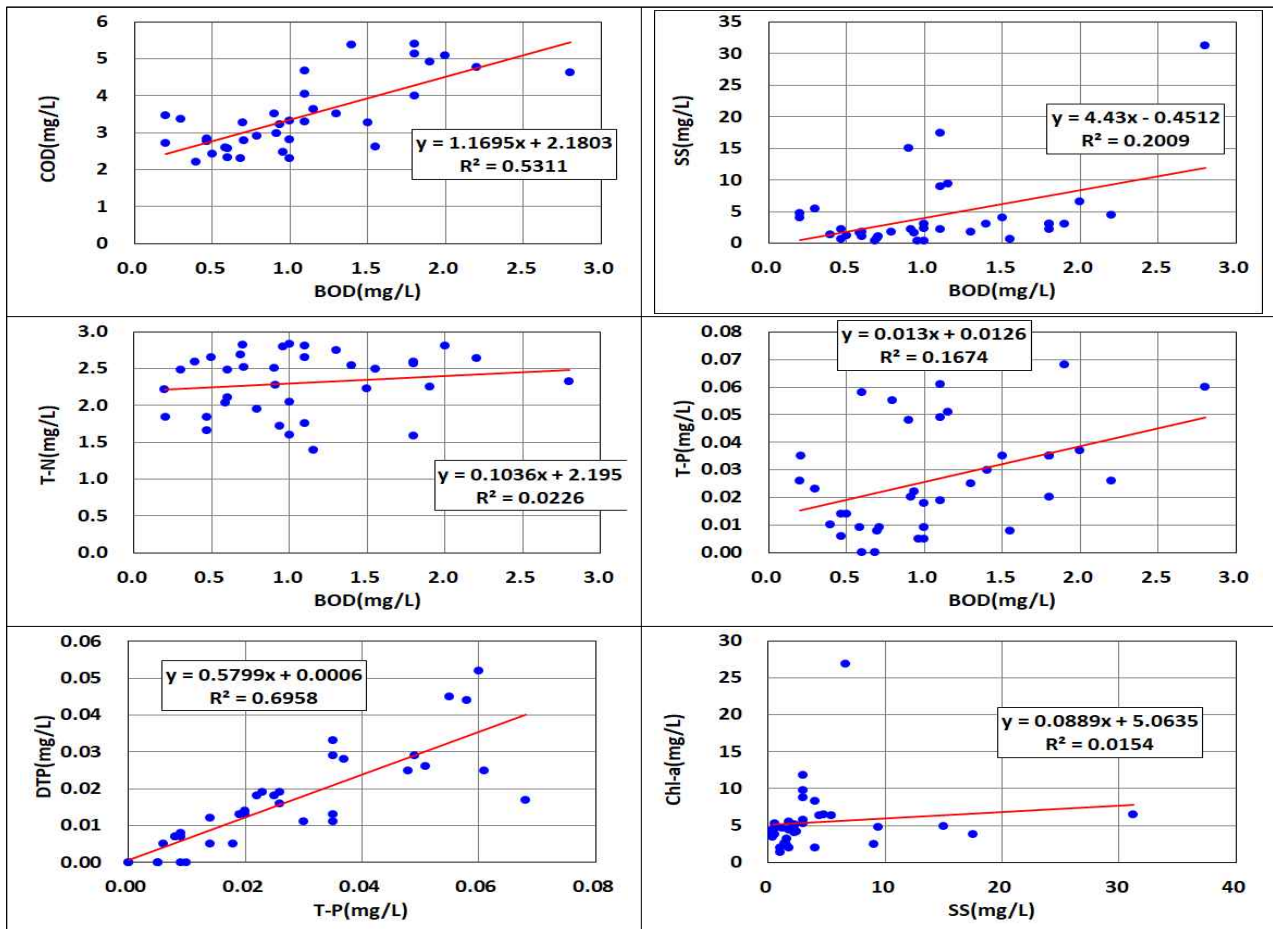


그림 5-133. 경기-131 (용담교) 지점의 상관성분석 결과

(2) 한탄B 단위유역의 수질의 시간적 변화특성 분석

(가) 경기-131 용담교

경기-131 (용담교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과를 살펴보면 유량은 전체적으로 $75.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 이하였으며 평균 $12.38 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.94 \sim 74.74 \text{ m}^3/\text{s}$)로 나타났다. 불확실도는 전체적으로 6.00% 이하였으며 평균 4.63% ($3.59 \sim 5.59\%$)로 나타났다. 최대구간유량비는 전체적으로 10.00% 이하였으며 평균 6.88% ($4.73 \sim 10.00\%$)로 나타났다. 하상재료가 돌로 구성되어 있으며, 하상이 불규칙하다. 특이사항으로는 지류측정과 자동측정망을 통한 물수지법으로 유량을 산정하고 있었으나, 갈수기에 분류 도섭법이 가능한 경우 실측을 진행하였다(11, 13, 14회차). 또한 분류 도섭법을 하는 지점의 하상은 바위와 자갈이며, 하폭이 크고 유속이 매우 빠르다. 측정 지점은 분류인 한탄강과 동일 하천이며, 주변 하천으로는 용화천, 자일천, 부소천 등이 있다.

경기-131 (용담교) 지점의 현장측정 결과를 살펴보면 pH는 전체적으로 비슷한 값을 보였으며 평균 7.79 ($7.07 \sim 8.50$)로 나타났다. DO는 동절기에 온도 감소에 따라 증가하는 경향을 보였으며 평균 11.09 mg/L ($7.88 \sim 14.88 \text{ mg/L}$)로 나타났다. 전기전도도는 전체적으로 DO와 비슷한 경향을 보였으며 평균 $156.6 \text{ } \mu\text{S/cm}$ ($105.0 \sim 195.0 \text{ } \mu\text{S/cm}$)로 나타났다.

경기-131 (용담교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과를 살펴보면 BOD는 평균 1.1 mg/L ($0.2 \sim 2.8 \text{ mg/L}$), COD는 평균 3.4 mg/L ($2.1 \sim 5.4 \text{ mg/L}$), TOC는 평균 2.0 mg/L ($1.0 \sim 4.4 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-131 (용담교) 지점의 T-N 계열 결과를 살펴보면 T-N은 평균 2.321 mg/L ($1.390 \sim 2.889 \text{ mg/L}$), DTN은 평균 2.277 mg/L ($1.331 \sim 2.852 \text{ mg/L}$), $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 평균 0.118 mg/L ($0.007 \sim 0.558 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 평균 0.028 mg/L ($0.006 \sim 0.078 \text{ mg/L}$), $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 평균 1.861 mg/L ($1.100 \sim 2.500 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다.

경기-131 (용담교) 지점의 T-P 계열 결과를 살펴보면 T-P는 평균 0.026 mg/L ($0.000 \sim 0.068 \text{ mg/L}$), DTP는 평균 0.016 mg/L ($0.000 \sim 0.052 \text{ mg/L}$), $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 평균 0.007 mg/L ($0.000 \sim 0.041 \text{ mg/L}$)의 값을 각각 나타냈다. 28회차 조사 시 농경지 비료 등의 비점오염원 유입으로 인해 T-P가 일시적으로 높은 값을 보인 것으로 나타났다.

경기-131 (용담교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과를 살펴보면 SS는 전체적으로 35.0 mg/L 이하였으며 평균 4.4 mg/L ($0.4 \sim 31.3 \text{ mg/L}$)의 값을 보였으며, Chl-a는 전체적으로 30.0 mg/m^3 이하였으며 평균 5.4 mg/m^3 ($1.4 \sim 26.8 \text{ mg/m}^3$)로 나타났다. SS는 강우 초기에 증가하고, Chl-a는 동절기에 감소하는 계절적인 영향을 보였다.

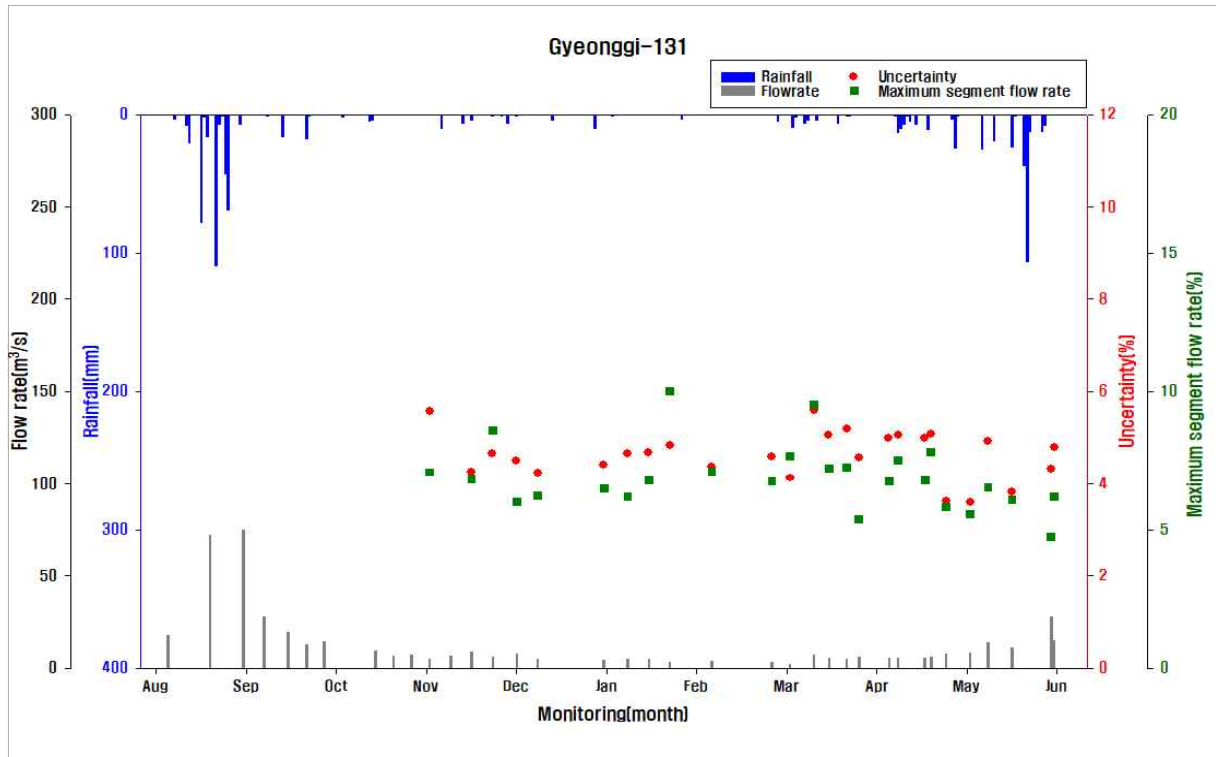


그림 5-134. 경기-131 (용담교) 지점의 유량, 불확실도 및 최대구간유량비 결과

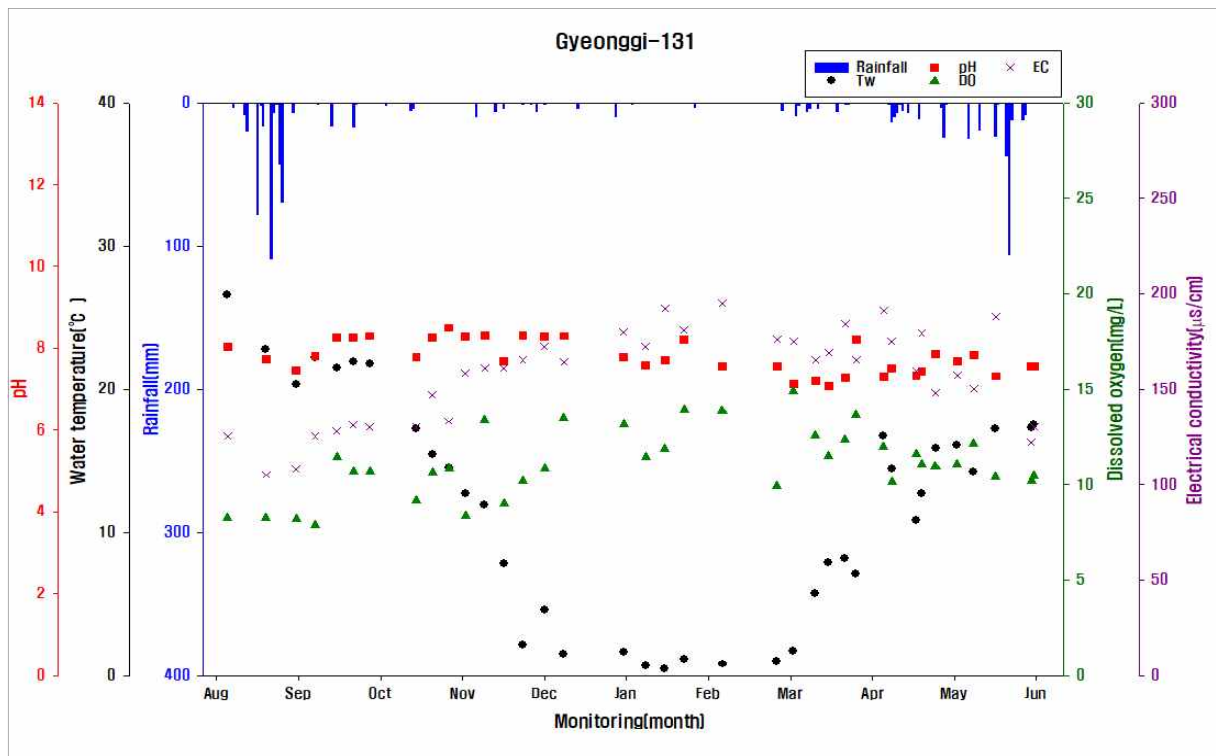


그림 5-135. 경기-131 (용담교) 지점의 현장측정 결과

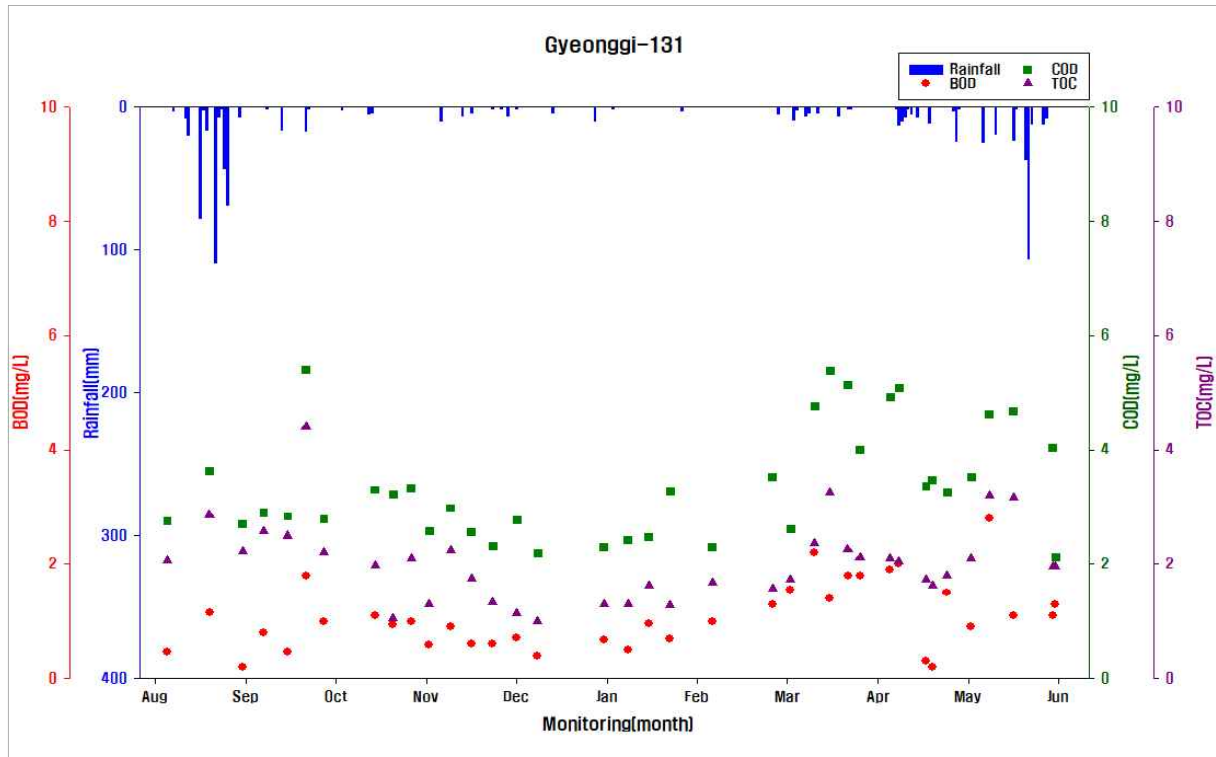


그림 5-136. 경기-131 (용담교) 지점의 BOD, COD, TOC 결과

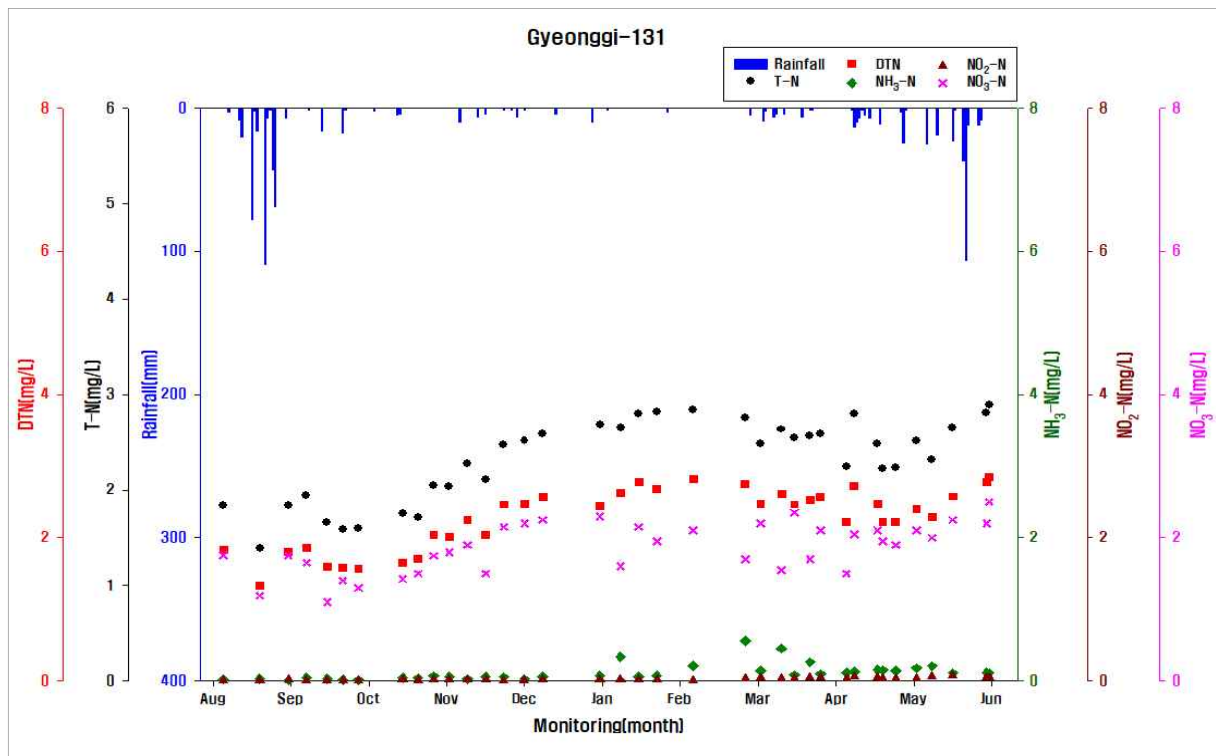


그림 5-137. 경기-131 (용담교) 지점의 T-N 계열 결과

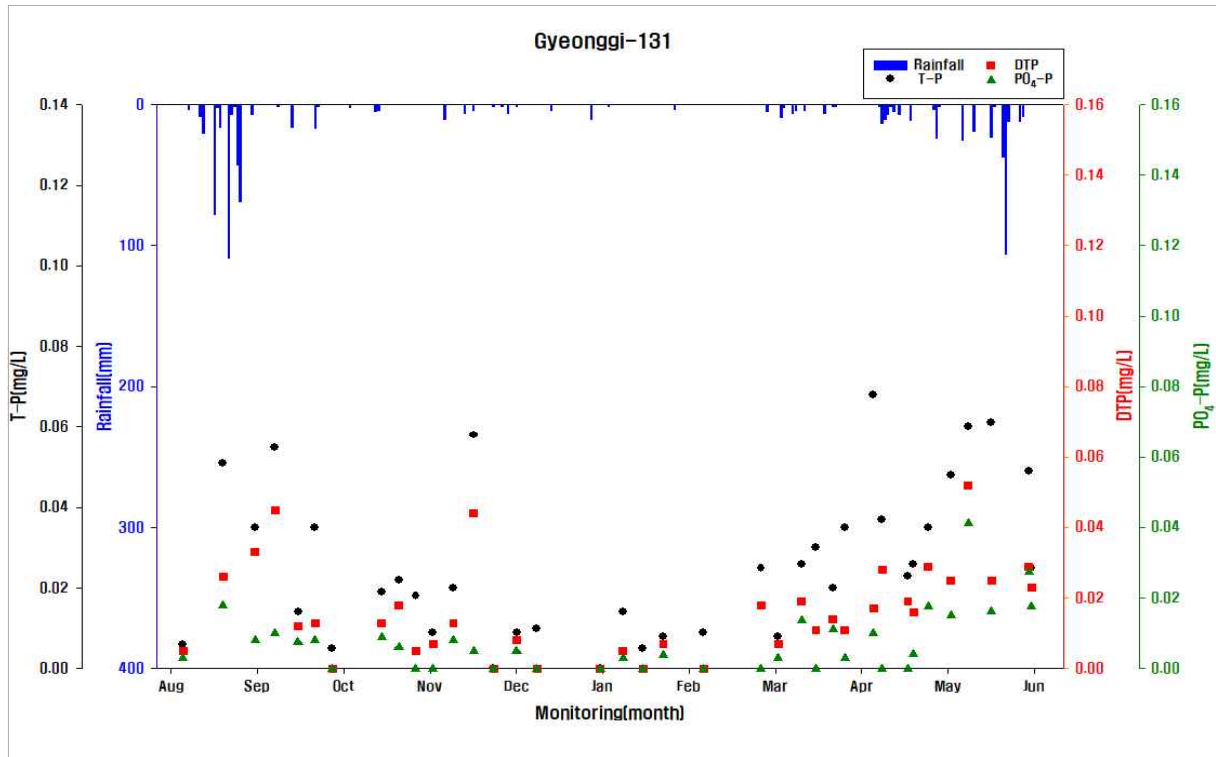


그림 5-138. 경기-131 (용담교) 지점의 T-P 계열 결과

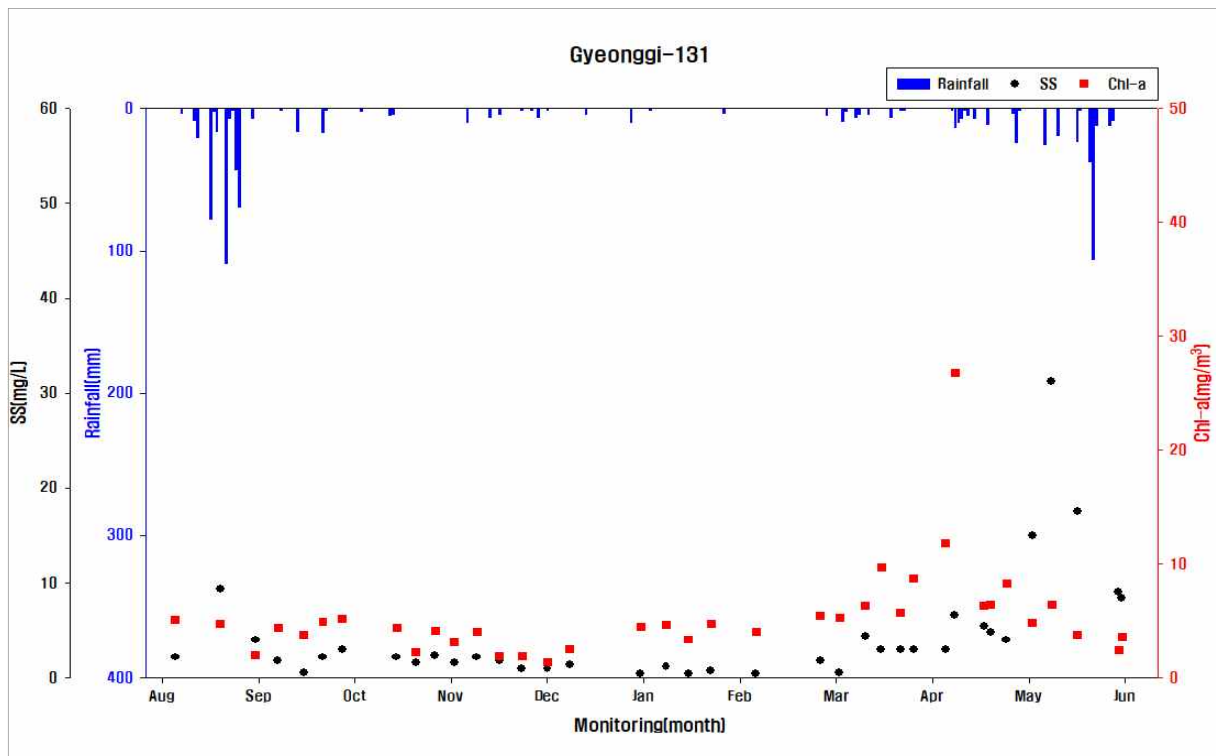


그림 5-139. 경기-131 (용담교) 지점의 SS, Chl-a 계열 결과

(3) 한탄B 단위유역의 수질의 공간적 변화특성 분석

임진강 수계 한탄B 단위유역의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 5-140>~<그림 5-141>에 나타내었다. 한탄B 단위유역은 본류인 한강을 중심으로 부소천, 차탄천, 한탄강-1, 한탄강-2, 한탄강-3, 한탄강-4 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 한탄B 단위유역의 6개 측정지점(부소천, 차탄천, 한탄강-1, 한탄강-2, 한탄강-3, 한탄강-4)의 BOD는 각각 0.6 mg/L, 5.7 mg/L, 1.1 mg/L, 1.1 mg/L, 1.1 mg/L, 2.3 mg/L로 나타났으며, T-P는 각각 0.017 mg/L, 0.383 mg/L, 0.025 mg/L, 0.026 mg/L, 0.026 mg/L, 0.087 mg/L로 나타났다. 조사대상지점 총 6지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 1지점(16.7%), 좋음(Ib) 3지점(50.0%), 약간좋음(II) 1지점(16.7%), 약간나쁨(IV) 1지점(16.7%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(차탄천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다. T-P는 매우좋음(Ia) 1지점(16.7%), 좋음(Ib) 3지점(50.0%), 약간좋음(II) 1지점(16.7%), 나쁨(V) 1지점(16.7%)으로 나타났으며, 오염우심하천 1지점(차탄천), 관리대상하천은 없는 것으로 확인되었다.

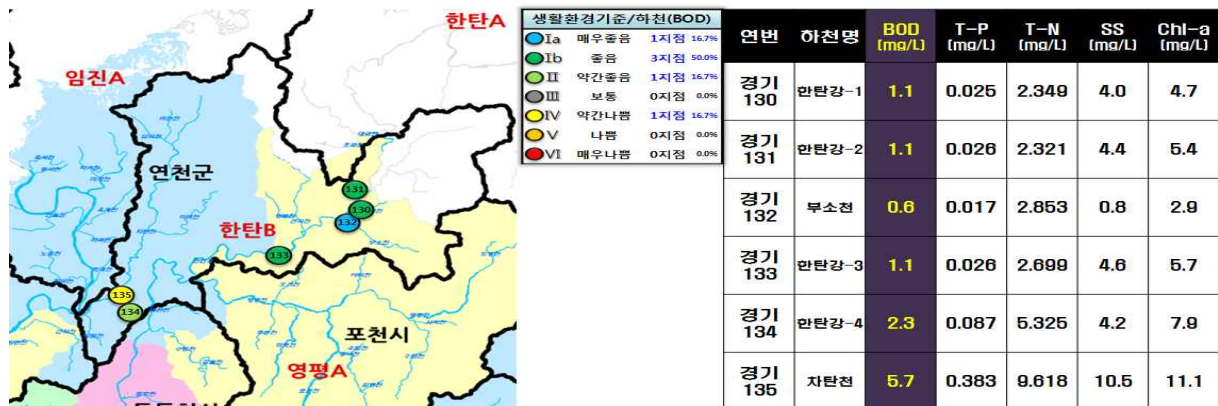


그림 5-140. 한탄B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

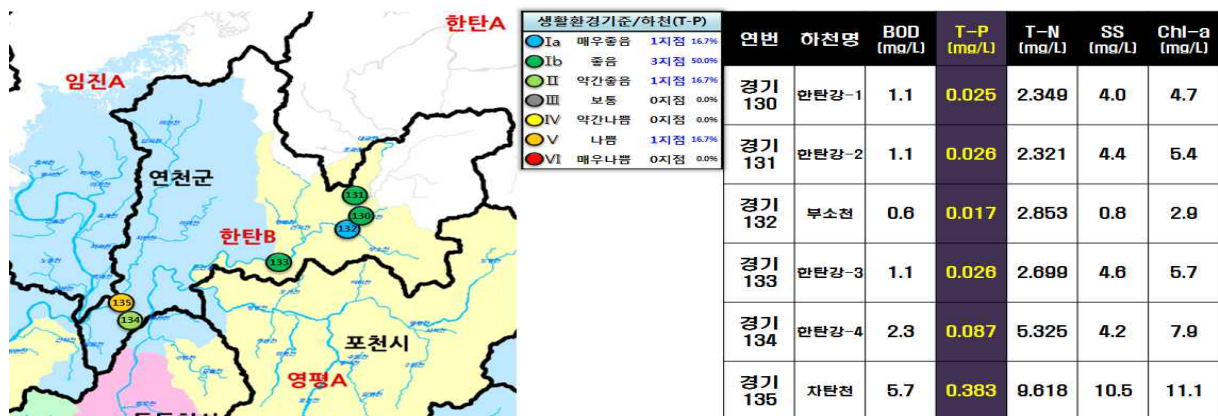


그림 5-141. 한탄B 지점의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

(4) 한탄B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

한탄B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석 결과를 <표 5-44>에 나타내었다.

한탄B 단위유역은 분류인 한탄강을 중심으로 부소천, 차탄천 등의 지류지천으로 구성되어 있다. 이 유역의 수질총량측정망 자료로는 총량측정망-한탄B가 있다. 한탄B 단위유역의 6개 측정지점(문암교, 장진교, 무명교, 용담교, 영노교, 사랑교)의 BOD는 각각 0.6 mg/L, 1.4 mg/L, 1.1 mg/L, 1.1 mg/L, 1.1 mg/L, 2.3 mg/L로 수질총량측정망 자료인 2.8 mg/L와 약간의 차이를 보였다. T-P는 각각 0.017 mg/L, 0.074 mg/L, 0.025 mg/L, 0.026 mg/L, 0.026 mg/L, 0.089 mg/L로 수질총량측정망 자료인 0.075 mg/L와 비슷한 경향을 보였다. 유량은 각각 0.17 m³/s, 1.48 m³/s, 10.67 m³/s, 12.38 m³/s, 12.80 m³/s, 29.12 m³/s로 측정되었으며, 수질총량측정망 자료는 36.16 m³/s로 측정되었다. 한탄B 단위유역의 측정지점 외에 다른 지류지천의 합류로 인하여 수질총량측정망자료와 실측자료 간의 차이가 발생하였다.

표 5-44. 한탄B 단위유역의 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석

측정지점	BOD(mg/L)	T-P(mg/L)	유량(m ³ /s)
경기-130. 무명교	1.1	0.025	10.67
경기-131. 용담교	1.1	0.026	12.38
경기-132. 문암교	0.6	0.017	0.17
경기-133. 영노교	1.1	0.026	12.80
경기-134. 사랑교	2.3	0.089	29.12
경기-135. 장진교	1.4	0.074	1.48
총량측정망 - 한탄B	2.8	0.075	36.16

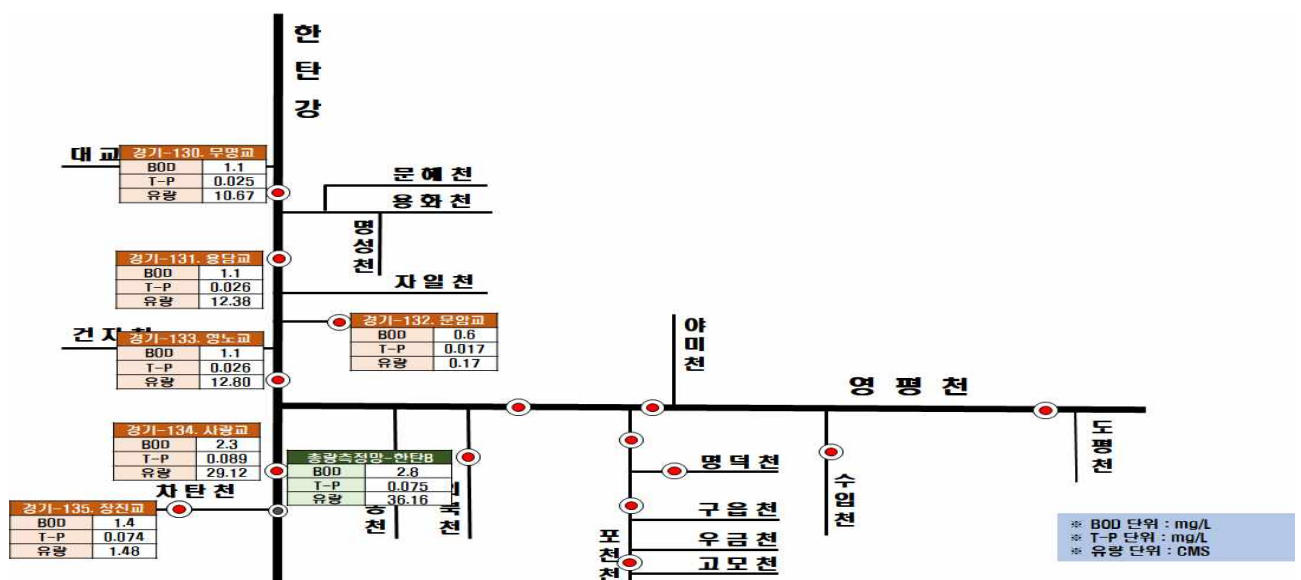


그림 5-142. 서로 다른 수질측정 자료 간의 연관성 분석(한탄B)

(5) 한탄B 단위유역의 오염부하량 산정결과

(가) 경기-131 용담교

경기-131(용담교) 지점의 오염부하량 산정결과를 <그림 5-143>에 나타내었다.

경기-131(용담교) 지점에서는 3회차 조사 시 강우에 의한 유량 및 오염물질의 증가로 인해 오염부하가 급격히 증가되는 것으로 나타났다. 평균 12.38 m³/s였던 유량이 74.74 m³/s까지 증가하였고 BOD 부하량은 1,317.3 kg/day, COD 부하량은 17,435.4 kg/day, SS 부하량은 25,830.2 kg/day, T-N 부하량은 11,875.4 kg/day, T-P 부하량은 226.0 kg/day로 나타났다.

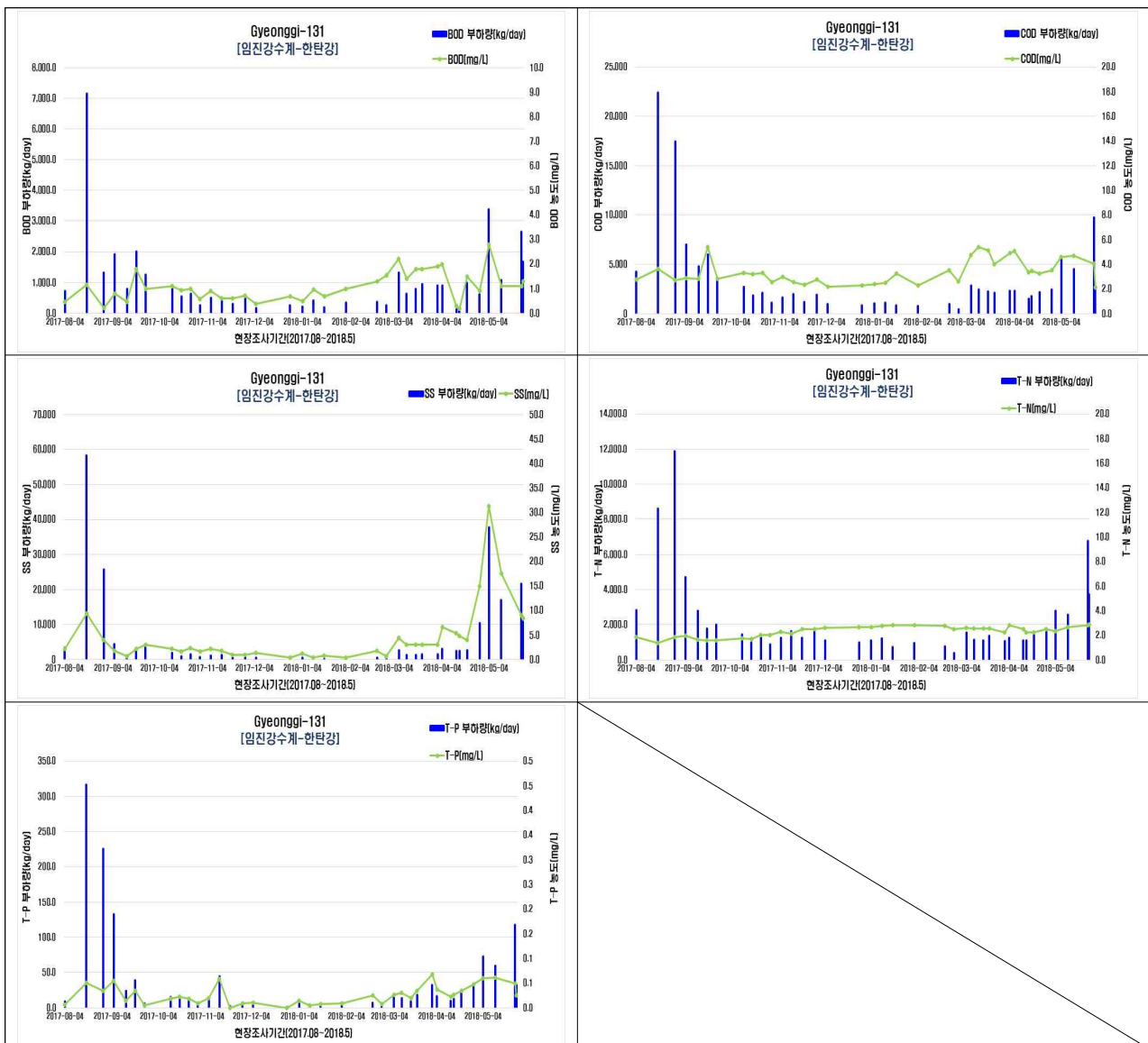


그림 5-143. 경기-131(용담교) 지점의 오염부하량 산정결과

제6장 결 론

제1절 유량 및 수질조사 및 측정자료의 분석

본 연구에서는 한강수계 26개 시·군 135개 지점을 대상으로 현장조사를 통해 유량 및 수질 모니터링을 실시하였다. 유량 및 수질의 변화추이를 분석함으로써 한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위한 자료를 구축하였다. 또한 수질오염총량관리계획 이행평가 등 모니터링 기반을 구축하였고 환경적으로 건전하고 지속가능한 유역개발을 위한 과학적인 근거를 마련하였다.

1. 수질 및 유량의 시·공간적 변화특성

가평A 단위유역은 북한강수계로 5지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-054지점에서 8월에 $8.17 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-057지점에서 3월에 2.3 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-056지점에서 8월에 0.041 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-056지점으로 캠핑장, 펜션, 버스터미널 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-055지점으로 펜션, 캠핑장, 음식점 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

경안A 단위유역은 경안천수계로 8지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-008지점에서 8월에 $47.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-002지점에서 4월에 4.2 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-002지점에서 1월에 0.684 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-008지점으로 공장, 학교, 농장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

경안B 단위유역은 경안천수계로 5지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-013지점에서 5월에 $6.57 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-009지점에서 4월에 4.7 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-012지점에서 2월에 0.245 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-009지점으로 공업단지, 주택 단지 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-010지점으로 주택, 도시개발구역 공사 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

공릉A 단위유역은 한강서울·고양수계로 4지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-073지점에서 8월에 $6.34 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P는 경기-075지점에서 4월에 각각 8.4 mg/L , 1.792 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-075지점으로 골프장, 공사장, 농경지 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

굴포A 단위유역은 한강서울·고양수계로 1지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-076지점에서 5월에 12.63 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P는 경기-076지점에서 3월에 각각 28.9 mg/L, 1.034 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-076지점으로 공장, 산업단지, 공항 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

문산A 단위유역은 임진강수계로 3지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-103지점에서 8월에 6.0 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-104지점에서 3월에 5.3 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-105지점에서 9월에 1.106 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-104지점으로 산업단지, 농경지 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-105지점으로 산업단지, 농경지, 캠핑장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

북하A 단위유역은 남한강수계로 5지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-020지점에서 8월에 3.37 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-019지점에서 11월에 31.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-019지점에서 4월에 1.01 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-019지점으로 호텔, 상가, 공사현장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

북한D 단위유역은 북한강수계로 4지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-059지점에서 8월에 9.46 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-059지점에서 3월에 2.4 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-059지점에서 1월에 0.099 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-059지점으로 캠핑장, 공업사, 마을회관, 학교, 체육공원 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

신천A 단위유역은 임진강수계로 5지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-108지점에서 8월에 11.21 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-108지점에서 2월에 12.9 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-106지점에서 4월에 1.421 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-108지점으로 산업단지, 농경지, 공장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-106지점으로 산업단지, 농경지, 공장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

안양A 단위유역은 한강서울·고양수계로 3지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-078지점에서 8월에 1.68 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-078지점에서 2월에 6.5 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-077지점에서 2월에 1.055 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD, T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-079지점으로 농경지, 공장, 고철처리장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

양화A 단위유역은 남한강수계로 3지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-025지점에서 5월에 2.83 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-024지점에서 1월에 32 mg/L로 최대

값을 나타내었다. T-P는 경기-025지점에서 5월에 0.855 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-024지점으로 공장, 휴게소, 농경지 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-025지점으로 농경지(비료 등)의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

영평A 단위유역은 임진강수계로 9지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-118지점에서 8월에 189.86 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-119지점에서 3월에 30.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-119지점에서 5월에 1.074 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-119지점으로 음식물쓰레기처리장, 축산폐수시설 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

왕숙A 단위유역은 한강서울·고양수계로 8지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-086지점에서 8월에 12.67 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-083지점에서 2월에 153.4 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-083지점에서 2월에 3.300 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-083지점으로 공업사, 아파트 단지, 이마트, 음식점 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

임진A 단위유역은 임진강수계로 2지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-120지점에서 8월에 101.12 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P는 경기-121지점에서 3월에 각각 3.1 mg/L, 0.723 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-121지점으로 농경지(비료)의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

임진B 단위유역은 임진강수계로 7지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-124지점에서 8월에 500.7 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-125지점에서 2월에 4.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-122지점에서 9월에 0.544 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-122지점으로 캠핑장, 공장, 병원, 농경지 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-128지점으로 농경지(비료)의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

조종A 단위유역은 북한강수계로 5지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량과 T-P는 경기-063지점에서 8월에 10 m³/sec, 0.377 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-062지점에서 3월에 4.3 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-060지점으로 골프장, 유원지, 낚시터, 펜션 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-063지점으로 펜션, 캠핑장, 축구장, 축산농가 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

중랑A 단위유역은 한강서울·고양수계로 2지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-088지점에서 8월에 1.37 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-089지점에서 8월에 4.6 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-089지점에서 2월에 0.339 mg/L로 최대값을 나타내었다.

BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-089지점으로 음식점, 아파트단지, 병원, 정비소, 학교 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

청미A 단위유역은 남한강수계로 7지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-030지점에서 8월에 18.03 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-029지점에서 4월에 22.0 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-027지점에서 11월에 1.366 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-027지점으로 농경지(비료)의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

탄천A 단위유역은 한강서울·고양수계로 7지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-092지점에서 8월에 14.58 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-090지점에서 3월에 11.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-092지점에서 8월에 1.411 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-092지점으로 골프장, 상가, 주택 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-091지점으로 하수처리장, 음식점, 병원, 학교, 아파트 단지, 대형마트 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

한강E 단위유역은 남한강수계로 7지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-035지점에서 8월에 3.06 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-037지점에서 3월에 9.4 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-038지점에서 9월에 0.889 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-033지점으로 방치된 생활쓰레기의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-037지점으로 농경지(비료), 마을회관 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

한강F 단위유역은 경안천수계, 남한강수계, 북한강수계로 12지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-065지점에서 8월에 6.10 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-014지점에서 9월에 38.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-067지점에서 1월에 0.86 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD의 평균농도가 높은 지점은 경기-068지점으로 물놀이장, 산업단지, 체육공원, 식당 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-067지점으로 운동장, 마을회관, 저수지, 농원, 야구장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

한강G 단위유역은 한강서울·고양수계로 4지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-097지점에서 8월에 5.46 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P는 경기-100지점에서 5월에 각각 5.0 mg/L, 0.652 mg/L로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-100지점으로 유통물류단지, 학교, 지하철 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

한강I 단위유역은 한강서울·고양수계로 2지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-102지점에서 9월에 3.52 m³/sec로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-102지점에서 4월에 4.8 mg/L로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-102지점에서 9월에 0.584 mg/L로 최대값을 나타내었다.

BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-102지점으로 농경지(비료), 택지개발공사 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

한탄A 단위유역은 임진강수계로 1지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-129지점에서 8월에 $9.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-129지점에서 4월에 7 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-129지점에서 5월에 0.287 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-129지점으로 펜션, 마을 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다. 다.

한탄B 단위유역은 임진강수계로 6지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-134지점에서 8월에 $213.79 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-134지점에서 3월에 4.3 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-134지점에서 9월에 0.435 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-135지점으로 농경지(비료), 공사장 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

홍천A 단위유역은 북한강수계로 1지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량과 BOD는 경기-071지점에서 8월에 각각 $3.38 \text{ m}^3/\text{sec}$, 2.208 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-071지점에서 4월에 0.062 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-071지점으로 펜션, 캠핑장, 숙박시설 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

홍천A 단위유역은 남한강수계로 11지점에 대하여 조사를 수행하였다. 유량은 경기-052지점에서 8월에 $18.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 최대값을 나타내었다. BOD는 경기-049지점에서 3월에 2.8 mg/L 로 최대값을 나타내었다. T-P는 경기-043지점에서 1월에 0.201 mg/L 로 최대값을 나타내었다. BOD와 T-P의 평균농도가 높은 지점은 경기-049지점으로 교량공사, 군부대시설 등의 오염원에 영향을 받은 것으로 판단된다.

2. 하천수질 결과에 대한 등급 평가

1) 경안천 수계

경안천 수계 BOD의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-1>에 나타내었다. 관리대상하천은 생활환경기준 보통~약간나쁨에 해당하는 수준이고 오염우심하천은 생활환경기준 나쁨~매우나쁨에 해당하는 수준을 기준으로 하여 나타내었다. 조사대상지점 총 17지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 3지점(17.6%), 좋음(Ib) 12지점(70.6%), 약간좋음(II) 2지점(11.8%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

경안천 수계 T-P의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-2>에 나타내었다. 조사대상지점 총 17지점을 수질환경기준과 비교한 결과, T-P는 매우좋음(Ia) 1지점(5.9%), 좋음(Ib) 7지점(41.2%), 약간좋음(II) 7지점(41.2%), 보통(III) 1지점(5.9%), 약간나쁨(IV) 1지점(5.9%)으로 나타났으며,

며, 관리대상하천 2지점(금학천, 능원천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

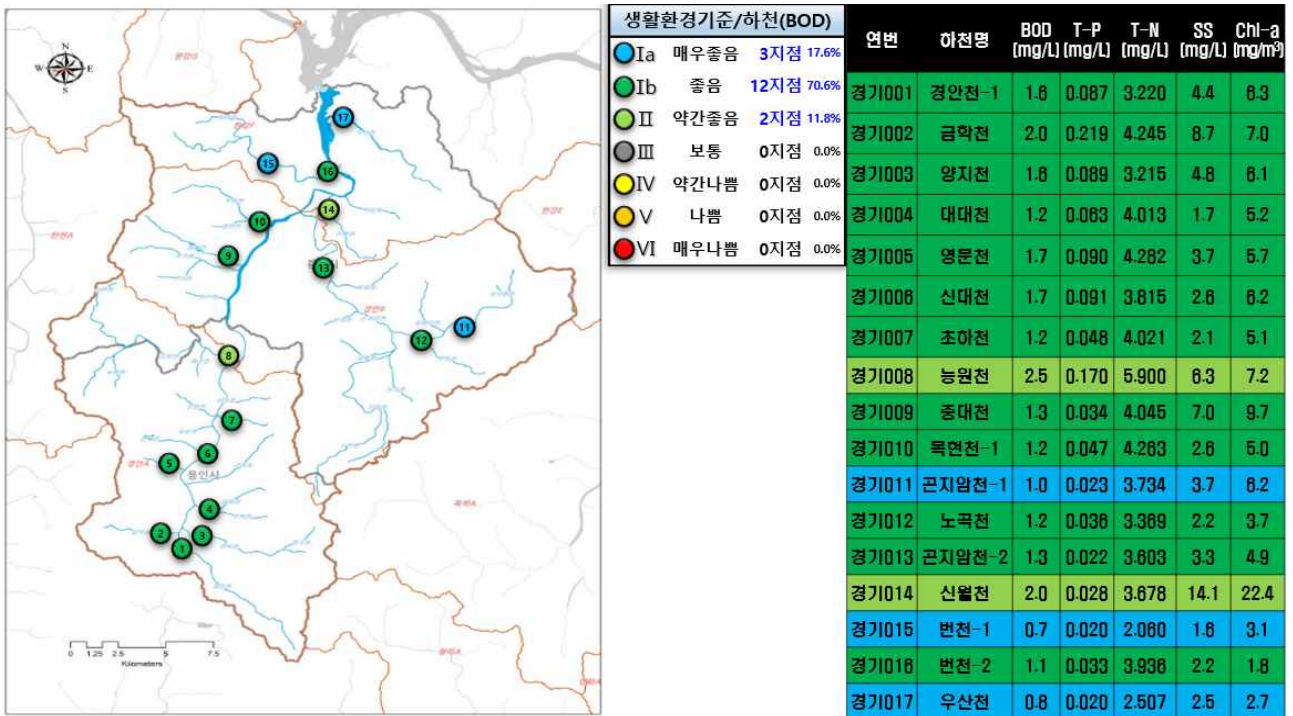


그림 6-1. 경안천 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

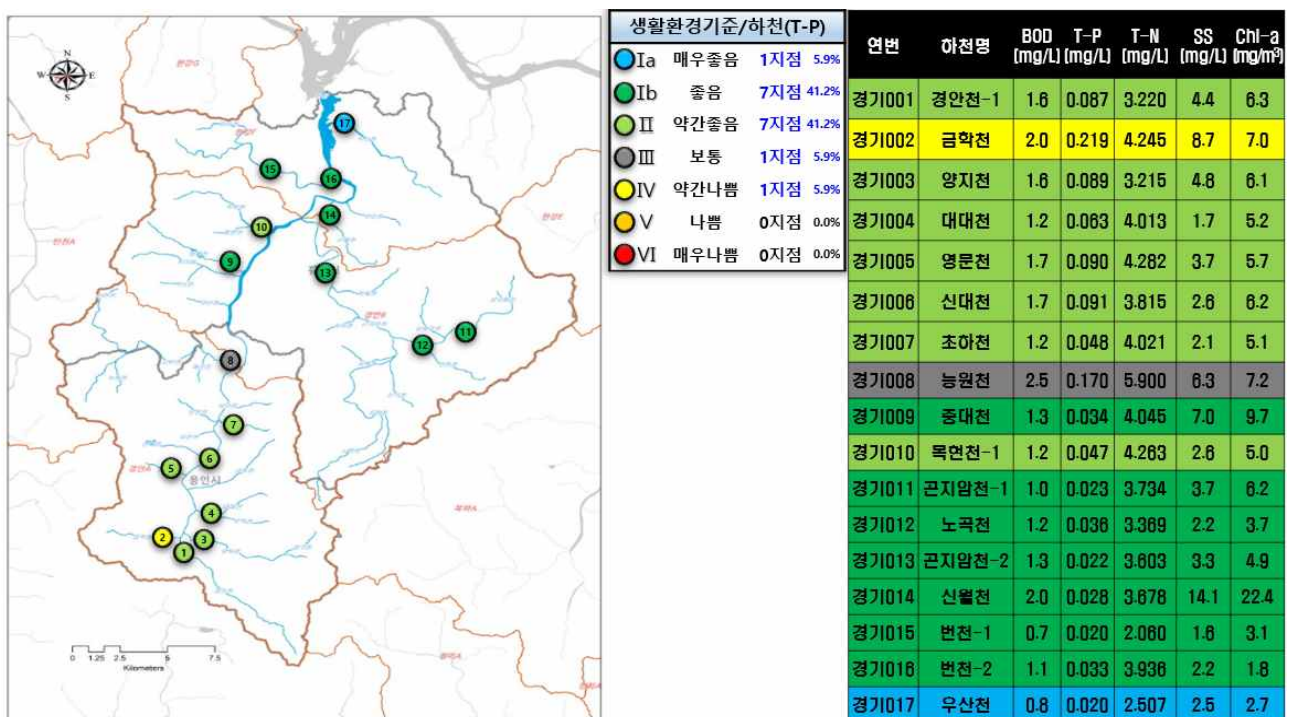


그림 6-2. 경안천 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

2) 남한강 수계

남한강 수계 BOD의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-3>에 나타내었다. 조사대상지점 총 35지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 12지점(34.3%), 좋음(Ib) 13지점(37.1%), 약간좋음(II) 2지점(5.7%), 보통(III) 5지점(14.3%), 약간나쁨(IV) 2지점(5.7%), 나쁨(V) 1지점(2.9%)으로 나타났으며, 관리대상하천 7지점(죽당천, 해룡천, 대신천, 석원천-1, 석원천-2, 제요천, 청미천-1), 오염우심하천 1지점(중리천)으로 확인되었다.

남한강 수계 T-P의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-4>에 나타내었다. 조사대상지점 총 35지점을 수질환경기준과 비교한 결과, T-P는 매우좋음(Ia) 11지점(31.4%), 좋음(Ib) 3지점(8.6%), 약간좋음(II) 9지점(25.7%), 보통(III) 9지점(25.7%), 약간나쁨(IV) 3지점(8.6%)으로 나타났으며, 관리대상하천 12지점(중리천, 죽당천, 해룡천, 대신천, 죽산천, 석원천-1, 석원천-2, 제요천, 청미천-1, 설성천, 금곡천, 한천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

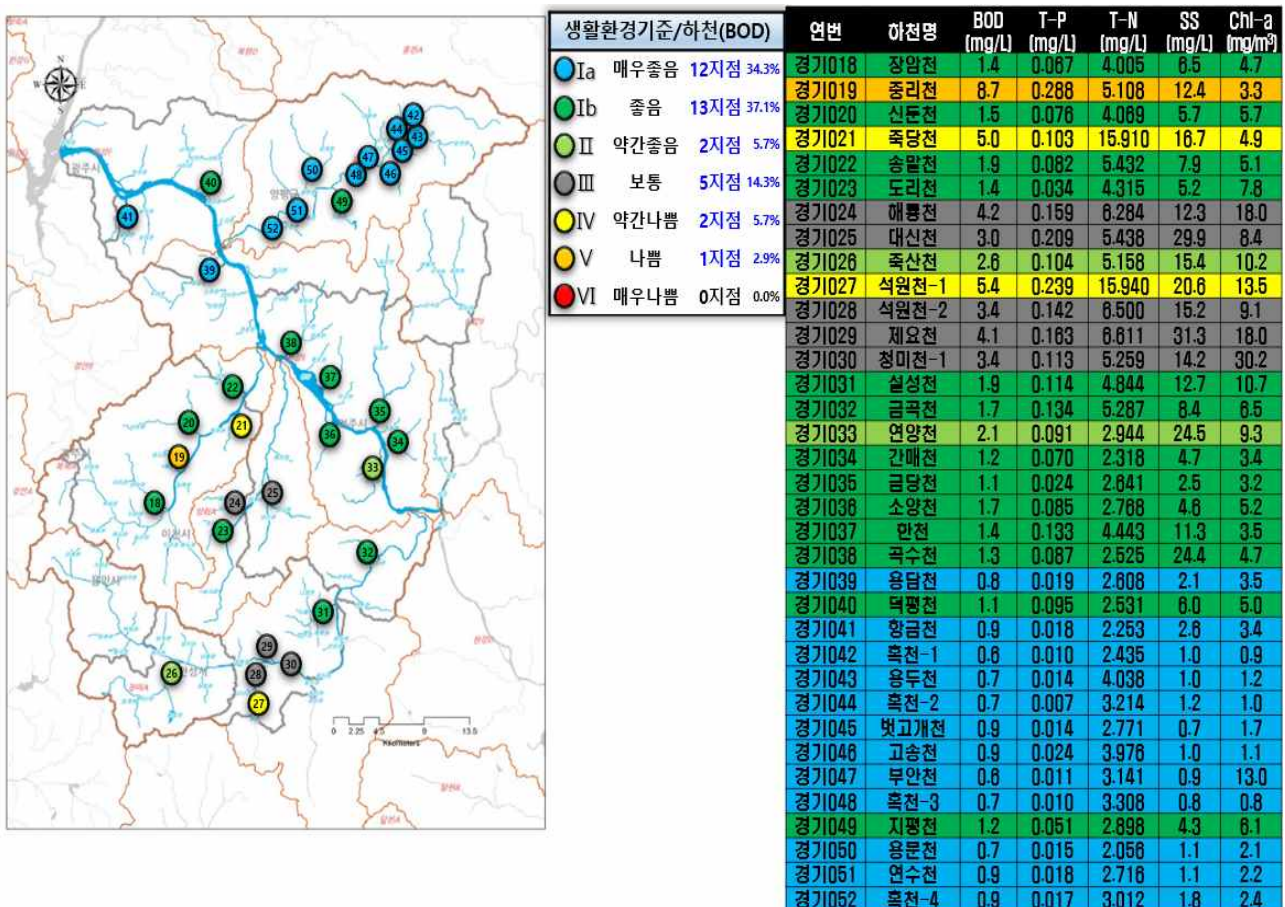


그림 6-3. 남한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

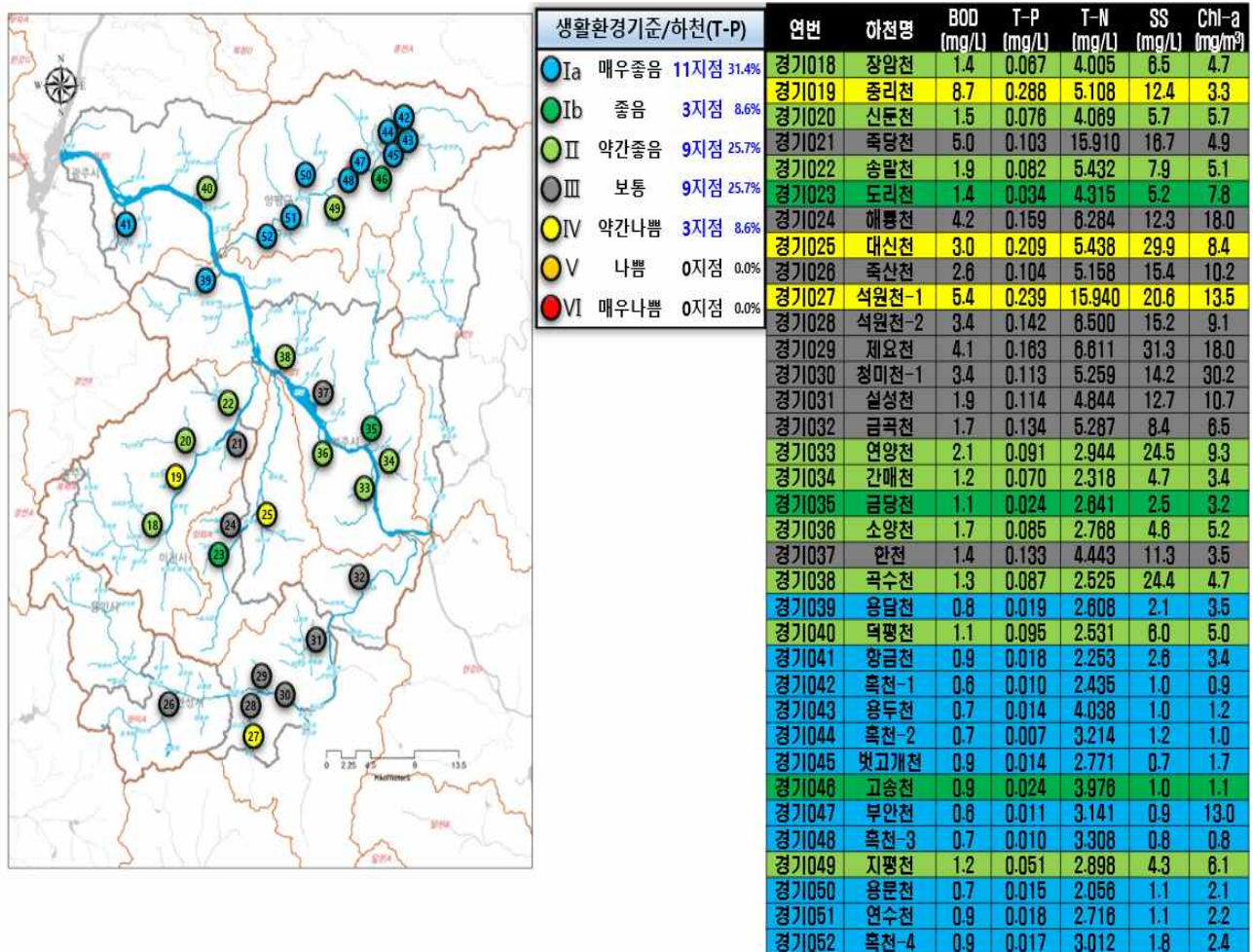


그림 6-4. 남한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

3) 북한강 수계

북한강 수계 BOD의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-5>에 나타내었다. 조사대상지점 총 19지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 16지점(84.2%), 좋음(Ib) 2지점(10.5%), 약간좋음(II) 1지점(5.3%)으로 나타났으며, 관리대상하천 및 오염우심하천은 없는 것으로 나타났다.

북한강 수계 T-P의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-6>에 나타내었다. 조사대상지점 총 19지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 11지점(57.9%), 좋음(Ib) 5지점(26.3%), 약간좋음(II) 2지점(10.5%), 보통(III) 1지점(5.3%)으로 나타났으며, 관리대상하천 1지점(월산천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

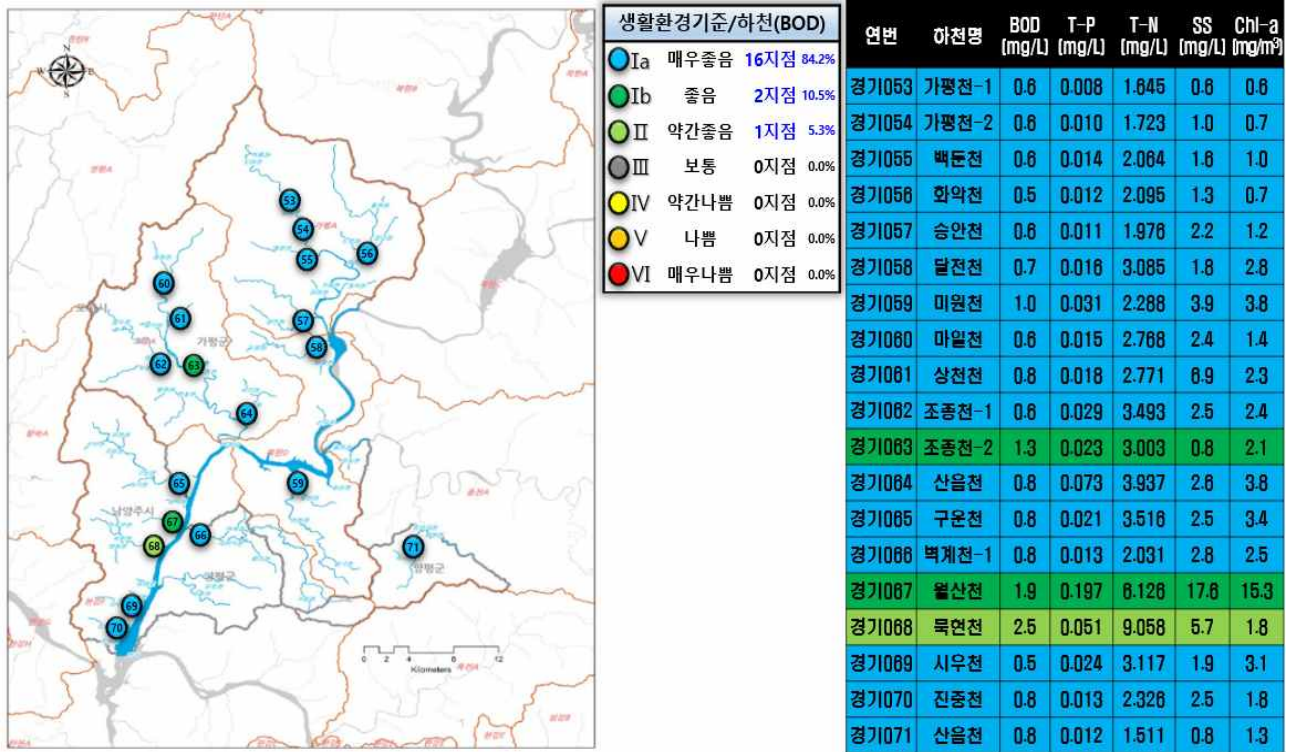


그림 6-5. 북한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

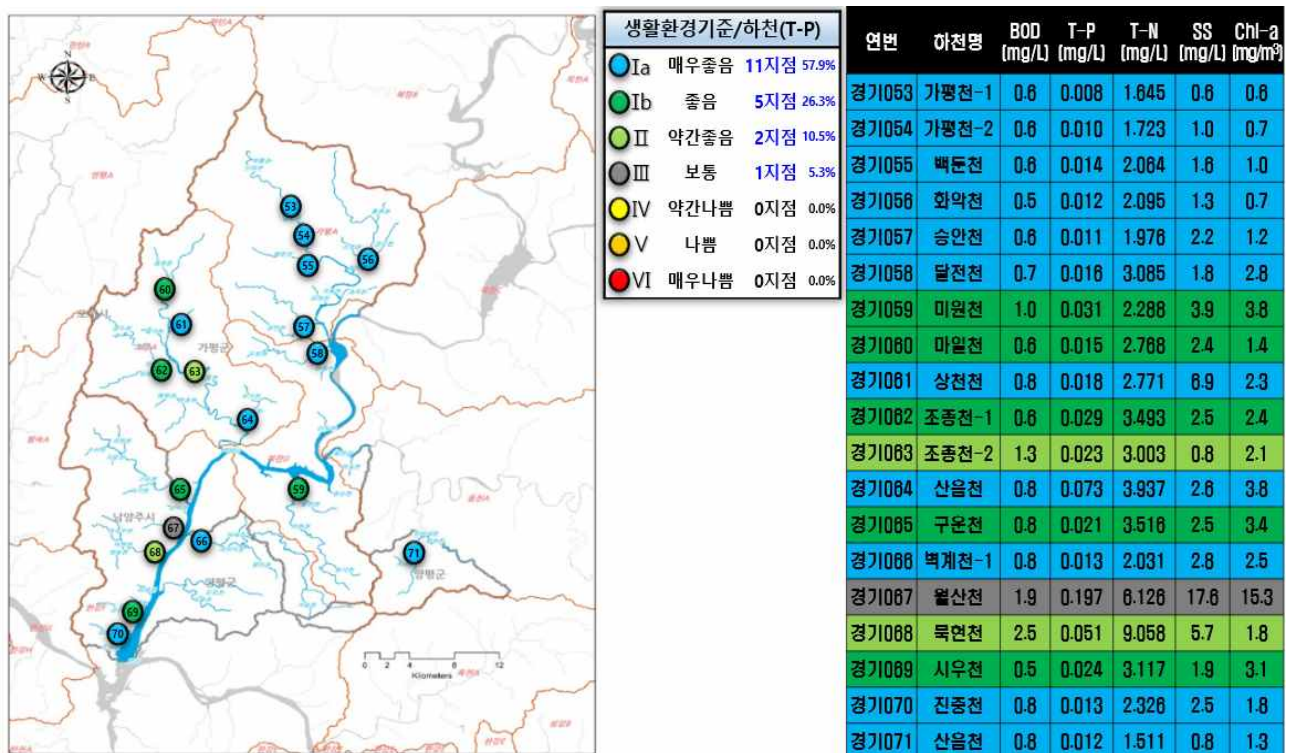


그림 6-6. 북한강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

4) 한강서울·고양 수계

한강서울·고양 수계 BOD의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-7>에 나타내었다. 조사대상지점 총 31지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 1지점(3.2%), 좋음(Ib) 11지점(35.5%), 약간좋음(II) 12지점(38.7%), 보통(III) 6지점(19.4%), 매우나쁨(VI) 1지점(3.2%)으로 나타났으며, 관리대상하천 6지점(소리천, 굴포천-1, 갈현천, 학의천, 목감천, 갈매천), 오염우심하천 1지점(진건천)으로 확인되었다.

한강서울·고양 수계 T-P의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-8>에 나타내었다. 조사대상지점 총 31지점을 수질환경기준과 비교한 결과, T-P는 좋음(Ib) 5지점(16.1%), 약간좋음(II) 7지점(22.6%), 보통(III) 14지점(45.2%), 약간나쁨(IV) 3지점(9.7%), 매우나쁨(VI) 2지점(6.5%)으로 나타났으며, 관리대상하천 17지점(벽제천-2, 공릉천-1, 고산천, 굴포천-1, 갈현천, 갈매천, 부용천, 탄천-1, 성북천, 탄천-2, 세곡천, 덕풍천, 홍릉천, 창릉천-2, 창릉천-1), 오염우심하천 2지점(소리천, 진건천)으로 확인되었다.

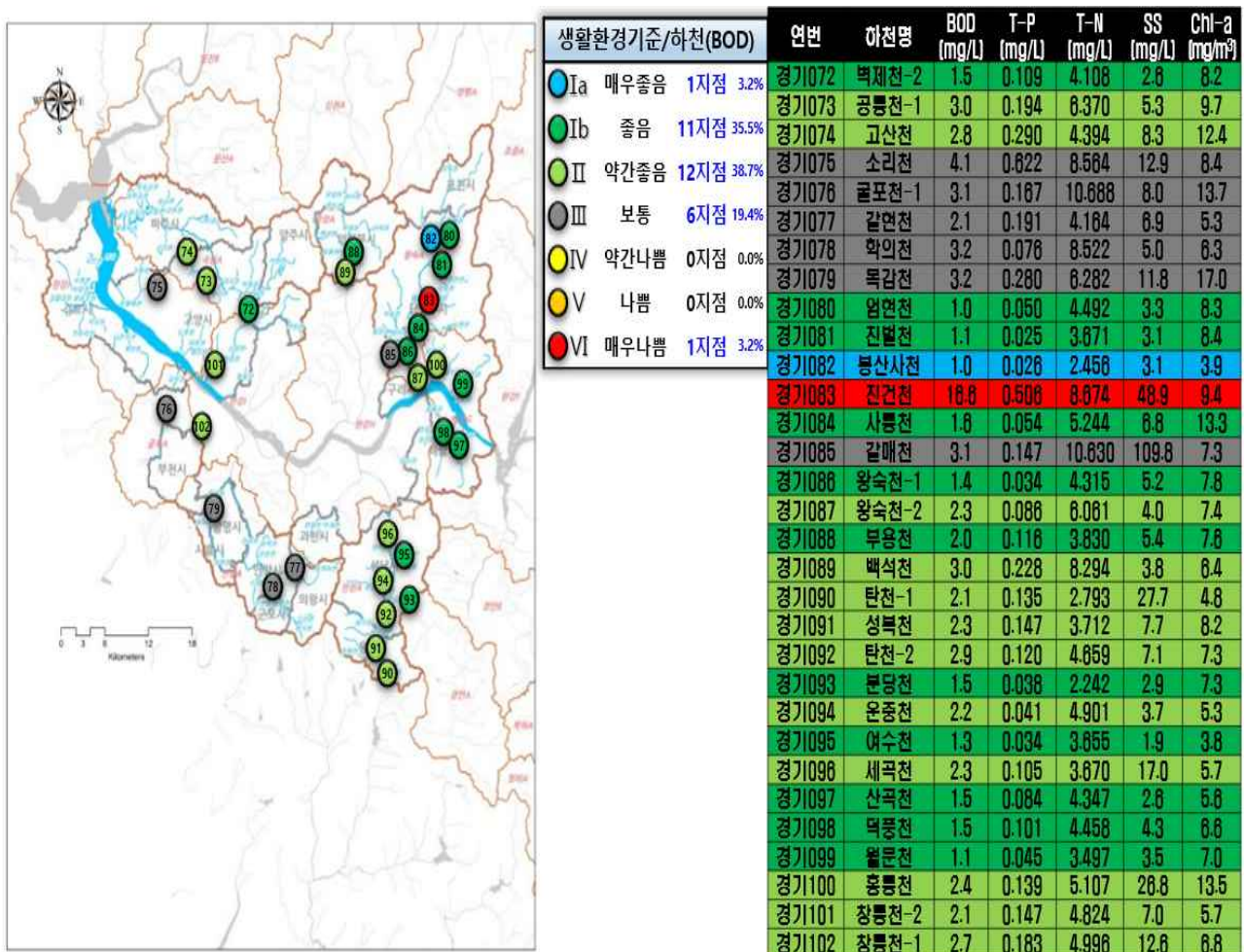


그림 6-7. 한강서울·고양 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

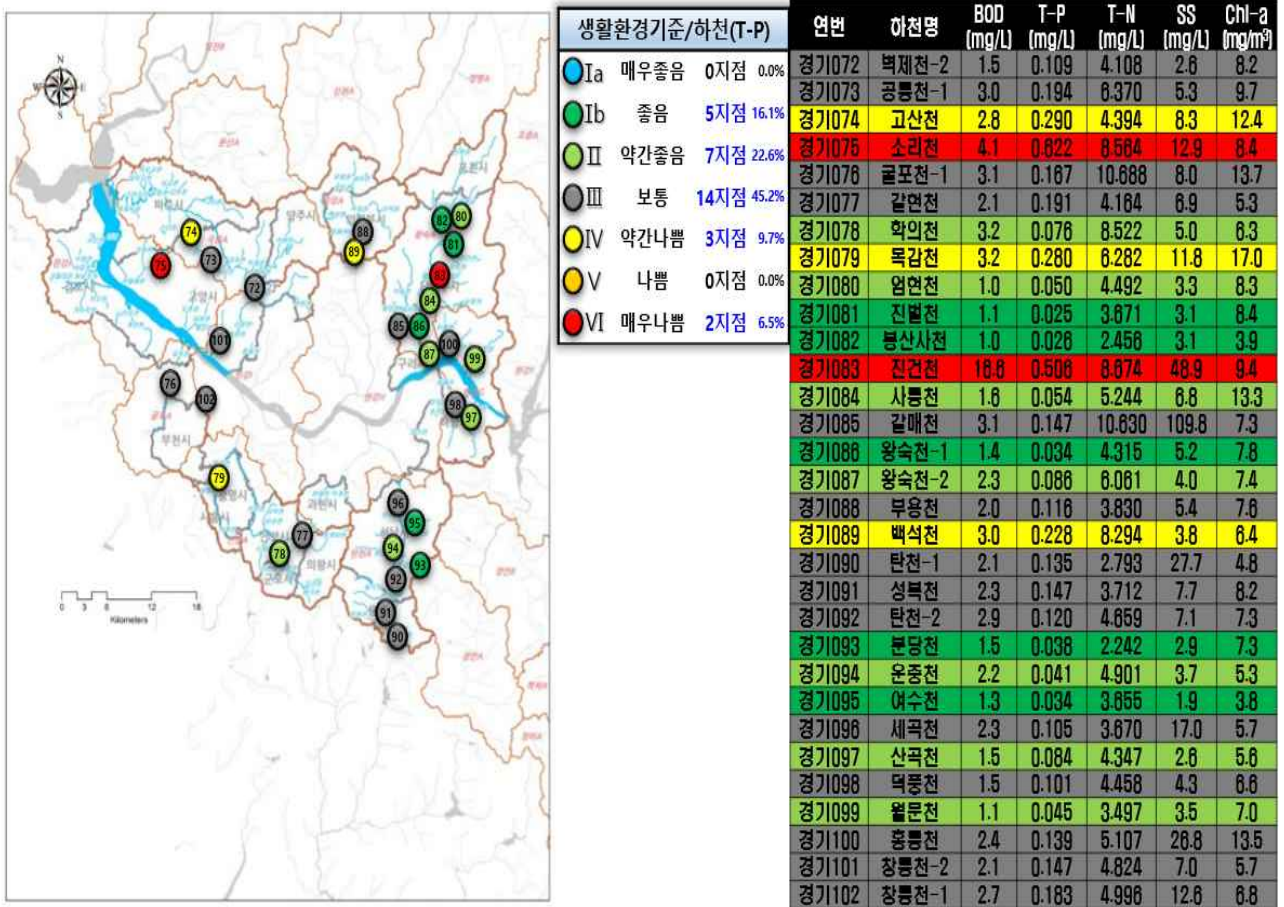


그림 6-8. 한강서울·고양 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

5) 임진강 수계

임진강 수계 BOD의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-9>에 나타내었다. 조사대상지점 총 33지점을 수질환경기준과 비교한 결과, BOD는 매우좋음(Ia) 2지점(6.1%), 좋음(Ib) 12지점(36.4%), 약간좋음(II) 10지점(30.3%), 보통(III) 4지점(12.1%), 약간나쁨(IV) 5지점(15.2%)으로 나타났으며, 관리대상하천 9지점(갈곡천, 신천-1, 청담천, 회암천, 상패천, 신천-2, 포천천-1, 포천천-3, 영평천-2, 차탄천), 오염우심하천은 없는 것으로 확인되었다.

임진강 수계 T-P의 공간적 변화특성 분석 결과를 <그림 6-10>에 나타내었다. 조사대상지점 총 33지점을 수질환경기준과 비교한 결과, T-P는 매우좋음(Ia) 1지점(3.1%), 좋음(Ib) 6지점(18.2%), 약간좋음(II) 13지점(39.4%), 보통(III) 8지점(24.2%), 약간나쁨(IV) 3지점(9.1%), 나쁨(V) 2지점(6.1%)으로 나타났으며, 관리대상하천 11지점(갈곡천, 동문천, 청담천, 회암천, 상패천, 신천-2, 동두천, 포천천-3, 영평천-2, 임진강-2, 간파천, 두포천), 오염우심하천 2지점(신천-1, 차탄천)으로 확인되었다.

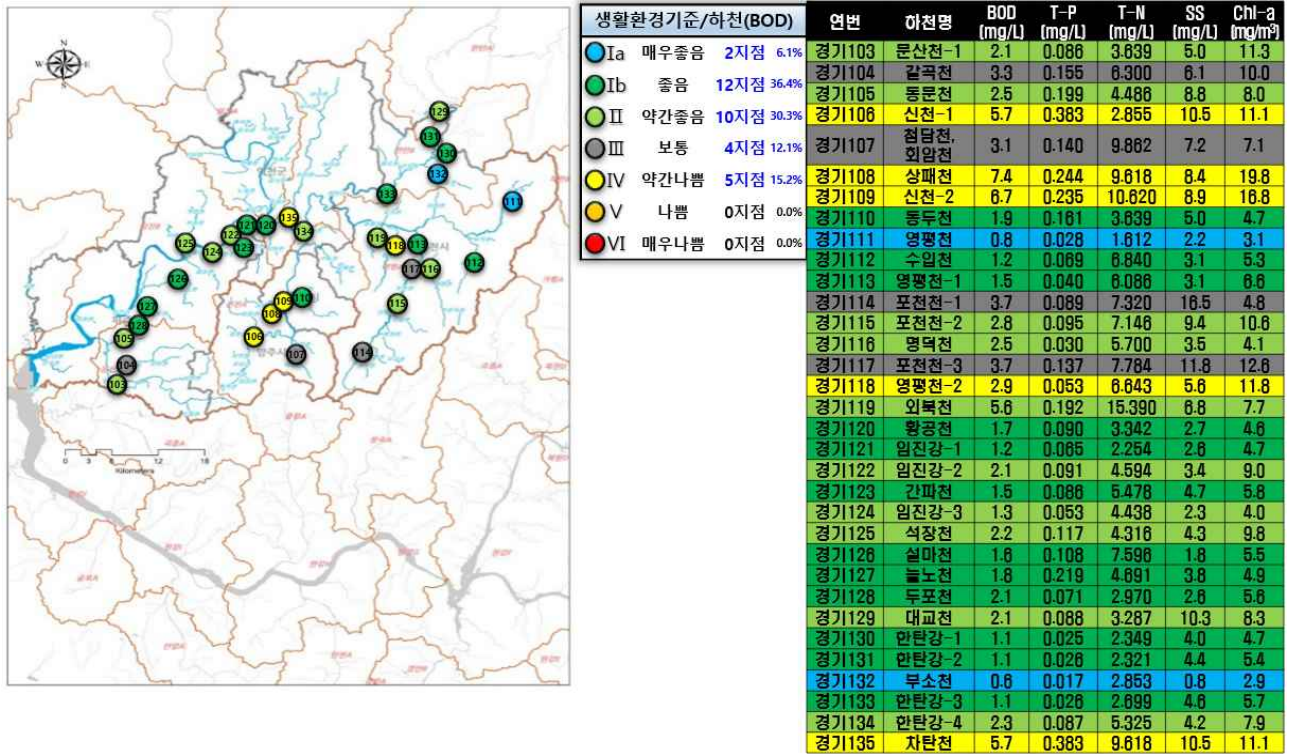


그림 6-9. 임진강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(BOD)

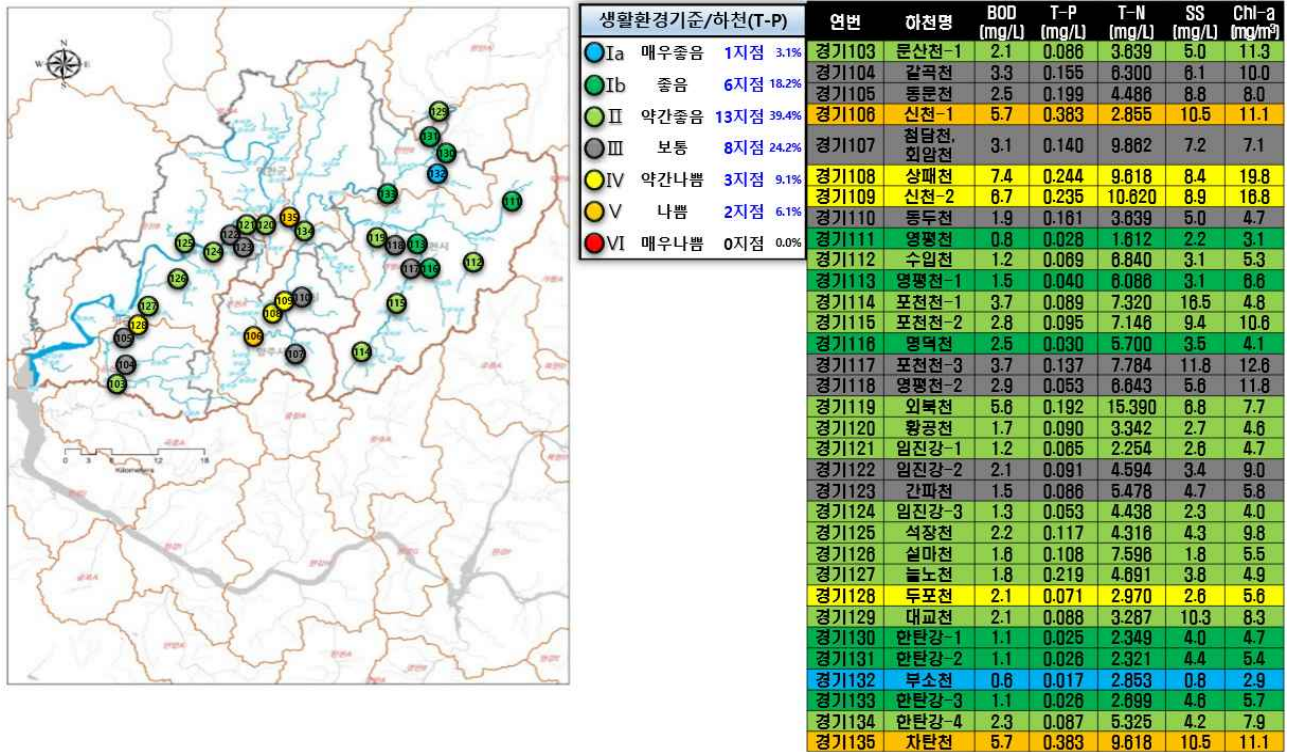


그림 6-10. 임진강 수계의 공간적 변화특성 분석 결과(T-P)

제2절 활용방안

본 연구에서는 한강수계 26개 시·군 135개 지점에 대한 현장조사를 통한 유량 및 수질을 36회 이상(월~일, 주말 포함) 지속적으로 모니터링을 실시하여 수질항목간의 연관성 분석, 수질의 공간적·시간적 변화특성 등 변화추이를 분석하였다.

한강수계의 수질 및 유량 분석결과는 향후, 수질오염총량관리계획 이행평가 등 모니터링 기
반을 구축하는 핵심자료로 활용되고 환경적으로 건전하고 지속가능한 유역개발을 위한 과학적
자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

조사대상하천 135개 지점에 대한 유량 및 수질의 변화 특성을 분석한 결과를 토대로 주요 하천을 관리할 수 있는 기반을 마련하였고 한강수계 2단계(2021년~2030년) 수질오염총량관리 기본계획 수립을 위한 근거 및 기초자료를 마련하였다.

한강수계의 전체 조사지점에 대한 지도를 제작하였고 현장조사를 통한 모니터링 지점별 관리카드, 한강수계 모니터링 모식도 등을 활용하여 경기도 지자체 등 관련 기관에서 활용 가능한 하천의 세부정보를 제공함으로써 수질관리 정책수립에 활용할 수 있는 근거자료를 마련하였다.

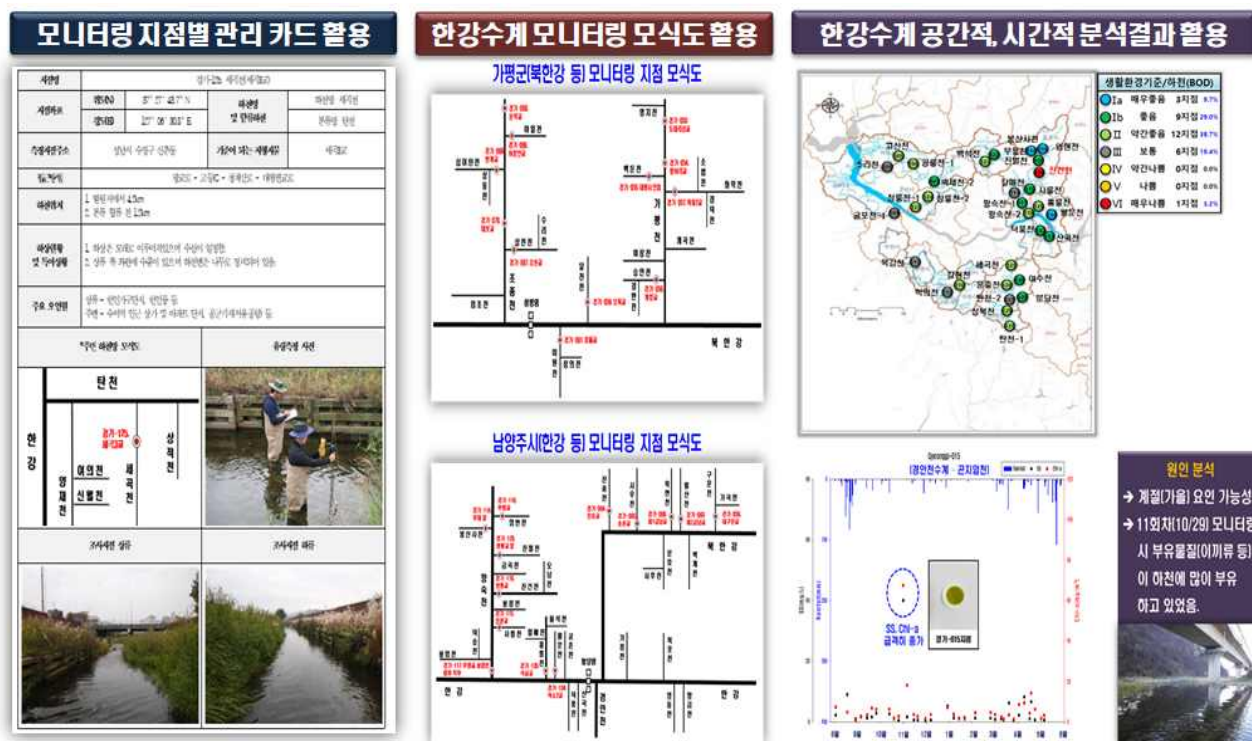


그림 6-11. 연구결과 활용방안(1)

시·군 경계 및 주요지점에 대한 수문자료를 확보하고 향후 수질모델링시 소유역별 수질변동 특성과악 및 합리적인 유달을 산정근거로 활용된다. 기본계획 수립시 수질모델링 구축의 기초자료로 활용 할 수 있다.

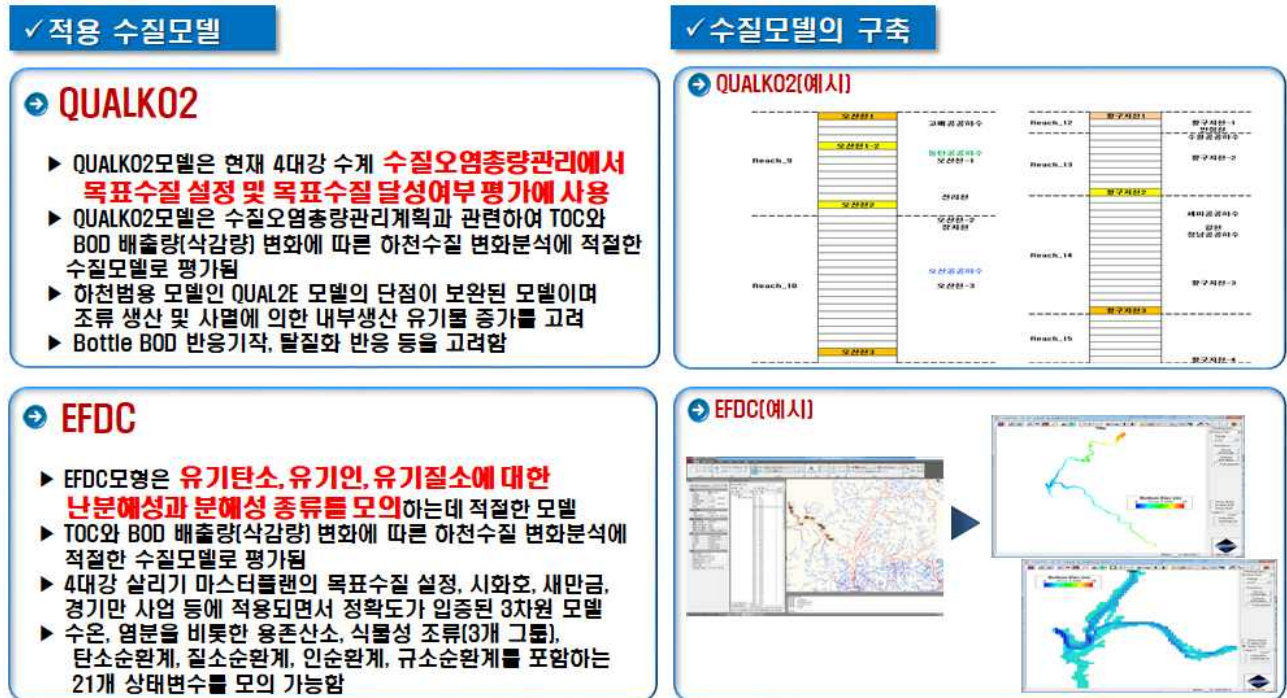


그림 6-12. 연구결과 활용방안(2)

본 연구 결과를 토대로 실측에 의한 유달율을 산정하는데 활용할 수 있다. 현재 시행되고 있는 수질오염총량관리제에서의 부하량 할당이나 수질해석을 위한 수질모델링시 오염물질의 유달부하량은 중요성이 매우 높음에도 불구하고 실측자료 부족 및 계측의 어려움 때문에 정확한 유달율을 산정하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 또한, 동일한 양의 오염물질이 발생한다 하더라도 유출경로, 지표상태, 토양특성 등에 따라 하천에 유입되는 부하량이 달라진다.

유달율은 오염원으로부터의 배출부하량과 어느 특정지점에 도달한 오염부하량, 즉 유달부하량의 함수로부터 구하는 지표로서 유역의 지형적 조건, 수리·수문학적 조건, 기후, 계절 등 매우 다양하고 복잡한 변수들에 의해 결정된다.

실측기반에 의한 유달율 산정 방법은 먼저 google earth, GIS, 지형도를 이용하여 대상유역 후보지를 선정하고, 현지답사를 통해 모니터링에 적합한 대상유역을 최종결정한다. 선정된 대상유역에 강우량계, 수위계 등의 모니터링 계측기기를 설치한 후, 강우 시 유속계를 이용하여 유량을 측정하고 수질분석을 위해 강우-유출수를 모니터링 한다. 수위-유량 관계식(Rating curve)을 작성하여 일 유량을 산정하고 분석된 수질자료와 유량자료 통하여 유량-유달부하 관계식을 작성한다. 한편, 대상유역이 환경부 8일간 측정유역일 경우에는 기존의 측정자료를 이용하되, 유량의 경우 8

일간 유량자료이므로 탱크모델이나 경험론적 회귀식을 이용하여 일 유량으로 확장하여 사용해야 한다. 산정된 일 유량자료와 일 유달부 하량자료를 이용하여 유황곡선과 부하지속곡선을 작성한다.

대상유역의 배출부하량을 산정하기 위해서 환경부 오염총량관리기술지침에 준하여 대상 유역의 오염원 조사를 실시한 후 오염원별 발생부하 원단위를 이용하여 산정하고, 실측부하량을 배출부하량으로 나누어 유달율을 산정한다.

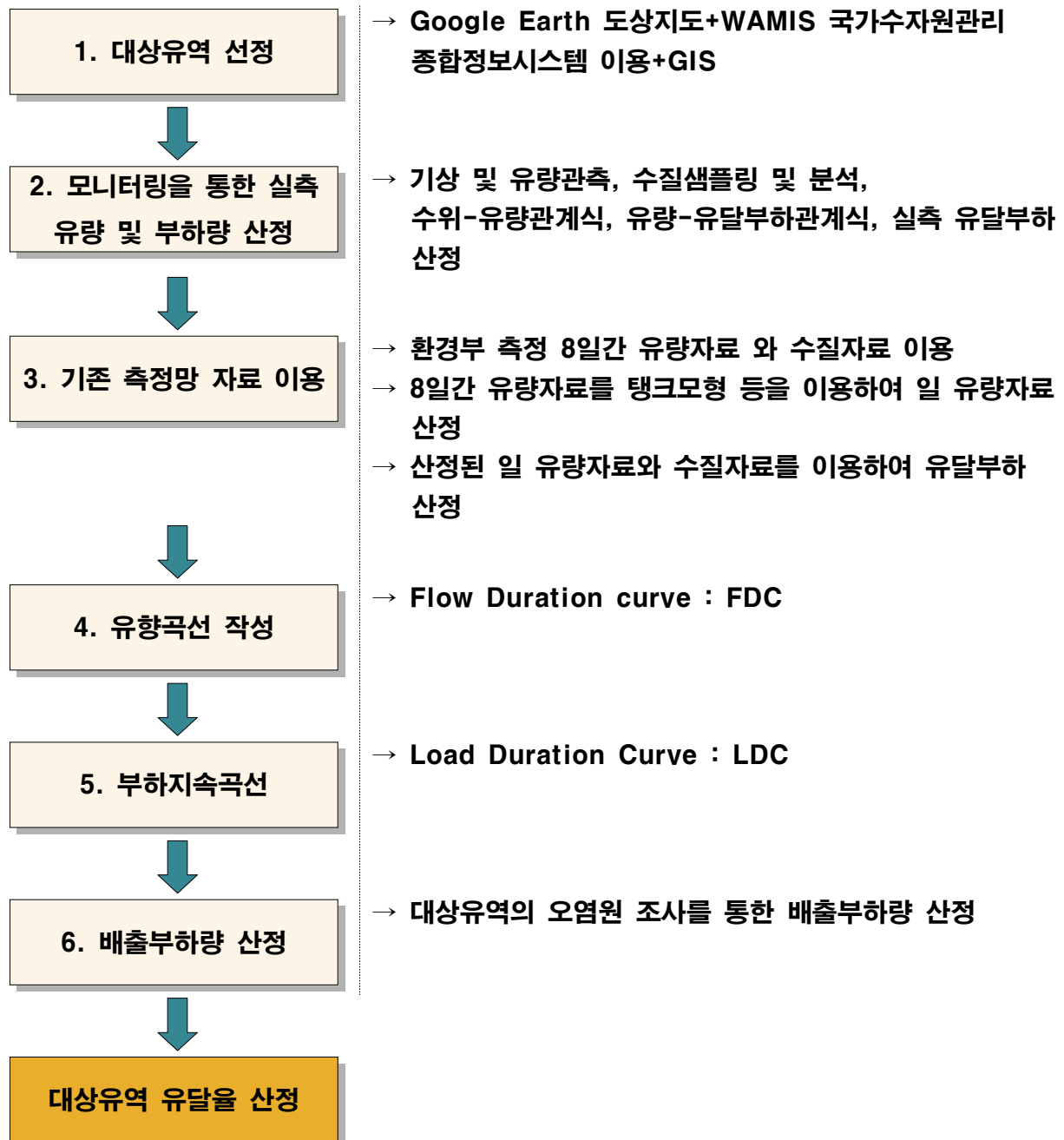


그림 6-13. 연구결과 활용방안(3)

참고문헌

- 1) 건설교통부(2004). 수문관측매뉴얼.
- 2) 건설교통부(2005). 하천설계기준·해설.
- 3) 건설교통부(2007). 우리 마름 길라잡이.
- 4) 국가수자원종합관리시스템(2013). <http://www.wamis.go.kr/>.
- 5) 국립환경과학원(2015). 환경시험, 검사 QA/QC 핸드북.
- 6) 국토해양부(2012). 수문조사보고서.
- 7) 국토교통부(2014). 2013년도 국토교통부 수위-유량관계곡선식.
- 8) 기상청(2017). <http://www.kma.go.kr/>.
- 9) 물환경정보시스템(2017). <http://water.nier.go.kr/>.
- 10) 수자원의 지속적 확보기술개발사업단(2004). 하천 유량측정 지침.
- 11) 수자원조사정보시스템(2013). <http://river.kwater.or.kr/>.
- 12) 전일본건설기술협회(1996). 수문관측.
- 13) 한강수계관리위원회(2004). 한강수계 주요지점 유량측정망 구축을 위한 세부추진계획.
- 14) 한강수계관리위원회(2012). 수역별 수질/유량 관측망 운영 및 평가.
- 15) 한강홍수통제소(2001). 수문관측 효율성 제고방안.
- 16) 한국수자원공사(1999). 수자원공사기초조사편람(수문조사편).
- 17) 한국건설기술연구원(1994). 수자원관리기법개발연구조사 자료집 수위유량관계곡선.
- 18) 한국건설기술연구원(2004). 하천유량측정지침.
- 19) 한국수자원학회(2000). 하천설계기준.
- 20) 한국수자원학회(2003). 불확실도 분석을 통한 유량측정 신뢰도 개선방안.
- 21) 환경부(2011a). 목표수질/유량 측정사업 통합운영 지침.
- 22) 환경부(2011b). 수질오염공정시험기준.
- 23) 환경부(2013a). 상수도 통계.
- 24) 환경부(2013b). 하수도 통계.
- 25) 환경부·국립환경과학원(2004). 수질오염총량관리제도: 지속가능한 사회를 열어갑니다.
- 26) 강원도(2017). 강원도 한강수계 하천모니터링.
- 27) 한강수계관리위원회(2017). 2017년도 한강수계 소유역 하천 모니터링.
- 28) 인천광역시(2017). 인천광역시 한강수계 하천 모니터링(수질·유량조사).
- 29) 서울특별시(2017). 2017년 서울시 하천 수질, 유량 모니터링.
- 30) 한강수계관리위원회(2016). 2016년 한강수계 소유역 하천 모니터링.
- 31) 한강수계관리위원회(2016). 한강수계 지류지천 수질·유량 모니터링(Ⅳ).
- 32) 한강수계관리위원회(2015). 2015년 한강수계 소유역 하천 모니터링.
- 33) 한강수계관리위원회(2014). 한강수계 지류지천 수질·유량 모니터링.
- 34) 한강수계관리위원회(2013). 한강수계 소유역 하천 모니터링.

- 35) 팔당 수질개선 본부(2010). 한강수계 하천모니터링 용역
- 36) ISO 1070(1992). Liquid flow measurement in open channels - Slope-area method.
- 37) ISO 1088(2007). Hydrometry - Velocity-area methods using current-meters -Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement.
- 38) ISO 2537(2007). Hydrometry - Rotating-element current-meters.
- 39) ISO 3454(2008). Hydrometry - Direct depth sounding and suspension equipment.
- 40) ISO 4366(2007). Hydrometry - Echo sounders for water depth measurements.
- 41) ISO 4369(1979). Measurement of liquid flow in open channels - Moving-boat method.
- 42) ISO 6420(1984). Liquid flow measurement in open channels - Position fixing equipment for hydrometric boats.
- 43) ISO 748(2007). Hydrometry - Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats.
- 44) ISO 9825(2005). Hydrometry - Field measurement of discharge in large rivers and rivers in flood.
- 45) ISO/TR 11974(1997). Measurement of liquid flow in open channels - Electro-magnetic current meters.
- 46) ISO/TR 5168(1998). Measurement of fluid flow - Evaluation of uncertainties.
- 47) ISO/TR 7178(1983). Liquid flow measurement in open channels - Velocity-area methods - Investigation of total error.
- 48) ISO/TR 8363(1997). Measurement of liquid flow in open channels - General guidelines for selection of method.
- 49) KS B ISO 1100-2(2003). "Measurement of liquid flow in open channels" Part 2 : Determination of the stage-discharge relation.
- 50) U. S Environmental Protection Agency (USEPA)(1991). Guidance for Water Quality-based decisions: The TMDL Process, EPA 440/4-91-001, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- 51) USGS Water supply Papers 2175(1982). Measurement and Computation of Streamflow: Volume 1. Measurement of Stage and Discharge, S. E. Rants.
- 52) USGS Water supply Papers 2175(1982). Measurement and Computation of Streamflow: Volume 2. Computation of Discharge, S. E. Rants.
- 53) <http://www.ccdailynews.com/news/articleView.html?idxno=217045>
- 54) http://www.newsis.com/ar_detail/view.html/?ar_id=NISX20150203_0013454750&cID=10806&pID=10800
- 55) <http://www.joongboo.com/?mod=news&act=articleView&idxno=1192895>
- 56) www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/12/07/0200000000AKR20161207083000062.HTML?input=1195m
- 57) http://www.newsis.com/ar_detail/view.html/?ar_id=NISX20150203_0013454750&cID=10806&pID=10800
- 58) <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2017/01/04/0200000000AKR20170104113900060.HTML?input=1195m>
- 59) <http://www.vival100.com/main/view.php?key=20180324010008826>
- 60) <http://www.incheonilbo.com/?mod=news&act=articleView&idxno=758486#08hF>
- 61) <http://www.mygoyang.com/news/articleView.html?idxno=47063>
- 62) <https://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0002485809>
- 63) <http://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2009020418203500730&outlink=1&ref=https%3A%2F%2Fsearch.naver.com>