



천수만 하구환경 종합관리 기본계획 수립 연구용역

- 부남호 하구(갯벌)복원 기본계획 수립용역 -

최종보고서
2019.12



충청남도
Chungcheongnam-do



**천수만 하구환경 종합관리
기본계획 수립 연구용역
-부남호 하구(갯벌)복원 기본계획 수립용역-**

2019. 12.

제 출 문

충청남도 도지사 귀하

본 보고서를 “천수만 하구환경 종합관리 기본계획 수립 연구용역”
최종보고서로 제출합니다.

2019년 12월

총괄 연구책임자: 백승호 (한국해양과학기술원)

세부 연구책임자: 윤종주 (충남연구원) / 안익장 ((주) 헤인이엔씨)

참여 연구원: (한국해양과학기술원) 구본화, 김미경, 김윤철, 김성,
박세현, 서진영, 소재귀, 장요순, 진세준, 이민지,
최진우

(충남연구원) 신우석

((주) 헤인 이엔씨) 박선중, 박승민, 박진수

목차

1장 서론	1
1. 하구의 중요성	1
2. 해수유통 사례	3
3. 하구복원관리 전략수립	9
4. 부남호 역간척 쟁점사항	10
2장 계획의 기본 방향	14
1. 비전 및 목표	14
3장 부문별 추진계획	15
1. 부남호 수질개선	15
2. 해수순환 및 환경관리체계 구축	22
3. 생태복원 및 건강성 회복	27
4. 생태관광 및 공간이용 활성화	31
4장 연구결과	35
1. 수치모델링	35
2. 생태환경	86
3. 육지생태계 영향평가	120
4. 경제성 분석 및 평가	159
5. 기본계획	179
부록	204
참고문헌	267

그림 목차

그림 1.2.1. 네덜란드의 휘어스호의 위치	3
그림 1.2.2. 1997년에 완성된 네덜란드 마에스란트케링의 모습	4
그림 1.2.3. 영국 테임즈 배리어의 사진 및 개념도	5
그림 1.2.4. 독일의 홀머질 수문과 경계방수제에 의한 기능적 생태계 복원과 주변에 복원한 염습지	6
그림 1.2.5. 미국 캘리포니아 볼사치카 하구습지 복원 계획	7
그림 1.2.6. 시화방조제 위치 및 모습	8
그림 1.4.1. 퇴적물 처리방안 (파이핑 준설) 개념도	10
그림 1.4.2. 부남호 상류 농업용수 확보 개념도 (좌), 부남호 상류 배수갑문 (하단부) 설치 (우)	13
그림 3.1.1. 부남호 환경개선 수치모델링 조건 (좌) 및 오염수 평균 농도/ 교환율 변화 모델 결과 (우)	16
그림 3.1.2. 부남호 기수환경영향 대상 해역인 부남호와 천수만	18
그림 3.1.3. 부남호 화학적 산소요구량 및 수질	19
그림 3.1.4. 부남호 기본계획 조감도	21
그림 3.2.1. 시설계획 위치도	22
그림 4.1.1. 부남호 및 주변현황	36
그림 4.1.2. 보령항 조위면도	40
그림 4.1.3. 천수만 조석변화(보령항)	41
그림 4.1.4. 천수만 조위에 따른 부남호 방류 가능시간	42
그림 4.1.5. 천수만 조석 및 부남호 수위	42
그림 4.1.6. 현대건설 조사 부남호 수심도	43
그림 4.1.7. 수심조사 장비	44
그림 4.1.8. 수심조사 항적도	45
그림 4.1.9. 천수만 주변해역 수심자료	46
그림 4.1.10. 네덜란드 휘어스호	47
그림 4.1.11. 수중암거의 일반적인 형태	48
그림 4.1.12. 수중암거 잠정 위치	49
그림 4.1.13. 수치모형실험 흐름도	49
그림 4.1.14. ESCORT 모형 연직좌표계	52

그림 4.1.15. ESCORT 모형 적용 예 (좌상: 부산신항건설영향평가(2009), 좌하: 인천 신항건설영향평가(2009), 우: 경인운하 건설영향평가(2008))	52
그림 4.1.16. 실효역 수치모형 격자망	54
그림 4.1.17. 실효역 수치모형 수심도	54
그림 4.1.18. 기존 조석자료 위치	55
그림 4.1.19. 수치모형의 조위 검증	57
그림 4.1.20. 수중암거 유속계산	58
그림 4.1.21. 부남호 수심도	60
그림 4.1.22. 부남호 수심변화 비교 (좌: 1984, 중:2019, 우:변화수심)	61
그림 4.1.23. 천수만 주변 광역 수심도	62
그림 4.1.24. F1안 염분 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과)	64
그림 4.1.25. F1안 COD 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과)	65
그림 4.1.26. F2안 염분 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과)	66
그림 4.1.27. F2안 COD 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과)	67
그림 4.1.28. F1, F2안의 염분, COD 수평 확산 최대 범위 (상:F1, 하:F2, 좌:염분, 우:COD)	68
그림 4.1.29. 확산단면도 기준선	69
그림 4.1.30. F1안 염분, COD 확산단면도(1, 10, 20, 30일 경과)	70
그림 4.1.31. F2안 염분, COD 확산단면도 (1, 10, 20, 30일 경과)	72
그림 4.1.32. 부남호, 천수만 구역 구분	69
그림 4.1.33. F1안의 부남호 구역별/층별 염분 변화	74
그림 4.1.34. F1안의 천수만 구역별/층별 염분 변화	75
그림 4.1.35. F1안의 부남호 구역별/층별 COD 변화	76
그림 4.1.36. F1안의 천수만 구역별/층별 COD 변화	77
그림 4.1.37. F2안의 부남호 구역별/층별 염분 변화	78
그림 4.1.38. F2안의 천수만 구역별/층별 염분 변화	79
그림 4.1.39. F2안의 부남호 구역별/층별 COD 변화	80
그림 4.1.40. F2안의 천수만 구역별/층별 COD 변화	81
그림 4.1.41. F1안의 구역별 농도/교환율 변화 비교	82
그림 4.1.42. F2안의 구역별 농도/교환율 변화 비교	83
그림 4.1.43. 2개 안의 구역별 농도/교환율 변화 비교	84
그림 4.2.1. 모니터링 조사 정점도	88
그림 4.2.2. 어류의 eDNA와 난자치어 종 분석용 COI reference library (75,810건; 약 1만 종)의 FastTree	93

그림 4.2.3. 2019년 4월, 7월 표-저층의 용존산소와 pH 수평분포	94
그림 4.2.4. 2019년 4월 부남호 (B3 정점) 환경인자 수직 조사	95
그림 4.2.5. 2019년 4월, 7월 표-저층의 COD 수평분포	96
그림 4.2.6. 2019년 4월, 7월 표-저층의 BOD.	97
그림 4.2.7. 2019년 4월, 7월 표-저층의 영양염류 수평분포	99
그림 4.2.8. 2019년 4월, 7월 표-저층의 SS 수평분포	100
그림 4.2.9. 2019년 4월, 7월 표-저층의 엽록소 a 수평분포	100
그림 4.2.10. 2019년 4월 (좌), 7월 (우) 부남호와 천수만의 퇴적물 입도 조성	101
그림 4.2.11. 부남호, 천수만의 퇴적물 내 총 유기탄소함량(TOC, %)	101
그림 4.2.12. 2019년 4월, 7월 저층 퇴적물 중금속 함량(mg/kg)	104
그림 4.2.13. 부남호 퇴적물 내 농약성분 함량	105
그림 4.2.14. 4월, 7월 식물플랑크톤 총개체수와 종조성.	106
그림 4.2.15. A: 규조류 <i>Asterionellopsis glacialis</i> (천수만 우점); B: 규조류 <i>Guinardia delicatula</i> (천수만 우점); C: 규조류 <i>Skeletonema</i> sp. (부남호 우점); D: 남세균류 <i>Oscillatoria</i> sp. (부남호 우점); E: 남세균류 <i>Oscillatoria</i> sp. (부남호 우점); F: 부남호 Net sample 사진	107
그림 4.2.16. A: 남세균류 <i>Microcystis</i> sp. (부남호 우점); B: 남세균류 <i>Anabena</i> sp. (부남호); C: 남세균류 <i>Oscillatoria</i> sp. (부남호 우점); D: 남세균류 <i>Oscillatoria</i> sp. (부남호 우점); E: 녹조류 <i>Monoraphidium</i> sp. (부남호 우점); F: 은편모조류 <i>Cryptomonad</i> sp. (부남호); G: 규조류 <i>Eucampia zodiacus</i> (천수만); H: 규조류 <i>Thalassiosira</i> sp. (천수만); I: 규조류 <i>Cheatoceros</i> sp. (천수만 우점)	108
그림 4.2.17. 4월, 7월 동물플랑크톤 총개체수와 종조성	109
그림 4.2.18. 부남호에서 출현한 생물 모습 (상: 깔따구, 하: 빈모류)	110
그림 4.2.19. 2019년 4월과 7월에 부남호에서 출현한 대형저서동물의 출현종수, 서식 밀도, 생물량의 공간분포 양상	111
그림 4.2.20. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 출현종수, 서식 밀도, 생물량의 공간분포 양상	112
그림 4.2.21. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 정점별 군집조성	113
그림 4.2.22. 천수만에서 출현한 주요 대형저서동물. A: <i>Heteromastus filiformis</i> , B: <i>Sigambra tentaculata</i> , C: <i>Scoletoma nipponica</i> , D: <i>Scoletoma longifolia</i> , E: <i>Notomastus latericeus</i> , F: 아기반투명조개 (<i>Theora lata</i>), G: 쇄개랑조개 (<i>Raetella pulchella</i>)	114

그림 4.2.23. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 주요 우점종 분포양상	114
그림 4.2.24. 천수만 저서동물군집의 종다양도지수(H'), 종풍부도지수(R), 종균등도지수(J')	115
그림 4.3.1. 간척지 토양의 염류집적 및 토양특성	120
그림 4.3.2. 식물뿌리에서 염류 피해 현상	122
그림 4.3.3. 자연강우에 의한 토층별 제염기간 산정	125
그림 4.3.4. 단계별 간척농지조성 및 제염	128
그림 4.3.5. 네덜란드 간척지 조성 및 다양한 작물재배	129
그림 4.3.6. 일본 간척지 단계별 농지조성 및 작물재배	131
그림 4.3.7. 투수가 양호한 토양에서 담수제염 및 작물재배	133
그림 4.3.8. 투수가 불량한 토양에서 담수제염 및 작물재배	134
그림 4.3.9. 부남호 주변 토지소유 및 개발 현황	138
그림 4.3.10. 부남호 주변 양수장 위치 및 농경지 현황	140
그림 4.3.11. 부남호 내 염분 조사 지점 및 염분 변화	142
그림 4.3.12. 부남호 인근 지하수 관측망 분포 현황	144
그림 4.3.13. 부남호 주변 지하수 염분 조사 지점도	145
그림 4.3.14. 부남호 주변 지하수 염분 농도 변화(2009년~2018년)	147
그림 4.3.15. 부남호 주변 농경지 내 염해 발생 요인 추정 개념도	150
그림 4.3.16. 해수유통 후 염해 피해 확대 예상 구역	151
그림 4.3.17. 미생물을 활용한 염해 피해 경감 방법	153
그림 4.3.18. 타 작물 재배 및 농업관광 연계	156
그림 4.3.19. 부남호 주변 대체 농업용수원	156
그림 4.3.20. 지하수 해수침투 및 토양 염류화 현상 개념도	157
그림 4.3.21. 염 유입 차단벽 설치 개념도	158
그림 4.4.1. 설문지 작성절차	163
그림 4.4.2. 부남호 인지 여부	164
그림 4.4.3. 부남호 방문 여부	165
그림 4.4.4. 부남호 기수역 하구복원 사업 인지 여부	166
그림 4.4.5. 부남호 기수역 복원사업에 대한 의견	166
그림 4.5.1. 평면배치계획 (안)	182
그림 4.5.2. 시설계획 위치도	186
그림 4.5.3. 영도대교 전경	190
그림 4.5.4. 수문(암거) 시설 개념도	191

그림 4.5.5. 제방 차수 및 보강 개념도	192
그림 4.5.6. 갯벌복원(제방) 및 논둑 제거 개념도	192
그림 4.5.7. 소규모 환경영향평가 절차	198
그림 4.5.8. 해역이용협의 수행 절차	201
그림 4.5.9. 공유수면 인허가 절차	203

표 목차

표 4.1.1. 부남호 제원	36
표 4.1.2. 천수만 제원	37
표 4.1.3. 4개 호소별 자료기간 방류량	38
표 4.1.4. 호소별 유출량 기여율	38
표 4.1.5. 천수만 규모 및 유입수 비율	38
표 4.1.6. 천수만 체적 대비 유입비율	39
표 4.1.7. 부남호 방류후 수위 강하(m)	39
표 4.1.8. 보령항 조석 특성	40
표 4.1.9. 수심조사 과업내용	44
표 4.1.10. 실향역 수치모형 실험안	50
표 4.1.11. 연직격자 구성	53
표 4.1.12. 천수만 주변 기존 조석자료	55
표 4.1.13. 염분, COD 실험 조건	56
표 4.1.14. 2개 안의 농도, 교환율 변화 비교	84
표 4.2.1. 부남호와 천수만의 난자치어와 eDNA로 탐지한 어류상	118
표 4.2.2. 부남호와 천수만에서 출현한 어란과 자치어(2019년 7-8월)	119
표 4.2.3. 부남호와 천수만에서 eDNA로 탐지한 어류상	119
표 4.3.1. 전기전도도, 염분과 식물 생육과의 관계	121
표 4.3.2. 간척지 논 유형별 벼 수확량 비교	124
표 4.3.3. 간척지의 영농 년수에 따른 토양 염농도 현황	124
표 4.3.4. 간척지 제염방법의 분류	126
표 4.3.5. 일본의 간척지(카사오카) 정비 목표	130
표 4.3.6. 국내외 간척지 기반조성 및 제염방식	136
표 4.3.7. 제염단계별 재배 가능 작물 및 작부체계	136
표 4.3.8. 최근 5년간 수도작 및 타작물 고사 등 생산량 감소 현황	137
표 4.3.9. 최근 3년간 자연재해 임대료 감면 현황	137
표 4.3.10. 부남호 간척지 토지 이용 현황	139
표 4.3.11. 부남호 내 양수장 위치도	139
표 4.3.12. 부남호 주변 4곳 양수장 연간 관개용수 공급량 비교	139
표 4.3.13. 부남호 가뭄피해 및 복구비 지원현황(2015~2018년)	141

표 4.3.14. 전국 및 충청남도 지하수 개발·이용 현황	143
표 4.3.15. 부남호 주변 지하수 조사 위치지점 현황	146
표 4.3.16. 인평저수지 일반 주요 현황	155
표 4.3.17. 최근 5년간 인평저수지 수질변화 추이	155
표 4.4.1. 천수만 복원사업 연도별 공사일정 및 총사업비(5개년)	160
표 4.4.2. 경제적 타당성 분석을 위한 총사업비의 연도별 투입계획	161
표 4.4.3. 부남호 기수역 복원사업의 편익 추정을 위한 설문조사 응답자 특성	165
표 4.4.4. 실증분석 결과	170
표 4.4.5. 가구당 WTP의 대표값 추정결과	170
표 4.4.6. 부남호 기수역 복원사업의 연간 경제적 편익	172
표 4.4.7. 부남호 기수역 복원사업 환경개선 편익의 현재가치	172
표 4.4.8. 경제성 분석 기법의 비교	173
표 4.4.9. 부남호 기수역 복원사업의 경제성 분석 결과	176
표 4.4.10. 비용 및 편익의 흐름	177
표 4.4.11. 편익 및 비용의 변화에 따른 민감도 분석(B/C)	178
표 4.5.1. 조위표	184
표 4.5.2. 재료의 단위체적 중량	184
표 4.5.3. 설계기준압축강도	185
표 4.5.4. 정지마찰계수	185
표 4.5.5. 평면계획 비교	187
표 4.5.6. 문비 형식 비교(1/2)	188
표 4.5.7. 문비 형식 비교(2/2)	189
표 4.5.8. 개략공사비	193
표 4.5.9. 천수만 복원사업 연도별 내용 및 추진계획(5개년)	194
표 4.5.10. 천수만 복원사업 연도별 공사일정 및 개략공사비 계획(5개년)	195

1. 하구의 중요성

하구는 강과 바다가 만나는 지역이다. 바다로부터 조석, 파랑, 해수가 유입되며, 동시에 강에서 담수와 퇴적물이 유입된다. 하구역은 강과 바다로 부터의 유입으로 인해 수층과 퇴적물 속에 영양염이 높아 생산성이 높은 환경으로 정의되며, 수산생물의 산란장 및 서식장의 기능을 가진다. 그러나 1981년 영산강 하굿둑을 시작으로 이후 1987년 낙동강, 1990년 금강에 하굿둑이 건설되었다. 이처럼 국내 4대강 중 섬진강을 제외한 모든 곳에 하굿둑이 건설되어 있으며, 그 외에도 삼교천, 아산천 등 대규모 강이나 하천은 대부분 하굿둑으로 막혀있어 하구의 기능이 상실된 실정이다. 하굿둑 건설의 주요 목적은 홍수 조절, 염해 방지, 수위 유지, 수산 자원의 보호 등에 있다. 그러나 하굿둑 건설 후 30여년이 지난 현재 하굿둑에 막혀 형성된 거대한 호수들은 심각한 수질오염으로 인해 농업용수로도 사용이 불가능한 경우도 발생하는 등 본래의 기능을 상실하고 있다.

하구가 막혀 있으면 연안으로부터 공급된 유기물들이 해양으로 빠져나가지 못하고 하구호에 모두 퇴적되어 유기물오염을 야기하며, 이로 인해 여름철에는 녹조현상, 빈산소수괴 형성 등으로 인해 생물의 사멸을 유발한다. 이러한 생물의 사체는 다시 퇴적물에 축적되어 수질악화는 물론 악취를 발생하는 요인이 된다. 연안에서도 강을 통해 공급되어야 할 영양염의 부족으로 생물 다양도가 감소하고, 하구둑 근처의 바다는 퇴적물이 빠르게 퇴적되며 해수의 수질을 악화시켜 수층생태계 및 저서생물에 영향을 미치게 된다.

이러한 하구호의 수질 및 오염문제 해결을 위해 전 세계적으로 오랜 논의 및 연구와 수치모델링을 통해 부분 해수유통을 그 해결책으로 제시하고 있다.

○ 하굿둑 건설에 의한 문제점

- 수질악화
- 빈산소층에 의한 생태계 파괴
- 퇴적물 오염에 의한 용출현상으로 악취발생, 산소부족에 의한 생태계 파괴
- 퇴적물 오염에 의해 표층수의 수질이 개선되어도 지속적인 수질악화 초래
- 하구호에 녹조현상이 발생하여 생태계 파괴, 심미적 기능 손상
- 하구호의 높은 퇴적물로 지속적인 퇴적물 오염 야기
- 기수역의 파괴로 생태계 순환의 고리 차단
- 육상기원의 조립질 퇴적물을 차단하여 연안침식, 해양생물 서식지 및 산란지 파괴 등 연안환경에 장기적인 피해
- 하구둑 하류측에 세립질 퇴적물의 축적으로 연안수질 악화 및 생태계 오염
- 하구둑의 오염을 방치 후 수질완화를 위하여 물을 방출할 경우에 장기적으로 연안생태계에 충격을 주어 연안생태계를 회생시킬 수 없게 되므로, 결국은 하구호를 오염된 상태로 유지 하거나 준설을 해야 하고, 이것은 지속적인 준설경비는 물론 오히려 처리에 의한 또 다른 환경재해를 가져옴

2. 해수유통 사례

□ 네덜란드 휘어스호

네덜란드의 휘어스호는 해일방지, 담수 확보와 함께 휴양 및 관광목적으로 1962년에 네덜란드의 최남단의 하구를 막아서 건설한 약 1억 1천만톤의 용량을 가지고 있는 담수호이다. 그러나 휘어스호의 수질이 점차 나빠지면서 지역민들의 심한 논쟁의 대상이 되었다. 논쟁의 결과 우선 내측의 잔트크리크담에 5.5x3m 크기의 터널 2개를 건설하고, 수질변화와 생태계 모니터링을 수행하는 것이었다. 2004년 5월부터 3개월에 걸친 1차 모니터링 결과와 2년간에 걸친 모니터링 결과, 휘어스호의 수질은 완전히 개선되었다. 이는 예측모델에서 얻어진 결과보다 매우 빠른 것이었다. 이러한 성공으로 볼케락호와 하링블리에트호의 수질개선을 위해서 해수를 유통하도록 하는 계기가 되었으며, 전체 델타프로젝트에 의해 건설된 하구둑에 대한 방향을 수정하도록 하는 계기가 되었다.



그림 1.2.1. 네덜란드의 휘어스호의 위치 (번호는 네덜란드의 델타프로젝트에 의해 건설된 갑문들의 건설순서를 표시, 큰 화살표는 휘어스호의 성공에 의해 최근 해수유통을 통해서 수질을 개선하기로 결정한 볼케락과 하링블리에트 하구호의 위치를 표시함)

□ 네덜란드 오스터스켈트 댐

네덜란드의 오스터스켈트 댐은 1976년 착공 시에는 전체 하구를 모두 막는 것으로 설계되었다가 하구생태계의 중요성이 부각되고, 지역주민의 요구에 의해 수문을 항상 열어놓도록 설계가 변경되었다. 결과적으로 최초의 계획보다 예산을 3배 들여 1987년에 완공하였다. 이 댐의 모든 수문은 모두 365일 24시간 개방되어 있으며 해일 예보와 점검 시에만 수문을 닫는다. 내부로 선박을 통행시키기 위한 통선문은 별도로 설치되어 있다.

□ 네덜란드 마에스라트 배리어

마에스라트 케링(배리어)는 네덜란드가 가장 자랑하는 하구갑문으로서, 1997년에 완공되었다. 오스터스켈트댐의 실패를 거울삼아 설계된 것으로 평상시에는 항상 접혀 있는 부채모양의 구조물로 이루어진 댐이다 (그림 1.2.2.). 이 댐의 철 구조물 1개의 크기는 파리의 에펠탑보다 길며 평상시에는 항상 열려 있어 하구로 선박들이 드나드는데 어려움이 없도록 설계되었다. 북해의 강한 폭풍과 만조가 맞아떨어져 해일의 우려가 있을 때나 월 1회 점검을 위해 닫는 경우를 제외하고 항상 열려있는 수문구조를 가지고 있다.

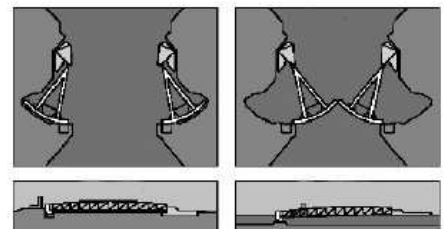
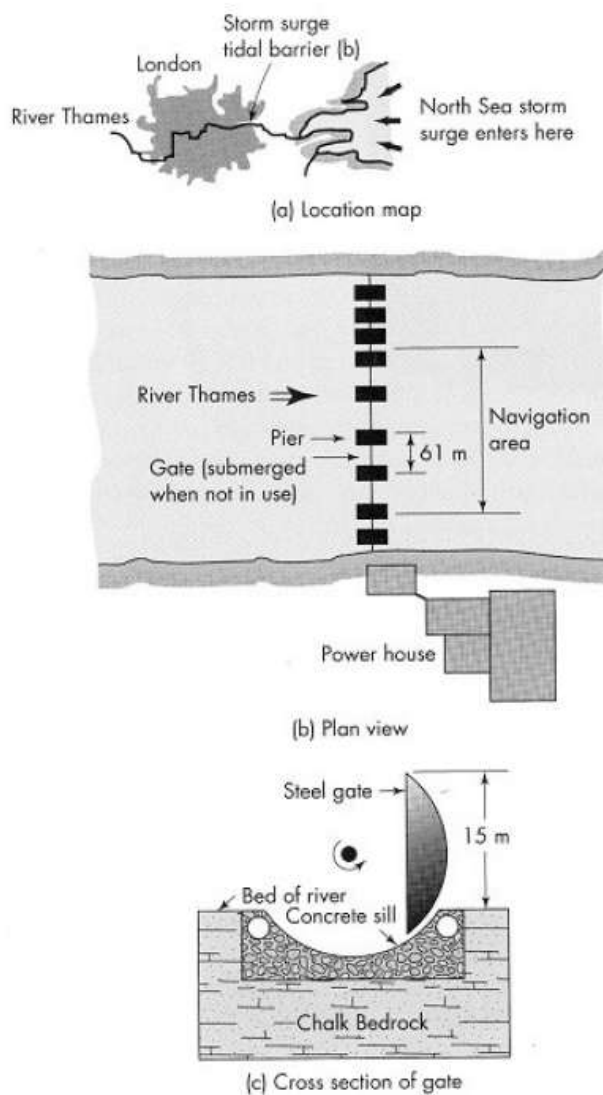


그림 1.2.2. 1997년에 완성된 네덜란드 마에스라트케링의 모습 (부채모양의 움직이는 댐이 평시에는 해안에 붙어 있다가 해일 경보 시에 닫히도록 설계되어 있음).

□ 영국 런던 하구의 테임즈 배리어

네덜란드 기술자들에 의해 설계되어 1984년에 완성된 테임즈 강의 배리어는 백중사리와 폭풍이 만나 해일을 일으킬 우려가 있을 때에만 닫을 수 있도록 설계되어 있어 평상시에는 항상 열려있으며 작은 배들이 쉽게 런던까지 닿을 수 있다 (그림 1.2.3.). 이는 하구의 다양한 기능을 유지하기 위해서는 하구는 항상 열려있어야 한다는 철학을 실천한 것이다. 갑문의 형태도 반구의 형태를 가지며 열려있는 상태에서는 강의 바닥에 붙어버려 강바닥의 퇴적물 이동을 방해하지 않도록 설계되어 있다. 현재 이 배리어는 영화에도 자주 등장하며, 런던의 주요한 관광 상품이 되었다.



테임즈강 하구의
홍수방지용 갑문

그림 1.2.3. 영국 테임즈 배리어의 사진 및 개념도.

□ 독일의 홀머질

독일의 홀머질은 방조제에 설치된 수문으로 해수용과 담수용 두개로 되어 있다. 해수용 수문은 항상 열려있어 해수가 방조제 내로 유입될 수 있도록 하고, 담수용 수문은 홍수통제를 위해 조절되도록 되어 있다. 담수구역과 해수구역의 경계에는 낮은 둑을 두어 담수량이 많을 경우에 해수구역으로 자연적으로 넘어갈 수 있도록 하고 있으며, 갑문을 통해 해수수위를 조절하여 담수구역을 담수로 유지하고 있다. 또한 내부에 작은 둑을 두어서 해수와 담수가 섞일 수 있도록 하여 기수생태계의 연결고리를 절단하지 않도록 배려했다 (그림 1.2.4). 그 결과 다양한 생태계를 보여 생물생태계를 매우 건강하게 유지하도록 설계되었다.



그림 1.2.4. 독일의 홀머질 수문과 경계방수제에 의한 기능적 생태계 복원과 주변에 복원한 염습지.

□ 미국의 하구복원

미국에서도 많은 하구복원 프로젝트가 진행되고 있다. 그 중에 대표적인 것으로 캘리포니아 주의 볼사치카 하구습지 복원을 들 수 있다. 볼사치카 하구복원은 기존의 하구둑에 설치되어 있는 갑문을 개방하여 내측에 염습지를 점진적으로 복원하는 계획이다 (그림 1.2.5.).



미국 캘리포니아 볼사치카 하구습지 복원

단계적인 해수유통
으로 기수역 확보/
하구습지 복원

-점진적인 하구습지
확대 계획

Bolsa Chica Wetland Restoration Project Description Map

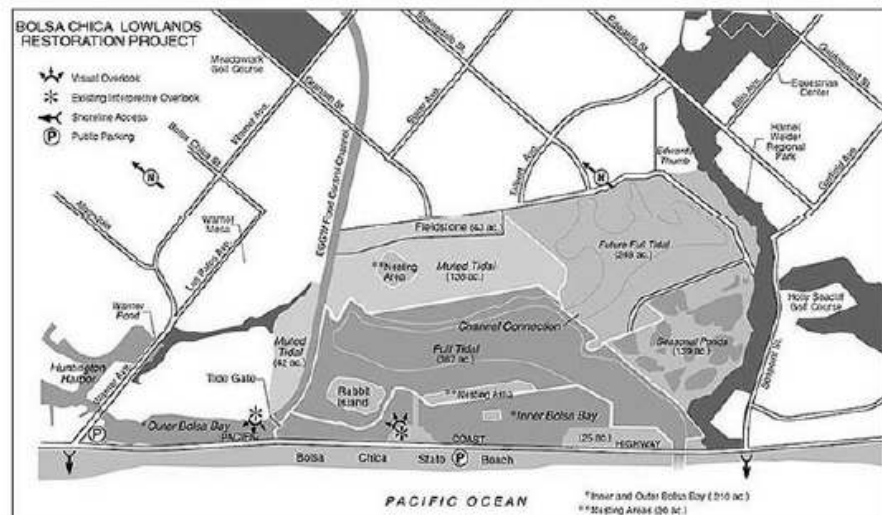


그림 1.2.5. 미국 캘리포니아 볼사치카 하구습지 복원 계획

□ 시화호

1999년 1월 21일 시화호의 수질개선을 위해 해수를 상시 유통하도록 결정이 된 이후에 중앙정부의 관련부서는 모두 해수를 상시 유통시키는 것에 대하여 동의하여 현재까지 수문조절을 통해 해수를 유통시키고 있다. 약 3년이 지난 후 부터 시화호 1/3에 해당하는 해역의 수질이 거의 회복되었으며, 최근에는 일부 저층퇴적물에서도 생태계의 기능이 살아나고 있음이 보고되고 있다. 최근 보다 많은 해수를 유통시키고, 시화호의 활용성도 높이기 위해 조력발전소를 건설하여 2012년 1월부터 상업 가동에 들어갔다. 방조제를 건설 후 시화호의 수질을 개선하기 위하여 8,000억 이상을 투입하여 개선사업을 하였으나 수질은 쉽게 개선되지 않았다. 그러나 해수를 유통시킨 후에 3년 정도의 기간이 지난 후에 저층퇴적물의 일부도 살아난다는 사실은 해수의 엄청난 기능, 즉 해양 생물과 미생물의 생태계에서의 기능을 증명해주는 결정적인 증거자료가 되었다.

□ 화성호

화성호는 2002년 방조제의 체질을 완료하였으나, 수질문제가 우려되어 현재까지 담수호로 완벽하게 전환되지 못하고 있다. 해수유통에 의해 수질이 유지되고 있으며, 해수에 의한 수질예측치보다 더 좋은 효과를 보여주고 있음을 알 수 있다.



그림 1.2.6. 시화방조제 위치 및 모습 (출처 네이버 지도 (좌), 네이버 이미지 (우))

3. 하구복원관리 전략수립

□ 목표

- 하구서식지/환경 복원
- 생태 및 토사통로 복원
- 하구경관 개선 및 친수 공간 조성
- 하구 분류에 따른 차별적 계획 수립
- 지역주민 소득 증대 및 지역발전의 한 축이 되어야 함

□ 기본 철학

- 하구환경의 자연생태로의 복원 및 자연복원기능의 극대화
 - 전반적으로 공학적 방법에 의한 복원이 아니라 공학적으로는 자연복원이 될 수 있는 기본적 환경조성만 조성하여준 후, 자연적인 기능에 의해 하구자연환경이 복원될 수 있는 방향 추진
- 하구유입 물질의 원활한 소통과 하구생물의 자유로운 이동 가능

□ 원래의 하구특성 파악 후 계획 수립

- 대부분의 하구는 변형이 되었으므로 원래의 지형, 퇴적물 수지, 에너지 특성을 파악하여 원래의 자연환경에 맞는 계획수립 필요
- 하구별 장기적 진화방향을 파악하여 지구기후변화에 대비한 하구 복원 및 관리 계획 수립 필요
- 복원계획 중 도입이 필요한 환경인자는 국외를 포함하는 다른 하구의 특성에 대한 연구를 통해 신중하게 받아들여야 함

4. 부남호 역간척 쟁점사항

① 퇴적물 처리 관련

- 부남호 제방 내·외측에 퇴적물이 넓게 분포되어 있으며, 해수유통 시 부남호 퇴적물의 천수만 유입을 우려
- 퇴적물 분포현황 조사 및 성분분석 후 어업인 공청회·전문가 자문 등을 거쳐 퇴적물 처리방안 최종 확정
 - 부남호 역간척 사업 추진 중 가장 우선적으로 추진해야 할 부분임
 - 해수유통 터널(수중암거), 통선문 위치 등 퇴적물 이동 예상구간은 파이핑 준설 등을 통해 버드아일랜드 조성에 활용
 - 기타 구간에 대하여는 퇴적물에 모래를 복토하여 자연정화 추진



그림 1.4.1. 퇴적물 처리방안 (파이핑 준설) 개념도

2 양식장 등 어업피해 보상

- 퇴적물 및 오염수 방류에 따라 천수만 내 양식장 및 어업에 피해 예상
- 퇴적물은 사전 정화하고 오염수 방류량, 방류시기 등을 검토하여 어업피해가 발생하지 않도록 준비
 - 부남호 해수유통은 천수만 전체에는 긍정적인 효과가 클 것으로 예상되나, 단기적으로 예측치 못한 피해는 수산업법 등 관련법령에 따라 협의·보상 추진
 - 해수유통 공사기간이 최소 2년 소요될 것이므로, 그 기간 동안 배수갑문을 이용하여 서서히 배출 및 정화작업을 통해 문제 해결
- ※ 부남호 내측에 믹스존(해수+담수)을 설치하여 정화 후 방류 방안 마련
- ※ 담수호 방류에 따른 해양생태계변화, 해수유통시 해저지형 변화 등 연구 조속 추진

□ 천수만 어업권 현황

구 분	처분 건수	면적(ha)	어촌계 (종사자)
계	235	2,728	46 (3,064)
마을어업	117	1,553.1	
복합어업	23	248.5	
패류	80	863.2	
어류	15	63.2	7 (63)

* 어촌계 및 종사자는 합계 수치에 어업별 중복

□ 시군별·품종별 현황

구 분	품종별 어업권 현황(건/ha)									
	계		어류		패류		마을어업		복합어업	
	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적
계	235	2,728	15	63.2	80	863.2	117	1,553.1	23	248.5
보령시	43	378.1	2	4	8	29	27	275.6	6	69.5
서산시	13	349.5	2	14.5	5	150	6	185	-	-
홍성군	41	813.9	4	9.9	15	376	17	366	5	62
태안군	138	1,186.5	7	34.8	52	308.2	67	726.5	12	117

① 어류 종사자 : 63어가(보령 5, 서산 7, 홍성 1, 태안 50)

② 패류양식 종사자 : 46개소어촌계 / 3,064명

* (보령) 7 어촌계 / 695명, (서산) 2 / 124명, (홍성) 7 / 775, (태안) 30 / 1,470

③ 마을어업 : 패류와 같음

④ 복합어업 : 16개 어촌계 823명(보령 3/230, 홍성 2/120, 태안 12/473)

□ 천수만 양식어업 면허 현황

구 분	처분 건수	면적(ha)	어촌계(종사자)
계	235건	2,728	46개소 (3,064명)
마을+패류 (바지락 등)	197건	2,416. ³	
복합어업 (전복+해삼 등)	23건	248. ⁵	
어류 (우럭, 송어 등)	15건	63. ²	합계와 중복 7개소 (63명)

* 바지락 등 패류 양식의 경우 어촌계원 공동 양식으로 수익도 공동 분배

3 농업용수 확보 방안

○ 현재 1,470ha*(39%)에 1,200만톤 (저수지 기준) 농업용수 필요

* 간척에 따른 농경지 전체 3,745ha 중 2,275ha(61%)는 산업용지로 전환(06,08년)

○ 부남호 상류측 방조제를 구조 변경*하여 최소 2,000만톤의 농업용수 확보
가능하며 수질 개선·유지방안 마련

* 바닷물 유입차단 차수벽 설치, 상류측 방조제 하단 배수갑문 설치·주기적 방류
- 유입하천(3개소)에 대한 정비로 깨끗한 담수 확보(환경부 사업)

※ 장기적으로 부남호 전체 해수유통을 위하여 대체 용수 공급방안 검토 필요
⇒ 서북부지역 상시 가뭄 대비 선제적·적극적 계획 수립 필요

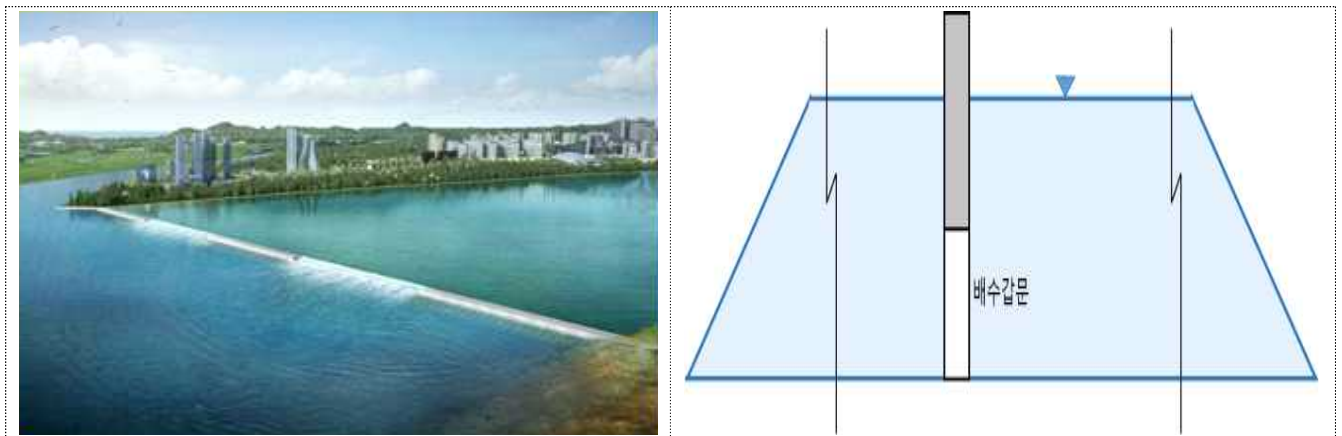


그림 1.4.2. 부남호 상류 농업용수 확보 개념도 (좌), 부남호 상류 배수갑문 (하단부)
설치 (우)

2장 계획의 기본 방향

1. 비전 및 목표

비전

천수만 환경개선 및 생태복원을 통한 풍요로운 가치 창출

목표

1. [하구복원] 부남호 해수유통을 통한 하구호 수질 개선
2. [환경개선] 생태복원을 통한 하구호 건강성 회복 및 다양성 증진
3. [공간활성화] 생태공간 활력 유입을 통한 생태관광 활성화

추진전략

전략별 중점과제

① 부남호 수질 개선

1. 방조제, 하구호 내외 측 현황 조사 및 D/B 구축
2. 시나리오별 기수역 영향예측 및 최적안 도출
3. 부남호 하구복원 기본계획 수립

② 해수순환 및 환경관리체계 구축

1. 해수순환관리체계 구축
2. 해수유통 시범 실시
3. 해수유통 성과분석을 위한 모니터링 체계 구축

③ 생태복원 및 건강성 회복

1. 연안 하구 최적 생태 복원 방안 마련
2. 하구식생 복원 및 환경 개선
3. 생태계 사후 모니터링 및 다양성 증진

④ 생태관광 및 공간이용 활성화

1. 생태관광 활성화
2. 하구역 공간이용 제고
3. 복합 활용 비즈니스 모델 개발

3장 부문별 추진 계획

1 부남호 수질 개선

1. 시나리오별 기수역 영향예측 및 최적안 도출

◆ 해수유통터널 설치에 따른 해수유통, 해수교환율, 염분침투에 대한 수치모형을 개발하여 하굿둑 개방에 따른 최적 시나리오 도출

□ 기존 개발지역의 침수 예방과 개방에 따른 생태환경의 시나리오별 기수역 영향 예측

○ 시나리오별 기수역 수치모델 개발

- 해수유통 현황을 재현하고, 해수유통터널 설치에 따른 유동변화를 고려하여 내외부의 조위변화 파악
- 상부 차량 통행이 가능한 형식 검토, 기존 배수갑문 활용방안 검토, 통항 선박제원에 따른 규모 등을 고려한 통선문 설치
- 부남호 유입하천, 갑문운영/하굿둑개방 조건에 따라 반응할 수 있도록 해역-담수호를 연계하는 통합모델 설계
- 지형자료를 이용하여 해안선, 수심 및 경계조건 등을 적용한 하굿둑 상시개방 수치모델 개발

* 수치모델 ESCORT (Efficient Support for Coastal & Ocean Research and Training) : 3차원 해수유통 모델로 조류, 해류를 포함하는 해수유통은 물론 수질 변화(Water quality), 퇴적물 이동(Sediment transport), 입자추적(Particle tracking), 생태계(Ecosystem) 모듈이 접합되어 있어서 연안의 해양현상 파악

○ 해수수치예측모델실험을 통한 최적의 대안 선정

- 부남호 내·외측 수질개선을 위하여 해수유통터널을 설치하는 경우, 주변해역 환경 수용력을 고려한 최적 운용방안 및 하구둑 개방 시나리오 산출

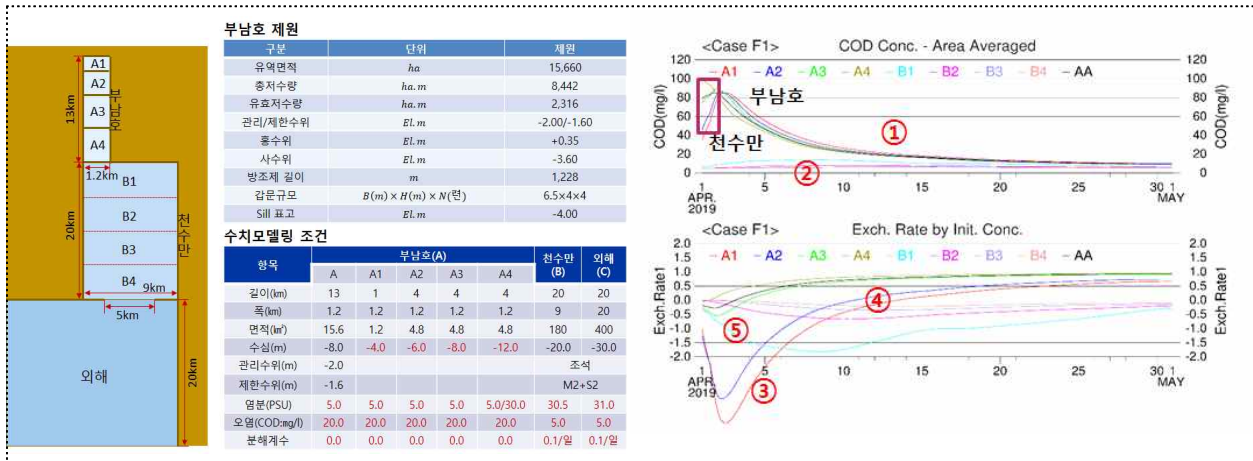


그림 3.1.1. 부남호 환경개선 수치모델링 조건 (좌) 및 오염수 평균 농도/교환율 변화모델 결과 (우)

□ 부남호 수위에 따라 해수유통터널 설치 운영으로 인한 피해 최소화 최적안 도출

- 해수유통터널 설치에 따른 해수유동, 해수교환율, 염분침투에 대한 영향예측
 - 부남호 천수만의 염분과 오염수(COD)의 움직임, 시간경과에 따라 부남호 오염수 희석, 부남호 오염수 평균 농도/교환율 변화 측정
 - 부남호 2차원/3차원 해수유동 (수온, 염분 포함 비균질류 계산), 2차원/3차원 수질변화, 2차원/3차원 퇴적물이동, 3차원 생태계 변화, 입자추적 계산 등
- 부남호 수문운영/하구둑 개방에 따른 하구호 내측의 수질개선 효과, 천수만 수질변화 등에 의한 시나리오 작성

- 부남호 내·외측 수질개선을 위하여 해수유통터널을 설치하는 경우, 주변해역 환경수용력을 고려한 최적의 운용 시나리오 산출
- 규모, 개수, 위치 등 다양한 하굿둑 개방 시나리오별 부남호 내부의 환경변화를 모델로 예측
- 해수유통터널 설치에 따른 염분의 유입 및 수질의 변화 예측
- 해수의 순환에 따라 퇴적환경 및 수환경의 급진적 변화가 예상되는 바, 지속적인 수질조사 및 퇴적환경에 대한 모니터링 실시

2. 방조제, 하구호 내외측 현황 조사 및 D/B 구축

◆ 연안 환경변화 원인 규명 및 환경생태 특성 DB 구축 및 활용

- 부남호 하구역의 환경생태 및 자원관리 정책지원을 위한 하구역 내외측 해양환경 조사 및 DB 구축
 - 화학적산소요구량(COD), 총유기탄소함량(TOC), 하구호 내 퇴적물 오염도 파악, 수층생물 및 저서생물 등 환경·생태·수질 현황 조사
 - 수온, DO, pH, BOD, COD, 영양염류, 조류, 염분도, 부유물질, 유기물, 중금속 등의 오염물질, 입도, 유기물, 중금속, 농약(부남호) 등의 퇴적물, 어류, 저서생물 등 조사
 - 생태계 복원에 대비하여 분자생물학적 방법인 e-DNA(environmental DNA) 등 첨단 기술 연구를 통한 어류의 종다양성 조사
 - 수집된 환경시료에서 gDNA 추출 및 PCR, COI(또는 12S, 16S 등) 분자마커, PCR 산물을 NGS(차세대염기서열기법)로 대량의 염기서열 확보, 대량의 유전자 염기서열을 메타바코딩을 통해 종 판별

○ 하구역 수리·퇴적·수질·생태환경 특성의 DB 구축

- 부남호 조성 이전의 천수만 북부지역에 대한 환경자료와 건설 후 현재까지의 자료를 수집하여 분석, 환경 및 군집 건강성 평가

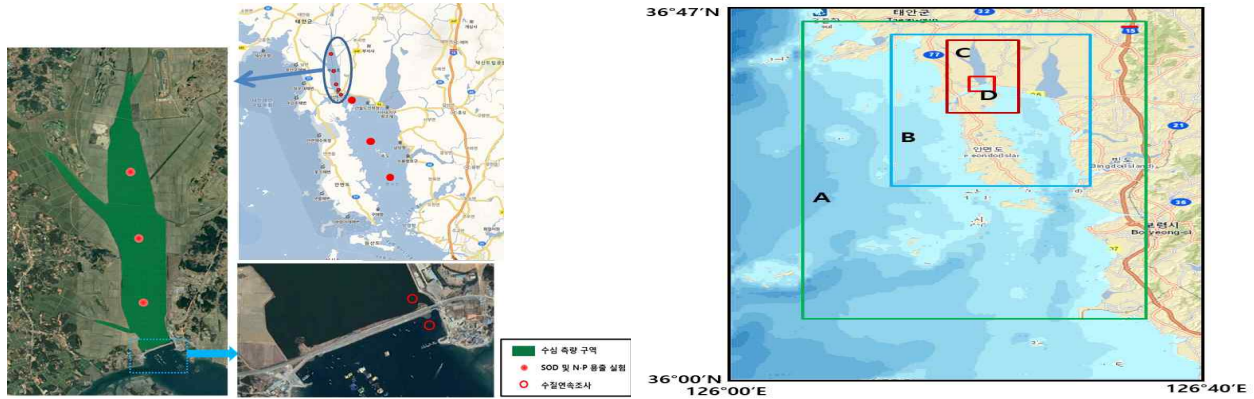
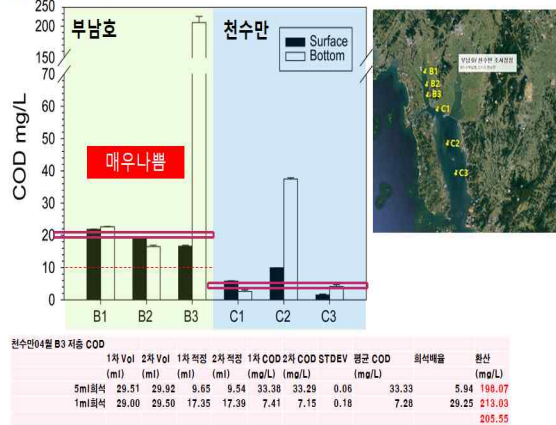


그림 3.1.2. 부남호 기수환경영향 대상 해역인 부남호와 천수만

□ 하구호 환경변화 원인 규명 및 개방 영향 조사

- 방조제(하굿둑) 조사, 폐염전 조사, 방파제 조사, 해안사구 현황조사
 - 방조제 구조물로 인한 지형변화, 수질악화, 수산자원 감소, 생태계 훼손 등의 하구호 피해를 최소화 할 수 있는 실태 자료 구축
- 내외측 해수순환 특성, 수질 변화 특성 파악을 위한 하천유량 조사
 - 하굿둑 단계별 개방안에 따른 하구호 내측으로의 염수유입에 따른 주변 농경지 등 육지생태계 영향가능 범위 조사 및 평가
- 하구호 수질 및 퇴적물 오염도 정밀공간 조사, 하구호 방류 영향 조사
 - 천수만 내측 및 부남호 전면 해역에 도입된 자동수질측정망 연계 활용

화학적산소요구량 (COD)



수질 (부남호) 수층별 염분과 용존산소

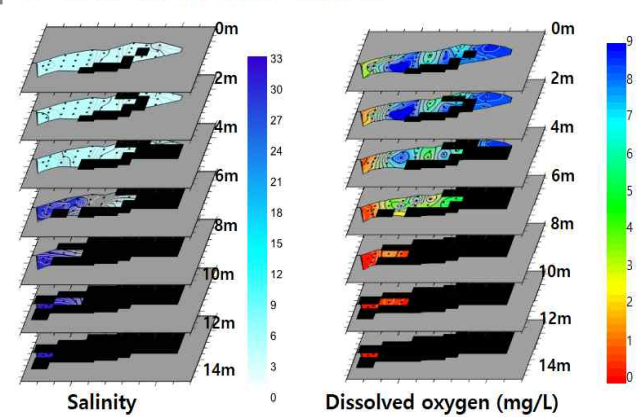


그림 3.1.3. 부남호 화학적 산소요구량 및 수질

3. 부남호 하구복원 기본계획 수립

◆ 해수유통터널 설치를 통한 해수순환으로 수질개선과 갯벌 복원 및 생태환경 개선, 어족자원의 증대 및 생태관광의 활성화로 인해 지역경제 활성화를 위한 종합관리계획 수립

□ 천수만 내 부남호 내·외측의 환경개선 및 생태복원 추진을 위한 종합관리시스템 및 관리계획 수립

○ 천수만 내 부남호의 환경 현황 및 관리 여건 분석

- 해수수치모델실험, 해수 유입방안, 생태환경의 개선, 생물서식공간 확보, 생태관광을 통한 지역소득 증대, 주민공청회 및 선호도 조사를 통한 지역주민 의견 등을 종합적으로 고려하여 최적 대안 선정
- 현재의 배수갑문으로는 오염된 저층수 및 퇴적물 개선이 어려우므로 시범방류 및 해수유통 방안 마련

○ 해수순환 피해 완화 및 생태복원을 위한 중점사항 설정

- (해수유통터널 운영방안) 해수순환을 위한 해수유통터널 설치 초기단계에는 주변지역의 피해를 최소화하고, 자연 순응과정을

모니터링하기 위하여 최고수위를 설정하여 운영

- (수질 개선) 해수유통터널의 설치로 해수 순환율이 빨라 수질은 비교적 빠른 시일 내 개선 될 것으로 예상되지만, 퇴적물 영향 파악을 위한 모니터링 병행이 필요
- (갯벌 복원) 지형 복원 및 해수 유입으로 자연 스스로의 복원을 원칙으로 일부지역은 염생식물 군락지로 조성하고, 주변 사구지역의 식생복원을 통하여 생태환경 개선
- (생태환경 개선) 해수순환으로 조간대 면적이 확보되어 생태환경이 점차 개선될 것으로 예상되며, 생태환경의 영향을 최소화하는 범위 내에서 서식처 등을 조성

□ 오염원 저감 대책 수립

- 천수만 내측 해역 및 부남호 오염퇴적토 정화·처리 방안 사업 추진
 - 복원사업 전, 중, 후 모니터링을 통하여 대상지역의 관리계획을 수립하고, 해수 순환과 함께 상부 오염원에 대한 방안 마련
 - 조사 수행 결과를 바탕으로, 해양수산부 정화복원사업 추진 타당성 조사 요청
 - * 해양오염퇴적물 조사 및 정화,복원 범위 등에 관한 규정, 해양수산부 고시 제2013-206호
 - 부남호 내 수질 및 오염퇴적물 저감 방안 마련
 - * 농어촌공사, 현대도시개발 등 관리청과 협의
- 하구복원의 타당성 분석·평가
 - 부남호의 제방을 상시 개방하여 부남호 내부가 기수해역으로 복원하는 것이 가능하며, 기존의 매립지 침수도 방지할 수 있는지에 대한 내용을 모델모사로 분석하여 평가



그림 3.1.4. 부남호 기본계획 조감도

1. 해수순환관리체계 구축

- ◆ 부남호와 천수만을 하나의 해역으로 통합할 수 있는 개방방식을 채택하여 지역주민의 편의성 제고 및 천수공간의 활용도 제고

□ 부남호 해수유통터널 설치를 통한 해수순환 실시

- 하구호 개방에 따른 염해 방지 기법 관련 조사 및 대상지에 적합한 세부 공법 비교 평가
 - 해수순환 방법을 해수유통터널의 운영방법에 따라 부분개방(부분순환, 계절순환), 상시개방 등의 방식이 고려될 수 있으나, 상시개방으로 추진하는 것이 바람직함
- 해수순환 시 지속적인 수질 및 퇴적물의 모니터링을 실시하여 효과성 및 문제점을 파악하여 단계적으로 수문 증설 및 방조제의 개방 등의 방안 모색

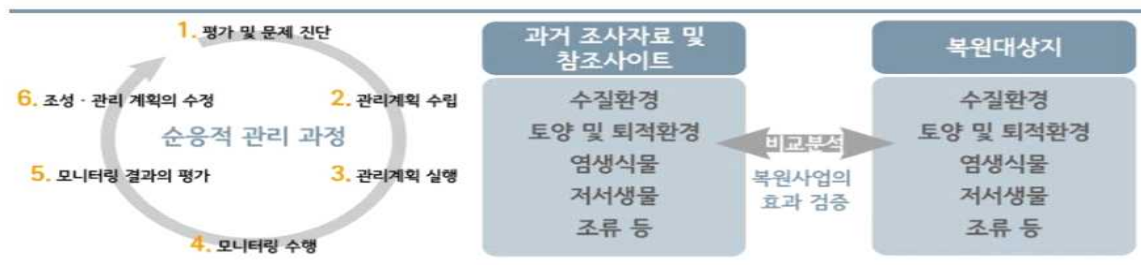


그림 3.2.1. 시설계획 위치도

- 염해 및 재해방지를 위한 내부 제방 보강, 노후 방조제 보강 등을 통하여 안정성 확보

□ 갯벌복원, 염습지 조성 등 연안지역 생태회복을 위한 환경관리체계 구축

- 하구의 관리를 하구중심의 유역별 통합관리 방식으로 전환
 - 하구역의 오염물질 관리의 통합방식은 상류하천에서 연안에 이르기까지 행정, 조직, 단체, 법률, 비용 등이 모두 유기적으로 통합되는 방식으로 추진



- 해수순환으로 인한 수위조절로 갯벌 복원
 - 해수순환으로 조성된 조간대 지역 순응적 갯벌 복원
- 주변 농경지와 갯벌 사이에 염습지 및 수질정화습지 조성을 통하여 육상부와의 완충 공간 조성
 - 해수의 원활한 유입을 위한 물골 및 염생식물지 조성
 - 농경지와 갯벌사이 염습지 조성을 통해 완충 공간 확보

2. 해수유통 시범 실시

- ◆ 개발된 모델을 운용하여 현재 상태에 대한 모델 결과가 현장 관측치와 잘 일치할 때까지 개방 경계조건 및 각종 계수조건을 적절히 조정하는 모델 검증 실시

□ 시범방류 및 해수유통 시범 실시

- 예측모형을 활용한 실험시물레이션(안)과 실험역 실험 검증(안)과의 비교 분석
 - 부남호 내측의 염수침투 범위 및 수질개선 효과 검토
 - 부남호 및 천수만 해역 수질변화 특성 파악
 - 부남호 내 해수교환율 분석
 - 부남호 내측 최대 유지가능 수위 및 최대 만조위 차이 비교를 통하여 해수유통터널 설치에 따른 호 내측 유지관리 수위 검토
- 시범방류 시험결과 분석
 - 염분 유입 및 모니터링 결과 분석, 사진·동영상 기록 정리, 기술적인 평가 및 판단 수행, 실험보고서 작성 및 수치모델실험 결과 비교
- 다양한 환경-사회-경제-문화자원의 유기적인 관리 및 보호, 이해관계자간 이익의 분배 및 갈등의 조정 등 통합적인 전략 개발과 실행을 위한 기반 제시
 - 갯벌을 복원시에는 인위적 복원보다는 물골 조성 및 갈대 군락의 제거 등의 최소한의 간섭으로 자연스스로 복원될 수 있도록 조성
 - 주변 농수산업 피해발생 최소화 방안 수립

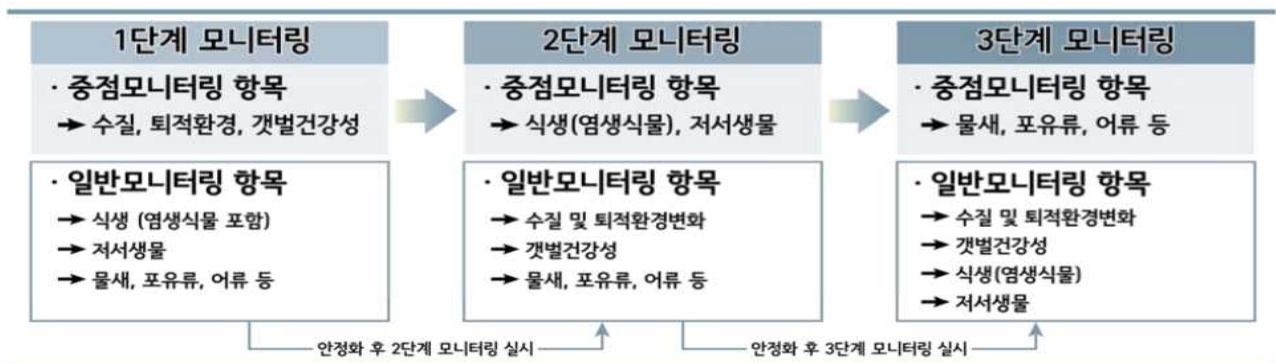
3. 해수유통 성과분석을 위한 모니터링 체계 구축

- ◆ 복원 사업 이전, 중간 그리고 복원 사업 이후로 구분하여 조사하고, 모니터링은 복원 후 지속적으로 수행하여 복원사업에 따른 생태환경 개선 효과 검토

□ 생태학적 모니터링을 기본으로 한 생태기반 환경과 생물상 조사를 통해 시범방류 성과분석 방안 수립

○ 복원된 생태계의 상황 파악을 위한 모니터링 체계 구축

- 상황실 24시간 상시운영, 시민 모니터링단 운영, 실시간 모니터링 시행 및 대응체계 구축
- 대상지가 지닌 생태계 구조와 기능적 특성을 조사·분석하여 비교 분석하기 위해 고정조사구 또는 조사지점을 명확히 설정
- 수질과 퇴적환경이 안정화된 후, 저서생물, 갯벌생태계 등의 다양한 동식물의 유입에 따른 점진적인 변화를 고려하여 단계적인 모니터링 방안 수립



○ (평가체계) 구체적인 복원사업의 우선순위 평가

- (Tier I) GIS를 이용하여 제방 축조, 농업, 수상구조물, 물 흐름 제한구조물 등 다양한 인위적 요소의 영향을 평가하며, 이외에도 수문 연결성, 기존 기능에 관한 정보도 분석

- (Tier II) 복원비용, 기대되는 기능적 변화, 복원장소의 크기, 복원사업의 성공확률 예측값 등에 관한 자료를 바탕으로 평가
- 계획구상 초기단계부터 문제인식을 함께 공유하고 참여적인 의사결정이 이루어져 지속가능한 발전의 협력적 거버넌스 구축
- 하구와 관계되는 다양한 이해당사자를 중심으로 협력과 참여를 보장하는 협력 협의체 구축
- * 하구와 관계된 이해관계자, 중앙부처와 지방자치단체, 상·하류유역 농민과 어민, 개발업자, 수자원관리자, 환경·생태전문가, 지역개발 및 도시계획 관계자 등 참여, 주민설명회 개최 등을 통하여 의견 반영

1. 연안 하구 최적 생태 복원 방안 마련

◆ 갯벌 및 염생식물 군락지로 조성을 통한 생태계 건강성 회복을 목표로 설정하고, 생태관광 활성화로 지역경제에 이바지

□ 하구역 복원 대상지 우선순위 설정을 위한 평가지표 개발

- 생태적 요소, 실현가능성 요소, 공공/경제적 편익 요소 등의 세 가지 범주로 설정
 - 시범 복원 대상 후보지 선정을 위한 평가표 및 평가기준 마련
 - 상시 개방에 따른 염수 침입 및 천수만 수산피해영향 최적화 방안 제시
- 연안하구생태계 복원 사업의 우선순위를 결정하는 기준 설정
 - 서식지 희귀성, 생물종이나 서식지에 대한 위협 등의 복원사업의 시급성
 - 서식지나 생물종이 제공하는 생태적 편익, 성공적으로 복원할 가능성
 - 서식지나 생물종 복원에 대한 대중적지지 및 제공하는 사회적·경제적 편익
- 하구역 환경보전 및 가치증진을 위한 환경-생태계, 수산생물, 자원 측면의 현안을 건강성 평가지수 진단

□ 하구식생 복원 및 생물서식처 조성

- 야생동물 서식처 조성, 조류의 특성을 고려한 서식처 복원 등을 통한 생물다양성 증진
- 물골 조성 및 갈대 군락의 제거 등의 최소한의 간섭으로 갯벌 및

염생식물 군락지 조성을 통한 생태계 건강성 회복

○ 부남호 하구역의 건강성 평가 및 생태환경-경제적 가치평가

- 갯벌복원을 통한 경제적 가치 증대 효과와 어업기반시설 및 소득 증대시설 조성으로 인한 사회문화 및 정책적 파급효과로 구분하여 생태복원사업을 통한 파급효과분석



2. 하구식생 복원 및 환경 개선

□ 해수유통터널 설치를 통하여 해수교환율을 조절하여 물골 조성 및 염생식물지 조성

- 해수순환모델을 바탕으로 해수유통터널 설치 시 수위를 고려하여 조간대가 형성되는 지역을 갯벌지역으로 복원
- 복원시험지(테스트베드)로 설정하여 갯벌 복원과정을 지속적으로 모니터링을 실시하여 연구 자료로 활용
- 다양한 생물의 서식처가 될 수 있는 습지공간이 요구되는 바, 물골의 일부 구간에 둑병을 계획하고, 통통마디, 해홍나물, 칠면초 등의 염생식물을 도입하여 경관요소 및 주민 소득원으로 활용

- 염습지 조성을 통하여 수질정화의 효과뿐 아니라 갯벌복원지역과 농경지 사이의 완충효과를 통해 염해 및 재해 방지
- 염습지 식생은 자생초종 및 염적응 가능 초종을 도입하며, 식생 다양화 및 수질정화 효과가 있는 종을 선택하여 빠른 안정화 유도

3. 생태계 사후 모니터링 및 다양성 증진

□ 야생동물 서식 공간 조성을 통한 생물 다양성 증진

- 야생동물 서식 환경에 적합한 공간 조성을 통한 생물다양성 증진
 - 하천의 수변부, 해안, 갯벌 등의 서식지를 선호하는 꼬마물떼새, 검은머리물떼새, 흰물떼새 등의 서식환경에 적합한 공간으로 조성
 - 비침수 공유수면부를 갯벌생태공원으로 활용하도록 하며 자생수종 위주의 보식을 통한 식생 환경을 보완
 - 목재벤치 등 휴게시설물을 도입하여 습지생태 및 조류를 관찰 할 수 있는 공간을 조성
- 서식하는 조류의 특성을 고려한 하중도 및 수변서식처 복원
 - 수질 악화로 인한 저서동물 폐사 방지를 위한 유입수 수질을 관리
- 하구역 관리정책 분석, 법제도 정비 및 종합관리대책 수립
 - 과학적인 자료에 기반한 하구역 관리와 복원 목표 제시

□ 조간·천해역, 생태계·조류, 어업, 수·저질환경, 바다와 육지와의 연속성·호안, 바다와 연안이용, 환경학습교육, 유지·관리, 재생보전 이용을 위한 제도, 홍보 등 실천계획 수립

- 하구 통합관리체계 구축을 위해서는 하구를 구성하는 다양한 공간과 부문 간의 연계성 확보를 위한 기본적인 정책방향 수립

- 분산되어 있는 관리주체 및 체계를 통합할 수 있는 제도적 장치를 마련하여 하구를 중심으로 다양한 이해관계자 간의 조정체계 구축 방안 마련

○ 하구호 복원에 대한 홍보와 교육

- 하구에 한 보전 및 관리방안에 있어 지역주민의 교육·홍보를 통한 하구별 자발적 관리 및 보호체계 확립
- 다양한 이해당사자를 상으로 하구의 기능과 가치에 한 지속적인 교육 및 홍보활동 추진
- 하구관리프로그램을 수립하여 지역주민들의 자발적 참여 유도

○ 성공적인 생태복원을 통하여 단계별 접근을 통한 전략 수립

- 해수순환을 위한 지형복원을 통하여 갯벌의 기능을 회복할 수 있는 기반환경 조성
- 갯벌복원이 안정화단계에 이루어진 후 다양한 생물 서식환경을 조성해 줌으로써 복원대상지역의 생물다양성 확보

1. 생태관광 활성화

◆ 해수유통터널 설치를 통한 해수순환으로 수질 및 환경 개선으로 생태관광 활성화

□ 환경훼손 최소화 범주에서 체험시설을 도입하여 생태관광활성화를 통한 지역소득 증대 방안 마련

- 환경적 가치 제고와 수산자원의 회복, 하구역 문화 복원, 친수 공간 조성, 관광 및 여가·심미적 가치의 증진·제고를 위한 기수역 관리 기본계획 수립
- 방조제 전면부의 경제활동 규모, 사후 관리 비용, 복원을 통한 경제적 기대치, 수산자원의 감소여부, 복원 후 활용 가능 면적, 사업의 효율성, 주민소득 다원화 정도 등의 평가항목 설정
- 하구역 복원대상지역의 생태계 건강성이 회복된 후 기반시설의 정비 및 생태관광프로그램을 마련하여 생태관광 활성화 도모

□ 해수순환으로 생태건강성 회복 후 생태관광자원 확보를 통한 관광 활성화

- 부남호 하구역 주변의 사회경제·이용개발 현황 조사 및 전망
- 명산, 해수욕장 등의 자연관광자원, 역사문화, 공원 및 시설 등의 문화관광자원, 산업시설, 관광농원, 체험농원 등의 산업관광자원, 청소년수련시설, 낚시터 등의 위락관광자원 활용
- 세계적인 철새도래지, 해양, 담수호, 만, 갯벌, 산림자원이 함께 어우러진 관광레저지역으로 지속 추진

- 인공습지를 활용한 생태 학습장 조성, 휴식공간 제공 등 환경 훼손을 최소화하는 범위에서 생태학습장을 도입하여 생태관광 활성화 마련
- 수질개선을 위하여 조성한 인공 습지를 활용하여 생태체험장 및 학생들의 교육 프로그램 운용 및 다목적 공간으로 활용
- * 생태환경교육장, 에코힐링공간 조성

2. 하구역 공간이용 제고

◆ 연안 및 하구생태복원사업 추진을 위한 단계별 목표설정, 연차별 추진계획 수립 및 시행

□ 지속가능한 연안 및 하구관리로 지역경제 활성화 도모

- 갯벌생태공원, 갯벌생태 체험장 등 생태체험 공간 조성을 통하여 탐방객 유도
- 체험, 관찰 등 다목적으로 활용 가능한 공간으로 조성하여 관광객 유입을 유도
- * 부남호 해수순환이 이루어지고 생태환경이 안정화단계에 도달한 후 자연환경을 최대한 훼손하지 않는 범위에서 이용가능범위를 설정하여 생태공원으로 조성
- 다양한 체험프로그램을 마련한 어촌체험공간으로 활용
- 체험활동에 필요한 세족장, 화장실, 휴식공간 등을 방문객 규모를 고려하여 배치
- 지역 이미지 개선과 함께 지역주민의 휴식공간으로 활용

□ 회유성 어종 복원 및 종패 방류 등을 통해 어족자원 확대 방안 모색 및 양식장 조성을 통한 지역소득 증대 기여

○ 어류 및 패류 복원을 통하여 어족자원의 증대를 도모하고 지역주민의 소득 향상 및 방문객의 체험 장소로 활용

- 해수순환으로 인하여 기수어종 등의 유입이 기대되며, 어업활동이 활발하게 이루어질 수 있도록 양식장을 조성하여 어업인의 소득 증대에 기여

* 잘피 이식 등을 통하여 어류 서식처를 조성하고, 갯벌이 안정화단계에 도달하면 종패를 살포하여 어족 자원 확보

- 양식장을 운영하는데 있어 오염을 최소화할 수 있도록 친환경 양식장 시설을 도입하도록 하며, 양식장을 운영하는 주민 스스로 주변 환경개선 유도

- 지역주민에 관리를 위탁하여 어업활동 및 체험활동으로 지역소득 증대 유도

3. 복합 활용 비즈니스 모델 개발

□ 연안 및 하구의 지속가능한 효율적 관리를 위한 기본방향 및 원칙 설정

○ 하구가 가지는 다양한 환경, 경제, 사회·문화적 가치의 조화를 통해 풍요로운 하구환경으로 개선하거나 복원사업 추진

- 하구의 고유한 환경기능과 가치를 저해하지 않는 범위 내에서만 이용 및 개발 추진

- 하구의 다양한 문제를 해결하기 위해 이해당사자들의 관심과 참여 및 협조가 이루어질 수 있는 네트워크 구축

- 통합적 거버넌스의 구축을 위해 공간 및 관리주체를 통합하고

역할과 기능을 배분하고 정책·제도 통합

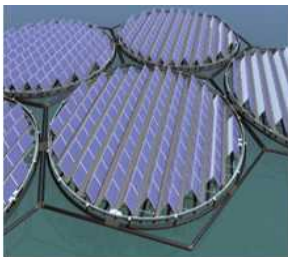
- 통합관리를 위한 전담조직 및 기구와 환경관리체계 개발하고, 이를 위한 종합적 연구 및 다양한 측면에서 하구모니터링 수행
- 하구관리 기반강화를 위한 비전과 정책목표를 제시하고 종합적인 기초조사, 연구 및 모니터링 계획의 수립 및 이행
- 연안 및 하구생태복원 및 자연자원 회복을 위한 하구관리의 비전 및 정책 수립이 필요

□ 이해관계자 협의체 구성을 통한 지속가능한 발전의 협력적 거버넌스 구축

- 하구와 관계되는 다양한 이해관계자, 상·하류 유역 어민, 수자원관리자, 환경·생태전문가, 지역개발 및 도시계획 관계자 등의 협력과 참여를 보장하는 지역포럼이나 정책협의회 등을 구성
- 부남호 하구관리의 통합성 확보를 위한 관련 법 수정·보완, 연안 및 하구 관리·복원을 위한 특별법 제정 추진

□ 복합공간 활용 및 극대화를 위한 최적 이용 부대시설 선정

- 하구역 특성, 지역경제 활성화를 위한 경제성 등을 고려하여 최적 부대이용시설 도출



수상 부유식 태양광 발전



풍력 발전



골프장



수목원 또는 관광농원

4장 연구 결과

1 수치 모델링

◆ 부남호 하구역의 환경생태 및 자원 관리 정책 지원을 위한
갑문운영/하굿둑개방 시나리오별 수치모델링

1. 연구 배경 및 목적

□ 연구 목적 및 필요성

- 부남호 수질개선 및 생태계복원을 위한 갑문운영/하굿둑 개방 시나리오에 대한 수치모델링을 통하여 대책안을 비교 검토함.
- 부남호 내부에 대한 수심조사를 실시하고 과거 수심자료와의 비교를 통하여 방조제 건설 전후의 수심변화를 파악함.
- 천수만 유입 유량 분석, 조석 분석을 통하여 천수만의 순환 양상을 파악하여 대책 안 수립을 위한 기초자료로 제공함.

2. 연구 방법

□ 현황파악

- 천수만 및 부남호의 지리적 특성
 - 부남호는 천수만의 북측에 위치한 두 인공호소 (간월호, 부남호) 가운데 하나로 간척사업의 일환으로 건설된 부남방조제에 의해 천수만과 분리되어 있음.
 - 부남호는 남북으로 기다란 형태이며 폭은 2-3km이고 길이는 약 13km. 평균 수심은 약 8m 정도이나 남측 방조제 부근이 최대 25m 정도로 깊고 그 외 대부분의 지역은 수심이 얕음 (그림 4.1.1).
 - 부남방조제는 동서 방향 길이가 1,228m로 동쪽 끝에 $[6.5(m) \times 4(m) \times 4(N)]$ 의

배수갑문이 위치하며, 갑문의 Sill은 (-)4m임 (표 4.1.1).

- 방조제 서쪽 끝 부분에는 방조제 건설 초기에 호수 내 고염수 배출을 위해 설치된 제염암거가 있으나, 현재 사용되지 않아 매몰된 상태임.
- 부남호의 수위는 내부 간척지 침수를 방지하기 위하여 관리수위 (-)2.0m, 제한수위 (-)1.6m로 유지되고 있으며, 제한수위에 근접하는 경우 배수갑문을 통하여 방류를 실시하고 있음.

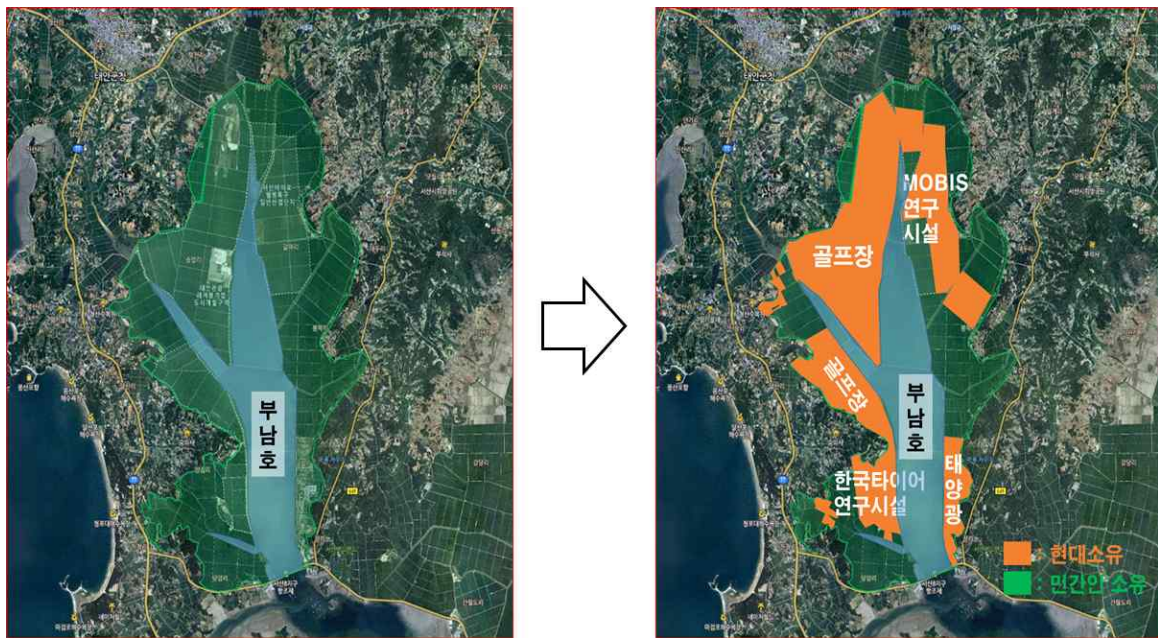


그림 4.1.1. 부남호 및 주변현황.

표 4.1.1. 부남호 제원

구분	단위	제원
유역면적	ha	15,660
총저수량	ha.m	8,442
유효저수량	ha.m	2,316
관리수위	El(m)	-2.00
제한수위	El(m)	-1.60
홍수위	El(m)	+0.35
사수위	El(m)	-3.60
방조제 길이	m	1,228
배수갑문 규모	B(m)×H(m)×N(련)	6.5×4×4
Sill 표고	El(m)	-4.00

- 천수만 또한 남북으로 기다란 형태이며, 길이는 약 20km, 평균 폭은 9km 정도이나, 남측 입구 부분에서는 좁아져 약 5km가 됨(표 4.1.2).
- 평균 수심은 약 20m이나 북측은 얇고 조간대가 많으며, 남쪽으로 가면서 깊어짐.
- 면적은 약 179km²에, 수량은 약 36억 m³ 정도가 됨.
- 안면도 북측에 위치한 좁고 얇은 백사수로를 통하여 서쪽으로 외해와 연결되고 유통량은 그리 많지 않으나 천수만 북측 염분 수지에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있음.

표 4.1.2. 천수만 제원

구분	제원
평균 폭(동서)	9km
입구 폭(동서)	5km
길이(남북)	20km
평균수심	20m
면적	179km ²
체적	360,000m ³

○ 천수만 호소 방류 현황

- 간월호, 부남호, 홍성호, 보령호 등 4개 인공호소로부터 천수만으로 상당량의 담수가 유입되고 있음.
- 천수만으로 유입되는 유량 현황을 파악하기 위하여 확보한 2009~2018년 동안의 방류량 기록을 각 호소별로 분석하였음(표 4.1.3).
- 1년 동안 천수만으로 방류되는 유량은 총 4억 6,500만 m³ 정도이며, 간월호가 가장 많고(약 47.7%), 홍성호가 가장 적으며(12.3%) 부남호는 16.8%로 홍성호 다음으로 적음 (표 4.1.4).
- 천수만의 체적을 36억 m³으로 보면 매년 체적의 12.95%가 유입되고 있으며,

부남호에서 유입되는 양은 2.2% 정도임 (표 4.1.5 및 표 4.1.6).

- 부남호 방류기록을 검토해본 결과, 방류시 내부의 수위 강하는 매년 평균 10cm 이내이며 전체 평균으로는 약 6.9cm로 나타남 (표 4.1.7).

표 4.1.3. 4개 호소별 자료기간 방류량

	자료기간	연평균 방류량 (만 m^3 /년)	연평균 방류일 (일)	일평균 방류량 (만 m^3 /일)	초당 방류량 (m^3 /초)
부남호	2011~2018	7,825	48	143.08	110
간월호	2008~2017	22,150	40	525.67	404
홍성호	2009~2017	5,720	39	148.43	184
보령호	2011~2017	10,759	36	293.30	275
합계		46,455			

표 4.1.4. 호소별 유출량 기여율

총유출량	46,455	m^3 /년
호소별	유량(만 m^3 /년)	기여율
부남호	7,825	16.8%
간월호	22,150	47.7%
홍성호	5,720	12.3%
보령호	10,759	23.2%

표 4.1.5. 천수만 규모 및 유입수 비율

폭	9	km
길이	20	km
평균수심	20	m
체적	360,000	만 m^3
유입수 비율/년	12.90	%

표 4.1.6. 천수만 체적 대비 유입비율

천수만 체적	360,000	만 ³
호소별	유량(만 ³ /년)	기여율
부남호	7,825	2.2%
간월호	22,150	6.2%
홍성호	5,720	1.6%
보령호	10,759	3.0%
합계	46,455	12.9%

표 4.1.7. 부남호 방류후 수위 강하(m)

년도	11	12	13	14	15	16	17	18	평균
수위 강하	5.4	6.6	5.1	4.1	7.5	7.6	9.0	9.7	6.9

○ 천수만 조석 특성

- 국립해양조사원의 보령항(충남 보령) <기본수준면성과표> (고유번호 : 334-1, 참조해도 : 3531)에 의하면 <2012년 수준점정비사업 결과>에서 보령TGBM IMSL기준 표고(m) = 보령TGBM MSL 표고(m) - 0.1812m로 나타남. 즉, 천수만 평균해면은 인천항 평균해면보다 18.12cm 낮음.
- 국립해양조사원에 따르면 충남 보령항의 조석 특성은 다음의 표 4.1.8.과 같이 대조차 634.8cm, 소조차 278.0cm임.
- 조석형태수는 0.2로 1일 2회조의 특성을 보임.
- 보령항의 조석특성을 인천항 조석과 비교하여 조위면도로 표시하였음 (그림 4.1.2).

표 4.1.8. 보령항 조석 특성

천수만 인근해역 조석자료 (2014년)				
국립해양조사원 해양예보과				
정점	항목		진폭	지각
보령	조 화 상 수	주태음반일주조(M2)	228.2	94.2
		주태양반일주조(S2)	89.2	148.4
		일월합성일주조(K1)	35.1	285.9
		주태음일주조(O1)	26.8	247.1
	비 조 화 상 수	대조차(cm)	634.8	
		소조차(cm)	278.0	
		대조평균조위(cm)	696.7	
		소조평균조위(cm)	518.3	
		평균해면(cm)	379.3	
		조석형태수	0.20	

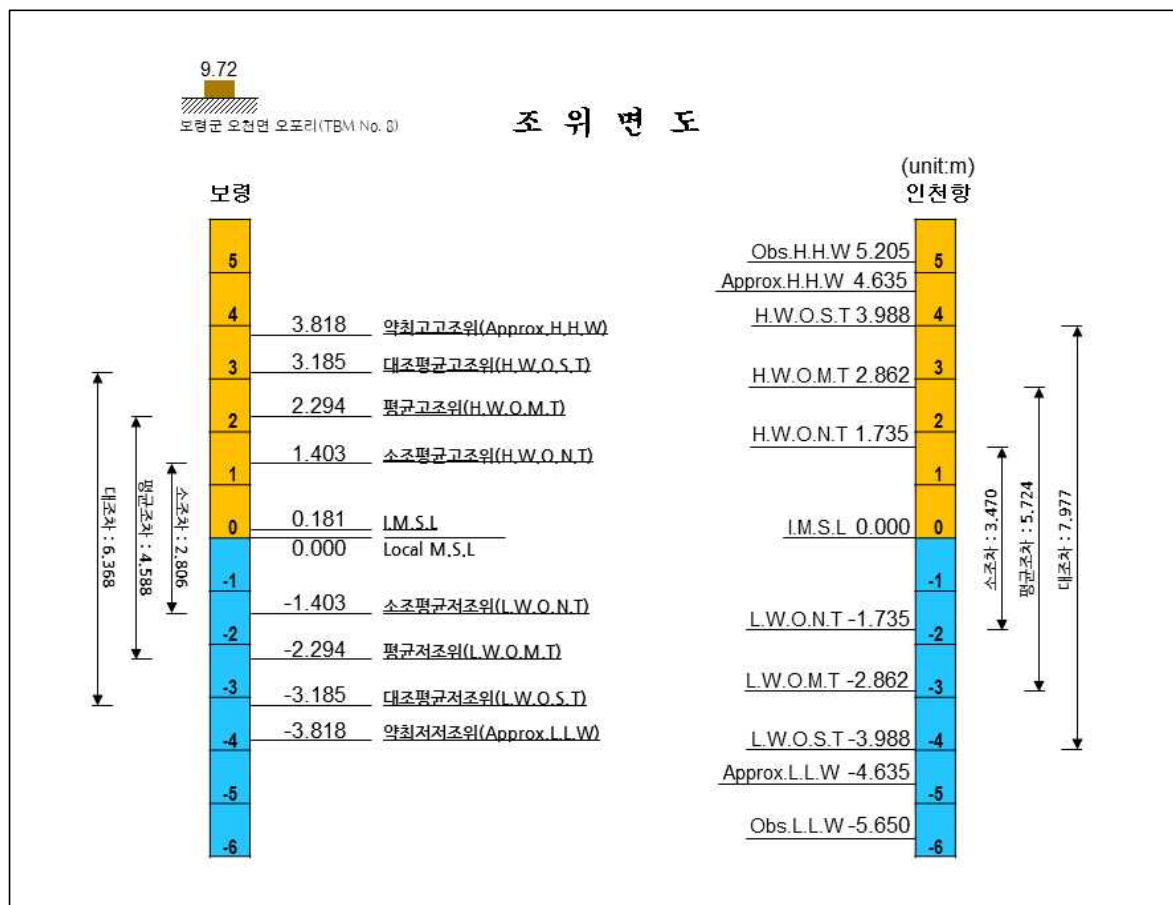


그림 4.1.2. 보령항 조위면도.

○ 부남호 방류 가능시간 검토

- 국립해양조사원에서 조사한 보령항 조석 4개 분조를 사용하여 29.5일 (2019/04/01~04/29) 동안의 조위 변화를 예측하였음 (그림 4.1.3).
- 최고수위는 EL(+) 3.43m, 최저 수위는 EL(-) 3.76m로 나타남.
- 29.5일(708시간) 부남호 제한 수위 (-)1.6m 이하인 기간은 181시간, 관리 수위 (-)2.0m 이하인 기간은 127시간으로 나타남.

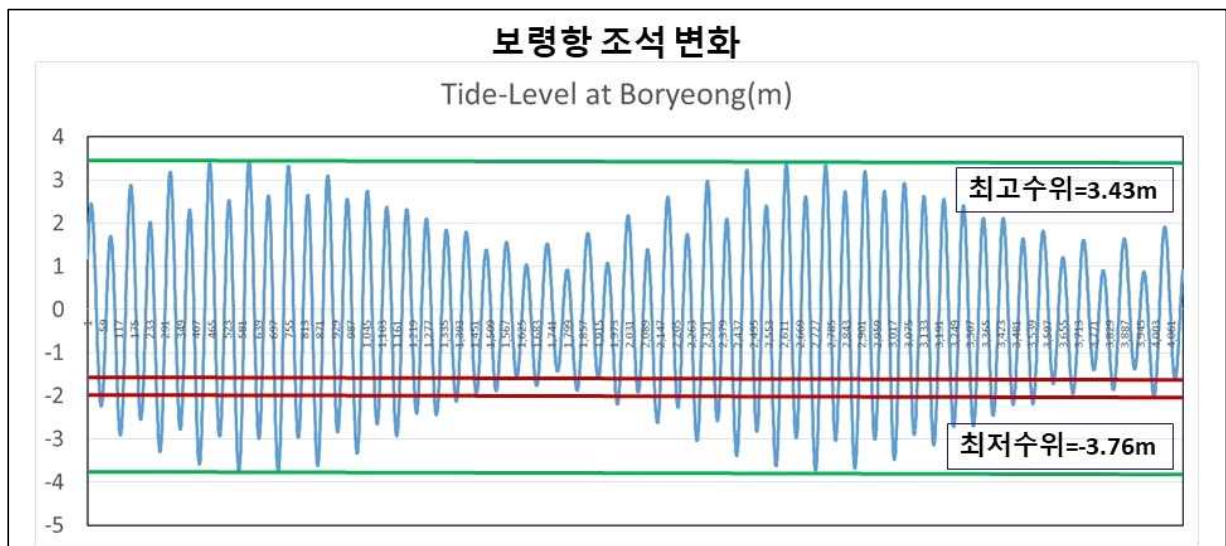


그림 4.1.3. 천수만 조석변화(보령항).

- 이를 근거로 부남호 배수갑문을 통한 방류 가능 시간을 추정해 보면, 반일주조 1주기(약 6시간 13분) 동안 방류가 가능한 시간은 대조기에 최대 4시간 34분이며, 소조기에는 천수만이 항상 부남호 제한수위(-1.6m)보다 높아 방류가 불가능함 (그림 4.1.4).
- 부남호 방조제를 사이에 둔 부남호와 천수만의 수위 관계를 아래의 그림 4.1.5로 도시하였음.

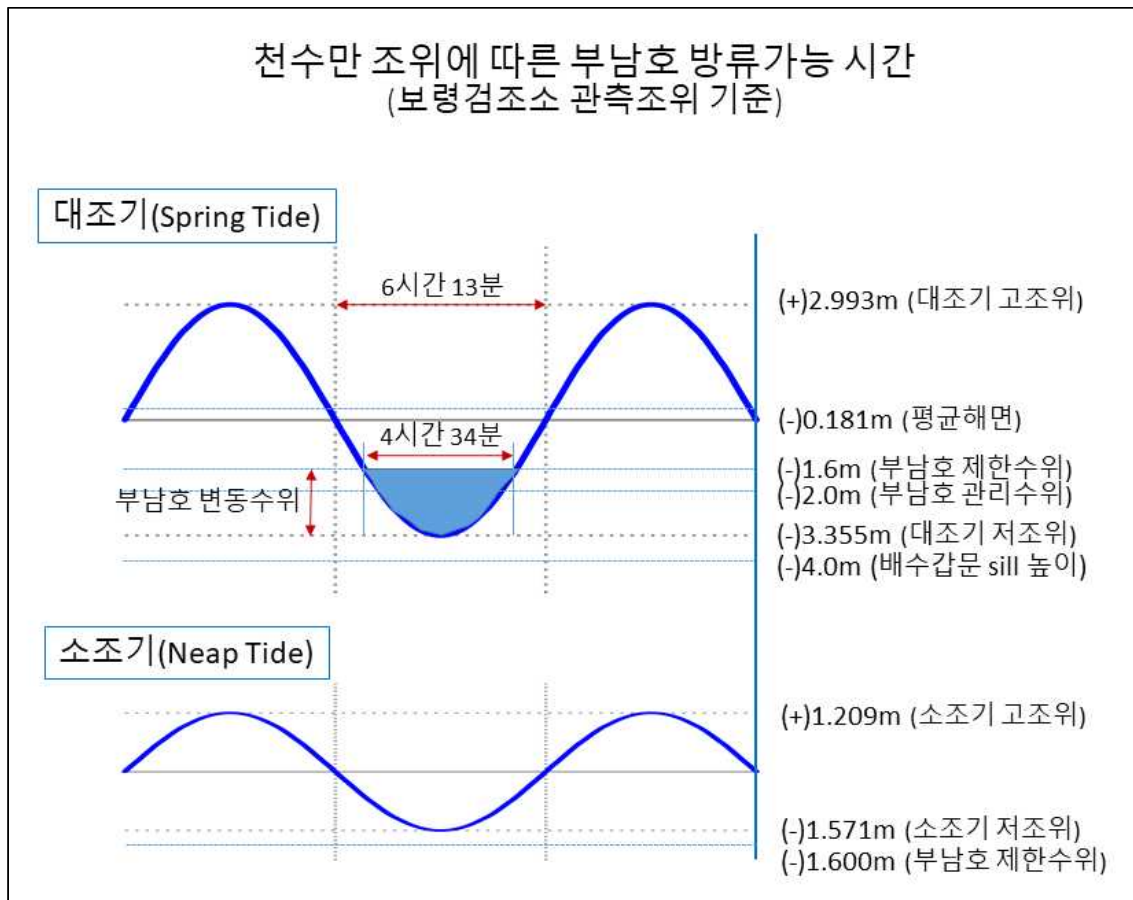


그림 4.1.4. 천수만 조위에 따른 부남호 방류 가능시간.

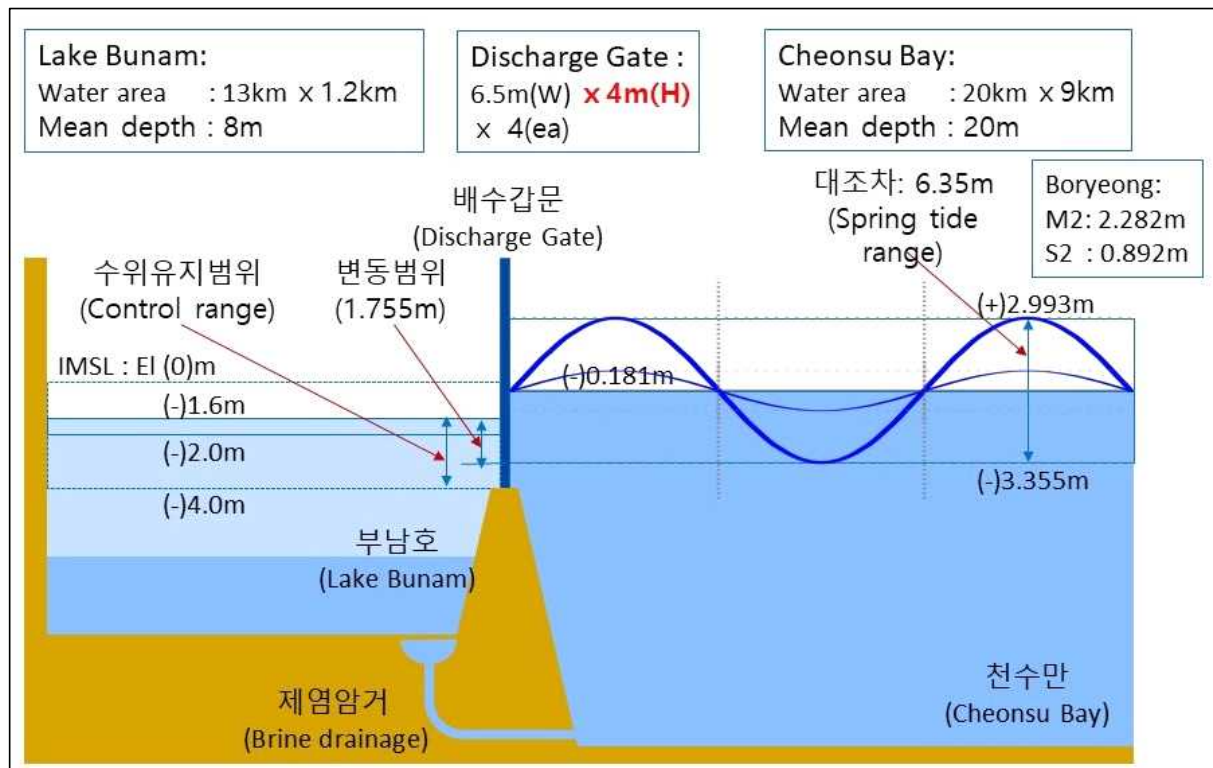


그림 4.1.5. 천수만 조석 및 부남호 수위.

□ 수심조사

○ 부남호 과거 수심도

- 현대건설에서 작성한(1984년) 부남호 수심도(그림 4.1.6.)를 확보하였으나, 장기간에 걸친 퇴적과 준설 등으로 수심변화가 발생하였을 것으로 예상되며, 이를 파악하기 위한 수심 조사를 실시하였음.

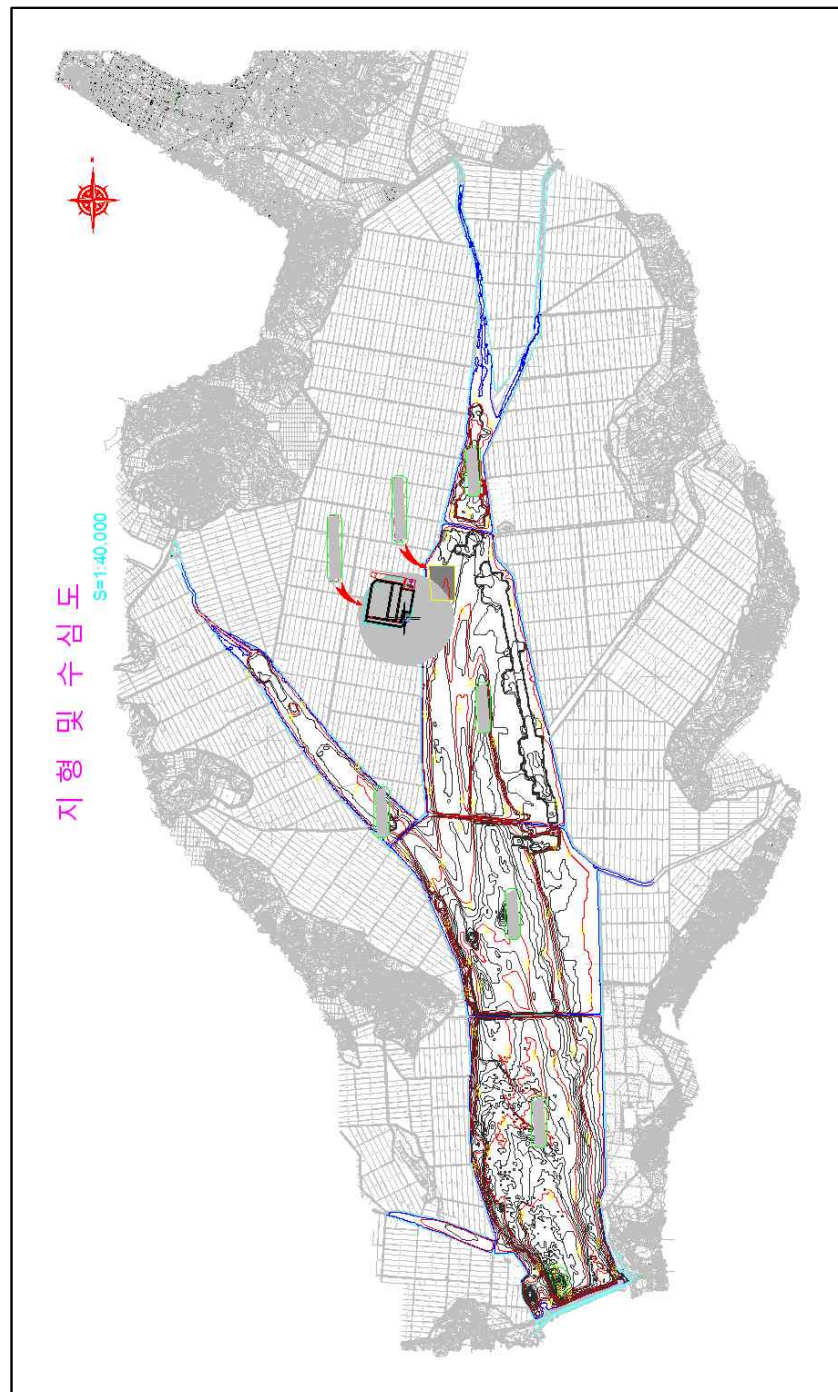


그림 4.1.6. 현대건설 조사 부남호 수심도.

○ 부남호 수심조사 과업내용

- 과업내용상 부남호 면적에 대하여 20m 간격으로 조사하도록 되어 있으나 (표 4.1.9.) 현실적인 여건상(예산, 기간 등) 불가능하여 측심 간격 50m, 검측 간격 200m로 변경하였으며, 추가로 안선 측심을 실시하였음.

표 4.1.9. 수심조사 과업내용

세부항목	과업내용	
조사기준	장비	단빔 음향측심기
	면적	14.4km ²
	간격	20m
	항적	31.3km
대상영역	부남호	

○ 수심조사 과정

- 수심조사를 실시하기 전에 조사계획을 수립하기 위하여 사전 현장답사를 실시하여 조사선박을 선정/임차하였으며, 현장조사 장비를 점검하고, 조사구역 항정선을 지형도에 입력하는 등의 작업을 수행하였음
- 소프트웨어를 이용하여 자료 분석 절차를 테스트 하는 등 선 수행 작업을 진행하였음.
- 1차로 2019년 4월(04/08 - 04/14)에 측심조사를 수행하였고, 2차로 2019년 5월(05/06 - 05/10)에 추가조사를 진행하였음.



조사선



음향측심기



GPS

그림 4.1.7. 수심조사 장비.

- 먼저 호 내 전 수역에 걸쳐서 남북 방향으로 50m 간격을 두고 동서 방향으로 이동하면서 측심을 실시하고, 이후 동서 방향 200m 간격을 두고 남북 방향으로 이동하면서 검측을 실시하였음. 호 내 가장자리를 따라서 안선 측심을 실시하였음. 조사선의 항적도는 아래의 그림 4.1.8.과 같음.

- 측심 작업에는 수심이 얇은 지역에 적합한 단빔측심기를 사용하고 GPS와 연결하여 실시간으로 수심과 위치를 저장하였으며, 선속을 5노트 이하로 유지하여 오차를 저감하였음.

- 매 작업일 측심 종료 후에는 수준면 측량을 실시하여 측심자료에 대한 수준면 보정 자료를 확보하였음.

- 현장조사 종료 후에는 취득한 수심자료를 1차 처리한 후 분석하고, 수준면 조사 자료를 이용하여 EL기준으로 변환하였음.

- 미조사 부분(A1, A5)는 기존 자료를 활용하여 보완하였음.

- 도면화 과정을 거쳐 최종적으로 부남호 수심도를 완성하였음.

○ 부남호 수심변화 분석

- 과거 수심자료(현대건설, 1984)를 확보하여 조사 수심자료와 비교하여 수심변화를 파악하였음.

- 동일 좌표의 10m×10m 격자망 수심으로 변환하여 2019년 조사 수심에서 1984년 수심을 빼는 방식으로 동일 격자의 수심을 비교하였음.

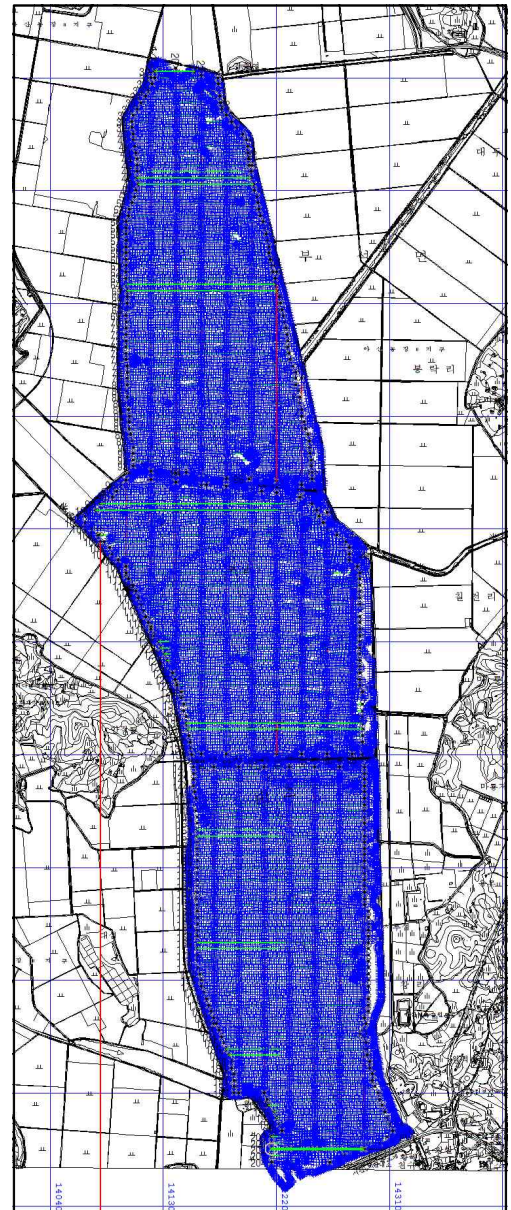


그림 4.1.8. 수심조사 항적도.

○ 광역 수심자료 확보

- 천수만을 중심으로 한 주변해역의 수심 분포를 파악하기 위하여 국립해양조사원의 정밀 수심자료(그림에서 빨강색 위치), 전자해도 수심(검정색 위치) 수심을 확보하였음(그림 4.1.9).
- 국립지리원 발행 지형도로부터 안선(녹색 선) 자료를 확보하였으며, 여기에 당 사업에서 조사한 부남호 수심(파랑색 점)을 조합하여 주변해역 수심도를 완성하였음.

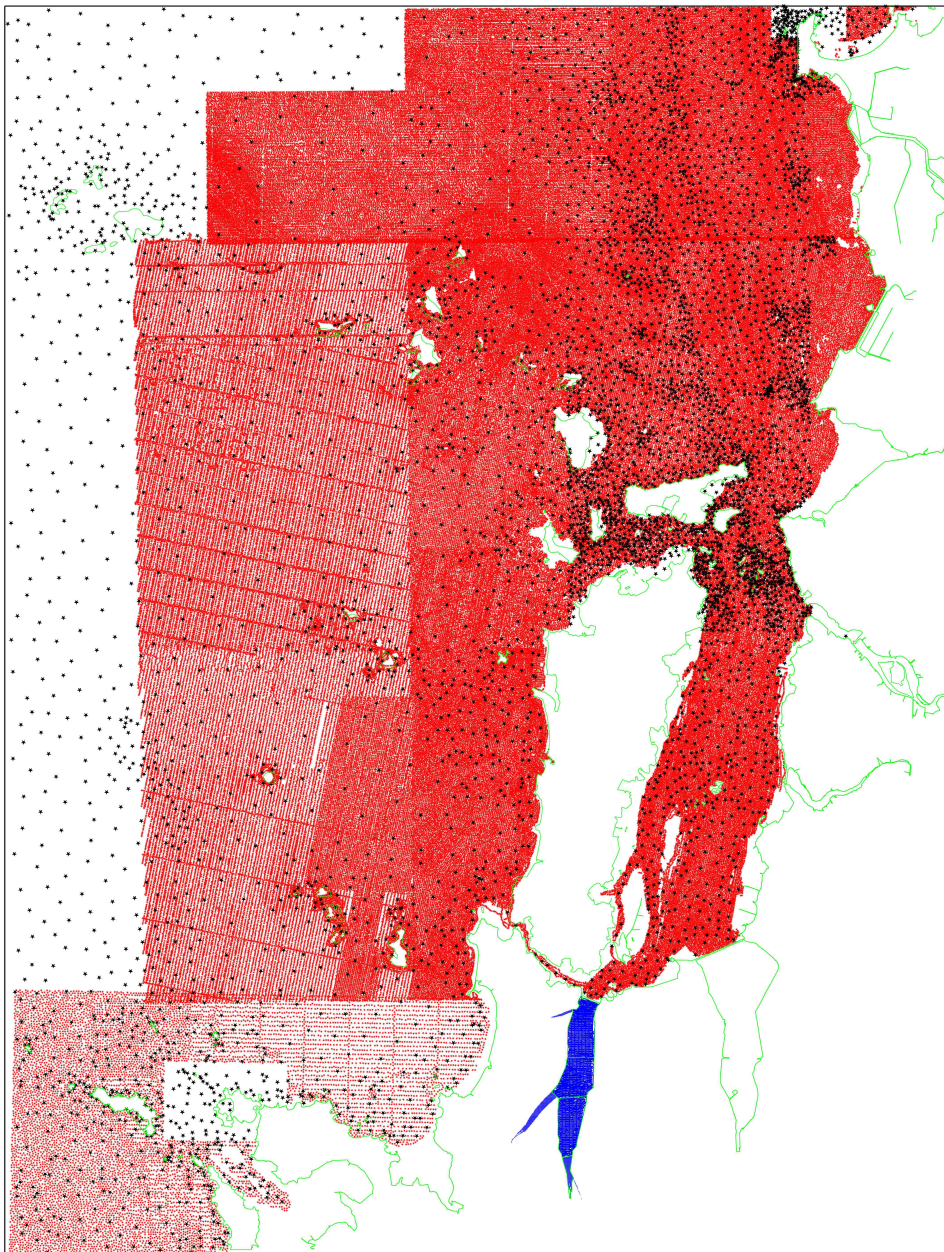


그림 4.1.9. 천수만 주변해역 수심자료.

□ 수치모형실험

○ 수치모형실험 목적

- 수치모형실험의 목적은 부남호 수질개선 및 생태계복원을 위해 선정된 해수유통터널 설치/하굿둑 개방 시나리오에 대한 수치모델링을 통하여 비교 검토하는 데 있음.

○ 수치실험안 선정

- 수중암거 설치 사례: 네덜란드 휘어스호(Veerse Meer)의 경우(그림 4.1.10) 길이 22km, 평균 폭 1.5km로 (수량 1억 1천만톤) 부남호의 약 1.5배 규모인 호수임.
- 강에 연결된 동단에 설치된 잔트크리크담에 해수유통용수중관로(5m[W]×3m[H]×2)를 설치하여 운용하며 설치 3개월 후 뚜렷한 수질개선 효과를 보였음.

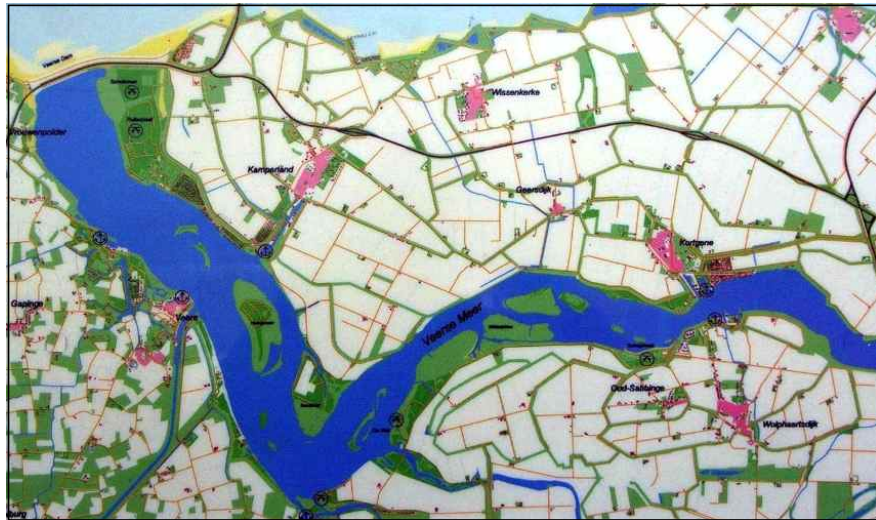


그림 4.1.10. 네덜란드 휘어스호.

- 수중암거의 형태: 수중암거의 일반적인 형태는 아래의 그림 4.1.11.과 같으며 필요한 설치 규모에 따라 일정 규모의 암거를 추가 설치하게 됨.
- 수중암거의 위치는 현재 제염암거가 위치한 방조제 서측 끝부분으로 정하였으나, 향후 추가 검토를 거쳐 적정 지점을 선정할 수 있음(그림 4.1.12).

- 적절한 후보 시나리오를 도출하기 위하여 실효역 수치실험 전에 실효역과 유사한 규모의 장방형으로 구성된 이상해역 수치모형을 수립하여 실험하였음 (그림 4.1.13).
- 유통갑문 추가설치안을 점검하는 <이상해역 유통갑문 설치 수치실험> 및 수중암거 설치안을 점검하는 <수중암거 설치 수치실험>을 실시하였으며, 이를 통하여 수중암거 설치 2개 안을 실험 후보안으로 선정하였음 (표 4.1.10).
- 제1안(F1)은 수심 16m 지점에 폭 100m 높이 3m(100m × 3m)의 수중암거를 설치하는 안이며, 제2안(F2)은 동일한 위치, 동일 수심에 폭 20m, 높이 5m (20m × 5m)의 수중암거를 설치하는 안임.



그림 4.1.11. 수중암거의 일반적인 형태.



그림 4.1.12. 수중암거 잠정 위치.

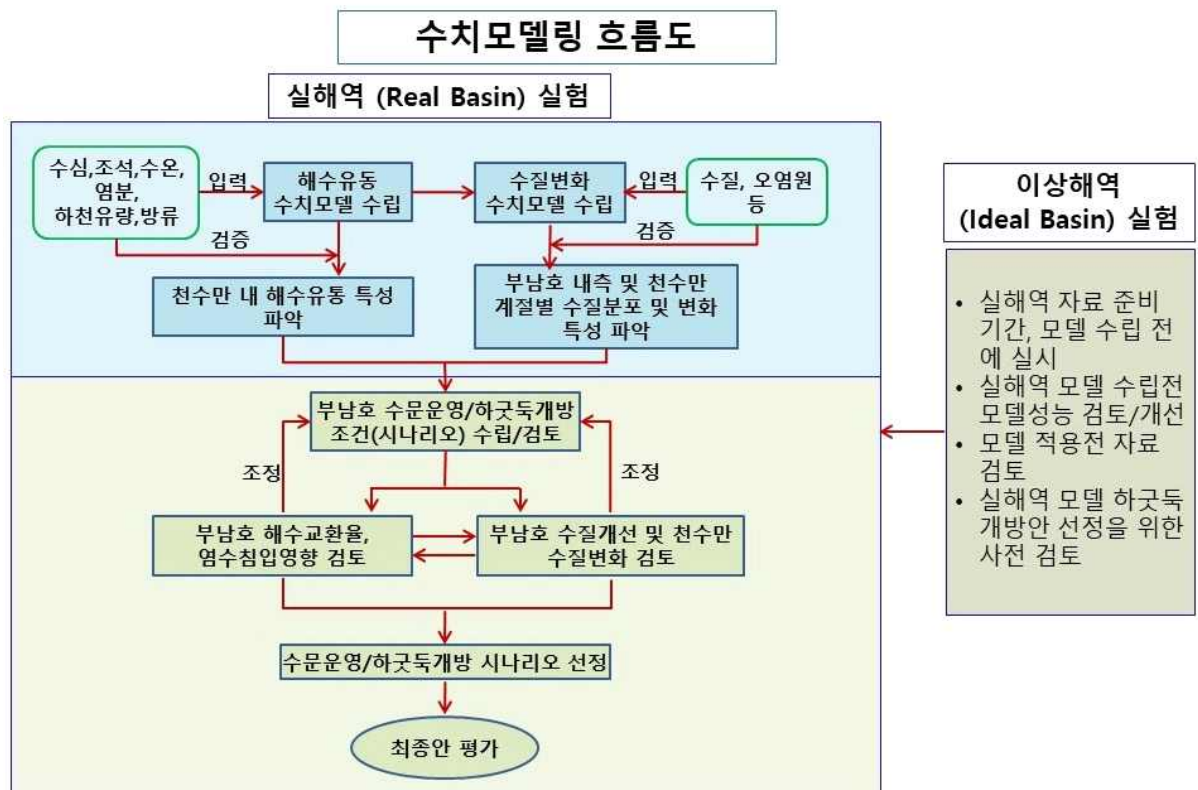


그림 4.1.13 수치모형실험 흐름도.

표 4.1.10. 실효역 수치모형 실험안

수중암거 (Box culvert) 설치 실험안	실험안	조건	비고
	F1	<ul style="list-style-type: none"> 수중암거 설치 100m × 3m EL(-)13m ~ EL(-)16m 	<ul style="list-style-type: none"> 이상해역실험으로부터 도출된 안
	F2	<ul style="list-style-type: none"> 수중암거 설치 20m × 5 EL(-)11m ~ EL(-)16m 	<ul style="list-style-type: none"> 네덜란드 휘어스호 사례 (10m × 3m)
	<ul style="list-style-type: none"> 수중암거는 방조제 북측 수심을 고려하여 EL(-)16m에 설치 부남호 제한수위 EL(-)1.6m 이하를 유지함. 		
수치실험 기간		1개월(30일)	<ul style="list-style-type: none"> 실효역 상세격자 구성으로 계산시간 장기화
실험 결과 제시		<ul style="list-style-type: none"> 부남호/천수만 구역별 평균 농도 변화 및 교환을 비교 변화 	

○ 수치모형실험 내용

- 선정된 2개 실험안에 대하여 실효역 수치모형 실험을 실시하여 부남호 수질개선 및 천수만 영향에 대하여 검토함.
- 실험에서는 부남호/천수만의 염분변화와 수질개선 효과를 살펴보기 위하여 염분과 대표오염 지표인 화학적산소요구량 (COD)를 실험 대상으로 하여 그 변화를 검토하였음.
- 실효역 실험의 경우 이상해역 실험 보다 계산이 복잡하여 계산 시간이 대량으로 소요되는 관계로 계산 기간을 1개월(30일)로 정하였으며, 이는 수중암거의 규모로 보아 충분한 기간으로 판단됨.
- 이상해역 실험에서와 마찬가지로 부남호 내부의 수위는 제한수위 EL(-)1.60m를 초과하지 않는 조건을 부과하였음.
- 수중암거 설치 수심은 부남호 내부 방조제 북측 수심을 고려하여 EL(-)16.0m로 하였으나 향후 검토를 거쳐 변경될 수 있음.

○ 수치모형의 특성

- 당 용역에서 사용한 수치모형은 한국해양과학기술원에서 개발하여 연안해역순환연구에 활용하고 있는 ESCORT(Efficient Support for Coastal Ocean Research and Training)임.
- ESCORT 모형은 한국연안에 적합하게 개발된 3차원 모형으로 해수유동, 수질, 퇴적물, 생태계, 입자추적 모듈을 구비하고 있음.
- 수평격자체계는 관심해역에 대하여 상세 격자를 구성할 수 있는 직방형 가변 격자체계(Rectangular variable grid system)을 채택하고 있음.
- 연직격자체계로는 한국 서해연안, 남해연안에 널리 분포하는 조간대 해역과 동해 연안과 같이 수심이 급변하는 해역에 모두 적합하도록 상층에는 σ -격자를 채택하고, 하층에는 z-격자를 채택하였으며, z-격자의 저면격자에는 부분격자(partial bottom cell)를 사용함 (그림 4.1.14).
- 주요 성능으로는
 - 2차원, 3차원 해수유동 계산
 - 수온, 염분 포함 비균질류 계산
 - 2차원, 3차원 수질변화 계산
 - 2차원, 3차원 퇴적물 이동 계산
 - 3차원 생태계 변화 계산
 - 입자추적 계산 기능이 있음.
- 모형의 성능은 소 등 (2008), 강 등 (2009a), 강 등 (2009b), 강 등 (2011)에 의해 검증된 바 있으며, 그림 4.1.15와 같이 부산신항건설영향평가 (2009), 인천신항건설영향평가 (2009), 경인운하 건설영향평가 (2008) 등 많은 연안해 수치모형실험에 사용되었음.

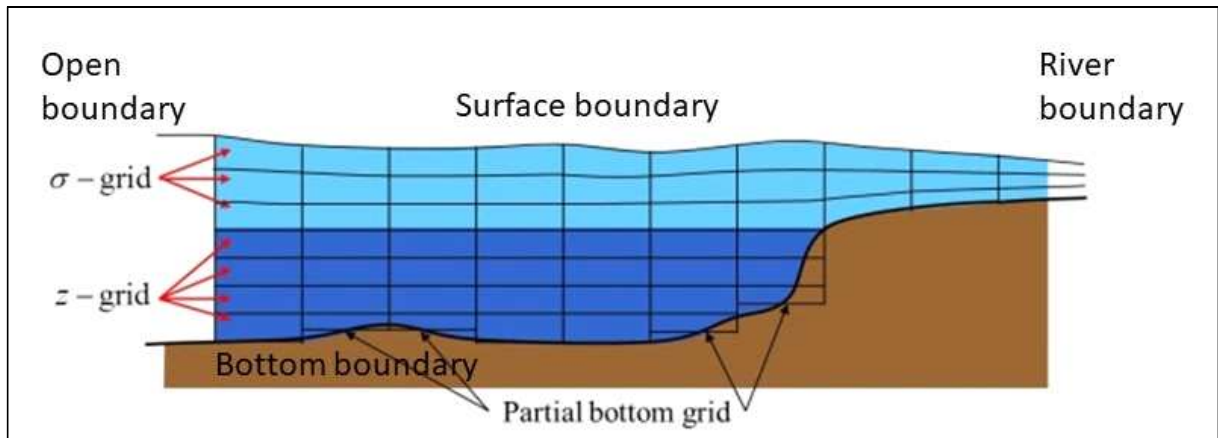


그림 4.1.14. ESCORT 모형 연직좌표계.

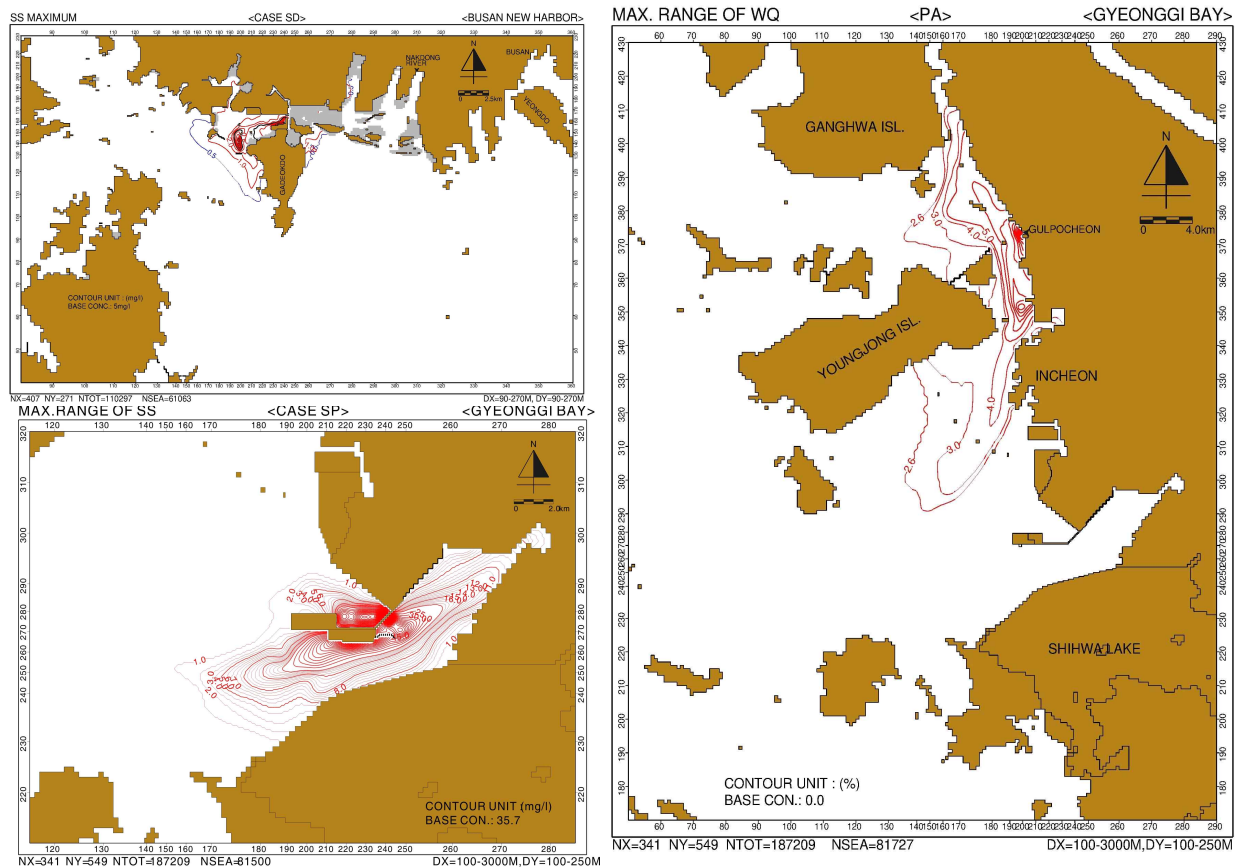


그림 4.1.15. ESCORT 모형 적용 예 (좌상: 부산신항건설영향평가(2009), 좌하: 인천신항건설영향평가(2009), 우: 경인운하 건설영향평가(2008)).

○ 수치모형 수립_격자망 구성

- 해양조사원 정밀 수심자료와 수치해도 수심, 국립지리원 안선 자료를 확보하여 천수만 주변 해역에 대한 정밀 수심도를 작성하였으며, 이를 이용한 실효역 수치모형을 수립하였음.
- 안면도 서측, 천수만 남측으로 확장된 영역에 대하여 수치모형 격자망을 구성하였음.
- 그림 4.1.16.과 같이 수평격자로는 부남방조제 부근에서는 20m로 상세하게, 외해 영역에서는 500m로 격자망을 구성하였음. 격자크기는 격자 차이에서 발생하는 에러를 완화하기 위하여 점진적으로 변화하도록 구성하였음. 수평격자 수는 $315 \times 450 = 141,750$ 이며, 이 가운데 계산격자는 52,945개임.
- 연직격자는 표 4.1.11.과 같이 최소 1m, 최대 4m로 표층에서는 조밀하게, 하층에서는 조립하게 구성하였으며, 수중압거 설치 수심을 상세히 표현하기 위하여 수심 20m까지는 1m로 구성하였음. 격자수는 32개이며, 최대 깊이는 54m이나 모형 영역의 최대 수심은 계산의 편의를 위하여 50m로 제한하였음.
- 각 격자마다 확보하여 처리한 광역 수심을 투입하여 그림 4.1.17.과 같이 실효역 수치모델 수심도를 작성하였음.

표 4.1.11. 연직격자 구성

격자크기(m)	격자수	시작 번호	끝 번호	깊이(m)
1.0	20	1	20	20.0
2.0	5	21	25	30.0
3.0	4	26	29	42.0
4.0	3	30	32	54.0

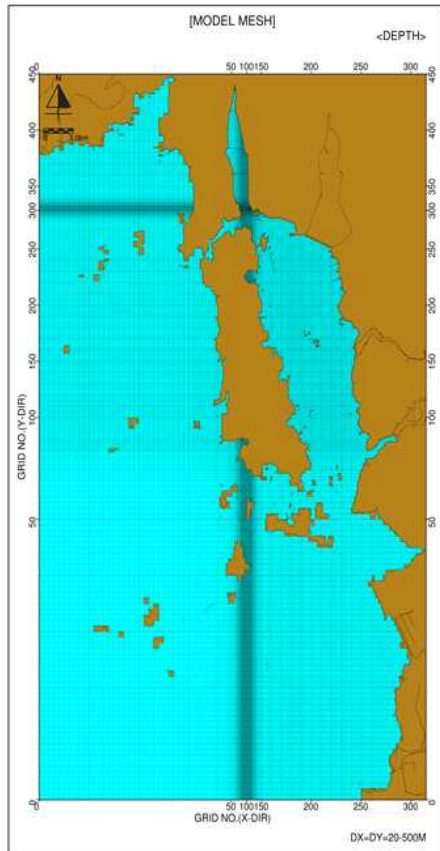


그림 4.1.16. 실험영역
수치모형 격자망

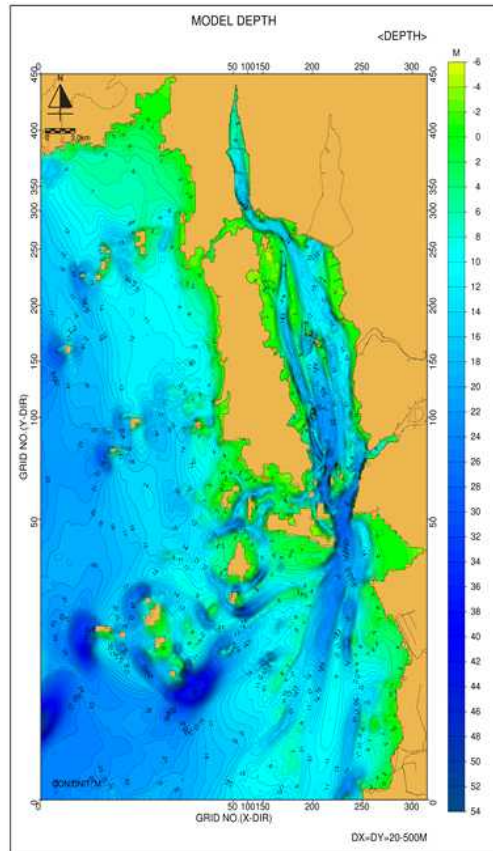


그림 4.1.17. 실험영역 수치모형
수심도

○ 조위 경계조건

- 본 용역에서는 여건상 초기조건, 경계조건, 검증용으로 사용할 자료에 대한 관측을 수행할 수 없었음.
- 본 용역에서 사용하기 위하여 천수만 주변 해역에서 관측된 기존 자료를 조사하여 확보하였으며 그 목록은 표 4.1.12과 같고 그 위치는 그림 4.1.18와 같음.
- 기존 자료 가운데 실험영역의 외해경계면에 위치한 조위 자료 <TA-T5>, <CS-T11>, <CS-T2>, <CS-T3>를 경계조건으로 활용하였음.
- 조위자료 조화분석 결과에서 주요 5개 분조(M2, S2, O1, K1, N2)를 내삽하여 경계면에 위치한 각 격자에 부과하였으며 매 계산단계마다 조화상수를 조합하여 경계면 조위를 산출하였음.
- 산출된 조위 값을 이용하여 플래더 타입(Flarther boundary condition) 경계조건으로 각 격자에서 유속을 산출하였음.

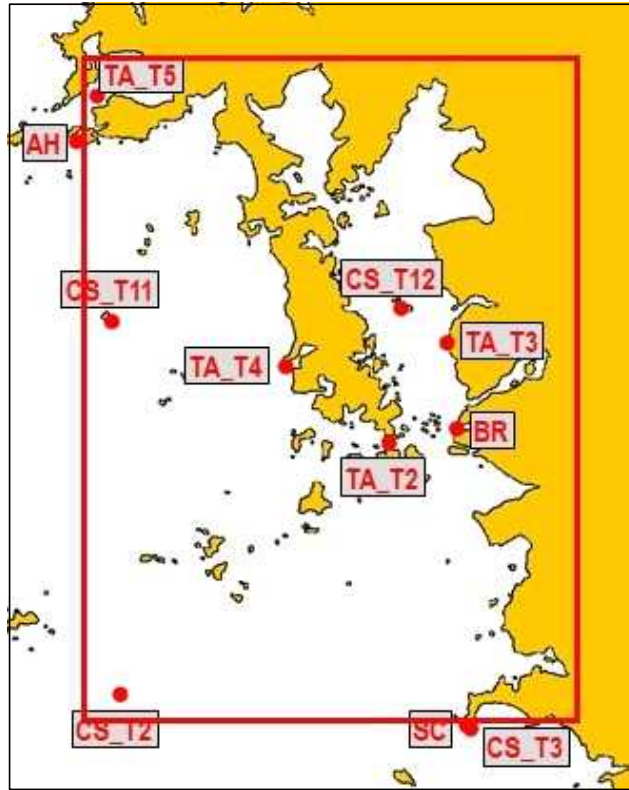


그림 4.1.18. 기존 조석자료 위치.

표 4.1.12. 천수만 주변 기존 조석자료

위치	기간	좌표	비고1	비고2
천수만(CS)	1996/10/31 1996/12/10	126-10-22 36-09-29	CS96AT02	CS_T2
천수만(CS)	1997/02/19 1997/03/27	126-09-53 36-30-21	CS972T01 (나치도)	CS_T11
천수만(CS)	1997/02/19 1997/03/27	126-29-55 36-07-34	CS972T03	CS_T3
천수만(CS)	2001/04/26 2001/05/29	126-26-04 36-31-03	CS0104T1 (천수만)	CS_T12
태안(TA)	2001/08/17 2001/11/22	126-25-22 36-23-33	TA0108T2 (영목)	TA_T2
태안(TA)	2001/08/17 2001/11/22	126-28-37 36-29-08	TA0108T3 (보령 사후리)	TA_T3
태안(TA)	2001/08/17 2001/11/15	126-19-36 36-27-50	TA0108T4 (안면도 중장)	TA_T4
태안(TA)	2001/08/17 2001/11/15	126-09-03 36-42-58	TA0108T5 (파도리)	TA_T5
보령(BR)	1985 2018	126-29-10 36-24-23	보령시 오천면 영보리	BR
안흥(AH)	1986 2018	126-07-56 36-40-25	태안군 근흥면 신진도리	AH
마량(SC)	2010 2018	126-29-43 36-07-44	서천군 서면 마량리	SC

○ 염분, COD 조건

- 본 용역의 조사 자료에 의하면 부남호 내부는 강한 성층으로 인하여 수심 약 8m를 경계로 하여 상하층이 뚜렷이 구분되며, 상층에는 약 5.0 psu의 담수가, 하층에는 약 30.0 psu의 고염수가 정체되어 있음.
- COD의 경우 상층에서는 농도가 약 5.0 mg/l에 불과하나, 하층에는 200.0 mg/L를 넘는 오염수가 존재함.
- 실험에서는 이를 반영하여 상층(8m 경계)에는 염분 5.0 psu, COD 5.0 mg/L를 초기조건으로 주었으며, 하층에는 염분 30.0 psu, COD 200.0 mg/L를 주었음 (표 4.1.13.).
- 천수만에는 기존 자료들을 토대로 염분 30.5 psu를 부과하였고, 외해에는 염분 31.0 psu를 부과하였음.
- COD의 경우 배경농도를 5.0 mg/L로 보고 천수만과 외해 모두 배경농도를 부과하였음.
- 부남호 내부에서는 현재 수질이 균형 상태에 있다는 전제 하에서 COD의 분해계수를 [0.0/일]로 주었으나, 천수만과 외해에서는 생화학적 작용에 의한 분해를 고려하여 일반적인 값 [0.1/일]을 부과하였음. 이 수치는 일반적인 수치일 뿐 지역적, 기후적(계절적) 조건에 따라 변할 수 있음.

표 4.1.13. 염분, COD 실험 조건

해역		염분 (psu)	COD (mg/L)	COD분해계수 (/day)
부남호	상층	5.0	20.0	0.0
	하층	30.0	200.0	0.0
천수만	내부	30.5	5.0	0.1
외해	내부	31.0	5.0	0.1
	경계	31.0	5.0	0.1

○ 수치모형 조위 검증

- 수치모형의 재현 성능을 검증하기 위하여 기존 조사자료 가운데 그림 4.1.18.에서 천수만 중앙부에 위치한 CS-T12의 조위자료(2001/04/26~05/29)와 동일한 기간(30일: 04/28~05/28)에 대해 수치모형으로 계산한 해수면을 비교하였음.
- 비교 결과는 그림 4.1.19.와 같으며, 실선은 수치모형실험 결과, 점선은 관측자료임.
- 조차는 두 결과가 상당히 유사한 것으로 나타나나 조위는 시간에 따라 실험 결과가 약간 높게 나타남. 이는 모형실험 결과에는 조석 성분만 포함되어 있으나 관측 조위에는 비조석 성분(해면기압, 바람 등의 기상 영향 등)이 포함되어 있기 때문으로 판단됨.

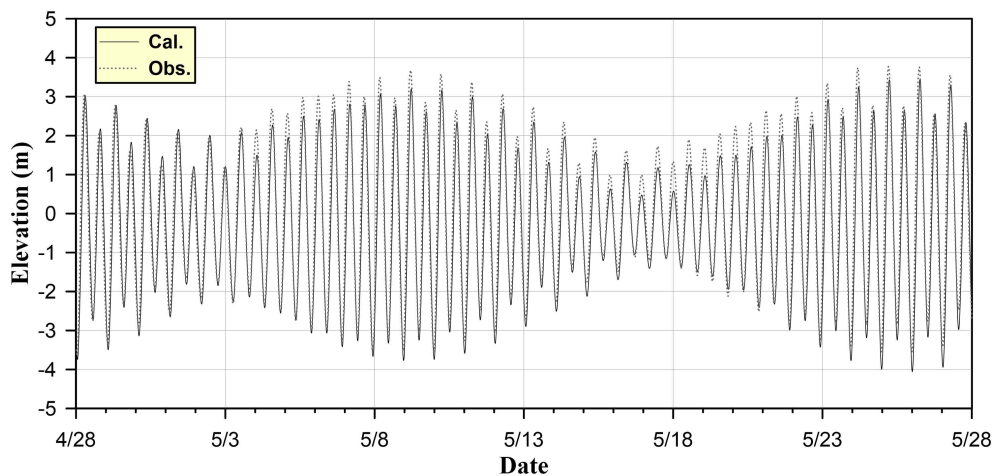


그림 4.1.19. 수치모형의 조위 검증.

○ 수중암거 유속계산

- 수중암거를 지나는 유속의 계산에서는 그림 4.1.20.에서 보는 바와 같이 압력경사력(Pressure gradient forcing)을 사용하여 유속을 계산하는데, 압력경사력과 마찰 손실이 균형을 이루는 상태에서 유속이 결정됨. 암거 출입구에서의 손실은 고려하지 않았음.
- 마찰손실은 관로의 표면적과 조도(roughness)에 비례하기 때문에 단면 형태와 길이를 고려하여 계산하였음.
- 수중암거를 통한 통과 유량은 통과 기간 평균 유속을 2.0m/s로 할 경우, 암거의 규모를 10m×3m로 가정하면 2(m/s)×10(m)×3(m) = 60(m³/s)가 되며, 시간당 통과 유량은 60(m³/s)×3,600(s) = 21만 6천(m³) 정도로 계산됨.

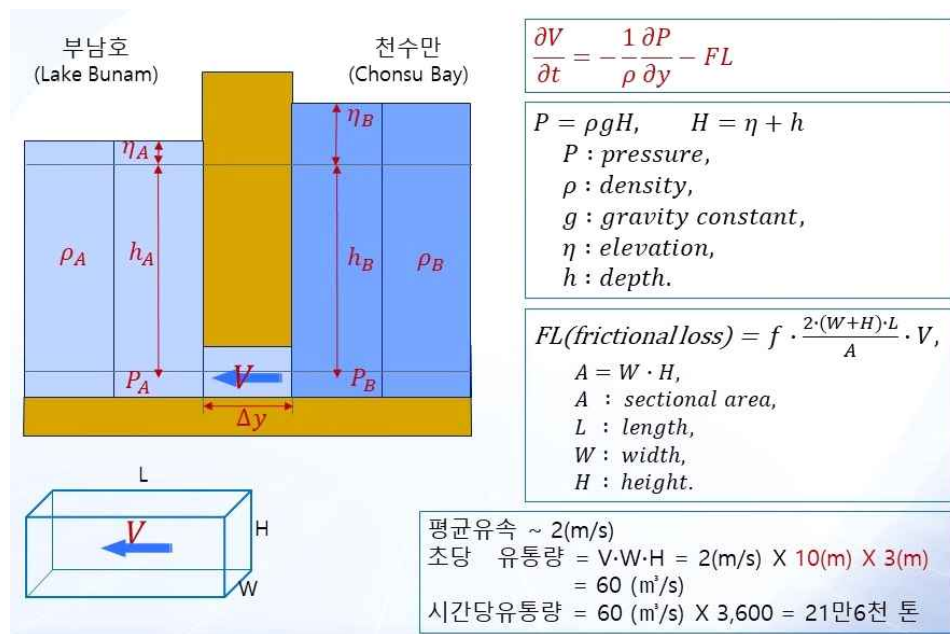


그림 4.1.20. 수중암거 유속계산.

○ 해수교환율 계산

- 폐쇄해역의 해수교환율은 정의하는 데는 여러 가지 방법이 있으나, 여기서는 부남호의 수질개선과 해수유통의 정도를 파악하기 위한 척도로 교환율 개념을 정의하였음.
- 목표수질을 외해의 배경농도로 설정하고 초기 수질 상태를 0으로, 목표수질 달성 상태를 1로 표현하였음.

$$R_k(t) = 1 - \frac{Cm_k(t) - Cg}{Cm_k(0) - Cg}, \quad (\text{식4-1-2-1})$$

$$Cm_k(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_k} \{V_{k,i}(t) \cdot C_{k,i}(t)\}}{\sum_{i=1}^{N_k} V_{k,i}(t)}, \quad (\text{식4-1-2-2})$$

- 여기서, $R_k(t)$ 는 시점 t 에서의 교환율, $Cm_k(t)$ 는 시점 t 에서의 구역 k 의 구역 평균 농도, N_k 는 구역 k 의 격자수, $V_{k,i}(t)$ 는 시점 t 에서 구역 k 에 위치한 i 격자의 체적, $C_{k,i}(t)$ 는 시점 t 에서 구역 k 에 위치한 i 격자의 농도, C_g 는 배경농도로 준 목표수질을 나타냄.
- 천수만의 경우는 배경농도를 초기 농도로 주었고 목표농도도 배경농도이기 때문에 해수유통에 따라 수질이 악화되는 정도를 다음과 같이 (-)값으로 나타내었음.

$$R_k(t) = \frac{Cg - Cm_k(t)}{Cg} \quad (\text{식4-1-2-3})$$

- 매 시간의 평균 농도와 교환율 계산결과를 시간변화 곡선으로 제시하였음.

3. 연구 결과

□ 수심조사

○ 부남호 수심조사

- 수심조사의 최종 성과물로 다음과 같이 그림 4.1.21과 같이 [부남호 수심도]를 작성하였음.
- A1, A5 지역에서는 조사선 출입이 어려워 측심작업이 불가능하여, 기존 수심도 결과로 보완하였음.

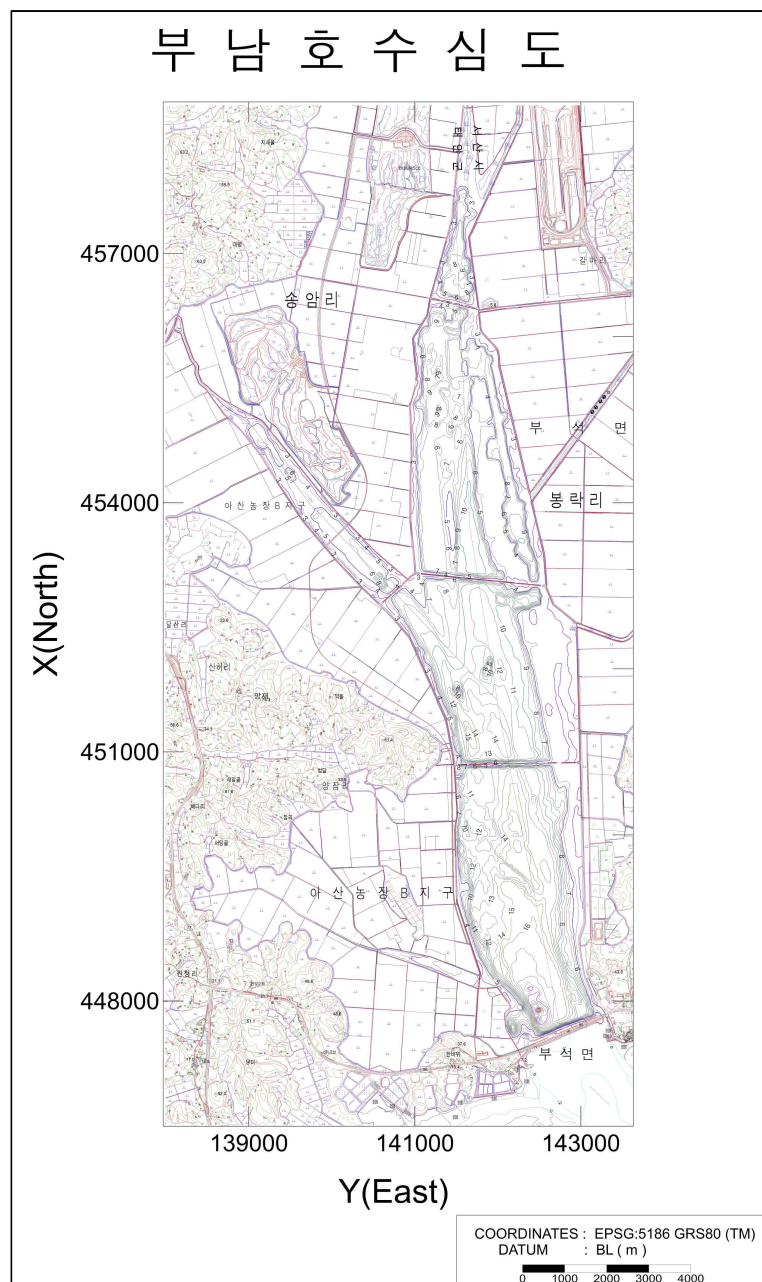


그림 4.1.21. 부남호 수심도.

○수심변화 비교

- <2019년 수심>과 <1984년 수심>을 비교하여 수심변화를 계산하여, 그림 4.1.22.와 같이 <수심변화도>를 작성하였음.
- A2지역의 북서부와 A4지역의 북서부에 나타나는 수심 증가는 준설작업의 결과로 보임.
- 주요 수로를 중심으로 약간의 퇴적 현상이 보이며, A4 남서측 제염암거 배출구가 있었던 것으로 추정되는 깊은 부분에서 상당 정도의 매몰이 발생한 것으로 추정됨.
- 이 결과에는 측심 오차, 수심도 작성시의 smoothing에 따른 오차, 두 수심도의 위치 오차 등 다양한 오차가 포함되어 있으므로 주요 위치에 대한 실제 조사를 통한 확인이 필요함.

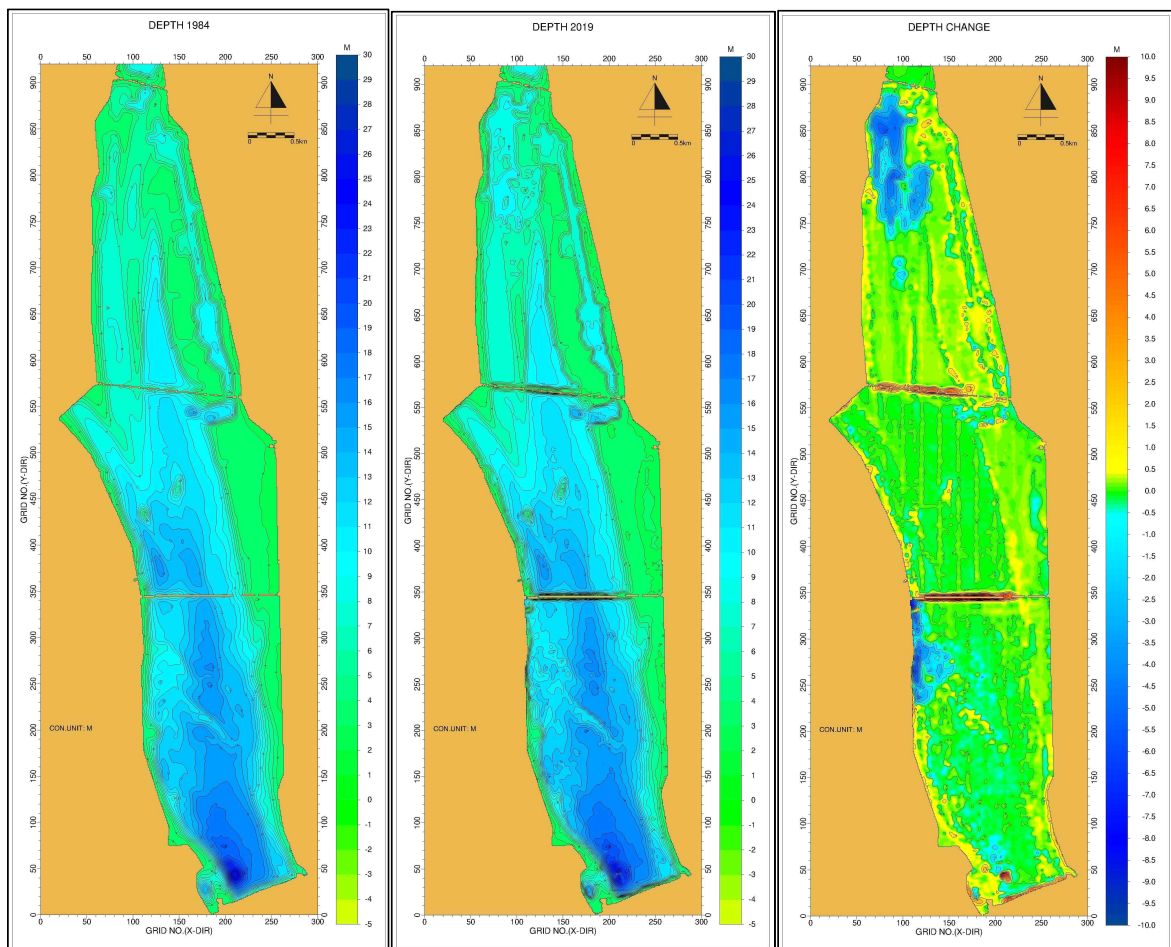


그림 4.1.22. 부남호 수심변화 비교 (좌: 1984, 중: 2019, 우: 변화수심).

○ 광역수심도

- 해양조사원 정밀 수심자료와 수치해도 수심, 국립지리원 안선 자료를 확보하여 천수만 주변 해역에 대한 정밀 수심도를 작성하였으며, 그 결과물은 아래 그림 4.1.23.과 같음.
- 수치모형 실험 수심으로 활용하기 위하여 좌표계는 TM좌표를 사용하였음.
- 광역수심은 수치모형실험의 실험해역 실험에서 격자수심으로 활용하였음.

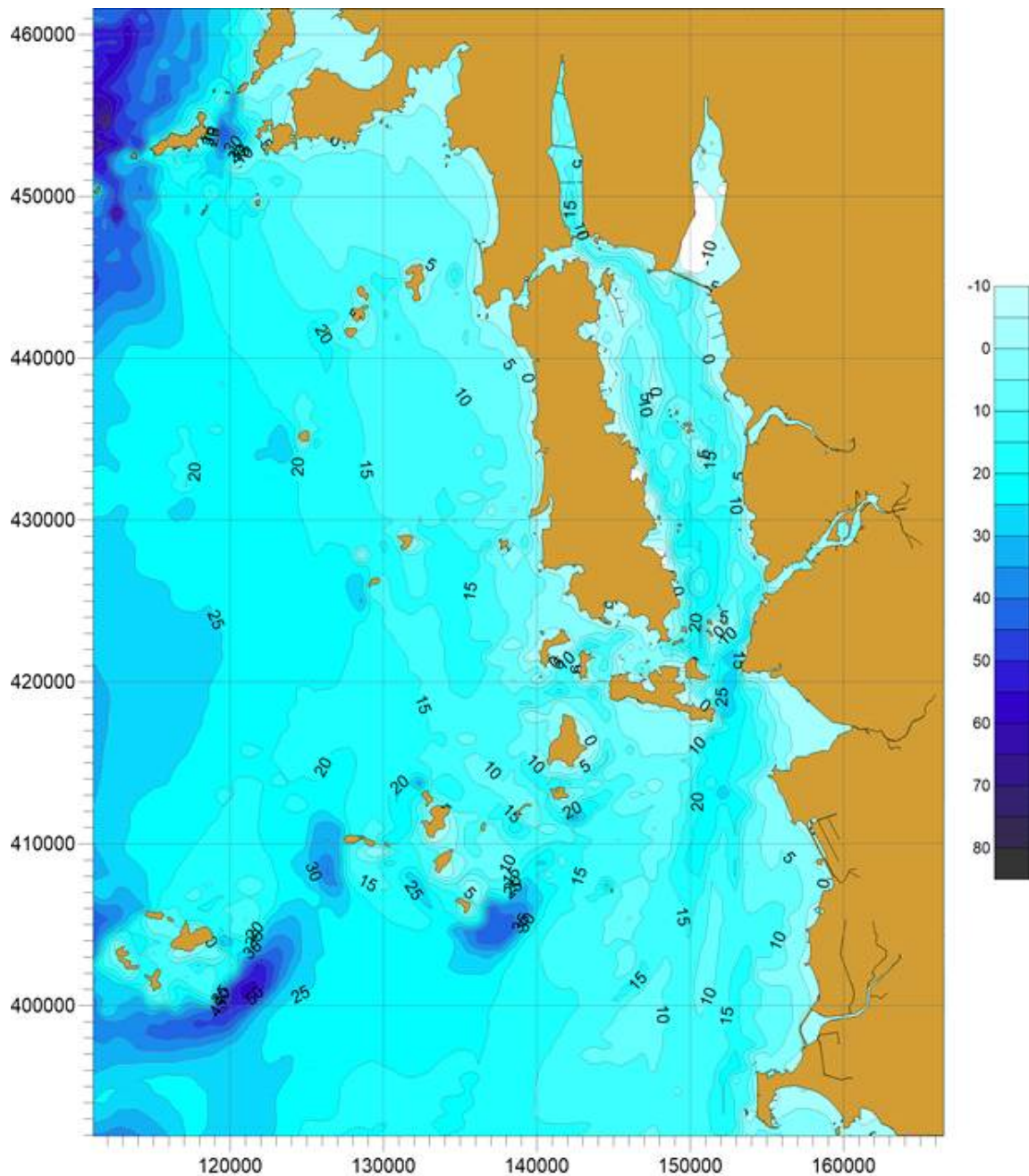


그림 4.1.23. 천수만 주변 광역 수심도

□ 수치모형실험

○수평 확산 영향 검토

- 수중암거 개방 후 1일, 11일, 21일, 30일째의 최대 수평 확산 범위를 F1안은 그림 4.1.24.~4.1.25.에 염분, COD 순으로 제시하였고 F2안은 그림 4.1.26.~4.1.27.에 제시하였음.
- 부남호 내부에는 한정된 양의 저염분(담수)과 고농도 COD(오염수)가 존재하고, 공급되는 담수와 발생하는 오염의 양이 제한적이기 때문에 해수유통으로 외해수가 지속적으로 유입되어 희석되는 경우에 일정 기간이 경과하면 염수화와 수질개선이 이루어져 희석수의 방류로 인한 외해 영향은 점차 작아질 것으로 예상됨.
- 조사 자료를 근거로 부남호 내부 하층에 30.0 psu의 고염수, COD 200 mg/L가 넘는 오염수가 존재한다고 가정했기 때문에 해수유통 초기에 (초기에 수중관로를 통하여 고염수가 먼저 방류되기 때문에) 담수 확산 범위는 제한적인 반면에, (하층의 오염수가 먼저 방류되기 때문에) 오염수 (COD)의 확산 영향은 훨씬 클 것으로 예상됨.
- 그러나 방류된 COD는 자연적인 생지화학적 과정을 거쳐 분해되기 때문에 시간이 경과하면서 영향 범위가 빠르게 축소되는 반면에, 염분의 경우에는 자연적인 소실이 없이 희석 과정만 있으므로 영향이 보다 장기간 지속된 것으로 예상됨.
- 천수만의 초기 염분을 30.5 psu로 주었기 때문에 염분 확산 범위는 29.0 psu를 기준으로 검토함.
- F1안의 경우 30일이 경과하면 염분 확산범위가 천수만 중앙부의 죽도 남쪽에 이르는 반면 F2안은 30일 후에도 염분 확산 범위가 죽도 북측에 머무는 것으로 계산됨. 서쪽으로는 백사수도를 지나 곰섬 남측에 이르는 것으로 계산됨.
- COD의 경우 배경농도를 5.0 mg/l로 주었기 때문에 6.0 mg/l 범위를 기준으로 검토함.
- F1안과 F2안 모두 10일 경과 전후로 최대 확산 범위를 보이다 이후

축소되는 것으로 계산됨.

- F1안은 천수만 입구 섬들의 남측까지, F2안은 섬들의 북측까지 확산되거나 큰 차이를 보이지 않음. 서쪽으로는 백사수도를 지나 거아도리 남측까지 확산되는 것으로 계산됨.

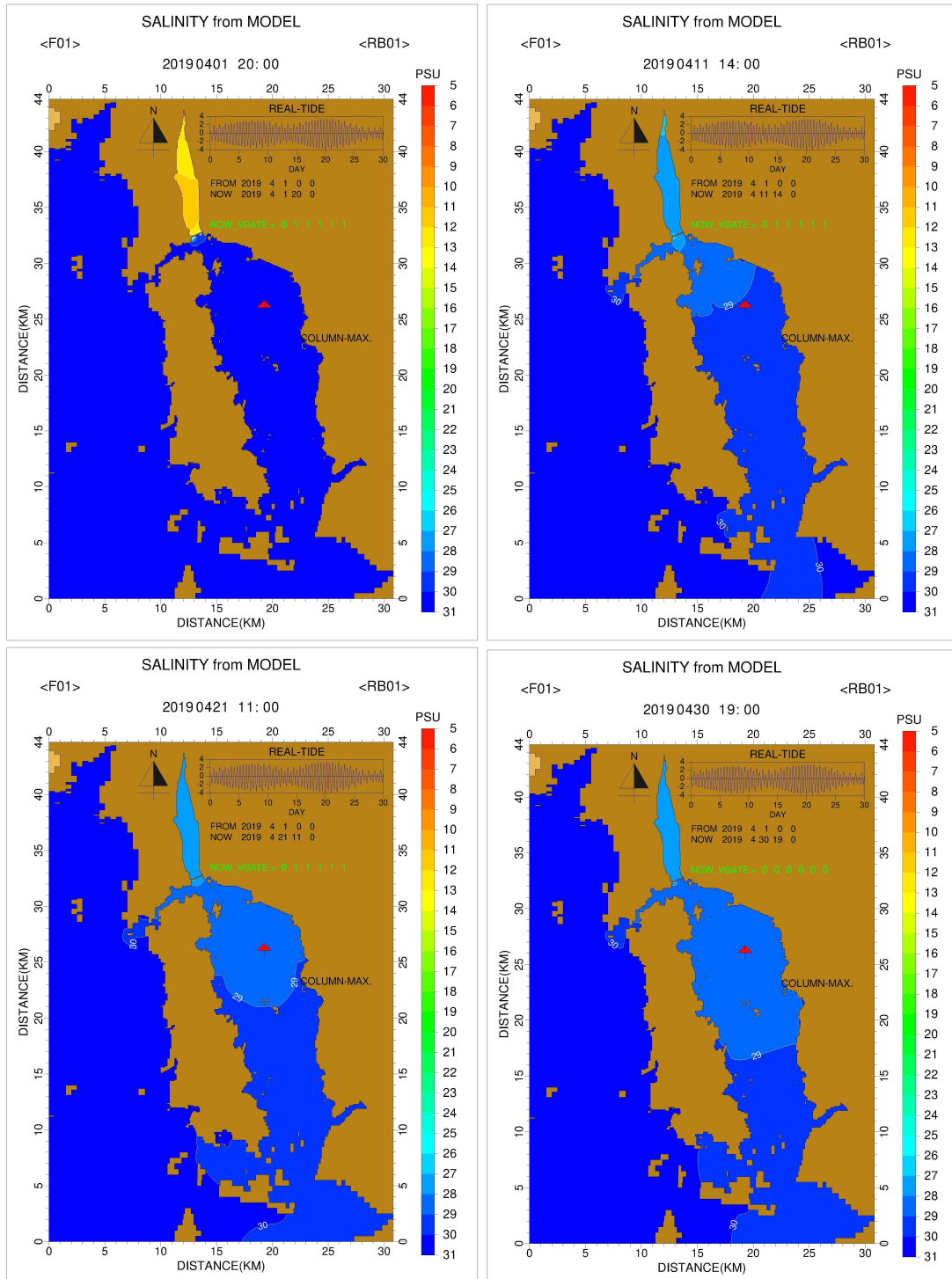


그림 4.1.24. F1안 염분 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과).

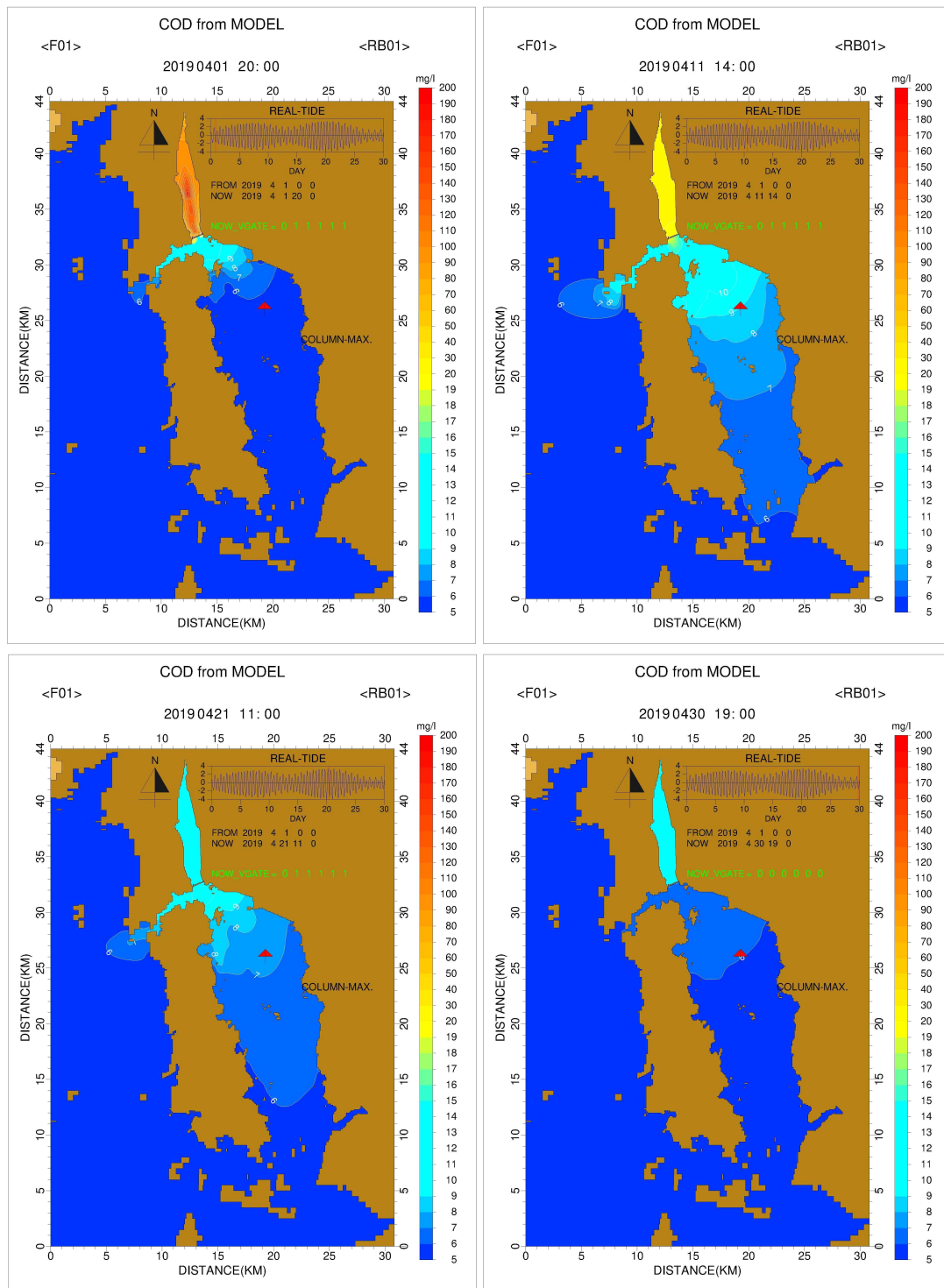


그림 4.1.25. F1안 COD 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과).

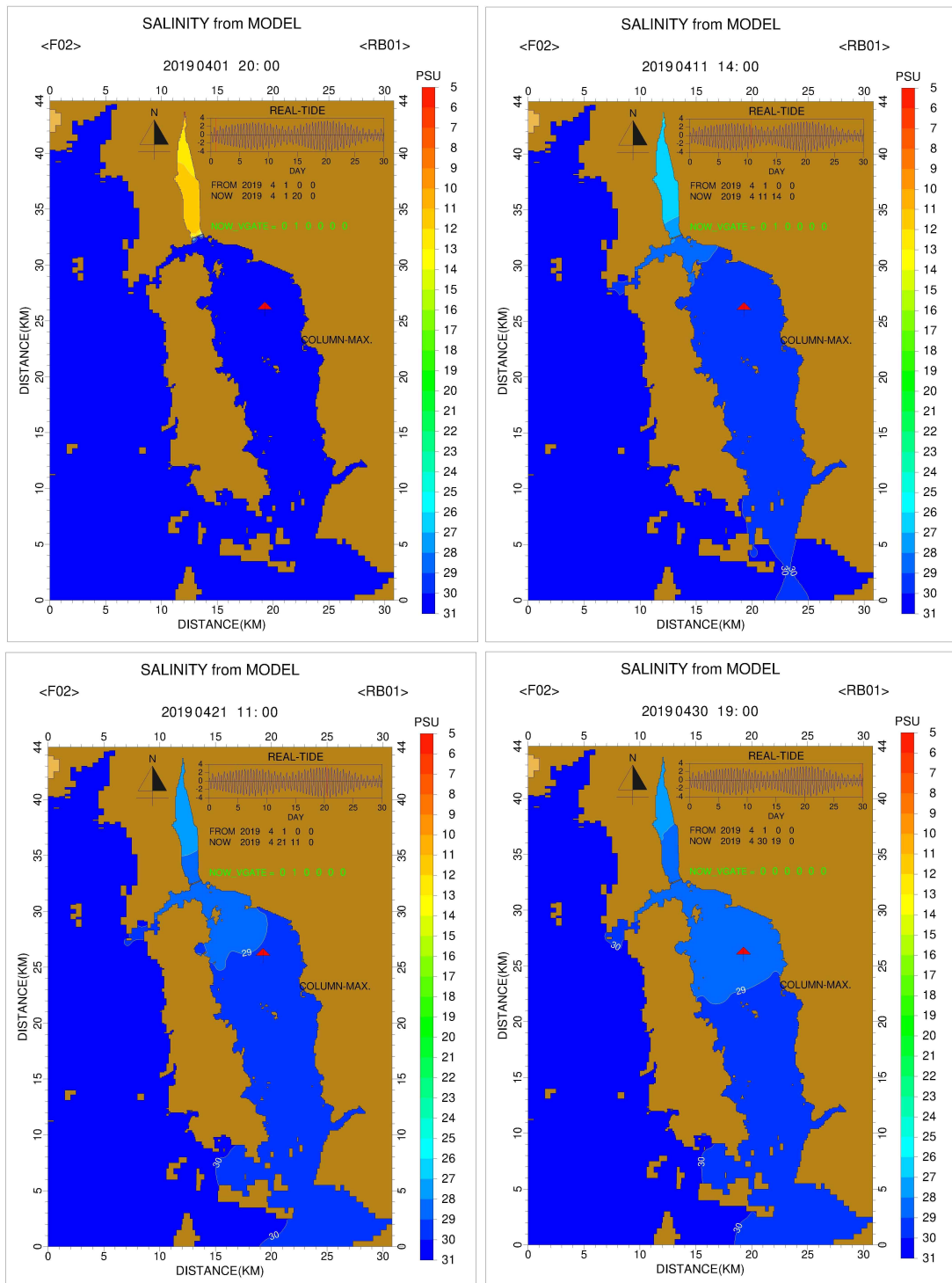


그림 4.1.26. F2안 염분 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과).

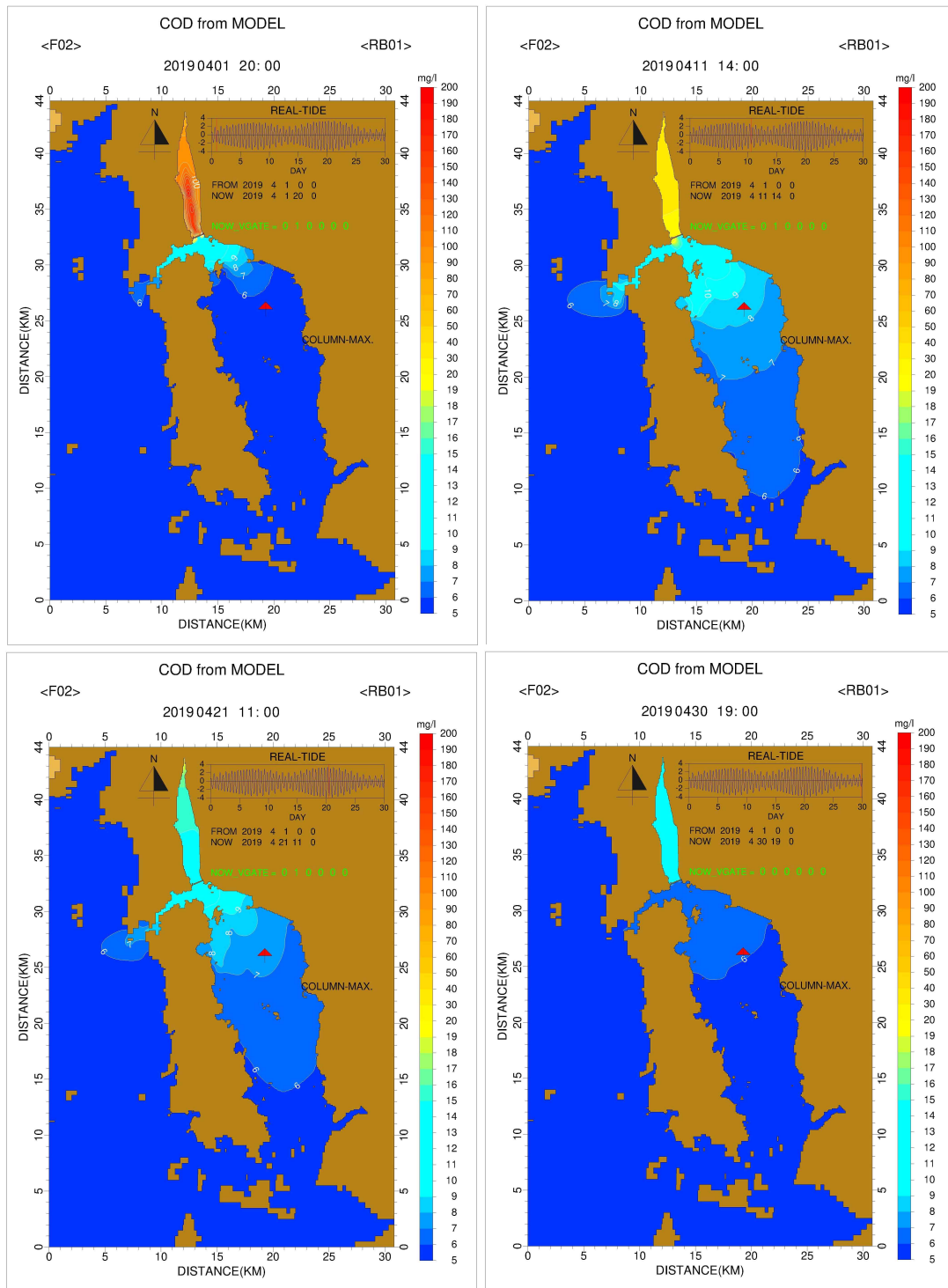


그림 4.1.27. F2안 COD 수평 확산(1, 10, 20, 30일 경과).

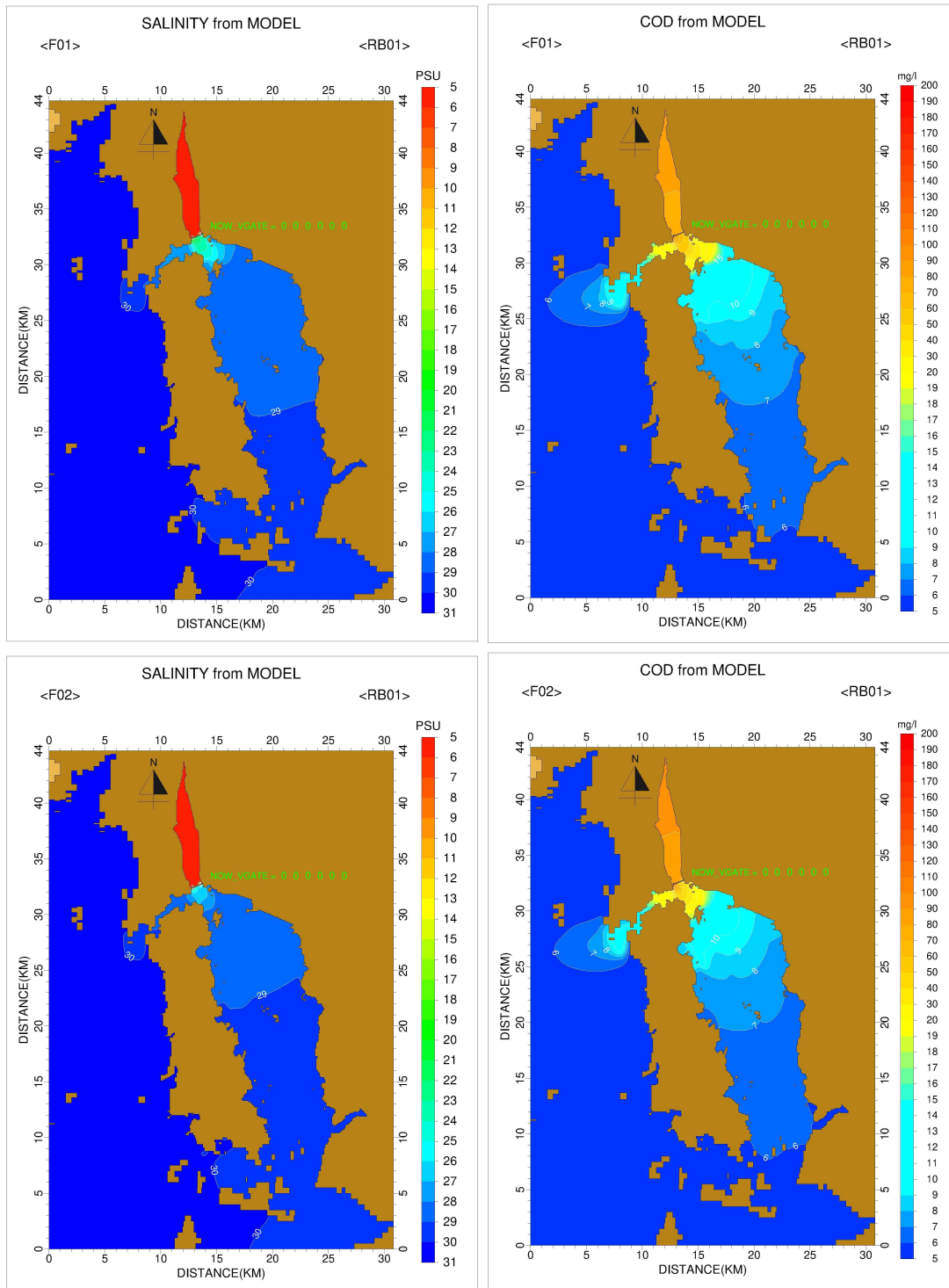


그림 4.1.28. F1, F2안의 염분, COD 수평 확산 최대 범위 (상:F1, 하:F2, 좌:염분, 우:COD).

○ 확산단면 검토

- 그림 4.1.29.와 같이 부남호와 천수만을 남북으로 종단하는 단면을 설정하고, 이 단면을 따른 염분과 COD 확산을 F1안 그림 4.1.30.에 F2안은 그림 4.1.31.에 제시하였음.
- 해수유통 초기에는 해저면에 설치된 관로를 통하여 고염, 고 오염수가 먼저 천수만으로 방류되기 때문에 염분 영향보다는 COD의 영향이 더 크게 나타남.
- 시간이 경과하면서 부남호 상층의 담수, 저오염수가 방류되기 때문에 COD의 영향은 축소되는 반면에 담수의 영향은 더 확대됨.

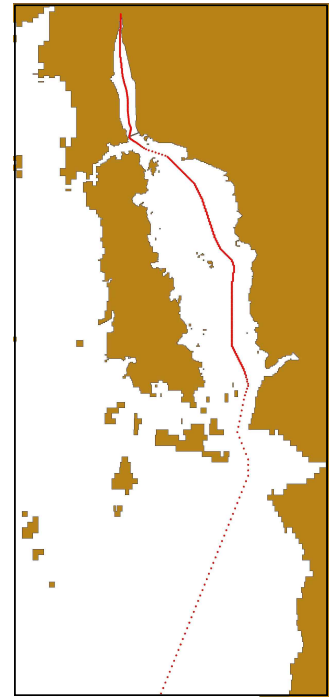


그림 4.1.29.
확산단면도 기준선.

○ 구역별 농도/교환을 비교

- 부남호와 천수만의 오염농도 변화, 해수교환율을 비교하기 위하여 부남호 4개 (A1~A4), 천수만 4개 (B1~B4)로 구역을 설정하였음 (그림 4.1.32).
- 그림 4.1.33.~그림 4.1.34.에는 F1안의 염분 변화, 그림 4.1.35~그림 4.1.36.에는 F1안의 COD 변화, 그림 4.1.37~그림 4.1.38.에는 F2안의 염분 변화, 그림 4.1.39~그림 4.1.40.에는 F2안의 COD 변화를 제시하였음.
- 구역별 층별 변화에서 순서대로 빨강계열 선은 저층을, 파랑 계열 색은 표층을 나타냄.
- 매일 반복되는 진동을 제거하고 장기적인 추세를 파악하기 위하여 자료에 25시간 이동평균을 적용한 후 도시하였음.

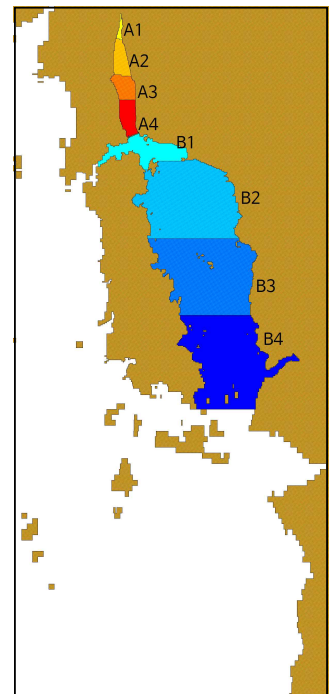


그림 4.1.32. 부남호,
천수만 구역 구분

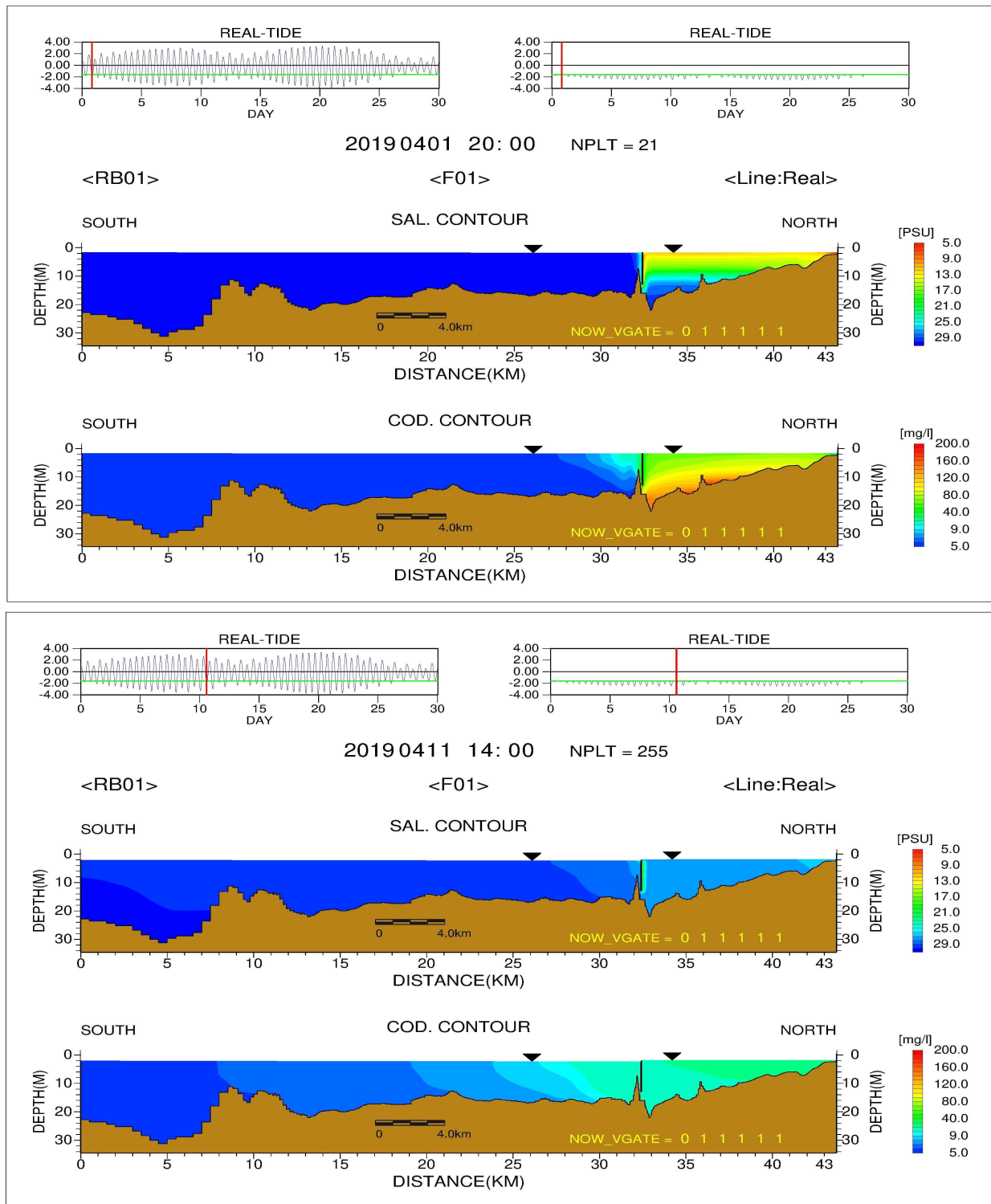


그림 4.1.30. F1안 염분, COD 확산단면도(1, 10, 20, 30일 경과).

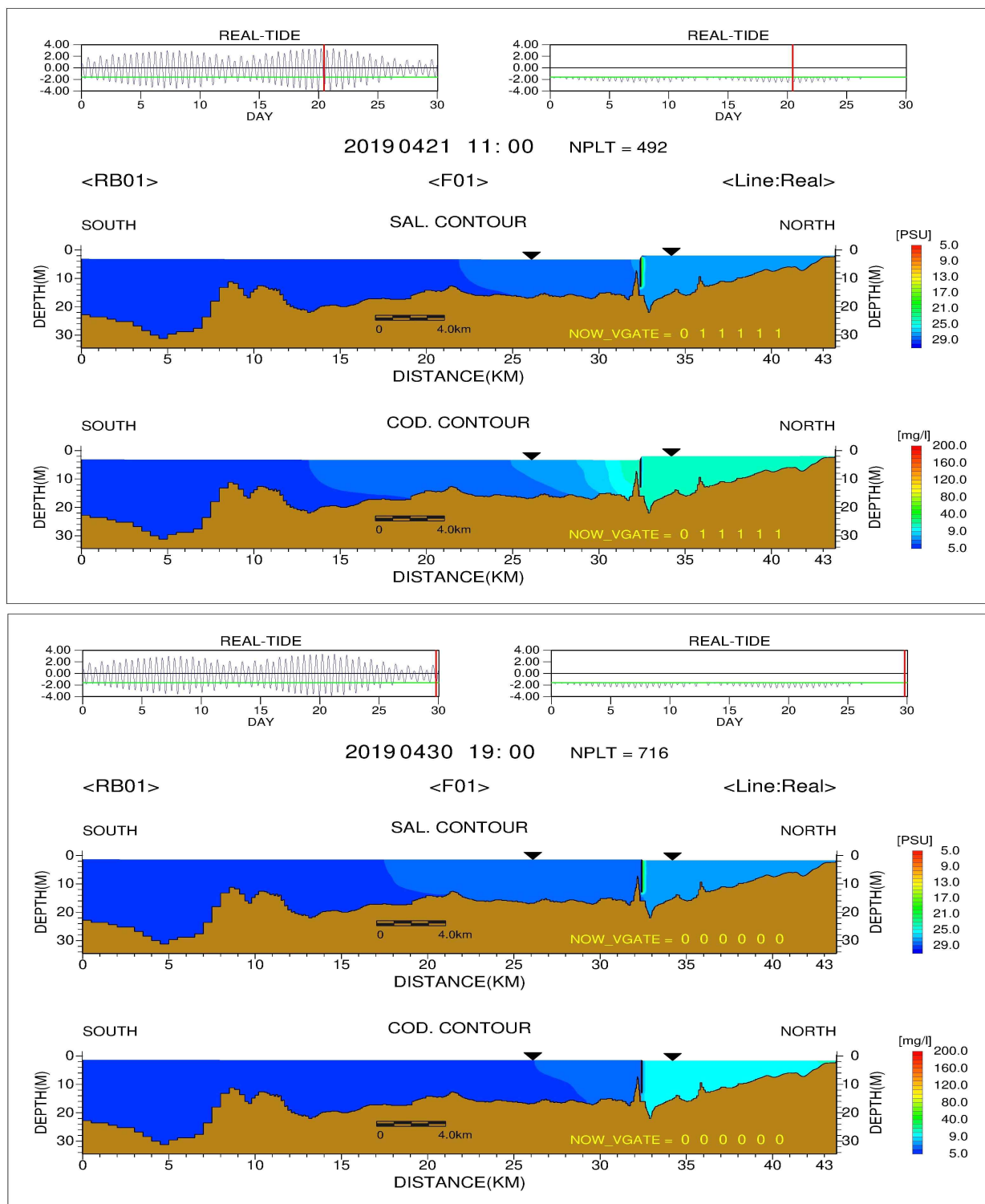


그림 4.1.30. (계속).

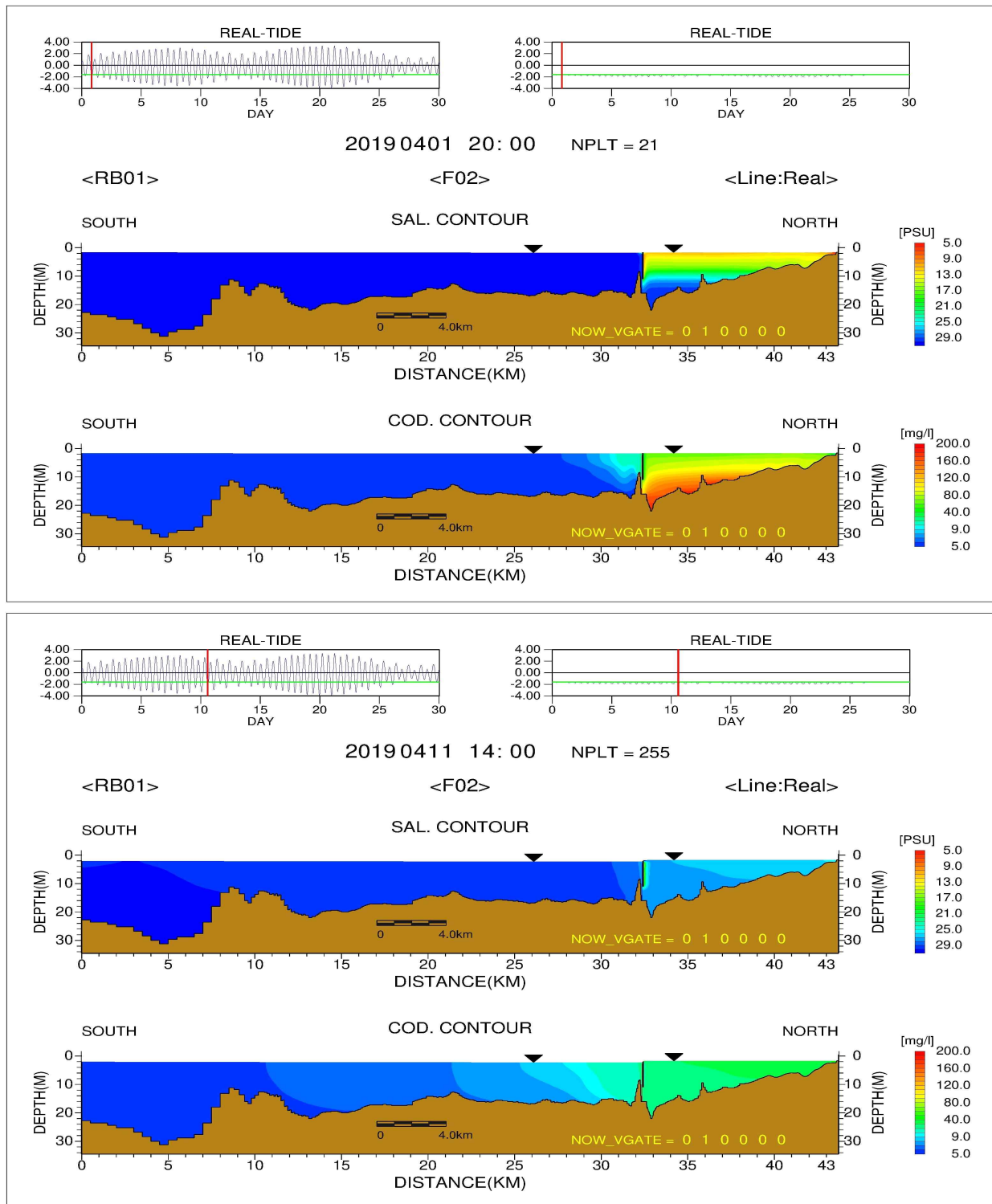


그림 4.1.31. F2안 염분, COD 확산단면도 (1, 10, 20, 30일 경과).

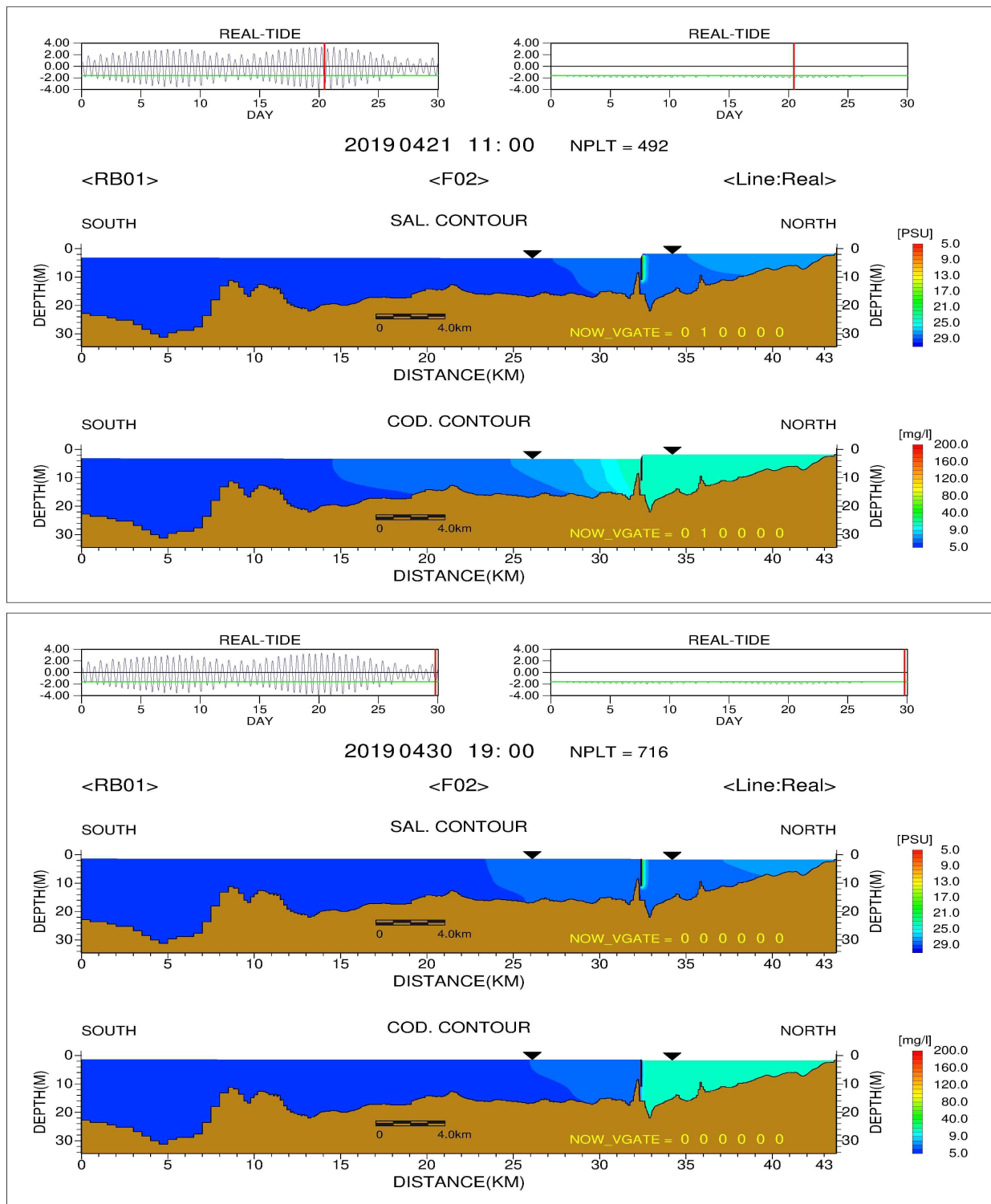


그림 4.1.31. (계속).

○ F1안(100m×3m)의 부남호 구역별/층별 염분변화

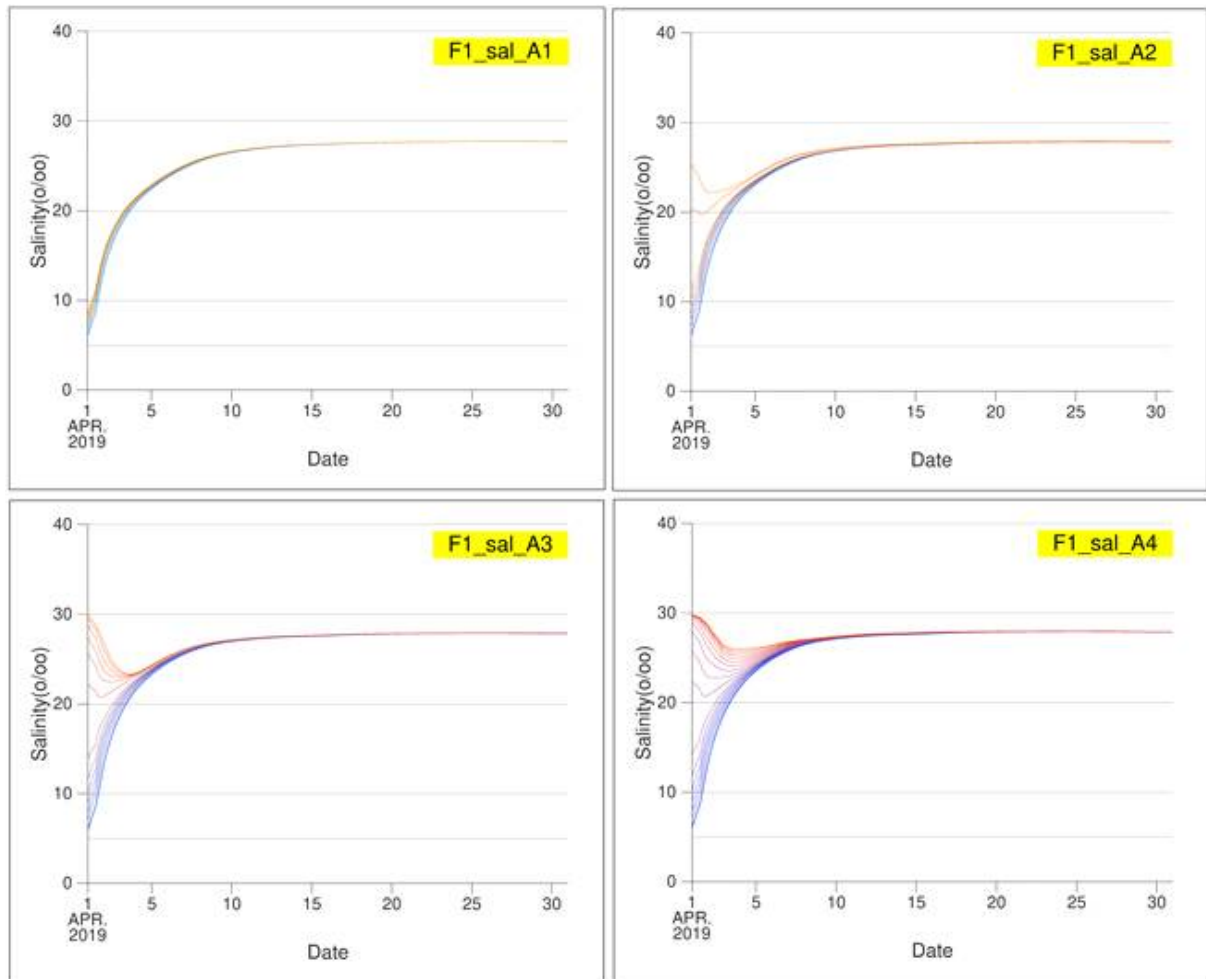


그림 4.1.33. F1안의 부남호 구역별/층별 염분 변화.

- F1안의 변화를 보여주는 그림에서 A1은 부남호 최북단에 위치하고 수심이 얕기 때문에 저층의 고염수가 나타나지 않음 (그림 4.1.33).
- A2에도 초기에는 저층 고염수가 존재하지 않으나 해수유통으로 외부의 해수가 유입되며 A3, A4 구역의 저층 고염수를 밀어 올려 저층에 고염수가 나타나는 것으로 판단됨.
- A3, A4에서 초기에는 유입수의 교란으로 상, 하층간의 활발한 혼합이 일어나서 하층수의 염분(빨강색)은 낮아지고 상층수의 염분(파랑색)은 급격히 상승함.
- 30일 후 부남호 북부(A1)의 염분은 27.7 psu, 남부(A4)의 염분은 28.0 psu 정도가 되지만 수렴속도는 매우 느려짐.

○ F1안(100m×3m)의 천수만 구역별/층별 염분변화

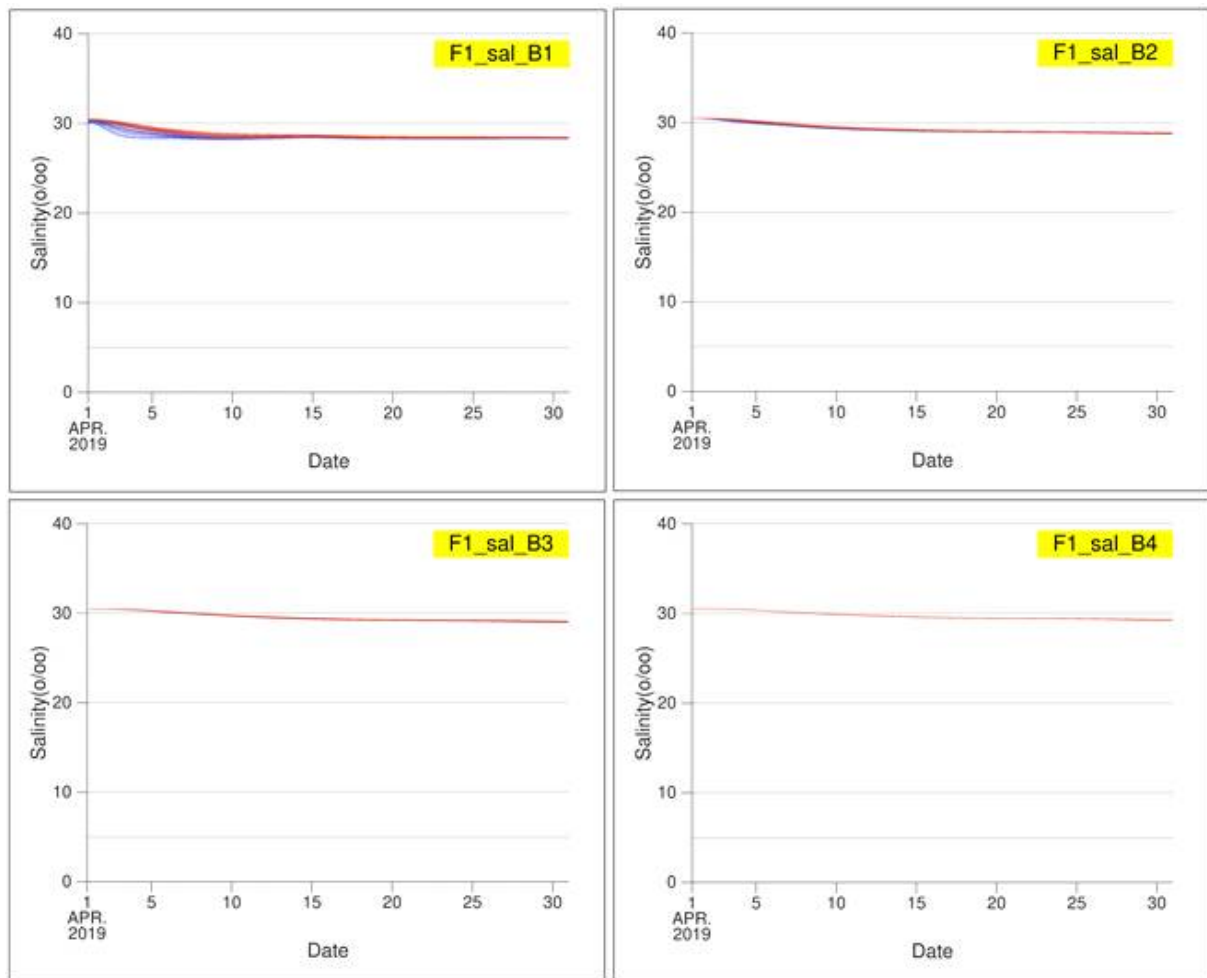


그림 4.1.34. F1안의 천수만 구역별/층별 염분 변화.

- 그림에서 나타난 천수만의 염분은 해수유통 초기에 북부(B1)에서 진동하며 감소하고 다른 지역에서는 완만하게 감소함.
- 30일 후 천수만 북부(B1)에서는 28.4 psu가 나타나나 남부(B4)에서는 거의 30.0 psu에 가까움.
- 염분은 자연적인 생화학적 분해과정이 없이 희석 과정을 통해서만 변화하기 때문에 변화 속도가 느리나 부남호에서 방류되는 염분이 지속적으로 상승하기 때문에 중국에는 천수만 배경농도로 수렴할 것으로 예상됨.

○ F1안(100m×3m)의 부남호 구역별/층별 COD변화

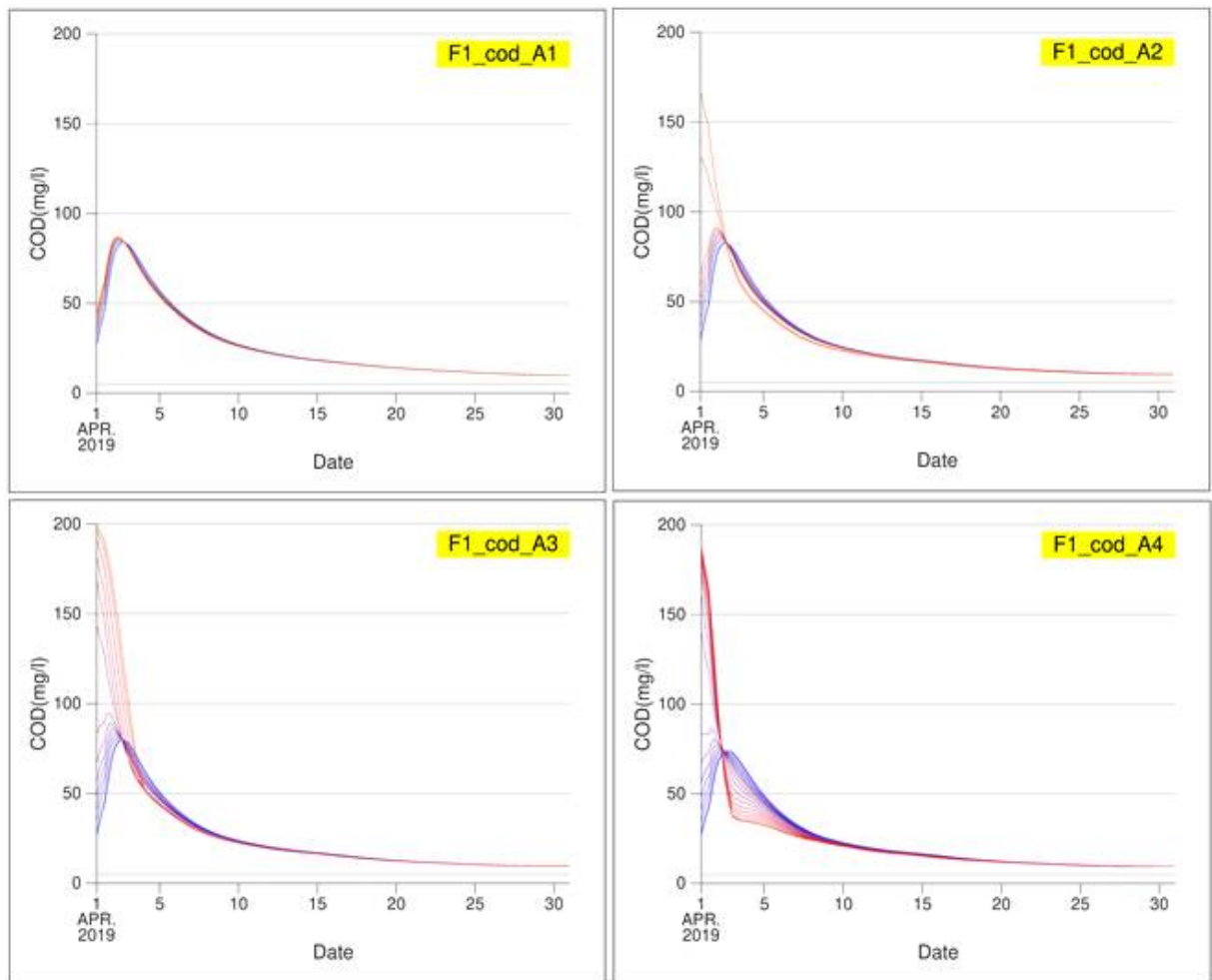


그림 4.1.35. F1안의 부남호 구역별/층별 COD 변화.

- 부남호의 COD는 초기 농도로 A3, A4의 하층에 200 mg/l를 주었고 모든 구역의 상층에는 5 mg/l를 주었음 (그림 4.1.35).
- 남부 (A3, A4)에서는 유통 초기에 상층(파랑색), 하층(빨강색) 간의 빠른 혼합이 일어나서 약 22일 경과 후에는 거의 동일한 농도에 이름.
- 그 이후 A4에서는 농도가 낮은 유입수의 영향으로 하층수의 농도가 상층수의 농도보다 더 낮아지기도 함.
- 30일 경과 후의 농도는 남부(A4)에서는 9.5 mg/l, 북부(A1)에서는 9.8 mg/l로 비슷한 값을 보임.
- 실제 해수유통이 되어 수질개선이 시작되면 자연적인 생화학적 분해 작용이 함께 일어나 개선속도는 더 빠를 것으로 예상됨.

○ F1안(100m×3m)의 천수만 구역별/층별 COD변화

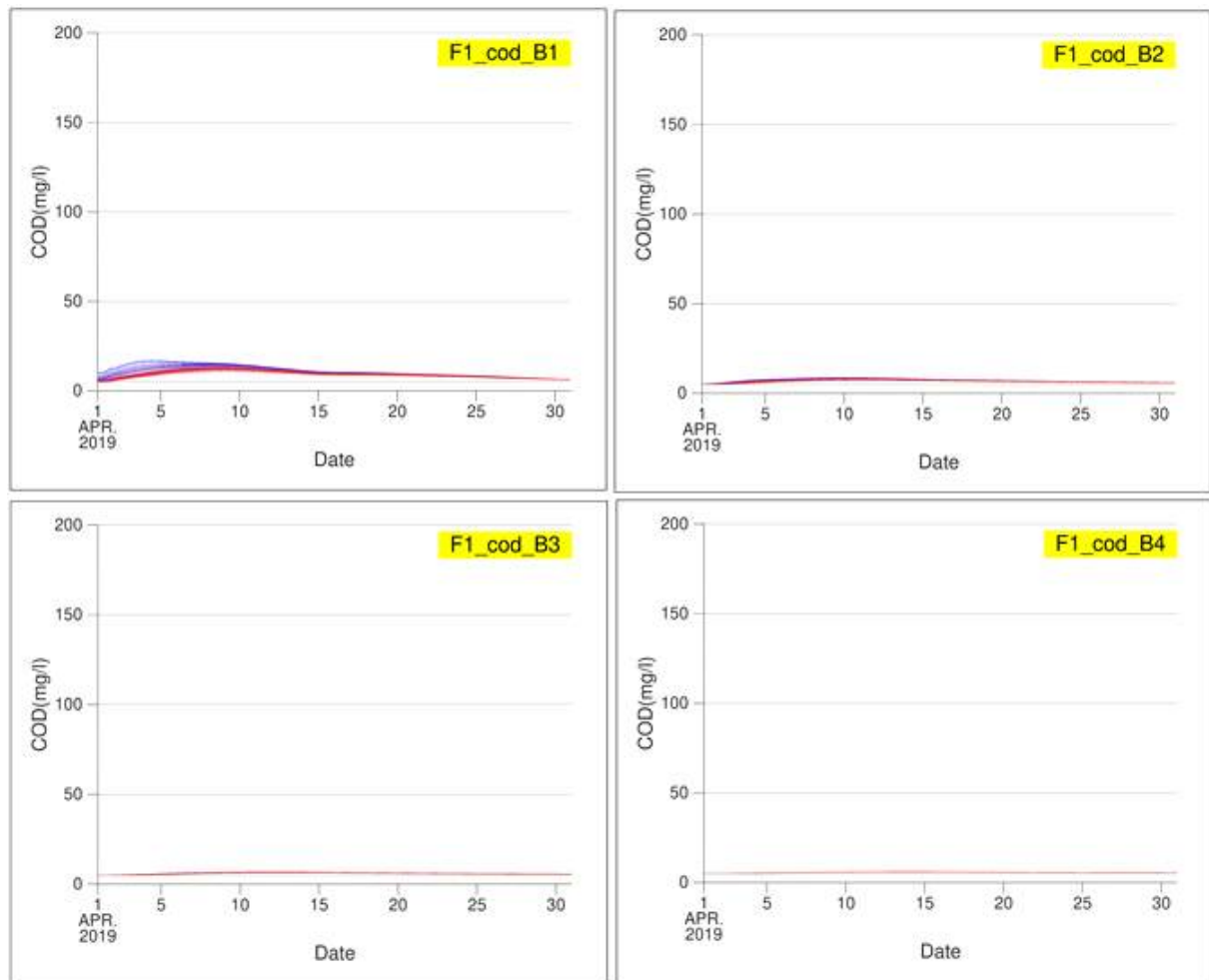


그림 4.1.36. F1안의 천수만 구역별/층별 COD 변화.

- 천수만의 COD 변화는 북부(B1)에서 약간의 증가가 나타나나, 남부(B3, B4)에서는 별다른 변화를 보이지 않음 (그림 4.1.36).
- 30일 후 북부(B1)의 COD 농도는 6.3 mg/l 정도를 나타내서 약간 상승하였지만, 남부(B4)에서는 5.5 mg/l로 거의 배경농도인 5.0 mg/l에 가까움.

○ F2안(20m×5m)의 부남호 구역별/층별 염분 변화

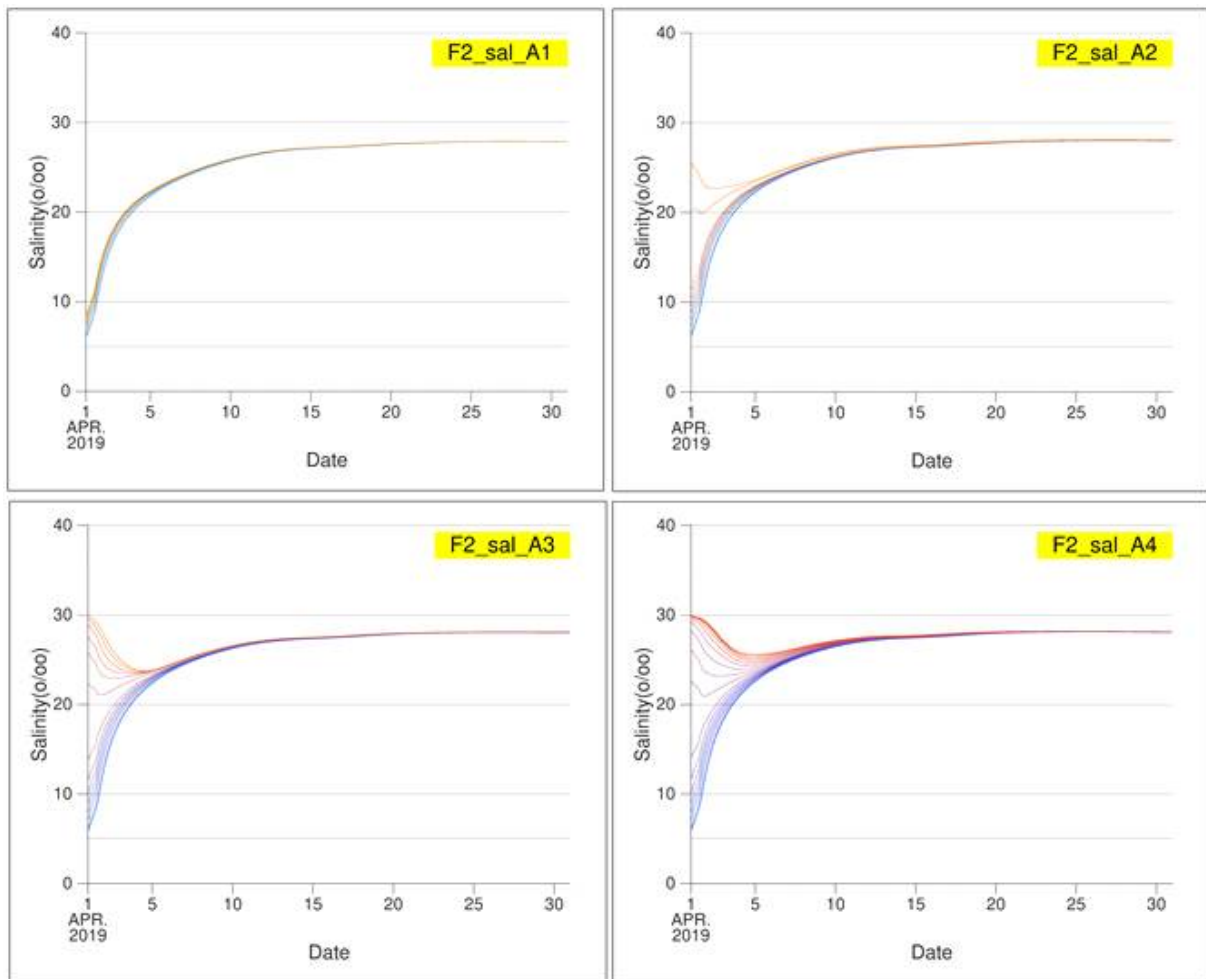


그림 4.1.37. F2안의 부남호 구역별/층별 염분 변화.

- F2안의 경우도 수렴 속도는 다르지만 변화양상은 F1안의 경우와 크게 다르지 않음 (그림 4.1.37).
- 30일 후 북부(A1)의 염분은 약 27.9 psu, 남부(A4)의 염분은 28.1 psu 정도로 거의 차이가 없어서 해수교환/수질개선 기능에서는 두 안이 모두 효과가 있을 것으로 판단됨.

○ F2안(20m×5m)의 천수만 구역별/층별 염분 변화

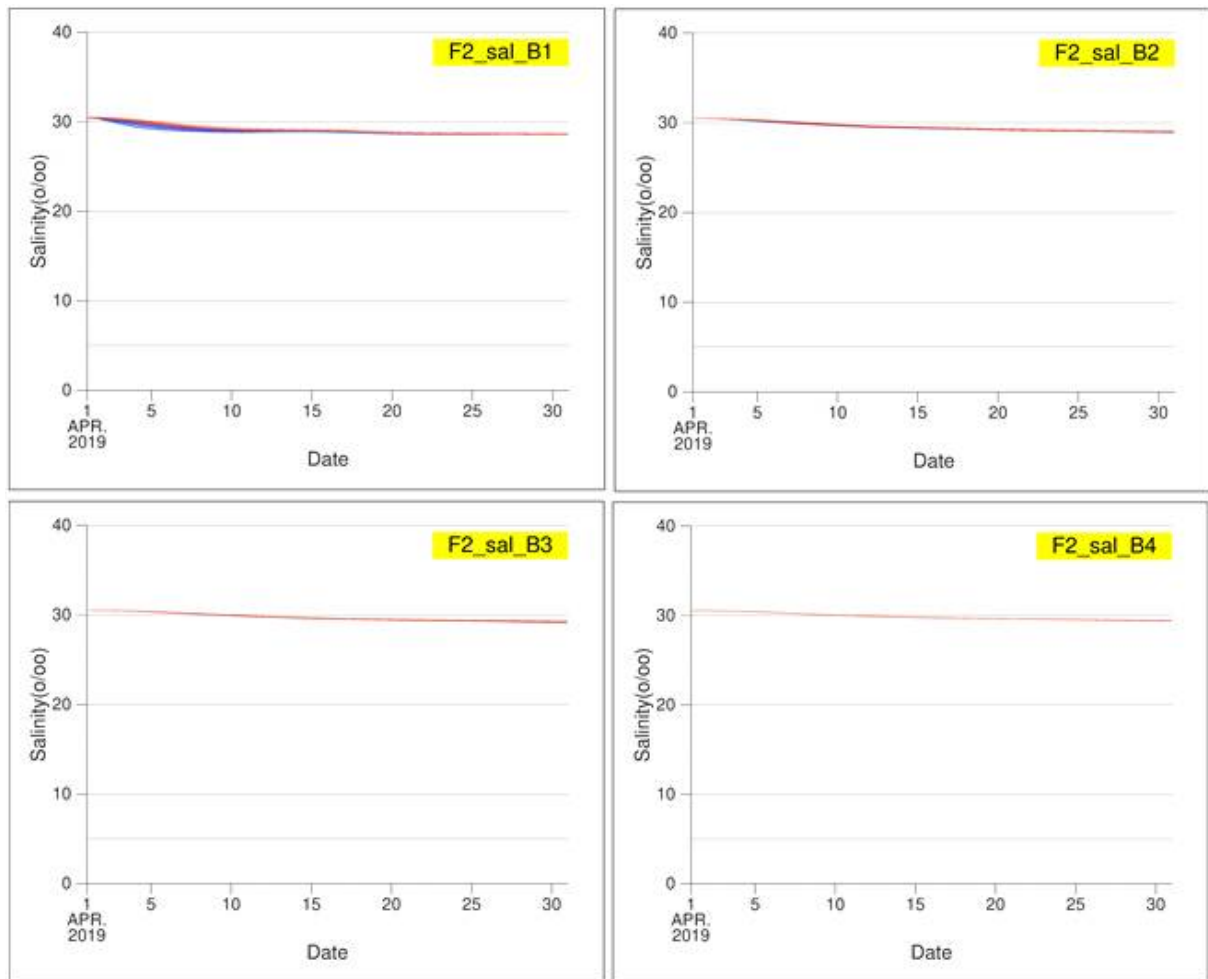


그림 4.1.38. F2안의 천수만 구역별/층별 염분 변화.

- F2안에서 30일 후 천수만 북(B1)의 염분은 약 28.6 psu, 남부(B4)의 염분은 29.5 psu 정도로 나타남 (그림 4.1.38).

○ F2안(20m×5m)의 부남호 구역별/층별 COD 변화

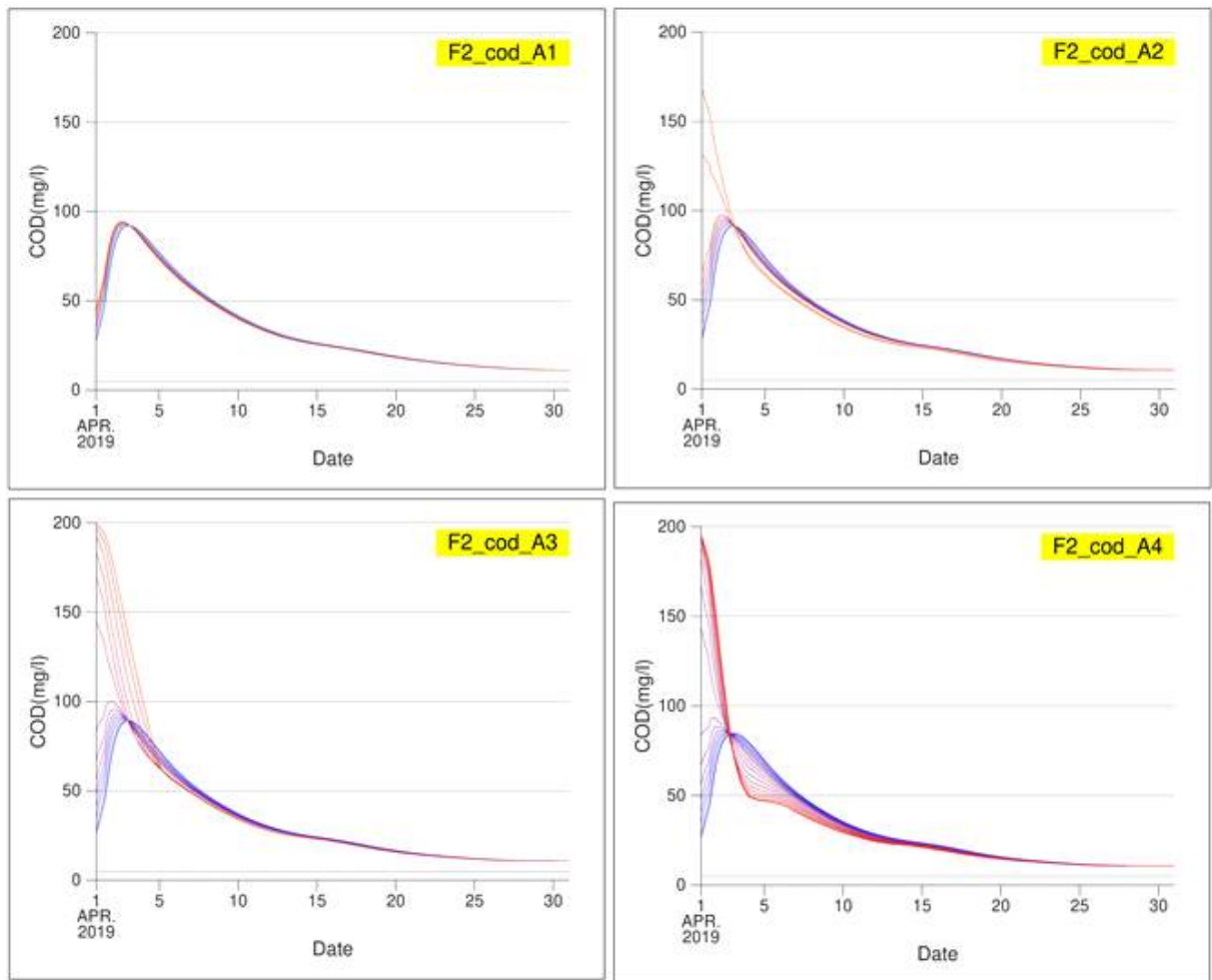


그림 4.1.39. F2안의 부남호 구역별/층별 COD 변화.

- COD의 경우도 F2안의 농도 변화는 F1안의 변화와 크게 다르지 않음 (그림 4.1.39).
- 30일 후 북부(A1)의 COD 농도는 11.1 mg/l, 남부(A4)에서의 농도는 10.8 mg/l로 나타나서 구역별 차이를 별로 보이지 않음.

○ F2안(20m×5m)의 천수만 구역별/층별 COD 변화

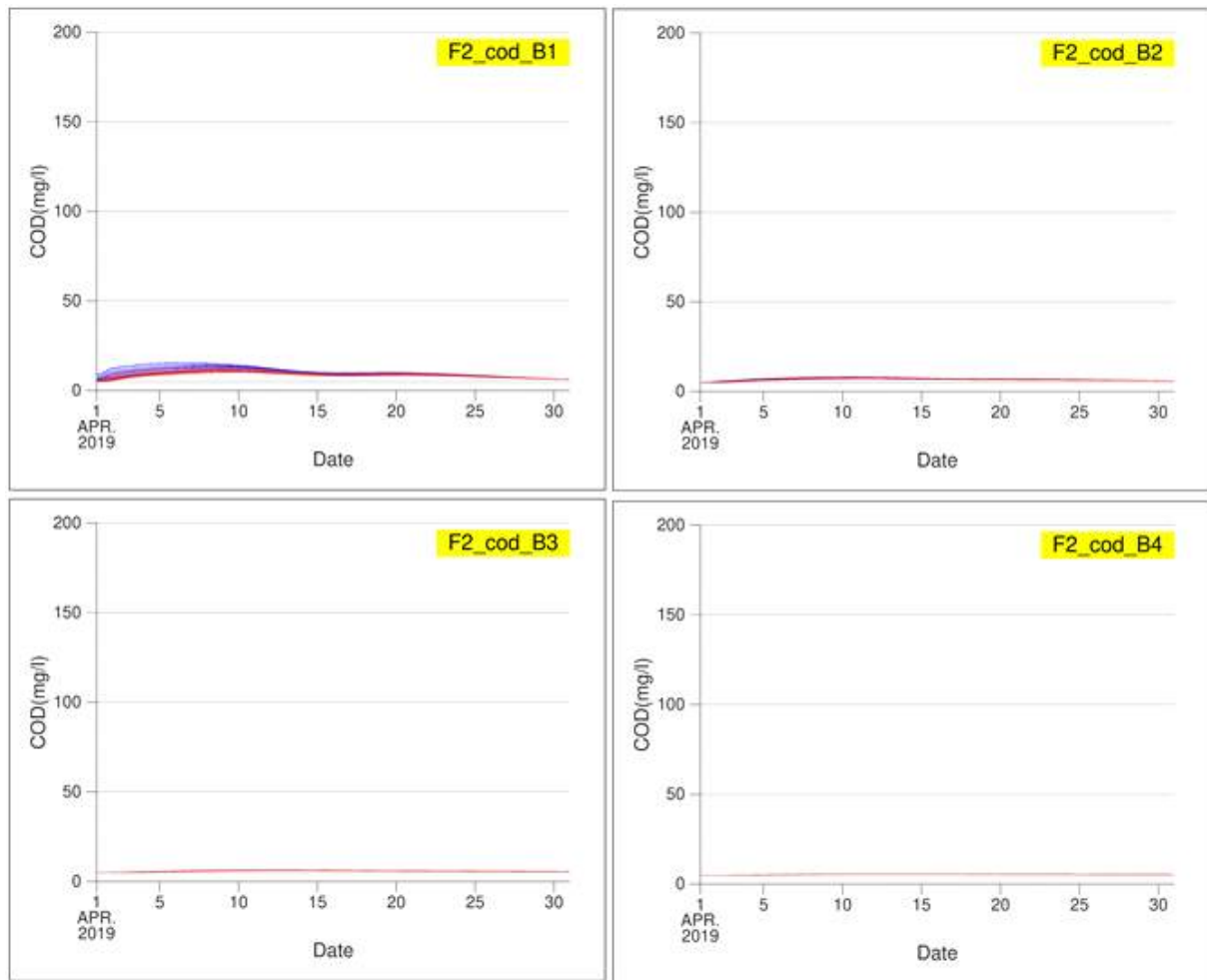


그림 4.1.40. F2안의 천수만 구역별/층별 COD 변화.

- F2안의 천수만 COD는 30일 후 북부(B1)에서 6.4 mg/l, 남부(B4)에서 5.5 mg/l로 나타나 두 안이 차이를 보이지 않음 (그림 4.1.40).

○ 2개 안의 구역별 농도/교환율 변화

- 그림 4.1.41.에서는 F1안을 적용하는 경우, 부남호 4개 구역(북쪽에서부터 A1 ~ A4), 천수만 4개 구역(북쪽에서부터 B1~B4)의 COD 농도와 교환율을 비교하였음. 매일 나타나는 진동을 제거하고 장기적인 추세를 보기 위하여 자료에 25시간 이동평균을 적용하여 도시하였음.
- 농도 변화를 보면, 부남호에서는 초기 2일 정도에 상, 하층간의 빠른 혼합이 일어나며 이후 전 구역에서 빠르게 감소하나 10일 이후부터는 수렴속도가 느려지는 것으로 나타남.
- 천수만에서는 농도가 10일 전후까지 서서히 증가하다가 이후부터는 다시 서서히 감소하는 것으로 나타남.
- 교환율을 보면, 부남호 북부(A1, A2)에서 초기에 나타나는 (-)값은 수질이 급격히 악화되는 것으로 나타나는데 이는 유입수의 영향으로 남부에서 상하층 간에 활발한 혼합된 오염수가 북부로 밀려들어온 영향 때문일 것으로 판단됨.

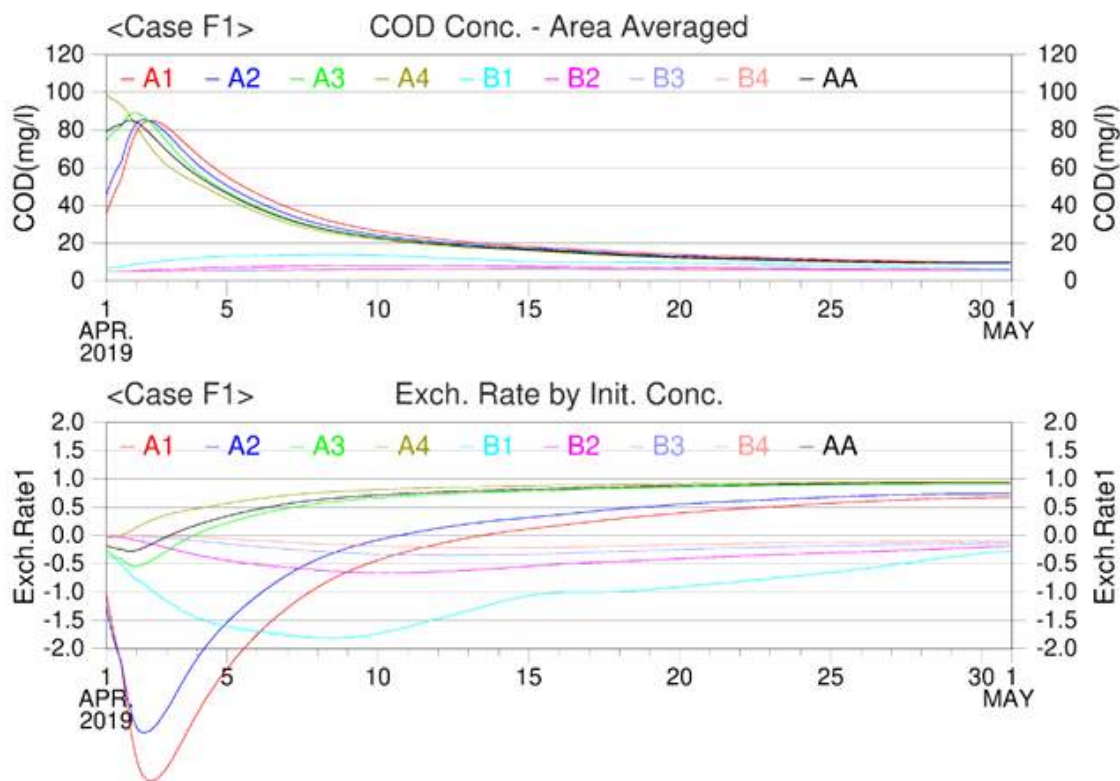


그림 4.1.41. F1안의 구역별 농도/교환율 변화 비교

- 이 경우도 약 10일 후에는 정상적으로 수질개선이 이루어지는 것으로 나타남.
- 천수만 북부(B1)에서도 부남호 방류수의 영향으로 수질이 낮아지나 이후 서서히 회복하여 30일 후에는 거의 원래의 상태로 돌아가는 것으로 나타남.
- 그림 4.1.42.의 F2안에서도 변화 양상은 유사하나 초기에 천수만 북부의 수질악화가 더 크게 나타남. 이는 유입 유량이 작아서 F1안보다 덜 혼합된 남부 하층의 오염수가 북부로 밀려든 영향으로 예상됨.
- 천수만 북부(B1)에서는 F1안보다 수질 악화가 덜 나타남.
- 그림 4.1.43.에 부남호 구역 전체를 평균하여 F1, F2 2개안의 COD 농도, 교환율 변화를 비교하였음.
- COD농도 변화를 보면 초기에는 F1안이 F2안보다 농도 감소가 빠르게 진행 되지만 시간이 경과할수록 거의 같은 값으로 수렴해 가는 것으로 나타남.

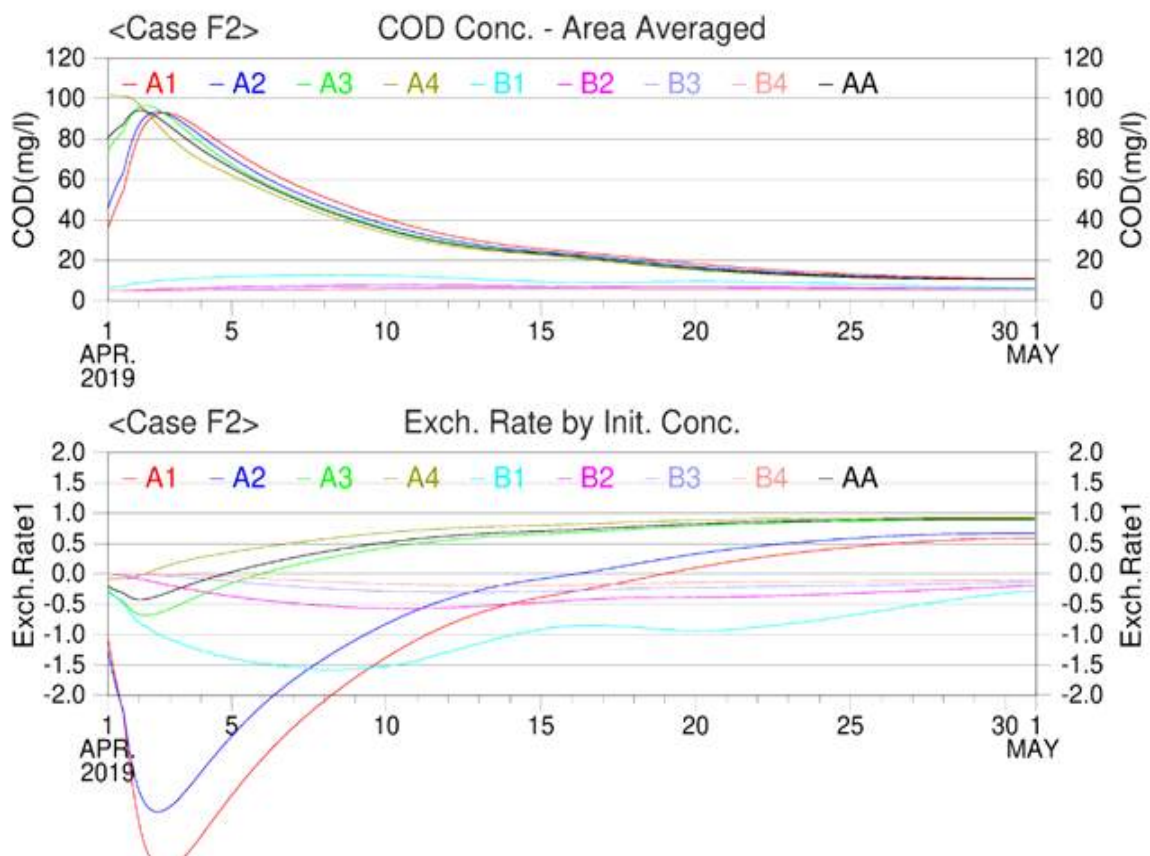


그림 4.1.42. F2안의 구역별 농도/교환율 변화 비교.

- 표 4.1.14.에 제시한 바와 같이 30일 후에는 F1안에서 COD 농도가 9.6 mg/l를, F2안은 10.9 mg/l를 보여줌.
- 목표수질 5 mg/l에는 미흡하나 부남호 내부에서는 자연적인 생화학적 분해 과정을 포함시키지 않은 점을 고려하면 실제 수렴 속도는 더 빠를 수 있을 것으로 예상됨.
- 교환율에서도 초기에는 남부 하층의 고오염수 혼합의 영향으로 수질이 악화하나 이내 회복하여 30일 후에는 F1안의 경우 93% 정도, F2안의 경우는 91% 정도가 됨.

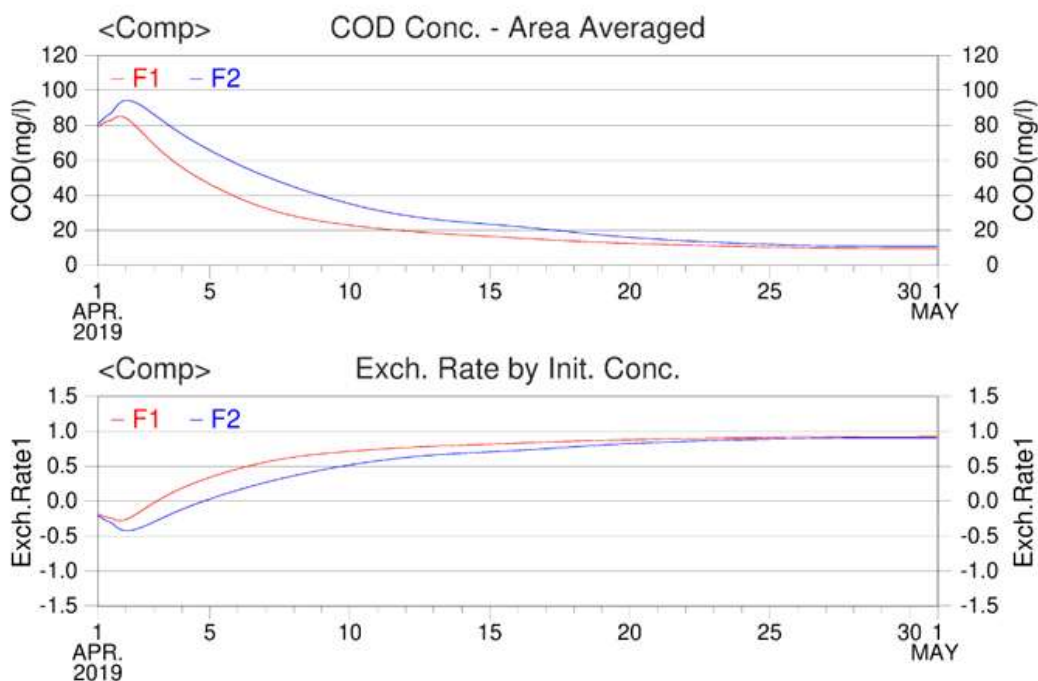


그림 4.1.43. 2개 안의 구역별 농도/교환율 변화 비교.

표 4.1.14. 2개 안의 농도, 교환율 변화 비교

실험안		경과 기간에 따른 변화			
		초기	10일후	20일후	30일후
농도 (mg/l)	F1안	67.8	21.2	12.1	9.6
	F2안	67.8	31.5	15.0	10.9
교환율 (%)	F1안	0.0	74.2	88.7	92.7
	F2안	0.0	57.8	84.1	90.7

□ 결론 및 토의

- 부남호 하구역의 환경생태 및 자원 관리 정책 지원을 위한 갑문운영/하굿둑 개방 시나리오별 수치모형실험을 실시하였음.
- 부남호 수질개선 및 생태계복원을 위한 갑문운영/하굿둑 개방 시나리오에 대한 수치모델링을 통하여 대책안을 비교 검토하였음.
- 부남호 내부에 대한 수심조사를 실시하고 과거 수심자료와의 비교를 통하여 방조제 건설 전후의 수심변화를 파악하였음.
- 천수만 유입 유량 분석, 조석 분석을 통하여 천수만의 순환 양상을 파악하여 대책안 수립을 위한 기초자료로 제공하였음.
- 실효역 수치모형 실험 실시 전, <유통갑문 설치 이상해역 수치모형실험>과 <수중암거 설치 이상해역 수치모형실험>을 실시하여 후보 안에 대한 사전 검토 작업을 수행하였음.
- 대책안으로 선정된 F1안(수중암거 100m×3m 설치안), F2안(수중암거 20m×5m 설치안)의 2개 안에 대하여 부남호의 해수교환 및 수질개선, 천수만의 담수 및 수질영향에 대하여 검토하였음.
- 2개 안 모두 부남호의 수질 개선과 해수교환에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났음. 수치모형실험에서 부남호 내부는 생화학적 분해과정을 고려하지 않았으므로 실제 수질개선 속도는 더 빠를 수도 있음.
- 천수만에 대한 담수영향과 수질 영향은 어느 정도 나타나지만 부남방조제에 인접한 북부에서 크게 나타나고 남부 천수만 입구 부근에서는 영향이 제한적일 것으로 예상됨.
- 그러나 수중암거 또는 해수유통터널 완공 후 실제 해수유통을 실시할 경우에 해수유통터널 운용 최적 시나리오를 개발하여 천수만에 대한 영향을 최소화하여야 할 것으로 판단됨.
- 수치모형실험에서 부남호 내부에서의 대조기시 최저 해수면은 F1안을 적용할 경우에도 약 (-)2.6m 정도로 나타나 제한 수위 (-)1.6m보다 약 1m 정도 내려가는 것으로 나타남.
- 부남호 해수면은 수중암거/유통갑문의 유통량에 영향을 받고 유통량은 수중암거/유통갑문의 규모와 유통속도에 따라 결정되므로 정확한 해수면 계산을 위해서는 규모에 대한 면밀한 검토가 필요함.

◆ 부남호 하구역 주변의 환경·생태계 및 수산생물, 자원현황의 조사 및 평가

1. 연구 배경 및 목적

□ 연구 목적 및 필요성

- 본 연구는 천수만 및 부남호의 환경개선 및 생태복원 추진을 위한 종합관리 시스템과 기본관리계획 수립을 목표로 함.
- 현재 하천수 수질등급 6등급 (TOC 기준)인 부남호의 수질 개선 방안으로 해수유통터널을 설치하여 해수유통을 시킬 경우, 부남호의 환경개선 효과, 천수만의 환경 및 생물에 미치는 영향 등에 대한 예측 파악을 위해서는 현 상태의 수질 및 퇴적환경, 생물 다양성에 대한 파악이 필요함.
- 부남호 및 천수만의 환경 및 생물상에 대한 현황 파악을 통한 천수만 하구환경 및 생태계 복원을 위한 기본 계획수립의 기초 자료로 이용 가능함.

2. 연구방법

□ 수질

- 수환경 모니터링
 - 수질측정기 (YSI 6500, YSI incorporated, USA)를 이용하여, 현장 표층수와 저층수의 수온, 염분, 용존산소, pH 등을 측정하였으며, 필요시 Vertical profile을 파악하는데 이용하였음.
- 화학적산소요구량 (COD)
 - 채수 후 시료에 수산화나트륨(NaOH)를 넣어 알칼리성으로 한 후, 과량의 과망간칼륨(KMnO₄)을 넣고 항온수조를 100℃로 세팅 후 가열반응 시키고,

요오드화칼륨(KI)과 황산(H_2SO_4)을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드를 티오황산나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 용액으로 무색이 될 때까지 적정하여 화학적 산소요구량을 계산하였음.

○ 생물학적산소요구량 (BOD)

- 현장 채수 후 BOD 측정병 2개체 시료를 나누어 담고, 하나는 현장에서 고정하였고, 다른 하나는 실험실로 운반하여 20°C 배양기에서 5일간 배양한 뒤, 염화망간용액 1ml와 알칼리성 요오드화나트륨 용액 1ml를 넣고 기포가 남지 않게 조심하여 섞은 후, 침전물을 완전히 침전시키고, 황산용액 50%(v/v) 1ml를 넣고 갈색의 침전물을 완전히 용해시킴. 이후 BOD 측정병의 용액 200ml를 정확히 취하여 황색이 될 때까지 0.025N-티오황산나트륨액으로 적정한 다음, 녹말지시약 1ml를 넣고 청색이 무색이 될 때까지 적정하였음. 해양환경공정시험기준에 따라 용존산소를 구하고 처음의 용존산소량과 5일간 배양한 다음 남아있는 용존산소량의 차로부터 BOD를 계산하였음.

○ 영양염

- 영양염 분석은 Whatman GF/F glass fiber filters를 이용하여 여과된 해수를 PE병에 넣고 HgCl_2 를 첨가한 후 냉동 보관하였음 (Kattner, 1999).
- 냉동 보관한 영양염은 분석 전 해동하여 질산염+아질산염, 암모늄, 인산염, 규산염을 Parsons *et al.* (1984)의 분석법에 따라 영양염 자동분석기 (Autoanalyzer QuikChem 8000; Lachat Instruments, Loveland, CO, USA)를 이용하여 분석하였고, 영양염 농도는 표준시약인 Brine solution (CSK Standard Solutions; Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japan)을 이용하여 보정하였음.

○ SS

- SS은 준비단계에서 초순수 약 20 ml로 3회 정도 반복 통과시켜 Whatman GF/F glass fiber filters (47mm diameter; pore size $0.45 \mu\text{m}$)에 있는 염분을 완전히 제거한 후 건조기를 이용하여 $105\sim 110^\circ\text{C}$ 에서 2시간 이상 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 방냉 한 다음 전자저울로 여과지의 무게(mg)를 측정
- 현장에서 해당 필터지를 이용하여 현장에서 샘플을 필터한 후 분석 전까지

- 20°C에서 냉동 보관

- 실험실에서 건조기를 이용하여 105~110°C 에서 1시간 이상 시료여과지를 건조시킨 후 데이케이터에 넣어 방냉한 다음 전자저울로 무게(mg)를 측정

○ 엽록소 a

- Whatman GF/F glass fiber filters (47mm diameter; pore size 0.45 μm)를 이용하여 현장에서 필터 하였으며, 필터는 15 ml 튜브에 넣어 분석 전까지 - 20°C에서 냉동 보관하였음.
- 냉동 보관한 여과지를 90% Acetone에 녹여 냉암소에서 24시간 동안 색소를 추출한 후 형광측정기(Turner BioSystems, Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 분석하였음.



그림 4.2.1. 모니터링 조사 정점도.

□ 퇴적물

○ 입도 및 TOC 함량

- 퇴적물 입도 및 총유기탄소(TOC: Total organic carbon)함량 측정을 위한 퇴적물 채집은 수질환경조사 및 저서생물 채집과 동일시기에 수행하였음
- 입도분석은 채취된 시료 중 15 g을 비커에 담아 10%의 과산화수소로 유기물과 0.1 N-HCl로 탄산염을 제거한 후, 시료를 4 Ø체로 사질과 니질로 구분하였음
- 4 Ø 이하의 사질 시료는 건조시킨 후 Ro-tap sieve shaker로 15분간 체질한 후 1 Ø간격으로 무게 백분율을 구하였으며, 4 Ø 이상의 니질 시료는 0.1% 칼콘용액(확산제)을 넣고 교반시킨 후 X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5000D를 이용하여 입도무게 백분율을 Folk and Ward의 Inclusive Graphic Method에 의하여 변수를 구하였음
- 퇴적물 내의 총 유기탄소함량은 퇴적물을 100℃에서 24시간 이상 건조 시킨 후 분말화하였고, 분말화한 시료는 건조시킨 후 1N 염산으로 탄산염을 제거한 후 주석용기(Tin capsule)에 약 15 mg을 담아 CHNS analyser (Flash 2000, Thermo Fisher scientific)를 이용하여 TOC 함량을 측정하였음

○ 중금속 함량

- 채집된 퇴적물 시료를 동결건조기에서 24시간 건조한 뒤 분말화 하여, 수은을 제외한 중금속 원소는 퇴적물 시료 0.5 g에 왕수 7 mL을 넣어 130℃에서 2시간 가열 및 전처리 한 뒤 ICP-AES(유도결합플라즈마 방출분광기)를 사용하여 측정하였고, 수은은 전처리 없이 Direct Mercury Analyser로 분석하였음

○ 농약 성분

- 채집한 퇴적물을 균질화한 뒤 그 중 약 20g을 취하여 무수황산 나트륨으로 수분을 제거한 후 디클로르메탄(GC² grade, Burdic & Jackson, USA)으로 16 시간동안 Soxlet 추출함. 추출 전에 수분이 제거된 시료에 내부표준물질(PCB-103, PCB-198, ¹³C-BDE-139, ¹³C-BDE-209, naphthalene-*d*₈, acenaphthene-*d*₁₀, phenanthrene-*d*₁₂, chrysene-*d*₁₀, perylene-*d*₁₂)을 첨가하여

회수율 분석에 사용함.

- 추출액은 2-3mL로 농축시킨 후 활성화된 구리를 사용하여 황 화합물을 제거한 후, 실리카 (20 g)/ 알루미나 (10 g) 칼럼 (각각 수분함량 5%, 1% 비활성)과 고순도액체크로마토그래피 (HPLC; Phenomenex사의 Phenogel 100Å이 충전된 250x22.5 mm I.d. size exclusion column)에 순차적으로 통과시켜 방해물질을 제거하였다.
- 기기분석은 가스크로마토그래피/질량분석기 (Agilent 6890 series gas chromatograph/Agilent 5975 mass spectrometer)를 사용하여 전자충격 이온화법(Electro Impact ionization; EI)으로 정성, 정량 분석하였음.
- 퇴적물 권고기준은 캐나다 CCME(CCME 2002)에서 제시한 주의기준과 관리기준값에 따라 적용하였음.
- 분석대상 성분들은 다음과 같음: Pentachlorobenzene, HCB, HCHs, Chlordans, DDTs, PCBs

□ 부유생물

○ 식물플랑크톤

- 식물플랑크톤 정성/정량분석은 망구직경 45 cm, 망목크기 20 μm 의 표준네트로 수직 예인 채집한 샘플을 포르말린 고정하여 정성분석을 수행하였음.
- 500 ml의 표층수를 루골을 이용하여 최종농도 0.5%가 되게 고정하였고, 이 후 500 ml의 시료를 50 ml로 농축시킨 후 Sedgewick-Rafter counting chamber에 농축시료를 100~300 μL 분주하여 200배 혹은 400배 배율로 동정 및 계수하였음.

○ 동물플랑크톤

- 동물플랑크톤 채집은 망구직경 45 cm, 망목크기 200 μm 의 표준네트로 수직 예인채집을 하였음.
- 채집은 정선 상태에서 목표수심까지 네트를 내려 수직으로 표층까지 예인하였고, 네트에 여과된 양을 결정하기 위해 네트 입구에 유량계

(HydroBios Kiel 438110: backrun stop)를 부착하여 네트에 여과된 해수량을 계산하였음.

- 코드엔드 버킷에 모여진 채집시료를 500 mL 폴리에틸렌 시료병에 옮겨 담은 후 중성포르말린으로 최종 농도가 약 5%가 되도록 고정시켜 실험실로 이동하여 보관하였음.
- 고정된 시료를 잘 섞은 후 Subsample 4-8 mL을 채취하여, 계수판(Bogorov counting tray)에서 해부현미경 (Olympus szx2-illt, Japan)을 이용하여 동정되었다. 계수된 동물플랑크톤 시료는 최종적으로 inds. m⁻³으로 환산하였음.

□ 저서생물

○ 대형저서동물

- 대형저서동물의 채집은 4월과 7월에 수행되었음.
- 대형저서동물 채집은 선상에서 반빈그랩 (채집면적: 부남호 0.025m², 천수만 0.1m²)을 사용하여 정점 당 3회씩 반복 채집하였으며, 망목 1 mm체에 걸러 퇴적물과 생물을 분리하여 10% 중성 포르말린에 고정하였음.
- 실험실에서 각 분류군별로 선별하였으며, 선별된 생물은 실체현미경을 사용하여 종 단위까지 동정 후 계수 및 전자저울을 이용하여 종별로 생물량을 측정하였음.

□ 어류

○ 부남호와 천수만에서 난자치어와 eDNA 표본 수집을 위한 조사를 2019년 봄(4월 11일)과 여름(부남호, 7월 29일; 천수만, 8월 2일)에 2회 수행하였음.

- 조사 정점의 수는 부남호 3개, 천수만 3개이며, 단 여름철 부남호 난자치어 조사는 2개 정점(정점 1과 2)만 수행하였음 (그림 4.2.1).

○ 난자치어 시료 채집

- 네트는 망구 직경이 60 cm, 망목은 300 um, 예망 속도는 1 m/sec, 예망 시간은 약 5분, 예망 수심은 1 m 이내

- 현장에서 채집된 난자치어 시료를 95% 에탄올에 보관하였고, 이후 실험실에서 해부현미경을 이용하여 채집된 시료에서 어란과 자치어 표본만 추출하였음
- 추출한 어란 표본에서 형태형질로 종 수준의 동정이 가능한 멸치 어란은 직접 계수하였음.
- 형태형질로 종 수준의 동정이 불가능한 나머지 어란과 자치어 시료에서 gDNA를 추출하였고, 추출한 gDNA를 COI 프라이머 (mlCOIintF, jgHCO2198)로 PCR하였음.
- PCR 산물은 MiSeq으로 대량의 염기서열을 확보하였다. 단일 표본의 PCR 산물에서 Sanger sequencing (Primers 16SAR-L: 5' -CGCCTGTTTATCAAAAACAT-3', 16SBR-H: 5' -CCGGTCTGAACTCAGATCACGT-3'; Palumbi et al., 1991)으로 염기서열을 확보하였음. Sanger sequencing으로 분석된 염기서열을 Blast 검색을 통해 종을 확인하였음.

○ eDNA 시료

- 20 um 망목의 식물플랑크톤네트로 채집한 것과 Cellulose Nitrate filter(pore, 0.45um)로 여과한 두 종류이며, 전자의 시료는 현장에서 95% 에탄올에, 후자는 영하 72도에 냉동 보관하였음.
- 이 두 종류의 시료를 실험실로 옮긴 후 gDNA를 추출하였고, 추출한 gDNA를 COI 프라이머(mlCOIintF, jgHCO2198)로 PCR하였음. PCR 산물은 MiSeq으로 대량의 염기서열을 확보하였음.

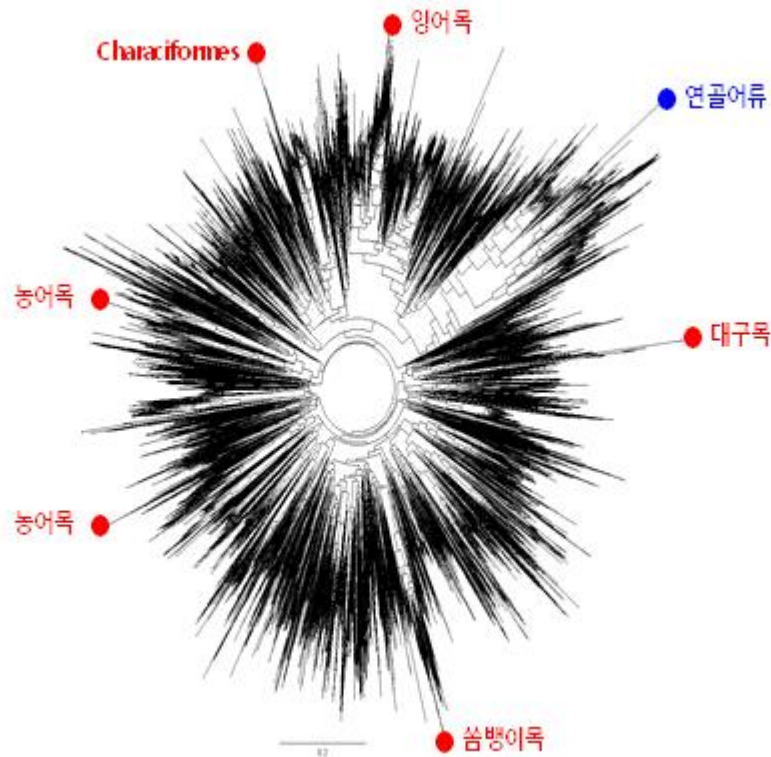


그림 4.2.2. 어류의 eDNA와 난자치어 종 분석용 COI reference library(75,810건; 약 1만 종)의 FastTree.

- MiSeq으로 확보한 대량의 유전자 염기서열을 mothur(Schloss *et al.*, 2009)를 이용하여 COI reference sequence(약 1만종, 75,810건; 그림 3.2.2)와 비교하여 종 분석의 기초 자료인 OTU(operational taxonomic unit; 난자치어 > 100 reads; eDNA > 29 reads)를 작성. 어류의 COI reference sequence 작성과정은 1) NCBI/GenBank에서 COI 염기서열 200,248건 추출, 2) MAFFT(Katoh and Standley, 2013) 정렬, 3) COI 프라이머(mlCOIintF과 jgHCO2198)와 일치되는 영역 및 중복 염기서열을 제거(길이 252-368 bp) 하였음. 이후 동일한 염기서열에 대한 계통수 정보를 정리하였음.
- Mothur를 이용하여 MiSeq 염기서열 자료에서 추출한 OTU 염기서열과 유전적 유사도가 높은 유전자 염기서열을 NCBI/GenBank에서 최소 10개를 검색하였음. 검색된 유전자 염기서열과 OTU 염기서열 사이의 유전적 일치도가 99% 이상인 것을 종으로 결정하였음. 이 때 eDNA로 탐지된 어종이 생활환경수의 오염 여부를 확인하기 위해 종별 생태적 특징을 참고하였음.

3. 연구결과

□ 수질

○ 수환경

- 4월 B3 저층에서 0.250 mg L^{-1} 로 빈산소 수괴가 형성됨 (그림 4.2.3)
- B3 저층을 제외하고 평균 10.5 mg L^{-1} 로 높은 식물플랑크톤 생물량, 낮은 수온 등과 같은 요인으로 높은 용존산소 농도를 보임
- 7월 평균 용존산소 농도는 7.39 mg L^{-1} 였으며, 천수만 표층에서 비교적 높은 농도가 관찰되었음
- 7월 B3 저층 역시 용존산소 농도가 낮을 것으로 예상되나, 조사를 하지 못하였음
- 4월과 7월의 정점별 pH 변화 양상은 거의 동일하였으나, 4월 평균 10.7, 7월 평균 8.22로 차이를 보였음 (그림 4.2.3.)

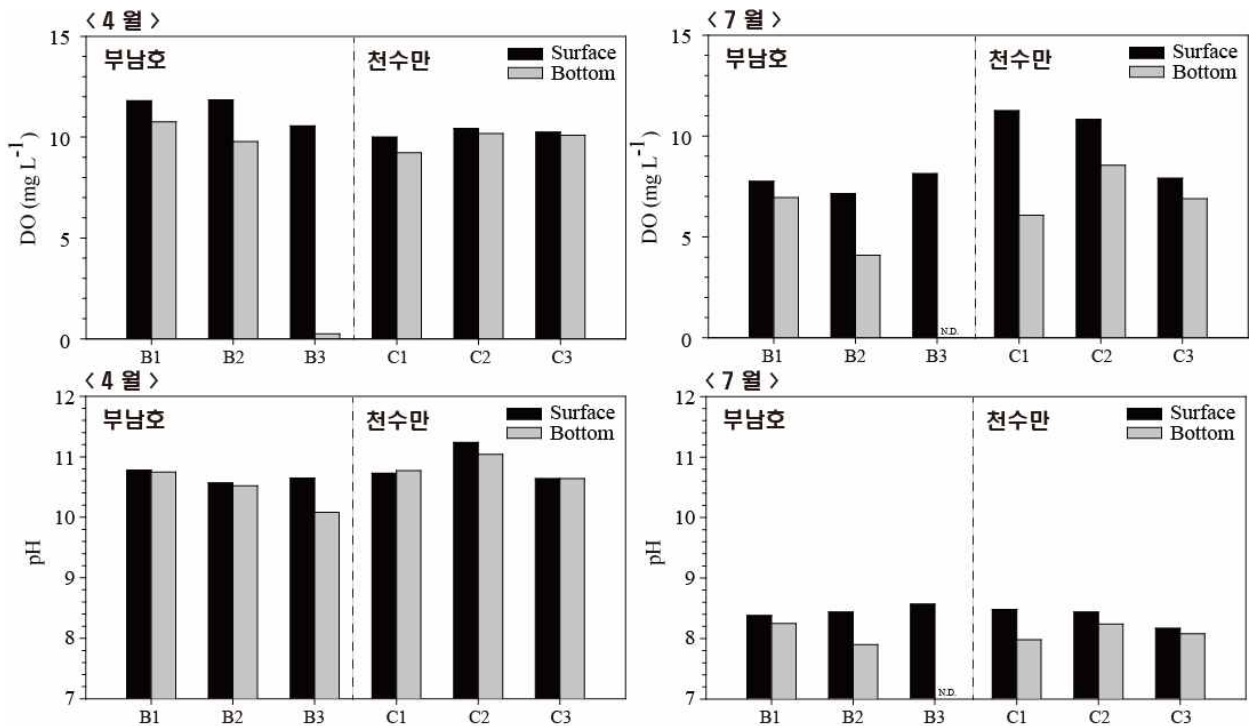


그림 4.2.3. 2019년 4월, 7월 표-저층의 용존산소와 pH 수평분포

○ 4월 B3 정점 환경인자 수직 조사

- 수온은 표층 11.0℃에서 7m 수심에서 10.40℃으로 소폭 감소하였고, 수심 13℃에서 12.1℃ 로 다시 증가하는 특성을 보였음 (그림 4.2.4.)
- 염분은 표층에서 4.50 psu로 관찰됐으나, 7m를 기점으로 상승하여 10m 이하에선 30 psu이상의 해수가 관찰됨
- DO는 표층 10.58 mg L⁻¹에서 5m까지 거의 일정하게 유지되었으나, 7m에서 0.3 mg L⁻¹까지 급격히 감소하여 빈산소수괴가 형성됨
- pH는 표층에서 5m까지 10.65로 일정하였으며, 13m에서 10.08로 다소 감소하였음
- 엽록소는 표층 18.0 μg L⁻¹으로 높았으며, 염분약층의 영향으로 5m에서 28.8 μg L⁻¹로 가장 높았고, 7m 이후 급감하여 13m에서 3.50 μg L⁻¹의 농도를 보였음

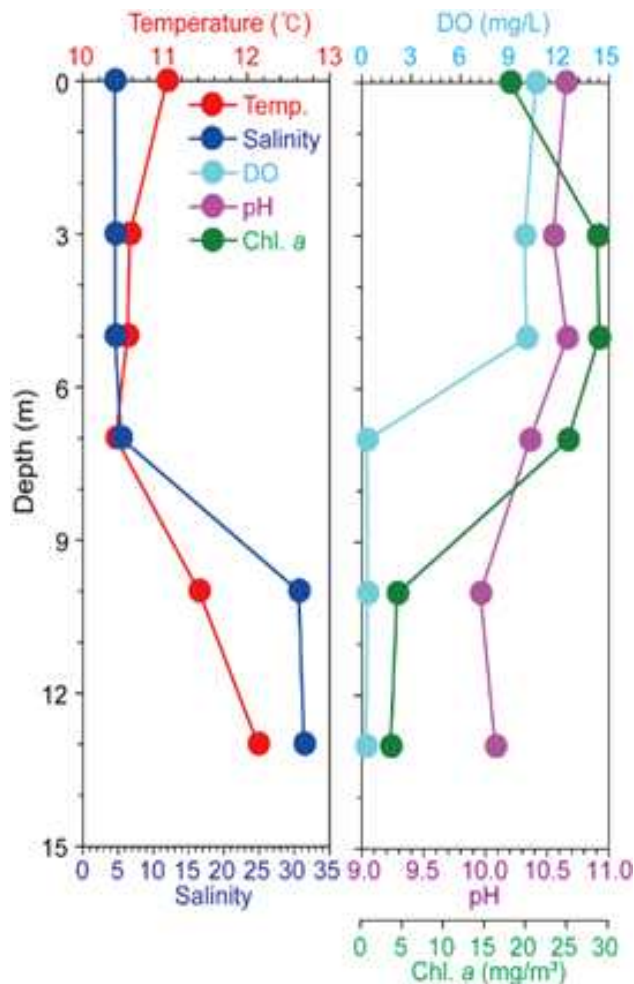


그림 4.2.4. 2019년 4월 부남호 (B3 정점) 환경인자 수직 조사

○ COD (화학적산소요구량)

- 4월 부남호 표층 16.9~21.9 mg L^{-1} 로 기존 물환경정보시스템의 2018년 4~5월 결과 범위 (15.6~18.8 mg L^{-1})와 유사하였음 (그림 4.2.5.)
- 4월 조사에서 부남호는 표층, 저층 모두 수질 평가기준 '매우나쁨' 상태를 보임
- 특히 B3 저층수에서 206 mg L^{-1} 로 극히 높은 농도가 관찰됨
- 7월 COD 분석 결과, 부남호 표층 14.79-18.64 mg L^{-1} 로 기존 물환경정보시스템의 최근 3년 8월 결과 평균 18.71 mg L^{-1} 과 유사하였음
- 부남호에서 천수만으로 갈수록 COD농도가 하락하였으며, 천수만 저층의 농도는 하구로 갈수록 증가하는 경향을 보임

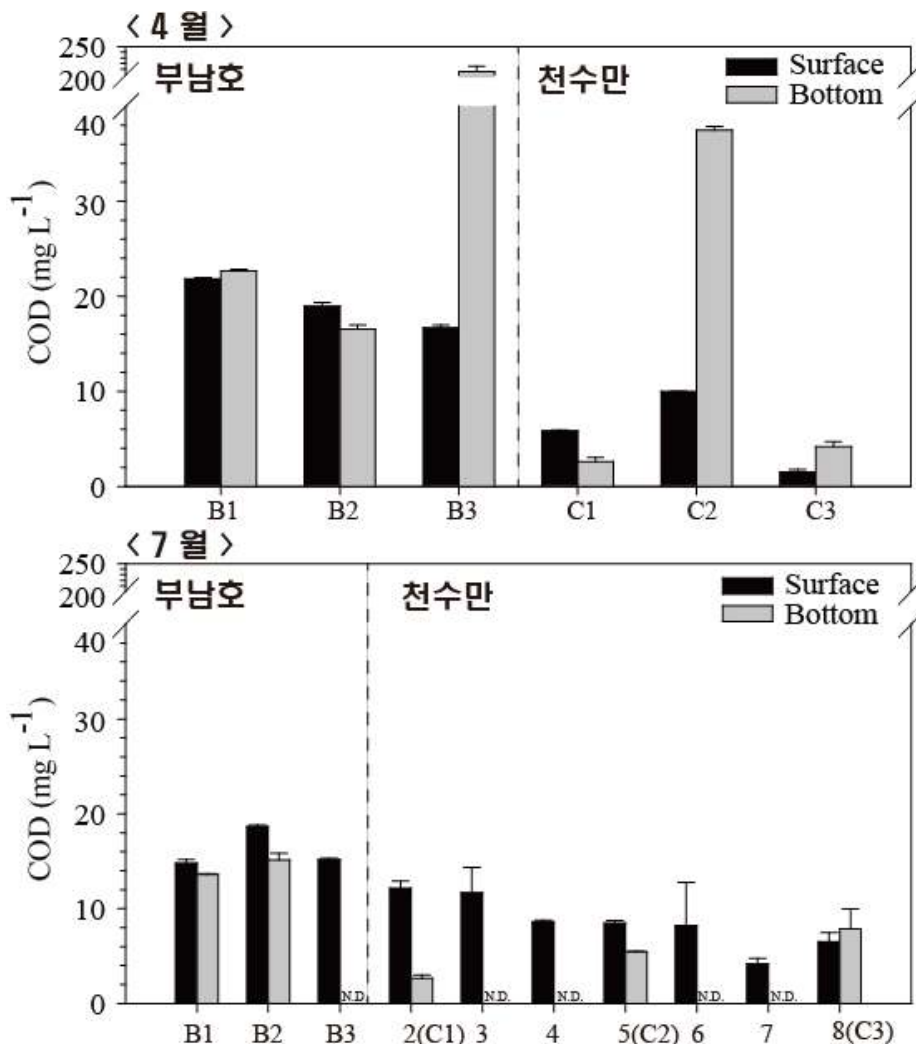


그림 4.2.5. 2019년 4월, 7월 표-저층의 COD 수평분포

○ BOD (생물학적산소요구량)

- 2019년 4월 표층수는 5-8 mg L^{-1} 의 범위로 모든 정점에서 약간 나쁨상태 (하천/호소수 기준 IV 등급)로 나타났으며, 저층수는 B1에서 약간나쁨 (III 등급) (8 mg L^{-1}), B2에서 보통(4.4 mg L^{-1})으로 나타났음 (그림 4.2.6.)
- 부남호 정점 B3의 수치(0.1 mg L^{-1})는 매우 낮았으나 원수 자체의 산소 농도(0.3 mg L^{-1})가 매우 희박하여 기준치로 판단 불가하였음
- 2019년 7월 표층수는 B1에서 약간 나쁨 (IV 등급) (5.1 mg L^{-1}), B2에서 보통(4.1 mg L^{-1}), B3에서 약간 좋음(2.7 mg L^{-1}) 상태로 나타났음
- 저층수는 B1(6.8 mg L^{-1})과 B2(5.3 mg L^{-1}) 모두 약간 나쁨 상태로 나타났으며, 표층수와 저층수 모두 부남호 내측에서 외측으로 갈수록 BOD가 감소하는 경향을 보였음

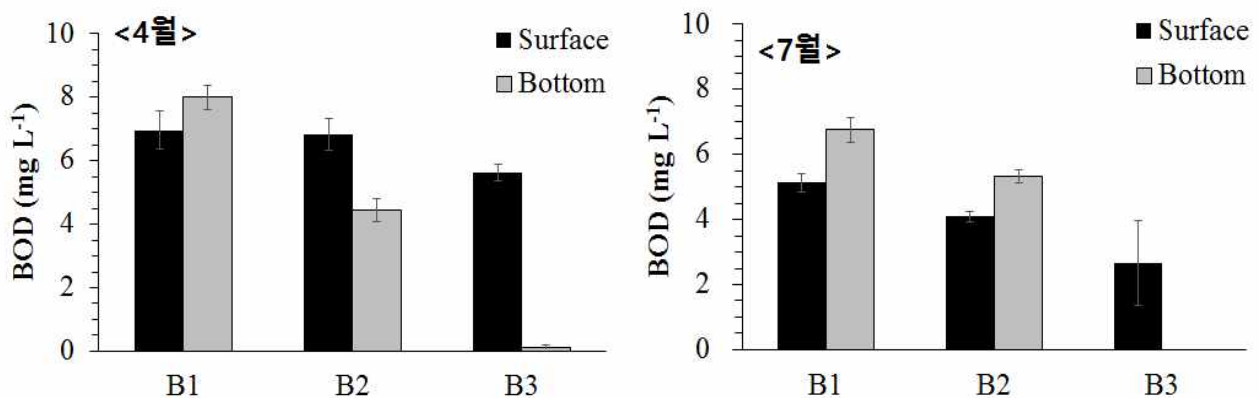


그림 4.2.6. 2019년 4월, 7월 표-저층의 BOD.

○ 질산염+아질산염

- 부남호 내측인 B1 표층 $15.4 \mu\text{M}$ 로 가장 높았으며 해양으로 갈수록 감소하여, 담수로부터 유입되는 것으로 사료됨 (그림 4.2.7.)
- 천수만에서는 대부분 고갈되었으면 C3 표층에서 $4.84 \mu\text{M}$ 저층 $9.81 \mu\text{M}$ 로 다소 증가하였음
- 7월 강우 이후 B1 표층 $34.8 \mu\text{M}$ 로 가장 높았으며, 해양으로 갈수로 점차 감소하였음.

○ 암모늄

- 4월 B3 저층의 물이 썩으면서 $1983\ \mu\text{M}$ 로 매우 높은 암모니아 농도를 보였음 (그림 4.2.7.)
- 4월 B2 저층 $9.11\ \mu\text{M}$ 로 두 번째로 높은 암모늄 농도를 보임
- 7월 B1, B2 저층에서 $98.4\ \mu\text{M}$, $256\ \mu\text{M}$ 로 매우 높은 값을 보이며, 4월 조사에서 암모늄 농도가 가장 높았던 B3 저층에서 암모늄 농도가 가장 높을 것으로 사료되나 자료를 얻지 못하였음

○ 인산염

- 4월 평균 인산염 농도는 평균 농도 $0.274\ \mu\text{M}$ 로 측정됨 (그림 4.2.7.)
- 4월 식물플랑크톤 남세균의 대증식으로 대부분 고갈 된 것으로 사료됨
- 7월 강우로 인하여 담수로 부터 크게 공급되어 B1 표층과 저층 $7.02\ \mu\text{M}$, $7.33\ \mu\text{M}$ 의 높은 농도를 보였음
- B2 표층 $0.706\ \mu\text{M}$ 로 표층에서 상당량 소모된 것으로 보임
- C1 저층 농도가 $2.54\ \mu\text{M}$ 로 여전히 높은 농도를 보임

○ 규산염

- 4월 B3 저층을 제외하고 평균 $1.76\ \mu\text{M}$ 로 낮은 규산염 농도를 보였으나, B3 저층에서 $147\ \mu\text{M}$ 로 매우 높은 규산염 농도를 보임 (그림 4.2.7.)
- 4월 부남호에서는 남세균이 번무하였으나, 해수에서는 규조류가 번무하였으므로, 그 영향을 받아 B3 저층에 높은 규산염이 나타난 것으로 사료됨
- 7월 평균 규산염 농도는 $23.9\ \mu\text{M}$ 로 강우의 영향을 받아, 상류를 중심으로 높은 규산염 농도를 보임
- 7월 천수만에서는 규조류의 우점으로 저층에 비해 표층에서 규조류가 소비된 것으로 사료됨

○ SS

- 7월 조사의 Suspend sentence 분석 결과, 부남호 평균 $0.021\ \text{mg L}^{-1}$,

천수만 평균 0.067 mg L^{-1} 로 나타남 (그림 4.2.8.)

- 7월 부남호에서 남세균이 대증식한 것에 반하여, SS는 천수만에서 더 높게 나타났고, 표층보다 저층에서 다소 높은 값을 보였음.

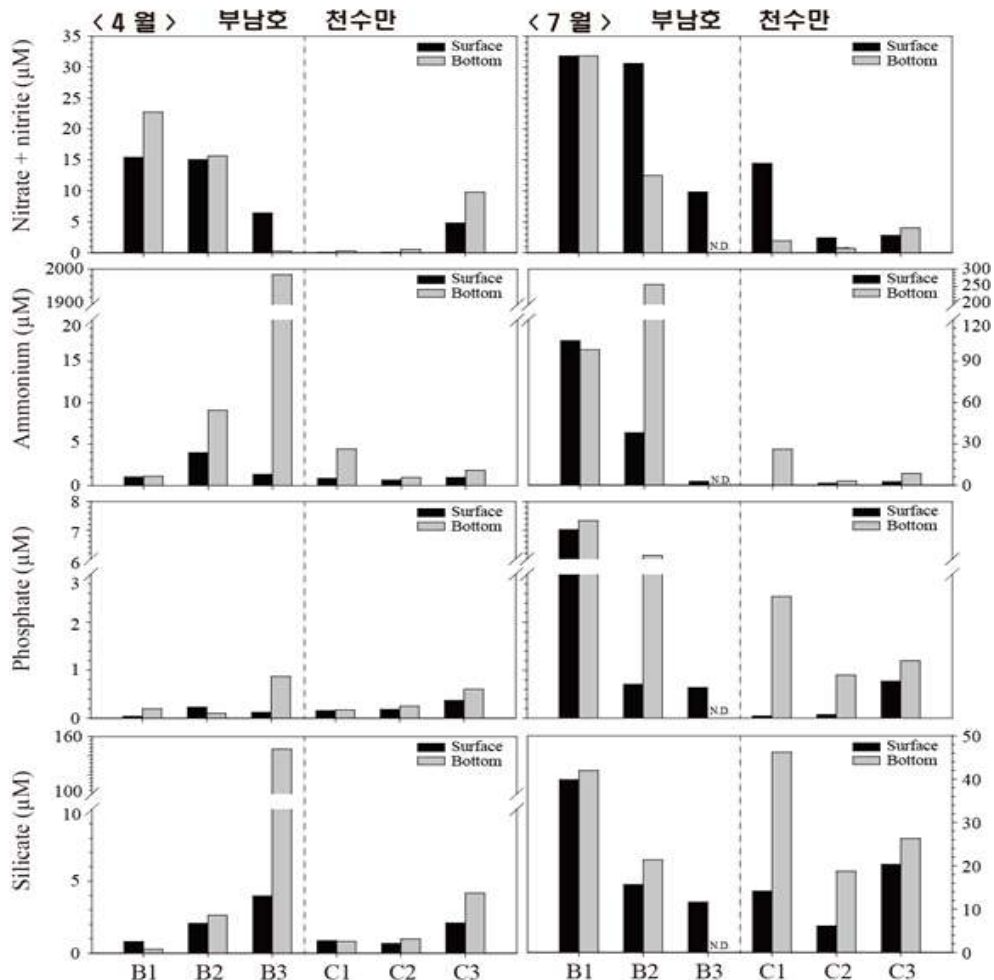


그림 4.2.7. 2019년 4월, 7월 표-저층의 영양염류 수평분포

○ 엽록소 a

- 4월 남세균 대증식의 영향으로 B1과 B2의 표층과 저층 평균 $180 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 매우 높은 농도를 보였음 (그림 4.2.9.)
- B3 표층에서 $62.1 \mu\text{g L}^{-1}$ 의 농도가 관찰되었고, B3 저층과 천수만에서는 평균 $9.00 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 비교적 낮은 농도를 보임
- 7월 역시 남세균이 대증식하였으나, B1과 B2 표층에서만 평균 $38.3 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 높았으며, 그 외 평균 $11.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 으로 관찰되었음

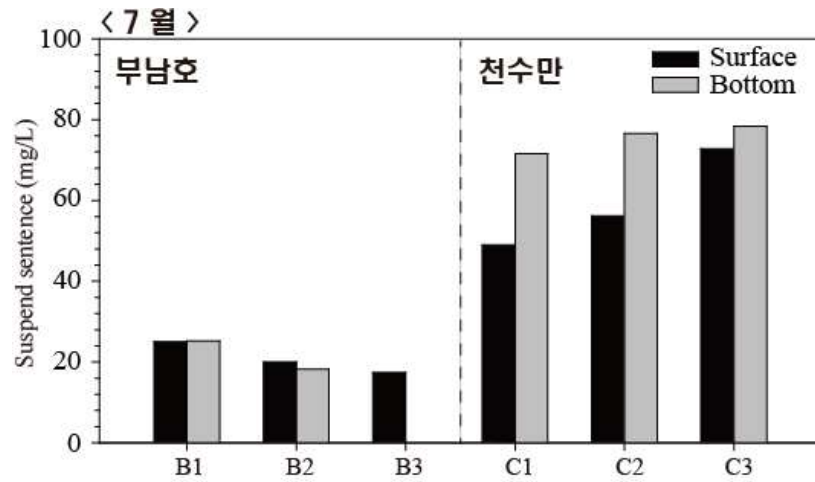


그림 4.2.8. 2019년 4월, 7월 표-저층의 SS 수평분포

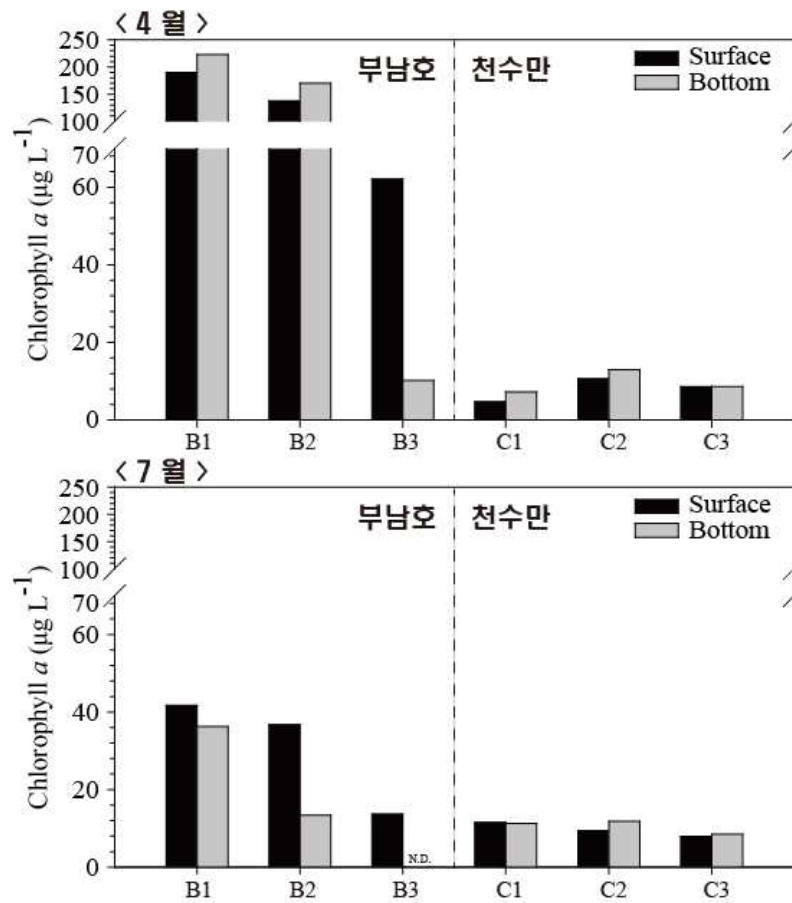


그림 4.2.9. 2019년 4월, 7월 표-저층의 엽록소 a 수평분포

□ 퇴적물

○ 입도 및 TOC 함량

- 2019년 4월 조사 결과 부남호 정점 B3에서 니질함량은 99.9%, TOC함량은 2.37%로 모든 정점 중에서 가장 높게 나타났음 (그림 4.2.10.; 그림 4.2.11.)
- 부남호 정점 B2와 천수만 정점 C1에서도 각각 니질함량 98.8%, 99.1%, TOC 함량 1.81%, 1.75%로 높게 나타났음
- 2019년 7월에는 천수만 정점 C1에서 니질함량 95.9%, TOC 함량 1.27%로 가장 높게 나타났으며, B2에서도 니질함량 98.5%, TOC 함량 1.1%로 높게 나타났음

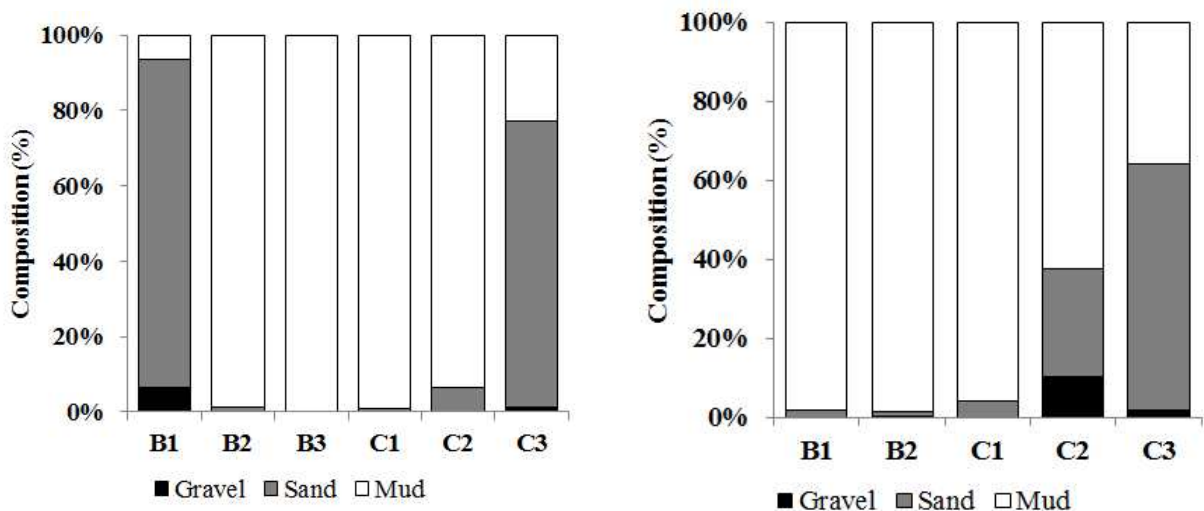


그림 4.2.10. 2019년 4월 (좌), 7월 (우) 부남호와 천수만의 퇴적물 입도 조성

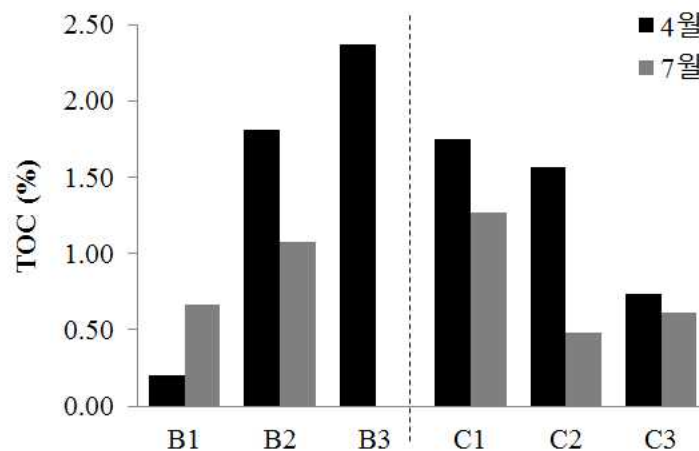


그림 4.2.11. 부남호, 천수만의 퇴적물 내 총 유기탄소함량(TOC, %)

- 천수만 정점 C3는 니사질퇴적상으로 4월과 7월 모두 사질함량이 60% 이상으로 우세하였음
- 부남호 정점 B1에서 4월 사질함량이 80% 이상으로 나타났으나, 7월 조사에는 10% 이하로 감소하여 퇴적상의 변화가 있었으며, 또한 천수만 정점 C2에서 4월에 비해 7월에 Mud함량과 TOC함량이 모두 감소하였음

○ 중금속 함량 분석결과

- 2019년 4월 조사결과 니켈(Ni)은 10.50- 40.41 mg/kg, 7월에 13.55-44.52 mg/kg으로 두 시기 모두 부남호 정점 B2에서 가장 높았고, 천수만 정점 C1에서 가장 낮았음 (그림 4.2.12).
- 크롬(Cr)은 4월 27.74-75.58 mg/kg, 7월 36.53-77.87 mg/kg 범위로 나타났으며, 4월과 7월 모두 B2에서 가장 높았고, C3에서 가장 낮았음
- 카드뮴(Cd)은 4월에 0.03-0.49 mg/kg, 7월에 0.05-0.23 mg/kg의 범위로 나타났으며, 4월 B3에서 가장 높았고, 4월 C3에서 가장 낮았음.
- 납(Pb)은 4월에 8.45-35.31 mg/kg, 7월에 12.52-33.71 mg/kg의 범위로 나타났으며, 4월 B3에서 가장 높았고, 4월 B1에서 가장 낮았음.
- 수은(Hg)은 4월 0.01-0.07 mg/kg, 7월에 0.02-0.07 mg/kg의 범위로, 4월과 7월에 C2에서 가장 높았고, 4월 B1에서 가장 낮았음.
- 아연(Zn)은 4월 33.89-101.68 mg/kg, 7월에 44.39-118.57 mg/kg의 범위로 나타났으며, B2에서 가장 높았고, C3에서 가장 낮았음. 부남호 정점 B2와 B3, 천수만 정점 C1과 C2에서 4월과 7월 모두 해양환경관리법에서 고시한 주의기준인 68.4 mg/kg을 초과함
- 구리(Cu)는 4월 4.87-28.81 mg/kg, 7월에 6.18-34.23 mg/kg의 범위로 나타남. 4월과 7월 모두 B2에서 가장 높았고, C3에서 가장 낮았음. 4월과 7월 부남호 정점 B2와 B3, 4월 천수만 정점 C1에서 구리의 주의기준인 20.6 mg/kg을 초과함
- 4월 비소(As)의 농도는 5.31-12.53 mg/kg, 7월에 6.22-15.99 mg/kg의

범위로 나타났으며, 7월 B2에서 가장 높았고, C3에서 가장 낮았음.
부남호 정점 B2에서 7월에 비소의 주의기준인 14.5 mg/kg을 초과함

- 천수만에서는 아연과 구리, 부남호에서는 아연(Zn), 구리(Cu)와 비소(As)가 해양환경관리법에 따른 해양환경기준에서 제시한 주의기준보다 높았음

○ 농약 성분

- 농약성분 분석대상 물질인 중 Pentachlorobenzene는 0.001-0.003 ng/g dw 의 범위를 보였고, 4월 부남호 정점 B2에서 가장 높았음 (그림 4.2.13.)
- HCB는 0.001-0.017 ng/g dw 범위를 보였고, 4월 부남호 정점 B3에서 가장 높았고, B1에서 가장 낮았음
- Total HCHs는 0-0.099 ng/g dw 범위로, 4월 부남호 정점 B3에서 가장 높았고 B1에서는 4월과 7월 모두 검출되지 않았음
- Total Chlordans 0-0.018 ng/g dw 범위로 7월 부남호 정점 B2에서 가장 높았고, 4월에 정점 B1과 B3에서는 검출되지 않았음
- Total DDTs 0.001-0.169 ng/g dw 범위를 보였고, 4월 부남호 정점 B2에서 가장 높았고, 7월에도 높았음
- Total PCBs는 0.002-0.083 ng/g dw 범위로, 4월 부남호 정점 B2에서 가장 높았고, 7월 B1에서 가장 낮았음
- Chlorodane, DDT, PCBs는 캐나다 CCME에서 제시한 권고기준 하한값 (Low level)보다 낮았음
- Pentachlorobenzene, HCB, Total HCHs는 기준치 없음

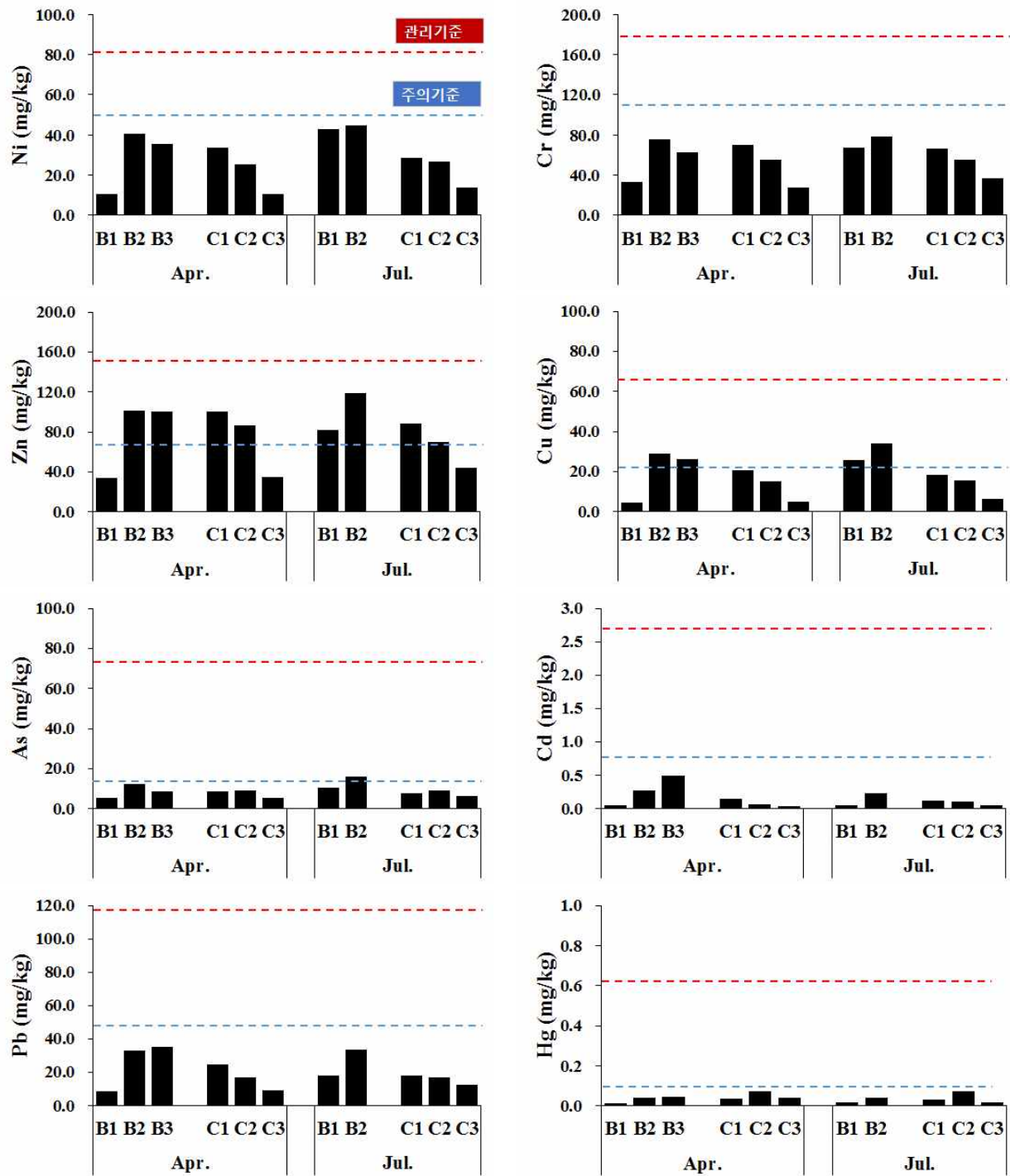


그림 4.2.12. 2019년 4월, 7월 저층 퇴적물 중금속 함량(mg/kg)

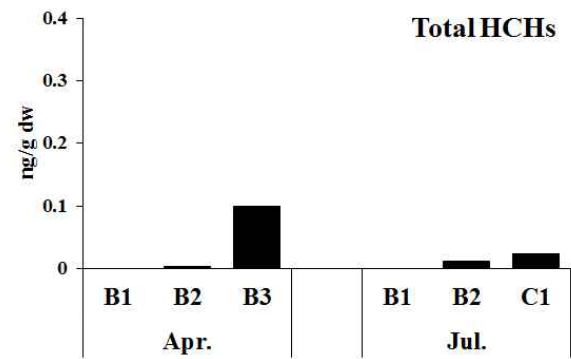
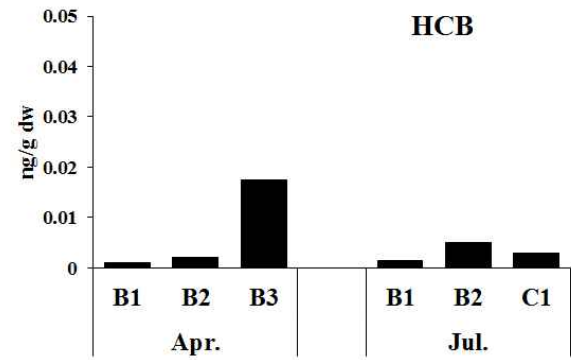
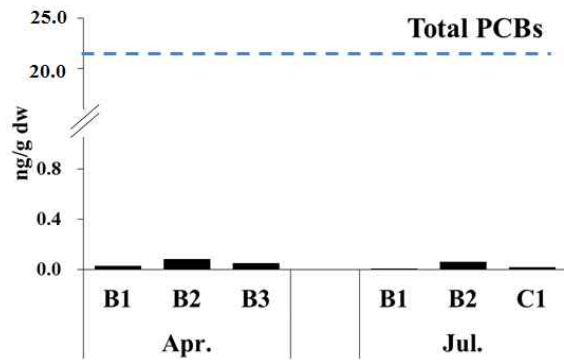
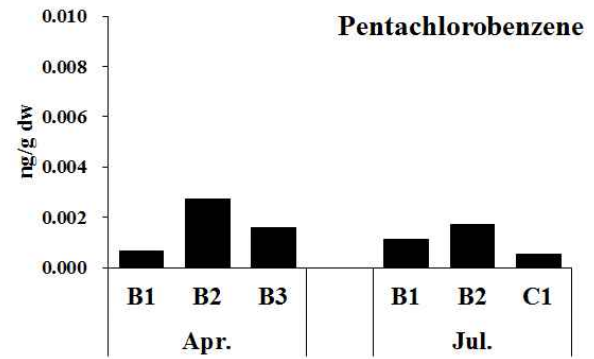


그림 4.2.13. 부남호 퇴적물 내 농약성분 함량.

□ 부유생물

○ 식물플랑크톤 종조성

- 4월 천수만에서는 대부분 규조류가 우점하였고, 그 중 *Guinardia delicatula*, *Asterionellopsis glacialis*가 극우점하였음 (그림 4.2.14.)
- 4월 부남호에서는 남세균류 *Oscillatoria* spp.가 극우점하였고, 규조류 *Skeletonema* spp.와 다양한 녹조류 역시 관찰됨
- 7월 부남호에서는 남세균류 *Oscillatoria* spp.와 *Microcystis* spp.가 극우점하였으며, 녹조류와 은편모조류도 다수 출현

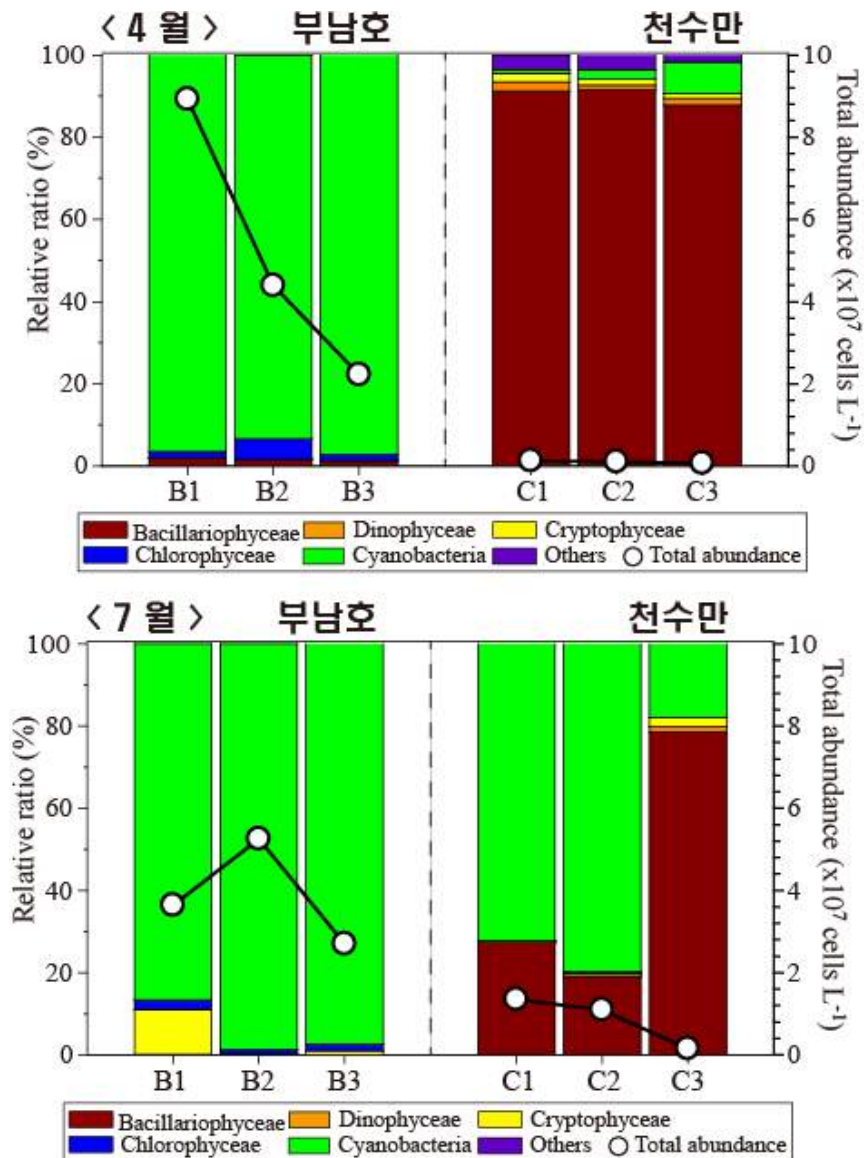
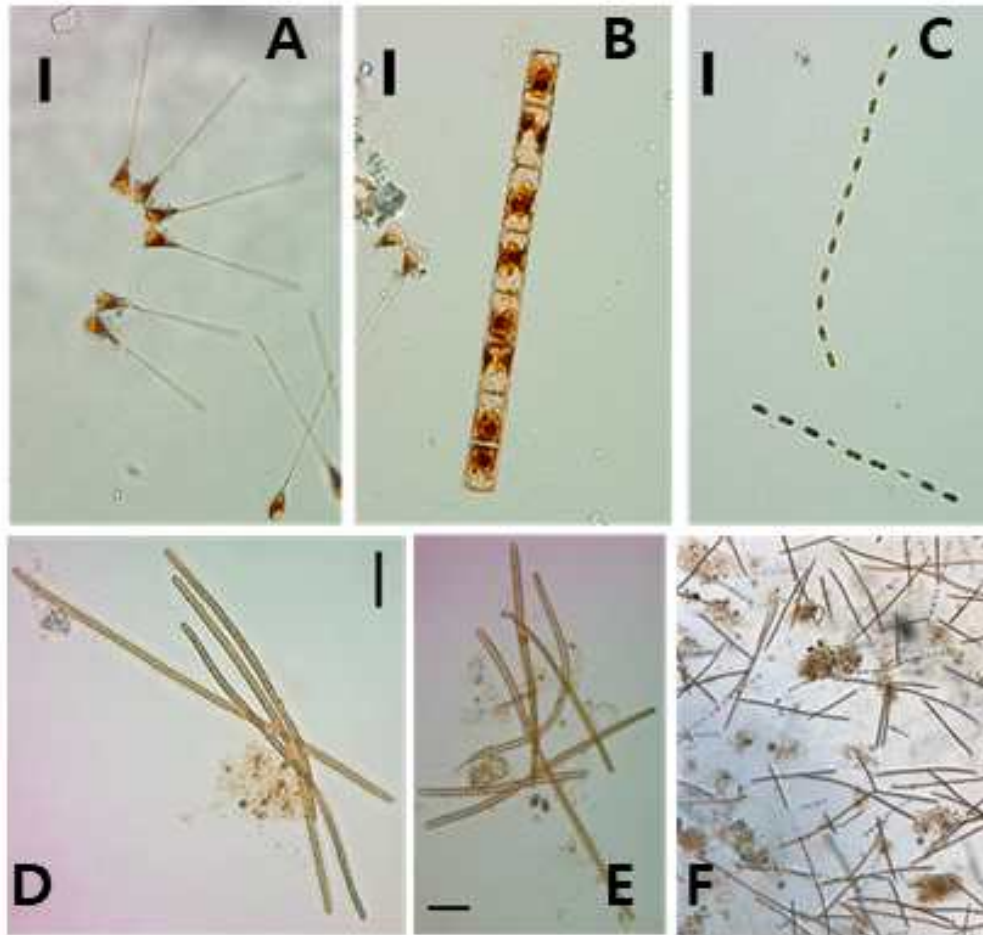


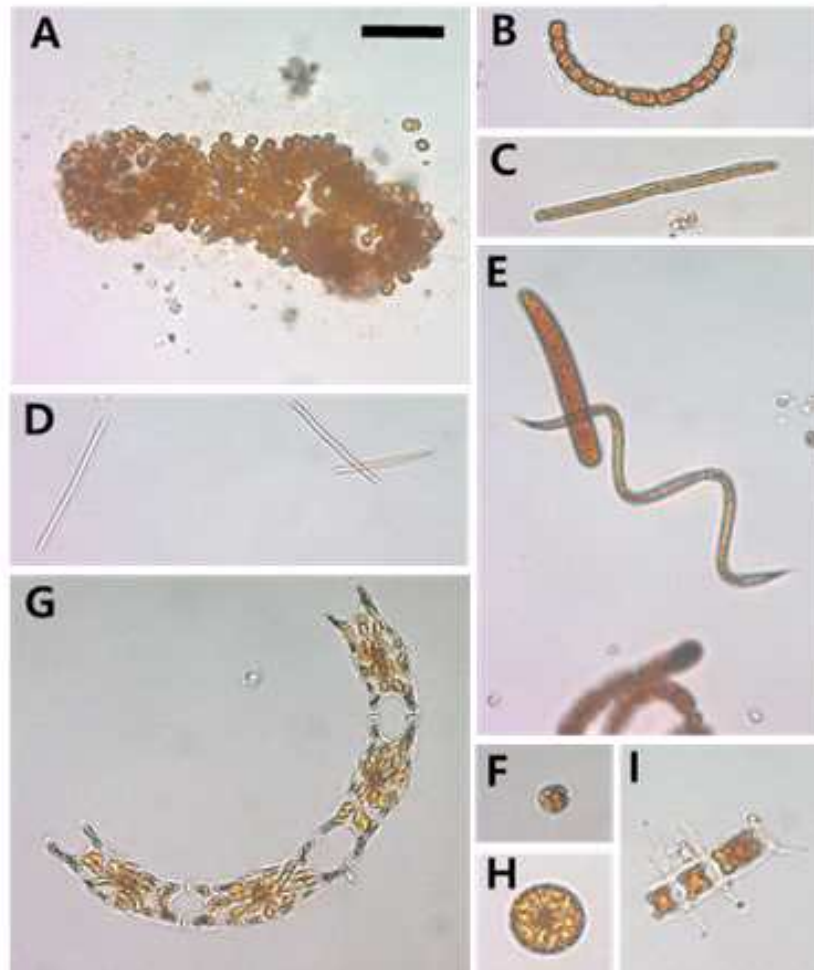
그림 4.2.14. 4월, 7월 식물플랑크톤 총개체수와 종조성.

- B1의 표층과 저층 B2의 표층까지는 생물량이 많았으나, B2 저층부터 급격히 감소하였음
- 7월 천수만에서는 담수의 영향으로 B1과 B2에서 담수종인 남세균류 *Oscillatoria* spp., *Microcystis* spp.가 다수 출현하였으며, B3에서는 해수 규조류인 *Cheatoceros* spp.가 우점하였음



*Scale bar: 20 μm

그림 4.2.15. A: 규조류 *Asterionellopsis glacialis* (천수만 우점); B: 규조류 *Guinardia delicatula* (천수만 우점); C: 규조류 *Skeletonema* sp. (부남호 우점); D: 남세균류 *Oscillatoria* sp. (부남호 우점); E: 남세균류 *Oscillatoria* sp. (부남호 우점); F: 부남호 Net sample 사진



*Scale bar: 50 um

그림 4.2.16. A: 남세균류 *Microcystis* sp. (부남호 우점); B: 남세균류 *Anabena* sp. (부남호); C: 남세균류 *Oscillatoria* sp. (부남호 우점); D: 남세균류 *Oscillatoria* sp. (부남호 우점); E: 녹조류 *Monoraphidium* sp. (부남호 우점); F: 은편모조류 *Cryptomonad* sp. (부남호); G: 규조류 *Eucampia zodiacus* (천수만); H: 규조류 *Thalassiosira* sp. (천수만); I: 규조류 *Cheatoceros* sp. (천수만 우점)

○ 동물플랑크톤

- 4월: 부남호 B1에서 24×10^3 inds. m^{-3} 로 높은 개체수를 보였고 만으로 갈수록 점차 감소, 천수만에서는 평균 374 inds. m^{-3} 로 가장 낮은 개체수 (그림 4.2.17.)
- 7월: 부남호에서 평균 9.8×10^3 inds. m^{-3} , 천수만도 C1과 C2에서 유사하였으나, C3에서 34×10^3 inds. m^{-3} 로 가장 높은 개체수를 보임
- 부남호에서는 대부분 Adult copepods로 *Mesocyclops leuckarti*, *Eucyclops serrulatus* 우점
- 천수만 역시 Adult copepods 우점, 그 중 4월 *Acartia hongi*, *Centropages abdominalis* 우점, 7월 *Paracalanus parvus s. l.* 극 우점
- 7월 C3에서 Protozoa인 *Noctiluca scintillans* 다수 출현

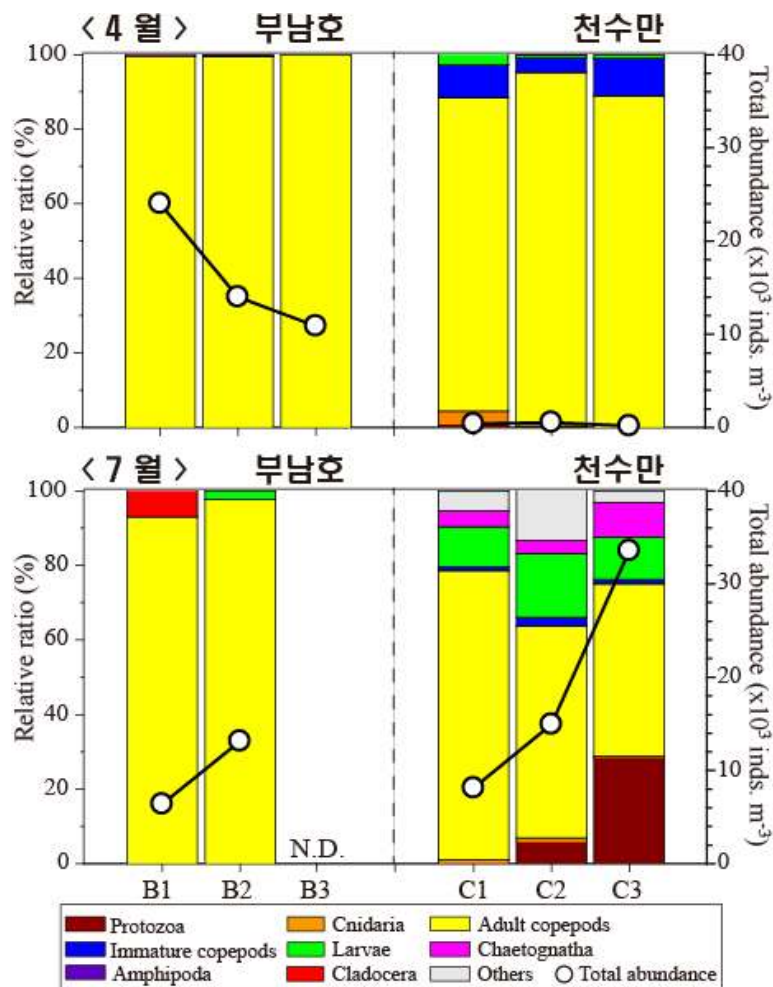


그림 4.2.17. 4월, 7월 동물플랑크톤 총개체수와 종조성

□ 저서생물

○ 부남호

- 4월 정점 B1에서는 빈모류 1종, 절지동물의 깔따구 1종이 출현하였으며, 정점 B2와 B3에서는 생물이 출현하지 않았음 (그림 4.2.18.; 그림 4.2.19.)
- 7월 조사에서는 B1을 포함한 모든 정점에서 생물이 출현하지 않았음

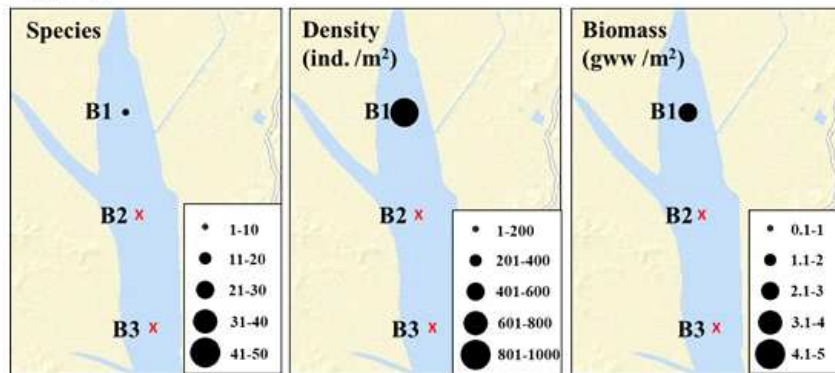
○ 천수만

- 천수만에서 출현한 대형저서동물의 출현종수는 총 79종으로 4월 53종, 7월 63종으로 나타났음
- 4월 조사결과 출현종수는 정점 C3에서 32종으로 가장 높았고 정점 C1에서 19종으로 가장 낮았으며, 7월에도 정점 C3에서 44종으로 가장 높았고, C1에서 25종으로 가장 낮았음 (그림 4.2.20.)
- 분류군별 출현종수는 다모류의 비중이 62%(49종)으로 가장 높았고, 갑각류 25%(20종), 연체동물 6%(5종), 극피동물 4%(3종) 순으로 나타났음



그림 4.2.18. 부남호에서 출현한 생물 모습 (상: 깔따구, 하: 빈모류)

<4월>



<7월>

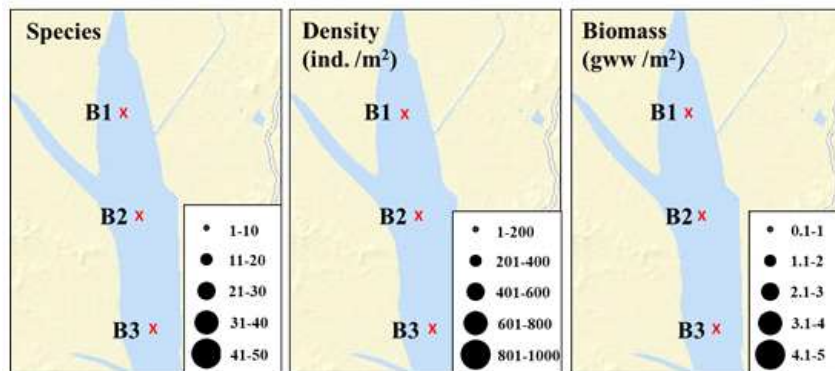


그림 4.2.19. 2019년 4월과 7월에 부남호에서 출현한 대형저서동물의 출현종수, 서식밀도, 생물량의 공간분포 양상

- 서식밀도는 4월 400 - 1,707 개체 m^{-2} , 7월 1,000 - 1,617 개체 m^{-2} 의 범위를 보였음
- 분류군별 서식밀도는 다모류가 평균 796 개체 m^{-2} 로 가장 높았고(67.8%), 연체동물(297 개체 m^{-2} , 25.3%), 갑각류 (64 개체 m^{-2} , 5.4%), 극피동물 (11 개체 m^{-2} , 0.9%) 순으로 나타났음
- 생물량은 4월 39.4 - 153.3 g m^{-2} , 7월 50.7 - 215.1 g m^{-2} 의 범위를 보였음
- 4월 정점 C2에서 극피동물의 가시땃해삼(*Protankyra bidentata*)과 연체동물의 쇄개랑조개(*Raetella pulchella*) 출현으로 생물량이 가장 높았고, 정점 C3에서도 극피동물의 별불가사리(*Patiria pectinifera*) 출현으로 생물량이 높게 나타났음
- 7월 정점 1에서 갑각류의 갯가재(*Oratosquilla oratoria*) 출현으로 생물량이

높게 나타났고, 정점 C3에서는 극피동물의 별불가사리(*P. pectinifera*)의 출현으로 높게 나타났음

- 분류군별 생물량은 4월에 극피동물이 평균 58.0 g m^{-2} 로 가장 높았고 (57.8%), 다모류 19.7 g m^{-2} (19.6%), 연체동물 16.2 g m^{-2} (16.1%), 갑각류 5.3 g m^{-2} (5.3%)의 순으로 나타났음
- 7월에는 극피동물 비중이 평균 51.5 g m^{-2} (33.3%)으로 가장 높았고, 갑각류 33.6 g m^{-2} (28.9%), 다모류 33.6 g m^{-2} (21.7%), 연체동물 22.3 g m^{-2} (14.4%) 순으로 나타났음
- 7월에는 극피동물 비중이 평균 51.5 g m^{-2} (33.3%)으로 가장 높았고, 갑각류 33.6 g m^{-2} (28.9%), 다모류 33.6 g m^{-2} (21.7%), 연체동물 22.3 g m^{-2} (14.4%) 순으로 나타났음

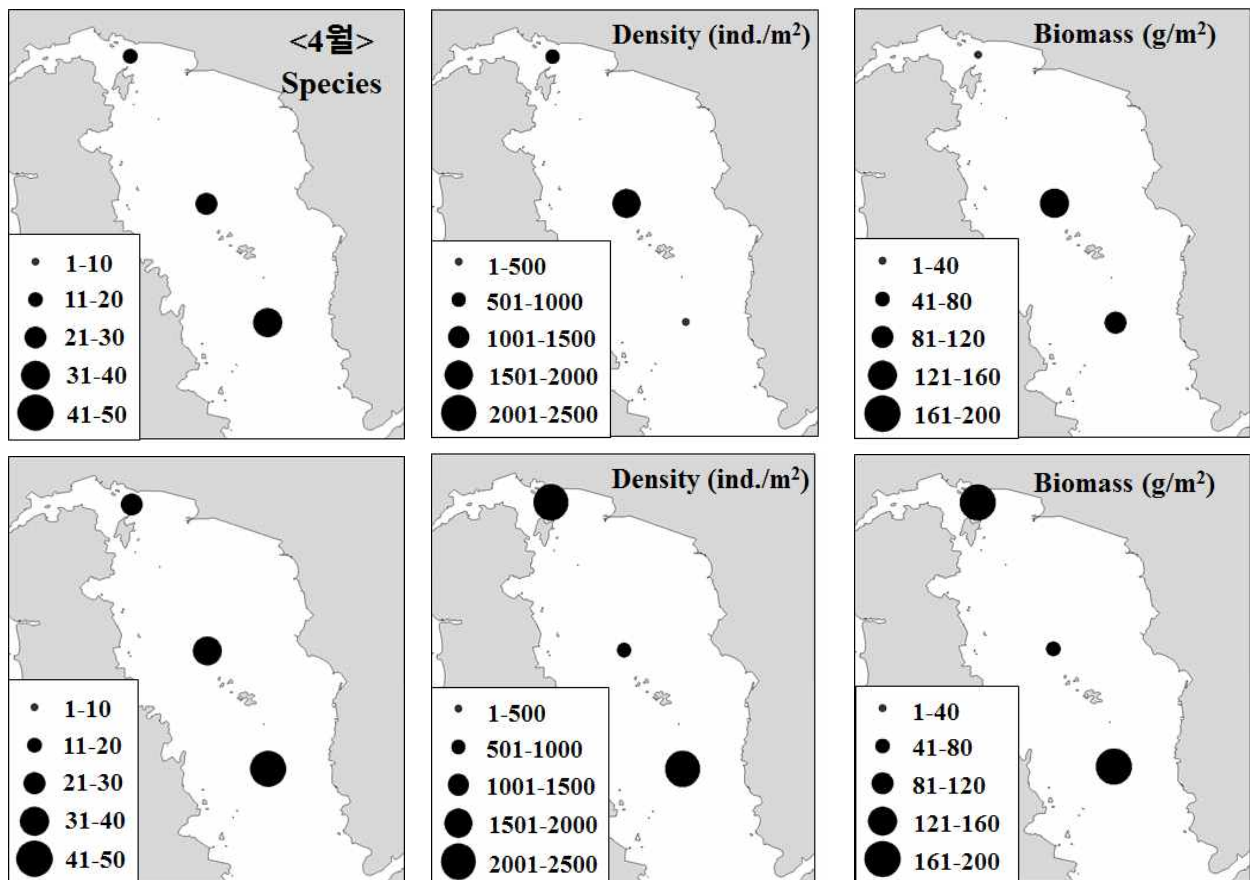


그림 4.2.20. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 출현종수, 서식밀도, 생물량의 공간분포 양상

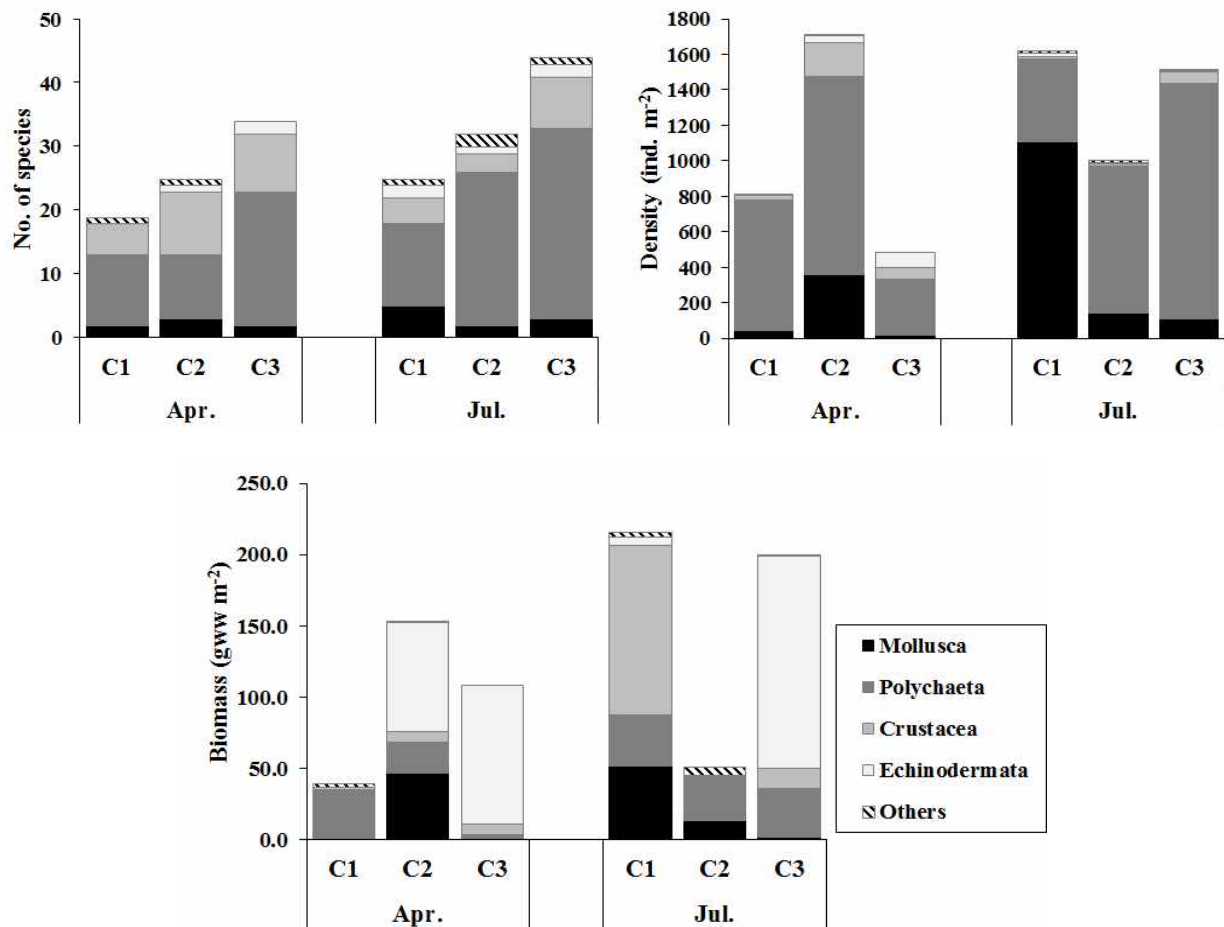


그림 4.2.21. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 정점별 군집 조성.

- 천수만에서 출현한 주요 우점종으로는 4월 다모류의 *Heteromastus filiformis*, *Sigambra tentaculata*, 연체동물의 아기반투명조개 (*Theora lata*) 등이었음
- 7월에는 다모류의 *Heteromastus filiformis*, 연체동물의 아기반투명조개 (*Theora lata*)가 가장 우점하였으며, 다모류의 *Scoletoma longifolia*는 정점 C1과 C2에서만, *Notomastus latericeus*는 C3에서만 우점하여 4월과 차이를 보였음
- 종다양도지수는 4월 1.2~2.8, 7월에 1.4~2.3, 종풍부도지수는 4월 3.3~6.5, 7월에 3.9~7.0, 종균등도지수는 4월 0.4~0.8, 7월에 0.4~0.6의 범위로 나타남
- 생태지수들은 계절에 관계없이 모두 C3에서 가장 높았고, C1에서 가장 낮게 나타남

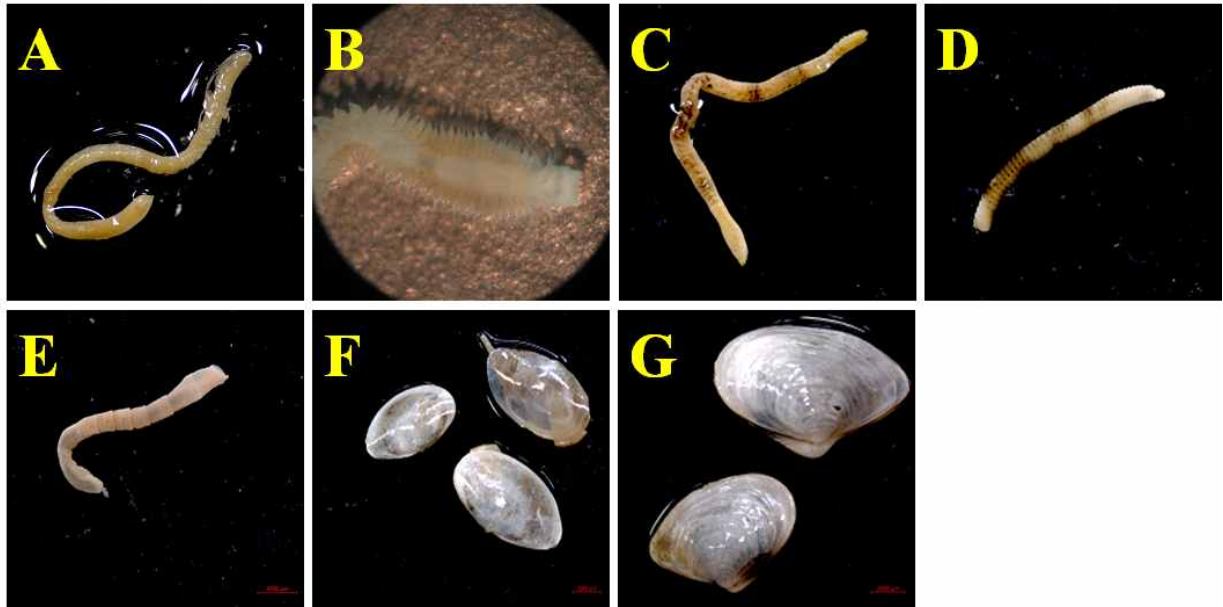


그림 4.2.22. 천수만에서 출현한 주요 대형저서동물. A: *Heteromastus filiformis*, B: *Sigambra tentaculata*, C: *Scoletoma nipponica*, D: *Scoletoma longifolia*, E: *Notomastus latericeus*, F: 아기반투명조개(*Theora lata*), G: 쇄개랑조개(*Raetella pulchella*)

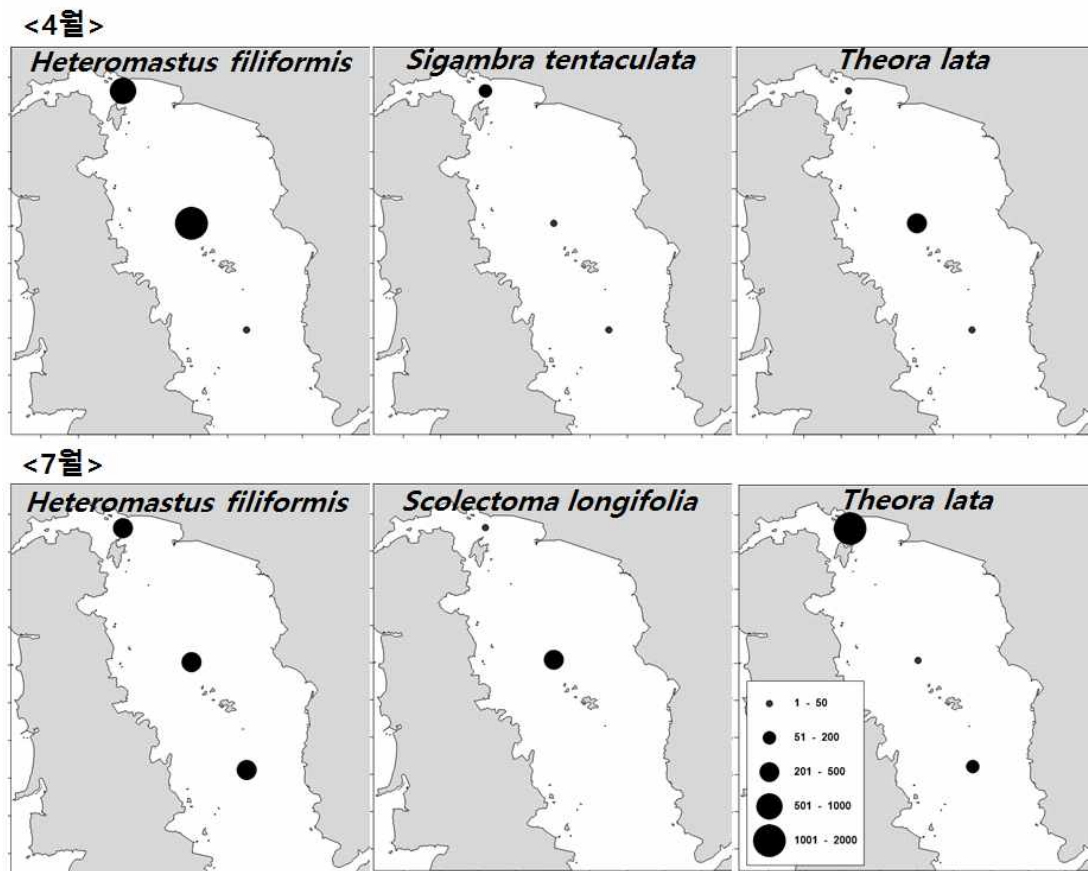


그림 4.2.23. 2019년 4월과 7월에 천수만에서 출현한 대형저서동물의 주요
우점종 분포양상

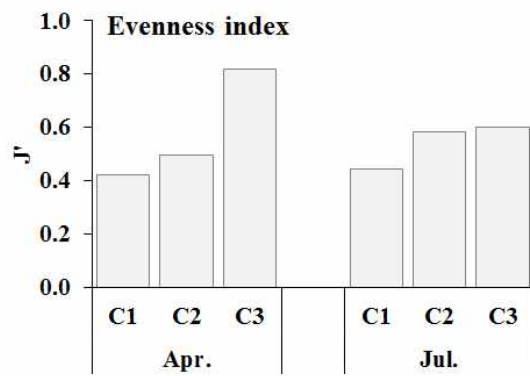
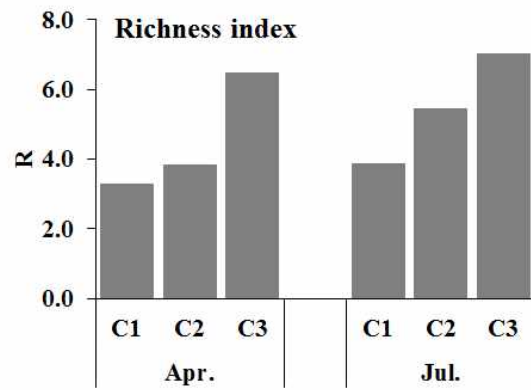
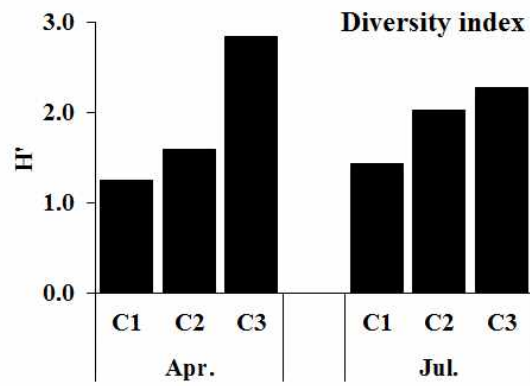


그림 4.2.24. 천수만 저서동물군집의 종다양도지수(H'), 종풍부도지수(R),
종균등도지수(J')

□ 어류

- 부남호와 천수만에서 수집한 난자치어와 eDNA 분석으로 두 조사 지역에서 출현이 확인된 어류는 부남호 총 4종, 천수만 24종 등 총 26종(미동정종 1종 포함)이었음
 - 어류상 분석에 사용한 시료의 종류별 탐지 종수는 어란 8종, 자치어 8종, eDNA 13종(미동정 1종 포함) (표 4.2.1).
 - 어란, 자치어, eDNA에서 모두 검출된 어류는 없었음. 단 3종(멸치, 민태, 청보리멸)만 어란과 자치어가 동시에 출현하였음.
- 난자치어는 봄과 여름 두 번의 조사 중 여름에만 출현하였음
 - 출현한 종수는 13종이었고, 담수 환경인 부남호에서는 민물두줄망둑 한 종의 자치어만 출현하였음.
 - 해수 환경인 천수만에서는 8종의 어란과 8종의 자치어 등 총 13종이 출현하였음 (표 4.2.2).
- eDNA 분석을 통해 탐지한 어류는 총 13종이었음(미동정종 1종 포함).
 - 조사 시기별 출현 종수는 4월 6종, 7-8월 7종이었음.
 - 염분 특성에 따라 담 수환경인 부남호는 3종, 해수환경인 천수만은 12종이었음. 이 중에서 담수와 해수 두 환경에서 출현한 종은 도화뱅어, 유럽산뱀장어, 민물두줄망둑 등 3 종이었음.
 - 붕어는 담수 환경인 부남호에서, 나머지 쟁뚱어, 날개다랑어, 황다랑어, 참홍어 등은 해수 환경인 천수만에서만 출현하였음(표 4.2.3).
- 부남호와 천수만에서 어란, 자치어, eDNA로 탐지한 어류상(총 26종)은 분석 시료의 종류에 따라 종 구성에 큰 차이가 있음. 어란과 자치어는 실물 표본에 의한 직접 증거이고, 어류가 서식하고 있음을 의미함
- 이에 반하여 eDNA로 탐지한 어종은 일종의 흔적이며, 현재 어류가 서식하고 있을 가능성과 인간 활동에 의한 오염의 두 가지 가능성이 있음. 부남호와 같은 담수환경에서 eDNA로 검출된 순수 해양종의 어류는

인간 활동에 의한 오염으로 판단됨. 이들 자료는 분석에서 제외하였음.

- 난자치어 네트로 부남호와 천수만에서 총 13종의 난자치어를 발견하였음. 이들 난자치어 출현은 본 연구해역에 동일 어종의 성체가 서식하고 있음을 의미함. 어란은 모두 부유성의 난을 산란하는 종들이고, 이와 달리 자치어는 분리 부성난을 어란을 산란하는 종(멸치, 민태, 전어, 주둥치 등) 이외에 부착난을 산란하는 종(망둑어과의 도화망둑, 황줄망둑, 실망둑 등)들도 함께 출현하였음.
- eDNA로 탐지된 어류는 부유성 난자치어와 달리 실체가 없는 일종의 흔적이며, 이들 어류는 조석류에 의한 해수유동으로 천수만 외해에서 어류의 흔적인 eDNA만 천수만으로 유입하였을 가능성과 성체의 능동적인 회유로 들어왔을 두 가능성 모두 존재함.
- 부남호에서 eDNA로 탐지된 어류는 붕어, 도화뱅어, 유럽산뱀장어 등 3종이있음. 이 중에서 담수어류인 붕어는 천수만에서 eDNA로 탐지 되지 않았음. 이 종은 담수 서식종으로 해수환경에서 생존이 불가능한 종임. 이에 반하여 도화뱅어와 유럽산뱀장어 두 종은 부남호와 천수만에서 동시에 출현하였음. 바다에서 서식하는 도화뱅어는 산란회유 위해 강으로 산란회유를 하는 소하성 어류이며, 이들 어종이 천수만으로 들어온 후 부남호로 소상하는 것으로 보임. 도화뱅어와 반대의 산란생태 특징을 소유한 뱀장어는 바다에서 부화한 후 성육을 위해 강으로 올라오는 종임. 이와 유사한 생태적 특징을 갖는 유럽산뱀장어가 천수만과 부남호에서 동시에 발견되었음. 성육을 위해 유럽산뱀장어의 유생이 천수만을 통해 부남호로 유입했을 가능성이 있음. 참고로 실뱀장어로 변태한 뱀장어(북서태평양산)가 바다에서 강으로의 소상하는 시기는 3-4월이며, eDNA로 탐지한 유럽산뱀장의 진위를 증명하기 위해서는 직접 증거인 동 종의 실뱀장어 표본 확보가 필요함. 이와 같은 부정확성에도 불구하고 부남호와 천수만에서 eDNA로 탐지된 도화뱅어와 유럽산뱀장어 두 종의 출현 정보로부터 두 지역은 생태적 연결고리가 존재하는 것으로 판단됨.
- 천수만에서만 eDNA로 탐지된 참홍어, 황다랑어, 날개다랑어, 까나리 등 9종은 저서어류부터 유영능력이 매우 빠른 종들까지 유영능력이 매우 다양함. 이들 어종은 어구선택성이 매우 강하여 한 종류의 채집어구만으로

동시 채집이 어려운 종들임. 본 연구에서 eDNA로 확인한 이들 어류의 천수만 서식 여부를 정확하게 판단하기 어려움. 천수만 내외측의 해수 유동에 의한 어류의 흔적 eDNA만 유입되었을 가능성을 배제할 수 없기 때문임.

- 지금까지의 어란, 자치어, eDNA 분석을 통해 부남호 보다 천수만의 어류 다양성이 높았음. 현재 부남호 방조제로 단절된 부남호와 천수만 생태계의 생태학적 미세 연결고리가 존재하는 것으로 보이며, 부남호 방조제의 해수 유통량이 증가로 부남호 내부에 기수환경이 형성되면 보다 다양한 기수종들은 물론 강하성 어류와 소하성 어류 모두 복원 가능성이 높아질 것임.

표 4.2.1. 부남호와 천수만의 난자치어와 eDNA로 탐지한 어류상

학명	한국명	2019년 4월						2019년 7-8월					
		부남호			천수만			부남호			천수만		
		어란	자치어	eDNA	어란	자치어	eDNA	어란	자치어	eDNA	어란	자치어	eDNA
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	도화망둑											+	
<i>Ammodytes personatus</i>	까나리						+						
<i>Anguilla anguilla</i>	유럽산뱀장어			+			+						
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	짱뚱어												+
<i>Carassius auratus</i>	붕어									+			
<i>Careproctus rastrinus</i>	분홍꿈치						+						
<i>Cubiceps pauciradiatus</i>	노메치과												+
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대										+		
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치										+	+	
<i>Gempylus serpens</i>	세장갈치꼬치												+
<i>Johnius belangerii</i>	민태										+	+	
<i>Konosirus punctatus</i>	전어										+		
<i>Myersina filifer</i>	실망둑											+	
<i>Nealotus tripes</i>	갈치꼬치과												+
<i>Neosalanx anderssoni</i>	도화뱅어			+			+						
<i>Nuchequula nuchalis</i>	주둥치										+		
<i>Parablennius yatabei</i>	청메도라치											+	
<i>Pennahia argentata</i>	보구치										+		
<i>Raja pulchra</i>	참홍어						+						
<i>Sillago japonica</i>	청보리멸										+	+	
<i>Thryssa kammalensis</i>	청멸										+		
<i>Thunnus alalunga</i>	날개다랑어												+
<i>Thunnus albacares</i>	황다랑어												+
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑								+			+	
<i>Tridentiger nudicervicus</i>	황줄망둑											+	
Unidentified sp.	미동정종						+						
출현종수		0	0	2	0	0	6	0	1	1	8	8	6

표 4.2.2. 부남호와 천수만에서 출현한 어란과 자치어(2019년 7-8월)

학명	한국명	정점				
		부남호		천수만		
		B1	B2	C1	C2	C3
어란						
<i>Cynoglossus joyneri</i>	참서대	0	0	0	0	9
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	0	0	4	3	1
<i>Johnius belangerii</i>	민태	0	0	0	0	1
<i>Konosirus punctatus</i>	전어	0	0	0	0	1
<i>Nuchequula nuchalis</i>	주둥치	0	0	0	1	0
<i>Pennahia argentata</i>	보구치	0	0	0	9	0
<i>Sillago japonica</i>	청보리멸	0	0	0	2	0
<i>Thryssa kammalensis</i>	청멸	0	0	3	0	7
합계		0	0	7	15	19
자치어						
<i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	도화망둑	0	0	0	0	8
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치	0	0	27	0	1
<i>Johnius belangerii</i>	민태	0	0	1	0	1
<i>Myersina filifer</i>	실망둑	0	0	4	1	1
<i>Parablennius yatabei</i>	청베도라치	0	0	0	0	9
<i>Sillago japonica</i>	청보리멸	0	0	0	1	0
<i>Tridentiger bifasciatus</i>	민물두줄망둑	1	2	1	0	0
<i>Tridentiger nudicervicus</i>	황줄망둑	0	0	4	5	0
합계		1	2	37	7	12

특기사항, 2019년 4월 6개 조사 정점 모두 난자치어 출현하지 않음; 개체수/CPUE

표 4.2.3. 부남호와 천수만에서 eDNA로 탐지한 어류상

학명	한국명	정점					
		부남호			천수만		
		B1	B2	B3	C1	C2	C3
2019년 4월							
<i>Neosalanx anderssoni</i>	도화뱅어	+	+	+	+	+	+
<i>Ammodytes personatus</i>	까나리						+
<i>Anguilla anguilla</i>	유럽산뱀장어			+			+
<i>Raja pulchra</i>	참홍어				+		
<i>Careproctus rastrinus</i>	분홍꼼치						+
Unidentified sp.	미동정종						+
2019년 7-8월							
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i>	짱뚱어						+
<i>Carassius auratus</i>	붕어			+			
<i>Cubiceps pauciradiatus</i>	노메치과						+
<i>Gempylus serpens</i>	세장갈치꼬치						+
<i>Nealotus tripes</i>	갈치꼬치과						+
<i>Thunnus alalunga</i>	날개다랑어				+	+	+
<i>Thunnus albacares</i>	황다랑어					+	+

◆ 하굿둑 단계별 개방안에 따른 하구호 내측으로의 염수 유입에 따른 주변 농경지 등 육지생태계 영향 가능 범위 조사 및 평가

1. 간척지 토양 및 식물 저해 특성

□ 간척지 토양의 특성

- 간척지는 오랜 시간 해수에 잠겨 있던 토양이므로 방조제 축조 후 단기간에 염분을 토양으로부터 제거하기는 어려움이 있음
- 간척지는 해안 저지대에 위치하여 지하수위가 높고, 배수가 불량하며, 펄과 같은 미립자가 토양 내 다량 함유하고 있어 통기성과 투수성이 불량함 (그림 4.3.1.)
- 간척지 표층 토양 내 염분이 제염이 되었다 하더라도 저층의 염분이 제대로 제염이 이루어지지 않았을 경우 가뭄과 같은 갈수기에 저층의 높은 염분이 모세관 현상에 따라 표층으로 올라와 재 염화 현상을 보이기도 함
- 특히, Na^+ 이온의 토양 내 축적은 토양 내 물리·화학적 특성을 변화시키며 토양의 질(quality)을 저하시킴
 - Na^+ 이온의 증가는 토양 pH, 토양구조의 불안정화, 토양 수리 전도도의 붕괴 등의 원인 제공



그림 4.3.1. 간척지 토양의 염류집적 및 토양특성.

- 염분이 일정 이상 높은 간척지 토양을 염류토양이라 하는데, 학술적으로는 토양의 전기전도도(ECe)가 4dS/m(0.256%) 이상을 의미함
- 전기전도도가 4dS/m 이상이 되면 내염성 작물만이 생육 가능한 환경이 조성됨(표 4.3.1.)

표 4.3.1. 전기전도도, 염분과 식물 생육과의 관계

전기 전도도(dS/m)	염분(%)	식물의 생육상
0~2	0~0.128	모든 작물이 생육 가능
2~4	0.128~0.256	염분에 매우 예민한 작물은 생육불량
4~8	0.256~0.512	내염성 작물만이 생육가능
8~15	0.512~0.96	대부분의 작물이 생육불량
15 이상	1.96 이상	생육불능

※ 전기전도도 1 dS/m는 염농도 0.064% 정도 됨

자료 : 국회 농림수산식품위원회, 간척농지의 염해와 적정 임대료 타당성에 관한 연구, 2012

□ 간척지 토양에서 염분으로 인한 식물 피해기작

- 일반적으로 식물체의 생육에 바람직하지 못한 영향을 끼치는 염류는 다름 아닌 Na^+ 이온과 Cl^- 이온이며 Na^+ 가 Cl^- 보다 식물독성이 강함
 - Na^+ 이온 : 식물체내 효소 활성부터 단백질 합성경로 등 이온-특이 손상 (ion-specific damage) 등 적극적인 영향을 미침
 - Cl^- 이온 : 식물체의 줄기에 축적되어 광합성을 저해하는 소극적인 영향을 미침
- 염류는 다음과 같은 경로를 통해 식물에게 영향을 미치고 있음
 - 1) 삼투효과 : 토양으로부터 식물체 수분흡수를 저해
 - 2) 이온-특이 손상 : 과도한 Na^+ 이온과 Cl^- 이온 흡수
 - 3) 식물양분 흡수 저해 : Na^+ 이온의 농도가 특이적으로 높아졌을 때, 식물체의 이온수송을 저해함 (그림 4.3.2)

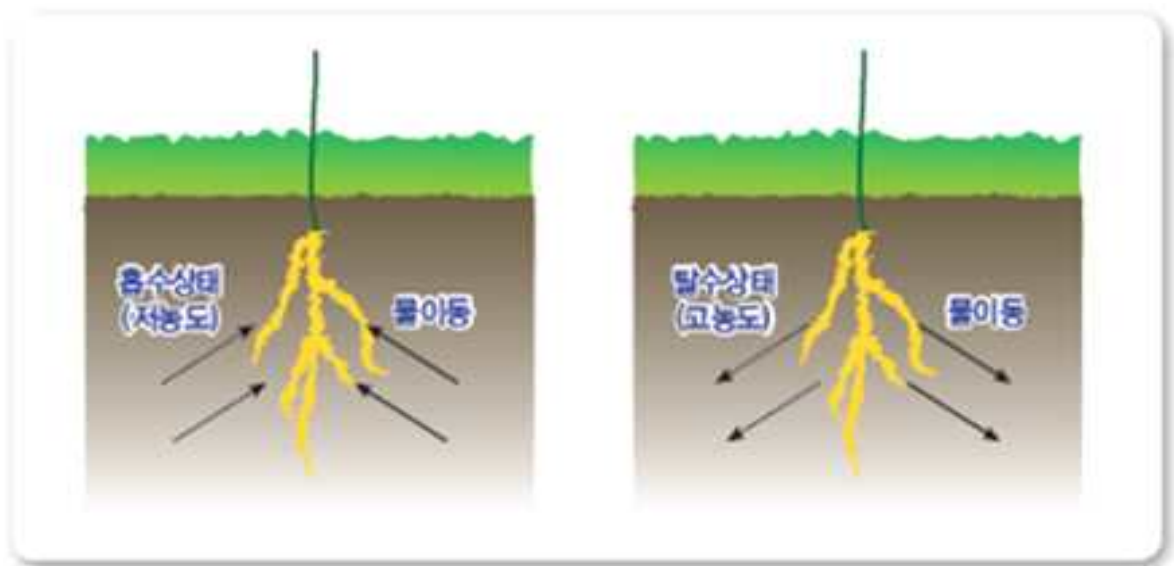


그림 4.3.2. 식물뿌리에서 염류 피해 현상.

□ 염분 피해(염해) 정의

- 일반적으로 염수 또는 조수에 의한 농작물의 피해를 염해라 말하며, 혐의의 염해와 광의의 염해로 나눌 수 있음
- 혐의의 염해 : 토양 중 염분이 과다하여 직접적으로 해를 받는 것을 의미함. 토양중의 염분 농도가 높아 벼의 삼투압 증가로 뿌리 기능 저해를 받는 생리적인 작용과 토양으로부터 염분의 이상 흡수로 물질대사에 저해 받는 생화학적인 작용으로 구분할 수 있는데 이것은 제염만을 충분히 실시하면 염해를 회피할 수 있음
- 광의의 염해 : 혐의의 염해와 아울러 염기 치환반응에 의한 토양 물리성의 악화 즉 나트륨 점토와 마그네슘 점토의 생성에 따른 간접적인 피해와 염해지에서 발생하기 쉬운 유화물의 피해를 포함함

□ 염해와 벼의 성장 특성

- 간척지에서 재배되는 논 유형별 벼의 수확량을 보면 염해 논과 일반 논에서 수확량은 최대 3배 차이가 남(표 4.3.2)
- 일반 논이 염해 논보다 무비구와 최적시비구 조건하에서 모두 많은 수확량을 보이고 있음
- 이러한 결과는 염분에 의한 벼 생산량 저하에 의한 것으로 염해 논인 경우, 벼 수확량을 높이기 위한 다양한 제염 방법이 필요함
- 간척지 논벼의 재배가 가능하기 위해서는 대체로 염분 함량이 0.3%이하로 되어야 하며, 염분 농도에 따라 수확량의 차이를 보임
 - 염분농도가 0.1%농도 시 수확량 15%가 감소, 0.2%농도에서 30%가 감소되며, 0.3%농도 이상에서는 수확이 매우 저조함

표 4.3.2. 간척지 논 유형별 벼 수확량 비교

구 분	시험수	무비구(kg/10a)		최적시비구(kg/10a)	
		범위	평균	범위	평균
일반 논	97	233~679	454(100)	457~833	629(100)
미숙 논	36	143~704	289(56)	436~789	635(101)
사질 논	71	124~668	412(91)	382~824	600(95)
고 논	31	270~661	423(93)	484~800	618(98)
염해 논	3	191~278	240(53)	377~545	480(76)

자료 : 국회 농림수산식품위원회, 국정감사 정책보고서, 2012

□ 영농 년수와 토양 염분 농도 특성

- 간척지 내 농지가 조성된 후 1년 후 조사된 토양 염분은 0.66%이었고, 4~5년에는 0.38%, 10~20년째(0.19%)에 간척 후 정상에 가까운 수량을 얻을 수 있는 결과를 나타냄(표 4.3.3)
- 특히, Na^+ 이온의 토양 내 축적은 토양 내 물리·화학적 특성을 변화시키며 토양의 질(quality)을 저하시킴
 - Na^+ 이온의 증가는 토양 pH, 토양구조의 불안정화, 토양 수리 전도도의 붕괴 등의 원인 제공
- 간척지의 경사도가 2도 이하로 지하수위가 낮은 곳은 지표면과 같아 자연강우에 의한 제염기간과 속담으로 전환하는 데는 네덜란드의 경우 70년을 방치 함

표 4.3.3. 간척지의 영농 년수에 따른 토양 염농도 현황

구 분	영농 년수(년)			
	1	4~5	10~20	30~50
조사지역 수(개소)	2	5	3	5
토양 염 농도(%)	0.66	0.38	0.19	0.18

자료 : 국회 농림수산식품위원회, 국정감사 정책보고서, 2012

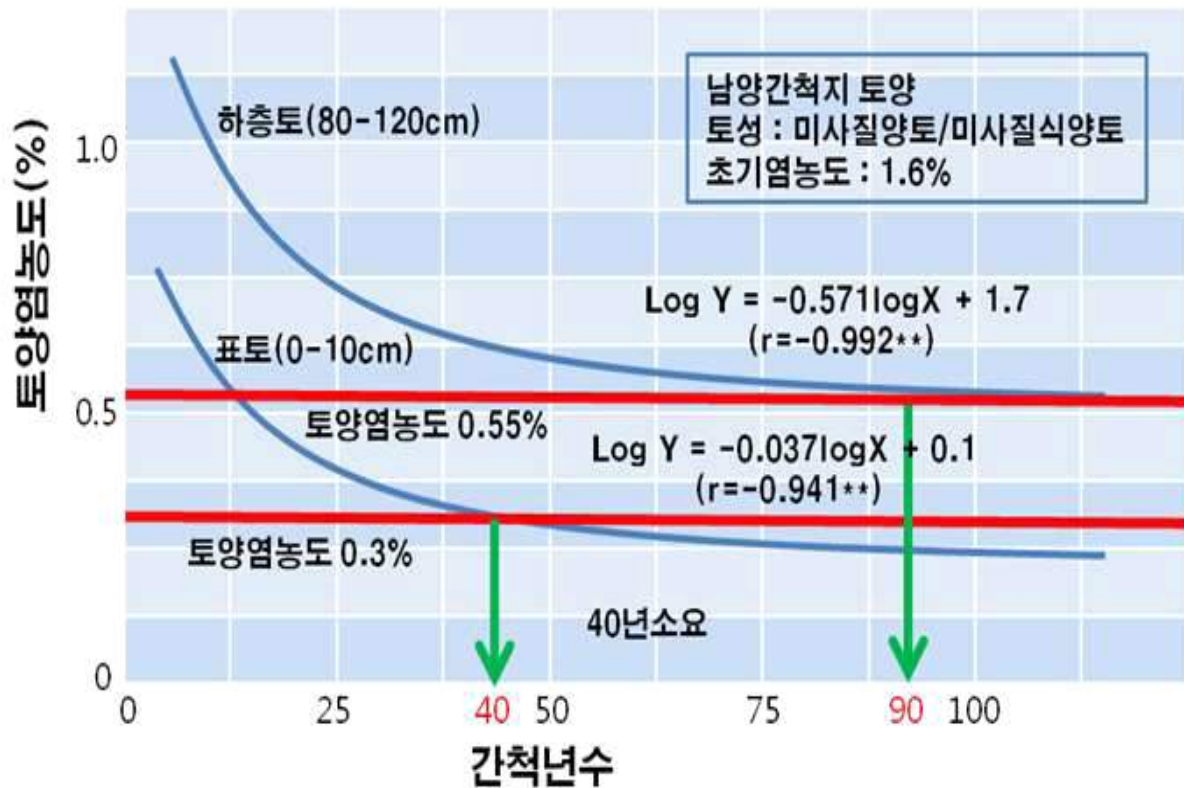


그림 4.3.3. 자연강우에 의한 토층별 제염기간 산정
(자료 : 국회 농림수산식품위원회, 국정감사 정책보고서, 2012)

□ 간척지의 제염 방법

- 간척지 제염방법에는 크게 물 관리에 의한 방법, 배수시설에 의한 방법, 생물학적인 방법, 화학적인 방법, 경운 및 객토 방법으로 분류할 수 있음 (표 4.3.4)
- 일반적으로 간척지 제염 방법은 한 가지가 아닌 두 가지 이상의 방법을 병행하여 활용하고 있음
- 합리적인 제염방법 설정시 토양의 염분농도, 투수성, 제염 용수량, 제염기간, 경제성, 지하수위, 기상조건 등의 지역적인 특성을 고려하여 결정하도록 함
- 국내 간척지 제염 방법으로는 물관리 방법(침출법)과 생물학적 방법 (벼 및 목초 재배)을 많이 혼용하여 사용하고 있음
- 이러한 방법은 시설투자비가 적은 경제적인 이점이 있으나 제염용수가 다량으로 필요로 하는 단점도 갖고 있음

표 4.3.4. 간척지 제염방법의 분류

구분	특징	세부방법	비고
물관리 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 물을 이용하여 제염 실시 ◦ 표토층의 제염효과 높음 ◦ 물빠짐이 좋은 토양은 효과 좋음 ◦ 시설투자비가 적어 경제적임 ◦ 제염용수가 다량으로 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 수세법 ◦ 침출법 ◦ 침출수세법 ◦ 담수법 ◦ 경운담수법 	국내에서 주로 이용하는 방식 (벼 재배시 활용)
배수시설 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 투수성이 낮은 토양에서 이용 ◦ 지표하에 암거를 설치 ◦ 초기 시설투자비용 소요 ◦ 암거막힘으로 유지관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 암거 10~20m 간격 ◦ 보조암거 2~5m 간격 설치 	일본, 중국 등 활용 (밭작물 재배시 주로 이용)
생물학적 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 작물을 이용하여 제염 실시 ◦ 고염도 토양에서 활용 불가 ◦ 토양비옥도 증진 가능 ◦ 피복에 의한 재염화 방지 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 목초재배 ◦ 벼(하계), 목초(동계) 	-
화학적 방법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 간척토양 이화학적 특성 개선 ◦ 나트륨을 칼슘으로 치환 ◦ 별도의 포설비용 증가 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 석고, 석회, 염화칼슘 등을 토양과 교반하여 활용 	일본에서 주로 활용
경운 및 객토법	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 비영농기 일정깊이 경운 실시 ◦ 외부 토사유입 후 토층개량 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 추수직후 경운 ◦ 외부토사 유입 	-

자료 : 농어촌연구원, 간척지 제염, 2012

2. 국내외 간척지 제염 관련 기술개발 현황

□ 국외 기술개발 현황

○ 네덜란드

- 네덜란드 간척지는 삼각주 지역이며 우리나라와는 달리 토층 하부에 투수성이 높은 사토층이 깊게 분포하고 있음
- 이러한 토양 특성에 의해 배수여건이 양호하고 월평균 강수량 70mm (연중 823mm)도 고르게 내려 재염화의 우려가 비교적 적음
- 또한 연중 풍차, 배수시설을 통해 지하수의 수위를 낮추고, 배수로 및 암거시설을 통하여 토양층 건조 및 토층 내 염분을 제거하고 있음
- 네덜란드 간척농지 조성 및 제염방식을 보면 4단계로 나눌 수 있음 (그림 4.3.4., 그림 4.3.5)
- 1단계 : 배수로 설치(깊이 0.6m, 48m 간격) + 갈대 식재
- 2단계 : 추가 배수로 설치(12m 간격) + 유채 등 재배
- 3단계 : 지하암거(유공관) 매설(깊이=1.2m, $\phi=60\sim200\text{mm}$ 48m 간격) + 배수로 되메움(중간은 유지, 나머지는 되메움) + 밀, 보리 재배 등
- 4단계 : 지하암거 + 중간 배수로 되메움 + 기타 밭작물 재배
- 네덜란드 간척지는 제염 이전에 우선적으로 지하수위를 낮추고, 배수체계를 구축하였으며, 다음으로 초기 제염배수로, 심토 파쇄, 암거시설 등을 설치하여 토양건조화 및 투수여건 개선 실시하였음(단계적 개발방식 추진)
- 작물재배에 있어서도 초기에는 배수가 불량하고 고염도 상태에서도 자랄 수 있는 갈대 등을 통하여 토양여건 개선을 추진하였고, 점차적으로 제염 상황에 따라 보리, 밀 등을 재배하고, 다음으로 화훼 등 경제성작물 재배를 실시하였음
- 제염방식 : 물관리(강우침출) + 생물학적(갈대, 작물) + 배수시설(암거)

○ 일본

- 간척지 토양특성은 지역간 차이를 보이고 있으나, 일본 간척지 토양은 우리나라 간척지 토양과 매우 유사하게 미립자(점토)함량이 비교적 높은 비율을 보임
- 일본은 네덜란드 간척지 개발방식과 유사하게 간척지 제염방식을 활용하고 있음. 즉, 초기에는 간척지 토층을 건조시키고, 암거시설을 설치한 후 제염작업을 단계적으로 실시하고 있음
- 일본의 경우에도 간척 조성 초기에는 우리나라의 수도작 기반의 간척지 개발방식과 유사하게 간선, 지선, 지거, 도로 등의 기반시설을 설치하였음
- 하지만 일본 간척지는 곧바로 작물재배를 실시하지 않고 2~3회에 걸친 토층파쇄 작업을 실시하고 암거시설(깊이 0.8m, 간격 10m)을 설치한 이후 제염작업을 실시하고 있음
- 일본의 간척지 개발방식 및 제염은 다음과 같음

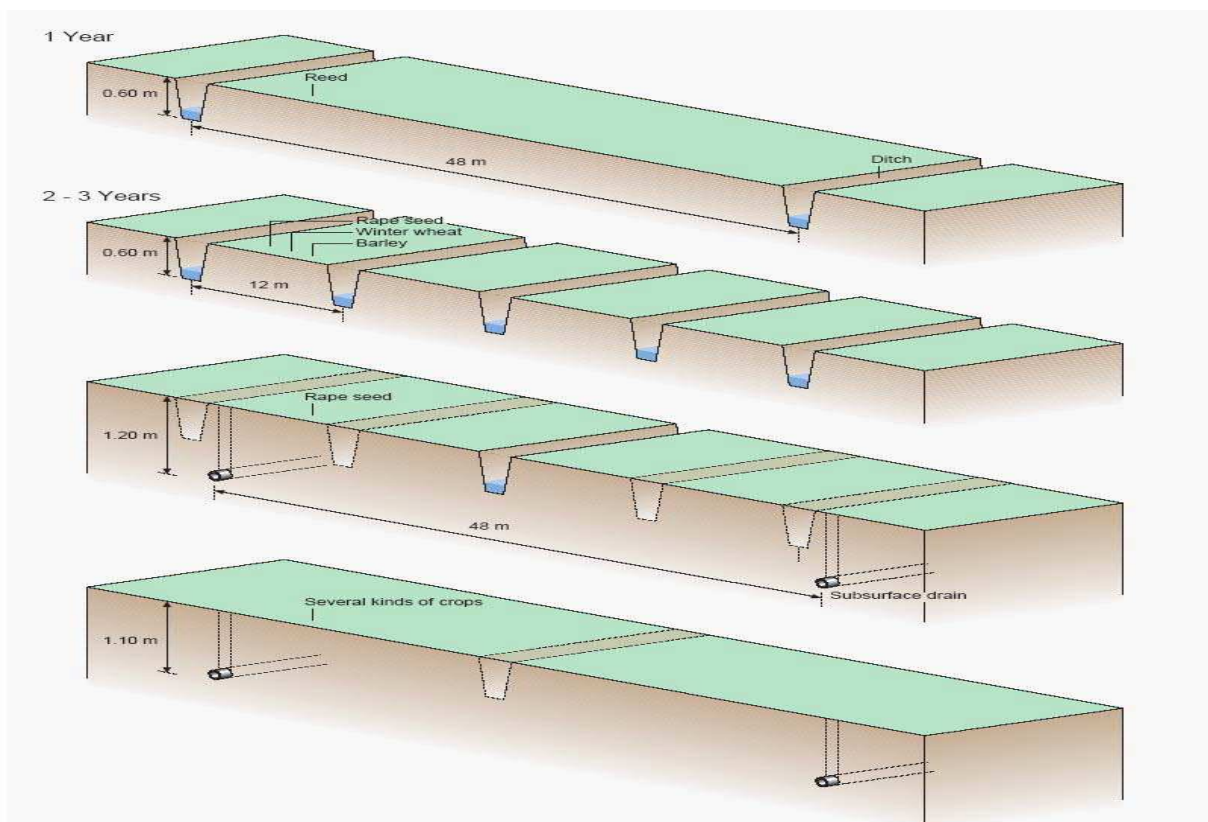


그림 4.3.4. 단계별 간척농지조성 및 제염 (자료 : 농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012)



〈 1, 2단계 : 토층 배수 및 건조 〉



〈 3단계 : 암거설치 〉



〈 4단계 : 조사료 및 다양한 작물재배 〉

그림 4.3.5. 네덜란드 간척지 조성 및 다양한 작물재배 (자료 :
농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012)

- 초기에 간선, 지선, 지거, 도로시설 등 기반시설 조성
- 경지내 농지조성은 4단계로 구분하여 실시함
- 1단계 : 포장배수로 설치, 포장경사 1/125~1/300로 조성
- 2단계 : 심토파쇄, 집수로 설치, 토양건조작업 실시
- 3단계 : 지하암거 설치(유공관 $\phi=50\sim60\text{mm}$, 깊이 0.8m, 간격 10m)
- 4단계 : 심토파쇄, 석고부설, 심경, 관개시설 설치, 제염실시
- 일본 카사오카만 간척지는 대규모 농기계의 작업, 밭작물 재배를 감안하여 정비목표를 설정하였고, 농작업, 기반조성, 작물재배 시험연구를 병행하여 간척지 특성에 맞는 기반조성 방법을 도출하였음(표 4.3.5.)
- 일본의 간척지 개발 초기에는 제염배수로, 심토 파쇄를 통해 토양투수성 개선을 실시하였고 다음으로 암거시설 설치, 석고포설, 관개시설 설치 후 제염작업을 실시하였음(단계적 개발 방식 추진)(그림 4.3.6)
- 작물재배에 있어서도 제염작업 완료이전까지는 시험위주로만 실시하고 점차적으로 토양제염 및 성숙 정도에 따라 소득 작물 재배를 실시하였음
- 제염방식 : 물관리(인공관개) + 생물학적(녹비 및 조사료) + 배수시설(암거) + 화학적(석고포설)

표 4.3.5. 일본의 간척지(카사오카) 정비 목표

구분	간척초기	간척지 정비목표
지하수위	0~20cm	50cm
지내력	0~2kg/cm ²	4kg/cm ²
산화층 깊이	0~25cm	80cm
지하배수량	-	30cm/day
투수계수	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁷ cm/sec	3×10 ⁻⁴ cm/sec

자료 : 농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012



〈 1, 2단계 : 포장내 배수 및 토층파쇄 〉



〈 3단계 : 암거시설 설치 〉



〈 옥수수, 밀 등 밭작물 재배 〉

그림 4.3.6. 일본 간척지 단계별 농지조성 및 작물재배 (자료 :
농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012)

○ 중국

- 중국에서는 간척 초기에 제염을 촉진하기 위해서 대규모 하천과 관정을 활용함
- 지대가 높아 제염이 잘 이루어진 곳에는 벼를 심고 지대가 낮아 제염이 어려운 곳에는 담수어 양식을 하는 등 현실적인 간척지 활용을 하고 있음

○ 중국 산둥성 우성(禹城)지구의 토양개량 5단계

- 1단계에서는 50~60m 깊이의 관정수를 양수하여 지하수위를 낮추어 지하염분수의 상승을 막음
- 2단계에서는 4~5m의 배수기반(溝)을 조성
- 3단계에서는 경사도 0~2%로 평탄작업
- 4단계에서는 녹비작물 재배에 의한 토질을 향상
- 5단계에서는 녹화조림사업에 의한 표층토의 재염화를 방지하고, 이후 작부체계 개선에 의한 작물생산성을 향상시킴
- 특히 천충 부근 염류수의 모세현상에 따른 상승에 의한 재염화를 방지하고자 8ha당 1개의 관정을 20~30m 깊이 총 1,050개로 개발하여 양정용량은 시간당 60~80m³씩 양정함
- 이와 같이 지하 염분수를 강제 양수함으로써 지하수 중 염 농도를 저하시키고, 천충 지하수의 증발을 억제하는 한편, 지하수층 공간형성에 의한 수직배수 개선 효과가 있다고 함
- 또한 녹화조림사업에 의한 표층토의 재염화 방지사업에 의하여 염해지구 에 포플러 등 수목을 4×10⁶주 식재하고, 4관목 2.5×10⁶주, 과수원 250ha를 조성한 결과 수목류의 증산작용에 의한 지하염분수의 지하수위가 저하되어 수직적 배수 개선 효과를 얻음
- 게다가 네덜란드 및 일본에서 활용하고 있는 유공관을 매설하여 배수 및 건조를 통한 염분 상승을 억제하고 있음

□ 국내 기술개발 현황

- 기존 간척지 제염시험 결과는 투수성이 양호한 토양(새만금 간척지)과 투수성이 불량한 토양(그 외 간척지)으로 구분할 수 있으며, 토양특성에 따라 제염기간이 다르게 나타나고 있음
- (투수양호지역) 투수성이 양호한 토양의 경우 1~2년 담수를 이용한 제염방법을 통해 화훼, 채소, 수목 등의 시험재배가 가능함(그림 3.3.7)
- (투수불량지역) 투수성이 불량한 토양에서는 토양 하층부로 제염용수가 전달되지 못해 제염기간이 5년 이상의 장기간에 걸친 단계적 제염이 필요함
- 또한 경제성작물을 재배하기에는 기반여건, 토양 투수성, 유기물 확보 등 작물재배여건 개선이 필요한 상태임(그림 4.3.8)



▶ 자연강우담수



▶ 녹비, 조사료



▶ 밀



▶ 화훼



▶ 과수



▶ 수목

그림 4.3.7. 투수가 양호한 토양에서 담수제염 및 작물재배
(자료 : 농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012)

- 외국의 간척지에서 실시한 사례와 같이 암거시설을 설치하여 제염상황, 유기물 증진, 작물재배 등의 시험을 실시하고 있는 상황임
- 국내 간척지 제염방식의 특징을 살펴보면 기존 국내 간척지는 수도작으로 재배되어 간척지 토목공사를 마친 이후 곧바로 벼 재배를 실시하여 별도의 제염작업을 실시하지 않았음
- 공사비용이 적게 드는 저비용 제염방식만을 택하고 있는 상황이며, 지속적인 제염연구가 필요함
- 제염방식 : 물관리(인공관개) + 생물학적(녹비 및 조사료) + 화학적(석고포설)
 - 석고포설의 경우 포설비용추가발생. 담수호 수질영향 우려로 일부 시험적으로만 실시하였음



▶ 인공담수



▶ 녹비, 조사료



▶ 밀

그림 4.3.8. 투수가 불량한 토양에서 담수제염 및 작물재배
(자료 : 농어촌연구원, 간척지의 제염, 2012)

□ 국내 간척지 개선사항

○ 국내 간척지 제염방식

- 해외 간척지와 국내 간척지를 종합적으로 비교하면 국내 간척지의 제염 방식은 제염을 실시하기 이전에 지하암거배수, 심토파쇄 등의 선행 작업을 실시하지 않는 일시조성 개발 방식으로 조성됨(표 4.3.6)

○ 작물 도입

- 국내 간척지의 작물도입 역시 초기에는 유기물 상황, 토양 여건, 기반 여건을 감안하여 녹비작물 재배를 실시하도록 하고, 점차적으로 경제성 작물 도입이 필요함(표 4.3.7)

○ 국내 간척지 염해 사례

- 정부는 1985년 보령 남포 간척지 착공을 시작으로 2011년 영산강 3-2지구 완공까지 총 10개 지구에 대한 간척사업을 완료한 상황임
- 간척사업비로 총 1조 2,859억 원이 투입됐고 간척지 총 면적은 13,643ha이며 전체가 농업용지로 조성됐음
- 국회 농림축산식품해양수산위원회 소속 박완주 의원이 한국농어촌공사로부터 제출받은 “최근 5년간 수도작 및 타작물 고사 등 생산량 감소 현황” 자료에 따르면 배수불량·염해 등으로 인한 재배 실패가 해마다 늘고 있는 것으로 나타남
- 2015년에는 임대면적의 14.9%인 1,080가 피해를 봤고, 2016년에는 임대면적의 20.21%에 해당하는 1,663ha가 피해를 봄. 2017년에는 2016년보다 피해가 늘어 20.52%인 1,934ha를 차지했음(표 4.3.8)
- 이에 농어촌공사는 재해로 인한 피해보상 차원에서 최근 3년간 약 34억원 가량의 임대료를 감면해줬음(표 4.3.9)
- 염류집적 등으로 매년 임대농지 20% 가량의 재배작물이 고사하고 있음

표 4.3.6. 국내외 간척지 기반조성 및 제염방식

구분		국내(한국)	국외(일본)	국외(네덜란드)
조성목적		수도작	'70년이후 밭	밭, 축산, 거주지
영농유형		수도작, 밭작물	밭작물, 낙농, 축산	밭(원예), 낙농
밭기반 조성 방식	용수로	개수로중심	관수로 중심	용배수 겸용
	지하배수	-	암거배수	암거배수
	토층개선	-	심토파쇄	심토파쇄
제염방법		담수제염(침출법) 조사료재배	암거배수, 심토파쇄, 석고포설, 녹비작물	암거배수, 심토파쇄, 조사료재배
개발방식		일시조성	단계적개발	단계적개발

자료 : 한국농어촌공사, 간척농지 다각적 활용 방안 연구, 2008

표 4.3.7. 제염단계별 재배 가능 작물 및 작부체계

단계	염분농도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1단계	8dS/m (0.512%) 이상	염생식물 : 갈대, 나문재, 해홍나물, 칠면초, 통통마디 등 사료작물 : 이탈리아라이그라스, 톨휘트르라스, 버뮤다그라스											
2단계	4~8dS/m (0.256~0.512%)	보리, 호밀, 유채, 자원영, 밀				벼, 세스바니아, 사탕수수, 해바라기, 솔트그라스				보리, 호밀, 유채, 자운영			
3단계	2~4dS/m (0.128~0.256%)	시금치				옥수수, 콩, 땅콩, 케일, 오이, 참외, 아스파라거스, 근대, 토마토				시금치			
4단계	2dS/m (0.128%) 이하	마늘, 양파				감자, 고구마, 피망, 배추, 무, 당근, 상추, 호박, 가지, 양배추, 머스크메론, 샐러리, 완두				마늘, 양파			
		백합, 국화, 카네이션, 베고니아, 장미, 수국, 거베라, 프리지아, 포인세티아, 에리카, 안스리움, 프리물라, 메밀											

※ 수도작 염분한도 : 2,000~3,000ppm

자료 : 국회 농림수산식품위원회, 국정감사 정책보고서, 2012

표 4.3.8. 최근 5년간 수도작 및 타작물 고사 등 생산량 감소 현황

구분	2013		2014		2015		2016		2017	
	임대 면적	피해 면적	임대 면적	피해 면적	임대 면적	피해 면적	임대 면적	피해 면적	임대 면적	피해 면적
계	5,253	2	5,258	2	7,242	1,080	8,227	1,663	9,422	1,934
석문	1,135	2	1,135	1	1,133	2	1,136	84	1,467	191
남포	-	-	-	-	-	-	-	-	653	-
고흥	-	-	-	-	1,572	19	1,660	652	1,660	592
이원	-	-	-	-	-	681	724	602	714	714
삼산	199	-	199	-	126	1	203	-	203	-
시화	-	-	-	-	470	375	448	325	470	436
영산강	3,919	-	3,924	1	3,941	2	4,056	-	4,255	1

자료 : 박완주 의원, 2018년 국정감사 보도자료, 2018

표 4.3.9. 최근 3년간 자연재해 임대료 감면 현황

구분	지구	임대료 감면		비고
		면적(m ²)	금액(백만원)	
합계	-	3,520	3,384	-
2015	2(시화, 이원)	761	506	한해
2016	3(시화, 이원, 고흥)	1,273	1,931	한해
2017	3(시화, 이원, 고흥)	1,486	947	한해

자료 : 박완주 의원, 2018년 국정감사 보도자료, 2018

3. 부남호(서산B지구) 인근 농경지 염해 피해 현황

□ 부남호 주변 토지 이용 및 재배 작물 현황

- 부남호는 농경지 및 용수 확보 목적으로 1982년 물막이 공사를 통하여 해수유통을 차단하고 담수호 및 간척지를 조성하였음
- 당초에는 농경지 3,616ha, 잡종지 106ha, 축산시설 23ha, 총 3,745ha로 단순한 토지 이용 형태를 보여주었음(표 4.3.10)
- 하지만, 현재에는 자족적 복합 기능을 갖춘 기업도시 개발과 자동차 부품 연구단지 조성 등을 위하여 3,745ha 중 2,146ha를 이용하고 있음(그림 4.3.9). 이러한 용지 사용 변화에 의해 농경지 면적도 3,616ha에서 1,470ha로 크게 줄어드는 결과로 나타남
- 한편 토지 소유권을 보면 현대가 전체 3,745ha 중 2,605ha(69.6%)를 차지해 민간인 소유(30.4%) 토지 보다 2배 이상 토지를 소유하고 있는 것으로 나타남. 하지만 농경지 소유권은 현대(330ha)보다 민간인(1,140ha)이 넓은 면적을 소유하고 있음

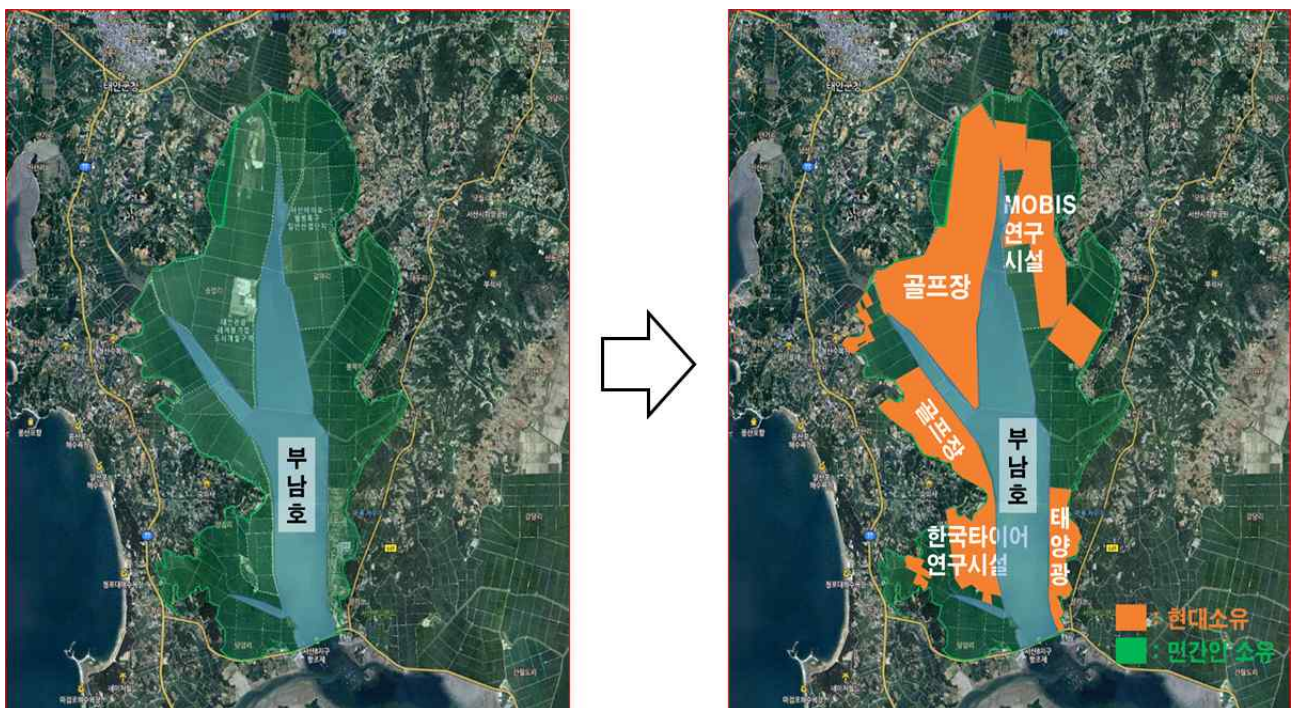


그림 4.3.9. 부남호 주변 토지소유 및 개발 현황

□ 부남호 주변 양수장 현황 및 특성

- 부남호 주변 농업용 용수는 서산시 2곳과 태안군 2곳에 위치하고 있는 양수장으로부터 공급되고 있음(표 4.3.11, 그림 4.3.10)
- 현대서산농장에 따르면 4곳의 모든 양수장을 통해 연간 약 1억 1천만톤의 농업용수를 공급하고 있으며 이중 송암, 갈마, 양잠 양수장에서 각각 30% 비율인 3천3백만톤을 공급하고 있고 갈마 양수장에서는 천 백만톤(10%)을 공급하고 있음(표 4.3.12)
- 부남호 주변 양수장 취수구는 약 4~5m 수심에 위치하고 있는 것으로 조사되었음
- 이러한 이유로 가뭄이 들거나 부남호 내 염분이 높아지면 부남호 내 염분이 높은 물이 논으로 유입될 가능성이 높음

표 4.3.10. 부남호 간척지 토지 이용 현황

구 분 (단위: ha)		당초 (최초이용)	변경 (현재이용)	소유권	
				현대	민간인
계		3,745	3,745	2,605	1,140
농경지		3,616	1,470	330	1,140
잡종지		106	106	106	-
축산시설		23	23	23	-
산업용지	기업도시	-	1,547	1,547	-
	웰빙특구	-	599	599	-

자료: 충청남도 해양수산국 내부자료(부남호 역간척 사전학습 자료)

표 4.3.11. 부남호 내 양수장 위치도

구분	위치 주소
갈마 양수장	충남 서산시 부석면 갈마리 654-11
송암 양수장	충남 태안군 남면 신장리 666
양잠 양수장	충남 태안군 남면 양잠리 1273
마룡 양수장	충남 서산시 부석면 마룡리 981-2

표 4.3.12. 부남호 주변 4곳 양수장 연간 관개용수 공급량 비교

구 분	총 양수량(톤)	비 율
송암 양수장	연간 110,000,000	33,000,000톤(30%)
갈마 양수장		33,000,000톤(30%)
양잠 양수장		33,000,000톤(30%)
마룡 양수장		11,000,000톤(10%)

자료 : 현대도시개발 내부자료



그림 4.3.10. 부남호 주변 양수장 위치 및 농경지 현황

□ 부남호 주변 염해 현황

- 농업재해대책법상 “염해”는 농업재해로 인정되지 않고 있으나 가뭄 피해로 피해보상을 해주고 있음
- 부남호 주변 농경지 내 염해인 경우는 1995년 준공이후 초기에는 경미한 피해사례가 있었음
- 최근 4년 동안 1,937농가, 7,079ha에 농약대 등 15억 9000만원을 복구비로 지원한바 있음(표 4.3.13)

- 부남호 내 태안지역 누적 피해 농가수는 960호, 피해 면적은 4,475ha, 지원 내역은 7억 5100만원에 달함. 반면 서산지역은 977호, 2,604ha의 피해면적과 8억3900만원을 지원했음
- 부남호 농사 농가 700여 농가의 90%가 농업재해보험에 가입했으며, 2018년 수확량 감소로 ha 당 425만원의 보험금을 수령함

표 4.3.13. 부남호 가뭄피해 및 복구비 지원현황(2015~2018년)

구 분			피해현황		지원내역(백만원)			
			농가수(호)	면적(ha)	계	국비	도비	시군비
2015	가뭄	서산	263	1,211	277	184	31	62
		태안	147	946	204	138	29	37
		소계	410	2,157	481	322	60	99
2016	가뭄 폭염	서산	361	1,262	288	183	31	74
		태안	241	1,480	97	34	7	56
		소계	602	2,742	385	217	38	130
2017	가뭄	서산	345	116	170	-	58	112
		태안	326	1,632	374	33	7	334
		소계	671	1,748	544	33	65	446
2018	가뭄 폭염	서산	8	15	16	11	2	3
		태안	246	417	164	53	11	100
		소계	254	432	180	64	13	103
합 계		서산	977	2,604	751	378	122	251
		태안	960	4,475	839	258	54	527
		소계	1,937	7,079	1,590	636	176	778

※ 1995년 준공 및 영농이후 간척지내 염분이 축적되면서 2015년부터 피해 발생
 자료 : 충청남도 농림축산국 내부자료(B지구 가뭄피해 및 복구비 지원현황)

4. 부남호 수질 및 지하수 내 염분 분포 현황

□ 부남호 수질 내 염분 분포 현황

- 부남호 내 수질 중 염분 농도 분포 조사 결과를 그림 4.3.11에 나타냄
- 먼저 바다와 가장 가까이 인접해 있는 하류지역인 정점 32에서 정점 18까지는 수심이 깊어질수록(0~15m) 염분 농도(4.7~31.4 psu)가 높아지는 경향을 보여 저층에는 두터운 해수 층이 형성되어 있는 것으로 판단됨
- 중간 지역인 정점 12에서 정점 17까지의 최대 깊이는 약 10m 정도이며 깊이에 관계없이 모든 층에서 염분이 3.0~4.0 psu를 나타내고 있음
- 상류 지역인 정점 1~11까지의 최대 수심은 약 7m이며 모든 수층에서 염분 농도가 약 2.0~3.4 psu를 나타내고 있음
- 부남호 주변에 농업용수를 공급하는 양수장은 중간 및 상류 지역에 위치하고 있고 취수구 수심은 4~5m임. 하지만 중간 및 상류 지점에서 깊이에 상관없이 모든 층에서 염분농도 2.0~4.0 psu를 나타내고 있음

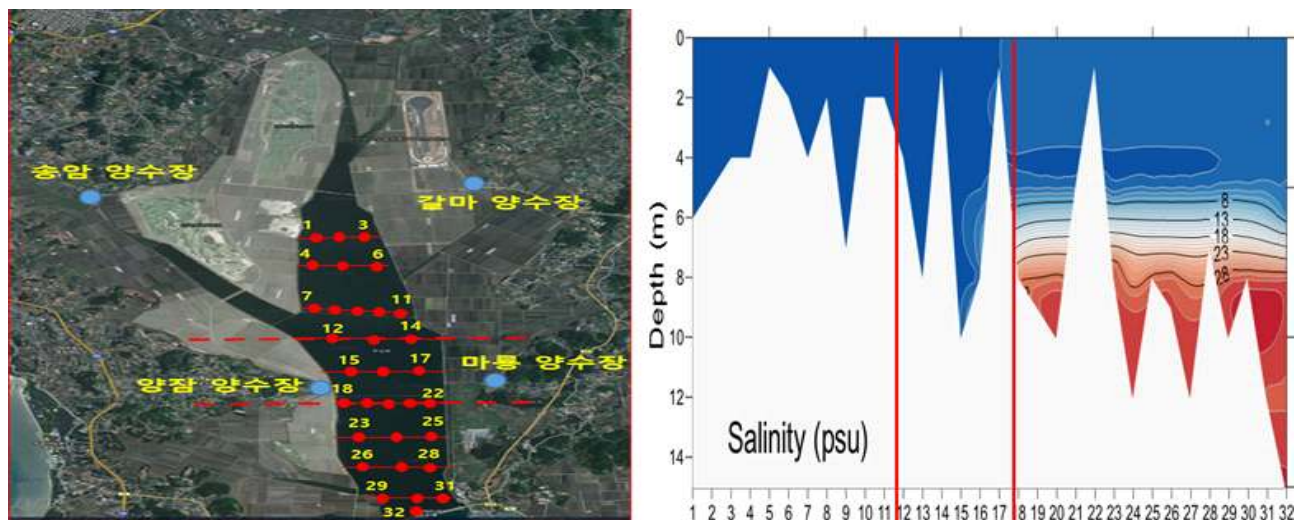


그림 4.3.11. 부남호 내 염분 조사 지점 및 염분 변화 (자료 : 본 용역 조사 자료)

□ 충청남도 및 부남호 인근 지하수 측정망 분포 현황

- 환경부에서는 지하수법 제5조 및 17조, 동법 시행령 제6조 및 제28조에 의하여 매년 “지하수 조사연보”를 발간하고 있음
- 2017년 기준 전국의 개발·이용되는 지하수의 개소수는 총 1,690,165개소이며, 이용량은 3,384,500천톤/년으로 조사되었음(표 4.3.14)
- 그 중 충청남도에는 287,135개소의 지하수가 개발·이용 중으로, 전국에서 가장 많은 지하수 시설을 보유하고 있으며, 이용량은 397,358천톤/년으로 전라남도, 경기도, 경상북도에 이은 4번째로 이용량이 많음(표 4.3.14)
- 환경부에서 운영하는 토양지하수 정보시스템에서는 전국에 분포하는 지하수에 대해 국가지하수 수질측정망(배경수질 측정망, 오염감시 측정망)과 지역지하수 수질측정망(일반지역, 오염우려지역)의 자료를 제공하고 있음
- 이 외에 먹는물 공동시설, 토양측정망, 토양오염실태조사, 골프장 농약 자료도 제공함

표 4.3.14. 전국 및 충청남도 지하수 개발·이용 현황

구분 (개소,천톤)	총 계		생 활 용		공 업 용		농 업		기 타	
	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량	개소	이용량
대한민국	1,690,165	3,384,500	872,491	1,436,975	13,674	172,615	800,677	1,750,216	3,323	24,694
충청남도	287,135	397,358	146,212	155,095	1,377	16,809	138,318	221,951	1,228	3,504
보령시	17,639	39,981	8,456	10,168	71	631	9,108	29,180	4	3
아산시	13,459	35,599	6,744	20,547	186	3,125	6,526	11,922	3	4
서산시	30,702	29,176	9,834	5,821	50	1,018	20,793	22,093	25	244
당진시	18,918	33,547	13,746	19,246	80	2,318	5,087	11,941	5	42
서천군	16,146	16,352	7,893	6,103	88	866	8,165	9,383	0	0
홍성군	19,830	17,701	10,496	6,335	59	649	9,267	10,711	8	6
태안군	19,088	17,592	8,566	3,824	13	48	9,369	10,662	1,140	3,058
경기도	264,618	468,363	127,389	115,919	965	13,555	136,048	335,560	216	3,329
전라북도	262,101	464,116	163,955	269,225	2,942	29,014	94,317	159,710	887	6,167

자료: 환경부, 2018 지하수조사연보

- 부남호 인근의 국가·지역 지하수 측정망보다 더 인접한 측정망은 농촌지하수 관측망(1개소)과 보조지하수관측망(2개소)가 존재함(그림 4.3.12)
- 이 2개소는 부남호 농업지대에 포함되어 있는 관측소임
- 또한 부남호 주변 농경지 내에 존재하고 있는 지하수 관정은 약 735개소*(국가지하수정보센터)로 추정되며, 해당 시설은 개인의 필요에 의해 설치된 지역이며, 관리주체 또한 개인이고, 수질관리 의무가 없어 수질자료 취득의 어려움이 존재함

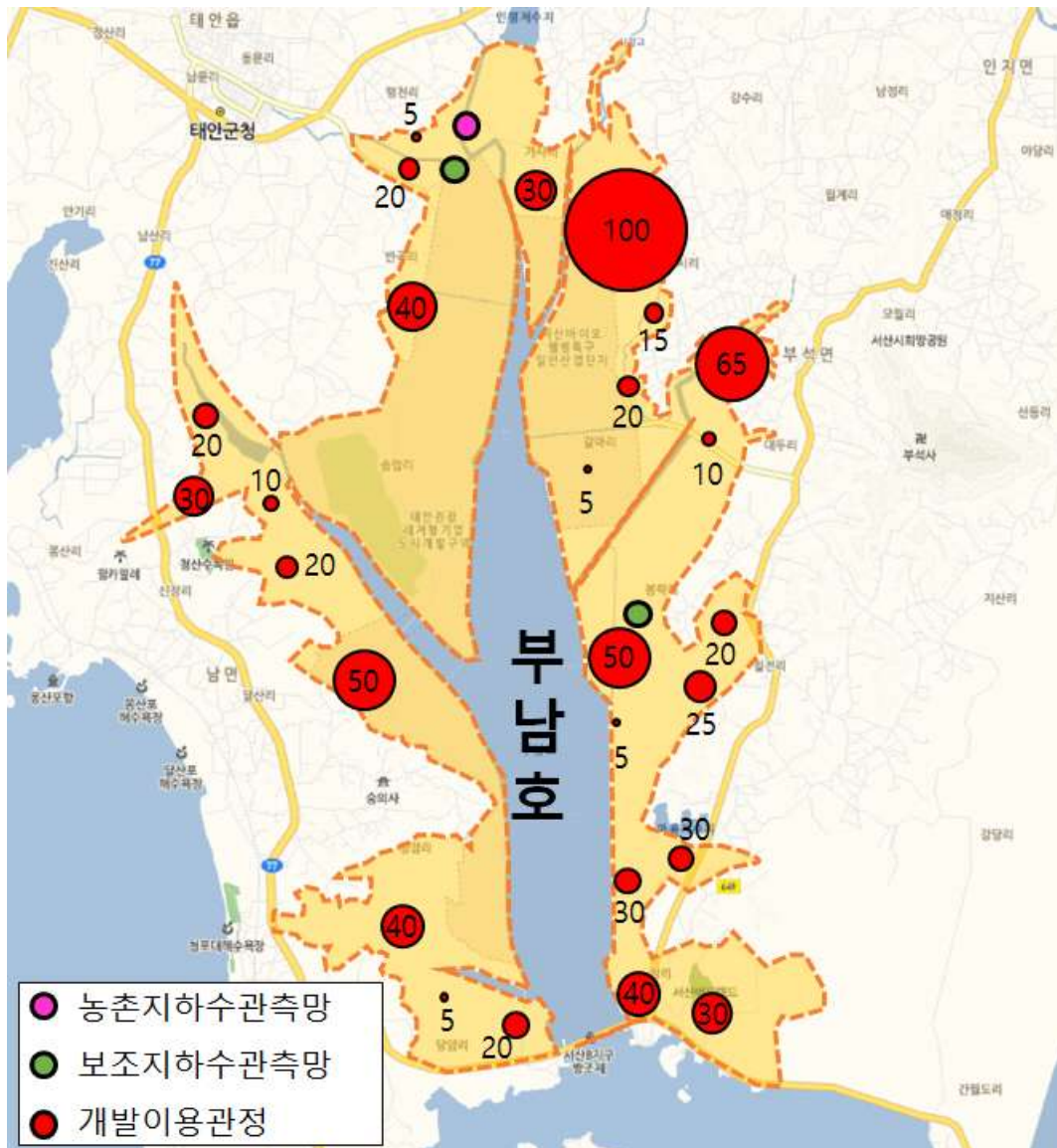


그림 4.3.12. 부남호 인근 지하수 관측망 분포 현황

□ 부남호 주변 지하수 내 염분 분포 현황

- 부남호 주변 지하수 내 염분 농도 조사지점을 그림 4.3.13과 표 4.3.15에 나타냄
- 조사지점의 모든 지하수는 생활용수로 사용되고 있는 것으로 나타남
- 10곳의 조사정점(GW-1~GW-10)에서 2009년부터 2018년도까지 10년간의 염분 변화 결과를 그림 3.3.14에 나타냄
- 염소이온을 염분으로 환산하는 공식은 다음과 같음

$$\text{염소이온}(\text{mg/L}) \times 10^{-3} = \text{염소이온}(\%) \text{ ----- (식 1)}$$

$$\text{염소이온}(\%) \times 1.805 + 0.03 = \text{염분(PSU)} \text{ ----- (식 2)}$$

- 지하수 수질기준의 염소이온은 250mg/L 이하로 제시되어 있으며, 이를 염분으로 환산하면 0.481 psu로 산정됨(그림 4.3.14)



그림 4.3.13. 부남호 주변 지하수 염분 조사 지점도

- 모든 조사정점에서 염소이온 지하수 수질 기준 250mg/L(0.481 psu) 보다 낮은 농도를 보였음
- 일부 조사정점(GW-5)에서는 2017년도부터 지하수 염분농도가 다소 상승하고 있는 것으로 나타남
- 이러한 결과로부터 부남호 주변 지하수 내 염분 농도는 비교적 낮은 농도로 안정적으로 유지되고 있는 것으로 나타났음
- 즉, 현재 부남호 주변 지하수에 의한 농경지 염해 피해의 영향은 크지 않은 것으로 추정 할 수 있음

표 4.3.15. 부남호 주변 지하수 조사 위치지점 현황

정점	조사 위치	비고
GW-1	태안군 남면 양잠리 129-3	생활용수
GW-2	태안군 남면 신장리 8-6	
GW-3	태안군 태안읍 송암리 227-20	
GW-4	태안군 태안읍 반곡리 4-8	
GW-5	서산시 부석면 가사리 1029-16	
GW-6	서산시 부석면 갈마리 461-1	
GW-7	서산시 부석면 봉락리 712번지	
GW-8	서산시 부석면 마룡리 342번지	
GW-9	태안군 남면 당암리 607	
GW-10	태안군 남면 양잠리 1080-7	

자료 : 현대도시개발(주), 사후환경영향조사 보고서, 2019

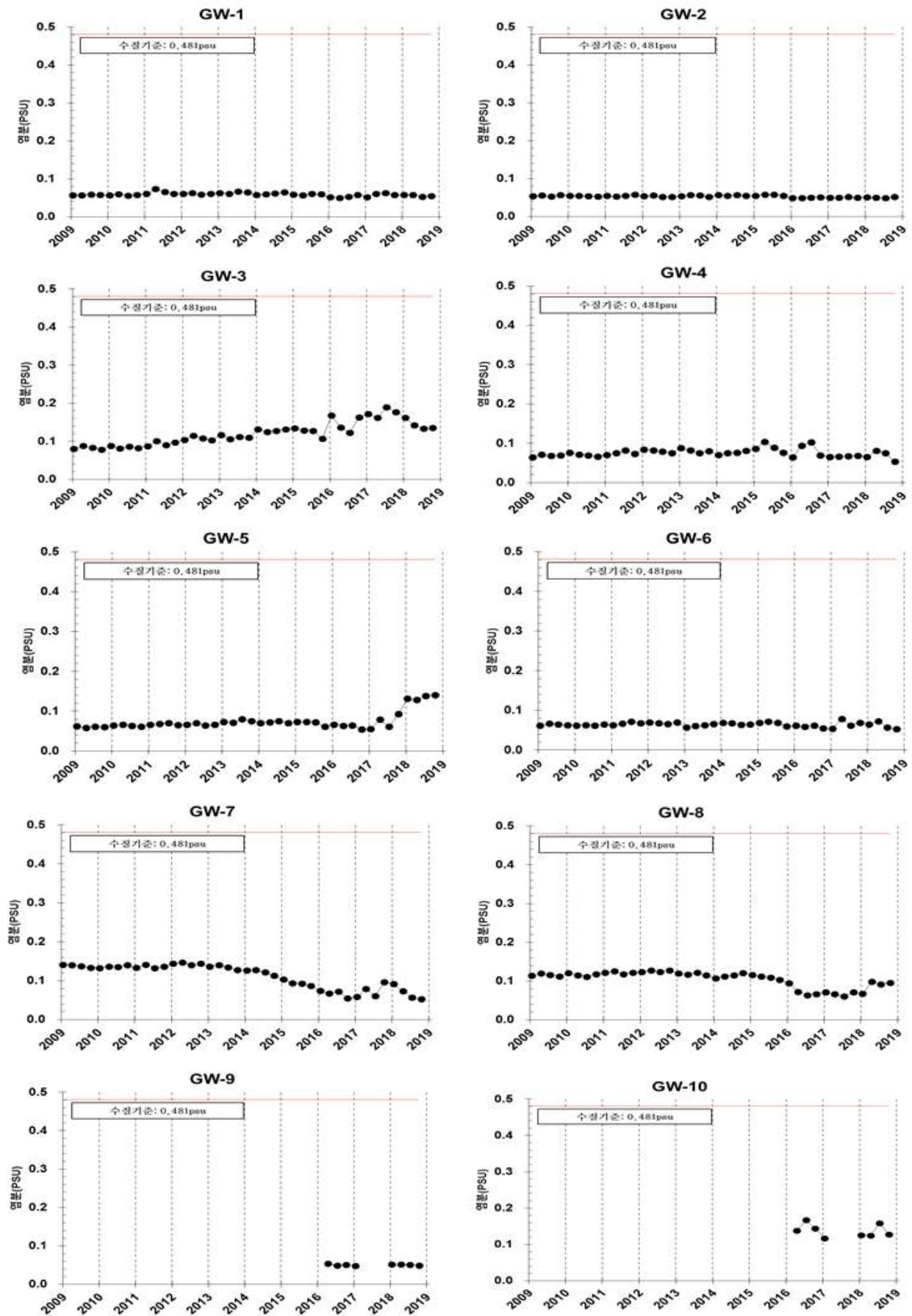


그림 4.3.14. 부남호 주변 지하수 염분 농도 변화(2009년~2018년)
(자료 : 현대도시개발(주), 사후환경영향조사 보고서, 2019)

□ 부남호 양수장 시설과 농경지 염분과의 관련성

- 염분 농도가 높은 해수는 담수보다 비중이 높아, 해수는 부남호 내 저층에 위치해 있고 염분 농도가 낮을수록 위쪽에 위치해 있음
- 그러므로 반드시 농업용수 활용은 되도록 표층 수만 건어 관개해야 함. 이러한 현상을 무시한 양수장이 대부분임. 그 원인은 양수장 취수구는 항상 물에 잠겨 있어야 한다는 생각으로 건설되었기 때문임
- 현재 부남호 양수장에서 양수장 취수구는 수심 약 4~5m에 설치되어 있음. 이 수심에서는 염분 3.0~4.0 psu 염분이 존재하고 있어(그림 4.3.11) 농업용수로 유입될 가능성이 높음
- 다음은 양수장에서 논까지의 수로(특히 콘크리트)에서 증발 농축되는 현상을 무시하면 안 됨. 그러므로 양수장 물의 염 농도가 2 psu라도 논에 유입되는 곳(특히 관말부)은 4 psu의 농도에 달할 수도 있기 때문에 관개수에서 증발에 따른 염 농도 증가에 대한 관리방안이 필요함
- 그리고 논으로 유입된 농업용수가 논에서 증발하여 염 농도가 증가하는 경우도 있을 수 있음. 그러므로 3 psu의 물이 들어가더라도 깊이 대주고, 계속 환수(바꿔대기) 또는 흘려대기 하면서 피해를 줄일 수 있도록 해야 함
- 반면에 염분이 다소 낮은(2 psu) 농업용수를 관개하였더라도, 흙이 드러나거나 알게 되면, 물이 증발하고 염기가 농축하여 말라 죽는 경우가 생길 수 있기 때문에 주의가 필요함
- 아울러 염해가 우려되는 지역에서는 활착 전인 벼에 화학물질을 첨가하면 스트레스를 더 받고, 염 농도도 높아지기 쉽기 때문에 주의가 필요함
- 간추려보면, 해안과 하구 등 염수의 영향을 받고 있거나 받을 우려가 있는 지역에서는 토양개량제 사용중지 또는 주의, 양수장 취수구의 개량, 염 농도측정지점 선정주위, 이양전후의 관리 등을 면밀히 하여야 염해를 줄일 수 있음

5. 부남호 내 염수 유입에 따른 주변 농경지 및 육상 생태계 영향

□ 부남호 주변 농경지 염해 발생 매커니즘 추정

- 현재 부남호 주변 농경지 내 염분 증가는 다양한 원인이 복합적인 작용에 의해 이루어지고 있는 것으로 판단됨
- 먼저 부남호 내 염분을 함유한 용수 공급과 농경지 내 염분 축적이 큰 원인으로 작용하고 있는 것으로 추정됨
- 현재 부남호 내 염분 농도 조사 결과(그림 4.3.11)에 따르면 양수장 취수구(수심 4~5m)가 있는 중류와 상류지역에서도 수계 내 수심에 관계없이 염분 농도가 2~4 psu 결과를 나타내고 있음
- 따라서 이러한 염분 농도를 갖는 용수가 주변 농경지로 유입되고 있고, 환수(바뀌대기 또는 흘러대기)를 통한 염해를 최소화 하고는 있지만, 긴 시간 동안 염분이 지속적으로 농경지 내 축적되고 있는 것으로 추정됨
- 이러한 움직임에 최근 2015년 이후 크고 작은 가뭄이 반복 발생하는 등 간접적으로 염해 피해를 증가시키는 악재가 자주 발생되고 있는 것도 원인 중의 하나라고 추정됨
- 반면 부남호 주변 지하수의 염분 농도는 기준치를 하회하고 있어 지하수에 의한 염해 피해는 적을 것으로 판단됨(그림 4.3.14)

□ 향후 해수유통에 따른 주변 육상 생태계 및 농경지 염해 영향

- 현재 부남호 주변 농경지는 염해 피해를 줄이기 위해 항시 물을 공급해주는 환수(바뀌대기) 또는 흘러대기 경작 방법을 주로 활용하고 있음
 - 부남호 내 양수장 취수구 부근 염분 농도는 약 2~3 psu(0.2~0.3%) 농도를 보임
- 반면 부남호 주변 지하수 내 염분 농도는 지하수 기준치(0.481 psu) 이하로 낮은 농도로 조사되고 있음(그림 4.3.14)
- 하지만 향후 해수유통에 의해 부남호 내 수질 중 염분이 전체적으로 상승하게 되면 이와 함께 해수 지하수위 상승도 초래할 것으로 판단됨

- 결국 부남호 내 염분 상승은 먼저 부남호 주변 농경지 내 염해 발생을 초래할 것이고 농업용수(담수원) 대체원을 확보하지 않는 한 논농사에 어려움이 따를 것으로 추정됨(그림 4.3.16)
- 즉, 현 상태로 논농사를 할 경우(환수 또는 흘러대기) 대부분의 농지에서 염해가 발생하고 농경지뿐 만 아니라 주변 육상 생태계에도 영향이 미칠 것으로 추정됨
- 또한 해수 지하수위 상승은 염분이 높은 지하수를 육상쪽으로 밀어 올리면서, 주변 농경지 토양뿐 만 아니라 그 외 육상 생태계에도 영향을 미칠 것으로 판단됨
- 따라서 기존의 논농사를 지속하기 위해서는 부남호 외부에서의 대체 수원 유입원 확보가 필요함
- 부남호 전체를 완전 개방하는 안 대신, 부남호 상단부 일부를 해수유입이 차단되는 월류식 제방으로 남겨놓아 부남호 일부를 담수호로 사용하는 방안을 검토할 수 있음
- 이와 함께 해수의 지하수 침투 억제 방안도 고려할 필요가 있음



그림 4.3.15. 부남호 주변 농경지 내 염해 발생 요인 추정 개념도

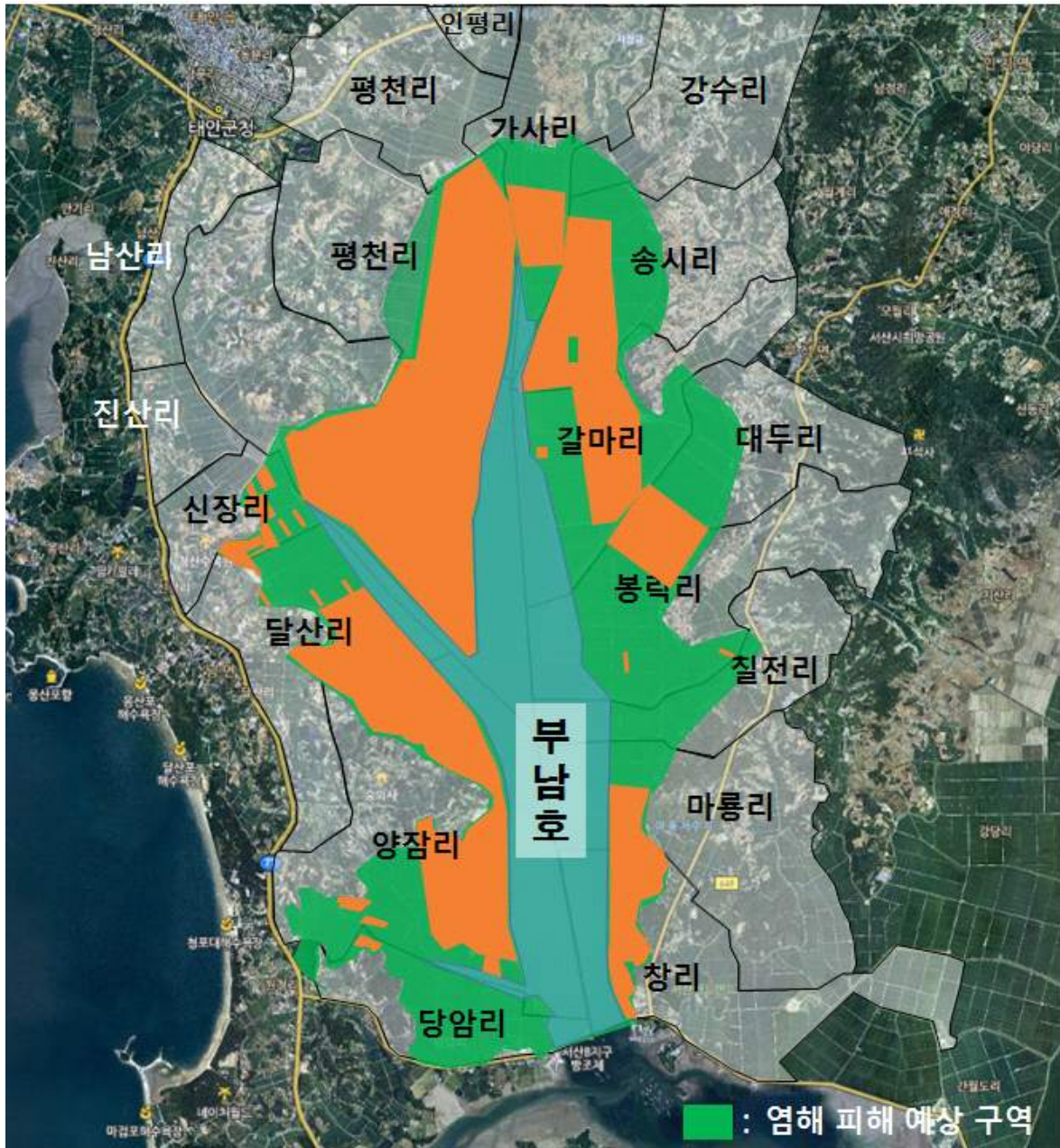


그림 4.3.16. 해수유통 후 염해 피해 확대 예상 구역

6. 부남호 주변 농경지 염해 방지를 위한 정책적 방향

□ 농경지 및 농작물 강화 대책

- 현재 국내에서 염해를 줄이기 위하여 일반적으로 사용되는 제염 방법은 물리적으로 토양의 염류 농도를 낮추는 ① 담수의 관주 처리(관주 시설을 통하여 담수를 일정 기간 관주하거나 논으로 벼 재배 후 윤작), ② 작토층의 객토 또는 심토와 혼합, ③ 흡비 작물 재배에 의한 염류 농도 낮춤, ④ 미부숙(생) 유기물을 사용하여 과잉 염류를 흡수시키는 법이 있음
- 그러나 유기물(예: 볏짚) 사용은 이론적으로 가능하나 실제 적정량 사용이 쉽지 않고 토양 처리 후 근권 혐기성 작용으로 종종 문제가 발생 됨
- 다른 이화학적 방법으로 ① 토양 산도를 조정하거나, ② 착화합 물질(chelator, EDTA, DTPA)을 처리함으로써 양분 용해도를 증가시키거나 작물의 흡수율을 높일 수 있음
- 2016년 경상대학교 정영륜 교수 연구팀에 의하여 벼에서 분리된 신규 토착 미생물에 의한 염류 피해 경감 기술이 간척지 및 고염류 토양에서 사용되어 피해를 경감시킬 수 있음이 증명되었음
- 염류 피해를 줄일 수 있는 가장 효율적인 방법으로 ① 내염성 작물을 육종 또는 창제(GMO)(이 방법은 경제적 비용과 노력이 많이 소요되는 장기 과제)하는 것과 ② 토양 내 생물 활성을 최대한 높여서 염류를 미생물 내부로 흡수 동화시킴으로써 염류 농도를 낮추는 종합적인 관리법(Integrated Biological Management of Soil Salinity)이 있음
- 정교수 연구팀이 간척지 및 고염류 토양에 사용 가능한 IBMSS 방법으로 제안하는 것은 [compost(완숙 퇴비) + organic matter(유기물 OM; 볏짚 등) + OM 분해 미생물 + 내염성 유도 미생물 처리]가 있음(그림 4.3.17)
- 그러나 이러한 생물학적 방법은 가뭄으로 인하여 염류 농도가 0.3% 이상으로 높아지는 환경에서는 효과가 낮은 것으로 나타남



그림 4.3.17. 미생물을 활용한 염해 피해 경감 방법

□ 대체 농작물과 농업관광 연계

- 국내와 비슷한 일본의 경우 간척지 조성 후 논농사보다 밭작물 재배를 감안하여 목표를 설정하고 간척지 특성에 맞는 기반조성 방법을 도출하고 있음
- 향후 부남호 해수유통이 진행될 경우 부남호 내 염분 농도 증가에 따른 논농사는 더욱 어려운 환경에 처하게 될 것으로 판단됨
- 따라서 염분농도에 따른 작물들(표 4.3.7)을 도입하고 벼 농사에서 밭작물 또는 경제성 있는 소득 작물로의 전환도 추진할 필요성이 있다고 판단됨
- 초기 제염 후에는 밀, 보리, 귀리 그리고 호밀과 같은 내염성 작물을 재배하는 것이 보편적임
- 그러나 이들 내염성 작물을 단일작물로 재배하는 것보다는 수단그라스와 같은 내염성 사료작물과 혼합작부체계를 구성하는 것이 더 바람직한 것으로 판단됨
- 한편 고염류 간척지 토양에서 초기에는 나문재, 통통마디와 같은 염생식물을 재배하는 것이 토양의 숙답화에 도움이 될 수도 있음

- 염생식물을 재배할 경우에는 바이오매스 생산성이 높은 작물 선정과 경관 조성에 유익한 작물을 도입하는 것이 염류 제거 및 소득 창출에 유리함
- 따라서 조사료, 경관작물, 기능성 식물(염생식물) 등을 재배하여 간척지 내 토양염도가 높아 일반 밭작물 재배가 어려울 시, 앞서 이러한 타 작물을 우선 재배하면서 관광사업과 결합이 가능함(그림 4.3.18)
- 즉, 간척농지의 단조롭고 광활한 특성을 타 작물 등을 도입함으로써 특색 있고 아름다운 경관을 조성하여 외부 관광객을 유치하여 간척농지를 특색화 할 수 있음
- 더불어 간척농지에 원예단지와 복합곡물단지를 조성하고 다양한 색상의 작물로 몬드리안 작품을 모티브로 한 경관농업 적용하고, 계절별 특색 있는 경관을 조성하여 간척농지 내의 아름다운 경관지로 특성화(기반시설에 경관 농업지와 연계되는 디자인 도입)함
- 각 시기에 맞는 테마축제를 개최하여 즐길거리가 있는 경관농업지를 조성하고 이를 바탕으로 다양한 먹거리, 즐길 거리, 볼거리, 배울 거리를 개발하여 수익구조로 형성이 가능함

□ 대체 농업용수 확보 방안 마련

- 부남호 주변 농지 1470ha 중 현대서산농장이 보유하고 있는 농지는 330ha이고 민간인 소유는 1,140ha임(표 4.3.8)
- 따라서 부남호 내 해수유통에 의한 염분 상승에 따른 농업용수 부적합은 향후 농민들과 큰 분쟁으로 커질 수 있는 문제임
- 이러한 문제를 해결하기 위해 대체 농업용수 확보 방안마련이 필요하고 그 방안으로 주변 저수지 및 인근 담수호 활용 방안을 제시할 수 있음
- 먼저 부남호 상류 지역 중 태안군 태안읍 인평리에 위치하고 있는 인평저수지를 부남호 농업용수원으로 활용할 수 있도록 함(그림 4.3.19, 표 4.3.16)
- 현재 인평저수지는 농업용수 확보를 위해 조성되어 이용되고 있지만

부남호 내 농업용수로 활용하기에 적합하도록 수질개선 등이 필요할 것으로 보임(표 4.3.17)

- 하지만 현재 부남호로부터 주변 농업용수로 연간 약 1억천 톤을 공급하고 있기 때문에 이러한 용수확보에 관한 논의는 추가적으로 필요함
 - 환수(바뀌대기) 또는 흘러대기에 의한 농업용수 공급량 증가
- 또 다른 방안으로는 부남호 주변에 위치하고 있는 간월호로부터 관로를 통해 관개용수를 확보하는 방안이 있음
 - 간월호 내 표층(수면하 0.5m)과 저층(바닥으로부터 1m 상부 수층)의 염분 농도는 각각 0.5~1.5psu, 0.5~2.1psu로 조사되었음
- 이 방법은 많은 농업용수를 확보할 수 있는 방안이지만 초기 건설 및 유지관리 비용에 대한 문제점이 남아 있음

표 4.3.16. 인평저수지 일반 주요 현황

조성년도	유역면적	만수면적	수혜면적	유효저수량 (총저수량)
1938년	1,062.0ha	43.8ha	202.9ha	890.7천톤 (970.0천톤)

자료 : 한국농어촌공사, 농업용수 수질개선 기본조사결과 요약본, 2019

표 4.3.17. 최근 5년간 인평저수지 수질변화 추이

구분	13년	14년	15년	16년	17년	평균	수질등급
TOC(mg/L)	6.1	7.1	6.9	5.9	7.1	6.6	TOC기준 V등급 (나쁨)
COD(mg/L)	10.9	12.4	12.0	11.5	14.6	12.3	
T-N(mg/L)	3.365	2.641	3.007	2.646	1.838	2.699	
T-P(mg/L)	0.157	0.201	0.232	0.158	0.082	0.166	

※ 농업용 호소 관리기준(IV등급) : TOC 6.0mg/L, TN 1.0mg/L, TP 0.1mg/L이하
 자료 : 한국농어촌공사, 농업용수 수질개선 기본조사 결과 요약본, 2019



그림 4.3.18. 타 작물 재배 및 농업관광 연계



그림 4.3.19. 부남호 주변 대체 농업용수원

□ 해수침투 확산 방지 마련

- 일반적인으로 지표수 및 강수는 지하로 침투하여 해수의 상부에 위치하며 지하수는 계속적으로 해안으로 유출함
- 그리고 담·해수간의 밀도차에 의해 어느 정도의 깊이에서 접이대가 형성되며 이를 경계로 담수와 해수가 나뉘어 존재함(그림 4.3.20)
- 하지만 해안지역에서 담수의 과잉 양수 및 해수면 상승 등에 의해 해수가 육상 쪽으로 침입하게 됨
- 따라서 이러한 해수 침입을 막기 위해 지하수 인공 함량이 필요함. 지하수 인공함양은 강수에 기인하는 수자원을 정호, 수로, 함양분지, 차수벽 등 인위적인 시설의 설치 또는 지표 조건 변경을 통하여 대수층에 강제적으로 침투 및 저류시키는 일체의 행위를 말함
- 또한 해수면 상승에 따른 해수 내 염분이 육상 토양에서의 모세관 현상에 의한 염분 이동을 막기 위해서도 차단벽 설치도 도입이 가능함(그림 4.3.21)

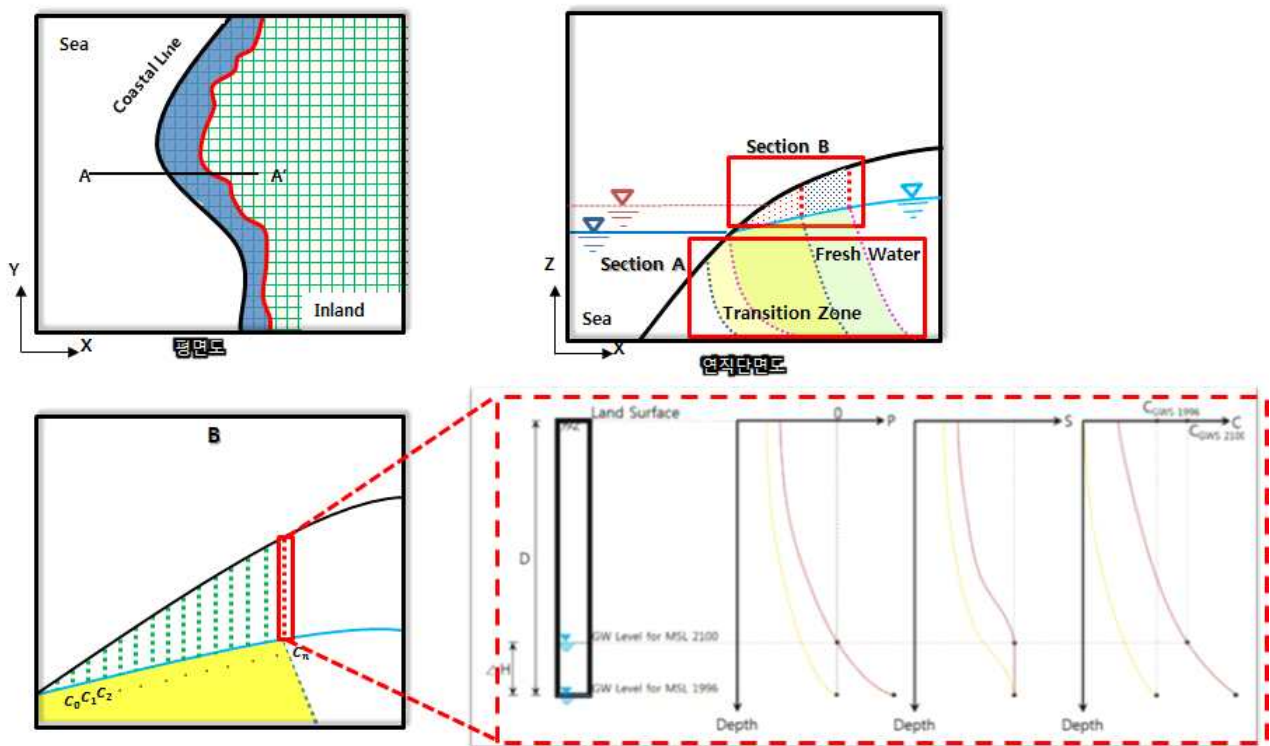


그림 4.3.20. 지하수 해수침투 및 토양 염류화 현상 개념도.

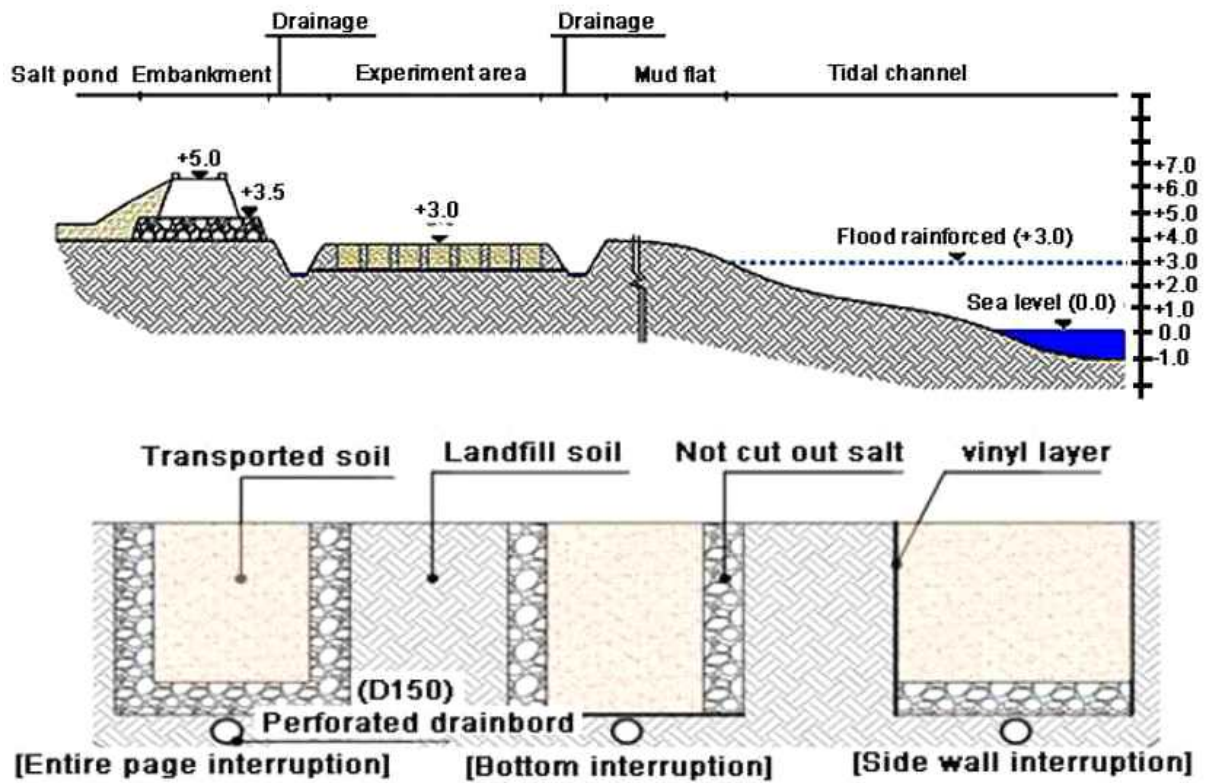


그림 4.3.21. 염 유입 차단벽 설치 개념도

◆ 부남호 하구역의 건강성 평가 및 생태환경·경제적 가치평가

1. 비용 추정

□ 천수만의 부남호 기수역 복원사업을 위한 총사업비 추정

- 천수만의 부남호 기수역 복원사업을 위한 건설계획으로, 해당 공정을 크게 수중암거 및 통선문 설치, 갯벌 복원, 준설(오니), 인공섬 설치, 제방차수, 신규제방, 논둑제거 등으로 구분
 - 수중암거 설치: 57,118백만원
 - 통선문 설치: 212,074백만원
 - 갯벌 복원: 1,263백만원
 - 준설(오니제거) 및 인공섬 설치: 19,696백만원
 - 제방 차수 및 보강: 3,602백만원
 - 신규제방: 2,603백만원
 - 논둑제거: 833백만원
- * 세부 공종마다 제시된 사업비용은 조사비, 설계비, 공사비, 부대비, 부가가치세, 예비비 등이 포함된 금액
- 천수만의 부남호 기수역 복원사업은 5년간 총 297,189백만원의 건설비용을 투입할 계획을 갖고 있음
 - 본 사업은 2020년~2024년까지 5년 동안 공정계획을 포함

표 4.4.1. 천수만 복원사업 연도별 공사일정 및 총사업비(5개년) (단위: 백만원)

구분		2020	2021	2022	2023	2024	합계
수중암거 설치	공사일정						
	공사비	15,000	15,000	15,000	12,118		57,118
통선문 설치	공사일정						
	공사비	40,000	40,000	55,000	55,000	22,074	212,074
갯벌복원	공사일정						
	공사비				600	663	1,263
준설	공사일정						
	공사비	10,000	9,696				19,696
제방 차수 및 보강	공사일정						
	공사비	1,602	2,000				3,602
신규제방	공사일정						
	공사비			1,500	1,103		2,603
논둑제거	공사일정						
	공사비	833					833
합계		67,435	66,696	71,500	68,821	22,737	297,189

□ 경제적 타당성 분석을 위한 총사업비 산정

- 경제적 타당성 분석을 위해 천수만의 부남호 기수역 복원사업의 공사비용에서 용지보상비, 부가가치세 등을 고려해야 함
- 천수만 방조제 서쪽 아랫부분 갯벌복원구역의 약 98ha 부지매입의 필요에 의해 공시지가 기준 감정가 8만원 기준으로 약 237억원의 부지매입 비용 발생
- 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(KDI, 2008)에 따르면 제세공과금은 한 곳에서 다른 곳으로 이전하는 이전지출로 인식하므로 경제성 분석에 포함하지 않는 것을 원칙으로 하고 있음으로, 부가가치세를 제외한 금액으로 경제적 타당성 분석을 수행

표 4.4.2. 경제적 타당성 분석을 위한 총사업비의 연도별 투입계획 (단위: 백만원)

구분	2020	2021	2022	2023	2024	합계
부지매입	7,182	7,182	7,182			21,545
수중암거 설치	13,636	13,636	13,636	11,016		51,925
통선문 설치	36,364	36,364	50,000	50,000	20,067	192,795
갯벌복원				545	603	1,148
준설	9,091	8,815				17,905
제방 차수 및 보강	1,456	1,818				3,275
신규제방			1,364	1,003		2,366
논둑제거	757					757
합계	68,486	67,815	72,182	62,565	20,670	291,717

주: 부가가치세 제외 금액

2. 편익 추정

□ 조건부 가치추정법 (CVM; Conjoint Valuation Method)에 의한 부남호 환경개선 편익 추정 개요

- 일반적인 시장재화의 경우 시장에서 관측된 자료를 이용하여 재화에 대한 수요함수를 계량경제학적으로 추정한 후, 추정된 식과 기초 자료에 근거함으로써 재화의 공급 편익을 추정할 수 있지만, 시장에서 관측되는 수요곡선이 왜곡되어 있거나 시장이 존재하지 않는다면, 즉 비시장재적 성격을 가질 경우에는 좀 더 특별히 고안된 가치 추정방법을 이용해야 함
- 부남호 기수역 복원사업을 통해 발생하는 편익은 시장을 통한 거래가 이루어지지 않아 가격을 관찰할 수 없는 환경개선 편익으로, 비시장재화에 대한 지불의사액(WTP, willingness to pay)을 추정해야 하며, 일반 국민을 대상으로 한 조건부가치 추정법(CVM, Contingent Valuation Method) 활용이 적합
- 부남호 기수역 복원사업이 제공하는 환경개선 편익의 추정을 위해서 조건부 가치추정법(CVM)을 적용
- 부남호 기수역 복원사업과 유사한 편익을 발생(비시장재화)시키는 사업으로서 동두천 캠프캐슬 오염토양 정화사업¹⁾, 생태하천 복원사업²⁾의 경우에도, 편익의 산정을 위해 조건부 가치추정법을 적용하였음
- 이에 본 연구에서는 한국개발연구원(KDI)의 『예비타당성조사의 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(2008), 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』(2008), 『예비타당성조사를 위한 CVM 분석지침 개선 연구』(2012)를 준수하면서 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익을 추정
- 부남호 기수역 복원사업의 해양환경 피해저감 편익을 평가하고자 CVM을 적용하기 위해 여론조사 전문기관에 의뢰하여 최종적으로 전국 1,000가구를 대상으로 한 설문조사를 통한 자료 수집

1) 박소연, 유승훈, 동두천 캠프캐슬 오염토양 정화사업에 대한 공공의 지불의사액, 환경정책, 한국환경정책학회, 제25권, 제2호, 2017년 6월, 165-181.

2) 임슬예, 유승훈, 생태하천 복원사업의 경제적 편익 분석- 남양천 및 유구천을 중심으로, 지역연구, 한국지역학회, 제31권, 제4호, 2015년 12월, pp. 25-45.

□ 설문조사 개요

○ 조사 대상, 방법 및 기간

- 조사 대상: 전국의 만 19세 이상 만 65세 이하의 세대주 혹은 세대주의 배우자
- 조사 방법: 개별면접조사(face-to-face)
- 표본 할당: 성별·연령별 유의할당
- 유효 표본: 총 1,000가구
- 조사 기간: 2019년 10월 1일 - 2019년 10월 31일
- 조사 기관: 해랑기술정책연구소

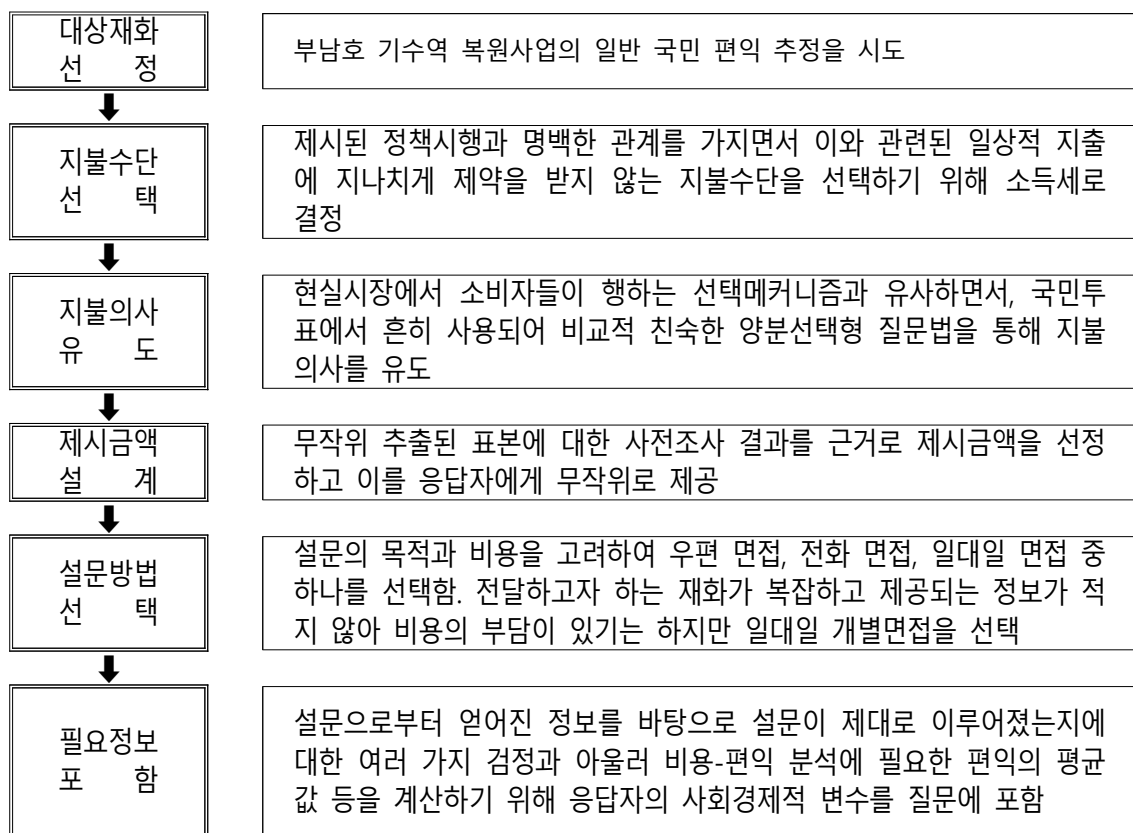


그림 4.4.1. 설문지 작성절차

□ 실증연구 절차

- CVM에 의한 설문조사는 크게 조사기획 단계 및 실사 단계로 구분되고, 조사기획 단계는 자료 수집, 설문지 작성, 여러 차례의 수정을 거침

□ 설문조사 결과

- 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익 추정을 위한 설문조사는 1,000명의 표본을 대상으로 실시되어 일반 국민의 의견을 충실하게 반영하였다고 할 수 있음
- 설문조사는 연구진 임의로 수행하지 않고 예비타당성조사를 위한 CVM 조사의 경험이 풍부한 전문 여론조사기관에 의뢰하여 약 1개월간 진행
- 전국 광역 지자체의 경우 서울 190가구, 부산 68가구, 대구 48가구, 인천 58가구, 광주 28가구, 대전 30가구, 울산 22가구, 세종 6가구, 경기 256가구, 강원 30가구, 충북 32가구, 충남 42가구, 전북 36가구, 전남 36가구, 경북 52가구, 경남 66가구를 대상으로 시행
- 천수만 부남호 기수역 복원사업에 대한 의견조사

가. 부남호 인지 여부

- 충청남도 천수만에 위치한 부남호에 대해 알고 있는지에 대해 응답자의 33.9%는 부남호에 대해 인지하고 있는 것으로 나타났으며 66.1%는 부남호에 대해 잘 알지 못 하는 것으로 나타남



그림 4.4.2. 부남호 인지 여부

표 4.4.3. 부남호 기수역 복원사업의 편익 추정을 위한 설문조사 응답자 특성

구분		사례수	구성 비율
전체		1,000	100.0%
지역	강원	30	3.0%
	경기	256	25.6%
	경남	66	6.6%
	경북	52	5.2%
	광주	28	2.8%
	대구	48	4.8%
	대전	30	3.0%
	부산	68	6.8%
	서울	190	19.0%
	세종	6	0.6%
	울산	22	2.2%
	인천	58	5.8%
	전남	36	3.6%
	전북	36	3.6%
	충남	42	4.2%
	충북	32	3.2%
성별	남성	500	50.0%
	여성	500	50.0%

나. 부남호 방문 여부

- 충청남도 천수만에 위치한 부남호를 방문한 경험에 대해 8.6%의 응답자만이 부남호를 방문한 경험이 있는 것으로 응답함

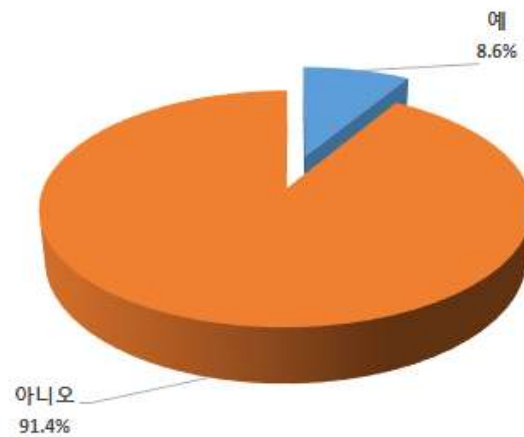


그림 4.4.3. 부남호 방문 여부

다. 부남호 기수역 복원사업 인지 여부

- 충청남도 천수만에 위치한 부남호 기수역 복원사업에 대해 알고 있는지 물었을 때, 16.0%의 응답자는 부남호 기수역 복원사업을 인지하고 있는 것으로 나타남

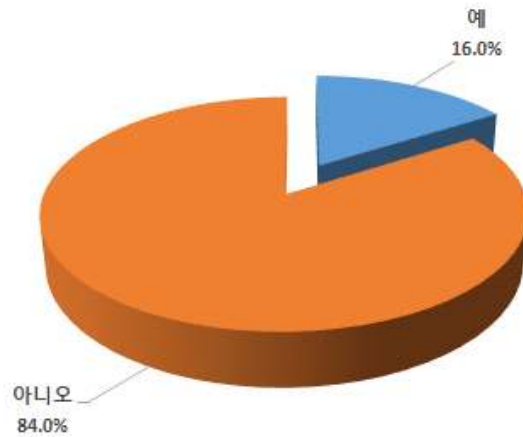


그림 4.4.4. 부남호 기수역 하구복원 사업 인지 여부

라. 부남호 기수역 복원사업에 대한 의견

- 충청남도 천수만에 위치한 부남호 기수역 복원사업에 대해 보통이라는 의견이 56.1%로 가장 많았으며, 긍정적인 응답은 36.8%(필요 34.4%, 매우 필요 2.4%)로 나타남

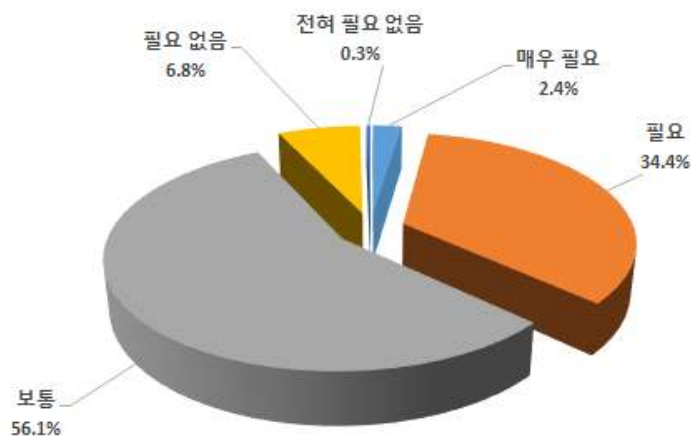


그림 4.4.5. 부남호 기수역 복원사업에 대한 의견

□ 편익 추정의 주요 전제

○ 기준년도

- 각기 다른 연도에 발생하는 비용과 편익을 비교 분석하기 위해서는 특정연도 기준 불변가격으로 전환해야 하며, 이 기준이 되는 연도를 기준년도라 함
- 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(KDI, 2008)에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 말을 기준으로 함
- 따라서 본 사업에서는 2018년말을 기준으로 하며, 분석에 사용되는 모든 수치는 2018년말 불변가치로 환산됨

○ 편익발생 기간

- 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』(2008)에 따라 댐건설 등과 같은 토목공사의 내구연수를 50년으로 정하고 있음
- 따라서 본 사업에서는 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』(2008)에 근거하여 편익발생 기간을 50년으로 설정

○ 사회적 할인율

- 장기간에 걸쳐 발생하는 비용과 편익을 기준년도를 기준으로 합산하기 위해서는 각 연도별 비용과 편익을 사회적 할인율을 통해 현재가치화해야 함
- 사회적 할인율은 기준이자율, 사회적 시간선호율, 재무적 할인율 등을 종합적으로 고려하여 도출되는데, 본 사업에서는 『2017년도 예비타당성조사 운용지침』(기획재정부, 2017)에 의거하여 편익발생 30년까지는 4.5%를 적용하고, 그 이 후에 대해서는 3.5% 적용

□ CVM 추정모형(1.5 양분선택형모형)

- 1.5 양분선택모형 적용시 i 번째 응답자가 응답하는 상황은 다음과 같이 6개의 변수를 도입하여 묘사할 수 있으며, 처음의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^L 을 제시한 경우에 해당하며, 뒤의 3개 경우는 첫 번째 질문에서 A^U 를 제시한 경우에 해당

$$\begin{cases} I_i^{YY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "예-예"}) \\ I_i^{YN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "예-아니오"}) \\ I_i^N = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오"}) \\ I_i^Y = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "예"}) \\ I_i^{NY} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오-예"}) \\ I_i^{NN} = 1(i\text{번째 응답자의 응답이 "아니오-아니오"}) \end{cases} \quad (1)$$

- 이제 효용극대화를 추구하는 N 명의 표본을 가정할 경우 i 번째 응답자의 응답결과를 6개로 구분하여 다음과 같이 로그-우도함수를 구성 가능

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} &I_i^{YY} \ln[1 - G_C(A_i^U)] \\ &+ I_i^{YN} \ln[G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ &+ I_i^N \ln G_C(A_i^L) \\ &+ I_i^Y \ln[1 - G_C(A_i^U)] \\ &+ I_i^{NY} \ln[G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ &+ I_i^{NN} \ln G_C(A_i^L) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- 그런데 식 (2)를 좀 더 들여다보면 다음과 같이 보다 간단하게 정리됨을 알 수 있으므로, 실제 추정시에는 식 (2')를 이용

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} &(I_i^{YY} + I_i^Y) \ln[1 - G_C(A_i^U)] \\ &+ (I_i^{YN} + I_i^{NY}) \ln[G_C(A_i^U) - G_C(A_i^L)] \\ &+ (I_i^N + I_i^{NN}) \ln G_C(A_i^L) \end{aligned} \right\} \quad (2')$$

□ 평균 WTP의 추정

- 통상적인 관례에 따라, $F_{\eta}(\cdot)$ 를 로지스틱(logistic)누적분포함수로 정형화하고 이것을 $\Delta V = a - bA$ 와 결합하면 WTP의 누적분포함수는 다음의 형태를 취함

$$G_C(A) = [1 + \exp(a - bA)]^{-1} \quad (3)$$

- 이제 식 (3)을 이용하여 WTP의 평균값과 중앙값을 다음과 같이 구할 수 있으며, 식 (4)는 일반적 의미에서의 평균값이며 식 (5)는 음의 부분이 잘렸다는 측면에서 절단된 평균값(truncated mean)이 됨

$$C^+ = C^* = a/b \quad (4)$$

$$C^{++} = (1/b) \ln [1 + \exp(a)] \quad (5)$$

□ 실증분석 결과

- 부남호 기수역 복원사업에 대한 가구의 WTP를 묻는 CVM 설문조사는 2019년 10월에 시행되었음
- 추정결과 제시금액 항에 대한 추정계수는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하며 부호도 선형적인 예측과 일치
 - 예를 들어, 제시금액에 대한 추정계수는 음수로 추정되었는데 이것은 제시금액이 커질수록 제시금액에 대해 “예”라고 응답할 확률이 낮아짐을 의미하므로 합리적으로 추정되었음을 확인
 - 한편 추정된 방정식의 통계적 유의도를 살피기 위해, ‘모든 추정계수는 0이다’라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 Wald-통계량(w)을 구성할 수 있으며, Wald 통계량을 이용할 경우 추정된 모든 계수가 0이라는, 즉 추정된 결과가 무의미하다는 귀무가설을 유의수준 1%에서 기각
- 추정결과로부터 계산된 WTP의 평균값은 다음 표에 제시되어 있는데 가구당 연간 3,087원으로 계산되었음

- 델타법(delta method)을 적용하여 추정된 이 값에 대한 t -값은 16.34로 계산되므로 추정된 평균 WTP는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함
- 무작위 반복표본추출의 회수는 5,000번으로 하였으며, 95% 신뢰구간 및 99% 신뢰구간의 계산결과는 다음 표에 제시

표 4.4.4. 실증분석 결과

구분	추정치	t -값
상수항	-0.0217	-0.35
제시금액항	-0.2209	-17.77*
Log-likelihood	-1386.258	
Wald-statistic (p-value)	346.35* (0.000)	
Sample size	1,000	

주: *은 유의수준 1%에서 유의함을 뜻함

표 4.4.5. 가구당 WTP의 대표값 추정결과

구분	추정치
연간 가구당 평균 WTP	3,087원
t -값	16.34*
95% 신뢰구간	2,751원 - 3,485원
99% 신뢰구간	2,653원 - 3,632원

주: *은 유의수준 1%에서 유의함을 뜻하며, 표준오차는 델타법(delta method)을 적용하여 추정되며, 평균 WTP 추정에 수반된 불확실성을 반영한 신뢰구간의 계산을 위해 Krinsky and Robb(1986)이 제안한 모수적 부트스트랩(parametric bootstrap) 기법인 몬테칼로 시뮬레이션 기법을 적용(Park et al., 1991; Cooper, 1994)

□ 추정된 평균값 WTP

- 1,000가구라는 전국표본에 대해 도출된 부남호 기수역 복원사업에 대한 가구의 WTP 정보를 활용하여 우리나라 전체라는 모집단으로 확장하는 작업이 필요
- 설문의 대상자는 가구 내에서 책임을 갖고 의사결정을 할 수 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 주부만으로 한정하였고, 표본도 전국을 대상으로 하였으므로 우리나라 전체 가구의 의견을 잘 반영하고 있음
- CVM은 특정한 현재 상태에서 특정한 목표 상태로 개선되는 것과 관련된 편익을 추정할 때 적용되는 기법이므로 향후 부남호 기수역 복원사업의 규모가 조정될 경우 상황에 맞게 새로이 CVM 연구 수행 필요
- 그러나 설문조사 수행시점은 2019년 10월이며 경제성 분석의 기준시점은 KDI의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』(2008)에 따라 전년도 말인 2018년 12월이므로 이 값을 소비자 물가지수를 이용하여 2018년 12월 기준으로 보정해 줄 필요가 있음
- 통계청에 따르면 설문조사 수행시점인 2019년 10월 기준 소비자 물가지수는 105.46(2015년=100)이며 2018년 12월 소비자 물가지수는 104.35(2010년=100)이므로, 2018년 12월 기준 불변가격으로 조정한 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익은 연간 가구당 평균 3,055원으로 추정
- 이 값에 조사시점인 2019년 기준 통계청 추계 가구수를 곱하면 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익을 전국 값으로 확대 가능
- CVM을 적용하여 구한 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익은 연간 61,458백만원으로 추정
- 연간 가구당 평균 WTP 추정치에 전국 가구수를 곱해주면 본 사업의 내국민 비시장적 편익에 대한 정보를 얻을 수 있고, 2019년 기준 전국 가구수는 20,115,725가구로 통계청(www.kosis.kr)의 추계 가구수 정보를 활용
- 따라서 2018년 12월 시점으로 표현한 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익은 연간 약 61,458백만원임
- 아울러 본 조사에서는 설문지에 지불기간을 5년으로 제시하였고, 할인율은

기획재정부의 『2017년도 예비타당성조사 운용지침』(2017)에 근거하여 4.5%를 적용하므로, 부남호 기수역 복원사업의 환경개선에 대한 경제적 편익의 총 현재가치는 258,179백만원으로 추정됨

- 부남호 기수역 복원사업의 환경개선 편익의 총 현재가치는 776,367백만원으로 편익발생 기간인 50년 동안(2025년-2074년)에 걸쳐 해당연도의 값으로 배분한 결과 매년 15,527백만원의 편익 발생

* 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)』(2008)에 의거하여 편익발생기간을 50년으로 설정

표 4.4.6. 부남호 기수역 복원사업의 연간 경제적 편익

중앙값 WTP 추정치 (단위: 원/가구/년)	2019년 기준 통계청 추계 가구수	연간 총편익 (단위: 백만원)
3,055	20,115,725	61,458

주: 2018년말 불변가격 기준

표 4.4.7. 부남호 기수역 복원사업 환경개선 편익의 현재가치 (단위: 백만원)

연도	편익의 현재가치
1차년도 (2020년)	56,279
2차년도 (2021년)	53,855
3차년도 (2022년)	51,536
4차년도 (2023년)	49,317
5차년도 (2024년)	47,193
총 편익	258,179

주: 2018년말 불변가격 기준

3. 경제성 분석

□ 경제성 분석의 개요

- 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용(B/C) 비율, 내부수익율(IRR), 순현재가치(NPV) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용함
- 사업의 비용, 편익은 장시간에 걸쳐 투입되거나 발생하기 때문에 할인율을 적용하여 이를 특정기간(일반적으로 현재년도)에 발생하는 것으로 환산하여 비교하게 되는데 이를 ‘현재가치화’라고 함
- 편익/비용 비율, 순현재가치, 내부수익률은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있고, 어느 한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있으므로 본 과업에서는 B/C 비율, 순현재가치, 내부수익률을 모두 분석하여 경제적 타당성을 분석하였음

표 4.4.8. 경제성 분석 기법의 비교

분석기법	장 점	단 점
편익/비용 비율	<ul style="list-style-type: none"> • 이해 용이 • 사업규모 고려 가능 • 비용편익 발생기간의 고려 	<ul style="list-style-type: none"> • 편익과 비용의 명확한 구분 곤란 • 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 • 사회적 할인율의 파악
순현재가치	<ul style="list-style-type: none"> • 대안 선택 시 명확한 기준 제시 • 장래발생편익의 현재가치 제시 • 한계 순현재가치 고려 • 타 분석에 이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 할인율의 분명한 파악 • 이해의 어려움 • 대안 우선순위 결정시 오류발생 가능
내부수익률	<ul style="list-style-type: none"> • 사업의 수익성 측정 가능 • 타 대안과 비교가 용이 • 평가과정과 결과 이해가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> • 사업의 절대적 규모 고려치 않음 • 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내제

- 편익/비용 비율이란 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용 비율) ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익·비용 비율 } (B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
 r : 할인율(이자율)
 n : 내구연도(분석연도)

- 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 r 을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{내부수익률 } (IRR) : \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
 IRR : 내부수익률
 n : 내구연도(분석연도)

- 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{순현재가치 } (NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
 r : 할인율(이자율)
 n : 내구연도(분석연도)

- 각 방안별 문제점을 간략하게 지적하면 우선, B/C 비율과 내부수익률을 사용함에 있어 애매한 경우가 다소 있음
- 구체적으로 B/C 비율은 재투자 비용이 드는 사업을 평가함에 있어 재투자 비용을 비용측면으로 산정할 것인지 혹은 음의 수익으로 산정할 것인지에

따라 다른 값을 가짐

- 내부수익률은 사업규모가 다른 경우 내부수익률만으로는 우열을 가리기 힘들다는 문제가 있으며 사업간 상호 독립적이란 가정 하에 도출하는데, 만약 사업간 상호배타적인 경우, 즉 경쟁적 관계의 사업에서 다수의 내부수익률을 가지는 경우가 발생할 수 있는 문제점이 있음
- 내부수익률 및 B/C 비율의 문제점으로 인해 일반적으로 순현재가치가 우월하다고 알려져 있지만, 순현재가치 또한 예산상 제약이 있는 경우 한계가 있음
- 결국 어떤 사업의 경제적 타당성의 유무판단기준으로서 어느 한 기준에 전적으로 의존하는 것은 문제가 있음을 인식해야 하며, 결론적으로 순현재가치, 내부수익률 및 B/C 비율 세 가지를 모두 적절하게 고려한 후 의사결정을 내리는 것이 타당함

□ 경제성 분석의 주요 전제

- 경제성 분석에 있어 비용과 편익은 모두 사회적 비용 및 편익으로 간주할 수 있는데 일반적으로 공공투자시설의 경우 비용은 실질적으로 투자되는 비용을 계상하는 반면 편익은 회수방법을 통한 실제수익이 아닌 사회적 편익을 기준으로 함
- 본 연구에서도 먼저 비용 및 편익을 산정하고 이로부터 사업의 경제성을 분석함
- 본 사업의 투자기간은 2020년부터 2024년까지이며, 편익은 2025년부터 2074년까지 발생하여, 2020년부터 2074년까지가 경제성 분석 대상 기간임
- 현재가격은 2018년말을 기준으로 사업의 비용 및 편익에 적용하고 본 사업은 그 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면, 편익은 사업 종료 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가함

□ 경제성 분석 결과

- 부남호 기수역 복원사업에 대한 경제성 분석 결과는 다음의 표와 같음
- 분석결과 총비용의 현재가치는 254,609백만원, 총편익의 현재가치는 258,179백만원으로 추정되어 순현재가치는 12,570백만원으로 나타났으며, 편익-비용 비율은 1.05로 분석되어 경제성 분석 기준인 1.0을 초과
- 다만, 내부수익률이 사회적 할인율 4.5%에 약간 못 미치는 4.3%로 나타났지만, 순현재가치와 편익-비용 비율이 경제성 분석 기준을 상회하므로, 본 사업은 경제적 타당성을 확보하였다고 판단

표 4.4.9. 부남호 기수역 복원사업의 경제성 분석 결과

(단위: 백만원)

구분	현재가치 합계		순현재가치 (NPV)	편익-비용 비율 (B/C ratio)	내부수익률 (IRR)
	편익	비용			
값	258,179	245,609	12,570	1.05	4.3%

표 4.4.10. 비용 및 편익의 흐름

(단위: 백만원)

연도	비용		편익		순편익	
	값	현재가치	값	현재가치	값	현재가치
2020	68,486	62,715			-68,486	-62,715
2021	67,815	59,426			-67,815	-59,426
2022	72,182	60,529			-72,182	-60,529
2023	62,565	50,205			-62,565	-50,205
2024	20,670	15,872			-20,670	-15,872
2025			15,527	11,410	15,527	11,410
2026			15,527	10,919	15,527	10,919
2027			15,527	10,448	15,527	10,448
2028			15,527	9,998	15,527	9,998
2029			15,527	9,568	15,527	9,568
2030			15,527	9,156	15,527	9,156
2031			15,527	8,762	15,527	8,762
2032			15,527	8,384	15,527	8,384
2033			15,527	8,023	15,527	8,023
2034			15,527	7,678	15,527	7,678
2035			15,527	7,347	15,527	7,347
2036			15,527	7,031	15,527	7,031
2037			15,527	6,728	15,527	6,728
2038			15,527	6,438	15,527	6,438
2039			15,527	6,161	15,527	6,161
2040			15,527	5,896	15,527	5,896
2041			15,527	5,642	15,527	5,642
2042			15,527	5,399	15,527	5,399
2043			15,527	5,166	15,527	5,166
2044			15,527	4,944	15,527	4,944
2045			15,527	4,731	15,527	4,731
2046			15,527	4,527	15,527	4,527
2047			15,527	4,332	15,527	4,332
2048			15,527	4,146	15,527	4,146
2049			15,527	3,967	15,527	3,967
2050			15,527	3,796	15,527	3,796
2051			15,527	3,633	15,527	3,633
2052			15,527	3,477	15,527	3,477
2053			15,527	3,327	15,527	3,327
2054			15,527	3,184	15,527	3,184
2055			15,527	4,348	15,527	4,348
2056			15,527	4,201	15,527	4,201
2057			15,527	4,059	15,527	4,059
2058			15,527	3,922	15,527	3,922
2059			15,527	3,789	15,527	3,789
2060			15,527	3,661	15,527	3,661
2061			15,527	3,537	15,527	3,537
2062			15,527	3,418	15,527	3,418
2063			15,527	3,302	15,527	3,302
2064			15,527	3,190	15,527	3,190
2065			15,527	3,082	15,527	3,082
2066			15,527	2,978	15,527	2,978
2067			15,527	2,878	15,527	2,878
2068			15,527	2,780	15,527	2,780
2069			15,527	2,686	15,527	2,686
2070			15,527	2,595	15,527	2,595
2071			15,527	2,508	15,527	2,508
2072			15,527	2,423	15,527	2,423
2073			15,527	2,341	15,527	2,341
2074	-21,545	-3,138	15,527	2,262	37,072	5,400
합계	270,172	245,609	776,367	258,179	506,194	12,570

□ 민감도 분석

- 민감도 분석(sensitivity analysis)은 투자비나 경제성에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수(비용, 편익, 할인율 등)에 대해서 각 변수가 일정량만큼 변화 되었을 경우 경제성이 어떻게 변화하는지 파악하기 위해서 시행
 - 편익 및 비용 변화에 대한 민감도 분석을 위해서 편익 변화와 비용 변화를 $\pm 20\%$ 까지 10%p씩 변화시켜 다음의 표에 제시
- 민감도 분석 결과, 부남호 기수역 복원사업의 총사업비 변화에 따라 경제적 타당성 확보 여부가 바뀔 수 있으므로, 비용 산정에 신중한 판단이 요구

표 4.4.11. 편익 및 비용의 변화에 따른 민감도 분석(B/C)

구분	변화율(%)				
	-20	-10	0	+10	+20
편익변화	0.84	0.95	1.05	1.16	1.26
비용변화	1.31	1.17	1.05	0.96	0.88

1. 평면배치계획

□ 기본 방향

○ 개요

- 기본구상(안) 제시에 따른 평면배치계획(안)을 수립하고, 기존 시설을 최대한 활용하여 과도한 사업비가 발생하지 않도록 경제성 있는 계획, 발주처 및 시행기관과의 협의사항 등을 최대한 반영한 계획을 제시함
- 기본구상(안)의 주안점 등을 면밀히 검토하여 주민의견이 반영된 평면배치계획(안)을 수립하도록 함
- 기존 평면배치계획에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 사업의 효율성을 증대시킬 수 있는 평면배치계획(안)을 수립하도록 함

○ 기본 방향 설정

- 기본구상(안)의 주안점의 ‘기존 천수만 내 부남호 내·외측의 환경개선 및 생태복원 추진’에 맞는 기본방향 설정
- 기존 제방에 바닥에 암거를 설치하여 해수 소통을 원활히 하여 부남호 내의 환경개선 및 생태복원을 추진
- 기존 수문을 그대로 두고, 제방의 중앙부분을 계획에 맞춰 제거하고 암거를 설치하는 것으로 계획
- 본 기본계획에서는 다루지 않았으나, 설계 시 기존 제방 제거 시 공사장비의 작업성 및 기존 도로의 활용을 고려하여 필요시 공사용 가도를 계획하여야 함
- 기존 제방 제거에 따라 발생하는 토사는 경제성, 환경성, 발주처 및 시행기관의 의견 등을 고려하여 적절한 처리계획을 계획하도록 함
- 기본구상(안)의 주안점 ‘인근 양식장 및 어민들의 피해를 최소화하는 범위 내에서 사업의 효율성을 증대시킬 수 있도록 계획하도록 함

□ 평면배치계획 (안) 수립

○ 개요

- 기본방향 설정에 대한 천수만 내 부남호의 평면배치계획(안)을 수립하고, 각 세부내용에 대해 설명함
- 그림 4.5.1.은 평면배치계획(안)을 그림으로 표현한 것임

○ 구간별 세부 내용

가. 암거설치구역

- 제방을 일부구간 제거하고 암거를 설치하여 물의 흐름을 원활히 하여 부남호 내·외측의 환경개선 및 생태복원 추진'에 맞는 기본방향 설정

나. 통선문 설치구역

- 기존 수문 위치에 선박의 통항을 위한 통선문을 설치하여 원활한 선박 통항 흐름을 원활히 하고, 부남호 내·외측의 환경개선 및 생태복원 추진'에 맞는 기본방향 설정

다. 제방보강구역

- 부남호 북쪽 기수역의 농지의 농업용수 확보를 위하여 암거설치 및 통선문 설치로 인한 해수유통후 해수의 침투를 막기 위하여 제방을 보강하고, 차수를 하여 염해피해를 방지하는 계획

라. 갯벌복원 구역

- 해수소통으로 인한 갯벌복원 구역을 2개의 존으로 갯벌체험 마을 등의 레저 시설을 계획하여 많은 관광 인프라를 계획

○ 제거토사 투기 계획 (안)

- 기존 제방 제거에 따라 발생하는 토사는 생태계 복원 및 환경개선사업의 취지 및 경제성 측면, 발주처 및 시행기관의 의견을 반영하여 인근 부지에 매립하는 것으로 계획함
- 기존 제방 제거토사 중 유용(제방 신설)후 잔량에 대한 매립면적이 투기가 가능한 인근 부지에 매립하는 것으로 계획함
- 만약 반출시 예상되는 운반비가 사업비에 추가로 예상되어 경제성이 불리함

- 부남호 내·외측의 환경개선 및 생태복원의 취지를 최대한 살리고, 경제성 측면을 고려하여 인근 부지를 활용한 투기가 적정하다고 판단됨

○ 통선문 운영계획 (안)

- 통선문 설치로 필요에 따른 선박 등의 원활한 통항을 효율적으로 운영하기 위하여 부남호 내 수위 및 유입량/유출량, 노출시간 등을 주기적으로 관리할 수 있도록 기준 설정, 연간 및 월간 운영계획을 수립
- 통선문의 원활한 운영을 위해 운영 및 유지관리에 대한 시설관리자 선임, 정기점검 및 보수 계획 등 세부기준 마련 필요

○ 수문 운영계획 (안)

- 수문의 효율적인 운영을 위하여 부남호 내 수위 및 유입량/유출량, 노출시간 등을 주기적으로 관리할 수 있도록 기준 설정, 연간 및 월간 운영계획을 수립
- 수문의 원활한 운영을 위해 운영 및 유지관리에 대한 시설관리자 선임, 정기점검 및 보수 계획 등 세부기준 마련 필요



그림 4.5.1. 평면배치계획 (안)

2. 구조물 계획

□ 설계 조건

○ 자연조건

가. 조위

- 대상지역의 기본수준면 결정을 위하여 국립해양조사원의 보령 자료를 표준으로 조위를 결정함 (표 4.5.1.)

○ 하중조건

가. 자중

- 자중계산에 사용하는 단위체적중량은 실측치에 의하는 것이 원칙이나 다음표에 제시된 값을 표준으로 함 (표 4.5.2.)

○ 기타조건

가. 콘크리트의 강도

- 해수 또는 해수 물보라에 직접적으로 노출되는 콘크리트 구조물의 콘크리트 설계기준압축강도는 다음과 같음 (표 4.5.3.)

나. 마찰계수

- 구조물 활동에 대한 마찰저항력 계산에 사용되는 마찰계수는 정지 마찰계수로 하며 구조물 특성, 재료의 특성에 따라 다음과 같은 기준을 적용 (표 4.5.4.)

다. 안전률

- 안전율은 설계에 있어 여러 가지 불명확한 점을 보완하는 계수로써 구조물의 중요도가 클수록 커지며 항만구조물에서의 안전율은 활동, 전도, 원호활동을 기본적으로 검토함
- 본 과업에서는 제방 안정검토의 경우 원호활동을 검토하여야 하나 대상지역에 대한 지반조사 자료가 없으므로 향후 설계 시 지반조사를 실시하여 검토하도록 함

표 4.5.1. 조위표

구 분	조 위(m)	조위표(cm)
약 최 고 고 조 위(Approx. H.H.W)	DL(+)7.636	
대조평균고조위(H.W.O.S.T)	DL(+)7.003	
평 균 고 조 위(H.W.O.M.T)	DL(+)6.112	
소조평균고조위(H.W.O.N.T)	DL(+)5.221	
평 균 해 면(M . S . L)	DL(+)3.818	
소조평균저조위(L.W.O.N.T)	DL(+)2.415	
평 균 저 조 위(L.W.O.M.T)	DL(+)1.542	
대조평균저조위(L.W.O.S.T)	DL(+)0.633	
약 최 저 저 저 위(Approx. L.L.W)	DL(±)0.000	

표 4.5.2. 재료의 단위체적 중량

재 료	단위체적중량(kN/m ³)	재 료	단위체적중량(kN/m ³)
강제 및 주강	77.0	아스팔트콘크리트	22.6
주 철	71.0	석재(화강암)	26.0
알루미늄	27.5	석재(사암)	25.0
철근콘크리트	24.0	모래, 자갈, 깬돌(건조상태)	16.0
무근콘크리트	22.6	모래, 자갈, 깬돌(습윤상태)	18.0
목재	7.8	모래, 자갈, 깬돌(포화상태)	20.0

* 자료 : 항만 및 어항설계기준·해설(상권), 2014, p372

표 4.5.3. 설계기준압축강도

구 분	압축강도(Mpa)	비 고
철근콘크리트	35	
프리스트레스 콘크리트	35	
무근 콘크리트	30	

자료 : 항만 및 어항설계기준·해설(상권), 2014, p415

표 4.5.4. 정지마찰계수

구 분	마찰계수	비 고
콘크리트와 콘크리트	0.5	
콘크리트와 암반	0.5	
수중콘크리트와 암반	0.7~0.8	표준조건은 0.8
콘크리트와 사석	0.6	
사석과 사석	0.8	
목재와 목재	0.2(습)~0.5(건)	
마찰증대용 매트와 사석	0.75	

자료 : 항만 및 어항설계기준·해설(상권), 2014, p384

□ 시설계획

○ 개요

- 국내·외 적용된 수문구조물, 통선문 및 제방에 대한 최신기법을 조사하여 비교 검토
- 시설에 대한 비교를 통해 운영이 용이하고, 구조적으로 안정성이 있으며, 시공성 및 경관성이 양호하고 경제적인 시설을 선정
- 본 과업에 대한 시설계획은 암거 및 수문 1개소 설치, 통선문(기립식 교량 및 갑문 각 2본) 및 도로계획, 제방 보강 1개소, 제방 신설 1개소, 갯골조성 등이며 각 공정별 시설 위치는 다음과 같음 (그림 4.5.2.)

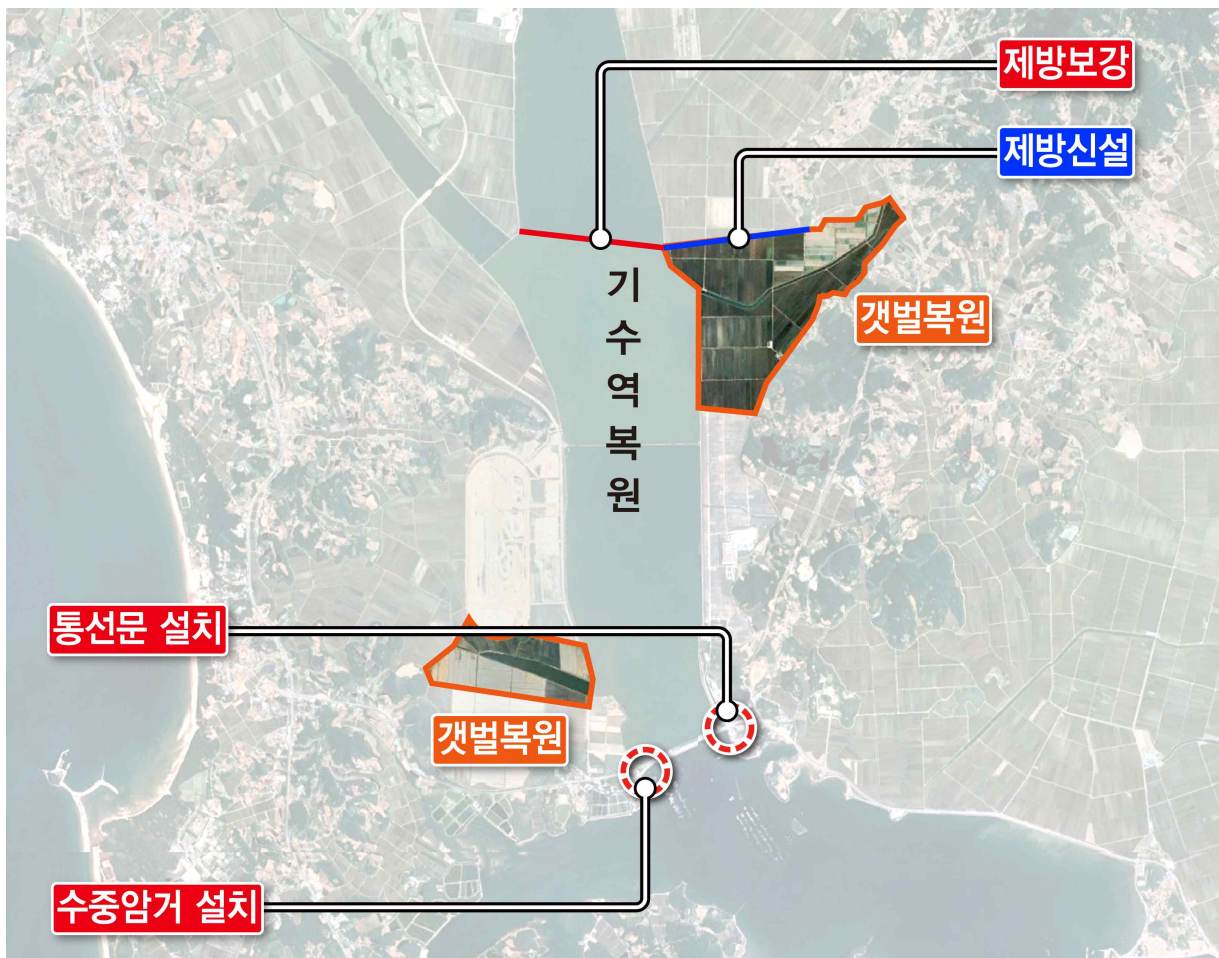


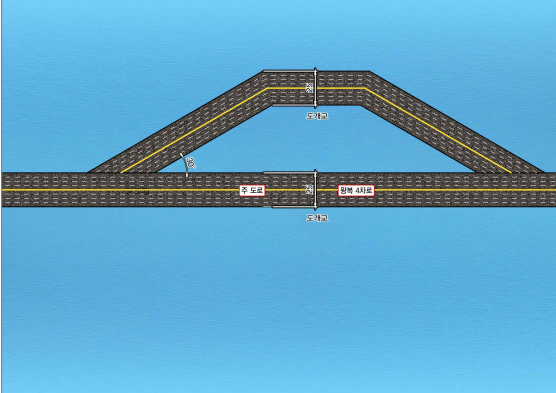
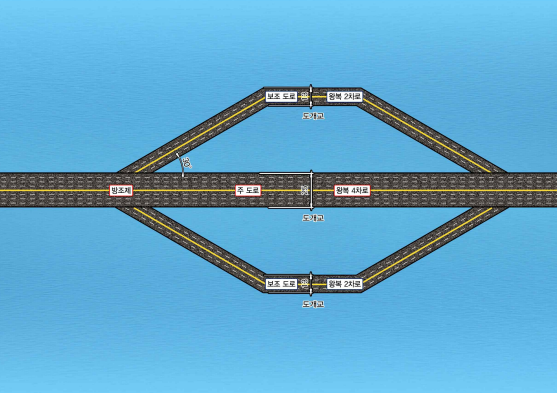
그림 4.5.2. 시설계획 위치도

□ 갑문계획

○ 갑문 구간 평면계획(안)

- 갑문시설 및 도개교 구간의 평면계획을 수립 시 차량이 상시통행이 가능하도록 고려할 필요가 있음
- 요트나 어선 통과에 따른 도개교 오픈 시 현재 4차선 운영 중인 차량 통행에 지장을 주지 않기 위해 아래와 같이 계획
- 1안) 4차선 2개 도로(주 도로) 계획으로 각 도로 양방향 통행 가능토록 계획
- 2안) 4차선 1개(주 도로), 2차선 2개 도로(보조 도로) 계획
- 경제성 및 이용성, 유지 관리성 등을 고려하여 제1안 반영

표 4.5.5. 평면계획 비교

구분	제1안	제2안
평면		
개요	<ol style="list-style-type: none"> 1. 왕복 4차선 2개 도로로 각 노선별 양방향 통행 가능 2. 갑문시설 및 도개교 각각 2개소 필요 3. 최소한의 수역 면적 소요 4. 2안 대비 경제성 양호 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 왕복 4차선 1개 도로, 왕복 2차선 2개 도로로 각 노선별 양방향 통행 또는 왕복 2차선 도로는 편도 2차선으로 일방향 통행 유도 가능 2. 갑문시설 및 도개교 각각 3개소 필요 3. 수역 면적 소요가 큼 4. 1안 대비 경제성 불리

○ 대상선박

- 장래 갑문을 이용할 대상선박은 아래와 같이 추정하여 적용하고, 추후 주변 운항선박 및 향후 추진사업 조건을 고려한 통항가능 대상선박을 검토하여 조정 필요
- 어선(양식어선) : 30GT급 (20.0m(L) × 4.8m(B) × 1.8m(Df))
- 요트(동력선) : 50톤이하, 15.0m(L) × 5.0m(B) × 2.0m(Df), 마스트 높이 8m (수면상)

○ 갑문시설

- 경인운하사업 자료를 활용하여 적정 규모로 적용하고, 추후 조정필요
- 갑문의 문비형식으로는 크게 마이터, 섹터, 슬라이딩, 리프팅 게이트 등으로 구분되며, 자연 현황, 대상선박 등을 고려하여 최적안을 선정하여야 함
- 여기서는 경제성, 이용성 등을 고려하여 마이터 형식으로 선정

표 4.5.6. 문비 형식 비교(1/2)

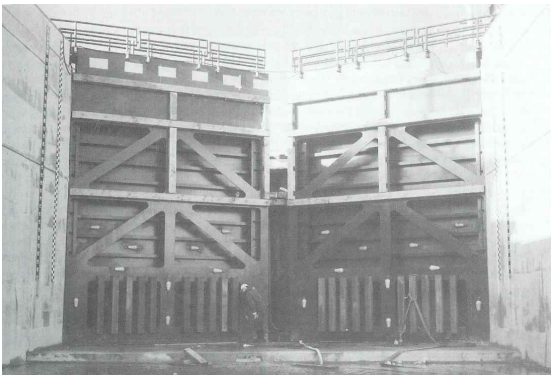
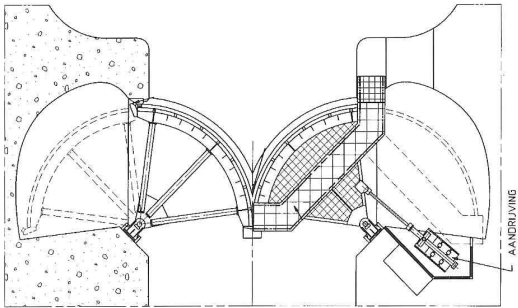


구분	마이터 게이트	섹터 게이트
그림		
장점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 자재 이용의 효율성 높고 시공비가 낮음 2. 정비 보수가 용이 3. 작동이 신속 4. 마스트 높이에 제한이 없음 5. 가로 방향 공간 필요 조건이 없음 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수위의 고저가 뒤바뀌어도 작동가능 2. 물이 흐르는 경우에도 작동가능 3. 작동이 용이 4. 마스트 높이에 대한 제한이 없음
단점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 갑문 내외의 수위차가 클 경우 2세트의 문짝 필요 2. 폭이 넓을 경우 변형 3. 얼음 및 부유물에 약함 4. 운영에 필요한 전력 소모가 큼 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 시공 비용이 고가 2. 안팎의 수위차가 큰 경우 충배수가 어려움 3. 얼음이나 부유물에 취약 4. 개폐시간이 김 5. 갑벽 문비실 저장공간이 크게 필요

표 4.5.7. 문비 형식 비교(2/2)

구분	슬라이딩 게이트	리프팅 게이트
그림		
장점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 갑문에 대해 종방향 필요공간이 적음 2. 갑문 안팎 수위 고저가 뒤바뀌고 수위차가 높아도 작동이 가능 3. 작동이 신속함 4. 형하고 제한이 없음 5. 갑실 배수시 보수정비가 용이 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 갑벽에 문비 활동공간이 별로 필요하지 않음 2. 갑문 안팎 수위 고저가 뒤바뀌어도 작동이 가능 3. 작동이 신속
단점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 철재(steel) 소요가 상대적으로 많아 시공비 고가 2. 횡방향으로 들어가는 공간이 많이 필요 3. 얼음이나 부유 찌꺼기에 약함 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상대적으로 철재가 많이 들어 공사비가 고가 2. 인양 가능 높이로 인해 형하고가 제한 3. 갑문 안팎의 수위차가 높은 경우, 리프팅 타워가 아주 높아짐 4. 주변에서 눈에 잘 보임 5. 문짝이 들려 올려지므로, 보수정비가 어려움

- 갑문시설 제원(1개소)을 아래와 같이 적용함(요트 기준)
- 갑실 : 35m(L)×14.5m(B) (상단고 EL.(+)6.5m, 하단고 EL.(-)6.0m)
- 갑실 : 35m(L)×14.5m(B)
- 차량의 상시 통행을 고려하여, 해측과 내측에 갑문 시설 각 1개소씩 총 2개소 설치
- 갑문과 갑문사이에 요트 기준 10대정도의 선박 대기를 위한 장소를 조성하려 하였으나, 지형 및 공간적 제약에 따라 미 고려함. 대신 갑문과 갑문사이에 임시 대기하는 것으로 계획함.
- 통제소, 장비 적치장 등 추후 고려 필요
- 추정공사비는 1개소당 120억원으로, 2개소 240억원 반영

○ 도개교

- 요트와 같이 마스트가 높은 선박이 통행 시 지장을 주는 도로를 도개교로 반영하여 선박 통행이 가능토록 계획
- 현재 사용중인 도로폭 25m를 감안할 시, 금번 계획할 시설규모는 부산 영도대교와 비슷할 것으로 판단
- 도개교 구간 : 폭 24.3m, 연장 31.3m
- 기계실 구간 : 폭 24.3m, 연장 13.84m

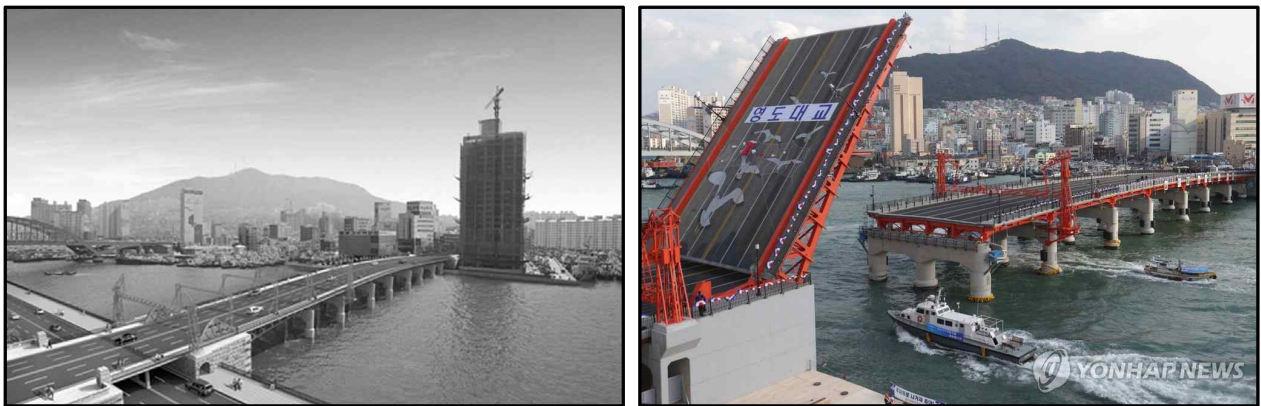


그림 4.5.3. 영도대교 전경

○ 수문(암거)계획

가. 수문(암거) 형식 선정(안)

- 국내·외 기 시공된 수문(암거)중 운영성, 경제성, 시공성, 안정성, 효율성 등이 우수한 형식 선정

나. 수문(암거) 구조물 계획

- 해수의 유입과 유출을 제어하고 원활한 소통을 위한 목적으로 설치하며 계획된 위치에 설치하는 것으로 계획하였으며, 제원은 다음과 같음

○ 제방복원 계획

- 부남호의 해수 유·출입의 원활한 소통 등을 암거설치후 기존 제방 복원계획 수립

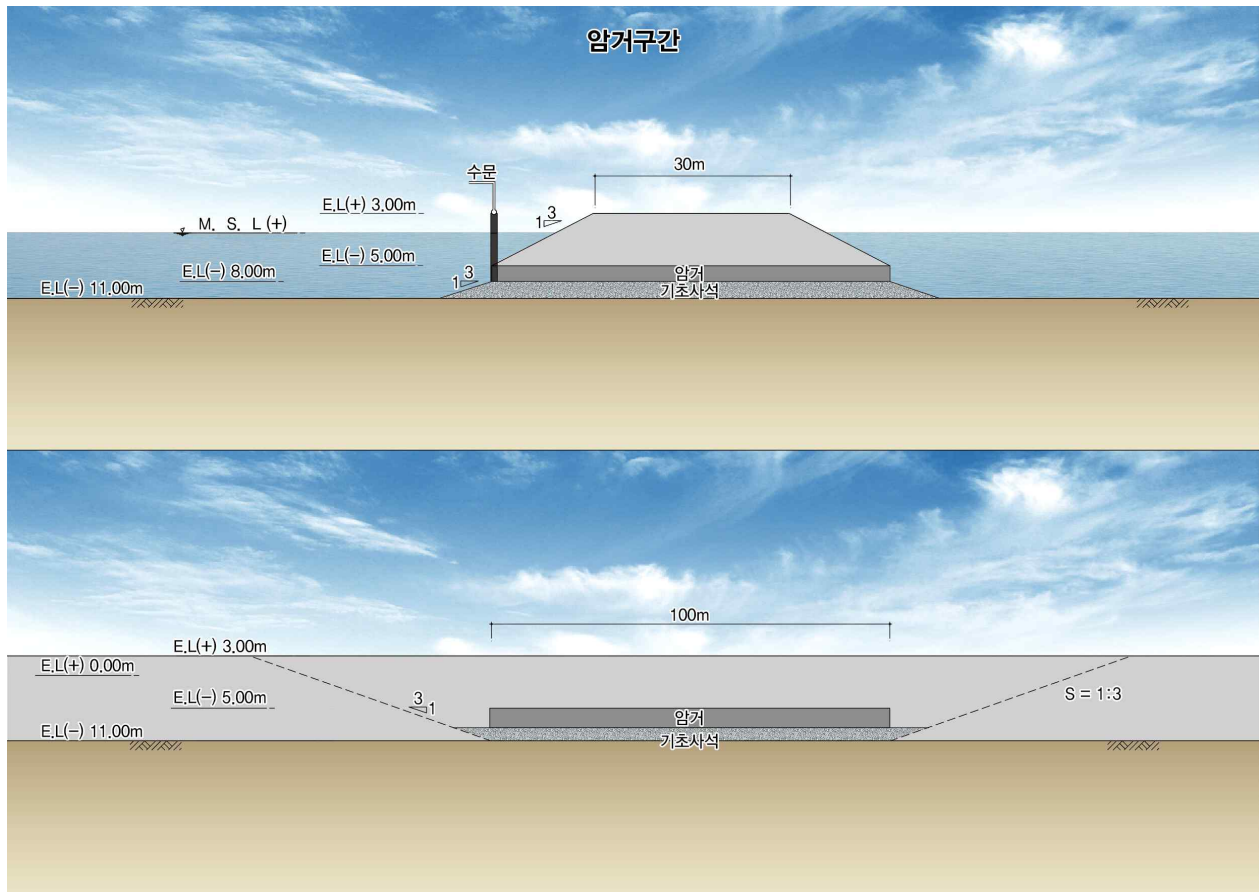


그림 4.5.4. 수문(암거) 시설 개념도

○ 제방 보강 및 논둑제거 계획

가. 제방 보강

- 농수의 확보와 갯벌조성구역의 조성을 위한 제방 보강계획
- 갯벌조성구역 북측의 제방을 보강하여 담수와 해수의 차수 예정
- 현재 제방을 차수하며 일정 수위 이상시 해수로 넘어오는 형식 선정

나. 제방 및 논둑제거 계획

- 갯벌복원의 원활한 조성을 위하여 기존 제방 및 논둑을 제거하여 해수유입이 원활하게 계획

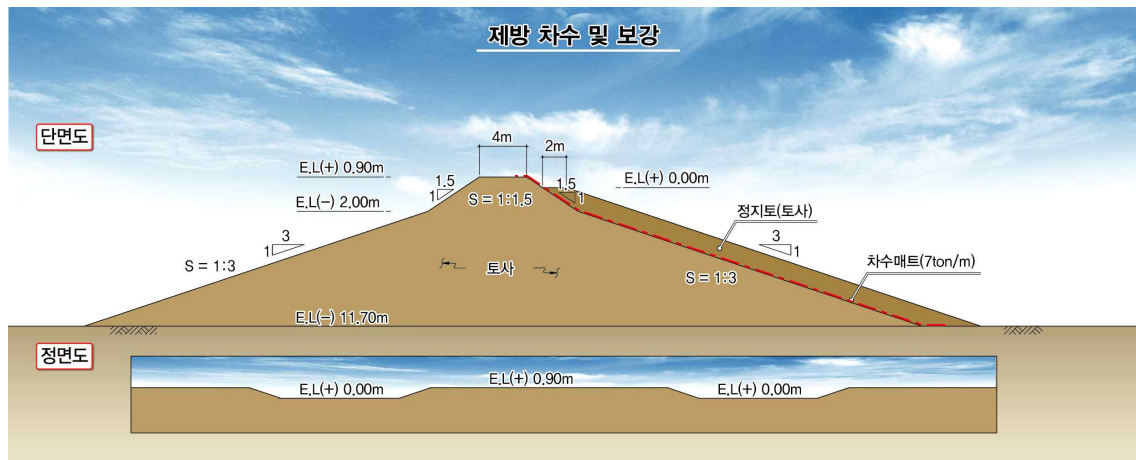


그림 4.5.5. 제방 차수 및 보강 개념도

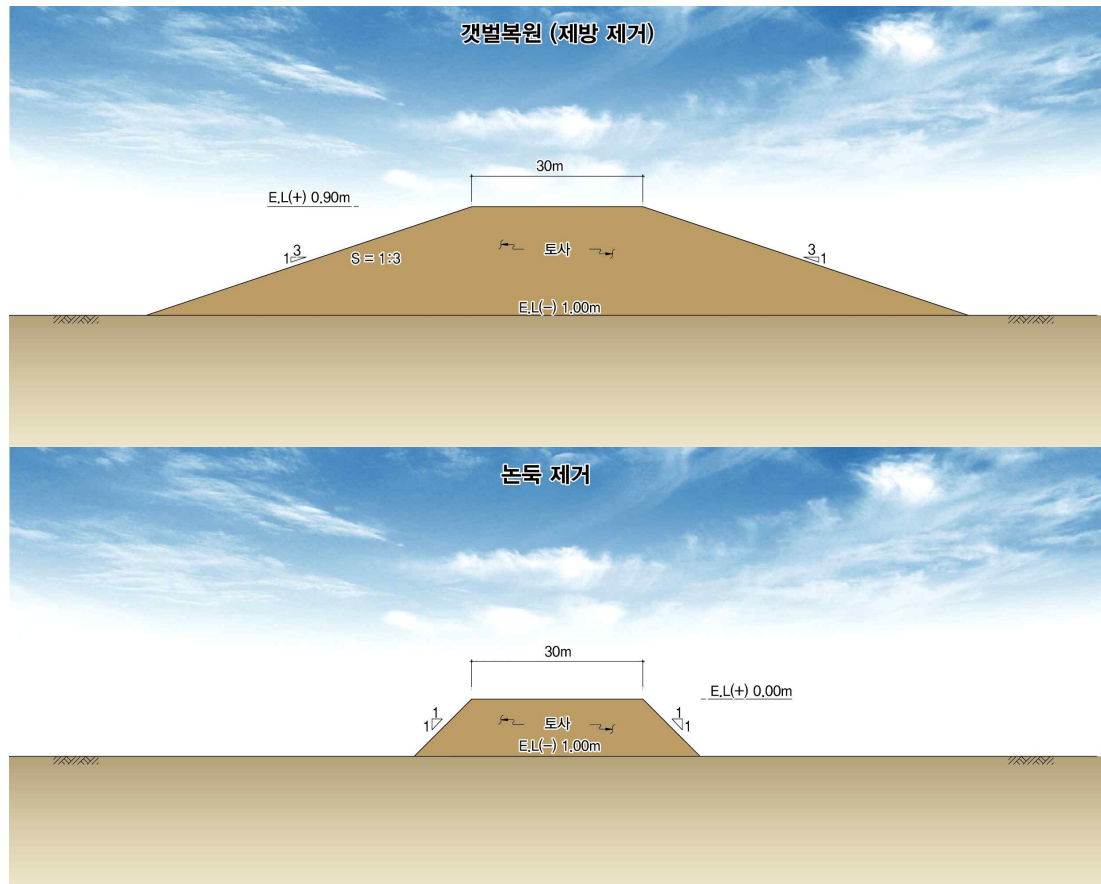


그림 4.5.6. 갯벌복원(제방) 및 논둑 제거 개념도

3. 건설 계획

□ 개요

- 천수만의 부남호 기수역 복원사업을 위한 건설계획으로, 해당 공정을 크게 수중암거 설치, 통선문 설치, 갯벌 복원, 준설(오니), 인공섬 설치, 제방차수, 신규제방, 논둑제거 등으로 구분함

□ 개략 공사비 산정

- 개략공사비 산정은 표준품셈과 정부노임단가, 자재단가, 실적공사비 등을 기준으로 작성하였음
- 개략공사비 산정결과 부남호 기수역 복원사업의 총 공사비는 약 297,189 백만원으로 산정됨
- 관련 공사비산정에 부지매입비는 포함하지 않았음

표 4.5.8. 개략공사비

구분	공사비(백만원)	비고
수중암거 설치	57,118	
통선문 설치	212,074	
갯벌 복원	1,263	
준설	19,696	
인공섬	—	준설비에 포함
제방 차수 및 보강	3,602	
신규제방	2,603	
논둑제거	833	
합 계	297,189	

※제방은 침투 및 안정에 대해 추후검토 필요

※모든 단면은 위성사진 및 해도를 토대로 추정하여 검토

□ 시공 및 공정 계획

- 시공계획은 발주처의 연도별 추진계획 및 부지매입 현황 등을 감안하여 기본 및 설계 시 구체적으로 계획될 필요가 있으므로, 본 과업에서는 시공순서에 대해 간단히 언급함
 - 시공순서는 1) 기존 및 신규제방 차수 및 보강 2) 기존 제방 제거 3) 옹기준설 4) 통선물 제방신설 5) 수문설치 6) 부남호 통수 순으로 시공계획을 수립함
 - 제방신설을 우선 시공할 수 있으며, 이때 기존 제방 제거가 병행되어야 함
- 공정계획은 발주처의 연도별 추진계획 및 주변 환경(어민, 농민, 생태계 등)을 감안한 계획의 수립이 필요하며, 향후 기본 및 설계 시 연도별 투입가능 사업비, 반입장비 규모 등 현장실정을 고려하여 결정되어야 함
- 천수만 방조제 서쪽 아랫부분 갯벌복원구역의 약 98ha 부지매입의 필요에 의해 공시지가 기준 감정가 8만원 기준으로 약 237억 정도의 부지매입 비용 발생 함

표 4.5.9. 천수만 복원사업 연도별 내용 및 추진계획(5개년)

사업내용	2020	2021	2022	2023	2024	이 후
부지매입						갯벌복원 남측 81.7ha
기본계획 수립						
기초조사(사전모니터링)		개발별 조사				
실시계획						
인허가 사항 추진						
천수만 복원 인프라구축			양식장이전			
사후모니터링						
일반 농어촌 개발 연계						

표 4.5.10. 천수만 복원사업 연도별 공사일정 및 개략공사비 계획(5개년)

(단위: 백만원)

구분		2020	2021	2022	2023	2024
준설	공사일정					
	공사비	10,000	9,696			
제방 차수 및 보강	공사일정					
	공사비	1,602	2,000			
논둑제거	공사일정					
	공사비	833				
신규제방	공사일정					
	공사비			1,500	1,103	
수중암거 설치	공사일정					
	공사비	15,000	15,000	15,000	12,118	
통선문 설치	공사일정					
	공사비	40,000	40,000	55,000	55,000	22,074
갯벌복원	공사일정					
	공사비				600	663
인공섬	공사일정					
	공사비					
총 공사비		67,435	66,696	71,500	68,821	22,737

4. 인허가 사항 검토

□ 개요

○ 기본 방향

- 사업지역 개발에 필요한 인허가 사항들을 사전에 검토하여 필요한 절차와 자료를 알아보고자 함
- 환경영향평가, 해역이용협의, 공유수면 점사용 등 관련 법률을 고려하여 조사

□ 관련법규

○ 환경영향평가 (소규모)

- 환경영향평가는 대상사업의 사업계획을 수립하려고 할 때에 그 사업의 시행이 환경에 미치는 영향을 미리 조사, 예측, 평가하여 좋지 못한 영향을 피하거나 줄일 수 있는 방안을 강구하는 것으로 착수 전 승인기관의 장에게 제출하여 승인을 득하거나 협의를 하여야 하는 사항임
- 환경영향평가 관련 승인 및 협의사항 유무에 대하여 검토하고자 함

○ 공유수면 점사용

- 공유수면이라 함은 바다, 하천, 호수, 늪 등 기타 공공용으로 사용되는 국유의 수류 또는 수면과 빈지로, 하천법의 적용을 받지 않는 것을 말하며 빈지란 만조 수위선으로 부터 지적공부에 등록된 지역까지의 사이를 말함
- 공유수면은 사권의 대상이 되지 못하며 그 점용, 사용 등은 관리청의 허가를 받아야함
- 위의 사항 등을 고려하여 필요한 절차 유무에 대하여 검토하고자 함

○ 해역이용협의

- 공유수면 점용허가권자는 공유수면 점용허가를 하기 전 미리 승인기관으로 부터 해역이용의 적정성 및 해양환경에 미치는 영향에 관하여 협의가 필요하며 이런 절차를 해역이용협의라 함
- 해역이용 협의 필요성에 대해 검토하고자 함

□ 환경영향평가

○ 환경영향평가법 관련 법령

가. 사후환경영향조사

<제3장 36조(사후환경영향조사)>

① 사업자는 해당 사업을 착공한 후에 그 사업이 주변 환경에 미치는 영향을 조사하고, 그 결과를 다음 각 호의 자에게 통보하여야 한다.

1. 환경부장관

2. 승인기관의 장(승인 등을 받아야 하는 환경영향평가 대상사업만 해당한다)

- 제3장 36조(사후환경영향조사)에 의하면 사후환경영향조사 수행 후 환경부장관과 승인기관장에게 통보 필요한 것으로 판단 됨

나. 환경영향평가 수행

<제4장 43조(소규모 환경영향평가의 대상)>

다음 각 호 모두에 해당하는 개발사업을 하려는 자는 소규모 환경영향평가를 실시하여야 한다.

1. 보전이 필요한 지역과 난개발이 우려되어 환경보전을 고려한 계획적 개발이 필요한 지역으로서 대통령령으로 정하는 지역에서 시행되는 개발사업

2. 환경영향평가 대상사업의 종류 및 범위에 해당하지 아니하는 개발사업으로서 대통령령으로 정하는 개발사업

- 제4장 43조(소규모 환경영향평가의 대상)에 의하면 소규모 환경영향평가 수행이 필요한 것으로 판단 됨

다. 환경영향평가서 협의

<제4장 44조(소규모 환경영향평가서의 작성 및 협조 요청 등)>

① 승인 등을 받아야 하는 사업자는 소규모 환경영향평가 대상사업에 대한 승인 등을 받기 전에 소규모 환경영향평가서를 작성하여 승인기관의 장에게 제출하여야 한다.

② 승인기관장등은 소규모 환경영향평가 대상사업에 대한 승인 등을 하거나 대상사업을 확정하기 전에 환경부장관에게 소규모 환경영향평가서를 제출하고 소규모 환경영향평가에 대한 협의를 요청하여야 한다.

- 제4장 44조(소규모 환경영향평가서의 작성 및 협조 요청 등)에 의하면 사업승인 전 환경영향평가서를 승인기관 장에게 제출하고 승인기관장은 환경영향평가서를 환경부장관에게 제출하여 그에 대한 협의를 할 필요가 있는 것으로 판단 됨

○ 환경영향평가 수행 절차

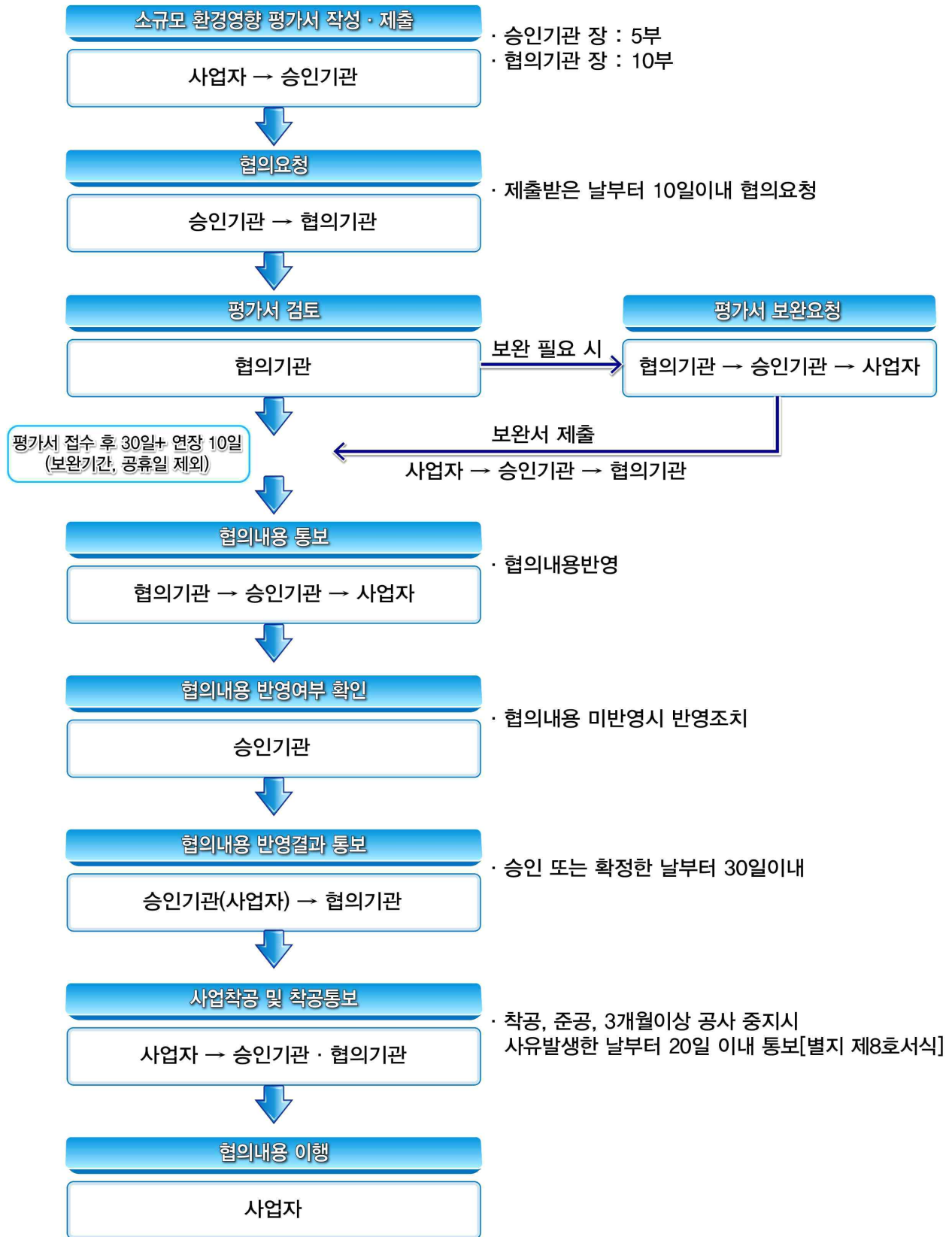


그림 4.5.7. 소규모 환경영향평가 절차

□ 해역이용협의

○ 해양환경 관리법 관련법령

가. 해역이용협의

<제9장 84조(해역이용협의)>

① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 면허·허가 또는 지정 등을 하고자 하는 행정기관의 장은 면허 등을 하기 전에 대통령령이 정하는 바에 따라 미리 해양수산부장관과 해역이용의 적정성 및 해양환경에 미치는 영향에 관하여 협의를 하여야 한다. 이 경우 제85조제1항의 규정에 따른 해역이용영향평가대상사업은 해역이용협의를 행한 것으로 본다.

1. 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」제 8조에 따른 공유수면 점용·사용허가 및 같은 법 제 28조에 따른 공유수면의 매립면허

③ 처분기관은 제1항의 규정에 따라 해양수산부장관과 해역이용협의를 하려는 때에는 해양수산부령이 정하는 해역이용협의서를 제출하여야 한다.

- 제9장 84조에 따라 공유수면의 매립면허를 득하여야 할 경우 사전에 해양수산부장관과 해역 이용의 적정성 및 해양환경에 미치는 영향에 관하여 해역이용협의 필요 할 것으로 판단되며 이때에는 해역이용협의서 작성, 제출 필요

나. 해역이용영향평가

<제9장 85조(해역이용영향평가)>

① 처분기관은 제 84조에 따라 해양수산부장관과 해역이용협의를 함에 있어서 해당 면허대상사업 중 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위가 대통령령으로 정하는 규모 이상에 해당하는 때에는 그 행위로 인하여 해양환경에 미치는 영향에 대한 평가를 해양수산부장관에게 요청하여야 한다.

1. 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」제8조1항제3호에 따른 공유수면의 바닥을 준설하거나 굴착하는 행위

- 제9장 85조(해역이용영향평가)에 의하면 공유수면의 바닥을 굴착하는 공정이 있을 시 해양환경에 미치는 영향에 대한 평가를 해양수산부장관에게 요청하여야 될 것으로 판단됨

다. 해양환경영향조사

<제9장 95조(해양환경영향조사 등)>

① 해역이용사업자등은 면허 등을 받은 후 행하는 사업으로 인하여 발생될 수 있는 해양환경에 대한 영향의 조사를 실시하고 그 결과를 처분기관 및 해양수산부 장관에게 통보하여야 한다.

이 경우 해역이용사업자등은 평가대행자에게 해양환경영향조사의 업무를 대행하게 할 수 있다.

- 제9장 95조(해양환경영향조사 등)에 의하면 사업자는 사업 착수 후 당 사업으로 인해 발생될 수 있는 해양환경에 대한 영향 조사를 실시하고 결과를 처분기관 및 해양수산부 장관에게 통보하여야 할 것으로 판단됨

○ 해역이용협의 수행 절차

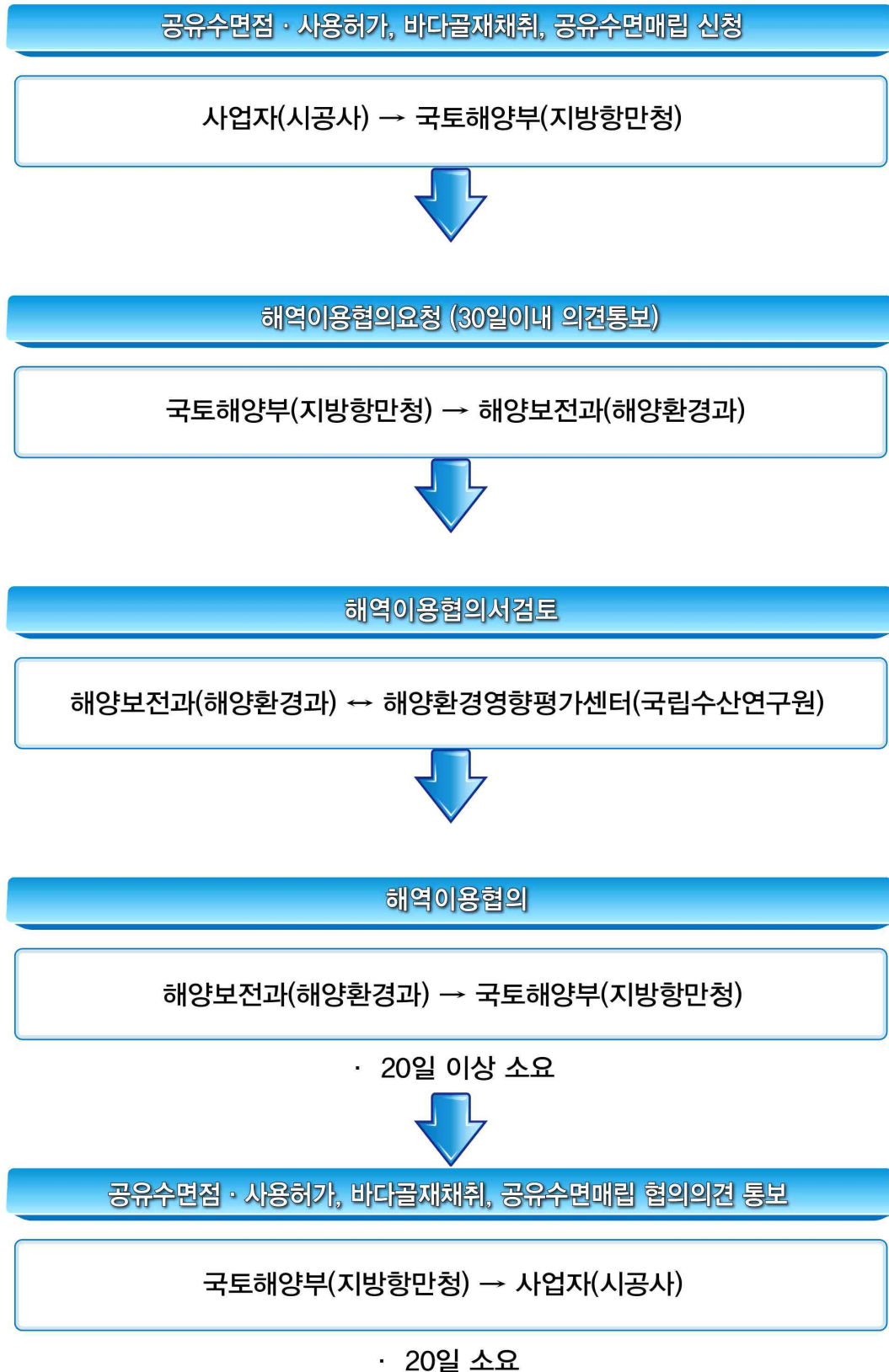


그림 4.5.8. 해역이용협의 수행 절차

□ 공유수면 점사용

○ 공유수면 관리 및 매립 관련법령

가. 공유수면 관리 및 매립 관련법령

<제2장 8조(공유수면의 점용·사용허가)>

① 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위를 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 공유수면관리청으로부터 공유수면의 점용 또는 사용의 허가를 받아야 한다. 다만, 제28조에 따라 매립면허를 받은 자가 매립면허를 받은 목적의 범위에서 해당 공유수면을 점용·사용 하려는 경우에는 그러하지 아니하다.

3. 공유수면의 바닥을 준설하거나 굴착하는 행위

- 제2장 8조에 따라 공유수면의 바닥을 준설하거나 굴착하는 작업이 있을 경우 공유수면의 점사용 허가를 득하여야 할 것으로 판단됨

나. 공유수면 점사용 협의 또는 승인

<제2장 10조(공유수면의 점용·사용 협의 또는 승인)>

① 제8조에도 불구하고 국가나 지방자치단체는 공유수면을 공용·공공용 또는 비영리사업의 목적으로 직접 점용·사용하려는 경우에는 공유수면관리청과 협의하거나 공유수면 관리청의 승인을 받아야 한다

- 제2장 10조(공유수면의 점용·사용 협의 또는 승인)에 의하면 공유수면을 직접 점용·사용하려는 사업일 경우 공유수면관리청과 협의 또는 승인 필요하다고 판단됨

다. 공유수면 점사용 실시계획 승인

<제2장 17조(점용·사용 실시계획의 승인 등)>

① 제8조1항제1호부터 제4호까지의 행위로서 인공구조물의 규모 및 총공사비 등 대통령령으로 정하는 요건에 해당하는 행위를 하기 위하여 점용·사용허가를 받은 자는 관련 공사에 착수하기 전에 미리 공유수면관리청으로부터 공유수면 점용·사용 실시계획의 승인을 받아야 한다. 승인받은 사항 중 대통령령으로 정하는 사항을 변경하려는 경우에는 또한 같다.

- 제2장 17조(점용·사용 실시계획의 승인 등)에 의하면 공유수면 점사용을 위한 허가를 받은 자는 공사 착수 전 공유수면관리청으로부터 실시계획 승인을 득하여야 한다고 판단됨

○ 공유수면 인허가 절차

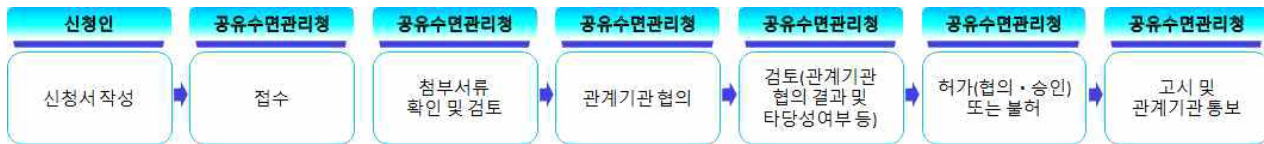


그림 4.5.9. 공유수면 인허가 절차

A. 유통갑문 설치 이상해역 수치모형실험

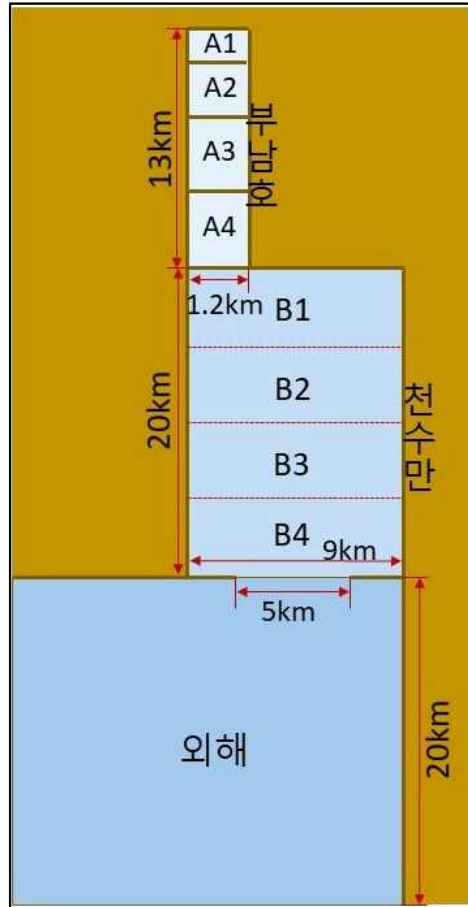
1. 수치실험 개요.

○ 이상해역의 규모 및 형태

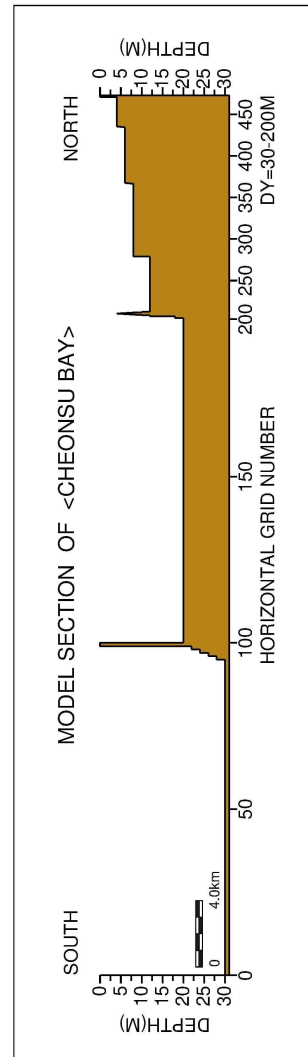
- 실패역 모형 수립에 앞서 제기된 여러 후보안을 신속히 검토하기 위하여 천수만과 부남호의 지형특성을 반영한 이상해역 수치모형을 수립하여 실험을 실시하였음.
- 해수유통시 천수만 조위 변화에 따른 부남호 수위를 제한/관리수위 이하로 유지하도록 유통갑문 개폐를 조절할 수 있는 프로그램을 개발하여 수치모형에 적용하였음.
- 부남호 및 천수만의 실제 규모와 유사하도록 아래의 <그림 A.01>, <그림 A.02>와 같이 실험영역을 구성하였음.
- 부남호의 규모는 방조제 길이를 기준으로 하여 폭 1.2km, 길이 13km로 하였으며, 현재의 내부 제방을 기준으로 4개 구역 (A1~A4)로 구분하여 각각의 수심을 4m, 6m, 8m, 12m로 주었음.
- 천수만의 규모는 실제 면적 178km^2 과 유사하게 $180\text{km}^2(20\text{km}\times 9\text{km})$ 로 하였으며 입구의 폭은 실제 지형을 반영하여 5km로 좁게 주었음.
- 천수만의 경우 구역별 변화를 보기 위하여 임의로 남북 방향으로 4개 구역(B1~B4)으로 구분하였으며, 천수만의 수심은 동일하게 20m로 주고 외해의 수심은 동일하게 30m로 주었음.
- 수평격자 크기는 부남방조제 배수갑문 부근은 조밀하게 최소 30m(현 배수갑문 규모와 유사하게)로 주고 외해영역에서는 조립하게 최대 200m로 주는 가변격자체계를 사용하였음 (격자수 : 156×474).
- 연직격자는 부남호 상층에 해당하는 해수면부터 8m까지는 1m 간격으로 주고 σ -격자로 계산하였으며, 그 이하는 2m 간격으로 주고 z-격자로

계산하였음(총 20개 층).

- 주요 제원 및 실험 조건은 아래의 <표 A.01>과 같음.



<그림 A.01> 유통갑문 추가설치
이상해역 실험.



<그림 A.02>
이상해역 종단면.

<표 A.01> 이상해역 주요 제원 및 실험조건

항목	부남호(A)					천수만 (B)	외해 (C)
	A	A1	A2	A3	A4		
길이 (km)	13	1	4	4	4	20	20
폭 (km)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	9	20
면적 (km ²)	15.6	1.2	4.8	4.8	4.8	180	400
수심 (m)	-8	-4	-6	-8	-12	-20	-30
염분 (PSU)	5.0	5.0	5.0	5.0	5/30	30.5	31.0
COD (mg/l)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	5.0	5.0
COD 분해계수(/일)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

○ 수치실험 실험조건

- 부남호 내부에 강한 성층이 존재하고 상층에는 비교적 덜 오염된 담수가, 하층에는 오염된 고염수가 존재한다는 조사 결과를 근거로 하여 부남호 상층에는 염분 5.0 psu, 하층에는 염분 30.0 psu를 주었으며, COD는 상, 하층 모두 COD 20.0 mg/l를 초기조건으로 주었음.
- 천수만의 염분은 30.5 psu로, 외해의 염분은 31.0 psu로 주었고, 외해경계의 염분도 31.0 psu로 주었음.
- 조사 결과를 근거로 COD 배경농도를 5.0 mg/l로 가정하고 천수만, 외해의 초기 농도를 배경농도로 주었으며, 외해경계에서도 배경농도를 유지하는 것으로 하였음.
- 자연적인 생화학 분해과정을 표현하는 COD 분해계수는 부남호 내부에서는 현상유지를 가정하여 [0.0/일]로 하고 천수만과 외해에서는 일반적인 수치인 [0.1/일]을 주었음.
- 외해경계에서는 수집된 기존 조사 자료를 근거로 주요 5개 분조(M2, S2, O1, K1, N2)의 조화상수를 조합하여 조위를 주고 플래터 경계조건 (Flather boundary condition)을 사용하여 유속을 계산하도록 하였음.

○ 유통갑문 수치실험안

- 부남호 수질개선을 위하여 아래의 <표 A.02>와 같이 현 배수갑문만을 운영하는 안(A안)과 현 배수갑문에 더하여 [90m×10m]의 유통갑문을 추가하는 안(E안)의 2가지 안에 대하여 수치실험을 진행하였음.
- 현 배수갑문의 규모는 [6.5m×4m×4], 갑문 저면 Sill의 높이는 EL(-)4.0m이며, 추가 설치 유통갑문의 깊이는 EL(-)10.0m로 하였음.
- 개발된 갑문 조작 프로그램을 사용하여 부남호 제한수위 EL(-)1.6m가 유지되도록 하였으며, 실험기간은 3개월로 제한하였음.

<표 A.02> 유통갑문 설치 실험안

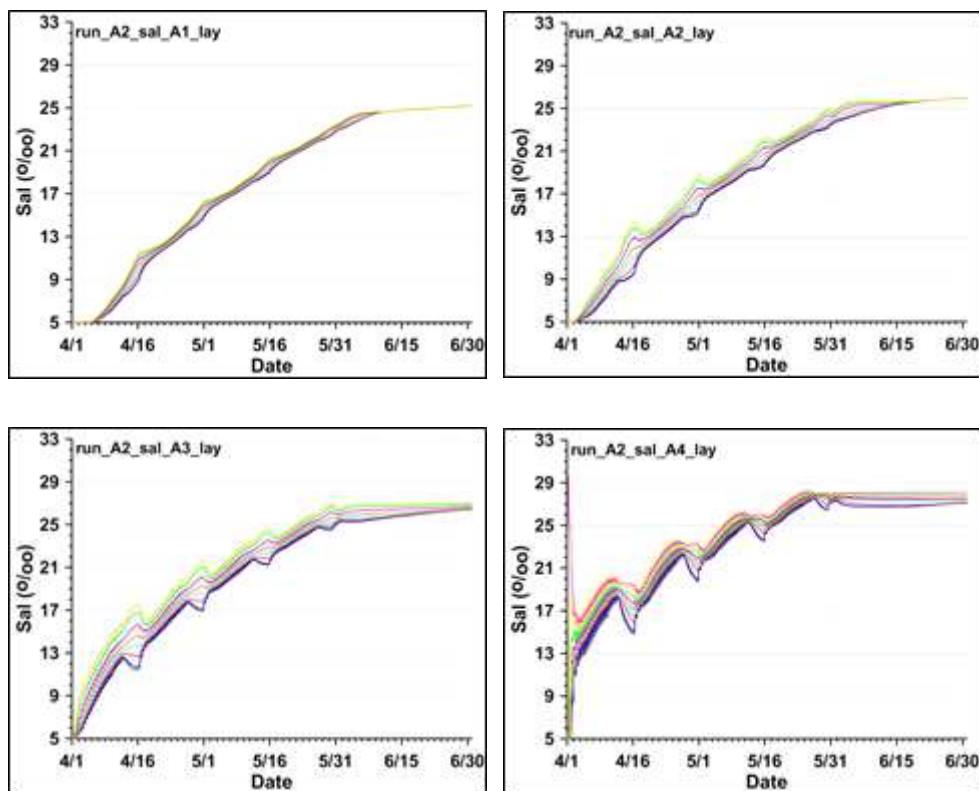
		조건	비고
실험 안	A안	현 배수갑문만 운영	<ul style="list-style-type: none">• 신 유통갑문 깊이 El(-)10m, 현 배수갑문 sill El(-)4m• 천수만 조위, 부남호 수위에 따른 수문 조작• 부남호 제한수위 El(-) 1.60m 유지
	E안	현 배수갑문 + 유통갑문 90m 설치 운영	
실험기간		3개월	
결과제시		부남호 4개 구역(A1~A4), 천수만 4개 구역(B1~B4) 별 평균 농도 변화 및 교환율 변화 비교	

2. 수치실험 결과

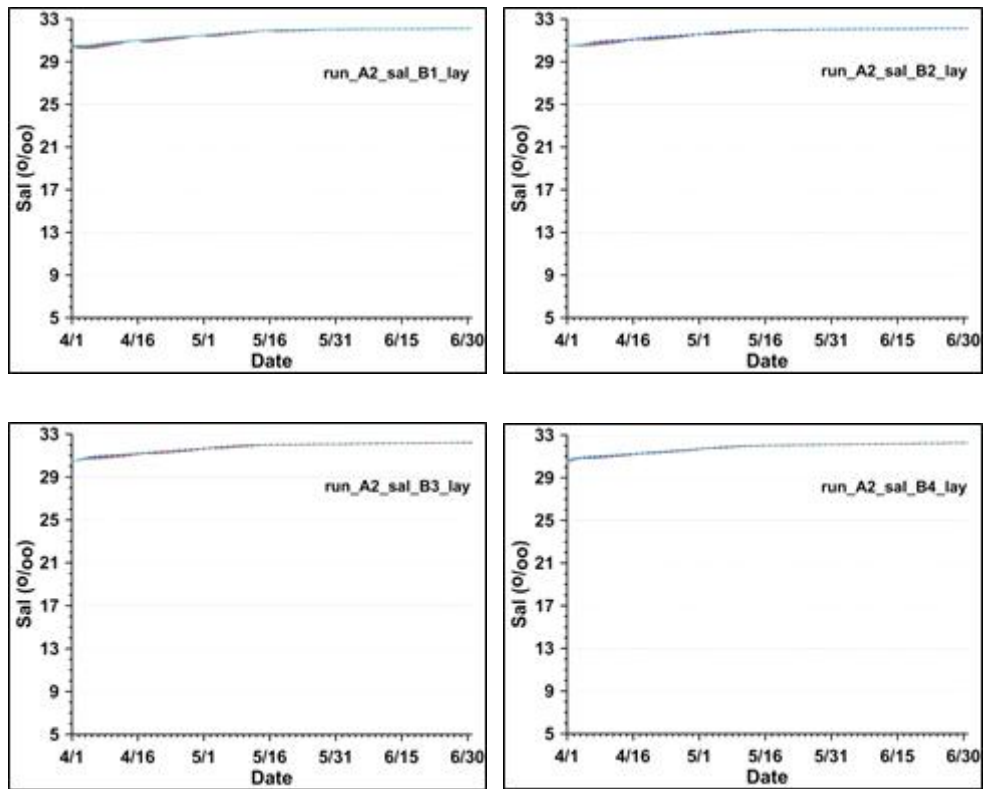
○ 각안의 구역별/층별 농도 변화

- 유통갑문 설치 이상해역 수치실험 결과에서 염분/COD 변화를 실험안 별로 도시하였음.
- A안의 실험 결과를 각 구역별로 부남호 4개 구역(A1~A4), 천수만 4개 구역(B1~B4)의 염분/COD 변화를 비교하여 <그림 A.03>~<그림 A.06>에 도시하였음.
- E안의 실험 결과를 각 구역별로 부남호 4개 구역(A1~A4), 천수만 4개 구역(B1~B4)의 염분/COD 변화를 비교하여 <그림 A.07>~<그림 A.10>에 도시하였음.

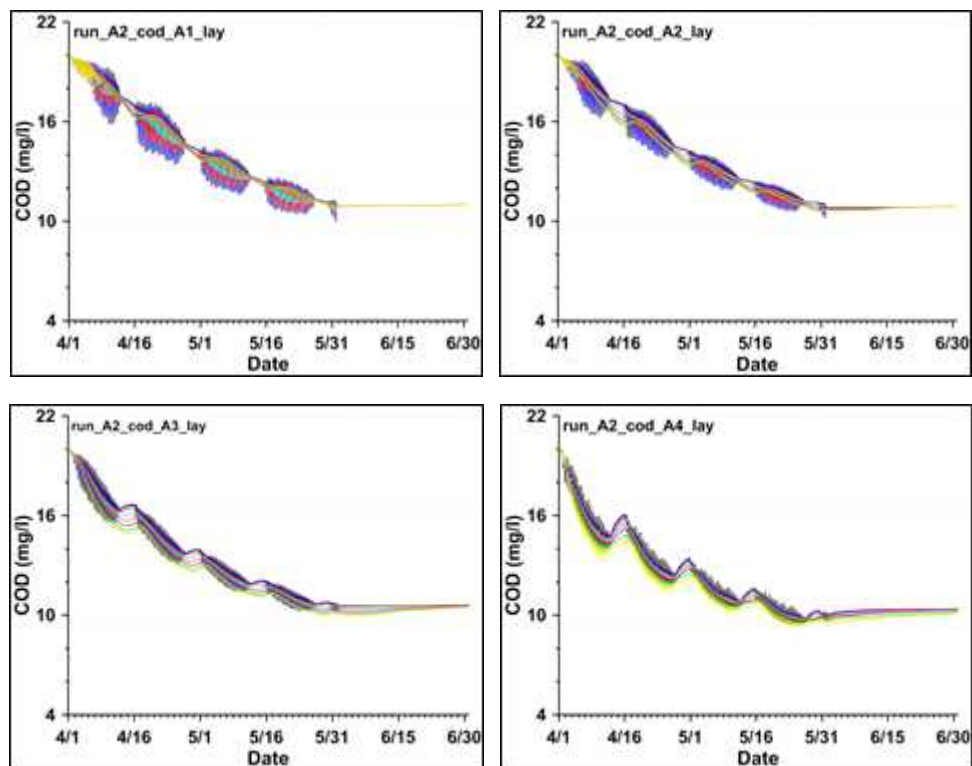
- 부남호 내부의 염분은 유통 개시 후 빠르게 증가하는 것으로 나타나며, 대조기에는 증가하다가 소조기에는 갑문이 개방되지 않기 때문에 혼합 과정에 의해 다시 감소하는 현상이 나타남.
- 천수만에서는 초기에 염분이 약간 감소하나 이내 서서히 배경농도로 수렴함.
- 부남호 내부의 COD는 조석주기에 따른, 대/소조기에 따른 변동이 반복되면서 서서히 감소함.
- 천수만에서의 COD는 조석에 따른 변동이 나타나지만 그 정도가 북부에서 크고 남부에서 작게 나타남.



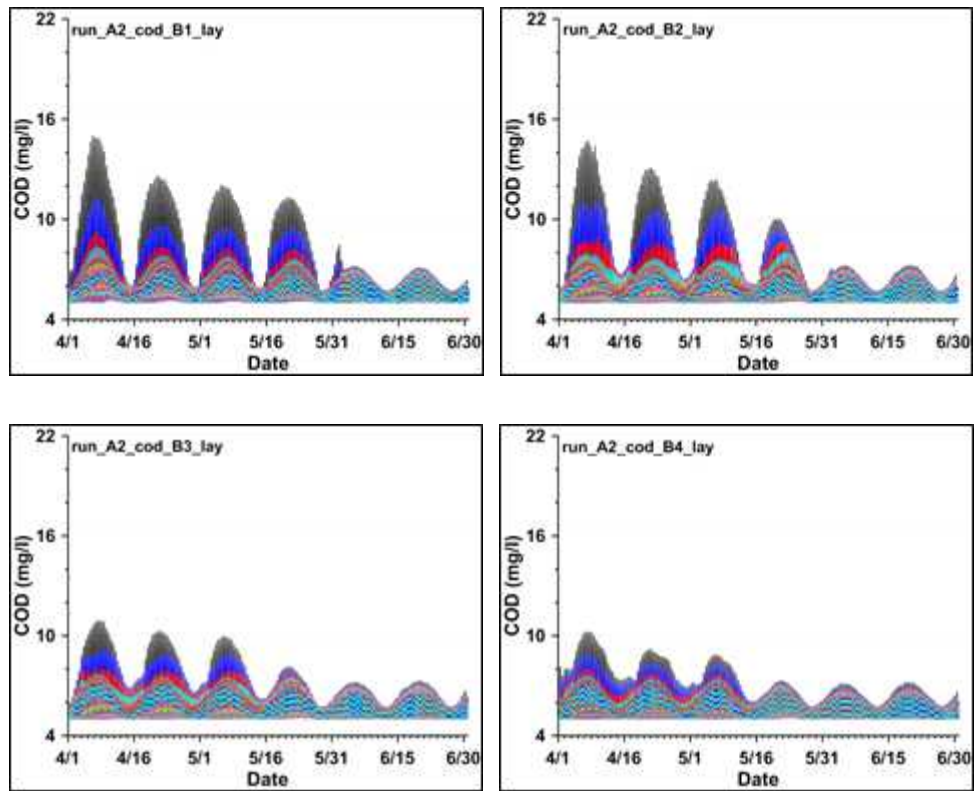
<그림 A.03> A안의 부남호 구역별 염분 변화.



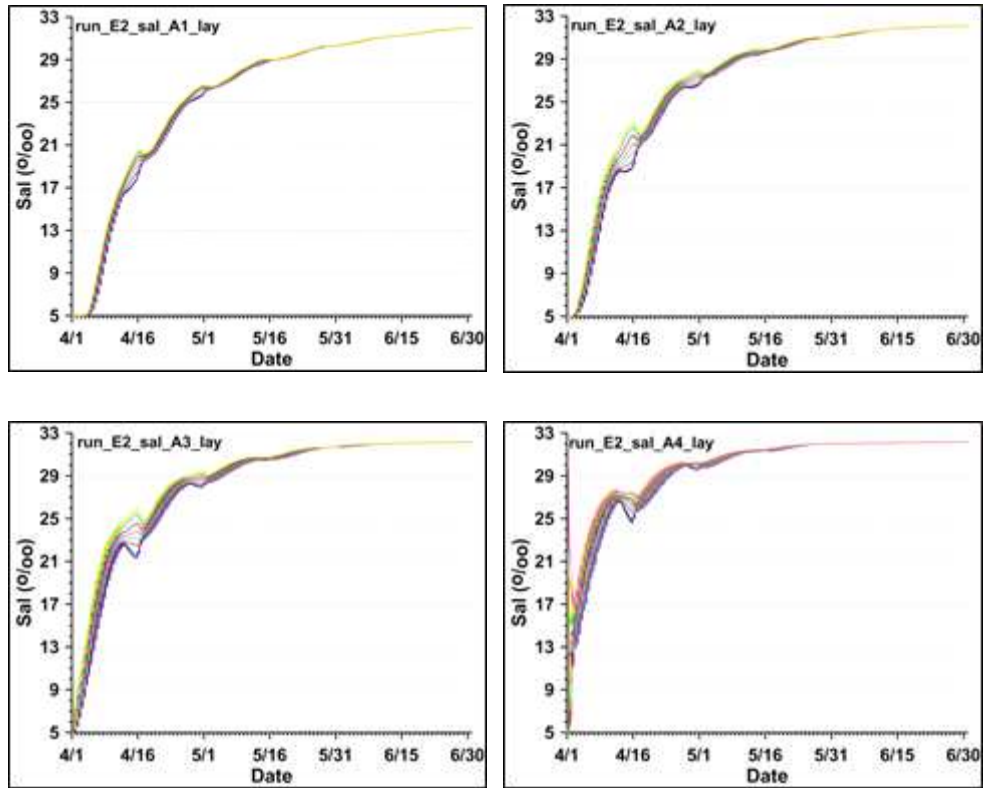
<그림 A.04> A안의 천수만 구역별 염분 변화.



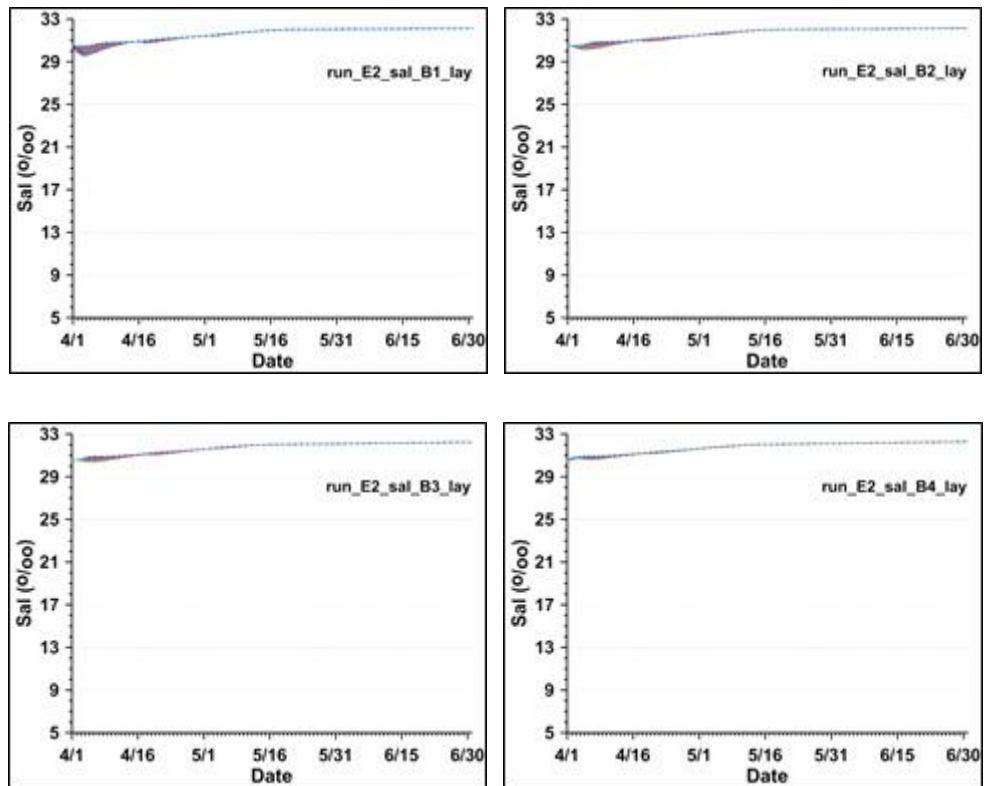
<그림 A.05> A안의 부남호 구역별 COD 변화.



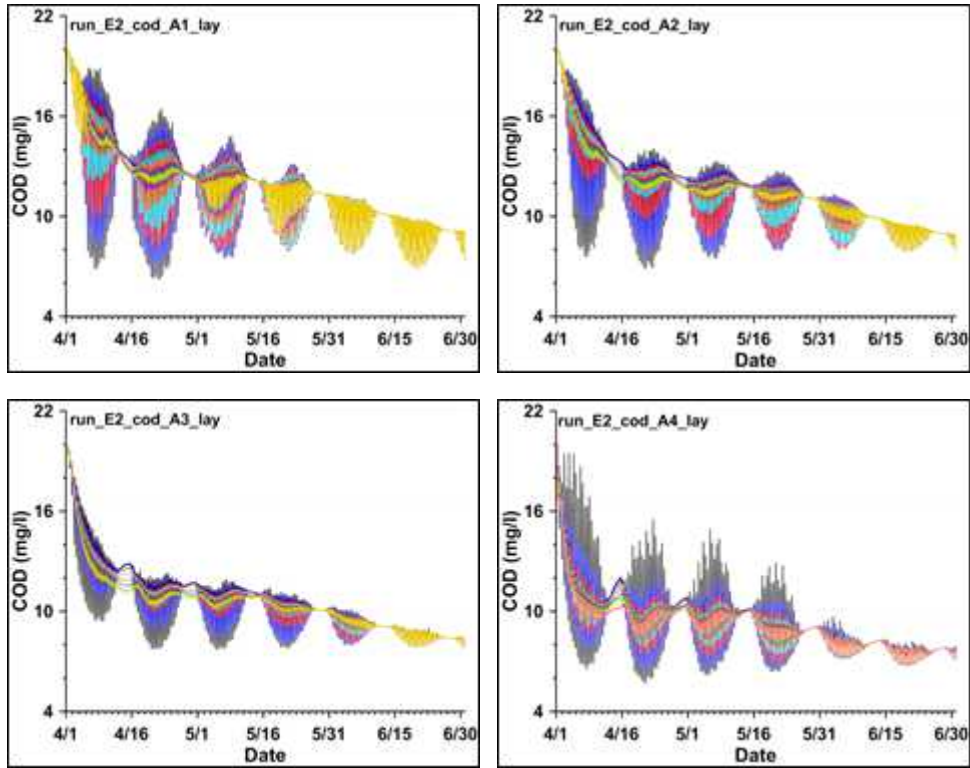
<그림 A.06> A안의 천수만 구역별 COD 변화.



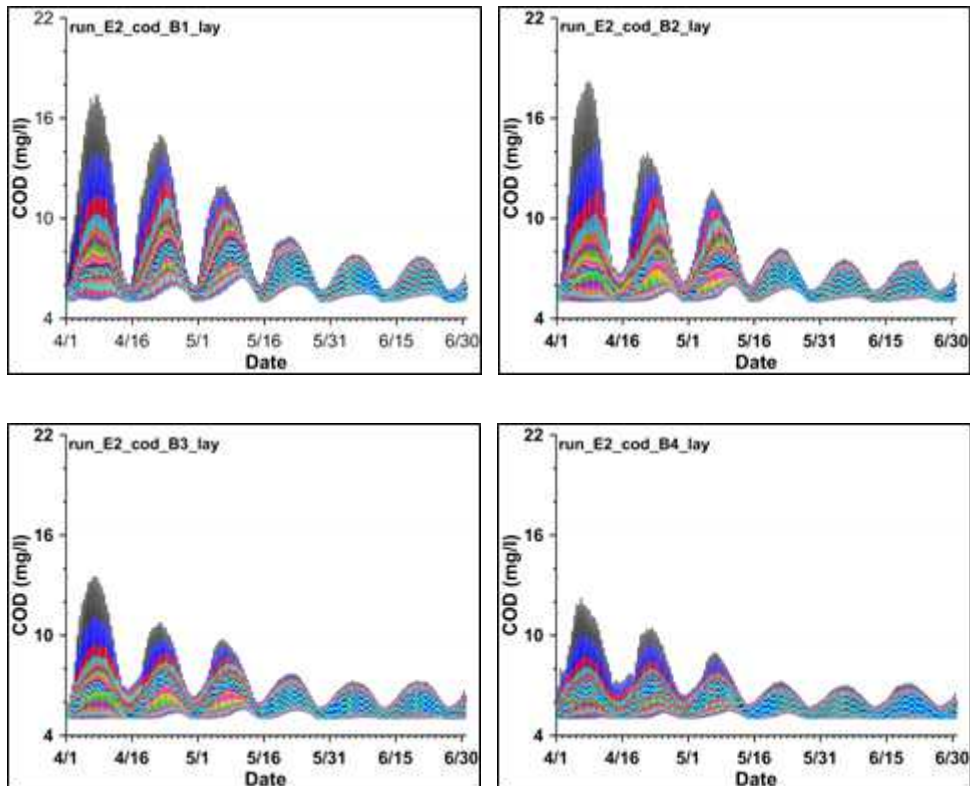
<그림 A.07> E안의 부남호 구역별 염분 변화.



<그림 A.08> E안의 천수만 구역별 염분 변화.



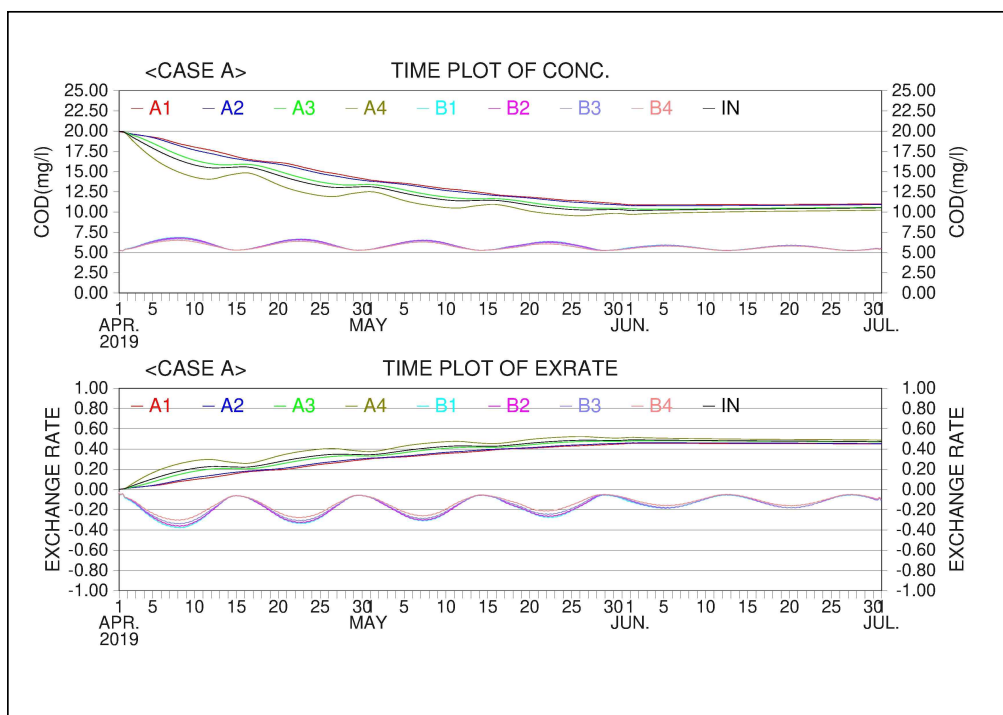
<그림 A.09> E안의 부남호 구역별 COD 변화.



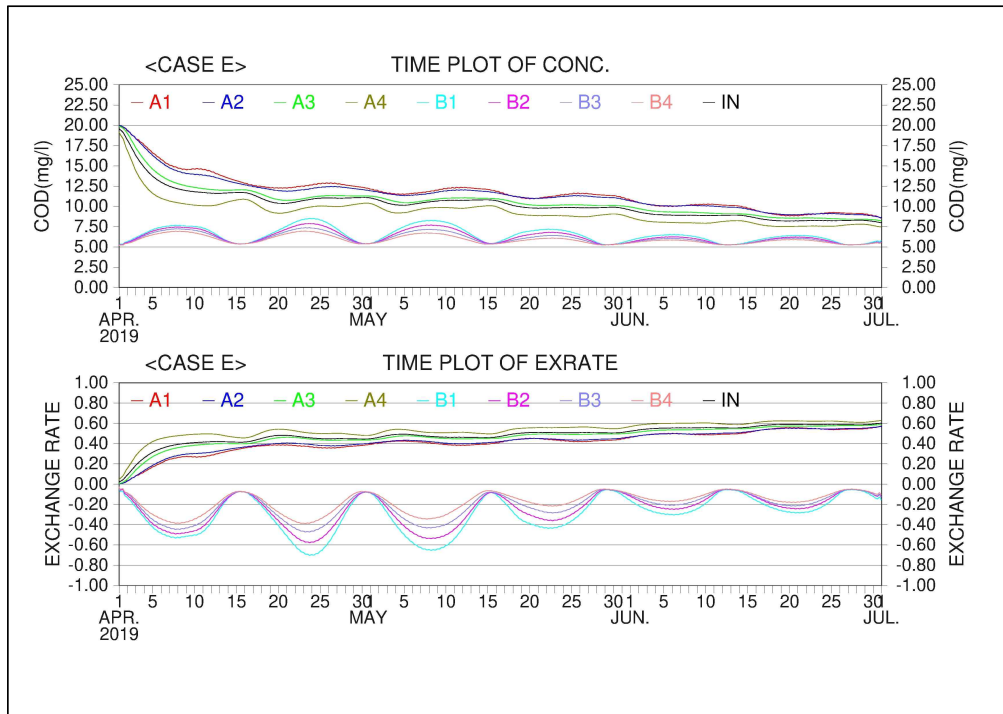
<그림 A.10> E안의 천수만 구역별 COD 변화.

○ 유통갑문 2개 안의 구역별 농도/교환율 변화 비교

- <그림 A.11>에 A안의 구역별 평균 COD 농도/교환율 변화를 도시하였으며, <그림 A.12>에 E안의 구역별 평균 COD 농도/교환율 변화를 도시하였음.
- 그림에서 부남호 남부에서는 대, 소조기에 따른 변화가 나타나나 장기적으로는 배경농도를 향하여 수렴해가는 양상임. 상대적으로 부남호 북부에서는 대/소조기에 따른 변화가 작게 나타남.
- 천수만에서도 대조기에는 증가하다가 소조기에는 감소하는 변동이 나타나다가 배경농도로 수렴하게 됨.
- E안에서는 유통량이 크기 때문에 이러한 변화의 정도가 크게 나타나고 구역별 차이도 크게 나타남. 이는 해수유통의 영향이 부남호 남부와 천수만 북부에서 상대적으로 크기 때문인 것으로 보임.



<그림 A.11> A안의 구역별 농도/교환율 변화.

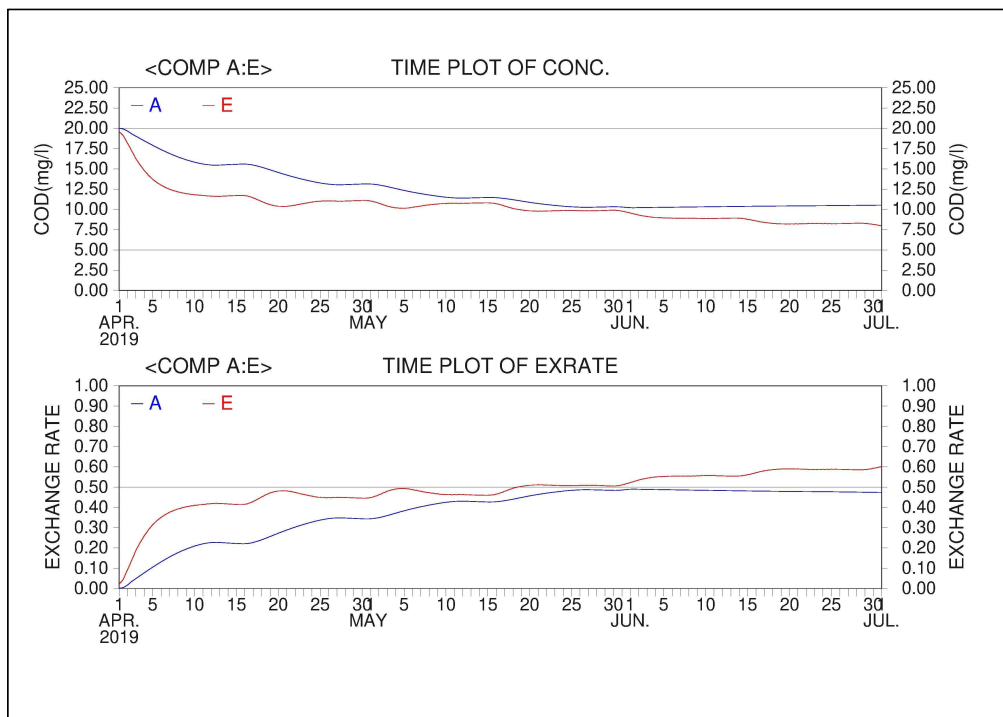


<그림 A.12> E안의 구역별 농도/교환율 변화.

○ 부남호 전체 평균 농도/교환율 변화 2개안(A:E) 비교

- <그림 A.13>에서는 부남호 전체를 평균하여 2개 안 (A:E)의 COD농도/교환율 변화를 비교하였음.
- 실제 지형 실험에 앞서 예비검토를 위하여 이상해역을 설정하고 예비실험을 실시하였음.
- 현 배수갑문을 이용한 수질 개선안, <A안>과 추가 갑문설치 (90m×(-)10m) 병행 운용안, <E안>에 대한 실험을 3개월간 실시하고 결과를 비교하였음.
- 실험 초기 (약 1.5개월)에는 <E안>의 수질개선 효과가 크게 나타나나 1.5~2개월 기간에는 두 안이 거의 비슷하게 나타남.
- <A안>의 경우는 2개월 이후에는 개선효과가 나타나지 않는 반면, <E안>는 개선효과가 지속적으로 증가함.
- <A안>의 경우 3개월 후 교환율은 약 47%에 머물고 COD 평균 농도는 중간에 10.1mg/l까지 떨어지다가 다시 10.5mg/l로 올라감.

- <E안>의 경우 3개월 후 교환율은 약 62%까지 올라가고, COD 평균 농도는 7.6mg/l까지 떨어짐.
- 현 배수갑문 운용안이 궁극적 해법은 아니더라도 COD 농도를 절반 가까이 떨어뜨리는 효과를 보이므로 추가 갑문 설치 시까지 운용하는 방안을 검토해볼 수 있음.



<그림 A.13> 2개 안(A:E)의 농도/교환율 변화 비교.

<표 A.03> 2개 안의 농도, 교환율 변화 비교

실험안		경과 기간에 따른 변화			
		초기	30일후	60일후	90일후
농도 (mg/l)	A안	20.0	13.1	10.1	10.5
	E안	20.0	11.1	9.5	7.6
교환율 (%)	A안	0.0	34.4	49.3	47.4
	E안	0.0	44.7	52.6	61.9

B. 수중암거 설치 이상해역 수치모형실험

1. 수치실험 개요

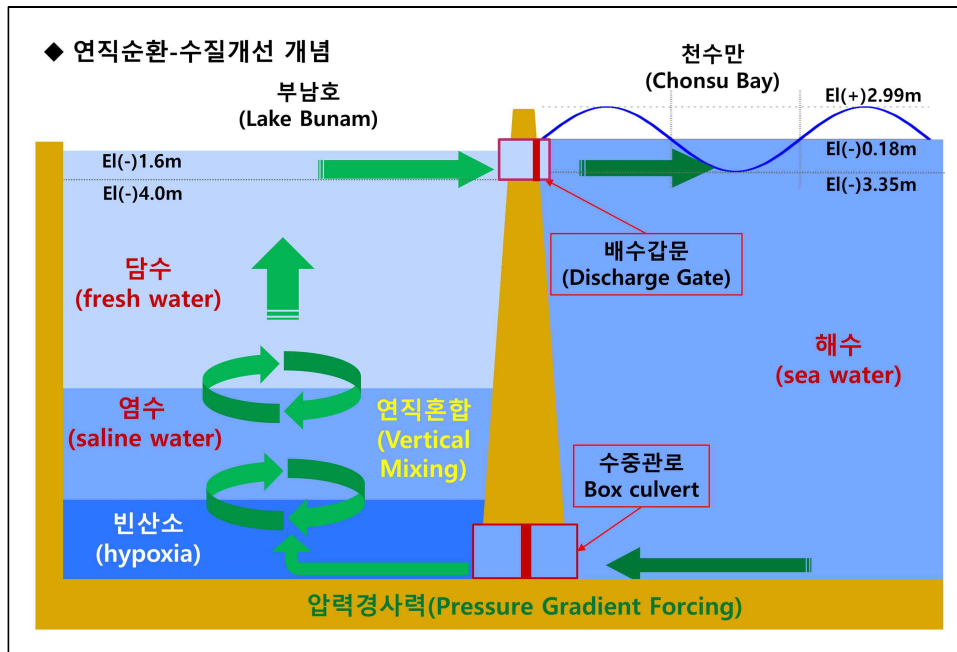
○ 수중암거의 형태와 수질개선 효과

- 수중암거 설치 이상해역 수치모형을 수립하여 제거된 수중암거 설치안에 대한 수치실험을 실시하였음.
- 해수유통시 천수만 조위 변화에 따른 부남호 수위를 제한/관리수위 이하로 유지하도록 수중암거 갑문을 조절할 수 있는 프로그램을 개발하여 수치모형에 적용하였음.
- 수중암거는 수면 하에 설치되는 관로를 말하며, 형태는 아래 <그림B.01>과 같음.

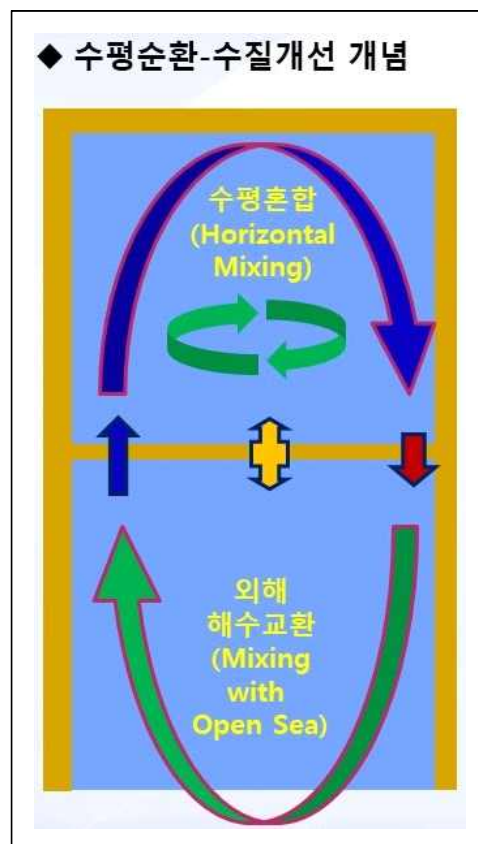


<그림 B.01> 수중암거의 형태.

- 수중암거는 아래의 <그림 B.02>와 같이 수질개선 단계에서 수중암거를 통하여 해수를 유입하여 하층의 빈산소 오염수와 희석시킨 다음 상승시켜 배수갑문을 통하여 배출하는 방식이며, <그림 B.03>와 같이 수중암거와 현 배수갑문을 이격 설치하여 수평순환 효과를 기대함.



<그림 B.02> 수중암거를 통한 연직순환 수질개선 개념.



<그림 B.03> 수중암거를 통한 수평순환 수질개선 개념.

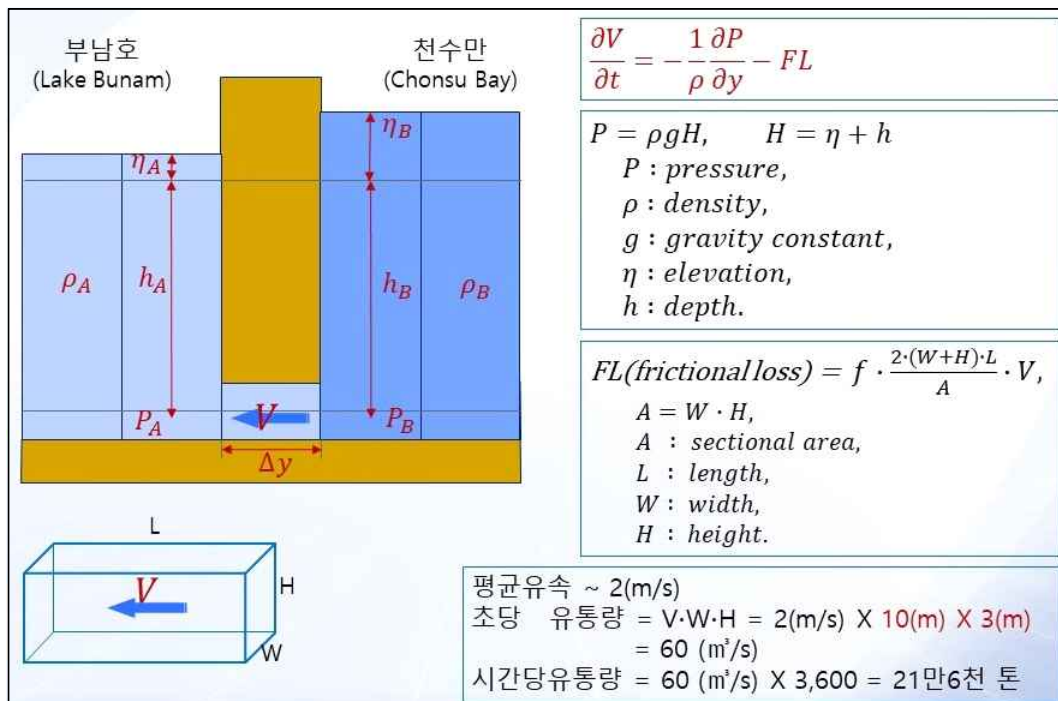
○ 수중암거 유속계산

- 수중암거를 통과하는 유속은 다음과 같이 압력 경사력과 마찰력의 균형으로부터 계산됨(<그림 B.04> 참조).

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - FL, \quad P = \rho gh, \quad H = h + \eta,$$

$$FL = f \cdot r \cdot \frac{2(W+H) \cdot L}{A} \cdot V, \quad A = W \cdot H$$

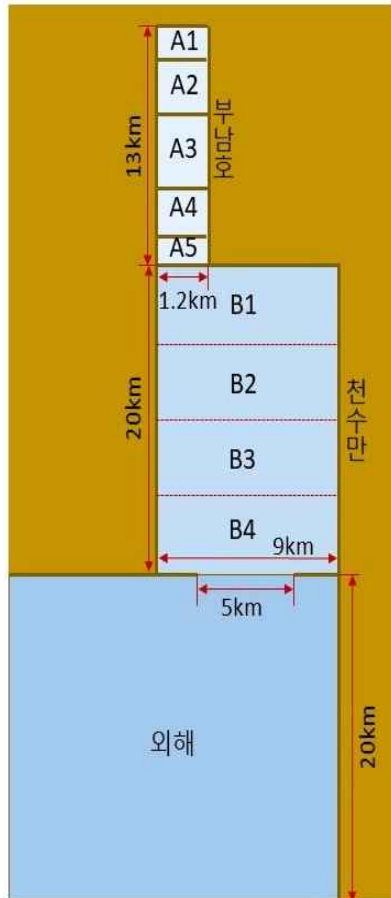
- 여기서, P 는 압력, ρ 는 밀도, g 는 중력가속도, h 는 수심, η 는 해수면임. 또한, A 는 관로의 단면적, L 은 길이, W 는 폭, H 는 높이, f 는 관로 표면의 마찰계수, r 은 관로 표면의 조도계수임. 암거 출입구에서 발생하는 손실은 무시하였음.
- 예를 들어, 평균유속 2m/s, 폭 10m, 높이 3m인 경우 시간당 유통량은 21만 6천 톤임.



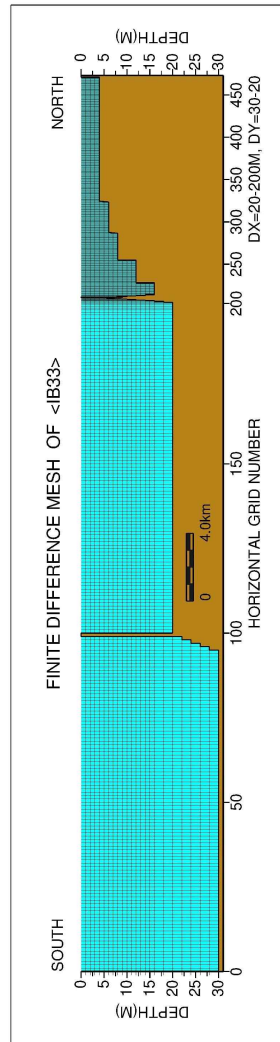
<그림 B.04> 수중암거 모형 유속 계산.

○ 수치모형 수립과 실험 조건

- 이상해역 수중암거 설치안에서는 다음 <그림 B.05>, <그림 B.06>와 같이 부남호의 지형을 간략화하여 표현하였음.



<그림 B.05> 수중암거
이상해역 모형 영역.



<그림 B.06> 수중암거
이상해역 모형 단면.

- 제한수위 하의 수체적은 수심도(현대건설)의 수심을 근거로 하여 7,500만 톤으로 추정하였음.
- 편의상 부남호 영역을 수심별로 5개 구역(북쪽으로부터 A1~A5)으로 구분하였으며, 각각의 수심은 1.6m, 3.0m, 5.0m, 7.0m, 10.0m, 16.0m로 주었음 (<그림 B.07> 참조).
- 천수만의 경우 구역별 변화를 보기 위하여 임의로 북→남 방향으로 4개 구역(B1~B4)으로 구분하였으며, 천수만의 수심은 동일하게 20m로

주고 외해의 수심은 동일하게 30m로 주었음.

- 수평격자 크기는 부남방조제 배수갑문 부근은 조밀하게 최소 20m(수중암거 기준 규모 고려)로 주고 외해영역에서는 조립하게 최대 200m로 주는 가변격자체계를 사용하였음 (격자수: 174×474).
- 연직격자는 해수면으로부터 수중암거가 위치하는 16m까지는 1m 간격으로 주고 그 이하는 2m 간격으로 주어 총 24개 층으로 구성하였으며, 상층에 해당하는 8개 층은 σ -격자로 계산하였으며, 그 이하는 z -격자로 계산하였음.
- 천수만의 경우 구역별 변화를 보기 위하여 임의로 남북 방향으로 4개 구역(B1~B4)으로 구분하였으며, 천수만의 수심은 동일하게 20m로 주고 외해의 수심은 동일하게 30m로 주었음.
- 외해는 남측, 서측에 개방경계를 설정하여 기존 조사 조석자료를 근거로 하여 주요 5개 분조(M2, S2, O1, K1, N2) 조위조건을 부과하였으며, 유속계산에는 플래더 조건(Flather boundary condition)을 사용하였음.
- 계산시간 간격은 충분히 작게 주어 방조제 부근 상세격자에서 안정적으로 가동될 수 있도록 하였음.
- 수치실험 대상 물질로는 담수 영향을 보기 위하여 염분을, 수질개선 영향을 보기 위하여 COD를 선정하였음. 계산을 단순화하기 위하여 수온은 일정하게 주었음.
- 부남호 내부에 수심 EL(-)8.0m에 강력한 성층이 존재한다는 조사결과를 근거로 하여 수심 EL(-)8.0m를 기준으로 상하층을 구분하였음. 하층에는 30.0 psu 정도의 고염, COD 200.0 mg/l 이상의 오염수가 존재하는 것으로 나타났음.
- 실험의 초기농도로는 부남호 상층에는 염분 5.0 psu, COD 20.0 mg/l를 주었고 A4와 A5 구역에 해당하는 하층에는 염분 30.0 psu, COD 200.0 mg/l를 주었음(<표 B.01> 참조).
- 기존 조사 결과들을 참고하여 천수만의 염분 30.5 psu, 외해의 염분은 31.0 psu를 초기 농도로 주었음. 외해경계 염분도 31.0 psu로 주었음.

- COD 배경농도는 조사 결과를 근거로 5.0 mg/l로 하였으며, 천수만과 외해의 초기 농도, 경계조건을 모두 배경농도로 주었음.
- 생화학적 변화를 표현하는 COD 분해계수는 부남호의 경우 현상태가 유지된다는 가정 하에서 [0.0/일]로 주었고 천수만과 외해의 경우는 일반적인 값인 [0.1/일]로 주었음.



<그림 B.07> 수중암거 모형 부남호 제원.

<표 B.01> 이상해역 수중암거 모형 염분, COD 초기조건

		외해	천수만	부남호				
				A5	A4	A3	A2	A1
염분 (PSU)	상층	31.0	30.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	하층			30.0	30.0			
COD (mg/l)	상층	5.0	5.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	하층			200.0	200.0			
	배경	5.0	5.0	5.0				
COD 분해계수(/일)		0.1	0.1	0.0				

○ 수중암거 실험안

- 수치실험안은 다음 <표 B.02>와 같음.
- 주요 실험안은 P2: [200m×5m], P3: [100m×3m], P5: [20m×3m]의 3개 안이며, 비교를 위하여 현 배수갑문을 활용하는 안(P1)을 추가로 검토하였음. 참고로 네덜란드 휘어스호에는 수질개선을 위하여 [10m×3m]의 수중암거를 설치하여 운용하고 있음.
- 관로 설치 위치는 서쪽 끝, 현 수중암거 위치 근처로 가정하였고 부남호 내측 방조제 부근의 수심을 고려하여 EL(-)16.0m에 설치하는 것으로 하였음.
- 부남호 내부의 수위는 제한수위 EL(-)1.6m를 초과하지 않는 것으로 하였음.
- 실험은 각 안별로 3개월간 실시하였으며, 실험 결과는 각 구역별 평균농도 및 교환율 변화로 제시하였음.

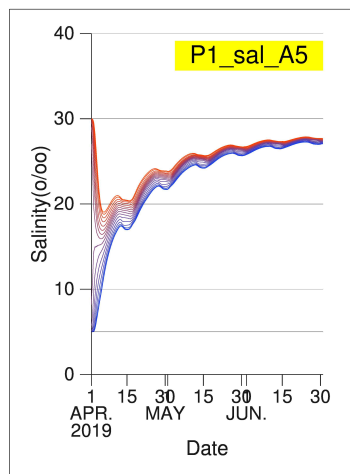
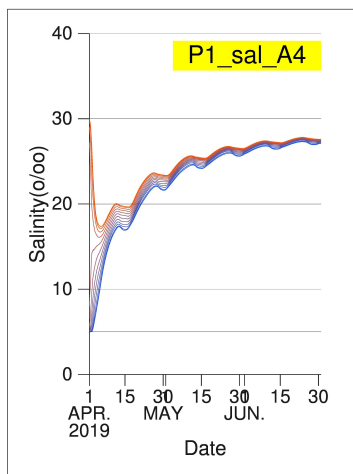
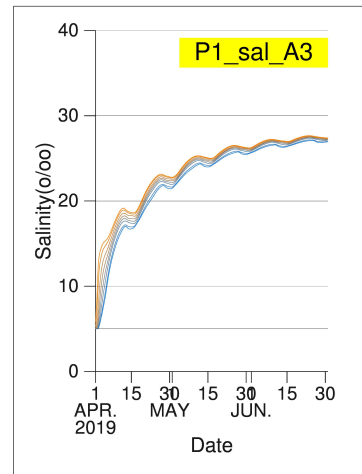
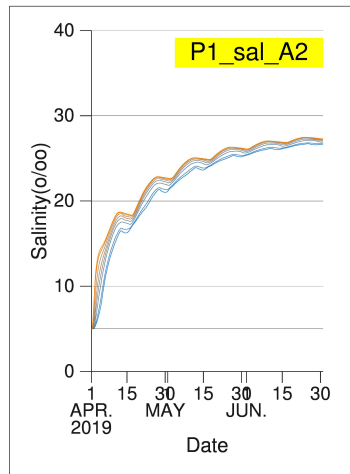
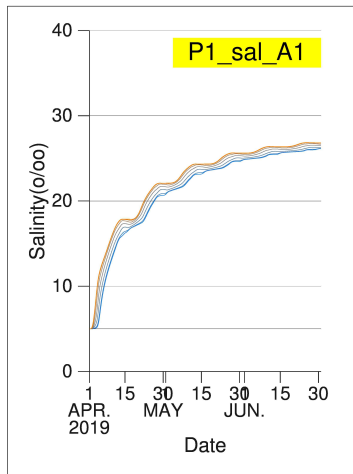
<표 B.02> 이상해역 수중암거 설치 실험안

실험안		조건	비고
수중 암거 설치안	P1	<ul style="list-style-type: none"> • 현배수갑문 이용 • 30m × 4m • (-)4m 위치 	<ul style="list-style-type: none"> • 부남호 조건 변화로 다시 실험
	P2	<ul style="list-style-type: none"> • 수중암거 설치 • 200m × 5m • (-)11m ~ (-)16m 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 대조기 조석 1주기 변동량 배출 최소 조건
	P3	<ul style="list-style-type: none"> • 수중암거 설치 • 100m × 3m • (-)13m ~ (-)16m 설치 	
	P5	<ul style="list-style-type: none"> • 수중암거 설치 • 20m × 3m • (-)13m ~ (-)16m 설치 	<ul style="list-style-type: none"> • 네덜란드 휘어스호 사례 (10m × 3m) 비교
		<ul style="list-style-type: none"> • 수중암거는 이상해역 부남호 저면인 (-)16m에 설치 • 부남호 제한수위 (-)1.6m 유지 	
실험 기간		<ul style="list-style-type: none"> • 3개월 	
결과 제시		<ul style="list-style-type: none"> • 부남호/천수만 구역별 평균농도 및 교환율 변화 비교 제시 	

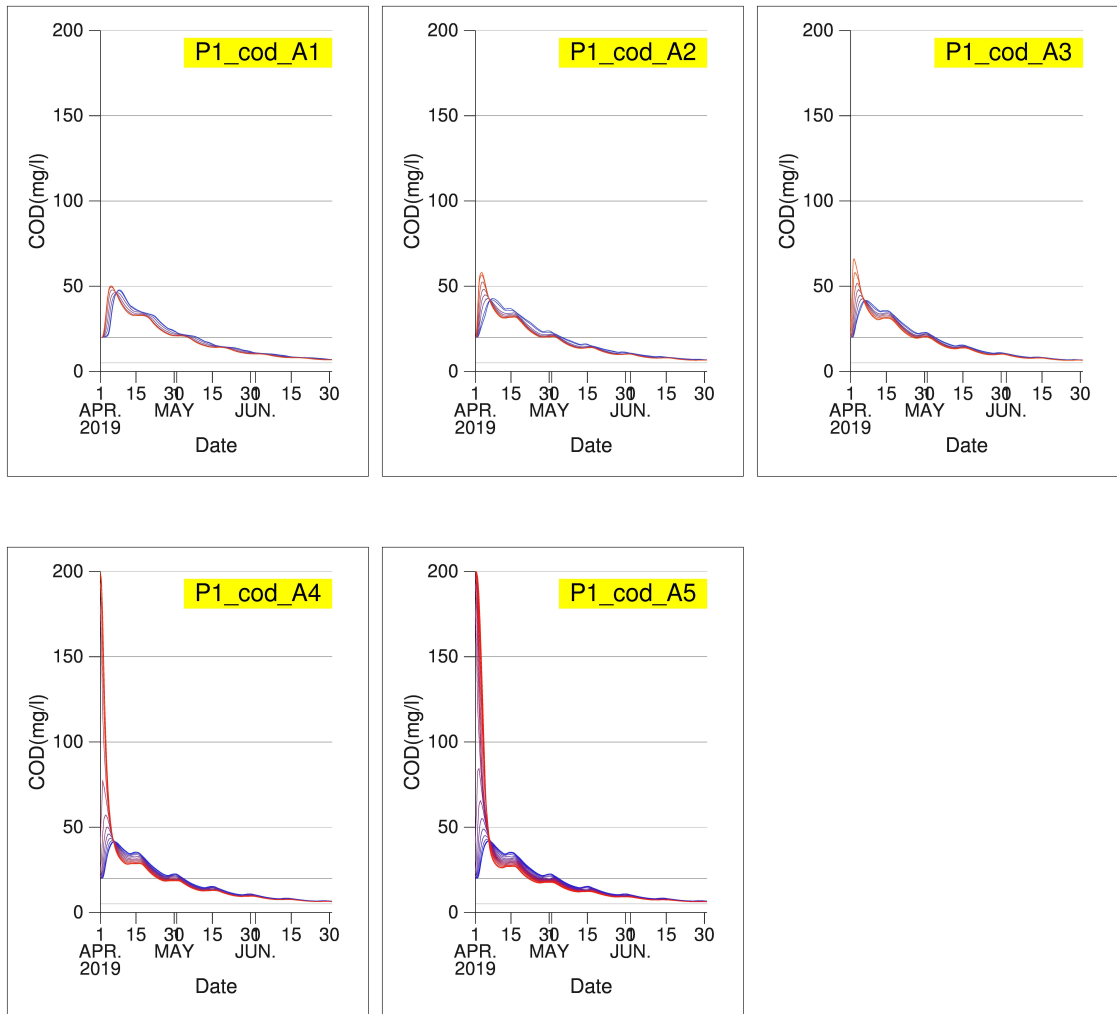
2. 수치실험 결과

○ 4개 안의 구역별/층별 염분/COD 농도 시간변화

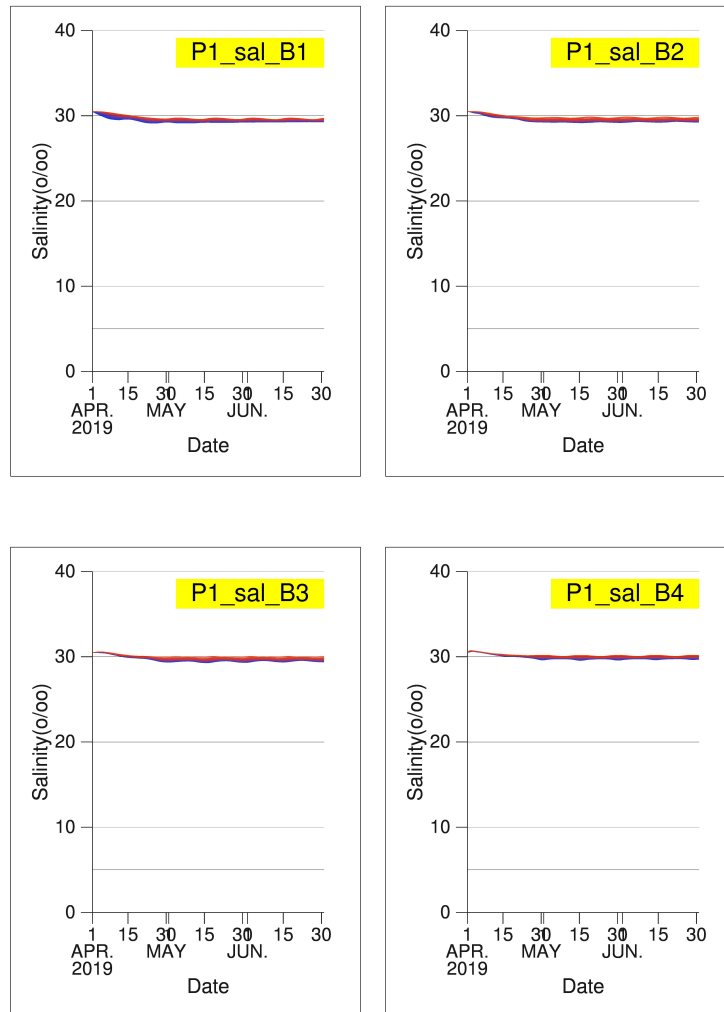
- P1안(현 배수갑문: 30m×4m)의 구역별 (부남호: A1~A5, 천수만: B1~B4) 염분/COD 변화를 <그림 B.08>~<그림 B.11>에 제시하였음.
- P2안(수중암거: 200m×5m)의 구역별 (부남호: A1~A5, 천수만: B1~B4) 염분/COD 변화를 <그림 B.12>~<그림 B.15>에 제시하였음.
- P3안(수중암거: 100m×3m)의 구역별 (부남호: A1~A5, 천수만: B1~B4) 염분/COD 변화를 <그림 B.16>~<그림 B.19>에 제시하였음.
- P5안(수중암거: 20m×3m)의 구역별 (부남호: A1~A5, 천수만: B1~B4) 염분/COD 변화를 <그림 B.20>~<그림 B.23>에 제시하였음.



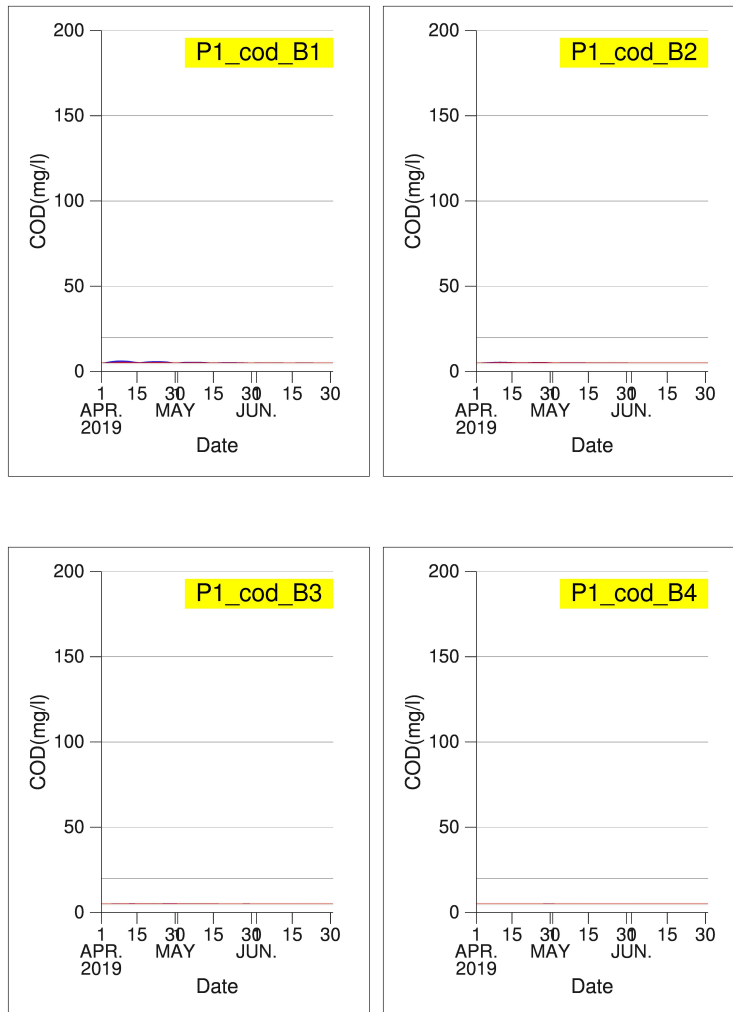
<그림 B.08> P1안의 부남호 구역별 염분 변화.



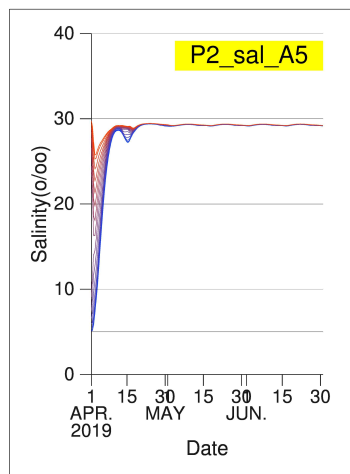
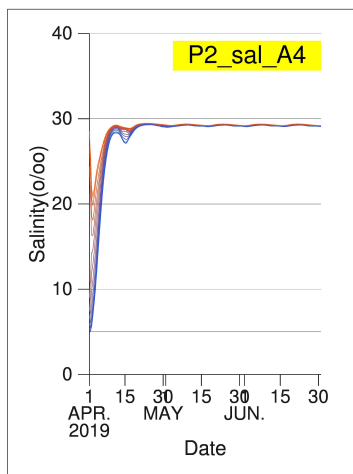
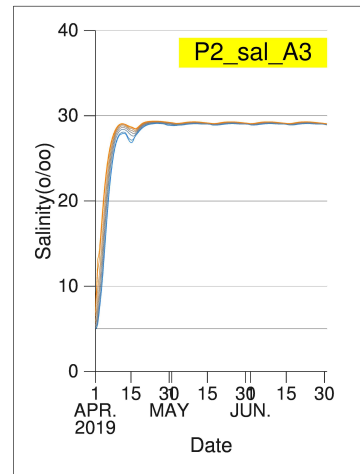
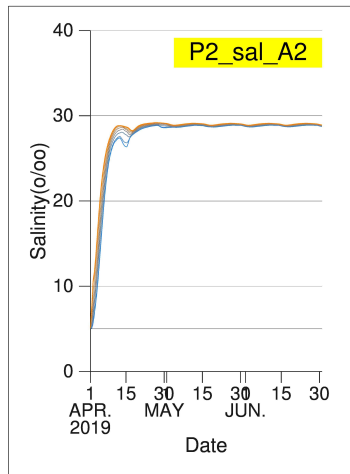
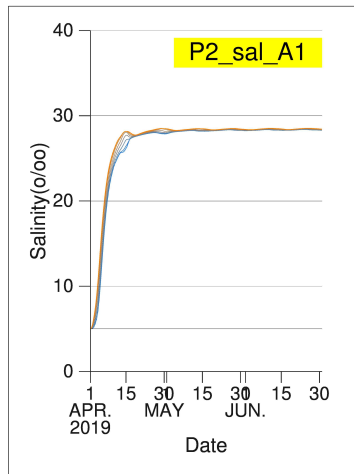
<그림 B.09> P1안의 부남호 구역별 COD변화.



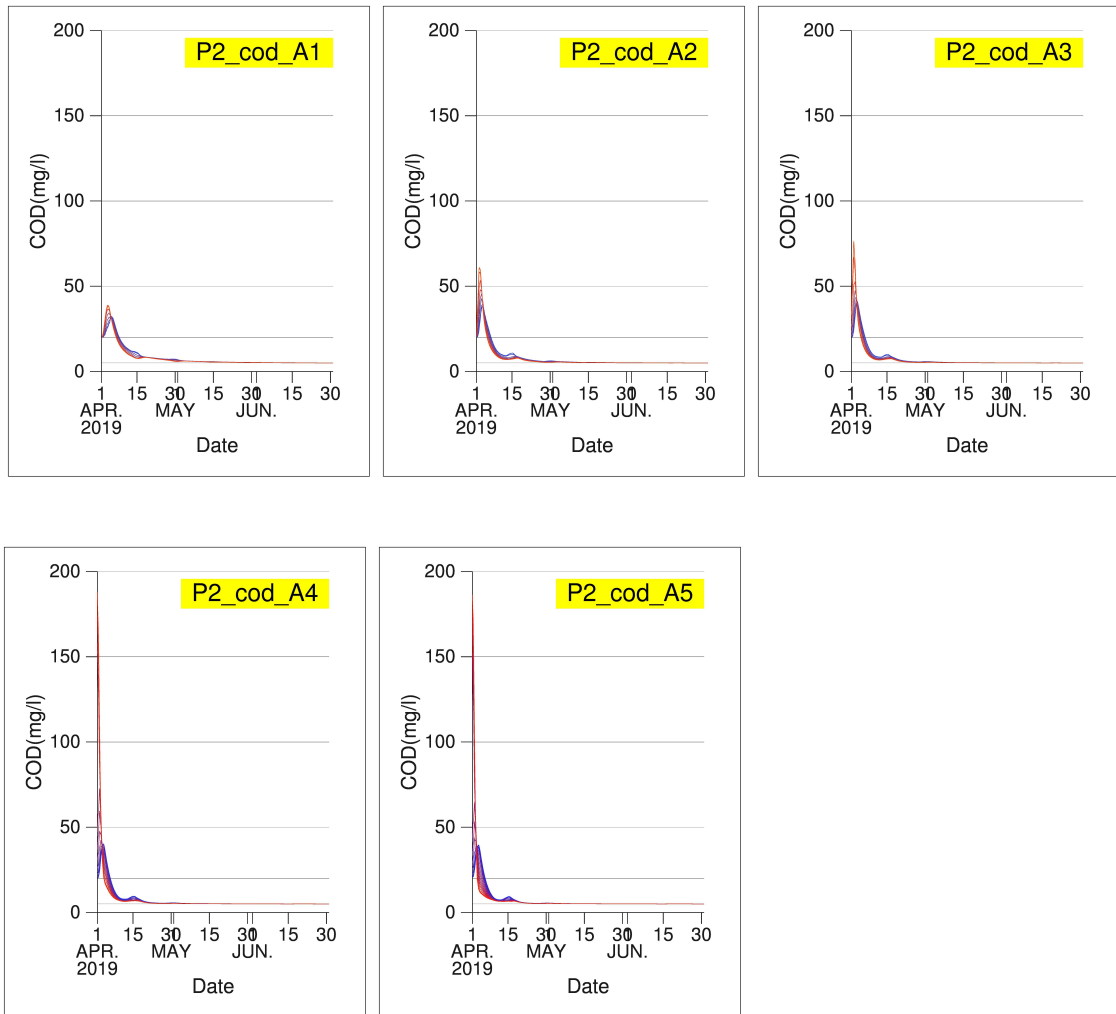
<그림 B.10> P1안의 천수만 구역별 염분 변화.



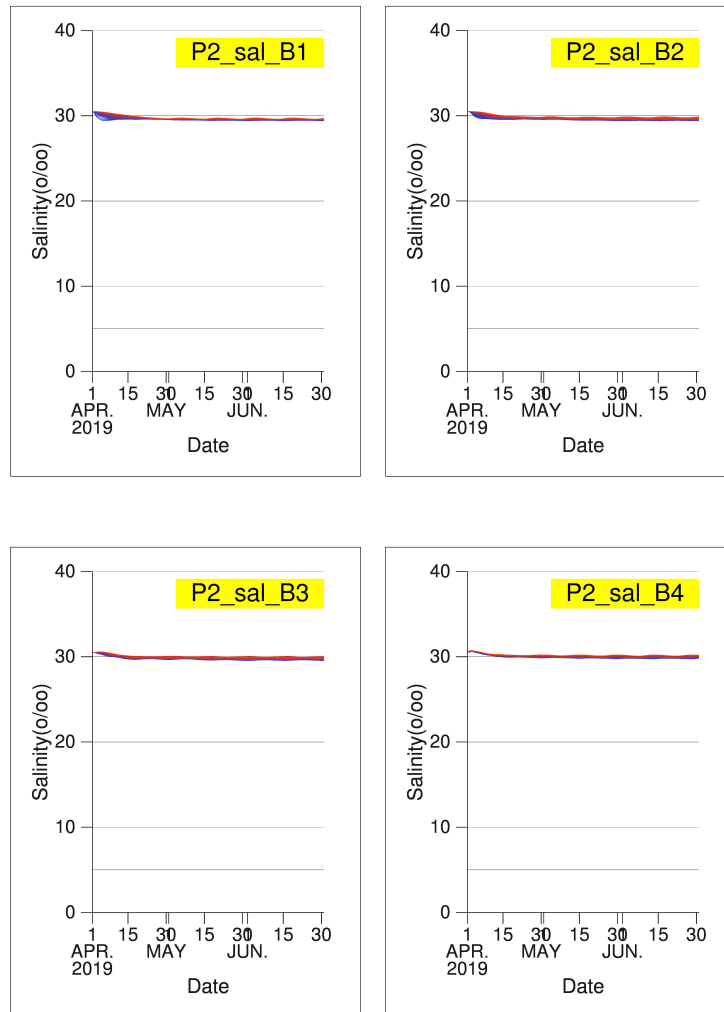
<그림 B.11> P1안의 천수만 구역별 COD변화.



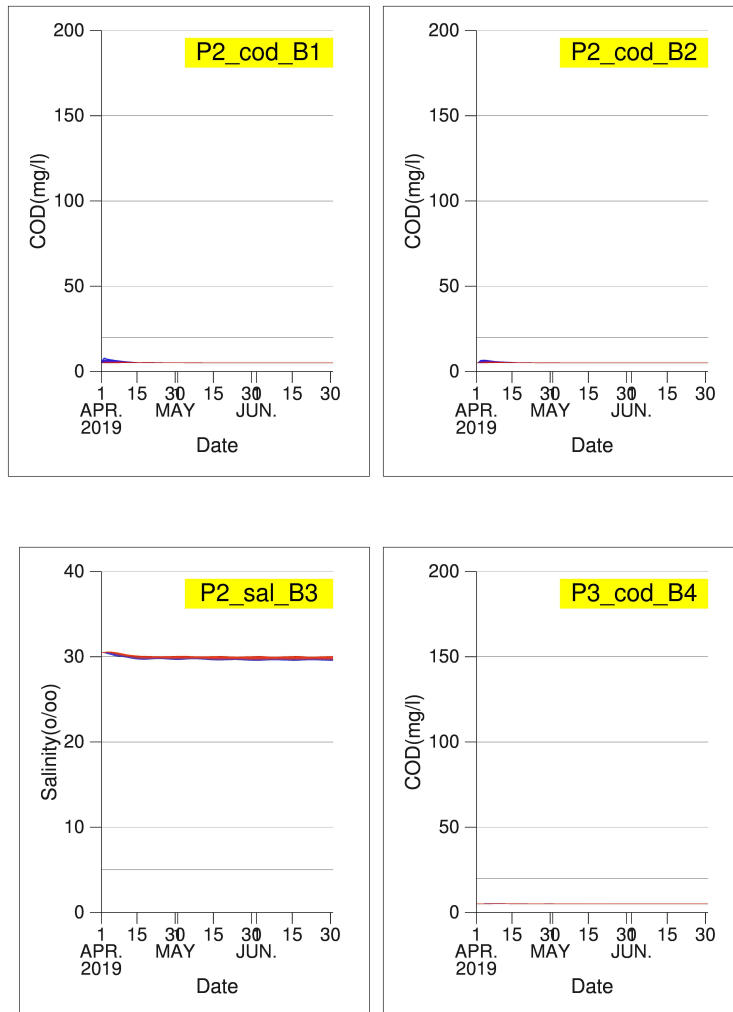
<그림 B.12> P2안의 부남호 구역별 염분 변화.



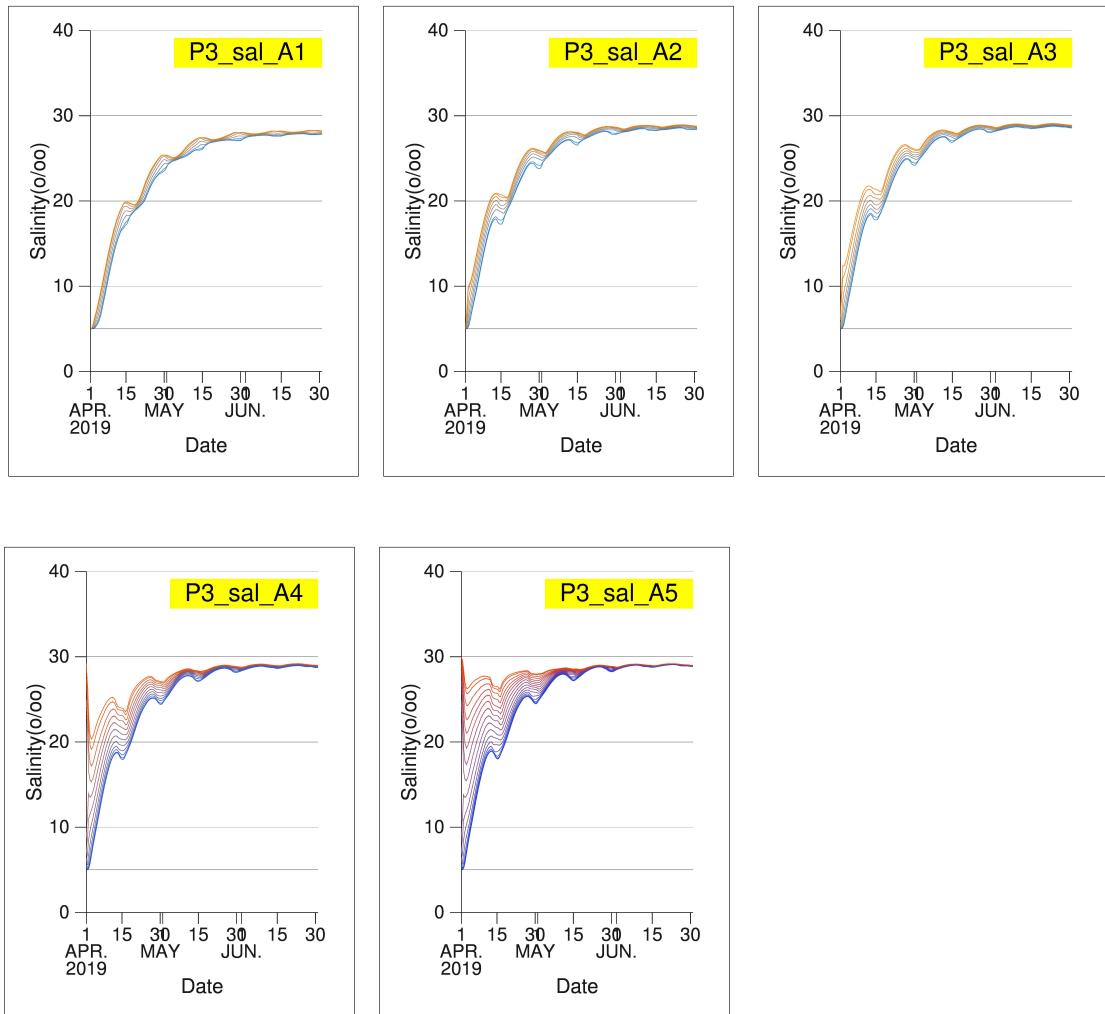
<그림 B.13> P2안의 부남호 구역별 COD 변화.



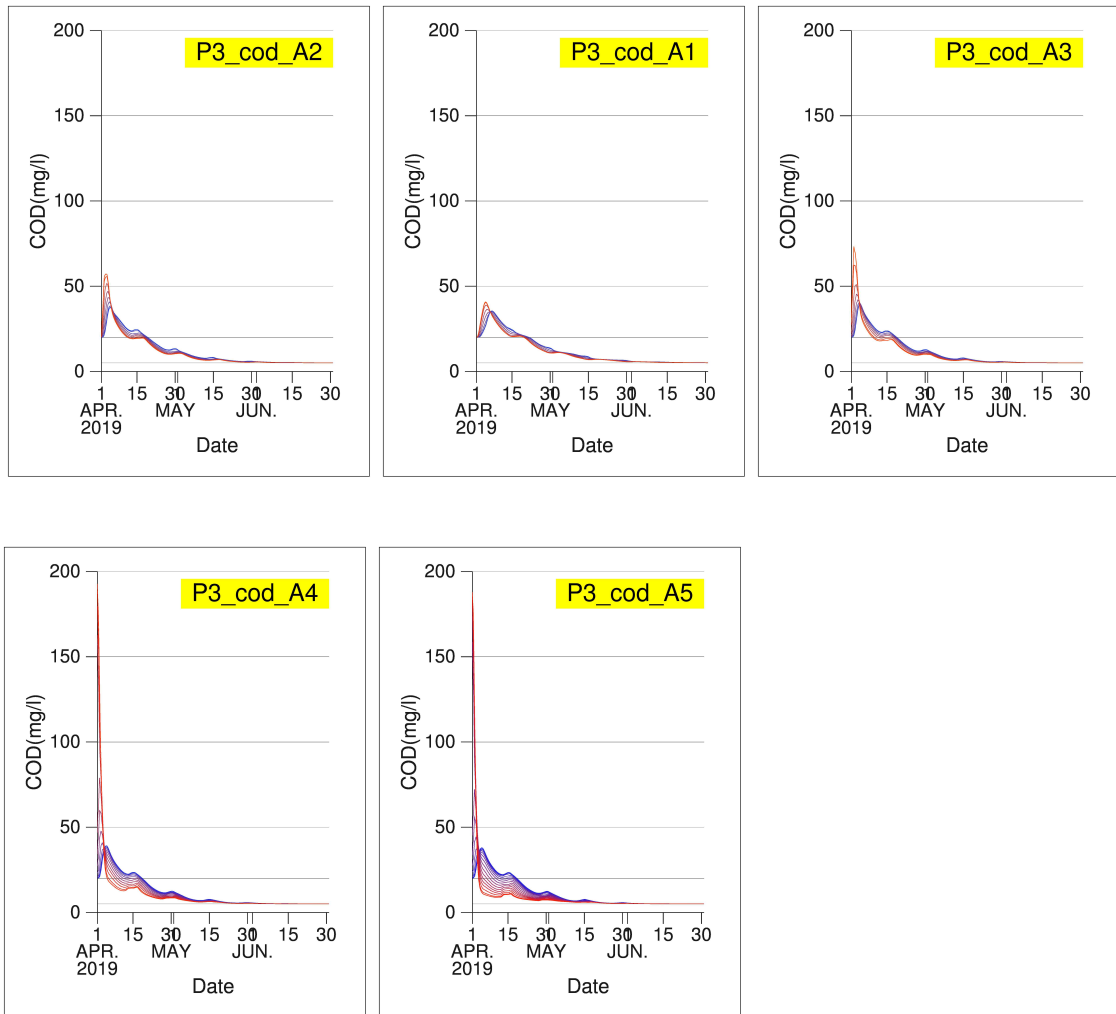
<그림 B.14> P2안의 천수만 구역별 염분 변화.



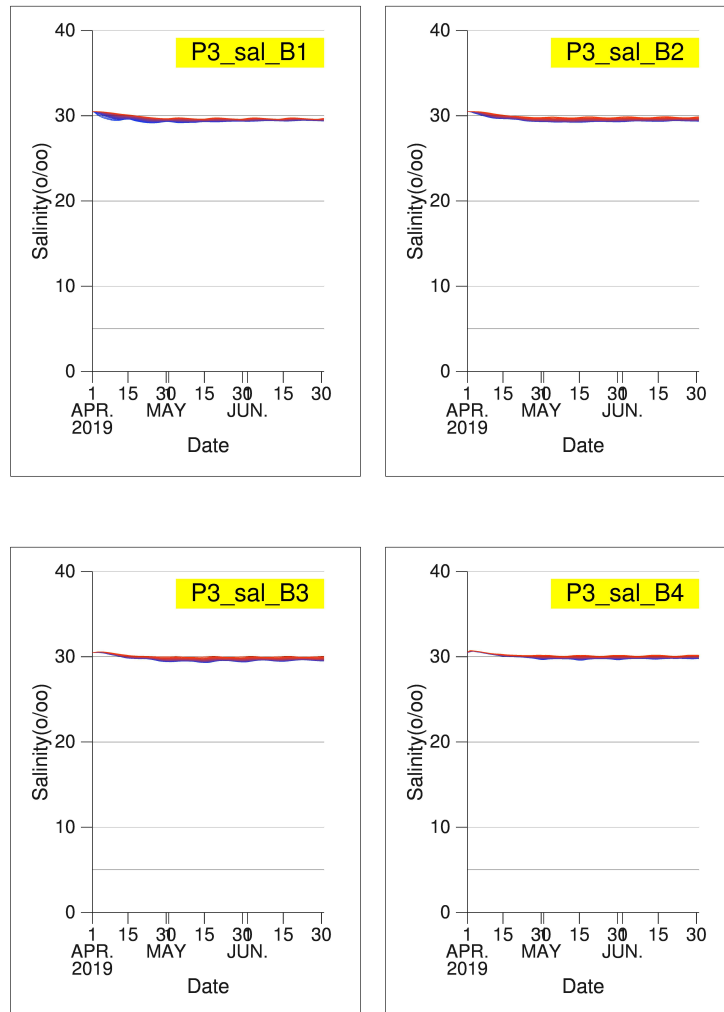
<그림 B.15> P2안의 천수만 구역별 COD 변화.



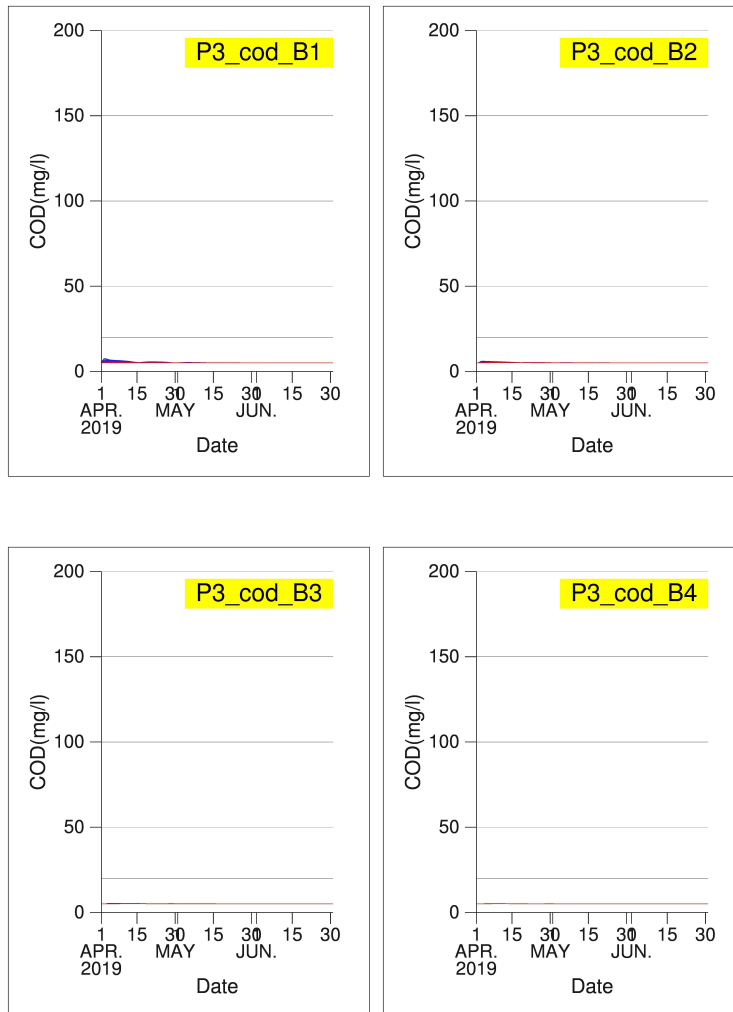
<그림 B.16> P3안의 부남호 구역별 염분 변화.



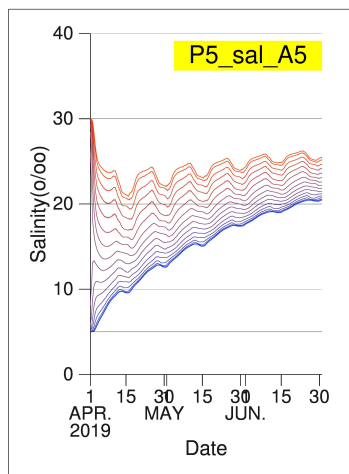
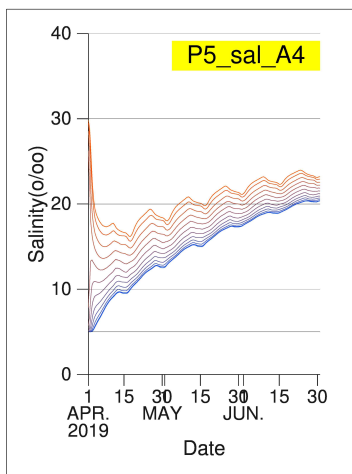
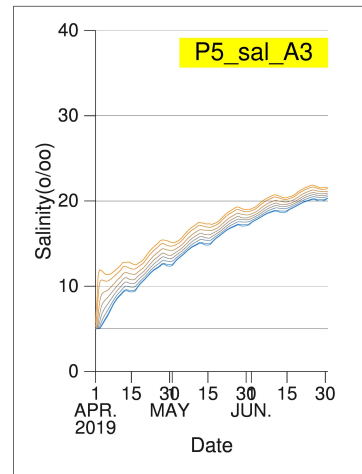
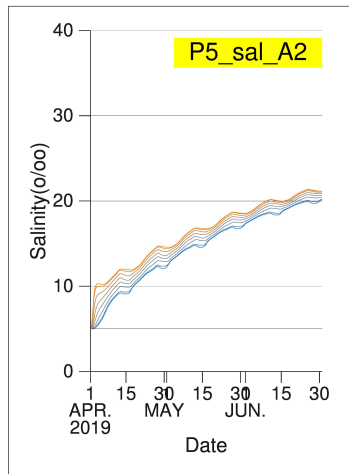
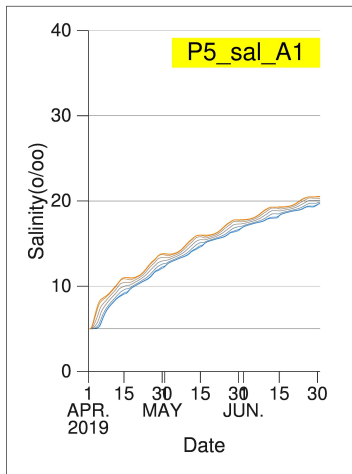
<그림 B.17> P3안의 부남호 구역별 COD 변화.



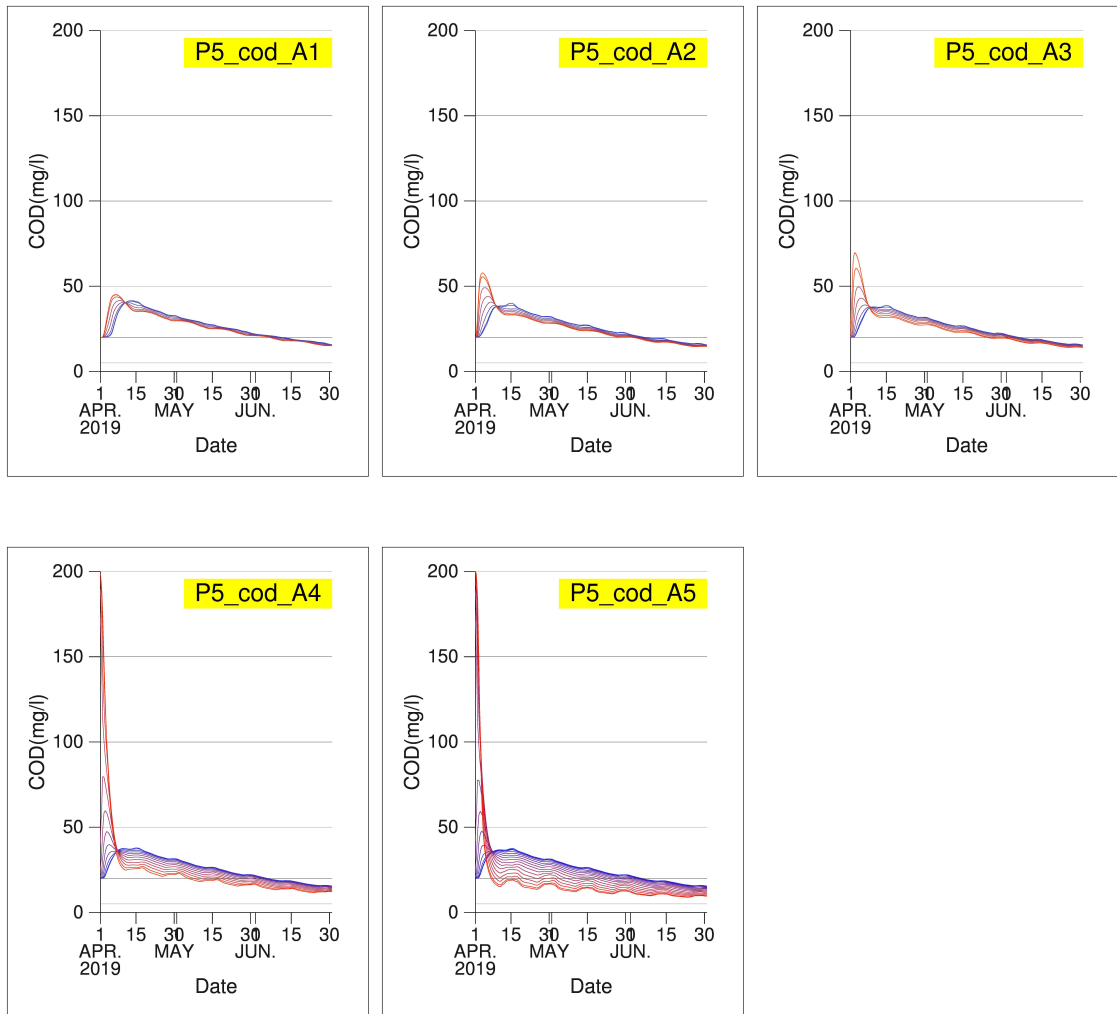
<그림 B.18> P3안의 천수만 구역별 염분 변화.



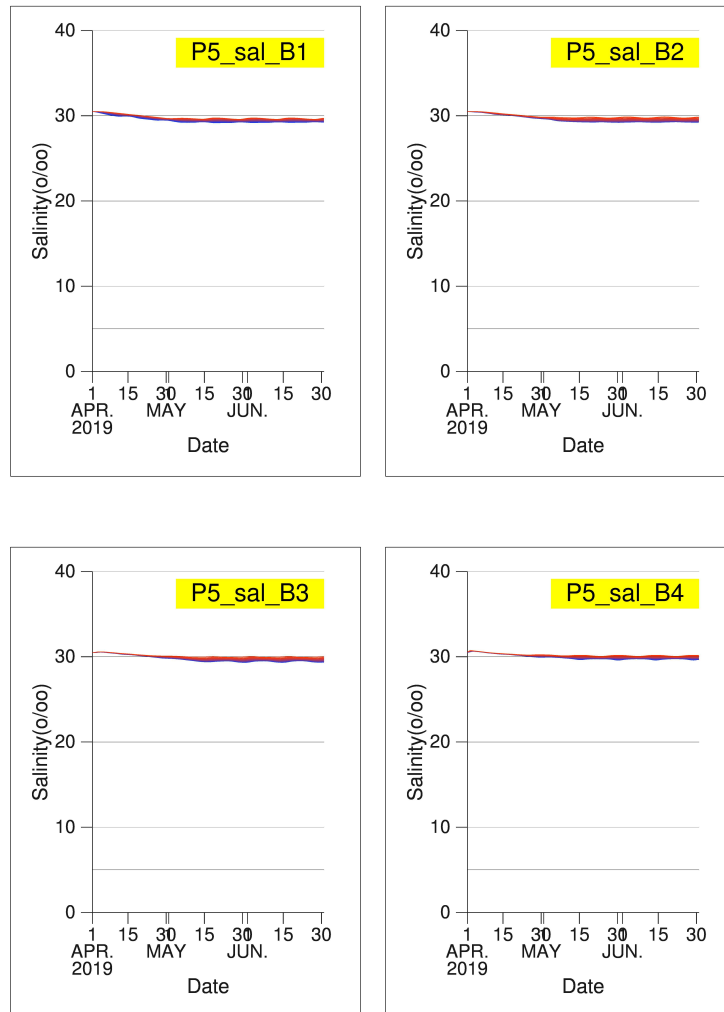
<그림 B.19> P3안의 천수만 구역별 COD 변화.



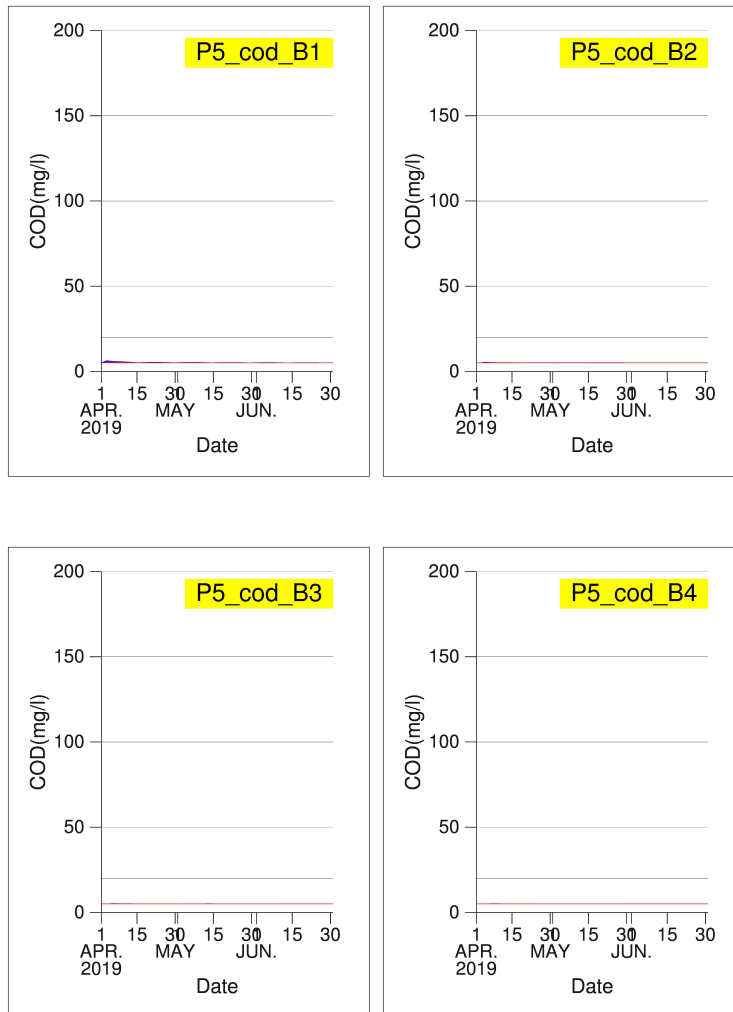
<그림 B.20> P5안의 부남호 구역별 염분 변화.



<그림 B.21> P5안의 부남호 구역별 COD 변화.



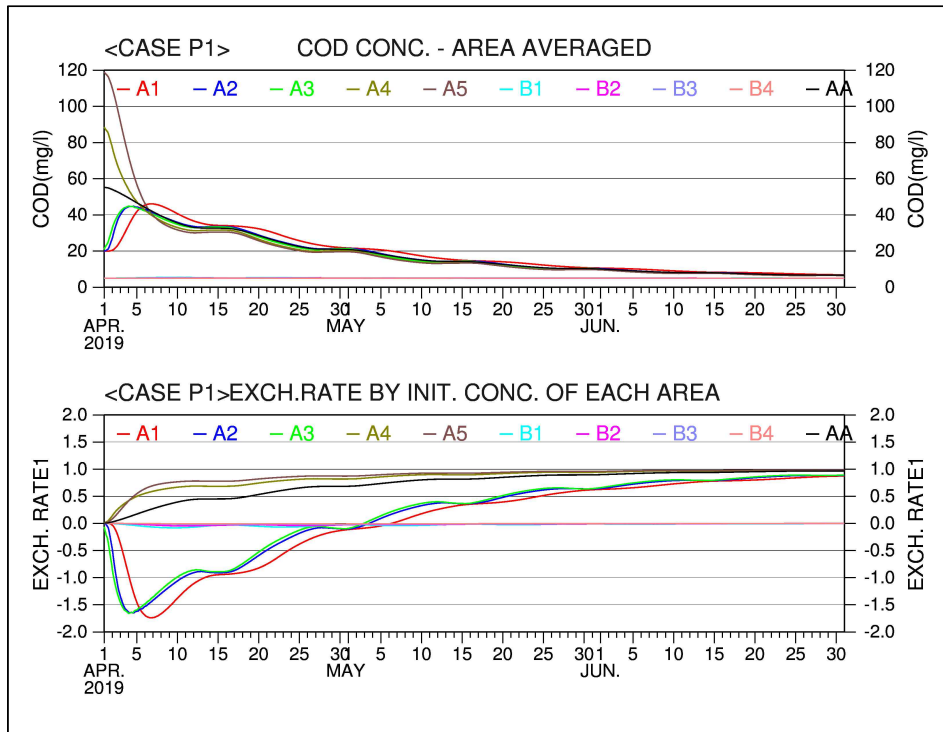
<그림 B.22> P5안의 천수만 구역별 염분 변화.



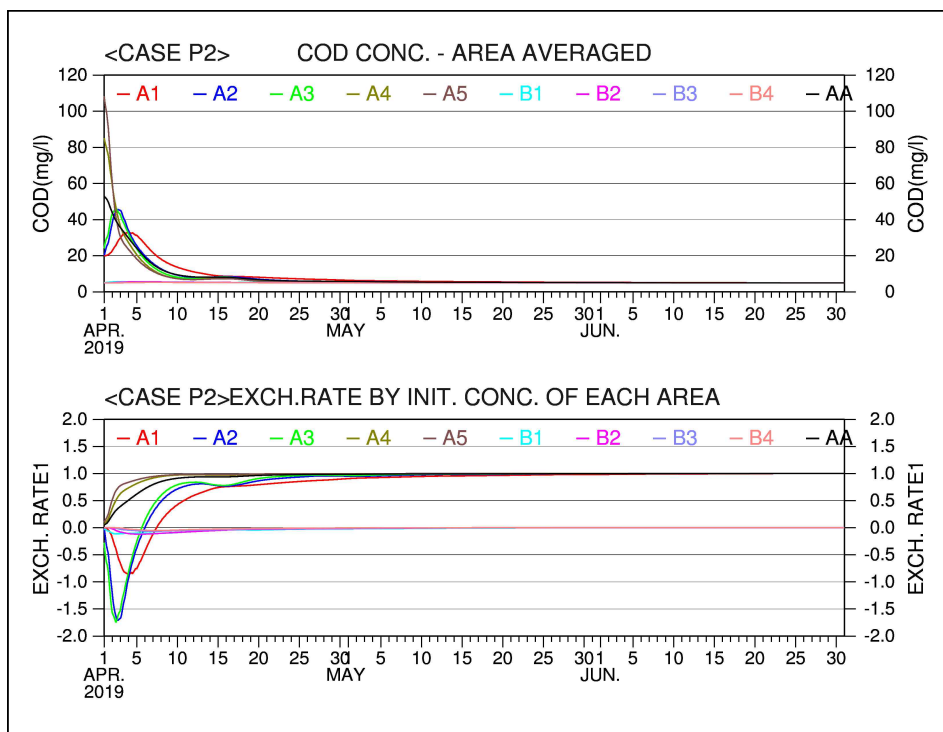
<그림 B.23> P5안의 천수만 구역별 COD 변화.

○ 각안의 구역별 농도/교환율 변화

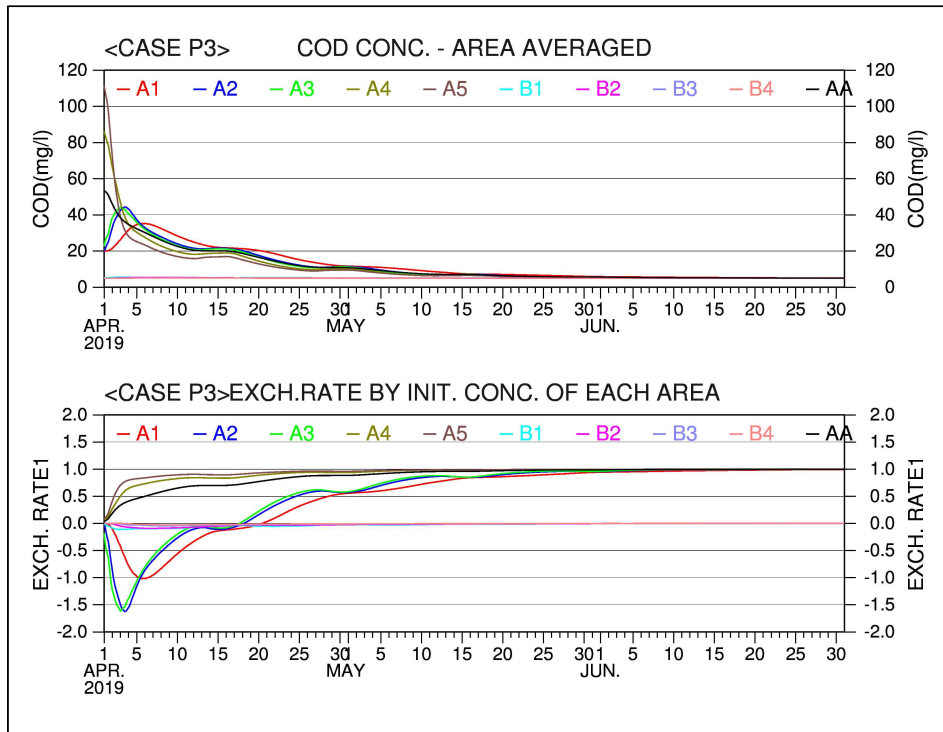
- P1안(현 배수갑문: 30m×4m)의 구역별 COD농도/교환율 변화를 <그림 B.24>에, P2안(수중암거: 200m×5m)의 구역별 COD농도/교환율 변화를 <그림 B.25>에, P3안(수중암거: 100m×3m)의 구역별 COD농도/교환율 변화를 <그림 B.26>에, P5안(수중암거: 20m×3m)의 구역별 COD농도/교환율 변화를 <그림 B.27>에 제시하였음.
- 4개안 모두 변화양상은 유사하게 나타남.
- 부남호의 경우 북부(A1, A2, A3)와 남부(A4, A5)의 수질변화가 뚜렷하게 구분됨.
- 부남호 남부에서는 초기 농도가 높기 때문에 해수유통에 따라 처음부터 농도가 빠르게 감소하나, 북부에서는 초기에 유입수에 의해 남부 하층의 고오염수가 밀려들어오면서 오히려 오염농도가 상승다가 4~5일 후부터는 농도가 지속적으로 감소함.
- 북부에서 교환율이 (-)값이 되는 것은 위에서 언급한 일시적인 수질악화 현상임.
- 천수만의 경우는 초기에 약간의 수질악화가 나타나나 이내 서서히 배경농도로 회복됨.



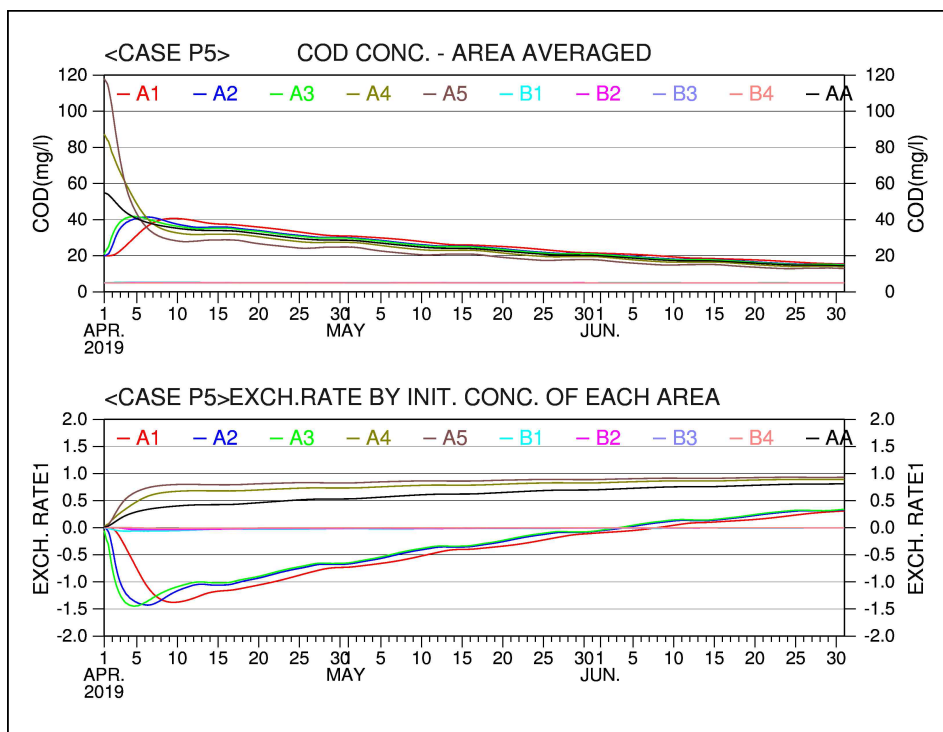
<그림 B.24> P1안(현 배수갑문: 30m×4m)의 구역별 농도/교환율 변화.



<그림 B.25> P2안(수중암거: 200m×5m)의 구역별 농도/교환율 변화.



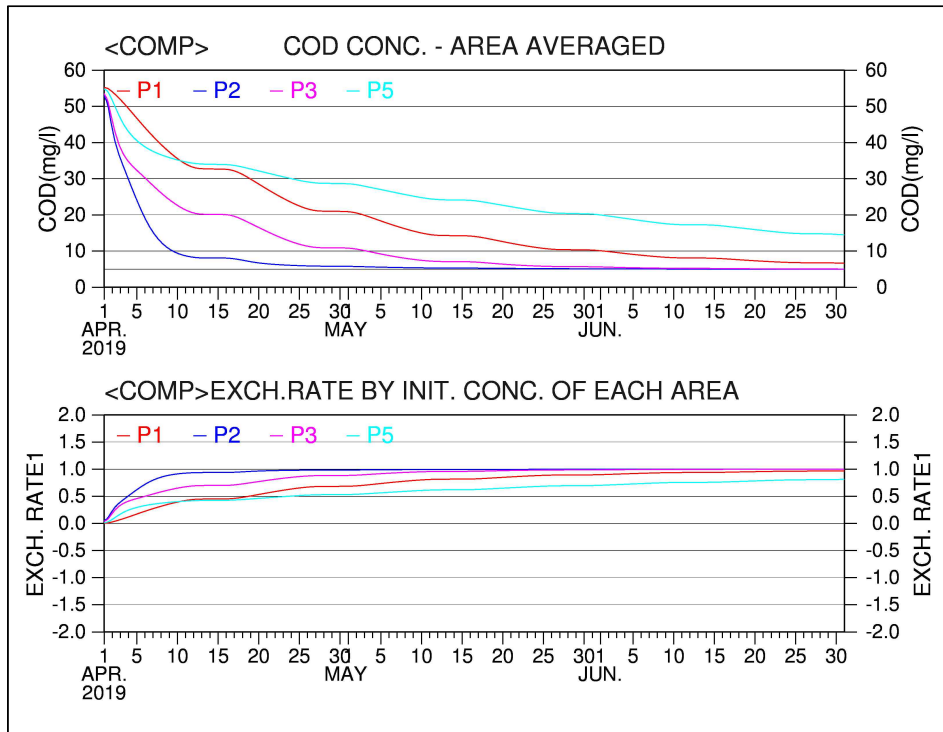
<그림 B.26> P3안(수중암거: 100m×3m)의 구역별 농도/교환율 변화.



<그림 B.27> P5안(수중암거: 20m×3m)의 구역별 농도/교환율 변화.

○ 부남호 농도/교환율 변화 4개안 비교

- P1안(현 배수갑문 이용), P2안(수중암거 200m×5m), P3안(수중암거 100m×3m), P5안(수중암거 20m×3m) 등 4개 안에 대한 실험 결과로 부남호 평균 COD농도/교환율 변화 비교하여 <그림 B.28>과 <표 B.03>에 제시하였음.
- 본 실험에서는 해수유통에 따른 부남호 내측의 수질개선 정도를 파악할 목적으로 COD농도를 기준으로 교환율을 산정하였음.
- 교환율은 초기 농도를 기준으로 수질개선 정도를 산출하는데, 이전의 <유통갑문 수치실험>의 경우에 부남호 남부(A4, A5) 전체의 초기 농도를 20.0 mg/l로 주고 이를 기준으로 교환율을 산정하여 교환율이 낮게 계산되었으나, 본 실험에서는 남부 하층의 초기농도를 200.0 mg/l로, 상층과 북부는 20.0 mg/l로 주고 교환율을 산정하였기 때문에 교환율이 상대적으로 크게 계산되었음. 따라서 <유통갑문 수치실험>의 경우와 본 실험의 교환율을 직접 비교할 수는 없음.
- P2안, P3안의 경우 유통량이 매우 많아서 수질개선이 빠르게 이루어짐.
- P5안의 경우 수질개선이 가장 느리고 특히, 상류부(A1, A2, A3)의 개선속도가 느림.
- P1안의 경우 2개월 후 농도는 10.0mg/l에 머무나 개선율은 90%에 가까움.
- 수중암거 안의 경우 하류부(A4, A5)의 개선 속도는 빠르나 상류부(A1, A2, A3) 개선 속도가 상대적으로 느림(P1 & P5 비교에서).
- P1안(현 배수갑문)의 경우 하류부(A4, A5) 하층의 개선속도는 빠르지 않으나 상류부(A1, A2, A3)의 개선속도는 상대적으로 빠름.
- 현 배수갑문을 통한 해수유통도 수질개선에 어느 정도 효과를 보이므로 신규 설치되는 수중암거와 현 배수갑문을 동시에 운용하는 경우의 효과도 검토해볼 필요가 있음.



<그림 B.28> 4개 안의 부남호 평균 농도/교환율 변화 비교.

<표 B.03> 이상해역 수중암거 4개 안의 농도, 교환율 변화
비교

실험안		경과 기간에 따른 변화			
		초기	30일후	60일후	90일후
농도 (mg/l)	P1안	55.4	20.9	10.1	6.6
	P2안	55.4	5.8	5.1	5.0
	P3안	55.4	10.8	5.6	5.0
	P5안	55.4	28.6	20.0	14.5
교환율 (%)	P1안	0.0	68.5	89.9	96.8
	P2안	0.0	98.5	99.8	100.0
	P3안	0.0	88.5	98.8	99.9
	P5안	0.0	53.2	70.2	81.1

부록 2

2019년 4월 CTD 자료

Dept h	Temperature (°C)						Salinity (psu)					
	B1	B2	B3	C1	C2	C3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
0.5	11.04	10.89	10.98	9.46	9.16	8.53	2.99	3.70	4.56	31.80	31.84	31.55
1.0	10.95	10.75	10.94	9.46	9.16	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.84	31.55
1.5	10.81	10.58	10.86	9.46	9.16	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.84	31.55
2.0	10.77	10.56	10.75	9.46	9.16	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.84	31.57
2.5	10.72	10.56	10.63	9.46	9.15	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.85	31.57
3.0	10.69	10.56	10.60	9.46	9.16	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.85	31.58
3.5	10.67	10.54	10.59	9.46	9.16	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.85	31.59
4.0	10.61	10.51	10.58	9.46	9.15	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.85	31.59
4.5	10.60	10.49	10.58	9.46	9.15	8.52	2.98	3.70	4.56	31.80	31.85	31.60
5.0	10.59	10.48	10.58	9.46	9.14	8.53	2.98	3.70	4.56	31.80	31.84	31.60
5.5	10.58	10.50	10.58	9.46	9.12	8.52	2.98	3.71	4.57	31.80	31.84	31.60
6.0	10.57	10.51	10.59	9.46	9.11	8.53	2.98	3.71	4.57	31.80	31.84	31.60
6.5		10.50	10.59	9.46	9.11	8.52		3.71	4.57	31.80	31.85	31.61
7.0		10.47	10.60	9.46	9.11	8.52		3.72	4.67	31.80	31.84	31.60
7.5		10.45	10.56	9.45	9.09	8.50		3.72	6.19	31.80	31.85	31.61
8.0		10.42	10.22	9.45	9.07	8.48		3.72	15.47	31.80	31.85	31.61
8.5		10.34	9.96	9.45	9.06	8.48		3.72	27.57	31.82	31.84	31.62
9.0		10.36	10.35	9.47	9.05	8.48		3.73	29.61	31.82	31.84	31.62
9.5		10.39	10.69	9.48	9.05	8.48		3.74	30.05	31.82	31.84	31.62
10.0		10.39	10.96	9.49	9.05	8.48		3.74	30.36	31.82	31.84	31.62
10.5			11.31	9.49	9.04	8.47			30.63	31.82	31.84	31.62
11.0			11.57	9.50	9.03	8.47			30.73	31.82	31.84	31.62
11.5			11.73	9.50	9.02	8.47			30.77	31.82	31.84	31.62
12.0			11.76	9.50	9.01	8.47			30.78	31.82	31.84	31.62
12.5			11.88	9.49	9.01	8.47			31.09	31.83	31.85	31.63
13.0			12.07	9.49	9.01	8.46			31.21	31.83	31.84	31.63
13.5			12.16	9.49	9.01	8.46			31.31	31.83	31.85	31.63
14.0			12.20	9.48		8.46			31.31	31.83		31.63
14.5				9.48		8.46				31.83		31.63
15.0				9.48		8.46				31.83		31.64
15.5				9.47		8.46				31.83		31.65
16.0				9.47		8.46				31.83		31.66
16.5				9.47		8.46				31.83		31.66
17.0						8.46						31.68
17.5						8.46						31.69
18.0						8.46						31.70
18.5						8.46						31.71
19.0						8.46						31.72
19.5						8.46						31.73
20.0						8.46						31.73
20.5						8.46						31.74
21.0						8.46						31.75
21.5						8.46						31.76
22.0						8.46						31.77
22.5						8.46						31.77
23.0						8.46						31.79
23.5						8.45						31.80
24.0						8.45						31.81
24.5						8.45						31.82

부록 3

2019년 7월 CTD 자료

Depth	Temperature (°C)									
	B1	B2	창리 선착장	C1	CTD_1	CTD_2	C2	CTD_3	CTD_4	C3
0.0	26.33	26.42	28.31	28.23	26.97	26.57	27.96	26.47	26.16	25.93
0.5	26.33	26.41	27.77	27.70	26.81	26.34	27.59	26.59	26.11	25.88
1.0	26.32	26.41	27.15	26.88	26.33	26.10	27.07	26.41	25.93	25.72
1.5	26.32	26.39	26.60	26.54	26.02	25.97	26.83	26.08	25.85	25.67
2.0	26.34	26.35	26.37	26.40	25.91	25.88	26.72	25.91	25.83	25.66
2.5	26.33	26.35	26.20	26.01	25.83	25.82	26.65	25.87	25.80	25.66
3.0	26.33	26.36	26.12	25.94	25.77	25.82	26.46	25.85	25.79	25.65
3.5	26.33	26.34	26.02	25.87	25.74	25.82	25.85	25.79	25.78	25.62
4.0	26.32	26.35	25.94	25.89	25.72	25.82	25.67	25.71	25.77	25.58
4.5	26.30	26.36	25.86	25.87	25.71	25.80	25.65	25.62	25.77	25.57
5.0	26.30	26.34	25.82	25.83	25.71	25.74		25.60	25.77	25.56
5.5	26.29	26.31	25.80	25.77	25.71	25.66		25.58	25.76	25.54
6.0	26.27	26.31	25.75	25.69	25.64	25.63		25.58	25.75	25.47
6.5		26.30	25.70	25.64	25.61	25.62		25.58	25.74	25.45
7.0		26.00	25.66	25.62	25.60	25.62		25.58	25.72	25.45
7.5		20.81	25.65	25.61	25.60	25.62		25.57	25.70	25.43
8.0		18.25	25.62	25.62	25.59	25.62		25.58	25.69	25.41
8.5		17.40	25.60	25.61	25.58	25.61		25.58	25.69	25.39
9.0			25.60	25.61		25.61		25.56	25.65	25.36
9.5			25.60	25.61		25.60		25.52	25.63	25.33
10.0			25.59	25.61		25.59		25.48	25.60	25.32
10.5				25.62		25.58		25.47	25.59	25.31
11.0				25.62		25.57		25.47	25.59	25.31
11.5				25.62		25.54		25.47	25.58	25.31
12.0				25.63		25.54		25.47	25.57	25.31
12.5				25.64				25.47	25.57	25.30
13.0				25.62				25.47	25.56	25.29
13.5				25.61					25.56	25.28
14.0									25.55	25.27
14.5									25.55	25.27
15.0									25.55	25.27
15.5										25.26
16.0										25.25
16.5										25.25
17.0										25.24
17.5										25.24
18.0										25.24
18.5										25.23
19.0										25.23

Depth	Salinity (psu)									
	B1	B2	창리 선착장	C1	CTD_1	CTD_2	C2	CTD_3	CTD_4	C3
0.0	3.00	4.13	25.45	24.73	28.31	29.94	26.19	30.72	30.77	30.99
0.5	3.00	4.13	26.65	26.02	29.22	30.37	27.72	30.63	30.84	30.98
1.0	3.00	4.13	27.74	28.22	30.23	30.77	29.25	30.85	30.99	31.08
1.5	3.00	4.13	28.78	28.60	30.78	31.06	29.75	31.12	31.07	31.12
2.0	3.00	4.13	29.44	29.57	30.99	31.22	30.01	31.22	31.09	31.11
2.5	3.00	4.13	29.94	30.49	31.17	31.33	30.19	31.24	31.12	31.12
3.0	3.00	4.13	30.27	30.66	31.29	31.36	30.70	31.25	31.14	31.14
3.5	3.00	4.13	30.56	30.81	31.32	31.36	31.40	31.27	31.15	31.18
4.0	3.01	4.13	30.70	30.91	31.33	31.36	31.52	31.33	31.15	31.22
4.5	3.01	4.13	30.82	31.01	31.33	31.38	31.53	31.39	31.16	31.24
5.0	3.01	4.13	30.89	31.07	31.33	31.43		31.41	31.17	31.25
5.5	3.02	4.13	30.94	31.14	31.33	31.47		31.42	31.18	31.30
6.0	3.06	4.13	31.05	31.26	31.44	31.48		31.42	31.19	31.36
6.5		4.13	31.17	31.29	31.47	31.49		31.42	31.23	31.38
7.0		4.10	31.21	31.37	31.48	31.49		31.42	31.25	31.37
7.5		4.06	31.27	31.41	31.49	31.49		31.42	31.27	31.39
8.0		4.09	31.33	31.40	31.49	31.49		31.42	31.27	31.39
8.5		4.16	31.37	31.41	31.50	31.50		31.42	31.28	31.39
9.0			31.39	31.41		31.50		31.43	31.33	31.40
9.5			31.39	31.41		31.51		31.46	31.37	31.40
10.0			31.40	31.42		31.52		31.48	31.40	31.41
10.5				31.42		31.52		31.49	31.41	31.41
11.0				31.42		31.54		31.49	31.42	31.42
11.5				31.43		31.56		31.49	31.43	31.42
12.0				31.45		31.57		31.49	31.44	31.42
12.5				31.46				31.49	31.44	31.42
13.0				31.47				31.49	31.45	31.43
13.5				31.48					31.45	31.43
14.0									31.46	31.44
14.5									31.46	31.45
15.0									31.46	31.45
15.5										31.46
16.0										31.47
16.5										31.48
17.0										31.48
17.5										31.49
18.0										31.50
18.5										31.51
19.0										31.52

부록 4

2019년 4월 식물플랑크톤 출현 종

species / site (Cells/L)	B1	B2	B3	C1	C2	C3
BACILLARIOPHYTA						
<i>Asterionella glacialis</i>	3179	0	0	626520	556167	366157
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0	0	0	5448	1567	0
<i>Chaetoceros</i> spp.	0	0	0	9080	4700	3116
<i>Cosinodiscus</i> spp.	0	0	0	1816	3133	10907
<i>Cymbella</i> spp.	0	0	0	1816	0	0
<i>Cylindrotheca closterium</i>	0	0	0	10896	7833	7791
<i>Detonula pumila</i>	0	0	0	0	0	1558
<i>Ditylum brightwellii</i>	0	0	0	1816	1567	6232
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	1816	1567	0
<i>Guinardia delicatula</i>	228878	65573	30279	377728	264767	85696
<i>Guinardia striata</i>	0	0	0	5448	7833	3116
<i>Lauderia annulata</i>	0	0	0	3632	3133	1558
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0	0	0	5448	12533	1558
<i>Melosira</i> spp.	0	0	0	0	3133	0
<i>Navicular</i> spp.	0	0	0	1816	0	0
<i>Nitzschia</i> spp.	0	0	0	9080	3133	0
<i>Odontella longicruris</i>	0	0	0	182	6267	23372
<i>Odontella</i> spp.	0	0	0	0	0	4674
<i>Pleurosigma</i> spp.	0	0	0	182	1567	0
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	0	0	0	49032	15667	6232
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0	0	0	23608	15667	3116
<i>Rhizosolenia</i> spp.	0	0	0	182	157	0
<i>Skeletonema costatum</i>	1462279	655731	257368	36320	23500	101277
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0	0	0	182	1567	0
<i>Thalassiosira</i> spp.	0	0	0	3632	1567	1558
Unidentified diatom	0	0	0	18160	18800	0
DINOPHYTA						
<i>Gyrodinium spirale</i>	0	0	0	9080	7833	4674
<i>Gymnodinium</i> spp.	0	0	0	3632	0	0
<i>Protoperdinium</i> spp.	0	0	0	1816	0	0
Unidentified dinoflagellate	448220	1863656	148365	14528	3133	7791
CRYPTOPHYTA						
<i>Cryptomonas</i> spp.	63577	34512	12111	27240	15667	7791
CHLOROPHYTA						
<i>Ankistodesmus</i> spp.	89008	24159	24223	0	0	0
<i>Scenedesmus</i> spp.	41325	13805	39362	0	0	0
Unidentified greealga1	6358	17256	3028	0	0	0
Unidentified greealga2	788359	207073	66613	0	0	0
Unidentified greealga3	25431	17256	45418	0	0	0
EUGELNOPHYTA						
<i>Eutreptella gymmastica</i>	0	0	0	5448	4700	1558
CYNOBACTERIA						
<i>Microcystis</i> spp.	86083743	40983178	21573482	9080	23500	54534
OTHERS						
unidentified flagellate 1	0	0	0	30872	28200	7791
unidentified flagellate 2	0	0	0	12712	4700	3116

부록 5
2019년 7월 식물플랑크톤 출현 종

species / site (Cells/L)	B1	B2	B3	C1	C2	C3
BACILLARIOPHYTA						
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	0	0	215566	0	0
<i>Chaetoceros danicus</i>	0	0	0	21557	84388	22680
<i>Chaetoceros decipiens</i>	0	0	0	215566	126582	18144
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0	0	0	646698	759490	68041
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	0	0	0	1077830	632908	408247
<i>Chaetoceros</i> spp.	0	0	0	1250283	210969	340206
<i>Cylindrotheca closterium</i>	12978	8932	0	21557	29536	13608
<i>Dactyliosolen phuketensis</i>	0	0	0	0	0	4536
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	0	0	133651	21097	90722
<i>Guinardia delicatula</i>	0	0	0	12934	16878	9072
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0	0	0	0	42194	68041
<i>Navicular</i> spp.	0	0	0	8623	12658	13608
<i>Nitzschia</i> spp.	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0	0	0	0	42194	22680
<i>Thalassiosira</i> spp.	0	0	0	73292	118143	77113
<i>Diploneis</i> spp.	0	0	0	0	0	4536
<i>Stephanopyxis</i> spp.	0	0	0	0	4219	36289
Unidentified diatom	34608	13398	13559	0	0	0
DINOPHYTA						
Unidentified dinoflagellate	8652	0	0	12934	4219	18144
CRYPTOPHYTA						
Cryptomonas sp.1	3979885	17864	54235	47425	67510	36289
Cryptomonas sp.2	0	89320	225979	0	0	0
CHLOROPHYTA						
<i>Ankistodesmus</i> spp.	744065	250096	85872	21557	37974	0
<i>Scenedesmus</i> spp.	51912	17864	18078	0	0	0
Unidentified greealga1	0	196504	225979	0	0	0
Unidentified greealga2	34608	89320	67794	0	0	0
CYNOBACTERIA						
<i>Anabena</i> spp.	385011	218834	81353	431132	122362	0
<i>Microcystis</i> spp.	23619750	14112560	7321732	0	0	0
<i>Oscillatoria</i> sp.1	0	28582400	14462680	4052642	6413469	0
<i>Oscillatoria</i> sp.2	7527173	8932000	4429196	5259811	2194082	272165

부록 6

2019년 4월 동물플랑크톤 출현 종

Species / site (indiv./m ³)	B1	B2	B3	Species / site	C1	C2	C3
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	11428	6890	5492	<i>Noctiluca scintillans</i>	2	1	0
<i>Eucyclops serrulatus</i>	6081	3520	1598	<i>Unidentified trachymedusae</i>	15	1	0
<i>Cyclops vicinus</i>	2202	899	849	<i>Acartia hongi</i>	100	258	47
<i>Cyclops strenuus</i>	1887	1573	699	<i>Calanus sinicus</i>	27	23	5
<i>Acartia hongi</i>	524	0	0	<i>Calanus copepodites</i>	14	2	0
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	0	0	150	<i>Centropages abdominalis</i>	194	214	102
<i>Centropages abdominalis</i>	210	0	0	<i>Centropages copepodites</i>	20	19	18
Unidentified harpacticoids	1573	1048	2097	<i>Eurytemora pacifica</i>	1	0	0
Amphipod	105	75	0	<i>Paracalanus parvus s. l.</i>	0	1	2
				<i>Oithona</i> spp.	6	13	7
				<i>Corycaeus affinis</i>	1	4	0
				Unidentified harpacticoids	0	5	0
				<i>Sagitta crassa</i>	0	1	0
				Decapod larvae	10	1	0
				Cirriped larvae	0	0	0
				Polychaeta larvae	1	1	1
				Fish eggs	0	1	0

부록 7

2019년 7월 동물플랑크톤 출현 종

Species / site (indiv./m ³)	B1	B2	Species / site	C1	C2	C3
<i>Daphnia longispina</i>	349	0	<i>Noctiluca scintillans</i>	0	874	9541
<i>Daphnia galeata</i>	100	0	Unidentified trachymedusae	87	175	105
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	1548	740	<i>Pseudoeutima tergestina</i>	44	437	0
<i>Eucyclops serrulatus</i>	2596	1357	<i>Penilia avirostris</i>	0	0	210
<i>Thermocyclops taihokuensis</i>	1248	370	Unid. Ostracods	0	175	0
<i>Cyclops vicinus</i>	449	0	<i>Acartia hongi</i>	175	612	629
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	100	10176	<i>Calanus sinicus</i>	0	0	210
<i>Sinocalanus tenellus</i>	0	185	<i>Calanus copepodites</i>	0	87	105
Mysid larvae	0	308	<i>Centropages copepodites</i>	87	262	210
			<i>Labidocera copepodite</i>	0	0	105
			<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	5548	6815	11323
			<i>Parvocalanus crassirostris</i>	87	87	0
			<i>Tortannus forcipatus</i>	44	0	315
			<i>Oithona</i> spp.	218	524	315
			<i>Corycaeus affinis</i>	218	437	2726
			Unidentified harpacticoids	0	0	0
			<i>Aidanosagitta crassa</i>	349	524	3145
			<i>Oikopleura dioica</i>	262	1223	524
			Decapod larvae	393	786	629
			Mysid larvae	0	175	210
			Cirriped larvae	87	612	419
			Gastropod larvae	87	262	315
			Ophiopluteus larvae	44	437	629
			Polychaeta larvae	218	262	1363
			Fish larvae	44	0	210
			Fish eggs	131	175	315

부록 8

2019년 4월 대형저서동물 출현 종 (천수만)

Taxa / site	C1-1	C1-2	C1-3	C2-1	C2-2	C2-3	C3-1	C3-2	C3-3
Phylum Mollusca									
<i>Macoma</i> sp.			1						
<i>Megangulus venulosus</i>					1	2	1	2	
<i>Raetella pulchella</i>				15		5			
<i>Theora lata</i>	3	4	5	13	20	51		2	
Phylum Annelida									
<i>Ampharete</i> sp.							1		
<i>Amphinome</i> sp.1			11						
<i>Amphisamytha japonica</i>							7	4	1
<i>Aphelochaeta</i> sp.1							1	2	1
<i>Chaetozone setosa</i>								1	
<i>Chone</i> sp.								1	2
<i>Drilonereis</i> sp.							1		
<i>Glycera nicobarica</i>						1		2	1
<i>Goniada maculata</i>			1						
<i>Heteromastus filiformis</i>	57	80	37	170	33	97	3	7	2
<i>Lagis bocki</i>							1		
<i>Lepidonotus tenuisetosus</i>		1			1				
<i>Micropodarke dubia</i>		1		1	1	1			
<i>Nephtys oligobranchia</i>		1					6	9	5
<i>Nereis longior</i>								1	
<i>Paradoneis lyra</i>							3	1	
<i>Paralacydonia paradoxa</i>								1	
<i>Paraprionospio cordifolia</i>		1	2	4	1	10			
<i>Pista cristata</i>								1	
<i>Poecilochaetus ishikariensis</i>	1	1							
<i>Prionospio paradisea</i>							1	1	
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>						1			
<i>Scoletoma longifolia</i>	1	2							
<i>Scoletoma nipponica</i>							7	11	3
<i>Sigambra tentaculata</i>	14	4	4	7	2	2	1	1	
<i>Spiochaetopterus</i> sp.						1	1		
<i>Sternaspis chinensis</i>						1			
<i>Sthenelais fusca</i>		1				1			
<i>Tambalagama fauveli</i>							1	1	
<i>Terebellides horikoshii</i>								1	
<i>Trichobranchus bibranchiatus</i>									1
Phylum Arthropoda									
Crustacea									
<i>Alpheus japonicus</i>	1								
<i>Ampelisca</i> sp.				1				1	
<i>Asthenognathus inaequipes</i>				3		4			
<i>Athanas lamellifer</i>		1				2			
<i>Chitinomandibulum</i> sp.					1				
<i>Eriopisella sechellensis</i>	1	2		14		5			
Gammaridae unid.							2		
<i>Idunella chilensis</i>	1			4		4	1		
<i>Leptochella gracilis</i>							1	4	2
<i>Lilgeborgia japonica</i>				1				1	
<i>Pinnaxa rathbuni</i>						1			
<i>Priscomailitaris tenuis</i>							1		
<i>Raphidopus ciliatus</i>	2			12	3	2		5	
<i>Thphlocarcinopsis canaliculata</i>						1			
<i>Upogebia major</i>								1	
<i>Xenophthalmus pinnotheroides</i>								1	
Phylum Echinodermata									
<i>Protankyra bidentata</i>				6	2	3			
<i>Ophiura sarsii</i>							10	15	
<i>Patiria pectinifera</i>							1		
Phylum Nemertea									
<i>Nemertea</i> sp.1		1	2	1					
No. of species	9	13	8	14	10	20	20	25	9
Density	810	1000	630	2520	650	1950	510	770	180

부록 9

2019년 7월 대형저서동물 출현 종 (천수만)

Taxa / site	C1-1	C1-2	C1-3	C2-1	C2-2	C2-3	C3-1	C3-2	C3-3
Phylum Mollusca									
<i>Macoma</i> sp.	1								
<i>Megangulus venulosus</i>	1							1	2
<i>Philine scalpta</i>		1							
<i>Raetella pulchella</i>	8	3	18	8	1	25			3
<i>Theora lata</i>	77	90	134	6	2	1		5	23
Phylum Annelida									
<i>Amaeana</i> sp.				3	3	1	1		1
<i>Amphicteis gunneri</i>									1
<i>Amphinome</i> sp.1	19	6	2			1			
<i>Amphisamytha japonica</i>							2	2	9
<i>Anaitides koreana</i>					2		1		1
<i>Aricidea pacifica</i>				3				1	
<i>Chaetozone setosa</i>							1	1	
<i>Chaetozone spinosa</i>		1					5	10	17
<i>Diopatra sugokai</i>				1		1		1	1
<i>Drilonereis</i> sp.								1	
<i>Glycera nicobarica</i>	2			2	1		9	1	
<i>Glycinde bonhourei</i>									1
<i>Goniada maculata</i>				1	3	1		1	1
<i>Heteromastus filiformis</i>	18	34	26	25	15	27	47	16	10
<i>Inermonephtys inermis</i>									3
<i>Lagis bocki</i>			8	2	1	3			
<i>Lepidonotus helotypus</i>						1			
<i>Marphysa sanguinea</i>						1			
<i>Melinna elisabethae</i>						1			
<i>Micropodarke dubia</i>				1					1
<i>Nephtys oligobranchia</i>	4	1	2		1		3		
<i>Notomastuslatericeus</i>							68	46	85
<i>Paradoneis lyra</i>					1		2		
<i>Paralacydonia paradoxa</i>							2		4
<i>Paraprionospio cordifolia</i>	1				1	3			
<i>Perolepis</i> sp.					1				
<i>Poecilochaetus ishikariensis</i>	1		2					1	4
<i>Praxillella pacifica</i>							2		
<i>Scoletoma heteropoda</i>			1				1		1
<i>Scoletoma longifolia</i>		1	1	61	38	28			
<i>Scoloplos armiger</i>						1			
<i>Sigambra bidentata</i>	2								
<i>Sigambra tentaculata</i>			1	3		1	2		4
<i>Spio filicornia</i>					1			1	
<i>Spiochaetopterus</i> sp.							1	1	
<i>Sternaspis chinensis</i>								1	3
<i>Sthenelais fusca</i>	2	3	2	1	2	1		3	4
<i>Tambalagama fauveli</i>							2		
<i>Terebellides horikoshii</i>						2		2	2
<i>Trichobranchus bibranchiatus</i>						1	4		1
Phylum Arthropoda									
<i>Ampelisca</i> sp.							5	1	
<i>Asthenognathus inaequipes</i>	1								
<i>Eocuma hilgendorfi</i>							1		
<i>Eriopisella sechellensis</i>	1				1				
<i>Leptochella gracilis</i>							1		1

<i>Oratosquilla oratoria</i>		1							
<i>Photis longicaudata</i>									2
<i>Pinnixa rathbuni</i>								1	
<i>Raphidopus ciliatus</i>				2					
<i>Tritodynamia rathbuni</i>			1						
<i>Typhlocarcinops canaliculata</i>						1			1
<i>Upogebia major</i>							1		
<i>Xenopthalmus pinnotheroides</i>							2	1	4
Phylum Echinodermata									
<i>Protankyra bidentata</i>	1								
<i>Ophiura sarsii</i>			4	1		1		1	
<i>Patiria pectinifera</i>								1	
Phylum Hemichordata									
<i>Glandiceps</i> sp.				1					
Phylum Nemertea									
Nemertea sp.1	1	1	1	1	1	1			1
No. of species	16	11	14	17	17	21	22	23	28
Density	1400								

해양 환경에 대한 국민 의견조사

안녕하십니까?

본 설문은 한국해양과학기술원(KAOST)가 해양 환경과 과학기술에 대한 귀하의 의견을 여쭙고자 수행하는 것입니다. 각 질문에 대해 옳거나 그른 답이 있는 것은 아니므로, 귀하의 의견을 신중하고 편하게 말씀해 주시면 됩니다. 만약 이해가 되지 않는 부분이 있다면 주저하지 마시고 설문조사원에게 질문하여 주십시오.

본 조사에서 밝혀주신 귀하의 고견은 통계법 제8조와 제9조에 의거하여 비밀이 철저히 보장되며, 오직 연구 목적의 통계적 분석을 위해서만 사용될 것입니다. 귀하의 의견이 에너지와 환경을 위한 연구 및 정책 수립에 제대로 반영될 수 있도록 진지하고 성실한 답변을 부탁드립니다.

감사드립니다.



2019년 10월
한국해양과학기술원

Part A 제시금액			
	Q1		Q2
1	1,000	1	3,000
2	3,000	2	4,000
3	4,000	3	6,000
4	6,000	4	8,000
5	8,000	5	10,000
6	10,000	6	12,000
7	12,000	7	15,000

▶ 설문조사원 유의사항 ◀

※ 본 설문조사는 소득이 있는 가구의 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자만을 대상으로 하오니 이에 해당되지 않으신 분은 설문을 실시하지 마십시오.

- 응답자에게 모든 응답 내용은 비밀로 보장될 것이며, 응답자의 성명이 응답내용이나 설문결과와 함께 다루어지는 일은 절대 없을 것임을 확인시켜 주십시오.
- 면접조사가 시작된 시간을 반드시 기입해 주십시오.
- 모든 질문에 대해 응답거부, 모름, 무응답 등의 답변이 허용되지만, 이러한 선택사항에 대해 미리 피면접자에게 읽어 주지는 마십시오.

■ 지 역: 1. 서울 2. 부산 3. 대구 4. 인천 5. 광주 6. 대전 7. 울산 8. 경기
9. 강원 10. 충북 11. 충남 12. 전북 13. 전남 14. 경북 15. 경남 16. 세종

■ 성 별: 1. 남성 2. 여성

■ 연 령: (만 세)

■ 세대주 여부: 1. 세대주 2. 세대주의 배우자

Part A. 천수만 부남호 하구복원 사업에 대한 의견조사

※ 조사는 응답자들에게 다음 내용을 읽어주십시오.

충청남도 서산시와 태안군 사이의 천수만에는 1985년 간척사업으로 생성된 부남호라는 인공호수가 있습니다. 간척 이전의 부남호 지역은 질이 좋은 갯벌 지역으로 조개, 굴 등 해산물의 주생산지였으며 많은 물고기의 산란장 역할을 하였습니다. 또한 봄과 가을에는 호주와 북극 인접 지역을 오가는 도요새들의 중요한 기착지였습니다. 하지만 방조제 축조로 인해 해수유통이 차단되고 2000년대 이후부터 일반인의 농업이 허가되면서 화학비료와 축산폐수 등의 오염물이 담수호로 유입되는 등 수질악화가 가속화되었습니다. 부남호는 생활하수, 가축분뇨, 산업폐수 등에 의해 오염이 심각한 수준으로 2017년 이후에는 수질등급이 6등급으로 농업용수로도 활용이 어려운 상태에 이르렀습니다. **[보기카드 A1, A2 제시]**

이에 정부는 공적 재원을 투입하여 부남호 하구복원 사업을 시행하고자 하고 있습니다. 부남호 하구복원 사업이란 방조제 축조로 해수유통이 차단되어 수질이 악화된 부남호의 물길을 터주어 수질개선을 통해 하구를 복원하는 사업입니다. 본 사업이 완료되면 오염된 수질이 개선되어 수산자원의 회복과 생물다양성이 향상되고, 관광 및 여가를 즐길 수 있는 공간조성으로 관광자원이 확대될 것입니다. **[보기카드 A3, A4 제시]**

천수만 부남호 하구복원 사업의 시행을 위해서는 많은 비용이 소요되며 이를 귀하의 가구가 부담하는 세금으로 충당하고자 합니다. 본 조사에서는 천수만 부남호 수질개선 정화사업을 시행하는 것에 대해 귀하의 가구가 판단하시는 가치에 대해 알고자 합니다. 천수만 부남호 수질개선 정화사업 정화사업을 위한 지불에 귀하의 가구가 동의하신다면, 그 재원은 귀하의 가구가 **향후 5년 동안 매년 1회 추가적으로 부담하는 소득세를 통해 충당됩니다.** 귀하 가구의 소득은 제한되어 있고 그 소득은 여러 용도(식비, 의복비, 주거비 등)로 지출되어야 한다는 사실과 수질개선 정화사업이 필요한 지역은 충청남도 천수만 지역 말고도 여러 곳이 있음을 고려하신 후 다음 질문에 신중하게 대답하여 주시길 부탁드립니다.

- A1. 귀하는 충청남도 천수만에 위치한 부남호에 대해 들어보신 적이 있습니까? ① 예 ② 아니오
- A2. 귀하는 충청남도 천수만에 위치한 부남호를 방문하신 적이 있습니까? ① 예 ② 아니오
- A3. 귀하는 충청남도 천수만에 위치한 부남호 하구복원 사업에 대해 들어본 경험이 있습니까? ① 예 ② 아니오
- A4. 귀하는 충청남도 천수만에 위치한 부남호 하구복원 사업에 대해 어떻게 생각하십니까?
 ① 매우 필요 ② 필요 ③ 보통 ④ 필요 없음 ⑤ 전혀 필요 없음
- A5. 귀하는 갯벌의 중요성에 대해 어떻게 생각하십니까?
 ① 매우 중요 ② 중요 ③ 보통 ④ 중요치 않음 ⑤ 전혀 중요치 않음

(※ 조사는 가구당 **향후 10년간 1년에 1회 부담한다는 사실을 반드시 주지시켜 주십시오.**)

관련 연구기관의 분석결과, 충청남도 천수만 부남호 수질개선 정화사업을 위해 소요되는 비용은 한 가구당 연간 (Q1) (원)에서 (Q2) (원) 사이라고 합니다.

A형 [Q1, Q2를 제시받은 응답자의 절반에 해당하는 질문입니다.]

- A6. 귀하의 가구는 충청남도 천수만 부남호 하구복원 사업의 시행을 위해 **향후 5년 동안 매년 1회 [Q1] (원)을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?**
 ① 예 → [A7로 가십시오] ② 아니오 → [A8로 가십시오]
- A7. 그렇다면, 귀하의 가구는 충청남도 천수만 부남호 하구복원 사업의 시행을 위해 **향후 5년 동안 매년 1회 [Q2] (원)을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?**
 ① 예 → [다음 파트로 가십시오] ② 아니오 → [다음 파트로 가십시오]

B형

[Q1, Q2를 제시받은 응답자의 절반에 해당하는 질문입니다.]

- A6. 귀하의 가구는 충청남도 천수만 부남호 하구복원 사업의 시행을 위해 향후 5년 동안 매년 1회 [Q2] (원) 을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
 ① 예 → [다음 파트로 가십시오] ② 아니오 → [A7로 가십시오]
- A7. 그렇다면, 귀하의 가구는 충청남도 천수만 부남호 하구복원 사업의 시행을 위해 향후 5년 동안 매년 1회 [Q1] (원)을 현재의 소득세 외에 추가적으로 지불하실 의사가 있습니까?
 ① 예 → [다음 파트로 가십시오] ② 아니오 → [A8로 가십시오]
- A8. 그렇다면, 귀하의 가구는 단 1원도 지불할 의사가 없습니까?
 ① 아니오, 조금은 지불할 의사가 있다 → [A9으로 가십시오] ② 예, 전혀 지불할 의사가 없다 → [A10으로 가십시오]
- A9. 그렇다면, 귀하의 가구가 충청남도 천수만 부남호 하구복원 사업의 추진을 위해 향후 5년 동안 매년 추가적으로 지불할 수 있는 가구당 소득세의 최대금액은 얼마입니까? 향후 5년 동안 매년 ()원
- A10. 귀하가 추가적으로 지불할 의사가 전혀 없는 가장 중요한 이유는 무엇입니까?
 ① 제시된 정부의 사업계획을 믿을 수 없다 ② 지불할 만한 경제적 여유가 없다
 ③ 이미 납부된 세금으로 충당되어야 한다 ④ 이 문제는 우선순위를 둘 만큼 중요하지 않다
 ⑤ 충분한 정보가 주어지지 않았다 ⑥ 추가적인 세금이 해당 사업을 위해 쓰이지 않을 것이다
 ⑦ 기타()

Part B. 사회경제적 사항에 관한 질문

※ 다음의 정보는 비밀이 보장되며, 순수하게 학문적인 목적을 위해서만 사용됩니다. 해당사항에 √로 체크하시거나 값을 적어 주십시오.

B1. 세대주 여부	B2. 가족수	B3. 해당가족수/본인제외
① 그렇다 ② 아니다	총 _____명 중에서 소득이 있는 가족은 _____명	미취학아동 _____명, 초중고생 _____명, 65세 이상 _____명, 배우자 _____명, 대학생, 성인, 기타 _____명

B4. 실례지만 귀하의 최고 교육수준은 어떻게 되십니까? (교육년수를 아래 숫자에 ○표 해주십시오)

무학	초등학교	중학교	고등학교	대학교	대학원
0	1 2 3 4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15 16	17 18 19 20

B5. 작년 한 해 동안 귀하 가구의 월 평균소득(세전 소득)은 얼마 정도입니까? (_____)만원

B5-1. 만약 구체적인 액수를 말씀해 주시기 곤란하시면 아래에서 하나만 골라 주십시오.

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| ① 100만원 미만 | ⑥ 300만원 이상 400만원 미만 |
| ② 100만원 이상 150만원 미만 | ⑦ 400만원 이상 500만원 미만 |
| ③ 150만원 이상 200만원 미만 | ⑧ 500만원 이상 700만원 미만 |
| ④ 200만원 이상 250만원 미만 | ⑨ 700만원 이상 1,000만원 미만 |
| ⑤ 250만원 이상 300만원 미만 | ⑩ 1,000만원 이상 |

B6. 작년 한 해 동안 귀하의 월 평균소득(세전 소득)은 얼마 정도입니까? (_____)만원

B6-1. 만약 구체적인 액수를 말씀해 주시기 곤란하시면 아래에서 하나만 골라 주십시오.

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ① 50만원 미만 | ⑦ 300만원 이상 350만원 미만 |
| ② 50만원 이상 100만원 미만 | ⑧ 350만원 이상 400만원 미만 |
| ③ 100만원 이상 150만원 미만 | ⑨ 400만원 이상 450만원 미만 |
| ④ 150만원 이상 200만원 미만 | ⑩ 450만원 이상 500만원 미만 |
| ⑤ 200만원 이상 250만원 미만 | ⑪ 500만원 이상 |
| ⑥ 250만원 이상 300만원 미만 | |

응답자 성명 : _____

응답자 전화번호 : _____

응답자 주소: _____ 시/도 _____ 구/군 _____ 동/읍/면

조사원 성명 : _____

- 설문에 응해주셔서 대단히 감사드립니다. 의견이 있으면 아래에 적어 주십시오. -

보기카드 A1. 천수만 부남호 현황

- 충청남도 서산시 부석면과 태안군 남면에 위치한 인공호수(담수호)
- 본래는 천수만이었는데, 서산 방조제 공사로 인공호수로 변하였고, 호수 조성 이 후 생태계 및 지역 주민들의 삶은 물론 경관도 변화
- 대규모 간척사업으로 농지 확보는 되었지만, 살아진 갯벌 면적이 1만 5천 ha
- 방조제 축조로 해수유통이 차단됨에 따라 부남호의 수질 등급(6등급) 악화
- 수질 악화 및 저염분수로 인하여 농업용수로 활용이 어려워 농경지로서의 기능 상실
- 더불어 수질 악화로 인해 태안기업도시 및 서산 웰빙특구 내 기업투자 기피로 민간투자 유치 어려움



보기카드 A2. 천수만 부남호 현황



<부남호 일대 녹조 및 오염퇴적물>

보기카드 A3. 해수유통을 통한 담수호 수질개선 사례

네덜란드 휘어스호



- ❖ 하구가 양측으로 막히면서 담수호(휘어스호) 형성
- ❖ 담수호 내에 녹조, 수질악화, 생태계 파괴 등 심화
- ❖ 휘어스호 서측 잔트크리트담 수중터널 2개 건설을 통한 물길로 해수유통 시작
- ❖ 해수유통 2개월 이후부터 수질개선 효과 나타남
- ❖ 더불어 수질개선과 함께 녹조 현상 사라짐
- ❖ 수질개선 및 생태계 복원과 함께 휴양 방문 관광객 증가로 지역주민 삶의 질 향상 및 지역경제 활성화

대한민국 시화호



- ❖ 1994년 방조제 준공으로 해수유통 단절
- ❖ 시화공단에서 배출하는 무분별한 폐수와 호수화로 인해 수질이 급속도 나빠지며 동식물이 살아갈 수 없는 죽음의 호수로 수질오염의 대명사가 됨
- ❖ 2011년 조력발전 가동 및 해수순화 전면시작으로 100만㎡의 갯벌 복원
- ❖ 호수 내 수질개선으로 참게 대규모 서식 및 매년 35만 마리의 칠새 도래지로 탈바꿈
- ❖ 국내 갯벌생태복원의 성공사례로 생태관광의 중심지가 되었으며, 죽음의 호수에서 생명의 호수로 거듭남

1. 협의체 회의

가. 목적: 천수만 주변 농업인, 어업인, 공무원, 각 분야 전문가 의견 수렴

나. 일시: 2019년 6월 14일 (1차)/ 2019년 11월 4일 (2차)

다. 장소: 보령시 오천면 사무소 (1차) / 서산 버드랜드 (2차)

다. 주요내용

- 장마철 부남호 방류로 인해 창리 주변 패류 양식장의 굴과 바지락의 패사가 나타나며, 부유물 발생으로 인해 피해가 매년 발생되고 있는 상황에서 부남호를 개방 할 경우 나타날 수 있는 피해에 대한 대책 마련이 요구됨.
- 부남호 침전물, 오염토에 대한 처리가 필요함. 슬러지 처리 후 방류가 요구됨.
- 갑문설치 시 태풍이나 자연재해 시 대책 및 피항 시설 등 마련이 필요함
- 오염도가 덜한 홍성호나 보령호를 먼저 개방하여 공감대 형성 후 부남호에 개방이 필요함
- 농지에서 나오는 화학물질 (농약)에 대한 분석 및 대안책 마련되어야 함.

2. 전문가 자문회의 (1차)

가. 일시: 2019년 7월 16일

나. 장소: 서해안 기후환경 연구소

다. 참석자: 구경아 (한국환경정책평가연구원), 이승호 (한국종합환경연구소), 전승수 (전남대학교), 최진용 (군산대학교), 황규남 (전북대학교)

라. 주요 자문 내용

○ 최진용 (군산대학교)

- 수산물에 대한 예상 피해 정도, 대책방안, 피해보상 방안의 마련이 필요함
- 오염토 처리 방안이 필요함: 준설이 가장 현실인 방법이지만 준설 가능한 양인지에 대한 파악이 필요함. 준설 후 처리문제, 준설토 처리 등 오염토에 대한 처리 방안 마련이 필요함
- 부남호 방류 시 황도쪽의 영향이 클 것으로 예상되며, 천수만으로 가지 않고 안면쪽 (드르니항) 내측 매몰이 나타날 것이므로 안면대교쪽으로 빠져서 몽산포 쪽으로 오염토(뺨)가 들어갈 확률이 높음.
- 이해 당사자 협의회/ 정책협의회/ 전문가 과학위원회 등을 개최하고, 각 분야별 전문가 모임을 따로 가질 필요가 있음.

○ 황규남 (전북대학교)

- 지반의 특성에 따라 세굴 현상이 나타나는 정도가 다름. 주변 깎임에 대한 영향 조사가 필요
- 하계 패류 대량 패사의 원인 규명이 필요함. 수온, 부남호 오염도, 지구온난화 등 다양한 요인에 대한 규명이 필요함
- 천수만의 문제 해결을 위해 천수만의 해수 순환의 방법을 찾아야 함

○ 전승수 (전남대학교)

- 과거 (건설당시)와 현재의 지형, 수심도 비교로 퇴적물 두께 등 파악 가능, 퇴적물이 어디에 퇴적이 되었는지, 퇴적량 파악 후 퇴적물에 의한 영향에 대해 고려 가능
- 부남호 저층 오염수 빼는 노력이 필요함
- 양식장의 피해를 호소하는 이유는 비가 오면 갑작스런 방류로 인해 패사되는 것임. 그러나 자연계에서도 여름철 자연 패사의 경우도 있음
- 부남호의 수질을 천천히 개선 후 바닥으로 교환하고 관문으로는 교환이 어려울 것임 (완전한 저층수 제거는 어려움)
- 부남호 내 경사가 있기 때문에 어디까지 해수를 유통 시킬 것인지에 대한

결정이 필요

○ 구경아 (한국환경정책평가연구원)

- 천수만 내 바지락 양식장의 서식환경 (염분, 수온 등) 파악이 우선시 되어야 함. 그래야 갑작스런 환경 변동에 따른 쇼크사에 대응이 가능함
- 조사 분석 모델을 통해서 현 상태에서 어떻게 복원이 될지에 대한 예측이 필요함
- 생물 혹은 수질개선 등 어떤 것을 중심으로 볼 것인지에 대해 목표 선정이 필요함. 그에 따라 추가적인 용역이 필요함.
- 패류의 패사 원인은 한 요인이 아닌 수온과 염분 복합적 요인 혹은 오염수에 의한 영향일 가능성이 높음. 이에 대한 추가 용역 및 영향 조사가 필요함. 이러한 실험 결과를 바탕으로 생물에 영향을 주지 않는 범위에서 물의 방류량을 결정해야 함.

○ 이승호 (한국종합환경연구소)

- 부남호 방류시 천수만으로 유출될 가능성이 있는 퇴적물에 대한 현 상황 파악이 가장 중요함.
- 오염된 상태에서의 개방은 오염 퇴적물의 유출이 당연함. 양식생물에 대한 피해가 자명함.

3. 전문가 자문회의 (2차)

가. 일시: 2019년 9월 27일

나. 장소: 서해안 기후환경 연구소

다. 참석자: 김종범 (한국어촌어항공단), 이경미 (국립수산과학원),
전승수 (전남대학교)

라. 주요 자문 내용

○ 전승수 (전남대학교)

- 퇴적물 오염도: P(인)의 용출에 관한 실험 및 검토 필요

- 부남호 방류 시 수질 (해수) 저층의 오염이 심해질 수 있음
- 빠른 수질개선 방안 보다는 장기적으로 검토하는 것이 바람직함.
장기적으로 시설의 안정적 운행, 갑문으로 조절하면서 수질, 생물에 대한 정기 모니터링 필수
- 홍보, 심포지움, 기본계획 (실시계획)등이 필요함
- 시설 유지관리를 효과적으로 할 수 있는 방법 마련이 필요함
- 갯벌의 건강성을 목표로 장기적 복원 계획이 필요함. 갯벌의 건강성에 대한 목표 설정이 필요
- 김종범 (한국어촌어항공단)
 - 협의체와의 공감대 형성을 위한 장기 모니터링 필요함
 - 시화호의 우수 사례를 적용할 필요가 있음.
 - 부남호 주변 이해 당사자들에 대한 보상 대책 마련이 필요함
- 이경미 (국립수산과학원 서해수산연구소)
 - 부남호 방류를 위해서는 주변 어장에 피해를 최소화 할 수 있고, 어민들이 이해할 수 있는 수준의 방안이 마련되어야 함. 이를 위해서는 장기모니터링이 필요함.
 - 어장 피해가 없는 방류를 위해서 양식장 모니터링 및 feed back이 필요함.

4. 중간진도 보고회

가. 일시: 2019년 9월 19일

나. 장소: 서해안 기후환경 연구소

다. 참석자: 박문진 (충남대학교), 강윤구 (연안방재학회)

라. 주요 내용

- 박문진 (충남대학교)

- 현재 퇴적물 분석 결과가 모델에도 적용되면 퇴적물의 개선 효과를 예상 할 수 있음
- 부남호 독성종이 방류될 경우 어류에 치명적 영향을 줄 것이기에 이에 대한 확인이 필요함
- 부유사 농도 변화도 중요함. 방류시 천수만에 영향을 미칠수 있고 부남호 내에서도 재 부유로 인해 농도가 올라갈 수 있음. 이를 그대로 천수만에 방류 시 어류에 영향을 미칠 영향이 높기 때문에 부유사 농도 변화에 대한 모델링이 필요함.
- 수중암거로 해수 유통을 할 경우 저층으로 해수 유통 시 세굴현상이 심할 것이고 부유사 영향도 클 것이기 때문에 이에 대한 모델링이 필요함.
- 기존에 사용되고 있는 EFDC와 같은 학계에 잘 알려진 모델을 사용하는 것이 객관성 확보 측면에서 중요함. 상용모델을 사용하지 않을 경우 결과가 객관적으로 받아들여지기 힘들기 때문에 순차적으로 간월호나 보령호 등에 적용하기 위해서는 상용 모델의 사용이 좋고, 차후 연구들을 위해서도 상용 모델을 사용하는 것이 좀 더 다른 분들이 객관적일 것으로 판단됨.

○ 강운구 (연안방재학회)

- 부남호 내측의 퇴적층이 얼마나 되는지에 대한 파악이 필요함. 오니에서 용출되어 나오는 물질에 의해 수질이 지속적으로 오염될 가능성이 있음. 그렇다면 해수 유통만으로 수질개선이 어려울 것임.
- 하구 생태계 복원 및 조간대 형성 목표를 달성하기 위해서 장기간에 걸쳐서 (5년 이상) 계획이 필요하며, 내부 조간대 형성이 필요하다면 조간대의 자정능력 등 조간대의 기능을 넣은 생태계 모델링이 필요함.
- 수질개선 방법으로 해수소통, 준설, capping 등이 있는데, 그 중 모래로 덮는 capping 방법을 추천함. Capping은 준설에 비해 비용이 적게 들고 오니가 외부로 용출되지 않음. 세굴현상으로 다시 오염층이 드러날 경우 재 부유될수 있으니 상황에 따라 두께 및 위치 조절 등이 필요함.



2019년 4월 12일
현대서산농장 방문



2019년 8월 29일 충남도 관계자 KIOST 실사 방문



2019년 9월 19일 중간진도 보고회 (서해안기후환경연구소)



11월 4일 2차 협의회 회의 (서산버드랜드)

참고문헌

- 국회 농림수산식품위원회, 2012. 국정감사 정책 보고서: 간척농지의 염해와 적정 임대료 타당성에 관한 연구.
- 농어촌연구원, 2012. 간척지의 제염 : 간척지 제염으로 한국의 미래 농업을 개척하자.
- 한국농어촌공사, 2008. 간척농지 다각적 활용 방안 연구.
- 박완주 국회의원, 2018. 2018년 국정감사보도자료.
- 충청남도 해양수산국 내부자료, 2019. 부남호 역간척 사전학습 자료.
- 충청남도 농림축산국 내부자료, 2019. B지구 가뭄피해 및 복구비 지원현황.
- 환경부, 2018. 지하수조사연보.
- 현대도시개발(주), 2019. 사후환경영향조사 보고서: 태안관광 레저형 기업도시 실시계획 변경(재협약).
- 한국농어촌공사, 2019. 농업용수 수질개선 기본조사결과(요약).
- Katoh K, Standley DM., 2013. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability. *Molecular Biology & Evolution*. 30(4):772 - 780. doi:10.1093/molbev/mst010.
- Kattner G., 1999. Storage of dissolved inorganic nutrients in seawater: poisoning with mercuric chloride. *Marine Chemistry*, 67(1-2), 61-66.
- Palumbi S, Martin A, Romano S, McMillan WO, Stice L, Grabowski G., 1991. The simple fool's guide to PCR, Version 2, Honolulu Department of Zoology and Kewalo Marine Laboratory, University of Hawaii.
- Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M., 1984. A manual of biological and chemical methods for seawater analysis, Press, Oxford, pp 184.
- Schloss, Patrick D. and Westcott, Sarah L. and Ryabin, Thomas and Hall, Justine R. and Hartmann, Martin and Hollister, Emily B. and Lesniewski, Ryan A. and Oakley, Brian B. and Parks, Donovan H. and Robinson, Courtney J. and Sahl, Jason W. and Stres, Blaz and Thallinger, Gerhard G. and Van Horn, David J. and Weber, Carolyn F., 2009. Introducing mothur: Open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(23): 7537-7541. doi=10.1128/AEM.01541-09.