

2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역

2021. 02

제 출 문

충청남도지사 귀하

본 보고서를 『2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링
연구용역』에 대한 최종성과품으로 제출합니다.

2021년 02월

충 남 연 구 원

총괄연구책임자 : 윤 종 주

참여연구원 : 이 상 신 신 우 석
김 종 범 윤 영 관
이 상 우

목 차

제 1 장 연구 개요	3
제 2 장 연안환경측정망 배경 및 목적	7
2.1. 연안환경측정망 배경 및 목적	7
2.1.1. 연안환경측정망 배경	7
2.1.2. 연안환경측정망 목적	7
2.2. 연안환경측정망 내용	8
2.2.1. 정기조사 정점 선정	8
2.2.2. 특별조사 정점 선정	9
2.2.3. 조사 시기 및 조사항목	11
2.3. 법적근거	13
2.3.1. 관련 법령	13
2.3.2. 상위계획 및 관련계획	14
제 3 장 연안환경측정망 정기 조사	17
3.1. 조사개요	17
3.1.1. 공간적 범위	17
3.1.2. 시간적 범위	17
3.1.3. 내용적 범위	17
3.2. 조사 방법	18
3.2.1. 시료 채취 방법	18
3.2.2. 시료의 전처리 및 분석	23
3.2.3. 회수율	31
3.3. 정기 조사 결과	33
3.3.1. 해양 수질	33

3.3.2. 관리대상 해역 구분	105
3.3.3. 연차별 수질 결과 분석	110
3.3.4. 해양 퇴적물	116
3.3.5. 연차별 퇴적물 결과 분석	161
3.3.6. 해양생물(굴)	164
제 4 장 충청남도 연안환경 변화	173
4.1. 개요	173
4.2. 수질	174
4.2.1. 수온	174
4.2.2. 염분	177
4.2.3. 저층 용존산소	182
4.2.4. 수질평가지수(WQI)	193
4.3. 퇴적물	207
4.3.1. 입도	207
4.3.2. 함수율	207
4.3.3. 강열감량(IL) 및 화학적산소유구량(COD)	208
4.3.4. 산화발성황화물(AVS)	208
제 5 장 연안환경측정망 특별조사	213
5.1. 조사개요	213
5.1.1. 공간적 범위	213
5.1.2. 시간적 범위	213
5.1.3. 내용적 범위	213
5.1.4. 조사 목적	213
5.1.5. 조사 정점도	214
5.1.6. 시료 채취 방법	215

5.2. 특별조사 I - 주상퇴적물	220
5.2.1. 조사개요	220
5.2.2. 분석 결과	221
5.2.3. C/N비	248
5.3. 특별조사 II - 호소	249
5.3.1. 조사 개요	249
5.3.2. 호소 수질	250
5.3.3. 호소 퇴적물	268
5.3.4. 담수 방류	288
5.4. 특별조사 III - 유입하천	293
5.4.1. 조사 개요	293
5.4.2. 부남호 유입하천 수질분석 결과	294
5.4.3. 부남호 유입하천 퇴적물 분석 결과	297
5.4.4. 부남호 유입하천 수질 비교	300
5.4.5. 가로림만 유입하천 수질분석 결과	303
5.4.6. 가로림만 유입하천 수질 비교	306
제 6 장 결론 및 차년도 연안환경측정망 운영 개선안	309
6.1. 정기조사 실시의 성과	309
6.1.1. 해수	309
6.1.2. 해저 퇴적물	309
6.1.3. 해양 생물(굴)	309
6.1.4. 기타	310
6.2. 특별조사 실시의 성과	310
6.2.1. 천수만 내 담수호(부남, 간월, 홍성, 보령호) 특별조사	310
6.2.2. 부남호 전면해역 주상퇴적물 조사	310
6.2.3. 부남호 및 가로림만 유입하천 수질조사	311

6.3. 차년도 연안환경측정망 운영 개선안	311
6.3.1. 1단계(2016~2020년) 종료 후, 2단계(2021~2025년) 사업 지속 추진	311
6.3.2. 지속적인 특별조사 기획 실시	311
6.4. 충청남도 연안하구 모니터링 연구사업 제안	312
6.4.1. 필요성	312
6.4.2. 충청남도 하천·호소 관리현황	312
6.4.3. 정책제언	313
참 고 문 헌	317

표 목 차

<표 2.2-1> 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 정기조사 분석항목	11
<표 2.2-2> 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목	11
<표 2.2-3> 2020년 정기조사 정점 종합	12
<표 3.1-1> 연안환경측정망 정기조사 개요	17
<표 3.2-1> 정기조사 현장야장	19
<표 3.2-2> 지수별 퇴적물의 입도 환산표	28
<표 3.2-3> 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale)	29
<표 3.2-4> 표준시료(MOOS-3)에 대한 해수 내 영양염류의 분석 결과 및 회수율	31
<표 3.2-5> 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율	31
<표 3.2-6> 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율	32
<표 3.2-7> 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 이용한 분석 결과 및 회수율	32
<표 3.3-1> 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 춘계)	39
<표 3.3-2> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 춘계)	41
<표 3.3-3> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 춘계)	43
<표 3.3-4> 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 하계)	45
<표 3.3-5> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 하계)	47
<표 3.3-6> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 하계)	49
<표 3.3-7> 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 추계)	51
<표 3.3-8> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 추계)	53
<표 3.3-9> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 추계)	55
<표 3.3-10> 해양환경기준 해양수산부고시 제 2018-10호	57
<표 3.3-11> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 춘계)	93
<표 3.3-12> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 하계)	94
<표 3.3-13> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 추계)	95
<표 3.3-14> 충청남도 연안의 수질 일반항목 별/시기별, 이상치(“★, o”) 기록 정점	108

<표 3.3-15> 충청남도 연안의 WQI등급 변화(2015년~2020년)	112
<표 3.3-16> 충청남도 계절별 WQI등급 결과(정점별 평균)	113
<표 3.3-17> 해양 퇴적물의 입도 분석 결과(2020년 5월)	119
<표 3.3-18> 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2020년 5월)	121
<표 3.3-19> 해양 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과(2020년 5월)	123
<표 3.3-20> 해양 퇴적물 항목의 상관분석 결과(2020년 5월)	149
<표 3.3-21> 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10)	149
<표 3.3-22> 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	153
<표 3.3-23> 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2020년 춘계)	153
<표 3.3-24> 농집지수를 이용한 해양 퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	157
<표 3.3-25> 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2020년 춘계)	157
<표 3.3-26> 해양 생물 체내 중금속 분석 결과(2020년)	166
<표 3.3-27> 국내·외 식품 중 패류의 중금속 기준 및 기존 연구결과	167
<표 4.2-1> 충청남도 하계 고수온 발생 현황	175
<표 4.2-2> 각 년도별 하계 조사 일자(측정망별)	177
<표 4.2-3> 연차별 하계 아산 주변 연안 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도	185
<표 4.2-4> 연차별 하계 천수만 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도	188
<표 4.2-5> 연차별 하계 서천 연안의 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도	191
<표 4.2-6> 홍성 연안(천수만) 하계 수질 등급	202
<표 4.3-1> 해양 퇴적물 일반항목 분석 결과(2015~2020)	209
<표 5.1-1> 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목	213
<표 5.1-2> 특별조사 현장야장	216
<표 5.2-1> 주상 퇴적물 입도 분석 결과	226
<표 5.2-2> 주상 퇴적물 일반항목 분석 결과	227
<표 5.2-3> 주상 퇴적물 중금속 분석 결과	228
<표 5.3-1> 4개 호소 현장관측 결과 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과	255
<표 5.3-2> 4개 호소 TN, TP, 영양염류 분석 결과	256
<표 5.3-3> 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과	257

<표 5.3-4> 호소 퇴적물의 입도 분석 결과	270
<표 5.3-5> 호소 퇴적물의 일반항목 분석 결과	276
<표 5.3-6> 호소 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과	277
<표 5.4-1> 부남호 유입하천 수질의 현장관측 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과	295
<표 5.4-2> 부남호 유입하천 수질의 TN, TP, 영양염류 분석 결과	296
<표 5.4-3> 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과	296
<표 5.4-4> 부남호 유입하천 퇴적물의 입도 분석 결과	298
<표 5.4-5> 부남호 유입하천 퇴적물의 일반항목 분석 결과	298
<표 5.4-6> 부남호 유입하천 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과	299
<표 5.4-7> 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준(국립환경과학원 예규 2015-687호)	302
<표 5.4-8> 부남호 유입하천 연평균 수질	302
<표 5.4-9> 가로림만 유입하천 수질의 현장관측 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과	305
<표 5.4-10> 가로림만 유입하천 수질의 TN, TP, 영양염류 분석 결과	305
<표 5.4-11> 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과	305
<표 6.4-1> 충청남도 SDGs 계획(전략 14-2)	312

그 립 목 차

<그림 2.1-1> 연안환경측정망 모니터링 목적	7
<그림 2.2-1> 서해안 연안환경측정망 정기조사 정점	8
<그림 2.2-2> 특별조사(Ⅰ, Ⅱ) 조사정점	10
<그림 2.2-3> 특별조사(Ⅲ) 조사정점	10
<그림 2.3-1> 상위계획 및 관련 계획과의 연계도	14
<그림 3.2-1> 춘계(5월) 정기조사 현장사진	20
<그림 3.2-2> 하계(8월) 정기조사 현장사진	21
<그림 3.2-3> 추계(11월) 정기조사 현장사진	22
<그림 3.2-4> 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물	30
<그림 3.3-1> 해수 수질 중 일반항목 수온의 계절 및 정점별 분포(표층)	59
<그림 3.3-2> 해수 수질 중 일반항목 수온의 계절 및 정점별 분포(저층)	60
<그림 3.3-3> 해수 수질 중 일반항목 염분의 계절 및 정점별 분포(표층)	61
<그림 3.3-4> 해수 수질 중 일반항목 염분의 계절 및 정점별 분포(저층)	62
<그림 3.3-5> 해수 수질 중 일반항목 pH의 계절 및 정점별 분포(표층)	63
<그림 3.3-6> 해수 수질 중 일반항목 pH의 계절 및 정점별 분포(저층)	64
<그림 3.3-7> 해수 수질 중 일반항목 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(표층)	65
<그림 3.3-8> 해수 수질 중 일반항목 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(저층)	66
<그림 3.3-9> 해수 수질 중 일반항목 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(표층)	67
<그림 3.3-10> 해수 수질 중 일반항목 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(저층)	68
<그림 3.3-11> 해수 수질 중 일반항목 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(표층)	69
<그림 3.3-12> 해수 수질 중 일반항목 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(저층)	70
<그림 3.3-13> 해수 수질 중 일반항목 엽록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(표층)	71
<그림 3.3-14> 해수 수질 중 일반항목 엽록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(저층)	72
<그림 3.3-15> 해수 수질 중 일반항목 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(표층)	73
<그림 3.3-16> 해수 수질 중 일반항목 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(저층)	74
<그림 3.3-17> 해수 수질 중 일반항목 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(표층)	75

<그림 3.3-18> 해수 수질 중 일반항목 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(저층)	76
<그림 3.3-19> 해수 수질 중 일반항목 총인(TP)의 계절 및 정점별 분포(표층)	77
<그림 3.3-20> 해수 수질 중 일반항목 총인(TP)의 계절 및 정점별 분포(저층)	78
<그림 3.3-21> 해수 수질 중 일반항목 용존무기인(DIN)의 계절 및 정점별 분포(표층)	79
<그림 3.3-22> 해수 수질 중 일반항목 용존무기인(DIN)의 계절 및 정점별 분포(저층)	80
<그림 3.3-23> 해수 수질 중 일반항목 규산염 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 계절 및 정점별 분포(표층)	81
<그림 3.3-24> 해수 수질 중 일반항목 규산염 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 계절 및 정점별 분포(저층)	82
<그림 3.3-25> 해수 중 미량금속 카드뮴(Cd)의 계절 및 정점별 분포(표층)	83
<그림 3.3-26> 해수 중 미량금속 크롬(Cr^{6+})의 계절 및 정점별 분포(표층)	84
<그림 3.3-27> 해수 수질 중 미량금속 구리(Cu)의 계절 및 정점별 분포(표층)	85
<그림 3.3-28> 해수 수질 중 미량금속 납(Pb)의 계절 및 정점별 분포(표층)	86
<그림 3.3-29> 해수 수질 중 미량금속 아연(Zn)의 계절 및 정점별 분포(표층)	87
<그림 3.3-30> 해수 수질 중 미량금속 니켈(Ni)의 계절 및 정점별 분포(표층)	88
<그림 3.3-31> 해수 수질 중 미량금속 비소(As)의 계절 및 정점별 분포(표층)	89
<그림 3.3-32> 해수 수질 중 미량금속 수은(Hg)의 계절 및 정점별 분포(표층)	90
<그림 3.3-33> 용매추출유분의 계절 및 정점별 분포(표층)	91
<그림 3.3-34> 조사해역의 생태기반 해수수질(WQI) 분석 결과	96
<그림 3.3-35> 생태구역 구분도	97
<그림 3.3-36> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(부유입자물질)	99
<그림 3.3-37> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(화학적산소요구량)	100
<그림 3.3-38> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(총질소)	101
<그림 3.3-39> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(용존무기질소)	102
<그림 3.3-40> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(총인)	103
<그림 3.3-41> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(용존무기인)	104
<그림 3.3-42> Box Plot의 의미	105
<그림 3.3-43> 계절별 이상점 분포 특성(Box-Whisker plot)	106
<그림 3.3-44> 충남해역 수질 관리 대상 후보군 지점	109
<그림 3.3-45> 서해안 권역 해양환경측정망	110

<그림 3.3-46> 서해안 권역 WQI등급 변화	111
<그림 3.3-47> 충청남도 연간 WQI등급 변화	113
<그림 3.3-48> 화력발전소 주변 모니터링 정점도	114
<그림 3.3-49> 화력발전소 주변 정점에서의 해양수질(WQI 및 COD) 등급 변화	115
<그림 3.3-50> 정점별 입도분포 삼각다이어그램(a), 입도 조성 및 평균 입도 분포(b)	127
<그림 3.3-51> 해양 퇴적물의 함수율 분포 특성	128
<그림 3.3-52> 해양 퇴적물의 감열감량(IL) 분포 특성	129
<그림 3.3-53> 해양 퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 분포 특성	130
<그림 3.3-54> 해양 퇴적물의 산화발성황화물(AVS) 분포 특성	131
<그림 3.3-55> 해양 퇴적물의 총유기탄소(TOC) 분포 특성	132
<그림 3.3-56> 해양 퇴적물의 총질소(TN) 분포 특성	133
<그림 3.3-57> 해양 퇴적물 유기물의 탄소 대 질소비(C/N 비)(춘계, 하계, 추계)	134
<그림 3.3-58> 해양 퇴적물 내 중금속 중 카드뮴(Cd) 분포 특성	135
<그림 3.3-59> 해양 퇴적물 내 중금속 중 크롬(Cr) 분포 특성	136
<그림 3.3-60> 해양 퇴적물 내 중금속 중 구리(Cu) 분포 특성	137
<그림 3.3-61> 해양 퇴적물 내 중금속 중 납(Pb) 분포 특성	138
<그림 3.3-62> 해양 퇴적물 내 중금속 중 아연(Zn) 분포 특성	139
<그림 3.3-63> 해양 퇴적물 내 중금속 중 니켈(Ni) 분포 특성	140
<그림 3.3-64> 해양 퇴적물 내 중금속 중 망간(Mn) 분포 특성	141
<그림 3.3-65> 해양 퇴적물 내 중금속 중 코발트(Co) 분포 특성	142
<그림 3.3-66> 해양 퇴적물 내 중금속 중 리튬(Li) 분포 특성	143
<그림 3.3-67> 해양 퇴적물 내 중금속 중 비소(As) 분포 특성	144
<그림 3.3-68> 해양 퇴적물 내 중금속 중 수은(Hg) 분포 특성	145
<그림 3.3-69> 해양 퇴적물 내 중금속 중 알루미늄(Al) 분포 특성	146
<그림 3.3-70> 해양 퇴적물 내 중금속 중 철(Fe) 분포 특성	147
<그림 3.3-71> 해양퇴적물의 입도, 중금속 항목의 상관성 및 국내 해양환경기준과의 비교	150
<그림 3.3-72> 퇴적물 내 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni)의 정점별 농축계수(EF)	154
<그림 3.3-73> 퇴적물 내 납(Pb), 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)의 정점별 농축계수(EF)	155

<그림 3.3-74> 퇴적물 내 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni)의 정점별 농집지수(Igeo) ···	158
<그림 3.3-75> 퇴적물 내 납(Pb), 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)의 정점별 농집지수(Igeo) ···	159
<그림 3.3-76> 퇴적물의 평균입도와 IL, COD간 상관성 ·····································	160
<그림 3.3-77> 시·군별 해양 퇴적물 내 유기오염도(COD) 및 중금속(Cd) 연변동 특성 ···	162
<그림 3.3-78> 화력발전소 주변 해양 퇴적물 내 유기오염도(COD) 및 중금속(Cd) 연변동 특성 ···	163
<그림 3.3-79> 해양생물(굴) 체내 중금속 농도 ···	168
<그림 3.3-80> 연차별 해양생물 체내 중금속(Cd, Pb)농도 변화 ·······················	169
<그림 4.1-1> 서해안 연안환경측정망 정정도 및 연혁 ·······························	173
<그림 4.2-1> 충청남도 연안의 수온 변화 특성(고수온 발생) ·······················	174
<그림 4.2-2> 충청남도 연안의 고수온 발생 현황 ···································	176
<그림 4.2-3> 고수온 발생지역의 연도별 기온 ·····································	176
<그림 4.2-4> 충청남도 서해안 해수 내 염분 변화 ·································	178
<그림 4.2-5> 충청남도 연안의 하계 염분 분포 ···································	179
<그림 4.2-6> 하계 지역별 유입원에 따른 염분 농도 ·····························	181
<그림 4.2-7> 연차별 충남해역 저층 용존산소 DO 농도 변화 ·······················	182
<그림 4.2-8> 연차별 하계 충남해역 저층 용존산소(DO) 농도 변화 ···············	183
<그림 4.2-9> 연차별 아산 주변 연안 저층 용존산소 DO 농도 변화 ···············	184
<그림 4.2-10> 연차별 하계 아산 주변 연안 저층 용존산소(DO) 농도 변화 ·········	186
<그림 4.2-11> 연차별 천수만 저층 용존산소 DO 농도 변화 ·······················	187
<그림 4.2-12> 연차별 하계 천수만 저층 용존산소(DO) 농도 변화 ···············	189
<그림 4.2-13> 연차별 서천 연안의 저층 용존산소(DO) 농도 변화 ···············	190
<그림 4.2-14> 연차별 하계 서천 연안의 저층 DO 농도 변화 ·····················	192
<그림 4.2-15> 아산(아산만) 연안의 조사정점도 ·································	193
<그림 4.2-16> 아산(아산만) 연안의 WQI 등급 변화 ·····························	194
<그림 4.2-17> 아산(아산만) 연안의 WQI 항목 변화 ···························	194
<그림 4.2-18> 당진 연안의 조사정점도 ···	195
<그림 4.2-19> 당진 연안의 WQI 등급 변화 ·····································	196
<그림 4.2-20> 당진 연안의 WQI 항목 변화 ·····································	196

<그림 4.2-21> 서산 연안의 조사정점도	197
<그림 4.2-22> 서산 연안(외해)의 WQI 등급 변화	197
<그림 4.2-23> 서산 연안(가로림만)의 WQI 등급 변화	198
<그림 4.2-24> 서산 연안(가로림만)의 WQI 항목 변화	198
<그림 4.2-25> 태안 연안의 조사정점도	199
<그림 4.2-26> 태안 연안의 WQI 등급 변화	199
<그림 4.2-27> 태안 연안의 WQI 등급 변화	200
<그림 4.2-28> 홍성 연안(천수만)의 조사정점도	201
<그림 3.4-29> 홍성 연안(천수만)의 WQI 등급 변화	202
<그림 4.2-30> 천수만 내 방류기간 및 조사시기	203
<그림 4.2-31> 보령 연안의 조사정점도	204
<그림 4.2-32> 보령 연안의 WQI 등급 변화	204
<그림 4.2-33> 서천 연안의 조사정점도	205
<그림 4.2-34> 서천 연안의 WQI 등급 변화	206
<그림 4.2-35> 서천 연안의 WQI 항목 변화	206
<그림 5.1-1> 특별조사(Ⅰ, Ⅱ) 조사정점도	214
<그림 5.1-2> 특별조사(Ⅲ) 조사정점도	214
<그림 5.1-3> 특별조사Ⅰ 현장사진	217
<그림 5.1-4> 특별조사Ⅱ 현장사진	218
<그림 5.1-5> 특별조사Ⅲ 현장사진	219
<그림 5.2-1> 특별조사(Ⅰ) 조사정점도	220
<그림 5.2-2> 정점 C20-1 주상퇴적물의 수직분포	230
<그림 5.2-3> 정점 C20-2 주상퇴적물의 수직분포	233
<그림 5.2-4> 정점 C20-3 주상퇴적물의 수직분포	236
<그림 5.2-5> 정점 C20-4 주상퇴적물의 수직분포	239
<그림 5.2-6> 정점 C20-5 주상퇴적물의 수직분포	242
<그림 5.2-7> 정점 C20-6 주상퇴적물의 수직분포	245
<그림 5.2-8> 주상퇴적물 C/N비(0~10cm 구간)	248

<그림 5.3-1> 특별조사Ⅱ 조사정점도	249
<그림 5.3-2> 호소 수질 내 수온의 정점별 분포	258
<그림 5.3-3> 호소 수질 내 염분의 정점별 분포	258
<그림 5.3-4> 호소 수질 내 pH의 정점별 분포	259
<그림 5.3-5> 호소 수질 내 용존산소(DO)의 정점별 분포	259
<그림 5.3-6> 호소 수질 내 부유입자물질(SPM)의 정점별 분포	260
<그림 5.3-7> 호소 수질 내 화학적산소요구량(COD)의 정점별 분포	260
<그림 5.3-8> 호소 수질 내 총유기탄소(TOC)의 정점별 분포	261
<그림 5.3-9> 호소 수질 내 엽록소-a(Chl-a)의 정점별 분포	261
<그림 5.3-10> 호소 수질 내 총질소(TN)의 정점별 분포	262
<그림 5.3-11> 호소 수질 내 용존무기질소(DIN)의 정점별 분포	262
<그림 5.3-12> 호소 수질 내 총인(TP)의 정점별 분포	263
<그림 5.3-13> 호소 수질 내 용존무기인(DIP)의 정점별 분포	263
<그림 5.3-14> 호소 수질 내 규산염규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 정점별 분포	264
<그림 5.3-15> 호소 수질 내 크롬(Cr^{6+})의 정점별 분포	264
<그림 5.3-16> 호소 수질 내 카드뮴(Cd)의 정점별 분포	265
<그림 5.3-17> 호소 수질 내 구리(Cu)의 정점별 분포	265
<그림 5.3-18> 호소 수질 내 납(Pb)의 정점별 분포	266
<그림 5.3-19> 호소 수질 내 아연(Zn)의 정점별 분포	266
<그림 5.3-20> 호소 수질 내 비소(As)의 정점별 분포	267
<그림 5.3-21> 호소 수질 내 수은(Hg)의 정점별 분포	267
<그림 5.3-22> 호소 내 퇴적물의 삼각다이아그램에 따른 퇴적상 분류	271
<그림 5.3-23> 호소 내 퇴적물의 함량비에 따른 퇴적상 분류	272
<그림 5.3-24> 호소 퇴적물 내 함수율의 정점별 분포	279
<그림 5.3-25> 호소 퇴적물 내 강열감량(IL)의 정점별 분포	279
<그림 5.3-26> 호소 퇴적물 내 화학적산소요구량(COD)의 정점별 분포	280
<그림 5.3-27> 호소 퇴적물 내 산화발성황화물(AVS)의 정점별 분포	280
<그림 5.3-28> 호소 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)의 정점별 분포	281

<그림 5.3-29> 호소 퇴적물 내 총질소(TN)의 정점별 분포	281
<그림 5.3-30> 호소 퇴적물 내 총인(TP)의 정점별 분포	282
<그림 5.3-31> 호소 퇴적물 내 카드뮴(Cd)의 정점별 분포	282
<그림 5.3-32> 호소 퇴적물 내 크롬(Cr)의 정점별 분포	283
<그림 5.3-33> 호소 퇴적물 내 구리(Cu)의 정점별 분포	283
<그림 5.3-34> 호소 퇴적물 내 니켈(Ni)의 정점별 분포	284
<그림 5.3-35> 호소 퇴적물 내 납(Pb)의 정점별 분포	284
<그림 5.3-36> 호소 퇴적물 내 아연(Zn)의 정점별 분포	285
<그림 5.3-37> 호소 퇴적물 내 망간(Mn)의 정점별 분포	285
<그림 5.3-38> 호소 퇴적물 내 철(Fe)의 정점별 분포	286
<그림 5.3-39> 호소 퇴적물 내 알루미늄(Al)의 정점별 분포	286
<그림 5.3-40> 호소 퇴적물 내 비소(As)의 정점별 분포	287
<그림 5.3-41> 호소 퇴적물 내 수은(Hg)의 정점별 분포	287
<그림 5.3-42> 호소 방류량 비율	289
<그림 5.3-43> 방류량-수질 관계(간월호, 부남호)	290
<그림 5.3-44> 방류량-수질 관계(보령호, 홍성호)	291
<그림 5.3-45> 방류량-수질 관계(이원방조제, 금강하구둑)	292
<그림 5.4-1> 특별조사(Ⅲ) 조사정점도	293
<그림 5.4-2> 부남호 유입하천 조사 결과(상단)	300
<그림 5.4-3> 부남호 유입하천 조사 결과(중단)	301
<그림 5.4-4> 가로림만 유입하천 조사 결과	306

제1 장

연구 개요



제 1 장 연구 개요

- 연안은 육지의 연장선인 매립·간척사업, 대규모 개발 등으로 이용되었던 과거 이력과 현재는 산업 분야(항만, 운수, 수산업)와 관광레저분야(스포츠, 여가)를 통해 이용 비중이 점차 증가하고 있다.
- 이에 따라 육상과 해상에서 발생하는 오·폐수, 투기, 유류유출 사고와 같은 다양한 오염원이 지속적으로 유입되고 해양환경 이용 저해, 해양생태계 악화(수질, 퇴적물, 해양생물)를 유발하여 수산업, 관광업 매출 저하, 안전사고 증가 등 인간 활동영역까지 영향이 나타나고 있다.
- 충청남도 연안은 서해안 중심부에 위치하고 1,242km 리아스식 해안으로 복잡한 형태를 지니고 있으며, 358km²의 넓은 갯벌을 보유하고 있다.
- 이를 통해 질 높은 해양수산물이 생산되고 있으며, 245개 유·무인도서와 33개 해수욕장, 해양경관(해빈 및 항포구) 등을 보유하여 관광자원으로서 매우 높은 가치를 지니고 있다.
- 그러나 충청남도 연안은 북쪽 아산만을 시작으로 남쪽 서천 연안(금강하구)까지 산업단지, 공업단지, 대규모 호소, 화력발전소 등의 시설과 이와 관련된 대규모 항만시설이 배치되어있어 전 연안에 걸쳐 육상오염원이 지속적으로 유입되고 있다.
- 또한, 해상에서도 선박사고로 발생하는 유류유출, 해양투기 등과 같은 오염원 유입이 지속되고 있다.
- 본 연구에서는 육상과 해상의 오염원 유입이 증가하고 연안오염도 또한 악화됨에 따라 충남 연안을 대상으로 깨끗한 연안환경의 체계적인 관리와 지속적인 보전정책 수립을 위한 기초자료의 확보를 목적으로 아산만에서 금강하구까지 주요 해양정점을 선정하고 연안환경측정망을 구성하여 정기적인 모니터링을 수행하였다.
- 세부항목으로 해양환경의 구성요소 중 해수, 해저퇴적물, 해양생물 3가지에 대한 조사를 통해 해양환경의 현황을 평가하고 오염도를 규명했다.
- 2020년 연구에서는 정기조사 이외에 천수만과 가로림만 내 담수의 오염도와 이에 따른 주변 해역의 퇴적물 오염도를 분석하기 위한 특별조사Ⅰ~Ⅲ을 수행하였고, 이를 통해 육상오염원의 기원을 파악하고자 한다.
 - 특별조사Ⅰ - 주상퇴적물(부남호 전면부)
 - 특별조사Ⅱ - 호소(천수만 4개 호소)
 - 특별조사Ⅲ - 유입하천(부남호, 가로림만)

- 특별조사Ⅰ은 부남호의 지속적인 방류로 인해 천수만으로 유입되는 담수가 해저 퇴적환경에 미친 영향을 파악하고자 부남호 전면부에서 천수만 방향으로 주상퇴적물 시료를 채취하였다.
- 특별조사Ⅱ는 2017년부터 지속했던 호소 내 수질과 퇴적환경 오염도를 파악하기 위한 조사를 실시하였고, 그동안의 자료를 바탕으로 오염도 변화를 분석했다.
- 특별조사Ⅲ은 부남호와 가로림만으로 유입되는 담수의 오염도를 파악하기 위해 인근 하천의 수질과 퇴적물을 조사했다.
- 본 용역을 통해 확보한 정기조사 결과와 연안 오염도가 높은 구역에 대한 특별조사 결과를 서로 연계하여 지속가능한 충청남도 연안 환경관리 및 보전정책 수립을 위한 기반을 마련하는데 과제의 목적이 있다.
- 이를 통하여, 전 지구적으로 기후변화에 따른 해양환경 변화인 장기적인 해수면 상승, 해양산성화, 이상 해황 등에 대응할 수 있는 충청남도 해양환경 기초자료를 축적하고, 환경변화가 가속화되는 해역에 대해 해양환경보전 정책을 집중적으로 시행할 수 있을 것으로 기대한다.
- 본 용역은 지난 2015년 11월부터 시작되었으며, 금번 조사까지 만 5년 간의 조사가 수행되었다. 2020년은 1단계 5개년 계획의 마지막 년차로, 향후 2021년부터 지속되는 2단계 5개년 조사 계획에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

제2장

연안환경측정망 배경 및 목적

1. 연안 환경 측정망 배경 및 목적
2. 연안 환경 측정망 내용
3. 법적 근거

제 2 장 연안환경측정망 배경 및 목적

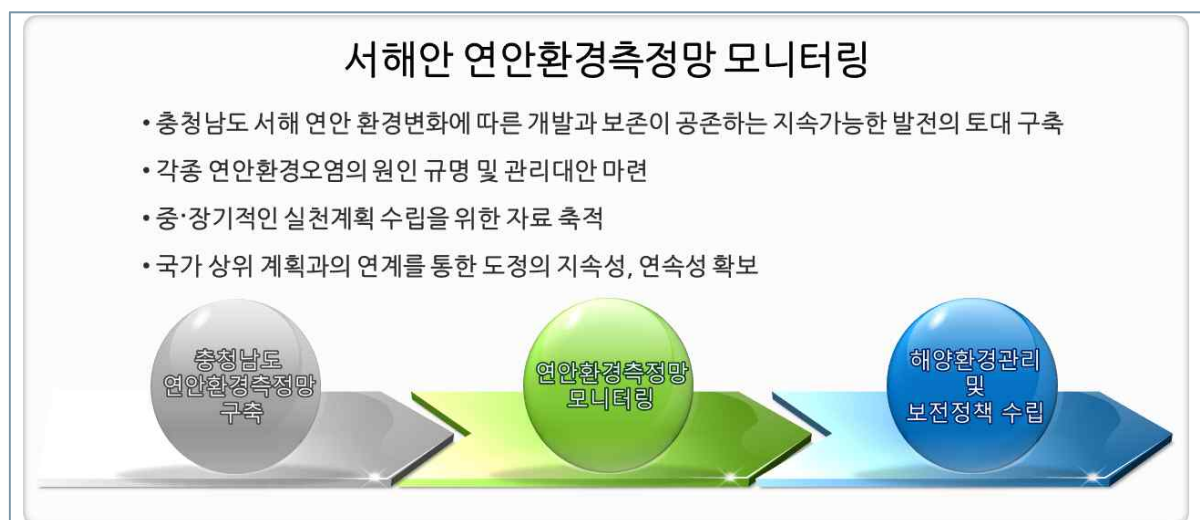
2.1. 연안환경측정망 배경 및 목적

2.1.1. 연안환경측정망 배경

- 충청남도 연안 환경은 우수한 가치와 높은 평가를 지니고 있으나, 연안이용도 증가와 육상오염원(산업단지, 공단 등), 해양오염원(해양투기, 선박 사고에 의한 유류유출 등)의 유입이 증가하고 연안 오염에 따른 수산업 피해의 객관적인 자료는 부족한 실정이다.
- 따라서, 충청남도 연안환경의 체계적인 관리와 보전정책 수립을 위한 기초자료 확보 및 오염원 유입과 규명에 대한 분석이 반드시 필요하다.
- 현재 충청남도 연안에 대한 측정망 및 모니터링 조사기관은 해양환경공단의 해양환경측정망, 국립공원연구원의 국립공원 해양환경변화측정망, 국립수산물과학원의 어장환경모니터링 등 다양하게 존재하지만, 정점 간 거리 편차가 크고 자료의 연속성이 떨어지며, 모니터링을 주관하는 운영기관의 목적에 따라 측정항목의 차이가 있다.

2.1.2. 연안환경측정망 목적

- 본 연구의 목적은 깨끗한 연안환경 체계적인 관리와 지속적인 보전정책의 수립을 위한 기초자료의 확보에 있으며, 아산만에서 금강하구까지 충남연안의 주요 정점을 선정하여 연안환경측정망을 구성하고 정기적인 모니터링을 수행한다.
- 세부적으로 해양환경의 구성 요소 중 해수, 해저퇴적물, 해양생물 3가지에 대한 조사를 통해 해양환경의 현황과 오염원을 평가한다.

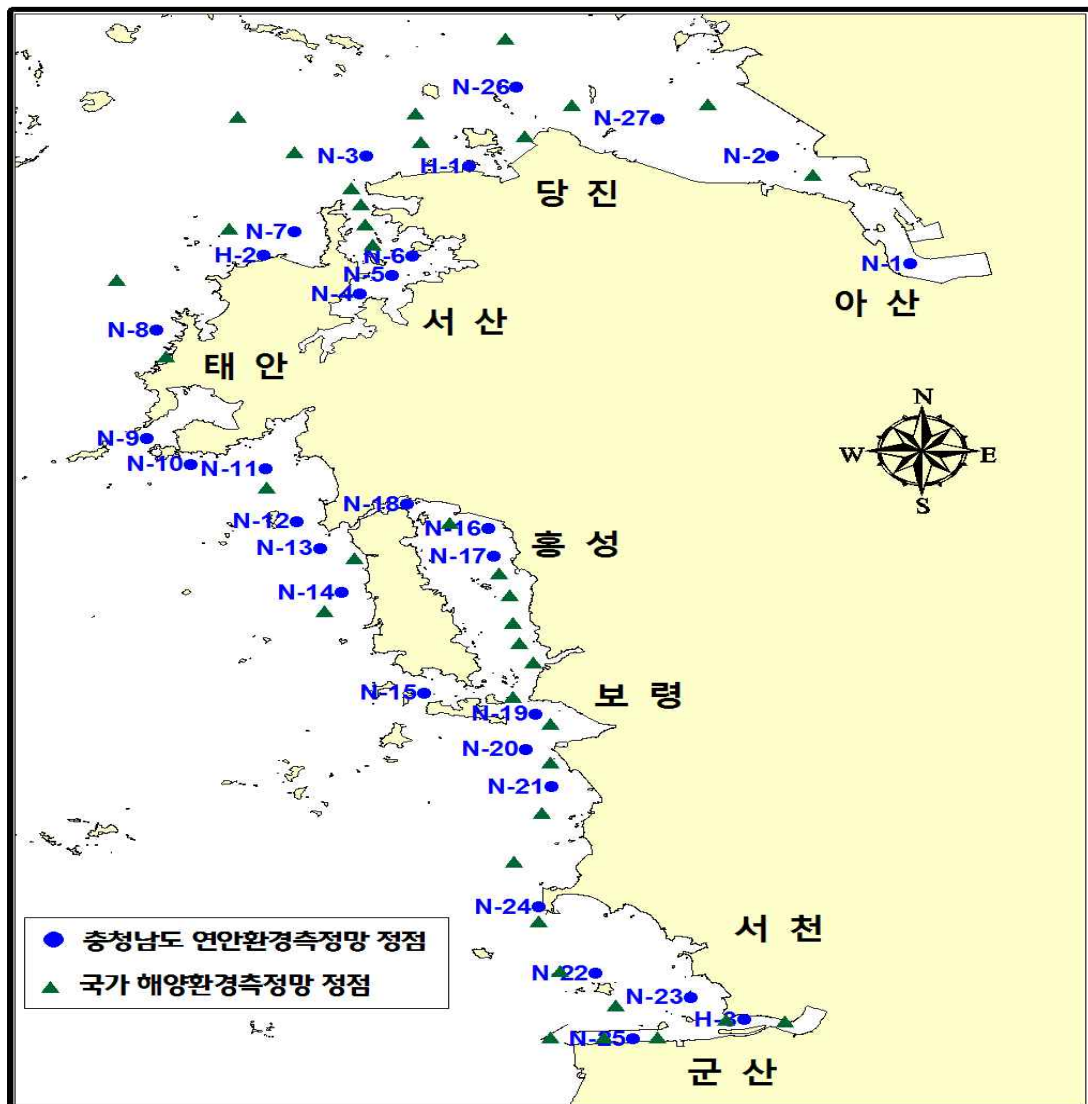


<그림 2.1-1> 연안환경측정망 모니터링 목적

2.2. 연안환경측정망 내용

2.2.1. 정기조사 정점 선정

- 최초 정기조사 정점 선정은 충청남도 연안의 지리적·사회적 환경을 바탕으로 연안환경에 영향을 미치는 오염원 및 주요 시설을 조사하고 현장방문을 통한 검증이 이루어졌으며, 전문가 의견 검토와 연안환경 분석 및 AHP분석을 토대로 26개의 정점이 선정되었다(충청남도, 2015).
- 1차년도 과업(2015년도 4분기) 26개 정점에 대한 현장 조사 이후에 아산만에서 당진 연안과 금강하구를 포함한 서천 연안에 대한 정점 추가가 요구되어 2차년도 과업(2016년)에 4개 정점을 추가하여 현재까지 30개 정점에 대한 조사를 수행하고 있다(그림 2.2-1).



〈그림 2.2-1〉 서해안 연안환경측정망 정기조사 정점

2.2.2. 특별조사 정점 선정

- 2020년도 특별조사는 부남호 전면, 천수만 호소(4개소), 부남호와 가로림만 유입하천을 대상으로 3회 실시하였다(〈그림 2.2-2〉~〈그림 2.2-3〉).
- 특별조사를 통해 호소 방류에 따른 연안역의 영향과 호소 내 오염도, 호소로 유입되는 인근 하천의 수질을 분석하여 각각의 상관성을 분석했다.
- 특별조사는 I(부남호 전면), II(천수만 4개 호소), III(유입하천)으로 설정하였다.

■ 특별조사 I(주상퇴적물-부남호 전면부)

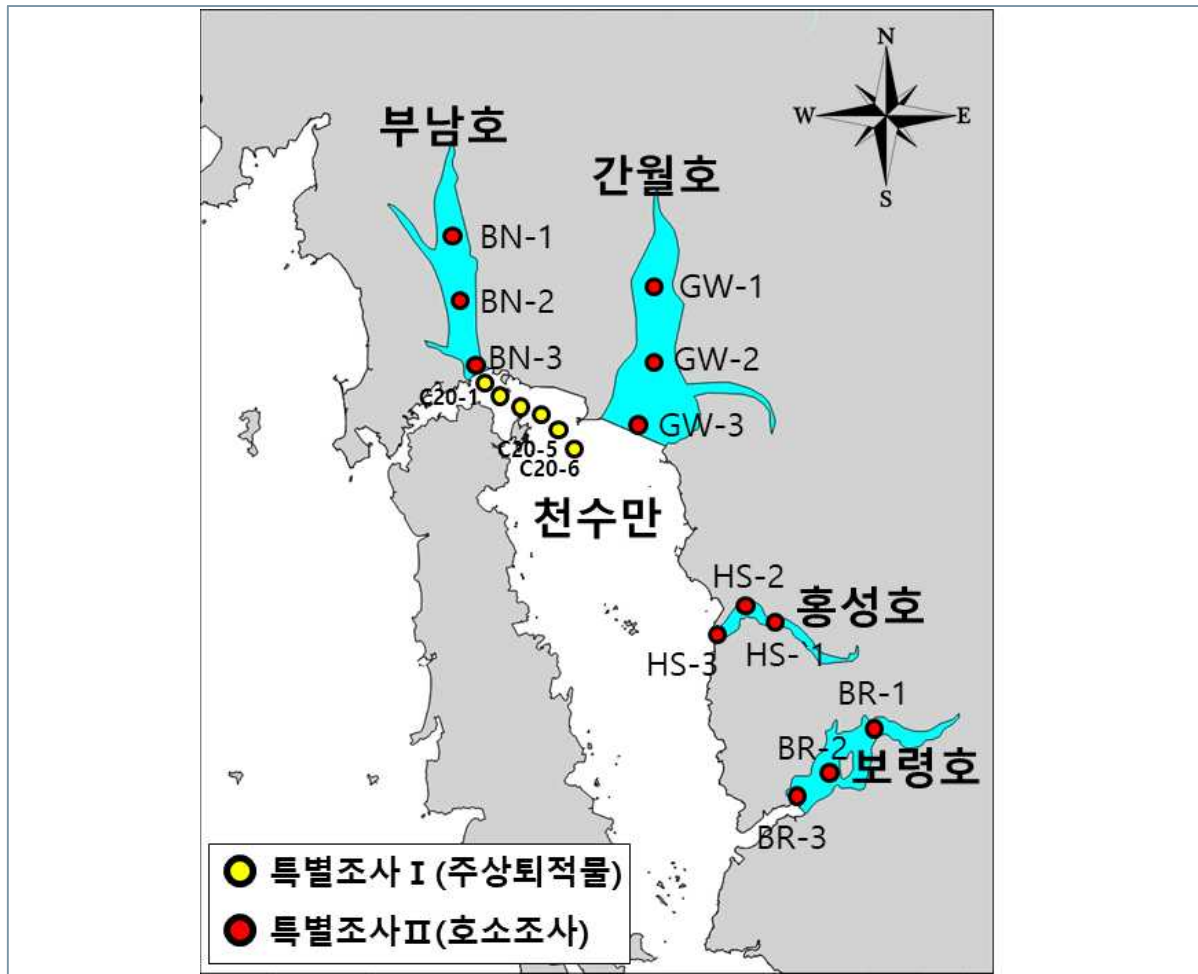
- 부남호 방류에 따른 부남호 전면부 퇴적층의 변화를 파악하기 위해 부남호에서 천수만 방향으로 6개 정점(C20-1~C20-6)에 대한 주상퇴적물 시료를 채취하였다.
 - 백사수도 방향은 퇴적층이 얇아 정점선정에서 제외하였다.
- 시료는 C20-1정점부터 50cm, 50cm, 40cm, 60cm, 40cm, 60cm 깊이로 채취하였다.
- 특별조사 I, II(하단 설명)의 결과를 바탕으로 유기물의 기원을 분석했다.

■ 특별조사 II(천수만 4개 호소)

- 호소로 유입되는 담수와 천수만으로 방류되는 담수 변화를 파악하기 위해 호소 조사를 수행하였다.
- 특별조사 I 과 특별조사 III(하단 설명)이 부남호를 대상으로 시범적으로 수행되었고, 향후 4개 호소에 적용하기 위해 간월호, 홍성호, 보령호의 조사도 수행하였다.
- 2017~2019년 용역에서 수행한 호소 조사 결과를 활용하여 호소의 수질 변동성을 분석했다.

■ 특별조사 III(부남호, 가로림만 유입하천)

- 닫힌하구의 하구호의 수질과 하구호로 유입되는 지류하천의 수질 관계를 파악하고자 부남호와 가로림만 주변 하천을 대상으로 담수 시료를 채취하고, 부남호로의 유입하천은 퇴적물도 함께 채취하였다.
- 수질 결과는 부남호, 가로림만 지역 인근 기존 환경부 측정망(하천, 저수지)의 수질 자료와 비교분석 하여 변동성을 파악했다.



<그림 2.2-2> 특별조사(I, II) 조사정점



<그림 2.2-3> 특별조사(III) 조사정점

2.2.3. 조사 시기 및 조사항목

- 정기조사는 분기별 조사를 기준으로 각 분기별(2월, 5월, 8월, 11월) 초에 현장 조사를 수행하였으며, 시료 채취는 『해양환경공정시험기준』 제1항 2.2절에 따라 조석효과를 고려하여 시료를 채취하였다. 단, 퇴적물 조사는 5월(2분기)에 연 1회 실시하였다.
- 특별조사는 여름철 장마(중부지방 54일 지속) 종료 후 8월에 수행하였다.
- 각 조사의 분석항목과 정점 정보는 아래와 같다(<표 2.2-1>~<표 2.2-3>).

<표 2.2-1> 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 정기조사 분석항목

구분	조사항목	조사정점
해수	일반항목(14) 수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N), TP, DIP(PO ₄ -P), SiO ₂ -Si, SPM, Chlorophyll-a, 투명도	30개 정점
	유분	5개 정점
	미량금속(9) Cr ⁶⁺ , Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg, CN	30개 정점
해저 퇴적물	일반항목(7) 입도, 함수율, IL, COD, AVS, TOC, TN	30개 정점
	중금속(13) Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	30개 정점
해양생물	중금속(7) Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, As	5개 정점

<표 2.2-2> 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목

구분	조사항목	조사정점
특별조사 I (천수만 주상퇴적물)	일반항목(7) 입도, 함수율, COD, IL, TOC, TN, 총인	6개 정점
	미량금속(13) Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	6개 정점
특별조사 II (천수만 호소), 특별조사 III (부남호, 가로림만 유입하천)	수질 일반항목(14) 수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N), TP, DIP(PO ₄ -P), SiO ₂ -Si, SPM, Chlorophyll-a, 투명도, TOC	24개 정점
	미량금속(8) Cr ⁶⁺ , Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg	24개 정점
	퇴적물* 일반항목(8) 입도, 함수율, IL, COD, AVS, TOC, TN, TP	17개 정점
	미량금속(13) Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	17개 정점

* : 수질 조사정점에서 퇴적물을 채취하려 했으나, 부남호 유입하천 1개소, 가로림만 유입하천 6개소에서 퇴적물을 채취하지 못함

<표 2.2-3> 2020년 정기조사 정점 종합

구분	시군	지점	위도	경도	조사항목		
					해수	해저퇴적물	해양생물
연근해	아산	N-1	36°54'10"	126°50'10"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-2	37°01'50"	126°42'27"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
	당진	N-26	37°01'50"	126°19'41"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-27	36°52'00"	126°19'20"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
	서산	N-3	36°53'20"	126°21'07"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량금속
		N-4	36°54'42"	126°22'14"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-5	36°56'26"	126°15'39"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-6	36°49'25"	126°07'55"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-7	36°41'40"	126°07'20"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-8	36°39'50"	126°09'50"	일반항목, 미량금속, 유분	일반항목, 미량금속	미량금속
	태안	N-9	36°39'30"	126°14'00"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량금속
		N-10	36°35'45"	126°15'45"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-11	36°33'50"	126°17'05"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-12	36°30'40"	126°18'17"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-13	36°23'30"	126°22'55"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-14	36°35'15"	126°26'30"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-15	36°33'15"	126°26'50"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
	홍성	N-16	36°36'58"	126°21'56"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-17	36°22'00"	126°29'10"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-18	36°19'29"	126°28'36"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량금속
	보령	N-19	36°16'48"	126°30'02"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-20	36°03'28"	126°32'32"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-21	36°01'45"	126°37'50"	일반항목, 미량금속, 유분	일반항목, 미량금속	
	서천	N-22	36°08'12"	126°29'20"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량금속
		N-23	35°58'48"	126°34'38"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-24	37°06'45"	126°28'06"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-25	37°04'31"	126°36'00"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
항만	서산	H-1	37°01'08"	126°25'25"	일반항목, 미량금속, 유분	일반항목, 미량금속	
	태안	H-2	36°54'45"	126°13'55"	일반항목, 미량금속, 유분	일반항목, 미량금속	
	서천	H-3	36°00'10"	126°40'50"	일반항목, 미량금속, 유분	일반항목, 미량금속	

2.3. 법적근거

2.3.1. 관련 법령

■ 『해양환경관리법』 제9조(해양환경측정망)

① 해양수산부장관은 연근해의 해양환경 상태 및 오염원의 측정·조사 등을 위해 해양수산부령이 정하는 바에 따라 해양환경측정망을 구성하고 정기적으로 해양환경을 측정하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2013.3.23.>

② 시·도지사는 제1항의 규정에 따라 해양수산부장관이 구성한 해양환경측정망을 참고하여 관할 해역에 적합한 해양환경측정망을 별도로 구성할 수 있다. 이 경우 시·도지사는 관할 해역의 해양환경측정망을 구성하거나 구성된 내용을 변경하려는 때에는 해양수산부장관에게 미리 통보하여야 한다. <개정 2008.2.29., 2013.3.23.>

■ 『해양환경관리법 시행규칙』 제5조(해양환경측정망)

① 해양수산부장관은 법 제9조 제1항에 따라 각 호의 해양환경측정망(이하 “해양환경측정망”이라 함)을 구성·운영할 수 있다.

1. 항만환경측정망
2. 연근해환경측정망
3. 환경관리해역환경측정망
4. 하구역환경측정망
5. 해양대기환경측정망
6. 오염우심해역수질자동측정망

② 해양수산부장관은 해양환경측정망을 구성하려는 경우에는 다음 각 호의 사항이 포함된 해양환경측정망 구성·운영계획을 수립하여야 한다.

1. 조사 시기 및 횟수
2. 측정위치 및 위치도면
3. 측정항목 및 방법
4. 해역구분 및 측정망 종류
5. 그 밖에 해양환경측정망의 구성·운영에 필요한 사항

2.3.2. 상위계획 및 관련계획

- 연안환경 보전에 대한 상위계획으로는 크게 다음과 같은 국가계획이 있다.
 - 제2차 해양수산발전 기본계획(2011~2020), 제3차 해양수산발전 기본계획(2021~2030)
 - 갯벌 등의 관리 및 복원에 관한 기본계획
 - 제3차 연안정비 기본계획(2020~2029)
 - 제2차 해양생태계 보전관리 기본계획(2019~2028)
 - 서해안발전 종합계획(2010.12)
 - 제3차 연안통합 관리계획(2020~2029)
 - 제5차 해양환경 종합계획(2021~2030)
 - 제2차 연안통합 관리계획(2011~2021), 제1차 해양공간 기본계획(2019~2028)
- 이와 관련한 충청남도 계획(광역지자체 단위 계획)은 다음과 같다(그림 2.3-1).
 - 충청남도 종합계획(2012~2020)
 - 제4차 충청남도 환경보전종합계획(2016~2025)
 - 제2차 연안관리지역계획
 - 충청남도 해양수산발전계획(2015)
 - 충청남도 해양생태환경 중장기 발전전략(2016)
 - 충남해역 해양공간계획(2021~2030)
 - 충청남도 갯벌생태계 복원계획



<그림 2.3-1> 상위계획 및 관련 계획과의 연계도

제3장

연안환경측정망 정기조사

1. 조	사	개	요
2. 조	사	방	법
3. 정	기	조	사
	결	과	

제 3 장 연안환경측정망 정기 조사

3.1. 조사개요

3.1.1. 공간적 범위

- 충청남도 서해 연안 지역(<그림 2.2-1 참조>)
- 7개 시·군(보령시, 아산시, 서산시, 당진시, 서천군, 홍성군, 태안군)

3.1.2. 시간적 범위

- 용역기간 : 2020년 1월 1일~2020년 12월 31일(12개월)
- 조사시기
- 동계(1분기) 정기조사 : COVID-19의 영향으로 수행하지 못함
- 춘계(2분기) 정기조사 : 2020년 05월 07일~28일
- 하계(3분기) 정기조사 : 2020년 08월 18일~09월 17일
- 추계(4분기) 정기조사 : 2020년 11월 05일~12월 01일

3.1.3. 내용적 범위

- 충청남도 연안의 해양환경 상태 파악을 위한 오염원 정기조사 및 특별조사
- 충청남도 서해안 연안환경측정망 조사(정기조사 - 30개 정점)
- 해역별 해양환경측정 자료 분석
- 연안환경의 체계적인 관리 및 보전정책 수립을 위한 기본자료 확보
- 차년도 연안환경측정망 운영계획 개선·개정 의견 제시

<표 3.1-1> 연안환경측정망 정기조사 개요

구분		조사항목	조사정점
해수	일반항목(14)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N), TP, DIP(PO ₄ -P), SiO ₂ -Si, SPM, Chlorophyll-a, 투명도	30개 정점
		유분	5개정점
	미량금속(9)	Cr ⁶⁺ , Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg, CN	30개 정점
해저 퇴적물	일반항목(7)	입도, 함수율, IL, COD, AVS, TOC, TN	30개 정점
	중금속(13)	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	30개 정점
해양생물	중금속(7)	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg As	5개 정점

- 주) 1. 해수는 표·저층 조사를 원칙으로 하되, 유분, 미량금속은 표층조사
 2. 미량금속과 퇴적물은 동일정점에서 수행
 3. 해양생물은 굴 체내의 미량금속 농도를 추정하여 해양 환경 오염 상태를 진단
 4. 해수 및 해양생물 시료는 분기별(1년 4회) 채취, 해저퇴적물 시료는 1년 1회(동계) 채취

3.2. 조사 방법

3.2.1. 시료 채취 방법

- 시료는 해수, 해양 퇴적물, 해양생물을 채취하였으며, 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.
- 시료별 세부 채취방법은 다음과 같다.

가. 해수

1) 일반 항목

- 해수 시료는 니스킨 채수기(Niskin-X sampler)를 이용하였으며 채수기는 현장 해수로 3회 이상 세척한 후 사용하였다.
- 표층과 저층에서 시료를 각각 채취하였으며, 표층수는 수면 아래 0.5m에서 저층수는 바닥으로부터 1m 상부 수층에서 채수하였다.

2) 미량금속 항목

- 해수 미량금속 채취 시 선박의 영향을 최소화하기 위해 채취 시 2 knot의 속도로 진행하는 선박의 선수에서 바람이 불어오는 방향 및 해류가 흘러오는 방향에서 채수하였다.
- 채수는 PVC 장대 혹은 카본 재질의 폴 샘플러(Pole sampler)를 이용하였고, 염산으로 세척된 채수병에 담에 냉장 보관 후 실험실로 운반하였다.

나. 해양 퇴적물

- 퇴적물 시료는 0.1m² 크기의 van Veen 채니기를 사용하여 채취하였다.
- 채취한 퇴적물은 채니기 덮개와 접촉하지 않은 상층 부분(표층 2cm 이내)을 플라스틱 주걱을 활용하여 시료 용기에 담아 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동하였다.
- 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법에 따라 건조하였다.

다. 해양생물

- 해양생물(굴) 시료는 개체에 따른 미량금속의 변동을 최소화하기 위해 채취 정점에서 크기가 유사한 굴을 10개체 이상을 채취한 후 해수로 세척하였다.
- 생물의 장내에 있는 퇴적물과 섭취 물질 등을 제거하기 위해 채취 지역의 해수를 여과하여 약 24시간 해감시킨 후 냉동 보관하였고, 시료는 동결건조법으로 건조하였다.

라. 현장 야장

- 분기별 조사의 현장 조사과정을 <표3.2-1>, <그림 3.2-1>~<그림 3.2-3>에 제시했다.

<표 3.2-1> 정기조사 현장야장

구분 (mm/dd hh:mm)	동계	춘계	하계	추계
N1	COVID-19 영향으로 수행하지 못함	05/26/10:42	08/21/10:31	11/05/10:51
N2		05/26/11:30	08/21/11:14	11/05/11:37
N3		05/14/12:00	08/31/12:44	11/11/11:15
N4		05/14/13:40	08/31/14:22	11/11/12:10
N5		05/14/13:20	08/31/14:03	11/11/11:55
N6		05/14/14:18	08/31/13:39	11/11/13:04
N7		05/14/10:50	08/31/11:53	11/11/10:37
N8		05/07/12:15	09/17/12:38	11/17/12:45
N9		05/07/13:00	09/17/11:28	11/17/12:00
N10		05/07/11:00	09/17/11:10	11/17/11:35
N11		05/07/10:20	09/17/10:52	11/17/11:05
N12		05/21/11:52	08/20/09:15	11/06/09:20
N13		05/21/10:32	08/20/09:29	11/06/09:43
N14		05/21/10:11	08/20/09:45	11/06/10:06
N15		05/08/11:05	08/19/14:40	11/10/11:26
N16		05/21/13:35	08/20/11:25	11/06/12:24
N17		05/21/13:55	08/20/11:39	11/06/13:47
N18		05/21/13:08	08/20/11:00	11/06/11:12
N19		05/08/10:26	08/19/14:05	11/10/10:51
N20		05/08/09:56	08/19/13:47	11/10/10:30
N21		05/08/09:25	08/19/13:21	11/10/10:05
N22		05/20/13:00	08/18/14:27	12/01/12:20
N23		05/20/13:30	08/18/13:51	12/01/
N24		05/20/16:00	08/18/11:48	12/01/11:42
N25		05/20/14:40	08/18/12:55	12/01/13:08
N26		05/26/13:30	08/21/12:23	11/05/12:43
N27		05/26/13:00	08/21/11:48	11/05/12:04
H-1		05/26/14:10	08/21/12:23	11/05/13:14
H-2		05/14/11:20	08/31/12:14	11/11/10:22
H-3		05/20/14:15	08/18/13:28	12/01/13:37

3.2.2. 시료의 전처리 및 분석

- 시료는 해양수질, 해양 퇴적물, 해양생물에 관한 항목을 분석하였고, 분석항목의 전처리 및 분석은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.

가. 해양 수질

1) 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)

- 현장에서 RBR CTD(Maestro)를 사용하여 측정하였다.

2) 투명도

- 현장에서 지름이 30cm 하얀색 원형 아크릴판(Secchi disk)을 이용하여 측정하였다.

3) 부유입자물질(SPM)

- 건조기로 건조 시킨 후 무게를 측정한 GF/F 여과지에 해수 시료 1L를 여과하여 105℃ 오븐에서 2시간 동안 건조 시킨 후 실온에서 식혀 측정한 무게로부터 여과지 무게를 뺀 값으로 계산하였다.

4) 화학적산소요구량(COD)

- 시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨(KMnO₄)을 넣고 100℃ 수욕 상에서 60분간 가열 반응시킨 후, 요오드화칼륨(KI)과 황산(H₂SO₄)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

5) 용존무기질소(DIN : NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N)

가) 암모니아 질소(NH₄-N)

- 시료에 EDTA(C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·H₂O)와 sodium nitroprusside(Na₂Fe(CN)₅NO·2H₂O)의 혼합 용액 및 alkaline phenol(C₆H₅OH)과 dichloroisocyanic acid (C₃Cl₂N₃NaO₃·2H₂O) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

나) 아질산 질소(NO₂-N)

- 시료에 Sulfanilamide(C₆H₈O₂N₂S)와 naphthylethylenediamine(C₁₂H₁₄N₂·2HCl) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 520 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

다) 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

- 시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 다음 sulfanilamide와 naphthylethylenediamine 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 550nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.
- column의 환원율을 구하여 보정한 후 아질산성 질소의 농도를 감하여 질산성 질소의 농도를 계산하였다.

6) 인산 인($\text{PO}_4\text{-P}$)

- 시료에 sodium molybdate($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 황산(H_2SO_4), antimony potassium tartrate ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)로 환원시켜 발색시킨 후 파장 880 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

7) 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 시료에 Sodium Molybdate($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)를 가하여 Silicomolybdate Complex를 만든 후, Oxalic Acid($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)와 Ascorbic acid($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)를 가하여 발색시켜 파장 660nm에서 영양염 자동분석기(QuAATRO Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

8) 총질소(TN)

- 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)을 가하여 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

9) 총인(TP)

- 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)을 가하여 시료 중의 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 산화 분해하여 무기 인산 인 형태로 변화시킨 다음, ascorbic acid로 환원시켜, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

10) 엽록소-a(Chl-a)

- 현장에서 GF/F를 이용하여 여과한 여과지를 드라이아이스에 냉동 보관하여 실험실로 운반한 후, 90% 아세톤에 넣어 하루 동안 추출하여 fluorometric method(Parsons et al., 1984)에 따라 측정하였다.

11) 미량금속

가) Cr^{6+} , Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, As

- 시료를 0.45 μm 인 멤브레인 여과지(membrane filter paper)로 여과한 후 pH를 2 부근으로 조절하였고, seaFAST SP3(Elemental Scientific, USA)에 장착된 직접(Direct mode), 농축(Preconcentration mode), 수소화물 생성법(Hydride method)으로 전처리하여 유도 결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

나) Hg

- 수은(Hg)는 EPA 1631 방법으로 분석. 산성화된 시료 100mL를 분취한 후 염화브롬 0.5mL를 첨가하여 12시간 이상 상온에서 산화과정을 거친 뒤 하이드록실아민 0.2~0.25mL를 첨가한 후 잘 섞어준 다음 수은 분석기(Tekran 2600, Canada)를 이용하여 분석하였다.

12) 시안(CN)

- 해수를 가열 증류 후 수산화나트륨에 포집하여 피리딘-피라졸론 혼합용액을 넣어 흡광도를 측정하였다.

13) 용매추출유분

- 필터 되지 않은 시료 약 500mL를 테프론 분액깔대기에 넣고 노말헥산 20~40mL 첨가하여 교반 시킨 후 형광광도계(Shimazu, RF-5301PC)를 이용하여 EX 310/EM 360nm 파장에서 형광강도를 측정하였다.

나. 해양 퇴적물

1) 입도

- 채취한 시료를 젖은 상태 그대로 약 20~30g을 취하여 500mL 비이커에 담아 10% 과산화수소(H_2O_2)와 0.1N 염산(HCl)으로 탄산염과 유기물을 제거한 후, 증류수로 희석하여 염분을 제거하였다.
- 4 ϕ 체를 이용한 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리한 후, 4 ϕ 보다 조립질 시료는 진탕기를 이용하여 1 ϕ 간격으로 분석하였으며, 4 ϕ 보다 세립질 시료는 자동입도분석기(Mastersizer 2000, Malvan, UK)를 이용하여 1 ϕ 간격으로 분석하였다.
- Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 적용하여 퇴적물의 조직변수를 산출하였고, <표 3.2-2>~<표 3.2-3>에 지수별 퇴적물의 입도 환산표와 조직 표준치의 산정 공식 및 언어표기 척도, <그림 3.2-4>에 자갈, 모래, 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형

분류를 제시하였다.

2) 함수율(Water Content)

- 채취한 시료를 젖은 상태로 약 20~30g을 시료병에 담아 정확히 무게를 측정하여 110℃에서 24시간 이상 건조시킨 후 무게를 측정하여 건조 전·후 무게 차이로 계산하였다.

3) 강열감량(Igbition Loss)

- 건조된 시료 5g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550℃로 2시간 가열하여 가열 전과 후의 무게 차이로 계산하였다.

4) 화학적산소요구량(COD : Chemical oxygen demand)

- 퇴적물 시료를 황산 산성으로 하여 과망간산칼륨 일정과량을 넣고 30분간 수욕상에서 가열 반응시킨 다음 소비된 과망간산칼륨량으로부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하였다.

5) 산 휘발성 황화물(AVS : Acid volatile sulfide)

- 시료를 젖은 상태로 약 2g의 무게를 측정 하여 검지관 주입구에 넣은 후 기체발생관에 황산 2ml를 넣고 2~3초 기다린 후 펌프를 당겨 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수한 지점의 눈금을 읽어 측정하였다.

6) 유기탄소(OC : Organic Carbon)

- 건조된 시료 2g을 취하여 1M 염산(HCl)으로 탄산염을 제거 후, 원소 분석기(CHN analyzer : Flash1112, Thermo electron, USA)로 측정하였다.

7) 총질소(TN : Total Nitrogen)

- 건조된 시료 2g을 취하여 원소 분석기로 측정하였다.

8) 총인(TP : Total Phosphorus)

- 퇴적물 시료 0.5g을 muffle furnace에서 550℃로 2시간 정도 태운 시료에 1N HCl 50ml를 넣고 16시간 용출 후 용액을 원심분리하여 상등액을 적정 농도로 희석하고, 아스코르빈산(ascorbic acid)으로 환원시켜, 영양염 자동분석기를 이용하여 측정하였다.

9) 중금속

가) 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 알루미늄(Al), 철(Fe)

- 퇴적물 중의 금속 분석을 위해 동결건조 후 혼합산($\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$)을 이용하여 완전분해하였다.
- 여기에 1% 질산(HNO_3 , suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

나) 수은(Hg)

- 퇴적물 중 수은 분석은 EPA 7473 방법을 따르며, 분석 방법은 퇴적물 분말 30mg을 수은 분석기(DMA-80, Milestone)를 이용하여 분석하였다.

다) 비소(As)

- 시료 내 비소를 질산, 황산 및 불소산을 이용하여 완전분해 후 1N 염산으로 재용해한 후 KI 및 아스코르빅 용액으로 비소 5가를 3가로 환원시켜 원자흡광광도계(AAS)로 분석하였다.

다. 해양 생물(굴)

1) 중금속(Cu, Pb, Zn, Cd, Cr)

- 동결 건조한 해양 생물 시료를 분쇄하여 후 질산 및 과염소산으로 산분해하였다. 여기에 1% 질산(HNO_3 , suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

2) 수은(Hg)

- 동결 건조된 시료 0.2g을 질산/황산 혼합용액 10mL로 산분해 후 적절히 희석하여 냉증기 원자흡광광도계(AAS : Fims100, PerkinElmer)로 분석하였다.

3) 비소(As)

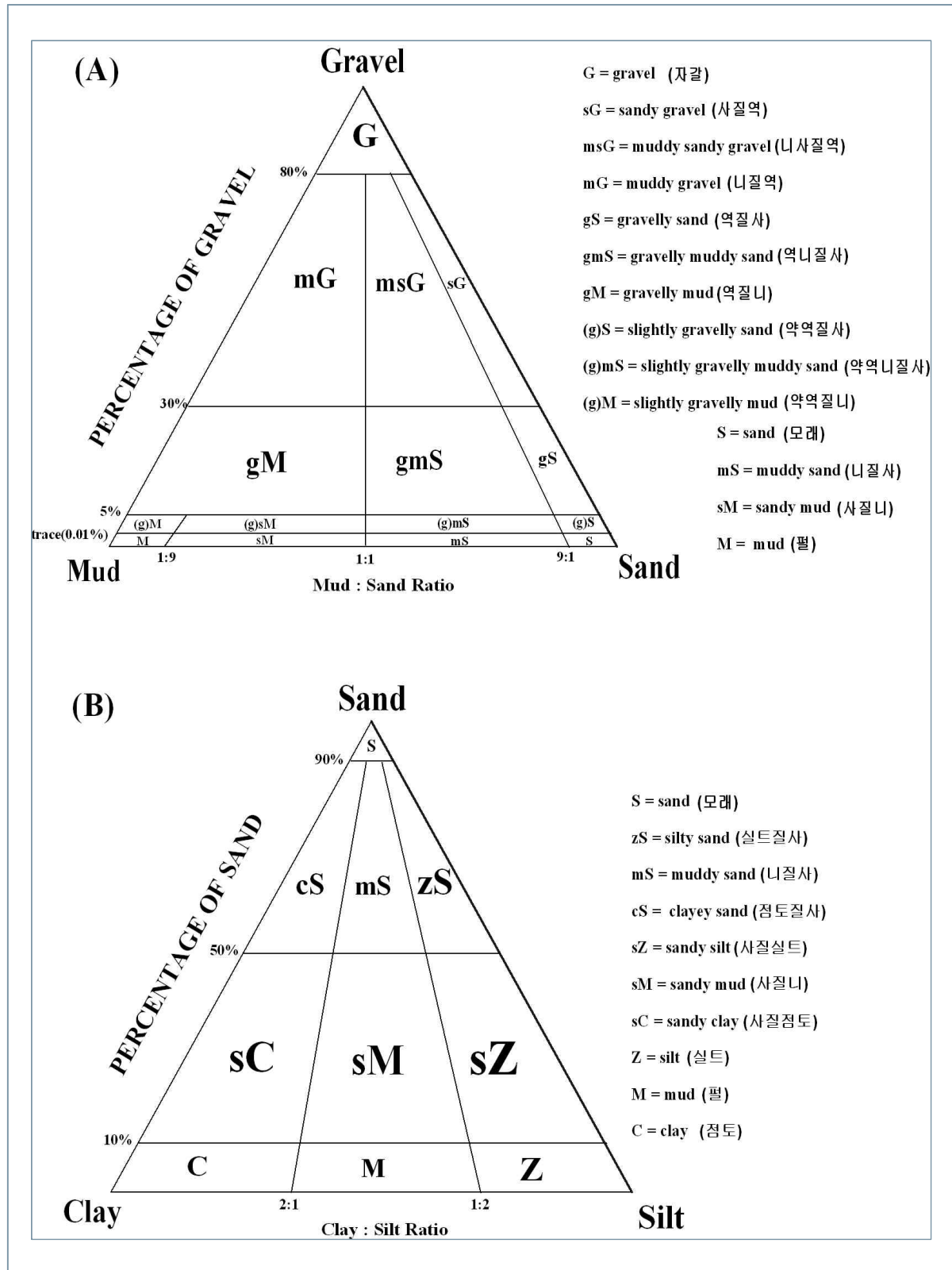
- 동결 건조된 시료 0.2g을 10% 질산(HNO_3) 10mL로 24시간 용출 후 적절히 희석하여 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 분석하였다.

〈표 3.2-2〉 지수별 퇴적물의 입도 환산표

Diameter (mm)		phi Scale (ϕ)	Wentworth Size Class	
4096	(2^{12})	−12	Boulder	Gravel
2048	(2^{11})	−11		
1024	(2^{10})	−10		
512	(2^9)	−9		
256	(2^8)	−8	Cobble	
128	(2^7)	−7		
64	(2^6)	−6	Pebble	
32	(2^5)	−5		
16	(2^4)	−4		
8	(2^3)	−3		
4	(2^2)	−2	Granule	
2	(2^1)	−1	Very Coarse Sand	Sand
1	(2^0)	0	Coarse Sand	
0.5	(2^{-1})	1	Medium Sand	
0.25	(2^{-2})	2	Fine Sand	
0.125	(2^{-3})	3	Very Fine Sand	
0.063	(2^{-4})	4	Coarse Silt	Mud
0.031	(2^{-5})	5	Medium Silt	
0.016	(2^{-6})	6	Fine Silt	
0.008	(2^{-7})	7	Very Fine Silt	
0.004	(2^{-8})	8	Clay	
0.002	(2^{-9})	9		
0.00098	(2^{-10})	10		
0.00049	(2^{-11})	11		
0.00024	(2^{-12})	12		

〈표 3.2-3〉 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale)

Graphic mean : 평균입도		
$M_Z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$		
Inclusive Graphic Standard Deviation : 분급도 (입도의 균일성)		
$\sigma_I(\phi) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$		
0.35 >	Very well sorted	극양호분급
0.35 ~ 0.50	Well sorted	양호분급
0.50 ~ 0.71	Moderately well sorted	중간양호분급
0.71 ~ 1.00	Moderately sorted	중간분급
1.00 ~ 2.00	Poorly sorted	불량분급
2.00 ~ 4.00	Very poorly sorted	극불량분급
4.00 <	Extremely poorly sorted	최극불량분급
Inclusive Graphic Skewness : 왜도 (입도의 대칭성)		
$Sk_I = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$ $= \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5} \quad (\text{Warren, 1974})$		
0.3 <	Strongly fine-skewed	최극양호왜도
0.1 ~ 0.3	Fine-skewed	양호왜도
-0.1 ~ 0.1	Near-symmetrical	대칭왜도
-0.3 ~ -0.1	Coarse-skewed	불량왜도
-0.3 >	Strongly coarse-skewed	최극불량왜도
Graphic Kurtosis : 첨도 (입도의 편평성)		
$K_r = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$		
0.67 >	Very platykurtic	매우저첨
0.67 ~ 0.9	Platykurtic	저첨
0.90 ~ 1.11	Mesokurtic	중첨
1.11 ~ 1.50	Leptokurtic	극첨
1.50 ~ 3.00	Very leptokurtic	매우극첨
3.00 <	Extremely leptokurtic	최극첨



〈그림 3.2-4〉 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물

3.2.3. 회수율

- 분석 자료의 정확도를 검증하기 위해 캐나다 NRC(National Research Council, Canada)의 MOOS-3, CASS-5, MESS-3과 한국표준과학연구원(KRIS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 사용하였고, 각 항목별 회수율을 <표 3.2-4>~<표 3.2-7>에 제시하였다.

가. 해양 수질

- 해수 내 영양염류와 중금속 분석 결과와 회수율은 다음과 같다.

<표 3.2-4> 표준시료(MOOS-3)에 대한 해수 내 영양염류의 분석 결과 및 회수율
(mean±sd, n=5, 단위 : μ M)

분석항목		NO ₂ -N	NO ₂ +NO ₃	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
함유농도		0.116	30.996	2.080	86.160
분석결과	동계*	-	-	-	-
	춘계	0.119	32.346	2.100	86.610
	하계	0.120	31.000	2.220	87.080
	추계	0.124	32.339	2.120	88.600
회수율 (%)	동계*	-	-	-	-
	춘계	102	104	101	101
	하계	103	100	107	101
	추계	107	104	102	103

*COVID-19영향으로 수행하지 못함

<표 3.2-5> 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율
(mean±sd, n=3, 단위 : μ g/L)

분석항목		Cd	Cu	Pb	Zn	As
함유농도		0.0217 ±0.0018	0.5300 ±0.0320	0.0106 ±0.0040	1.2700 ±0.1800	1.0400 ±0.1000
분석결과	동계*	-	-	-	-	-
	춘계	0.0234 ±0.0003	0.5650 ±0.0100	0.0110 ±0.0007	1.3800 ±0.0300	1.0700 ±0.0400
	하계	0.0220 ±0.0006	0.5640 ±0.011	0.0104 ±0.0011	1.2300 ±0.0300	0.9500 ±0.0400
	추계	0.0227 ±0.0012	0.5610 ±0.0050	0.0107 ±0.0001	1.3300 ±0.0800	1.0300 ±0.0200
회수율 (%)	동계*	-	-	-	-	-
	춘계	108	107	103	109	103
	하계	101	106	95	97	92
	추계	105	106	101	104	99

*COVID-19영향으로 수행하지 못함

나. 해양 퇴적물

- 해양 퇴적물 내 중금속 분석 결과와 회수율은 다음과 같다.

〈표 3.2-6〉 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율

(건중량, mean±sd, n=3)

분석항목	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Li	Al	Fe
	(mg/kg)						(%)	
함유농도	0.28 ±0.04	32.9 ±1.8	21.5 ±1.2	147 ±6	42.8 ±1.6	65.3 ±6.8	7.91 ±0.20	3.79 ±0.16
분석결과	0.30 ±0.02	31.1 ±1.8	23.2 ±1.8	138 ±2	43.9 ±1.6	68.9 ±1.5	7.28 ±0.16	3.80 ±0.09
회수율 (%)	108	95	108	94	102	105	92	100

다. 해양 생물

- 해양 퇴적물 내 중금속 분석결과와 회수율은 다음과 같다.

〈표 3.2-7〉 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 이용한 분석 결과 및 회수율

(건중량, Mean±sd, n=3, 단위 : mg/kg)

분석항목	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As
함유농도	7.40 ±0.37	0.45 ±0.02	330.1 ±16.5	1.52 ±0.08	835.4 ±42	13.17 ±0.66
분석결과	동계*	-	-	-	-	-
	춘계	7.67 ±0.14	0.39 ±0.08	324.5 ±5.7	1.44 ±0.07	843.7 ±17
	하계	7.53 ±0.11	0.42 ±0.05	352.3 ±4.1	1.39 ±0.05	859.2 ±12
	추계	6.83 ±0.07	0.46 ±0.04	308.4 ±0.9	1.51 ±0.02	845.1 ±3
	동계*	-	-	-	-	-
회수율 (%)	춘계	104	87	98	95	101
	하계	102	93	107	91	103
	추계	92	101	93	99	101
	동계*	-	-	-	-	-

*COVID-19영향으로 수행하지 못함

3.3. 정기 조사 결과

3.3.1. 해양 수질

- 춘계(2분기)~추계(4분기) 조사 결과를 <표 3.3-1>~<표 3.3-9>, <그림 3.3-1>~<그림 3.3-33>에 나타내었다.
- 수질의 항목별 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10호)을 <표 3.3-10>에 제시하였다.

가. 수온 및 염분

- 본 용역의 조사 정점은 연안에 인접해 있어 비교적 수심이 낮고 해수의 수직혼합이 잘 이루어지는 특성으로 수온과 염분의 표·저층간의 차이가 작았다.

1) 수온

- 춘계에 11.1~18.0℃(평균 15.2℃), 하계 20.4~29.7℃(평균 25.3℃), 추계 8.3~16.3℃(평균 13.9℃)의 범위를 보였다.
- 태안 서부연안(N7, N8, N9 정점)의 춘계와 하계 조사에서 상대적으로 낮은 분포를 보였으며, 기존 연구(충청남도, 2019)에서도 태안반도 인근 해역의 수온은 상대적으로 낮게 관측되었다.

2) 염분

- 염분은 춘계에 20.8~31.2psu(평균 29.8psu), 하계 13.1~29.7psu(평균 25.4psu), 추계 22.7~31.5psu(평균 29.6psu)의 범위로 조사되었다.
- 염분은 아산만(N1), 금강하구 연안에서 낮게 관측되었고, 하계에는 대부분 정점이 평년에 비해 다소 낮게 관측되었다.

나. 수소이온농도(pH)

- 수소이온농도(pH)는 해수 중에서 일어나는 여러 가지 화학반응 및 생물의 성장과 활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 해수에서 7.5~8.4의 범위를 보이며, 광합성 작용이 활발한 지역에서는 이보다 더 높은 값을 가진다(이 등, 1999).
- 춘계에 7.8~8.2(평균 8.0), 하계 7.6~8.5(평균 8.1), 추계 7.9~8.3(평균 8.1)의 범위로 나타났다.
- 춘계와 추계에는 모든 정점에서 유사한 분포를 보였으며, 하계에는 천수만 내측에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.

- 본 용역에서 수소이온농도는 해양환경기준(해역, 생활환경 기준)의 범위(6.5~8.5) 이내로 분석되었다.

다. 용존산소(DO) 및 용존산소 포화도

- 대기 중의 산소는 수표면에서 물속으로 분산 흡수되고 흡수된 산소는 기체 분압에 의해 용존되며, 물의 온도와 기압, 불순물 및 염분도에 의해 영향을 받게 되고, 해양에서의 용존산소는 식물플랑크톤의 높은 일차생산력에 의해 100% 이상의 높은 용존산소 포화도를 나타내기도 한다(박 등, 2003).
- 용존산소는 춘계에 5.6~16.5mg/L(평균 9.3mg/L), 하계 4.0~9.9mg/L(평균 6.1mg/L), 추계 6.8~9.6mg/L(평균 8.0mg/L)의 범위로, 용존산소 포화도는 춘계 67~194%(평균 111%), 하계 57~142%(평균 92%), 추계 82~104%(평균 92%)의 범위를 나타냈다.
- 춘계에는 N15 표층에서 상대적으로 높았고, N1에서 다소 낮은 분포를 보였다.
- 하계에는 N18 저층, 추계에는 정점 H1에서 상대적으로 낮은 분포를 보였다.

라. 부유입자물질(SPM)

- 해양에서의 부유입자물질은 연안개발 및 강우에 의해 해양으로 유입될 수 있으며, 탁도를 증가시킴으로써 식물플랑크톤이나 해조류 등의 1차 생산력을 저하시키기도 한다(윤과 박, 2011).
- 춘계에 3.8~93.2mg/L(평균 22.3mg/L), 하계 4.1~148.5mg/L(평균 19.3mg/L), 추계 3.3~91.1mg/L(평균 14.3mg/L)의 범위로 하계에 상대적으로 낮은 평균값을 보였다.
- 조사 정점이 위치한 해역은 비교적 수심이 낮고 강한 조석 현상에 의한 재부유 현상으로 SPM의 농도는 표층보다 저층에서 높게 조사되었다.

마. 화학적산소요구량(COD)

- 화학적산소요구량은 해수 중의 유기물 농도의 간접적인 지표로 이용되고 있으며, 담수(육상)로부터 공급되는 유기물과, 해양에서 식물플랑크톤에 의해 생성되는 유기물, 그리고 저층에서 재부유나 용출되는 물질 등에 의해 조절된다.
- 춘계에 1.3~5.3mg/L(평균 2.6mg/L), 하계 1.0~7.1mg/L(평균 3.4mg/L), 추계 1.1~4.0mg/L(평균 2.5mg/L)의 범위로 나타났다.

바. 클로로필-a(Chl-a)

- 춘계에 0.7~15.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 4.2 $\mu\text{g/L}$), 하계 1.6~19.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 5.6 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.7~9.6 $\mu\text{g/L}$ (평균 2.3 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 일반적으로 해양에서 클로로필-a의 농도는 동계에 낮고 춘계와 하계에 상대적으로 높은 경향을 보이며, '20년 조사에서도 춘계와 하계에 높고 추계에 낮은 경향을 보였다.

사. 총질소(TN)

- 춘계에 23.6~792.7 $\mu\text{g/L}$ (평균 157.3 $\mu\text{g/L}$), 하계 160.5~1,188.1 mg/L (평균 433.1 mg/L), 추계 136.2~1,075.3 mg/L (평균 280.4 mg/L)의 범위를 보였다.
- 하계에 높고 춘계에 상대적으로 낮은 평균 농도를 보였고, 하계에 H3 표층에서 가장 높은 농도로 나타났고, 춘계 N10 저층에서 가장 낮은 농도로 분석되었다.

아. 총인(TP)

- 춘계에 8.4~16.0 $\mu\text{g/L}$ (평균 10.6 $\mu\text{g/L}$), 하계 15.8~151.8 $\mu\text{g/L}$ (평균 45.7 $\mu\text{g/L}$), 추계에는 12.7~71.0 $\mu\text{g/L}$ (평균 27.9 $\mu\text{g/L}$)의 범위로, 하계에 상대적으로 높은 경향을 보였다.
- 총인(TP)은 하계에 높은 경향을 보이며, 춘계에 상대적으로 낮은 농도 분포를 보였다.

자. 영양염류**1) 용존무기질소(DIN)**

- 용존무기질소는 암모니아 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 합으로 구성되며, 춘계에 2.0~465.7 $\mu\text{g/L}$ (평균 84.6 $\mu\text{g/L}$), 하계 8.2~925.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 189.0 $\mu\text{g/L}$), 추계 6.2~838.9 $\mu\text{g/L}$ (평균 121.3 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 용존무기질소 중 질산 질소의 비율은 춘계 15~97%(평균 68%), 하계 4~94%(평균 63%), 추계에는 8~95%(평균 63%)의 범위를 보였다.
- 대부분 질산 질소의 형태로 해수에 포함되어 양호한 산화 환경을 나타냈으나, 아산만, 천수만 내측은 하계에 암모니아 질소의 농도가 높게 나타났으며, 상대적으로 낮은 비율을 보였다.

가) 암모니아 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)

- 춘계에 $0.2\sim152.0\mu\text{g/L}$ (평균 $15.0\mu\text{g/L}$), 하계 $4.4\sim237.3\mu\text{g/L}$ (평균 $31.5\mu\text{g/L}$), 추계 $1.0\sim125.0\mu\text{g/L}$ (평균 $21.9\mu\text{g/L}$) 범위를 보였다.

나) 아질산 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)

- 춘계에 $0.3\sim18.2\mu\text{g/L}$ (평균 $3.1\mu\text{g/L}$), 하계 $0.7\sim154.2\mu\text{g/L}$ (평균 $22.8\mu\text{g/L}$), 추계 $0.5\sim27.6\mu\text{g/L}$ (평균 $8.4\mu\text{g/L}$) 범위를 보였다.

다) 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

- 춘계에 $0.8\sim328.8\mu\text{g/L}$ (평균 $66.5\mu\text{g/L}$), 하계 $0.3\sim790.0\mu\text{g/L}$ (평균 $134.8\mu\text{g/L}$), 추계 $1.1\sim753.3\mu\text{g/L}$ (평균 $91.0\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

2) 인산 인($\text{PO}_4\text{-P}$)

- 춘계에 $1.1\sim13.4\mu\text{g/L}$ (평균 $5.3\mu\text{g/L}$), 하계 $3.6\sim132.0\mu\text{g/L}$ (평균 $29.2\mu\text{g/L}$), 추계 $8.7\sim62.6\mu\text{g/L}$ (평균 $20.8\mu\text{g/L}$)의 범위로, 춘계에 낮고, 하계에 상대적으로 높은 농도를 보였다.
- 특히 하계 천수만 내측 N18 정점의 저층 농도가 크게 증가하는 현상이 2016년부터 지속적으로 나타나고 있어, 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

3) 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 춘계에 $16.5\sim400.8\mu\text{g/L}$ (평균 $79.2\mu\text{g/L}$), 하계 $17.3\sim1,984.8\mu\text{g/L}$ (평균 $387.4\mu\text{g/L}$), 추계 $42.5\sim694.9\mu\text{g/L}$ (평균 $267.6\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 아산 연안(N1)과 서천 연안에서 상대적으로 높은 경향을 보였고, 특히, 하계에는 가장 높은 농도를 나타냈다.
- 천수만 내측 N18 정점은 하계 저층 농도가 크게 증가하여 표·저층간의 큰 차이를 보였다.

차. 미량금속류 및 시안(CN)

■ 항목별 결과

1) 카드뮴(Cd)

- 춘계에 $0.04\sim0.06\mu\text{g/L}$ (평균 $0.05\mu\text{g/L}$), 하계 $0.01\sim0.04\mu\text{g/L}$ (평균 $0.02\mu\text{g/L}$), 추계 $0.03\sim0.04\mu\text{g/L}$ (평균 $0.03\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였으며, 연도별 변화도 적은 것으로 분석되었다.

2) 크롬(Cr^{6+})

- 춘계 $0.03\sim0.14\mu\text{g/L}$ (평균 $0.09\mu\text{g/L}$), 하계 $0.04\sim0.15\mu\text{g/L}$ (평균 $0.09\mu\text{g/L}$), 추계 $0.06\sim0.18\mu\text{g/L}$ (평균 $0.14\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

3) 구리(Cu)

- 춘계 0.31~0.72 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.49 $\mu\text{g/L}$), 하계 0.20~0.74 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.39 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.18~0.76 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.38 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

4) 납(Pb)

- 춘계 0.03~0.12 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.05 $\mu\text{g/L}$), 하계 0.01~0.11 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.04 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.06~0.19 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.10 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

5) 아연(Zn)

- 춘계 0.51~1.61 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.95 $\mu\text{g/L}$), 하계 0.09~1.35 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.54 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.42~1.52 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.93 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

6) 비소(As)

- 춘계 0.46~0.99 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.75 $\mu\text{g/L}$), 하계 0.63~1.56 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.89 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.48~1.14 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.82 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

7) 수은(Hg)

- 춘계 불검출~0.0010 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.0004 $\mu\text{g/L}$), 하계 0.0001~0.0008 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.0002 $\mu\text{g/L}$), 추계 0.0001~0.0009 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.0002 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.

8) 시안(CN)

- 모든 정점에서 검출한계(0.01mg/L) 미만으로 검출되지 않았다.

■ 미량금속의 특성

- 크롬(Cr), 구리(Cu), 카드뮴(Cd), 아연(Zn) 등은 산업폐수에 많이 포함되어 있고 주로 하천이나 강우를 통해 해양으로 유입되고, 대기를 통해서 유입되기도 하며, 납(Pb)은 주로 대기를 통해 유입되는 것으로 알려져 있다(Bruland, 1983; Millero and Sohn, 1992).
- 전 세계 여러 대륙붕 해역에서 영양염 형태의 금속들(Cu, Zn, Cd 등)은 대체로 평균값에서 표준편차가 50% 이내를 유지하며, 농도의 변동 범위가 작은 것으로 알려져 있으나, 지화학적으로 조절되는 금속들(Co, Pb 등)은 여러 지화학적 반응에 참여하므로 해역에 따라 농도 변화가 심한 것으로 보고되고 있다(Martin and Windom, 1991).
- 그러나 연안역의 경우 하천으로부터 유입되는 담수의 영향이 크고 강한 조류의 영향으로 재부유 현상이 강하게 발생함으로써 육상에서의 직접적인 유입원 존재 여부와 함께 많은 변화 요인을 갖고 있다(국토해양부, 2007).

■ '20년 분석 결과

- 2020년 조사(3회)에서 해수 내 미량금속은 조사시기에 따른 농도 차이는 크지 않은 것으로 조사되었다.
- 구리(Cu)의 경우 아산 및 태안 연안에서 상대적으로 높은 농도를 보였고, 아연(Zn)은 아산 및 서천 연안의 일부 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.
- 납(Pb)은 주로 대기를 통해 해양으로 유입되는 특성이 있으며, 정점 간 뚜렷한 분포 특성을 보이지 않았다.
- 해수 내 미량금속은 모든 정점에서 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10호)의 해양생태계 보호기준(장기기준), 사람의 건강보호 기준보다 낮은 수준인 것으로 분석되었다..

카. 용매추출유분

- 해수 내 용매추출유분 조사는 5개 정점(N8, N21, H1, H2, H3)의 표층에서 수행되었다.
- 춘계에 $0.01 \sim 0.07 \mu\text{g/L}$ (평균 $0.04 \mu\text{g/L}$), 하계 $0.03 \sim 0.08 \mu\text{g/L}$ (평균 $0.06 \mu\text{g/L}$), 추계 $0.03 \sim 0.12 \mu\text{g/L}$ (평균 $0.07 \mu\text{g/L}$)의 범위를 보였고, 춘계와 하계에는 금강하구(H3), 추계에는 태안화력발전소(H2)에서 상대적으로 높은 농도로 나타났다.
- 용매추출유분은 모든 정점에서 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10호)의 생활기준($10 \mu\text{g/L}$ 미만)보다 낮은 수준인 것으로 분석되었다.

〈표 3.3-1〉 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 춘계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N1	표층	4.0	0.4	18.0	26.0	7.8	6.0	75	33.2	4.7	7.4
	저층			18.0	26.0	7.8	5.7	71	34.3	4.3	8.4
N2	표층	7.0	1.3	17.7	28.7	8.0	7.0	88	20.5	3.2	5.0
	저층			17.3	28.9	8.0	6.7	84	30.9	3.9	6.9
N3	표층	40.0	2.2	13.1	30.9	8.0	10.2	117	17.4	2.5	1.1
	저층			12.0	31.0	8.0	10.1	114	27.8	2.7	3.1
N4	표층	17.0	2.2	15.9	30.4	7.9	9.5	115	13.4	2.4	1.8
	저층			15.2	30.5	8.0	9.2	111	15.3	2.7	1.8
N5	표층	10.0	1.2	15.8	30.6	8.0	10.4	126	18.9	2.5	1.4
	저층			15.5	30.6	8.0	9.9	120	13.4	2.9	1.5
N6	표층	10.0	1.0	16.3	30.5	8.0	9.4	116	23.1	3.1	1.3
	저층			16.1	30.5	8.0	9.0	110	17.6	3.0	1.8
N7	표층	31.0	1.7	12.9	30.7	8.0	10.7	123	9.3	2.8	0.7
	저층			11.8	31.0	8.0	10.0	112	23.6	3.4	2.4
N8	표층	18.0	1.3	12.0	31.0	8.0	11.8	134	15.0	2.8	1.4
	저층			11.1	31.2	8.0	11.8	131	44.0	3.4	3.2
N9	표층	12.0	1.2	11.8	31.1	8.0	11.9	133	16.7	3.3	3.0
	저층			11.7	31.1	8.0	11.7	131	57.7	3.5	4.1
N10	표층	8.0	2.0	13.1	30.4	8.1	11.9	137	7.7	1.5	0.8
	저층			12.2	30.5	7.9	11.5	130	25.0	2.1	3.8
N11	표층	12.0	5.0	14.0	30.9	8.1	11.2	131	11.6	1.8	1.1
	저층			13.7	31.0	8.1	10.9	127	9.0	1.9	1.4
N12	표층	13.0	1.6	15.4	30.5	8.0	8.4	101	11.0	1.8	1.1
	저층			14.4	30.6	8.0	8.0	95	17.5	1.9	4.3
N13	표층	11.5	1.5	15.9	30.4	8.0	7.9	96	11.1	1.3	2.2
	저층			14.5	30.5	8.0	7.6	90	18.6	2.0	6.5
N14	표층	12.0	1.4	16.0	30.5	8.0	7.7	94	10.4	2.2	3.9
	저층			15.0	30.7	8.1	7.6	91	18.9	2.3	5.7
N15	표층	15.0	1.4	13.5	30.5	8.1	16.5	192	13.3	2.2	4.5
	저층			13.1	30.6	8.1	15.9	183	25.1	2.5	5.6
N16	표층	13.0	1.7	17.9	30.1	8.1	7.3	92	13.5	2.3	2.2
	저층			17.2	30.2	8.1	7.0	87	10.5	2.2	4.1
N17	표층	18.8	2.1	17.8	30.3	8.1	8.1	102	9.8	1.9	2.1
	저층			16.9	30.4	8.0	6.7	83	12.1	2.1	3.2

〈표 3.3-1〉 계속(2020년 준계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N18	표층	19.0	2.1	18.0	30.3	8.2	7.6	97	3.8	1.9	1.6
	저층			17.2	30.4	8.1	7.2	90	5.9	1.9	5.2
N19	표층	15.0	1.2	15.2	30.4	8.1	16.2	194	13.3	2.4	2.7
	저층			13.8	30.7	8.1	15.2	178	18.0	2.4	5.2
N20	표층	18.0	0.9	14.2	30.3	8.1	14.5	171	25.7	2.9	5.2
	저층			14.0	30.5	8.1	14.1	165	27.4	2.3	5.8
N21	표층	7.0	1.1	14.1	29.1	8.1	13.1	153	24.0	2.3	4.0
	저층			13.9	30.5	8.1	12.9	151	30.5	2.8	5.6
N22	표층	15.0	0.7	17.4	29.6	8.0	7.3	91	14.7	2.8	6.9
	저층			16.6	29.7	8.0	6.5	80	32.1	2.5	9.5
N23	표층	6.5	0.4	17.4	28.2	8.0	6.8	85	37.6	3.9	15.3
	저층			16.9	28.7	8.0	6.2	76	93.2	5.3	14.7
N24	표층	13.0	0.5	16.0	30.3	8.1	7.5	92	34.4	2.7	4.9
	저층			15.9	30.3	8.0	7.3	88	46.6	3.0	3.3
N25	표층	15.0	0.6	17.9	20.8	7.9	6.9	82	16.5	3.7	5.7
	저층			15.9	29.1	8.0	5.6	67	31.0	3.3	7.3
N26	표층	14.0	2.0	15.5	30.2	8.0	8.5	103	7.4	2.1	2.5
	저층			15.1	30.3	7.9	7.5	90	15.7	2.4	5.5
N27	표층	15.0	1.4	18.0	29.4	8.0	7.4	94	9.9	2.0	1.6
	저층			16.4	29.6	8.0	7.1	87	23.2	2.4	4.8
H1	표층	20.0	2.0	14.6	30.4	8.1	7.7	91	11.7	2.3	3.2
	저층			14.1	30.5	8.0	7.6	90	54.5	1.5	4.9
H2	표층	24.0	0.9	13.3	31.0	8.0	11.1	129	24.8	2.0	2.8
	저층			12.6	31.0	8.0	11.0	126	25.0	2.0	2.8
H3	표층	8.0	0.5	17.6	22.3	7.8	7.0	84	21.4	3.7	6.0
	저층			16.3	22.6	7.9	5.9	69	35.0	2.7	8.1
표층	최소	0.4		11.8	20.8	7.8	6.0	75	3.8	1.3	0.7
	최대	5.0		18.0	31.1	8.2	16.5	194	37.6	4.7	15.3
	평균	1.5		15.5	29.5	8.0	9.6	114	16.7	2.6	3.5
저층	최소	—		11.1	22.6	7.8	5.6	67	5.9	1.5	1.4
	최대	—		18.0	31.2	8.1	15.9	183	93.2	5.3	14.7
	평균	—		14.8	30.0	8.0	9.1	108	28.0	2.7	5.0
전체	최소	0.4		11.1	20.8	7.8	5.6	67	3.8	1.3	0.7
	최대	5.0		18.0	31.2	8.2	16.5	194	93.2	5.3	15.3
	평균	1.5		15.2	29.8	8.0	9.3	111	22.3	2.6	4.2

〈표 3.3-2〉 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 춘계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N1	표층	555.3	92.3	18.2	311.7	422.2	10.2	7.5	168.5
	저층	394.5	86.5	13.2	245.8	345.5	11.1	7.4	123.1
N2	표층	261.9	8.1	5.7	136.3	150.1	9.7	2.7	58.3
	저층	281.5	15.8	5.1	129.4	150.4	9.8	1.5	56.7
N3	표층	156.6	1.6	2.1	83.6	87.4	9.0	7.2	53.0
	저층	177.1	1.1	2.4	84.8	88.2	9.8	8.2	57.0
N4	표층	199.9	9.5	3.7	84.0	97.2	13.6	11.4	203.6
	저층	125.4	5.8	2.7	69.8	78.3	12.7	10.1	141.4
N5	표층	88.1	4.1	1.9	55.5	61.4	9.0	6.7	97.7
	저층	149.1	4.2	3.1	84.9	92.2	12.8	10.2	147.5
N6	표층	140.0	4.7	2.5	59.3	66.5	11.0	9.0	184.5
	저층	85.8	5.7	1.9	48.9	56.4	10.0	7.2	131.6
N7	표층	92.6	0.5	1.6	67.9	70.0	9.2	6.9	41.4
	저층	163.4	3.4	2.9	105.8	112.1	11.4	10.3	72.4
N8	표층	113.1	3.7	1.9	79.4	85.0	9.2	8.5	59.4
	저층	162.3	1.9	2.1	96.7	100.8	12.8	10.2	76.1
N9	표층	77.6	1.7	1.6	54.8	58.1	9.5	6.4	40.3
	저층	133.5	3.2	3.1	95.0	101.2	11.9	9.8	84.1
N10	표층	123.9	0.9	2.2	63.4	66.5	9.9	7.2	49.5
	저층	184.0	2.3	4.2	94.0	100.5	13.8	10.6	91.3
N11	표층	96.3	1.4	0.9	16.5	18.7	9.0	3.6	28.6
	저층	42.0	4.5	0.8	13.3	18.6	9.4	3.2	24.6
N12	표층	37.3	3.0	0.6	4.5	8.1	9.3	1.7	20.1
	저층	32.8	1.3	0.7	4.6	6.6	9.5	1.5	22.2
N13	표층	23.6	0.5	0.4	2.4	3.3	8.4	1.4	22.2
	저층	42.0	4.3	0.6	4.8	9.7	8.8	1.8	24.0
N14	표층	28.5	0.2	0.5	1.4	2.0	9.2	1.7	23.8
	저층	40.4	0.8	0.5	1.3	2.6	9.8	1.2	27.9
N15	표층	46.0	4.5	0.6	0.9	6.0	9.3	1.4	20.5
	저층	95.2	1.5	0.6	1.4	3.6	9.4	2.0	22.6
N16	표층	112.9	2.9	0.7	1.5	5.1	9.8	2.0	68.0
	저층	43.1	1.3	0.3	0.8	2.4	9.8	2.0	21.0
N17	표층	40.8	5.4	0.7	3.2	9.2	9.4	2.3	53.8
	저층	28.3	4.2	0.5	3.9	8.6	9.4	2.1	49.5

* N,D : not determined

〈표 3.3-2〉 계 속(2020년 준계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N18	표층	29.0	2.3	0.4	1.4	4.1	9.4	2.4	16.5
	저층	38.1	5.6	0.3	1.7	7.6	10.0	2.7	59.0
N19	표층	47.0	1.5	0.6	2.5	4.6	9.8	1.9	20.2
	저층	52.5	2.0	0.6	2.8	5.4	10.0	1.8	20.5
N20	표층	76.2	1.2	0.8	3.1	5.2	10.6	2.8	26.2
	저층	92.8	1.6	1.0	1.5	4.1	10.4	2.4	26.8
N21	표층	92.4	2.7	0.6	2.2	5.5	10.2	1.4	17.5
	저층	67.5	2.2	0.9	0.8	3.9	10.4	2.0	25.6
N22	표층	115.5	1.8	1.6	11.6	15.0	10.2	1.3	59.6
	저층	59.8	2.5	1.0	0.9	4.4	9.9	1.1	52.3
N23	표층	166.6	16.5	4.3	55.3	76.1	12.0	4.1	190.5
	저층	241.6	29.8	4.2	51.2	85.2	12.0	6.1	217.3
N24	표층	66.5	2.8	1.0	0.9	4.7	9.6	1.7	48.1
	저층	105.5	2.0	0.9	1.1	4.0	10.9	1.5	47.4
N25	표층	598.4	112.1	14.5	288.2	414.8	12.6	12.0	311.1
	저층	227.6	41.8	3.0	46.2	91.0	10.9	8.0	99.2
N26	표층	160.8	2.1	3.5	85.8	91.4	9.4	6.1	40.0
	저층	155.2	1.2	3.6	79.4	84.1	9.0	6.9	41.7
N27	표층	214.6	6.0	5.8	128.7	140.5	9.4	5.0	65.4
	저층	144.5	1.2	3.4	78.4	83.0	9.3	5.5	49.6
H1	표층	168.2	1.2	3.7	78.0	82.9	9.3	5.6	42.5
	저층	792.7	152.0	7.5	259.0	418.5	16.0	2.5	95.7
H2	표층	179.0	2.2	3.8	116.8	122.7	14.9	11.6	99.1
	저층	148.3	1.6	3.1	100.7	105.3	13.8	11.8	81.7
H3	표층	640.3	120.1	16.7	328.8	465.7	12.9	12.0	400.8
	저층	381.0	91.3	8.4	153.4	253.2	14.6	13.4	231.5
표층	최소	23.6	0.2	0.4	0.9	2.0	8.4	1.3	16.5
	최대	640.3	120.1	18.2	328.8	465.7	14.9	12.0	400.8
	평균	158.3	13.9	3.4	71.0	88.3	10.2	5.2	84.4
저층	최소	28.3	0.8	0.3	0.8	2.4	8.8	1.1	20.5
	최대	792.7	152.0	13.2	259.0	418.5	16.0	13.4	231.5
	평균	156.2	16.1	2.8	62.1	80.9	11.0	5.5	74.0
전체	최소	23.6	0.2	0.3	0.8	2.0	8.4	1.1	16.5
	최대	792.7	152.0	18.2	328.8	465.7	16.0	13.4	400.8
	평균	157.3	15.0	3.1	66.5	84.6	10.6	5.3	79.2

* N,D : not determined

〈표 3.3-3〉 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 춘계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N1	표층	0.04	0.07	0.54	0.04	1.03	0.55	0.75	0.0005	ND	—
N2		0.05	0.04	0.64	0.08	1.06	0.57	0.98	0.0004	ND	—
N3		0.05	0.07	0.47	0.04	0.73	0.29	0.76	0.0006	ND	—
N4		0.05	0.09	0.57	0.05	0.84	0.33	0.80	0.0004	ND	—
N5		0.05	0.05	0.42	0.05	0.77	0.28	0.73	0.0010	ND	—
N6		0.05	0.07	0.47	0.05	0.69	0.35	0.80	0.0010	ND	—
N7		0.06	0.10	0.59	0.08	1.39	0.37	0.96	0.0010	ND	—
N8		0.04	0.07	0.42	0.05	0.60	0.21	0.65	0.0007	ND	0.03
N9		0.05	0.09	0.61	0.06	1.02	0.30	0.82	0.0008	ND	—
N10		0.05	0.09	0.48	0.10	1.15	0.25	0.74	0.0007	ND	—
N11		0.05	0.07	0.39	0.12	1.30	0.24	0.59	0.0005	ND	—
N12		0.04	0.08	0.31	0.03	0.67	0.20	0.56	0.0003	ND	—
N13		0.04	0.10	0.39	0.03	0.71	0.22	0.63	0.0003	ND	—
N14		0.05	0.09	0.38	0.04	1.30	0.24	0.56	0.0003	ND	—
N15		0.05	0.10	0.39	0.04	0.51	0.25	0.77	0.0003	ND	—
N16		0.05	0.03	0.44	0.03	0.67	0.29	0.78	0.0002	ND	—
N17		0.05	0.06	0.44	0.03	0.55	0.31	0.83	0.0002	ND	—

<표 3.3-3> 계 속(2020년 춘계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N18	표층	0.05	0.07	0.44	0.03	0.68	0.25	0.65	0.0001	ND	—
N19		0.06	0.12	0.59	0.07	1.21	0.36	0.99	0.0002	ND	—
N20		0.06	0.09	0.68	0.10	0.93	0.35	0.95	0.0001	ND	—
N21		0.04	0.13	0.72	0.07	1.61	0.24	0.65	0.0001	ND	0.01
N22		0.04	0.07	0.33	0.04	0.80	0.19	0.46	0.0001	ND	—
N23		0.04	0.10	0.38	0.04	0.71	0.25	0.55	0.0002	ND	—
N24		0.05	0.13	0.51	0.06	1.37	0.32	0.77	0.0002	ND	—
N25		0.04	0.06	0.44	0.03	1.23	0.35	0.59	0.0004	ND	—
N26		0.05	0.11	0.49	0.04	0.95	0.40	0.89	0.0001	ND	—
N27		0.05	0.11	0.47	0.04	0.90	0.38	0.72	0.0002	ND	—
H1		0.05	0.14	0.54	0.04	1.06	0.42	0.88	0.0002	ND	0.04
H2		0.05	0.13	0.53	0.05	1.41	0.33	0.86	ND	ND	0.05
H3		0.04	0.10	0.54	0.04	0.79	0.47	0.83	0.0004	ND	0.07
최소		0.04	0.03	0.31	0.03	0.51	0.19	0.46	0.0000	ND	0.01
최대		0.06	0.14	0.72	0.12	1.61	0.57	0.99	0.0010	ND	0.07
평균		0.05	0.09	0.49	0.05	0.95	0.32	0.75	0.0004	ND	0.04

〈표 3.3-4〉 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 하계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N1	표층	7.0	0.3	25.8	22.7	7.6	4.3	60	50.6	3.1	2.6
	저층			25.8	23.0	7.6	4.2	58	60.9	3.2	10.4
N2	표층	13.0	0.7	24.6	26.2	7.8	5.2	73	5.8	2.3	2.5
	저층			24.2	26.5	7.8	5.0	69	127.0	6.2	2.2
N3	표층	38.0	4.6	24.8	28.4	8.2	5.9	84	7.1	2.1	4.3
	저층			24.2	28.6	8.2	5.8	82	26.9	2.2	5.3
N4	표층	17.0	1.3	26.4	28.3	8.2	4.7	69	10.8	1.8	3.5
	저층			26.2	28.3	8.2	4.6	67	35.8	2.0	2.9
N5	표층	9.5	1.3	26.0	28.4	8.2	5.2	75	6.6	2.0	2.3
	저층			26.0	28.5	8.2	4.8	69	17.1	2.0	2.7
N6	표층	8.0	1.4	27.1	28.3	8.2	5.3	78	10.6	2.1	3.3
	저층			26.4	28.4	8.2	5.1	74	64.1	2.4	3.7
N7	표층	24.0	4.7	25.6	28.7	8.2	6.1	87	7.0	1.5	1.9
	저층			24.1	28.9	8.2	5.6	78	24.3	1.9	7.0
N8	표층	21.0	3.6	21.2	29.5	8.2	5.6	75	7.6	1.2	3.4
	저층			20.7	29.6	8.2	5.6	74	13.2	1.0	4.2
N9	표층	8.0	1.9	21.1	29.5	8.2	5.4	73	13.3	1.6	3.7
	저층			20.4	29.7	8.2	5.6	74	8.2	1.8	3.2
N10	표층	7.0	3.8	21.4	29.3	8.3	6.8	91	6.8	3.3	15.1
	저층			20.8	29.6	8.2	5.8	77	6.7	1.8	5.6
N11	표층	12.0	4.8	22.7	28.5	8.3	7.0	95	8.6	4.0	14.5
	저층			22.5	28.5	8.3	6.1	84	4.1	2.4	6.9
N12	표층	9.7	2.6	27.2	23.9	8.4	7.7	111	14.3	4.3	3.3
	저층			25.3	25.6	8.2	6.1	87	9.1	4.1	4.4
N13	표층	11.2	2.5	26.6	24.3	8.3	7.0	100	6.0	5.1	3.5
	저층			24.2	26.4	8.0	5.5	77	13.1	3.6	4.5
N14	표층	11.5	2.2	27.2	23.4	8.4	8.2	118	7.5	5.5	5.0
	저층			25.3	25.6	8.0	5.5	78	46.1	4.1	5.5
N15	표층	15.0	2.1	25.6	25.4	8.2	7.0	98	9.2	4.5	5.2
	저층			25.1	26.0	8.1	5.6	78	19.6	4.4	6.1
N16	표층	9.2	1.4	29.7	21.6	8.5	9.5	142	4.9	5.8	6.4
	저층			27.1	22.7	8.0	5.0	71	7.8	4.5	5.4
N17	표층	13.7	1.0	29.0	22.1	8.3	7.0	104	7.1	3.8	4.1
	저층			27.0	22.7	8.0	4.6	66	12.3	3.7	4.9

〈표 3.3-4〉 계속(2020년 하계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N18	표층	13.8	1.3	28.1	21.5	8.5	9.4	136	6.2	5.8	8.6
	저층			26.1	23.1	7.8	4.0	57	148.5	7.1	15.2
N19	표층	18.0	2.2	25.9	23.9	8.2	6.7	95	10.0	4.1	5.8
	저층			24.9	24.5	8.2	5.8	80	15.8	3.9	6.2
N20	표층	23.0	2.2	26.0	24.3	8.2	6.6	94	9.8	4.0	4.7
	저층			25.7	25.2	8.1	5.7	80	28.0	4.0	6.7
N21	표층	8.5	2.0	27.4	23.4	8.4	8.8	126	7.1	5.6	5.1
	저층			25.7	24.8	8.2	6.4	91	15.5	3.7	6.7
N22	표층	14.0	1.5	28.1	18.9	8.5	9.9	141	16.7	7.0	16.8
	저층			24.6	27.0	8.0	5.7	79	12.5	2.8	4.6
N23	표층	8.0	1.5	28.8	17.9	8.4	7.8	112	10.2	6.2	19.5
	저층			25.9	22.8	8.1	6.4	90	13.0	4.2	7.2
N24	표층	10.0	1.7	29.6	13.1	8.5	8.0	114	7.7	4.6	2.5
	저층			25.0	26.9	8.0	5.5	78	9.8	2.3	2.2
N25	표층	12.0	1.2	26.6	15.4	8.0	5.2	70	10.5	3.9	6.7
	저층			24.8	25.0	8.0	5.1	70	17.9	2.9	5.0
N26	표층	22.0	3.2	24.3	27.5	8.0	5.9	83	7.9	2.1	2.7
	저층			24.2	27.8	8.0	5.5	77	11.1	3.7	3.7
N27	표층	15.0	2.2	24.7	27.1	8.1	6.5	91	8.2	2.1	1.6
	저층			24.5	27.3	8.0	5.8	82	13.1	2.7	4.2
H1	표층	35.0	2.4	25.0	28.2	8.1	9.6	137	13.5	2.5	3.8
	저층			24.7	29.0	8.0	5.5	78	15.5	2.8	5.1
H2	표층	20.0	3.7	23.7	28.7	8.2	5.9	82	9.7	1.9	2.9
	저층			23.7	28.8	8.2	5.4	76	12.2	2.2	3.4
H3	표층	7.0	0.8	27.3	13.9	7.9	5.0	69	13.6	4.3	7.7
	저층			25.7	19.2	7.9	4.9	67	33.0	4.5	8.4
표층		최소	0.3	21.1	13.1	7.6	4.3	60	4.9	1.2	1.6
		최대	4.8	29.7	29.5	8.5	9.9	142	50.6	7.0	19.5
		평균	2.2	25.9	24.4	8.2	6.8	96	10.5	3.6	5.8
저층		최소	—	20.4	19.2	7.6	4.0	57	4.1	1.0	2.2
		최대	—	27.1	29.7	8.3	6.4	91	148.5	7.1	15.2
		평균	—	24.7	26.3	8.1	5.4	76	28.1	3.3	5.5
전체		최소	0.3	20.4	13.1	7.6	4.0	57	4.1	1.0	1.6
		최대	4.8	29.7	29.7	8.5	9.9	142	148.5	7.1	19.5
		평균	2.2	25.3	25.4	8.1	6.1	86	19.3	3.4	5.6

〈표 3.3-5〉 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 하계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N1	표층	1,008.4	65.6	154.2	467.3	687.0	88.6	69.3	1,305.1
	저층	1,008.5	65.3	152.2	435.4	652.9	100.2	68.3	1,259.4
N2	표층	600.3	21.0	127.9	289.9	438.8	50.9	46.3	830.4
	저층	707.4	22.5	122.3	273.1	417.8	96.3	59.2	751.2
N3	표층	232.1	12.2	19.0	43.6	74.8	23.0	11.4	113.1
	저층	189.8	10.8	14.1	20.3	45.2	18.3	8.3	67.6
N4	표층	277.8	33.4	12.4	54.5	100.3	32.1	18.6	325.1
	저층	259.8	35.6	13.4	54.3	103.3	32.3	20.1	331.2
N5	표층	293.5	31.7	11.6	41.9	85.2	30.9	19.0	264.1
	저층	264.5	33.2	12.8	44.7	90.7	30.7	19.0	289.8
N6	표층	257.0	31.5	12.0	46.8	90.3	28.8	17.8	372.8
	저층	268.8	29.1	11.7	33.7	74.5	31.2	15.6	304.1
N7	표층	175.3	5.3	7.3	5.8	18.4	16.7	3.6	38.9
	저층	201.0	11.2	10.4	15.2	36.8	21.2	8.4	85.7
N8	표층	176.1	4.6	16.4	32.4	53.4	20.6	11.7	155.6
	저층	171.9	4.4	12.2	27.0	43.6	19.1	8.9	137.0
N9	표층	191.6	14.8	10.0	27.0	51.8	23.7	13.7	273.9
	저층	180.3	7.5	7.8	20.6	35.9	19.4	8.4	153.2
N10	표층	364.6	8.1	2.2	1.3	11.6	58.1	20.4	146.3
	저층	160.5	6.0	3.7	24.9	34.6	17.8	6.6	130.7
N11	표층	351.5	14.0	0.7	1.4	16.1	38.9	13.2	82.6
	저층	179.6	6.8	1.0	0.3	8.2	17.1	4.6	113.3
N12	표층	361.8	7.5	9.3	61.5	78.3	24.1	8.3	214.8
	저층	347.6	12.1	11.2	62.6	86.0	26.5	7.4	83.4
N13	표층	397.5	13.9	11.2	82.0	107.0	25.7	7.7	46.9
	저층	372.4	29.3	11.2	62.0	102.6	27.3	7.8	152.8
N14	표층	455.3	13.4	13.6	111.6	138.6	30.3	10.8	52.3
	저층	398.8	29.6	10.3	69.5	109.4	28.8	7.9	174.6
N15	표층	334.5	10.3	9.2	81.8	101.3	21.8	7.5	96.4
	저층	343.3	16.6	9.8	78.2	104.7	27.2	10.7	145.6
N16	표층	454.0	8.7	18.4	141.5	168.7	24.8	8.1	17.3
	저층	733.4	144.8	21.3	210.5	376.5	56.0	37.3	780.8
N17	표층	493.0	19.1	19.0	193.0	231.1	32.8	11.8	295.1
	저층	653.6	136.1	16.0	156.7	308.8	57.7	38.0	657.1

〈표 3.3-5〉 계 속(2020년 하계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N18	표층	538.7	8.8	22.3	153.0	184.1	32.6	13.4	24.9
	저층	845.0	237.3	19.6	203.0	459.9	122.8	81.6	1,030.2
N19	표층	406.2	14.5	10.1	121.4	146.0	31.4	14.7	132.5
	저층	406.7	12.5	7.4	70.8	90.7	31.0	9.3	92.9
N20	표층	404.0	14.6	10.0	118.3	142.9	26.9	12.0	132.2
	저층	373.9	22.3	8.7	94.1	125.0	32.4	14.1	172.4
N21	표층	417.0	8.7	9.0	111.9	129.6	25.0	15.0	44.6
	저층	368.4	18.1	9.5	107.2	134.8	128.3	114.0	178.7
N22	표층	732.6	10.9	19.4	240.7	271.0	142.0	122.5	783.8
	저층	280.0	38.1	4.0	38.0	80.2	123.6	118.4	176.4
N23	표층	772.1	8.3	23.3	308.3	339.9	151.8	130.0	1,117.0
	저층	554.2	58.3	14.0	171.5	243.8	144.3	132.0	553.9
N24	표층	896.4	5.1	28.9	548.4	582.4	129.9	125.1	1,373.3
	저층	268.0	44.0	3.6	75.3	122.9	19.6	7.9	214.5
N25	표층	1,041.5	71.4	29.1	642.8	743.3	55.9	30.8	1,984.8
	저층	464.5	64.0	9.0	103.5	176.6	39.3	17.2	389.6
N26	표층	316.5	13.0	36.9	87.9	137.9	20.8	9.3	209.4
	저층	387.6	23.3	25.2	55.2	103.7	27.1	8.4	129.1
N27	표층	324.9	10.6	35.1	75.5	121.1	21.0	8.5	197.8
	저층	340.7	18.3	40.7	85.3	144.3	25.9	12.0	223.2
H1	표층	251.0	10.3	11.5	34.2	56.0	21.9	5.5	88.8
	저층	291.7	18.9	17.9	55.0	91.7	25.5	10.8	128.1
H2	표층	170.4	12.5	10.2	42.1	64.8	15.8	7.4	122.3
	저층	171.4	12.4	10.1	15.5	37.9	18.1	7.5	85.3
H3	표층	1,188.1	104.5	30.9	790.0	925.5	61.7	40.8	1,961.4
	저층	908.9	110.7	22.8	467.0	600.5	67.1	46.7	1,449.3
표층	최소	170.4	4.6	0.7	1.3	11.6	15.8	3.6	17.3
	최대	1,188.1	104.5	154.2	790.0	925.5	151.8	130.0	1,984.8
	평균	462.8	20.3	24.4	165.3	209.9	43.6	27.8	426.8
저층	최소	160.5	4.4	1.0	0.3	8.2	17.1	4.6	67.6
	최대	1,008.5	237.3	152.2	467.0	652.9	144.3	132.0	1,449.3
	평균	403.4	42.6	21.1	104.3	168.1	47.7	30.5	348.0
전체	최소	160.5	4.4	0.7	0.3	8.2	15.8	3.6	17.3
	최대	1,188.1	237.3	154.2	790.0	925.5	151.8	132.0	1,984.8
	평균	433.1	31.5	22.8	134.8	189.0	45.7	29.2	387.4

〈표 3.3-6〉 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 하계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N1	표층	0.02	0.13	0.59	0.05	1.23	0.43	1.04	0.0002	ND	—
N2		0.02	0.07	0.40	0.05	0.77	0.27	0.81	0.0002	ND	—
N3		0.04	0.11	0.74	0.06	0.72	0.43	1.56	0.0002	ND	—
N4		0.03	0.07	0.45	0.05	0.38	0.28	1.15	0.0002	ND	—
N5		0.02	0.07	0.41	0.05	0.30	0.20	0.84	0.0002	ND	—
N6		0.02	0.05	0.27	0.06	0.34	0.16	0.75	0.0001	ND	—
N7		0.03	0.11	0.45	0.11	0.87	0.29	1.21	0.0008	ND	—
N8		0.02	0.08	0.38	0.07	0.39	0.17	0.75	0.0002	ND	0.08
N9		0.01	0.05	0.20	0.06	0.45	0.12	0.63	0.0001	ND	—
N10		0.02	0.08	0.41	0.07	0.70	0.48	0.73	0.0001	ND	—
N11		0.03	0.13	0.39	0.08	1.35	0.24	1.03	0.0001	ND	—
N12		0.01	0.08	0.29	0.06	0.43	0.16	0.76	0.0002	ND	—
N13		0.03	0.07	0.58	0.06	0.60	0.34	1.53	0.0003	ND	—
N14		0.01	0.06	0.40	0.06	0.37	0.18	0.82	0.0001	ND	—
N15		0.01	0.04	0.33	0.06	0.56	0.17	0.75	0.0003	ND	—
N16		0.01	0.07	0.40	0.02	0.38	0.22	0.87	0.0004	ND	—
N17		0.01	0.15	0.30	0.02	0.18	0.18	0.88	0.0003	ND	—

〈표 3.3-6〉 계 속(2020년 하계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N18	표층	0.01	0.12	0.38	0.02	0.33	0.20	0.94	0.0003	ND	—
N19		0.01	0.08	0.31	0.02	0.39	0.17	0.71	0.0001	ND	—
N20		0.01	0.08	0.36	0.02	0.40	0.16	0.70	0.0002	ND	—
N21		0.01	0.06	0.32	0.03	0.86	0.15	0.64	0.0001	ND	0.03
N22		0.01	0.08	0.31	0.02	0.75	0.18	0.75	0.0001	ND	—
N23		0.01	0.11	0.32	0.01	0.27	0.17	0.77	0.0001	ND	—
N24		0.01	0.11	0.44	0.03	0.26	0.28	0.81	0.0001	ND	—
N25		0.01	0.11	0.53	0.02	0.31	0.26	0.79	0.0002	ND	—
N26		0.03	0.05	0.54	0.03	1.01	0.43	1.41	0.0005	ND	—
N27		0.02	0.13	0.37	0.02	0.40	0.24	0.81	0.0003	ND	—
H1		0.02	0.13	0.28	0.02	0.56	0.20	0.77	0.0002	ND	0.05
H2		0.01	0.14	0.34	0.03	0.47	0.19	0.72	0.0003	ND	0.07
H3		0.01	0.15	0.33	0.01	0.09	0.24	0.84	0.0001	ND	0.08
최소		0.01	0.04	0.20	0.01	0.09	0.12	0.63	0.0001	ND	0.03
최대		0.04	0.15	0.74	0.11	1.35	0.48	1.56	0.0008	ND	0.08
평균		0.02	0.09	0.39	0.04	0.54	0.24	0.89	0.0002	ND	0.06

〈표 3.3-7〉 해양수질 현장관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2020년 추계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N1	표층	10.0	0.4	13.1	25.7	7.9	7.6	84	39.3	3.9	2.1
	저층			12.9	25.9	8.0	7.8	87	32.8	4.0	1.6
N2	표층	13.0	1.3	14.8	27.3	8.1	7.3	85	15.9	2.8	1.7
	저층			14.7	27.4	8.1	7.2	83	13.5	2.5	1.1
N3	표층	41.0	3.9	15.4	29.3	8.1	7.8	94	6.9	1.6	0.9
	저층			15.2	29.5	8.1	7.5	90	7.8	1.5	0.8
N4	표층	14.0	2.9	13.0	30.2	8.1	8.1	93	5.2	2.0	1.0
	저층			12.7	30.2	8.1	7.8	89	5.9	2.7	0.7
N5	표층	11.0	3.4	13.7	30.1	8.1	8.1	94	6.1	1.7	1.4
	저층			13.5	30.1	8.1	7.6	88	6.2	2.1	1.0
N6	표층	8.4	3.1	14.3	29.8	8.1	7.7	91	5.3	2.3	1.2
	저층			14.1	29.8	8.1	7.4	86	7.2	2.4	0.8
N7	표층	24.0	3.7	16.3	29.0	8.1	7.7	94	4.9	2.3	1.0
	저층			15.4	29.5	8.1	7.6	92	8.8	2.4	0.9
N8	표층	11.5	3.4	15.8	30.0	8.1	7.5	91	7.0	2.1	1.4
	저층			15.7	30.1	8.1	7.5	90	8.8	2.3	0.9
N9	표층	7.4	2.6	15.0	30.5	8.1	7.9	95	6.0	2.4	2.2
	저층			15.0	30.5	8.1	7.7	92	6.9	2.1	1.3
N10	표층	5.8	3.4	15.3	30.4	8.1	7.5	90	4.9	2.2	2.4
	저층			15.3	30.5	8.1	7.3	87	4.9	2.1	1.4
N11	표층	5.5	4.5	15.1	30.6	8.2	8.7	104	4.1	2.6	2.2
	저층			14.8	31.2	8.2	8.4	100	4.4	2.3	1.6
N12	표층	12.0	3.0	14.6	30.5	8.2	8.2	98	6.3	2.6	3.0
	저층			14.5	30.6	8.2	8.2	97	5.8	2.2	1.2
N13	표층	9.0	2.7	14.5	30.4	8.2	8.2	97	6.4	2.8	2.0
	저층			14.4	30.4	8.2	8.1	96	6.3	2.1	1.4
N14	표층	13.0	3.0	14.7	30.3	8.2	8.2	97	8.9	2.7	3.3
	저층			14.3	30.3	8.2	8.0	95	11.3	2.5	2.2
N15	표층	12.0	2.5	14.3	30.8	8.1	7.8	93	4.7	2.5	2.1
	저층			14.2	31.2	8.1	7.6	90	7.9	3.1	1.5
N16	표층	12.3	2.7	15.2	29.9	8.2	8.4	101	6.7	3.0	7.4
	저층			15.2	30.2	8.2	7.9	94	5.5	2.5	4.2
N17	표층	14.0	1.7	15.0	30.0	8.2	8.6	102	9.6	3.2	7.3
	저층			14.9	30.1	8.2	8.1	96	12.4	2.9	3.5

〈표 3.3-7〉 계속(2020년 추계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)		(μg/L)
N18	표층	15.0	2.2	15.0	29.8	8.3	8.2	98	8.0	3.1	9.6
	저층			14.9	30.1	8.2	8.1	97	8.7	3.2	5.2
N19	표층	19.0	4.1	14.6	30.8	8.1	7.5	89	4.9	1.8	2.5
	저층			14.5	31.1	8.1	7.5	89	5.0	1.9	1.2
N20	표층	22.0	4.3	14.5	30.8	8.1	7.9	93	3.3	2.2	2.3
	저층			14.2	31.2	8.1	7.7	91	3.9	2.2	1.5
N21	표층	9.0	3.1	14.4	30.6	8.1	8.3	98	4.1	1.9	2.0
	저층			14.2	30.8	8.1	7.9	93	4.2	1.6	1.4
N22	표층	10.5	1.8	10.6	31.1	8.1	9.0	98	14.1	1.8	3.7
	저층			10.5	31.2	8.1	8.7	95	16.6	2.5	3.0
N23	표층	7.0	0.3	8.4	30.0	8.0	9.6	99	56.9	2.9	4.0
	저층			8.3	30.1	8.0	9.0	93	75.2	3.3	2.9
N24	표층	8.0	2.9	11.0	31.1	8.1	9.0	99	6.9	1.8	2.3
	저층			10.9	31.5	8.1	8.9	99	7.1	2.3	1.3
N25	표층	13.0	1.2	9.4	22.7	8.0	9.0	91	7.5	2.9	1.7
	저층			9.3	29.4	8.0	8.8	93	91.1	3.6	3.3
N26	표층	17.0	2.0	16.1	29.0	8.1	7.5	91	8.4	3.4	1.4
	저층			15.9	29.0	8.2	7.3	88	12.7	2.8	1.2
N27	표층	22.0	1.8	15.2	28.5	8.1	7.4	88	8.3	2.2	1.3
	저층			15.0	28.5	8.1	7.1	84	48.9	3.5	1.7
H1	표층	22.0	2.1	15.9	29.0	8.1	7.2	87	6.5	1.9	1.2
	저층			15.7	29.2	8.1	6.8	82	8.2	1.1	1.1
H2	표층	22.0	2.8	16.3	30.0	8.0	7.6	94	6.5	1.6	1.3
	저층			15.7	30.0	8.1	7.6	92	7.3	1.6	1.7
H3	표층	6.0	0.3	9.5	23.9	8.0	8.6	87	49.4	3.1	4.3
	저층			9.3	24.3	8.0	8.2	84	78.3	4.0	4.7
표층		최소	0.3	8.4	22.7	7.9	7.2	84	3.3	1.6	0.9
		최대	4.5	16.3	31.1	8.3	9.6	104	56.9	3.9	9.6
		평균	2.6	14.0	29.4	8.1	8.1	94	11.1	2.4	2.7
저층		최소	—	8.3	24.3	8.0	6.8	82	3.9	1.1	0.7
		최대	—	15.9	31.5	8.2	9.0	100	91.1	4.0	5.2
		평균	—	13.8	29.8	8.1	7.8	91	17.5	2.5	1.9
전체		최소	0.3	8.3	22.7	7.9	6.8	82	3.3	1.1	0.7
		최대	4.5	16.3	31.5	8.3	9.6	104	91.1	4.0	9.6
		평균	2.6	13.9	29.6	8.1	8.0	92	14.3	2.5	2.3

〈표 3.3-8〉 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2020년 추계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N1	표층	823.3	125.0	20.2	370.8	516.1	65.5	61.0	694.9
	저층	773.0	118.0	20.7	354.2	492.9	71.0	62.6	693.8
N2	표층	502.7	68.1	13.9	187.9	269.8	53.1	43.3	474.2
	저층	478.0	62.7	13.0	163.9	239.6	45.3	40.1	455.3
N3	표층	241.6	5.9	21.6	76.6	104.1	23.0	21.0	229.9
	저층	211.9	2.6	16.7	75.9	95.2	22.7	19.1	218.7
N4	표층	228.1	8.4	13.6	54.5	76.5	20.8	19.1	280.2
	저층	224.0	11.7	13.1	52.9	77.7	22.2	20.5	293.0
N5	표층	215.5	8.4	14.1	59.1	81.6	22.3	18.4	255.3
	저층	219.5	9.5	14.2	58.5	82.1	21.3	18.9	258.6
N6	표층	208.1	6.8	12.8	59.8	79.4	22.3	18.4	221.3
	저층	221.2	8.3	12.4	54.9	75.6	23.0	18.0	247.6
N7	표층	209.4	1.8	6.3	67.5	75.6	21.2	16.4	191.7
	저층	218.5	11.3	6.8	71.6	89.8	20.1	16.9	194.9
N8	표층	227.1	1.0	3.3	76.1	80.4	17.9	16.9	221.3
	저층	213.9	4.7	3.2	76.3	84.2	19.6	17.1	223.6
N9	표층	174.0	6.4	4.8	41.5	52.7	21.5	14.1	226.8
	저층	177.6	7.0	4.8	39.2	51.0	16.9	13.5	244.2
N10	표층	188.0	6.4	5.0	45.0	56.4	15.7	13.9	232.1
	저층	182.1	6.3	4.7	43.6	54.6	15.9	13.1	224.9
N11	표층	180.0	1.2	0.8	4.2	6.2	12.7	8.7	166.9
	저층	150.1	7.5	0.7	3.4	11.6	15.7	9.1	166.6
N12	표층	152.9	7.4	4.1	17.3	28.7	17.5	12.4	208.7
	저층	161.4	2.1	4.1	16.8	22.9	17.5	11.7	208.6
N13	표층	187.8	10.8	2.0	7.7	20.5	18.6	14.6	157.7
	저층	172.9	12.8	2.8	10.6	26.2	16.9	13.6	183.8
N14	표층	174.2	11.4	2.7	9.2	23.3	20.5	15.7	195.7
	저층	164.6	15.1	2.9	9.5	27.5	20.7	14.3	200.8
N15	표층	168.7	13.0	5.6	21.7	40.4	16.0	14.0	214.4
	저층	161.0	6.3	5.3	18.9	30.5	16.5	13.5	219.3
N16	표층	170.7	15.6	0.6	3.6	19.8	36.6	23.6	93.9
	저층	160.7	9.5	0.5	3.5	13.5	30.6	18.9	111.2
N17	표층	208.0	13.2	1.0	8.4	22.6	32.0	19.1	164.5
	저층	199.0	18.7	1.6	11.6	31.9	32.7	22.2	196.2

〈표 3.3-8〉 계 속(2020년 추계)

정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
N18	표층	180.0	10.4	1.3	1.1	12.7	35.2	20.5	42.5
	저층	188.7	9.2	1.3	1.4	11.9	34.6	21.8	54.3
N19	표층	170.5	14.4	6.5	26.4	47.3	22.1	16.2	218.9
	저층	171.4	16.1	6.7	31.5	54.3	23.7	18.2	226.1
N20	표층	146.9	13.9	6.4	25.4	45.8	22.3	15.9	217.5
	저층	159.0	14.5	6.8	26.2	47.5	20.0	15.2	223.8
N21	표층	189.6	15.8	7.0	36.2	58.9	21.0	17.2	254.4
	저층	166.5	13.6	7.0	35.1	55.7	23.5	16.9	253.3
N22	표층	136.2	9.3	3.5	11.9	24.7	21.2	14.0	257.0
	저층	137.1	9.4	3.3	10.9	23.5	21.9	12.9	251.7
N23	표층	342.9	34.1	7.4	136.2	177.6	36.3	23.7	464.7
	저층	339.0	28.7	6.8	126.8	162.3	43.1	23.7	456.3
N24	표층	173.3	14.3	6.4	30.0	50.6	21.9	17.4	281.1
	저층	181.3	13.4	6.4	30.7	50.4	23.1	17.9	281.1
N25	표층	1,075.3	69.8	15.8	753.3	838.9	37.4	27.4	543.0
	저층	349.7	35.4	7.1	141.7	184.3	42.9	25.4	409.6
N26	표층	245.8	17.4	18.2	62.0	97.6	30.0	23.6	240.7
	저층	230.8	18.8	18.6	62.6	99.9	32.6	23.3	236.1
N27	표층	297.1	41.7	13.3	76.4	131.4	35.9	29.5	344.3
	저층	303.0	38.8	12.4	72.5	123.7	42.4	29.4	340.9
H1	표층	239.1	22.3	18.0	60.7	101.0	27.5	23.0	240.0
	저층	748.5	79.5	27.6	127.3	234.4	45.6	29.3	233.9
H2	표층	192.1	7.0	4.4	73.0	84.4	22.9	17.0	202.2
	저층	187.6	1.9	3.9	61.3	67.1	21.5	16.9	203.5
H3	표층	989.1	74.6	14.7	680.4	769.7	46.3	31.5	528.9
	저층	935.9	66.5	13.4	581.6	661.4	52.5	28.4	481.7
표층	최소	136.2	1.0	0.6	1.1	6.2	12.7	8.7	42.5
	최대	1,075.3	125.0	21.6	753.3	838.9	65.5	61.0	694.9
	평균	287.9	21.9	8.5	102.8	133.2	27.2	20.9	268.8
저층	최소	137.1	1.9	0.5	1.4	11.6	15.7	9.1	54.3
	최대	935.9	118.0	27.6	581.6	661.4	71.0	62.6	693.8
	평균	272.9	22.0	8.3	79.2	109.4	28.5	20.8	266.4
전체	최소	136.2	1.0	0.5	1.1	6.2	12.7	8.7	42.5
	최대	1,075.3	125.0	27.6	753.3	838.9	71.0	62.6	694.9
	평균	280.4	21.9	8.4	91.0	121.3	27.9	20.8	267.6

〈표 3.3-9〉 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2020년 추계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N1	표층	0.04	0.13	0.76	0.18	1.21	0.41	0.81	0.0009	ND	—
N2		0.03	0.07	0.51	0.19	0.91	0.32	0.90	0.0002	ND	—
N3		0.03	0.06	0.31	0.08	0.66	0.36	0.48	0.0002	ND	—
N4		0.03	0.11	0.32	0.07	0.49	0.24	0.82	0.0002	ND	—
N5		0.03	0.13	0.36	0.07	0.47	0.23	0.76	0.0002	ND	—
N6		0.03	0.10	0.20	0.06	0.42	0.16	0.53	0.0002	ND	—
N7		0.04	0.15	0.59	0.09	1.50	0.31	1.06	0.0001	ND	—
N8		0.04	0.13	0.46	0.15	1.00	0.26	0.84	0.0002	ND	0.03
N9		0.04	0.15	0.45	0.13	1.27	0.32	0.89	0.0002	ND	—
N10		0.04	0.12	0.36	0.13	1.32	0.26	1.08	0.0002	ND	—
N11		0.04	0.15	0.40	0.13	0.94	0.27	0.94	0.0002	ND	—
N12		0.04	0.16	0.42	0.08	0.55	0.28	1.07	0.0002	ND	—
N13		0.03	0.13	0.26	0.10	1.00	0.19	0.76	0.0001	ND	—
N14		0.03	0.15	0.34	0.08	1.42	0.25	0.90	0.0001	ND	—
N15		0.03	0.13	0.21	0.07	0.80	0.17	0.62	0.0002	ND	—
N16		0.03	0.14	0.41	0.12	1.44	0.24	0.98	0.0002	ND	—
N17		0.04	0.15	0.45	0.08	0.91	0.29	1.11	0.0002	ND	—

〈표 3.3-9〉 계 속(2020년 추계)

정점	수층	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(μg/L)								(mg/L)	(μg/L)
N18	표층	0.03	0.16	0.36	0.08	1.03	0.23	0.95	0.0001	ND	—
N19		0.03	0.12	0.24	0.08	0.93	0.18	0.68	0.0001	ND	—
N20		0.03	0.13	0.18	0.06	0.52	0.14	0.58	0.0002	ND	—
N21		0.03	0.17	0.29	0.10	0.67	0.26	0.75	0.0002	ND	0.08
N22		0.03	0.12	0.23	0.06	0.43	0.26	0.63	0.0001	ND	—
N23		0.03	0.15	0.31	0.06	0.76	0.26	0.72	0.0002	ND	—
N24		0.03	0.18	0.36	0.09	1.02	0.21	0.80	0.0001	ND	—
N25		0.03	0.17	0.50	0.07	0.74	0.31	0.76	0.0001	ND	—
N26		0.03	0.16	0.33	0.12	1.09	0.29	0.78	0.0002	ND	—
N27		0.03	0.12	0.39	0.11	1.21	0.33	0.75	0.0002	ND	—
H1		0.04	0.15	0.43	0.10	1.52	0.37	1.14	0.0002	ND	0.03
H2		0.04	0.17	0.41	0.10	0.91	0.37	0.99	0.0002	ND	0.12
H3		0.03	0.16	0.55	0.06	0.88	0.34	0.62	0.0001	ND	0.07
최소		0.03	0.06	0.18	0.06	0.42	0.14	0.48	0.0001	ND	0.03
최대		0.04	0.18	0.76	0.19	1.52	0.41	1.14	0.0009	ND	0.12
평균		0.03	0.14	0.38	0.10	0.93	0.27	0.82	0.0002	ND	0.07

〈표 3.3-10〉 해양환경기준 해양수산부고시 제 2018-10호

(생활기준)

항목	수소이온농도 (pH)	총대장균군 (총대장균군수/100mL)	용매추출유분 (mg/L)
기준	6.5-8.5	1,000 이하	0.01 이하

(사람의 건강보호 기준)

등 급	항 목	기준 (μg/L)
전 수 역	6가크롬 (Cr ⁶⁺)	50
	비소 (As)	50
	카드뮴 (Cd)	10
	납 (Pb)	50
	아연 (Zn)	100
	구리 (Cu)	20
	시안 (CN)	10
	수은 (Hg)	0.5
	폴리염화비페닐 (PCB)	0.5
	유기인계 농약	다이아지논
		파라티온
		말라티온
	휘발성 저급 염소화 탄화수소류	1,1,1-트리클로로에탄
		테트라클로로에틸렌
		트리클로로에틸렌
		디클로로메탄
	벤젠	10
	페놀	5
	음이온계면활성제 (ABS)	500

(해양생태계 보호 기준, 단위 : μg/L)

중금속류	구리	납	아연	비소	카드뮴	크롬(6가)	수은	니켈
단기기준*	3.0	7.6	34	9.4	19	200	1.8	11
장기기준**	1.2	1.6	11	3.4	2.2	2.8	1.0	1.8

* : 단기기준 : 1회성 관측값과 비교 적용

** : 연간평균값 (최소 사계절 조사 자료)과 비교 적용

〈표 3.3-10〉 해양환경기준 해양수산부고시 제 2018-10호(계속)

(생태기반 해수수질 기준)

등급	수질평가 지수값(Water Quality Index)
I (매우 좋음)	23 이하
II (좋음)	24 - 33
III (보통)	34 - 46
IV (나쁨)	47 - 59
V (아주 나쁨)	60 이상

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

$$\text{수질평가지수(WQI, Water Quality Index)} = 10 \times [\text{저층산소포화도(DO)}] + 6 \times [(\text{식물플랑크톤 농도(Chl-a)} + \text{투명도(SD)})/2] + 4 \times [(\text{용존무기질소 농도(DIN)} + \text{용존무기인 농도(DIP)})/2]$$

- 수질평가지수 항목별 점수

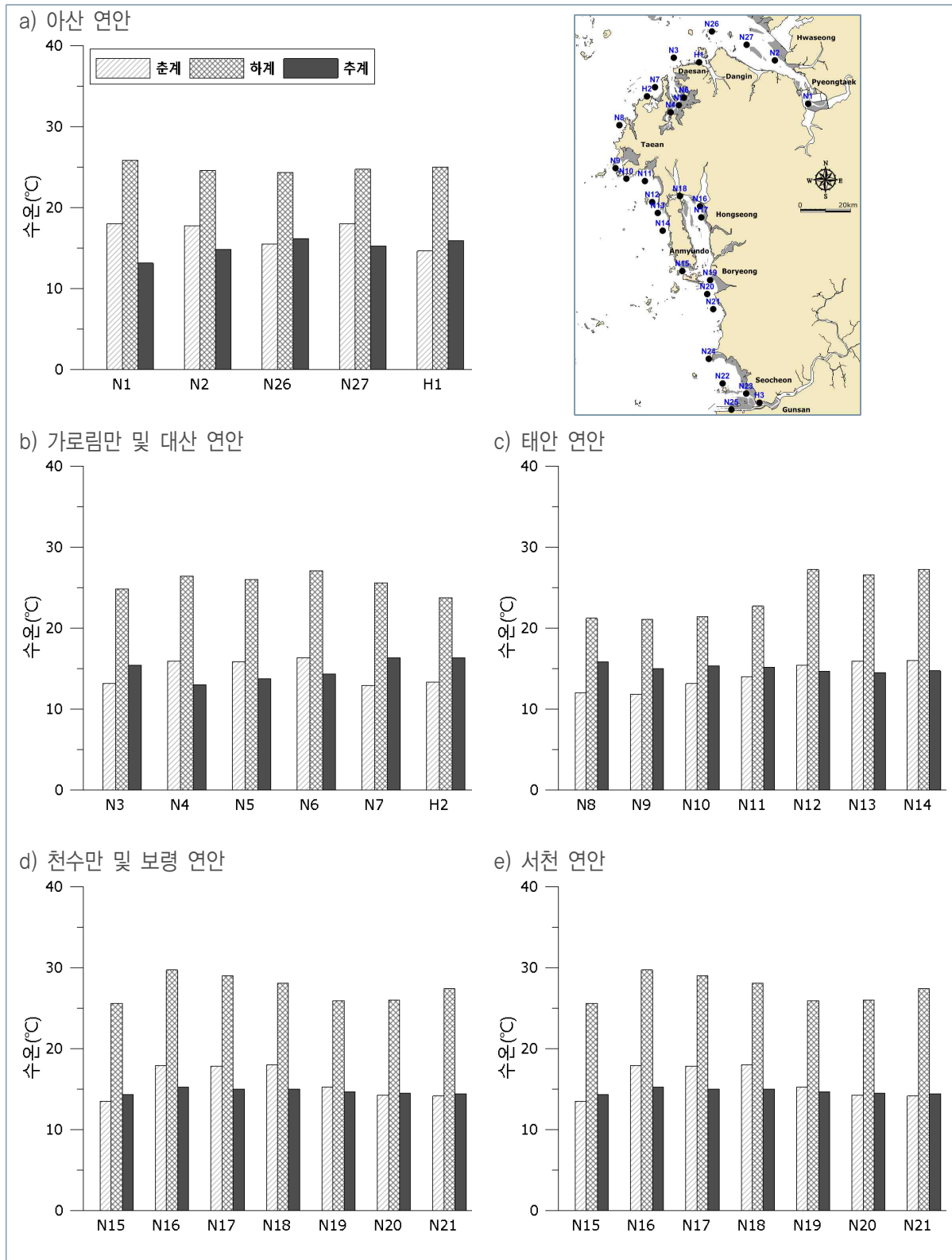
항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(μg/L), DIN(μg/L), DIP(μg/L)	DO(포화도, %), SD(m)
1	기준값 이하	기준값 이상
2	〈 기준값 + 0.10×기준값	〉 기준값 - 0.10×기준값
3	〈 기준값 + 0.25×기준값	〉 기준값 - 0.25×기준값
4	〈 기준값 + 0.50×기준값	〉 기준값 - 0.50×기준값
5	〉 기준값 + 0.50×기준값	〈 기준값 - 0.50×기준값

* 항목별 기준값은 수질평가지수 항목의 해역별 기준값을 적용

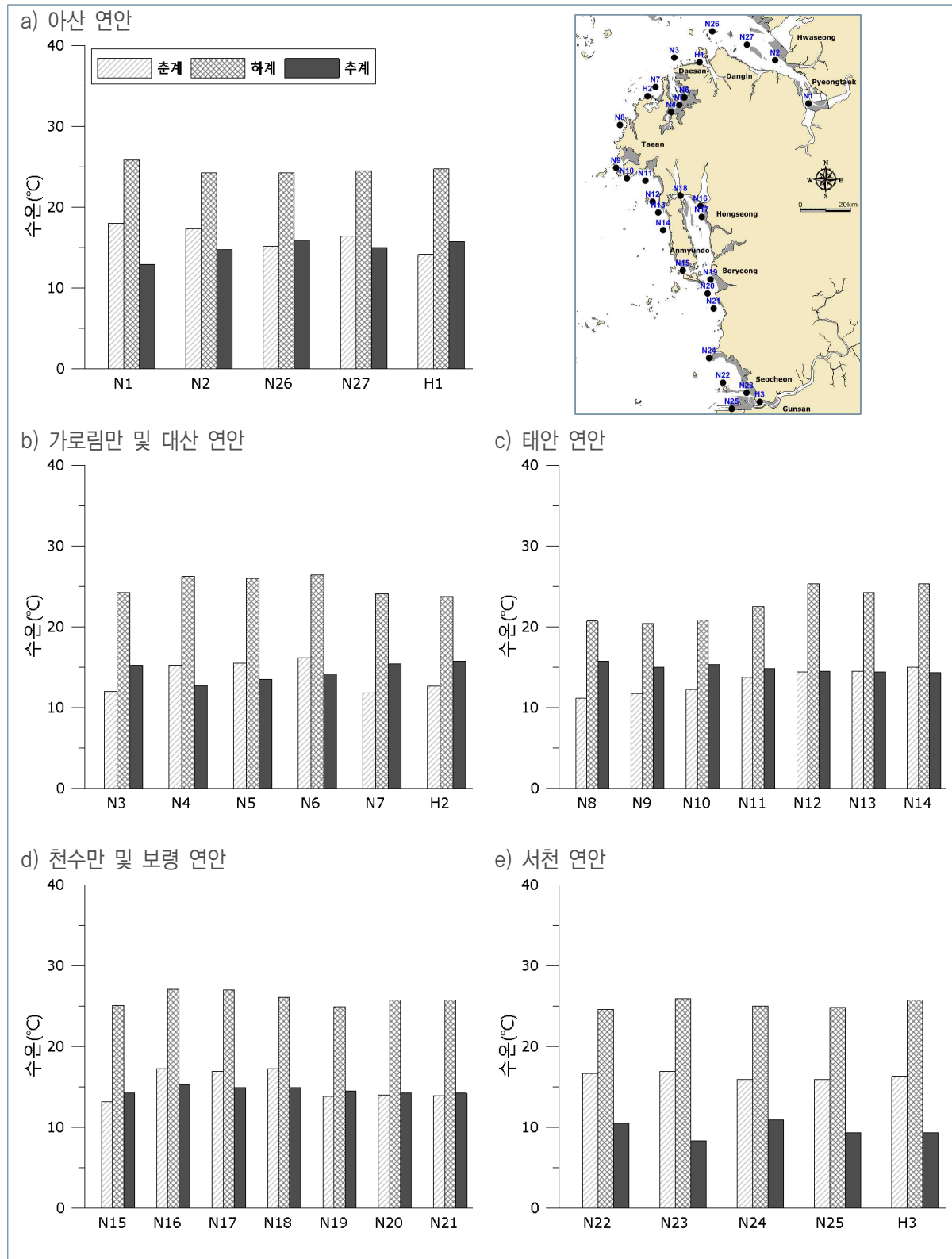
- 수질평가지수 항목의 해역별 기준값

생태구역 \ 대상항목	Chl-a (μg/L)	저층 DO (포화도, %)	표층DIN (μg/L)	표층DIP (μg/L)	투명도 (m)
동해	2.1	90	140	20	8.5
대한해협	6.3		220	35	2.5
서남해역	3.7		230	25	0.5
서해중부	2.2		425	30	1.0
제주	1.6		165	15	8.0

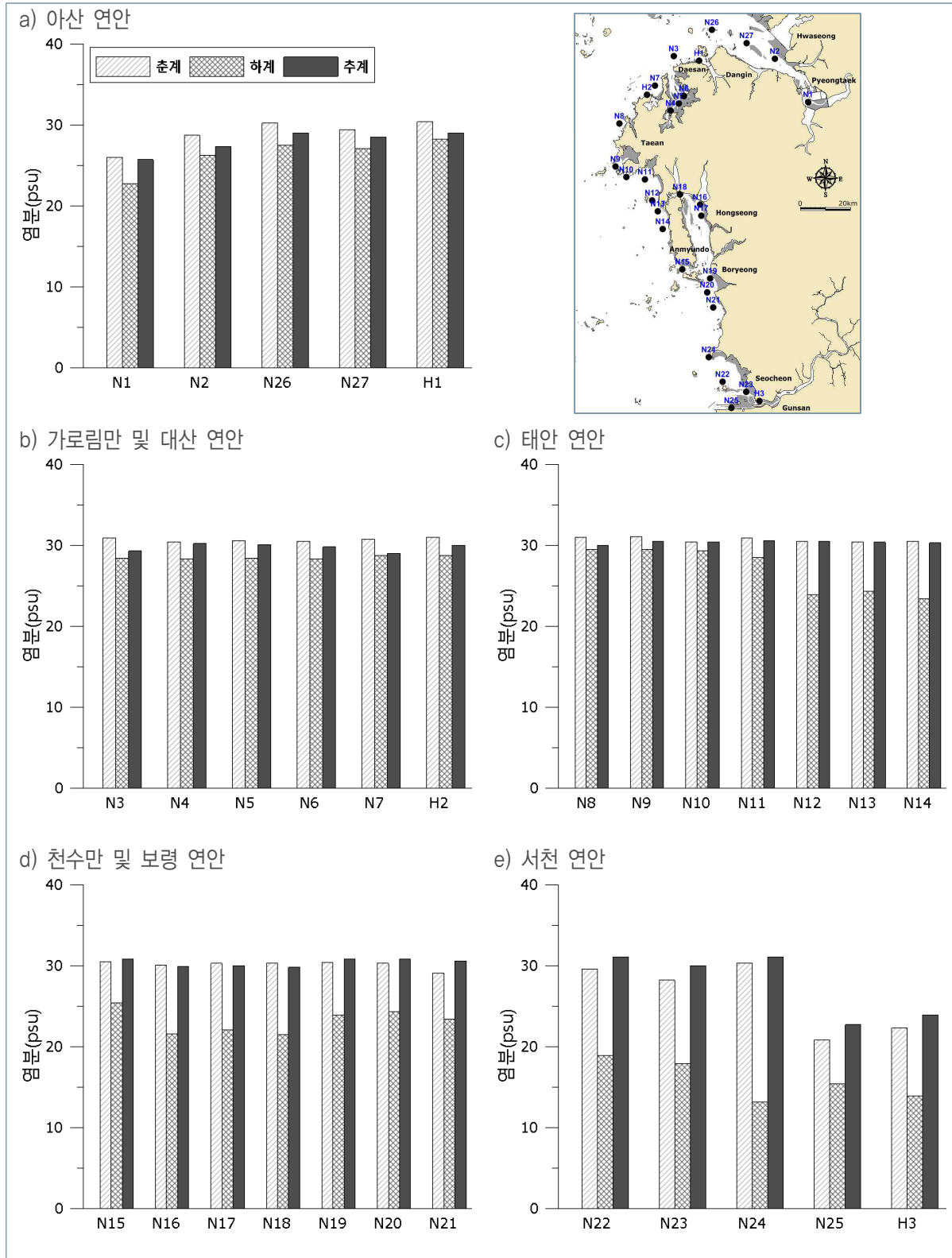
* 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1m 이내의 수층



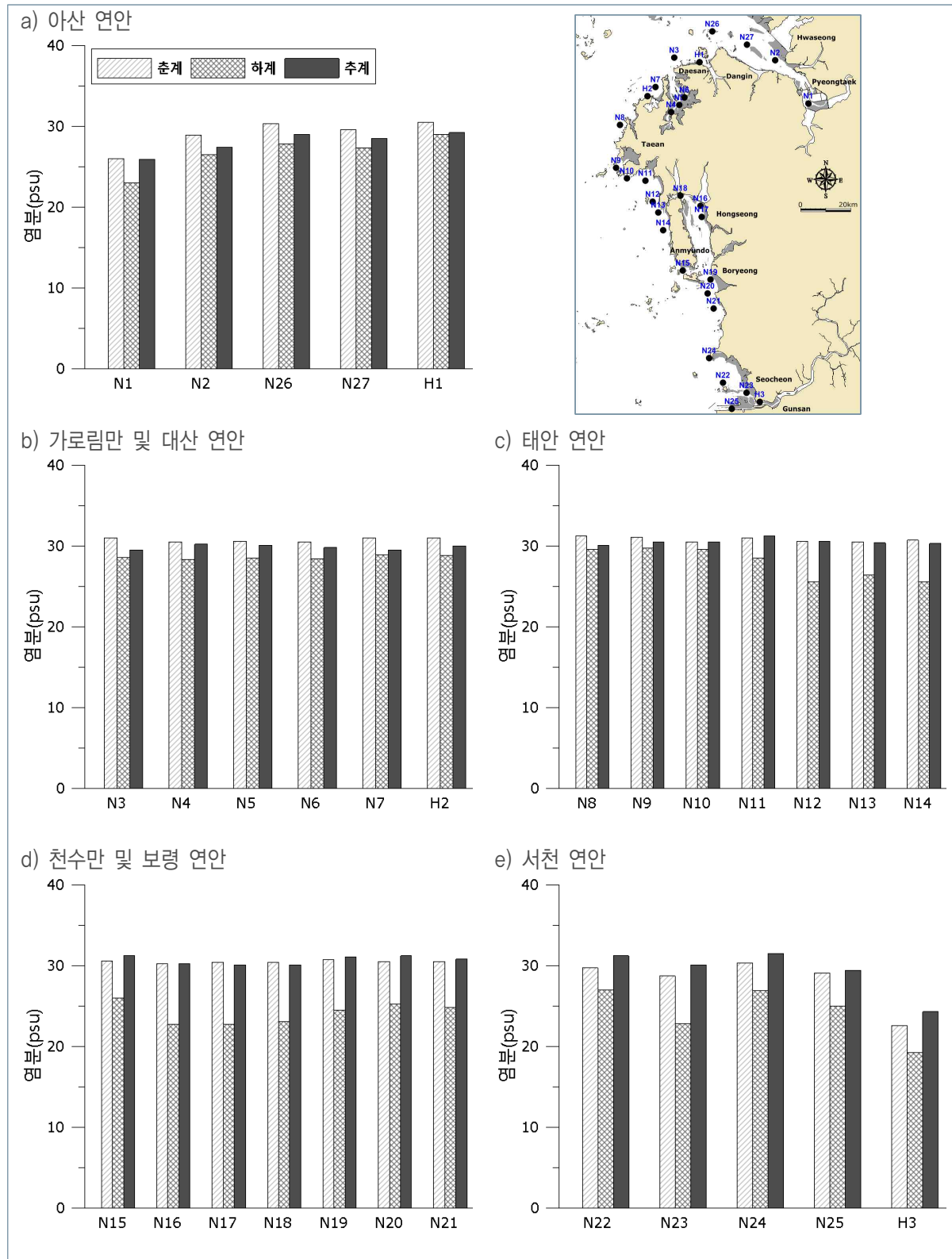
〈그림 3.3-1〉 해수 수질 중 일반항목 수온의 계절 및 정점별 분포(표층)



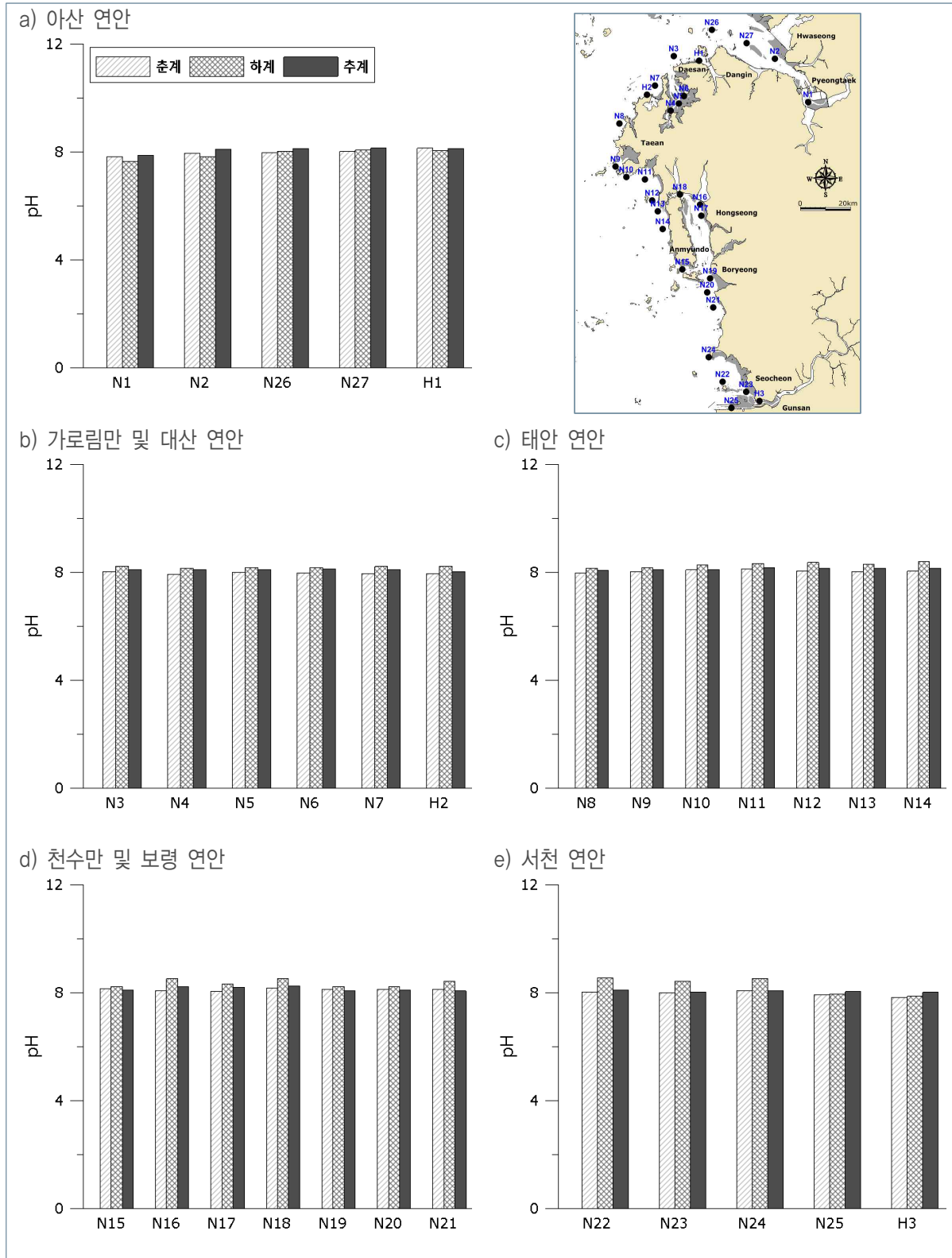
<그림 3.3-2> 해수 수질 중 일반항목 수온의 계절 및 정점별 분포(저층)



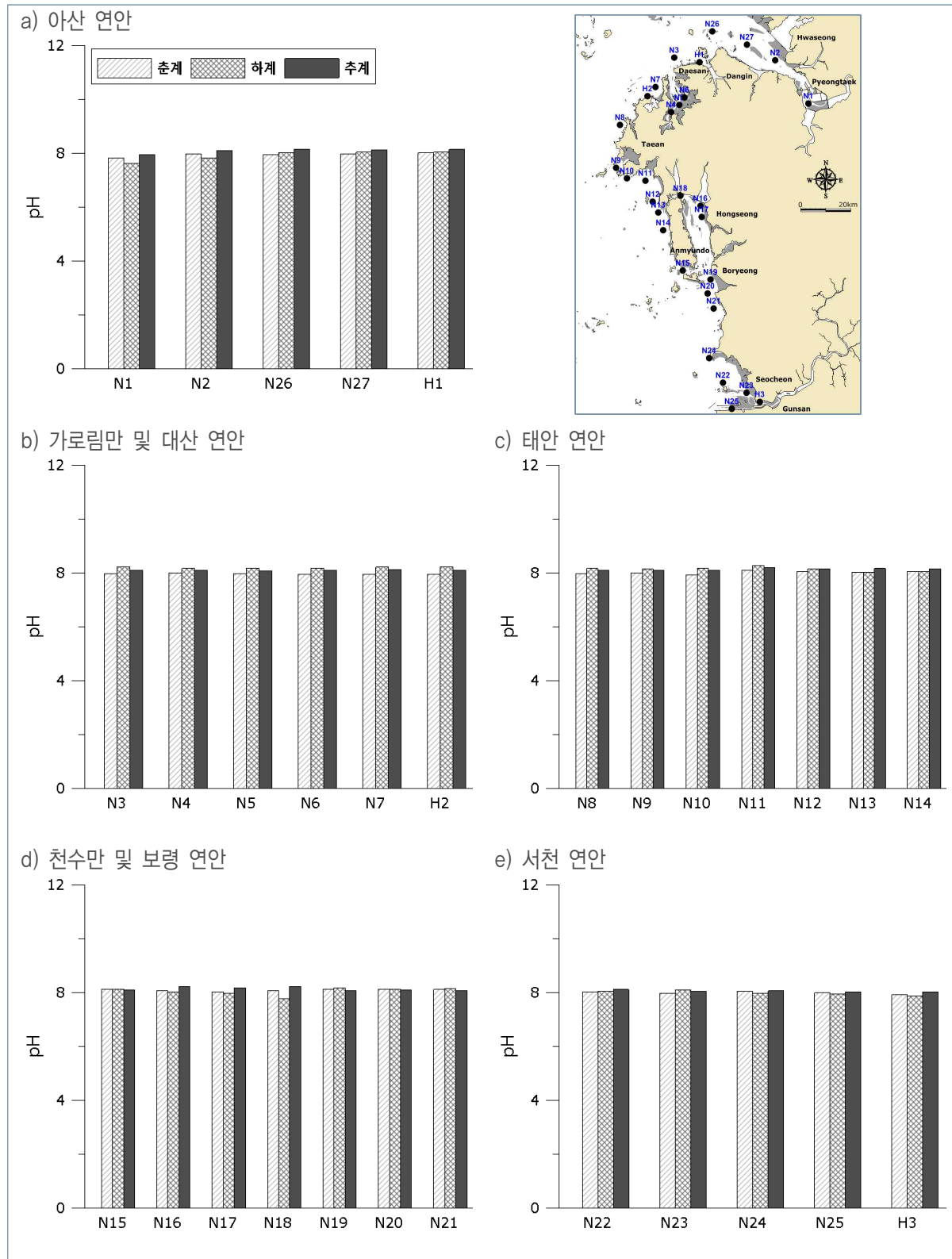
〈그림 3.3-3〉 해수 수질 중 일반항목 염분의 계절 및 정점별 분포(표층)



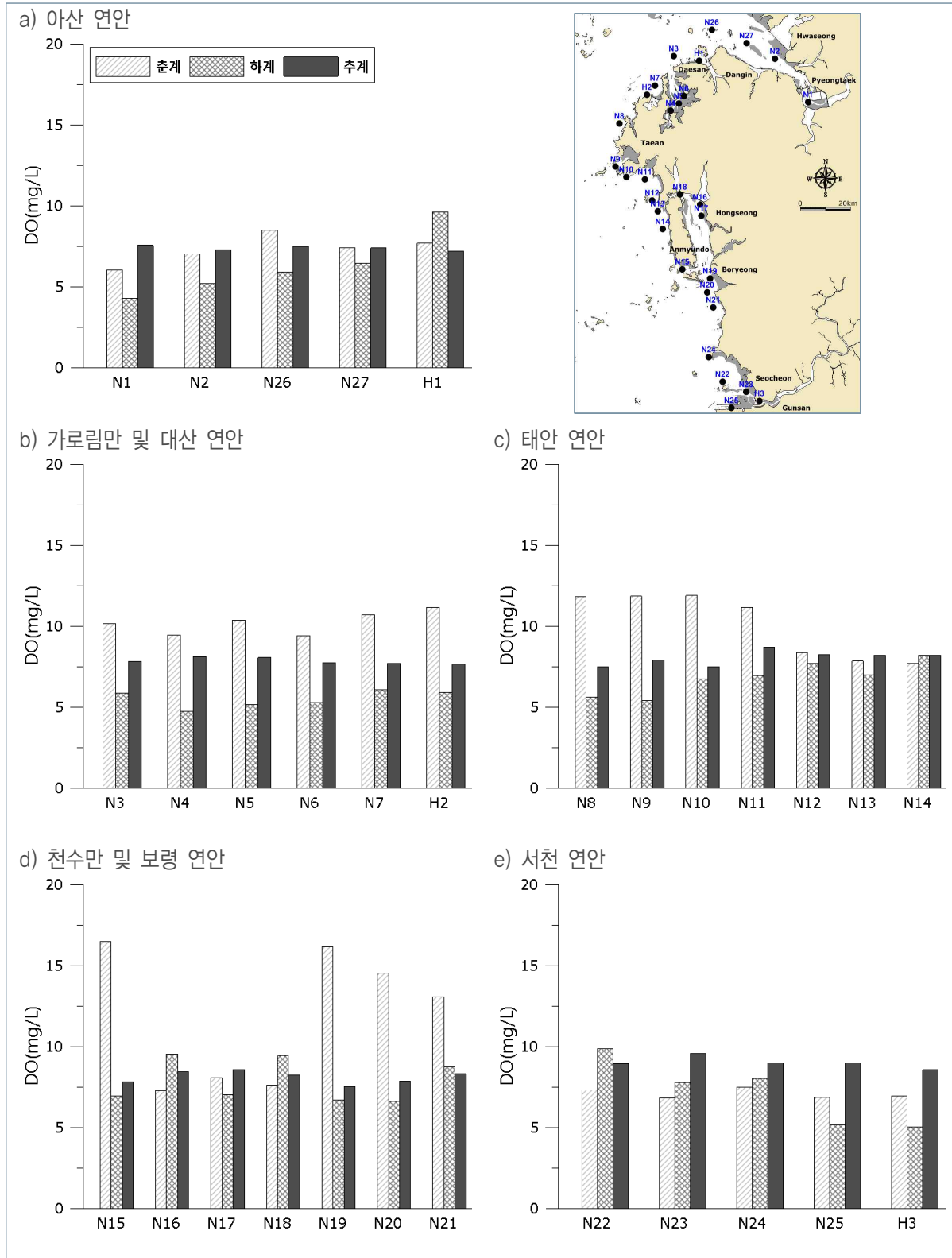
<그림 3.3-4> 해수 수질 중 일반항목 염분의 계절 및 정점별 분포(저층)



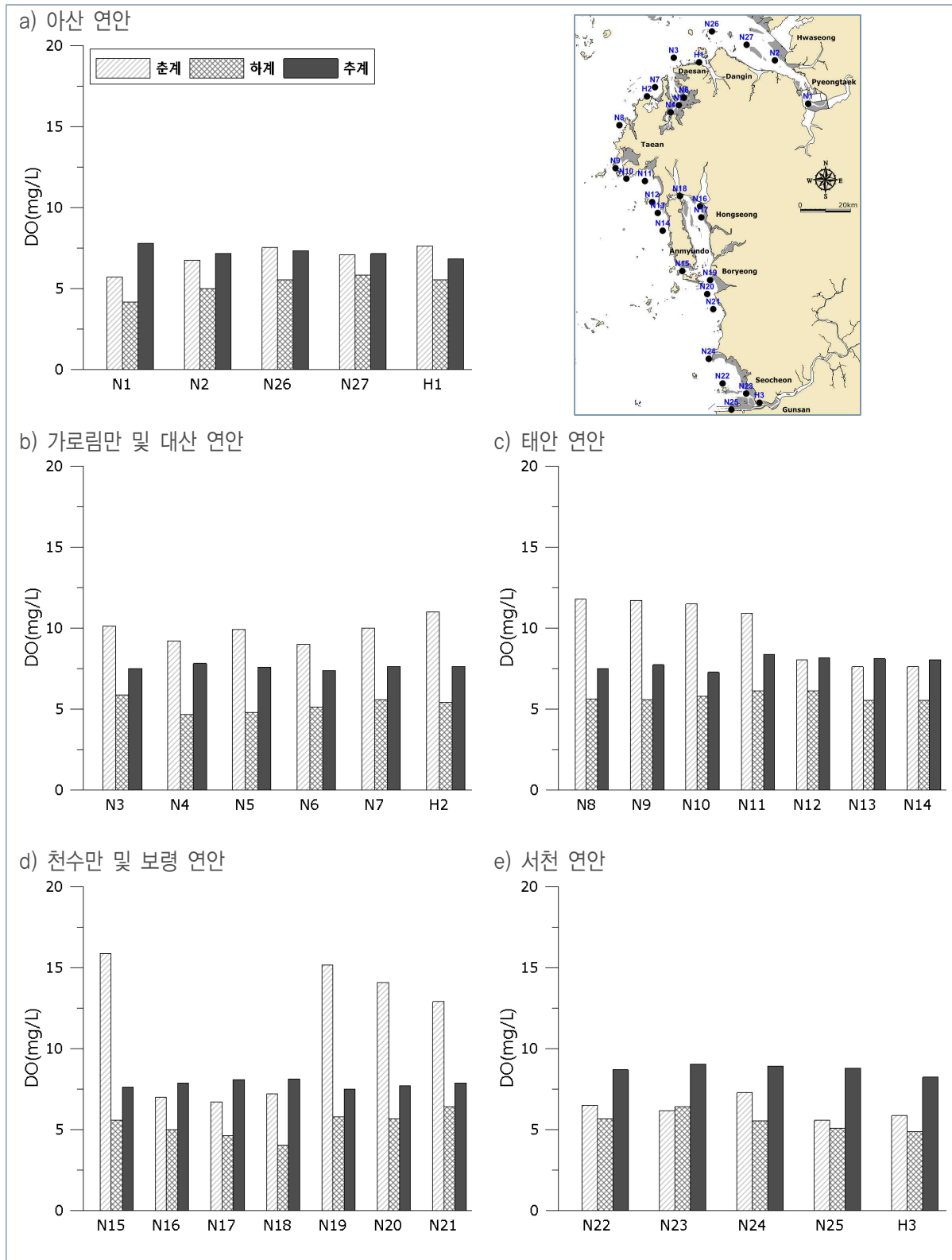
〈그림 3.3-5〉 해수 수질 중 일반항목 pH의 계절 및 정점별 분포(표층)



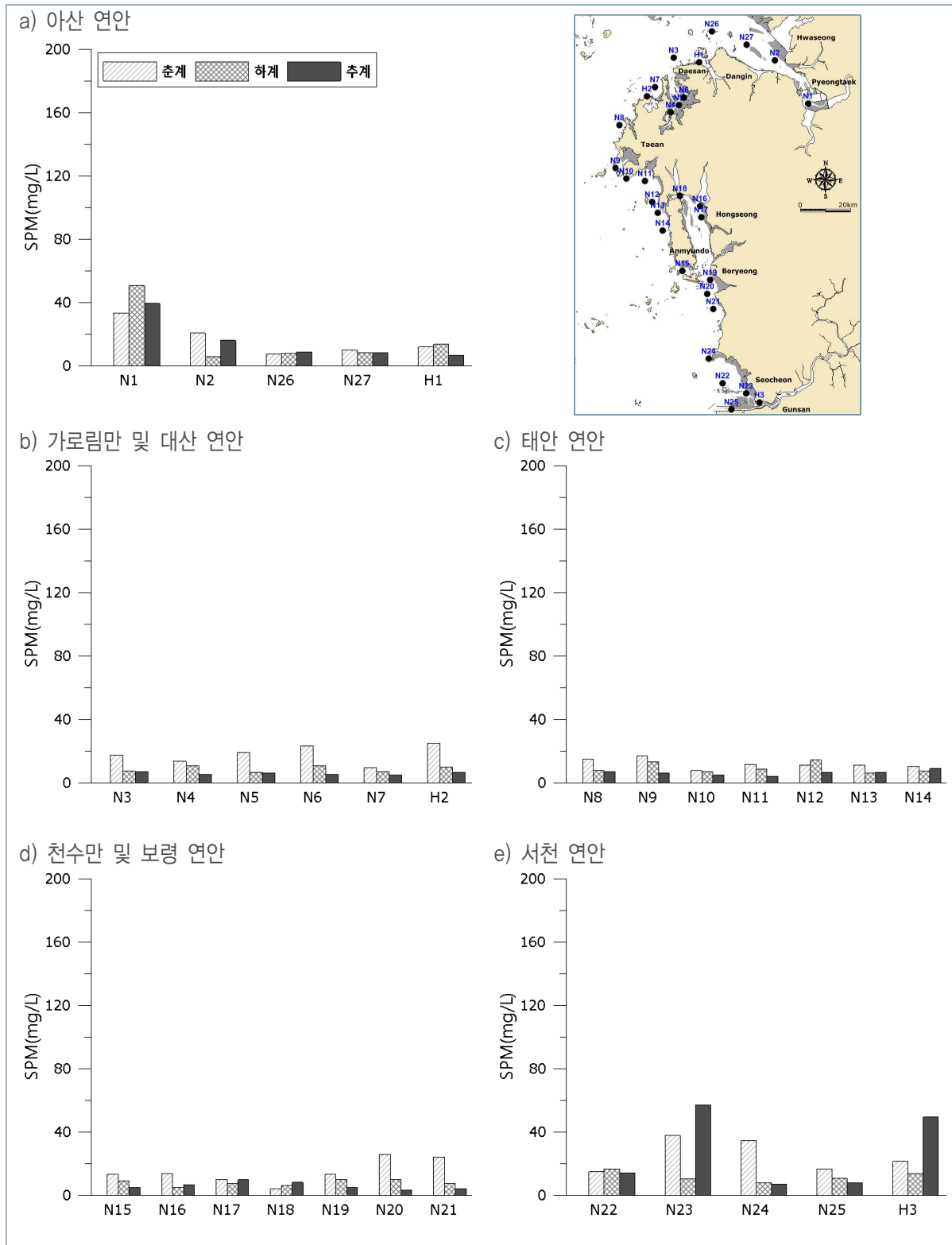
<그림 3.3-6> 해수 수질 중 일반항목 pH의 계절 및 정점별 분포(저층)



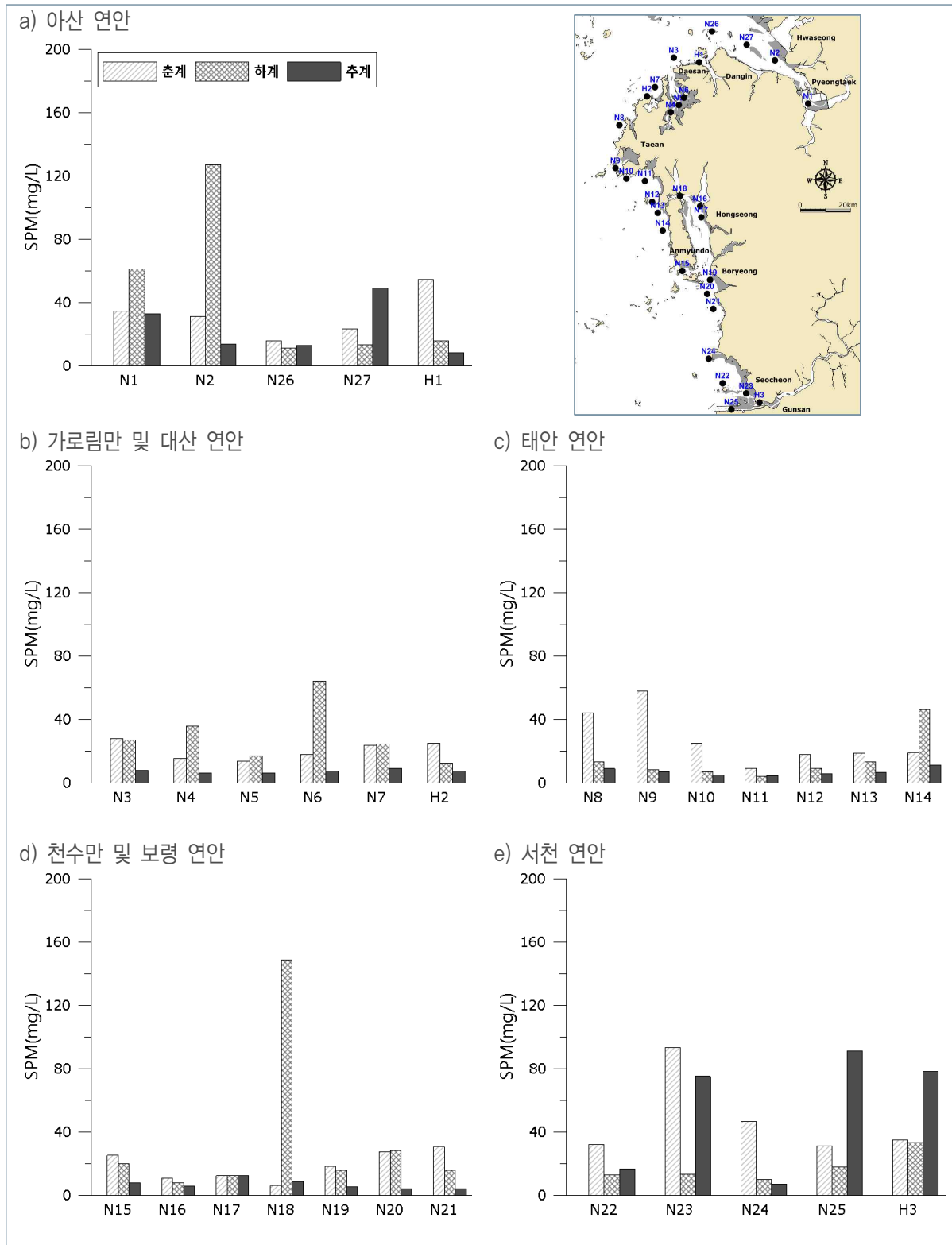
〈그림 3.3-7〉 해수 수질 중 일반항목 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(표층)



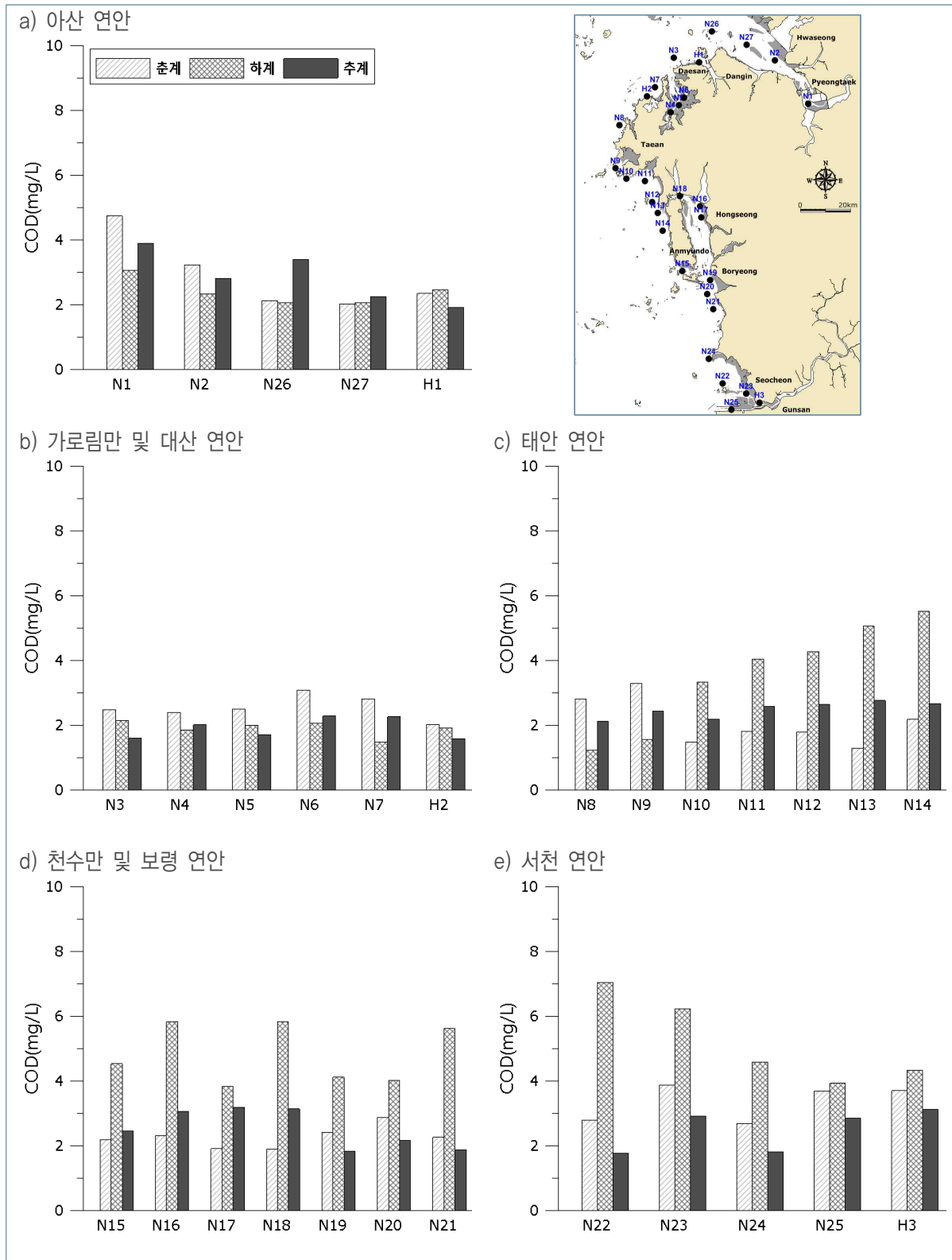
〈그림 3.3-8〉 해수 수질 중 일반항목 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(저층)



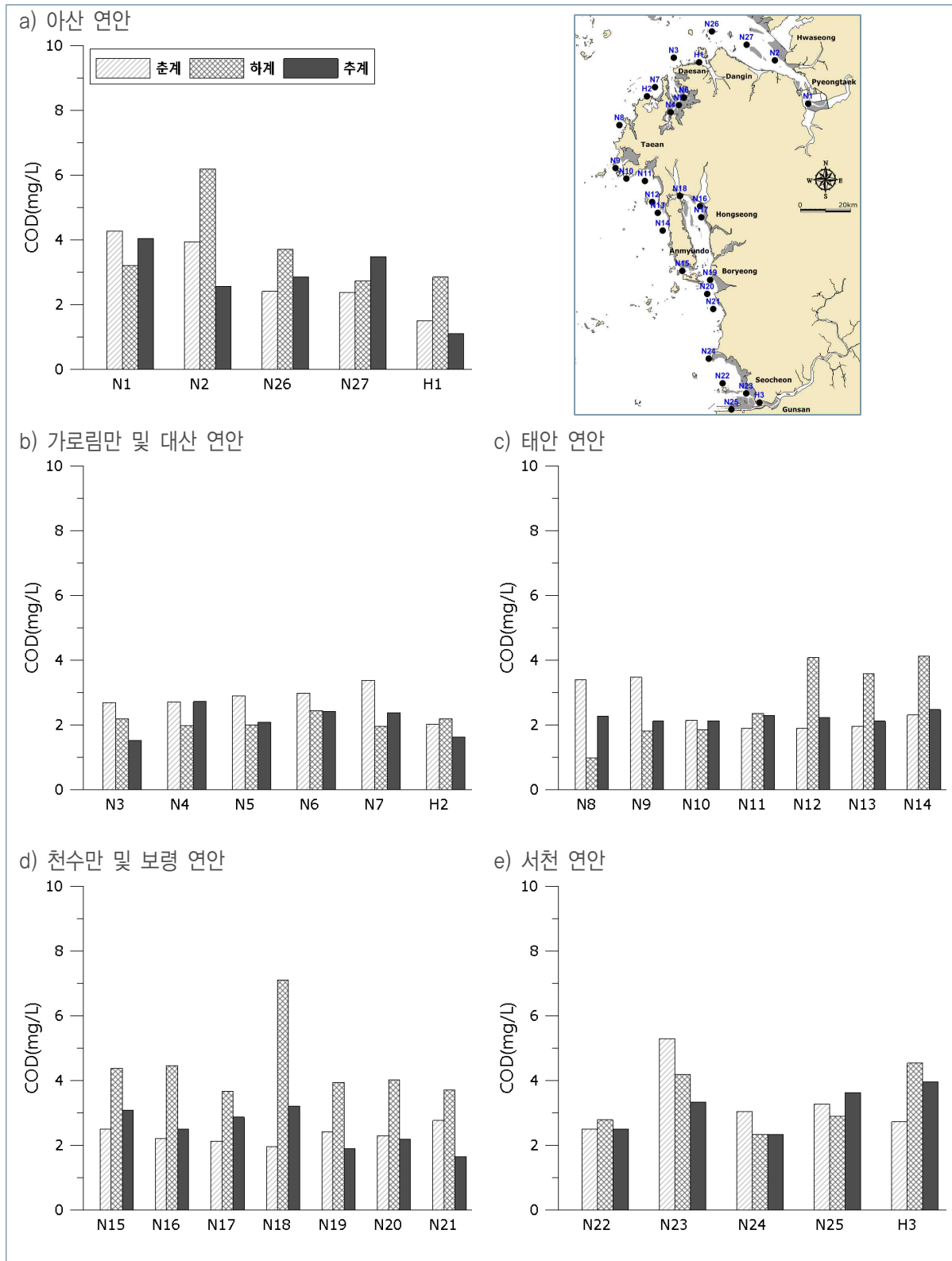
〈그림 3.3-9〉 해수 수질 중 일반항목 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(표층)



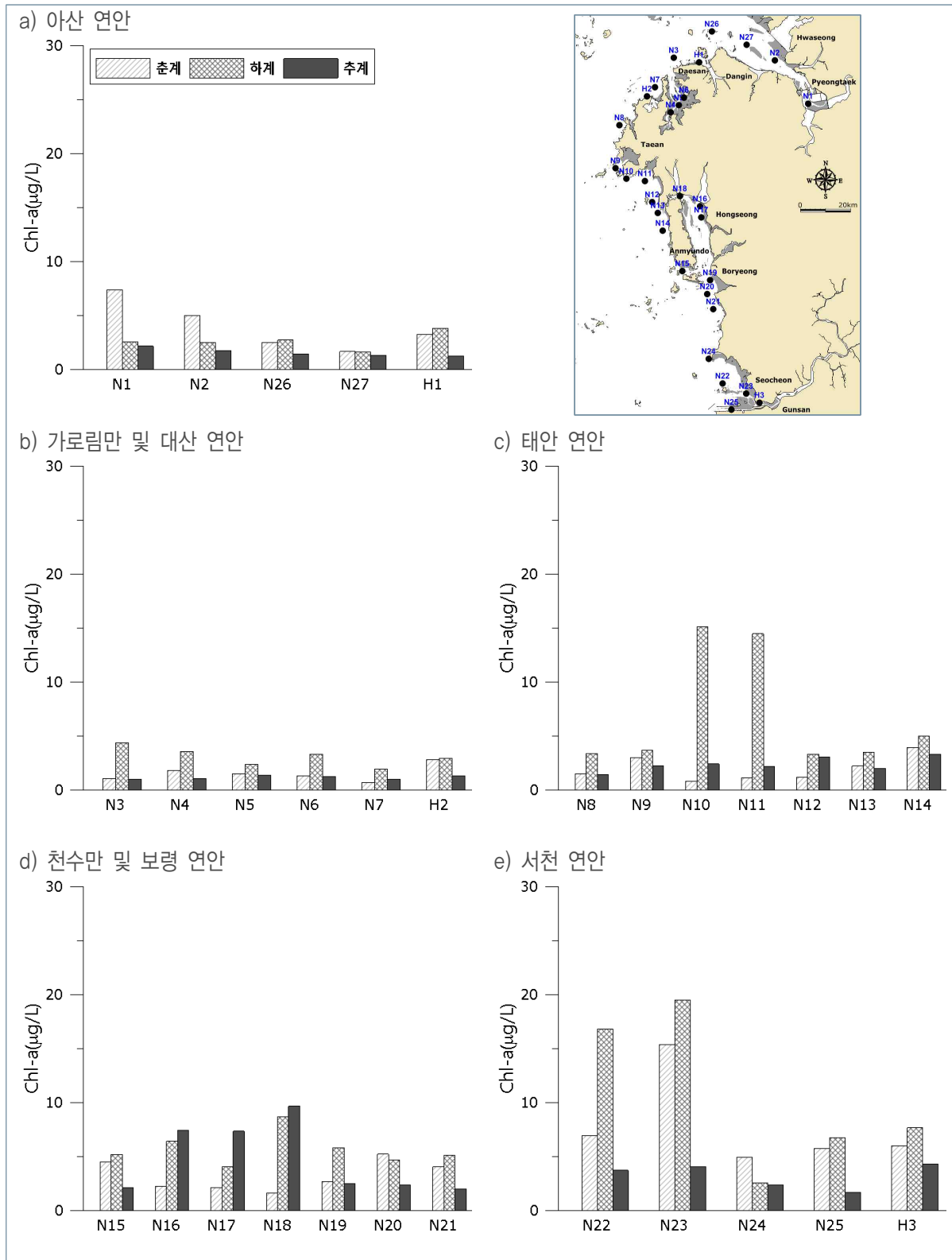
<그림 3.3-10> 해수 수질 중 일반항목 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(저층)



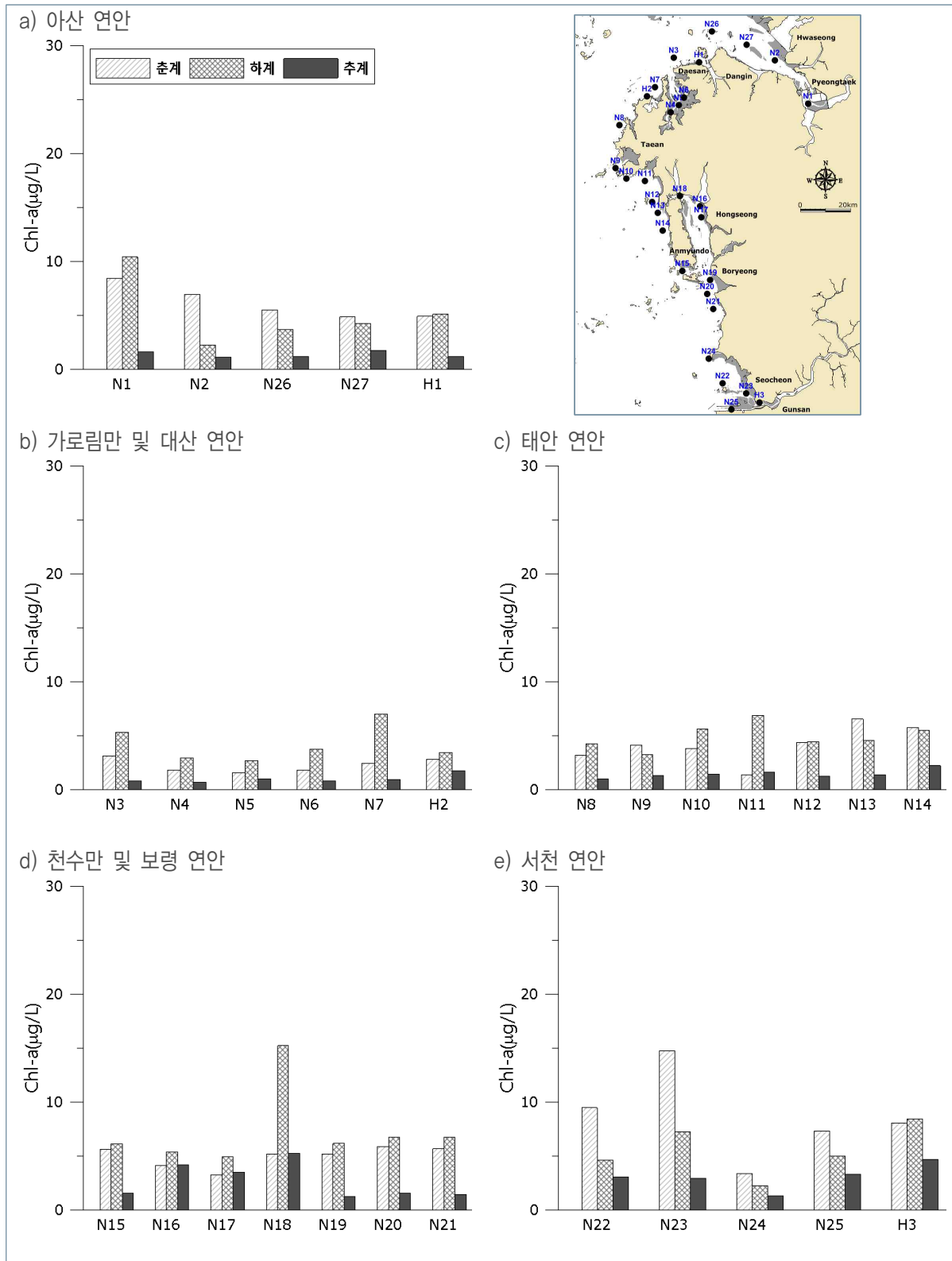
〈그림 3.3-11〉 해수 수질 중 일반항목 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(표층)



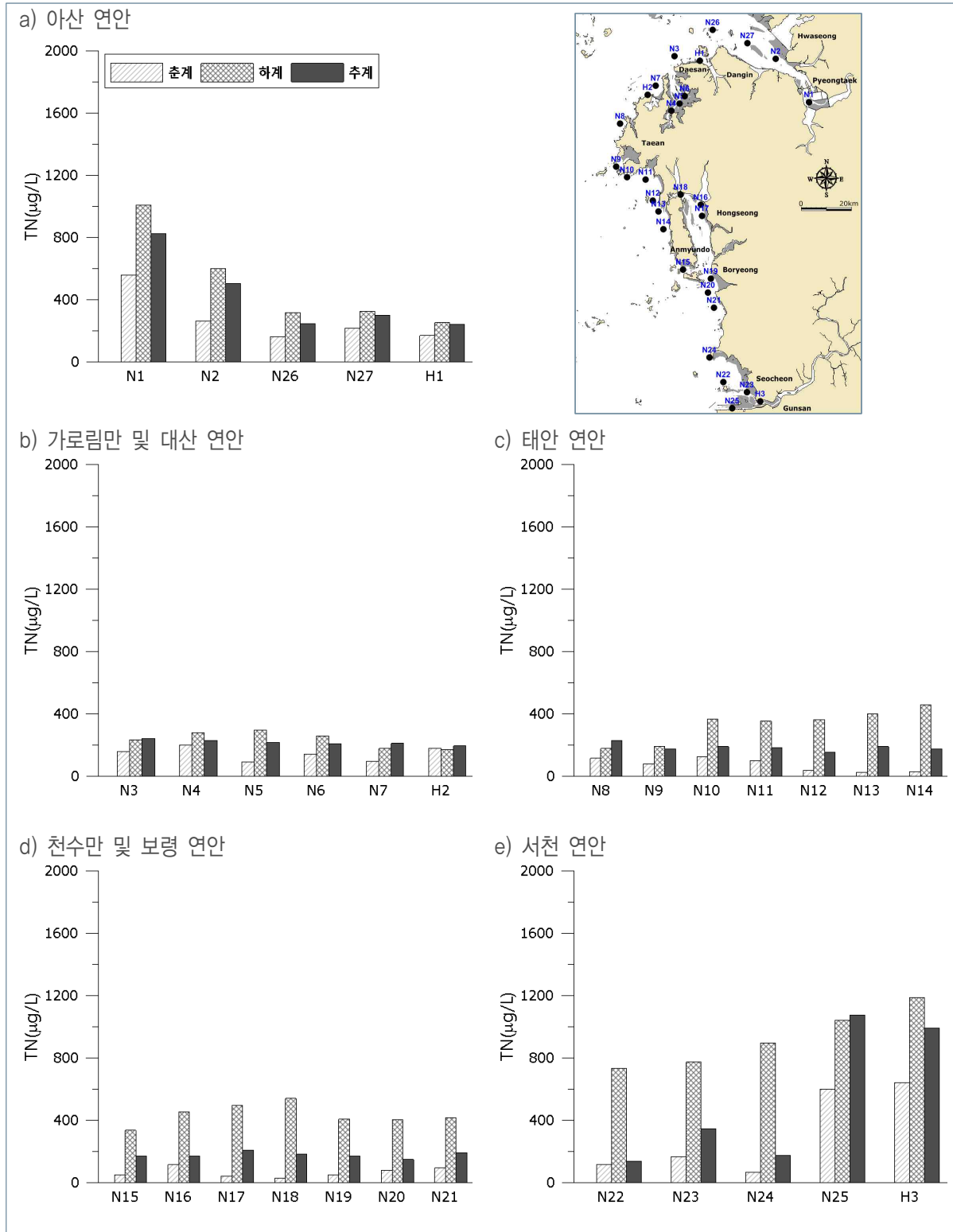
<그림 3.3-12> 해수 수질 중 일반항목 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(저층)



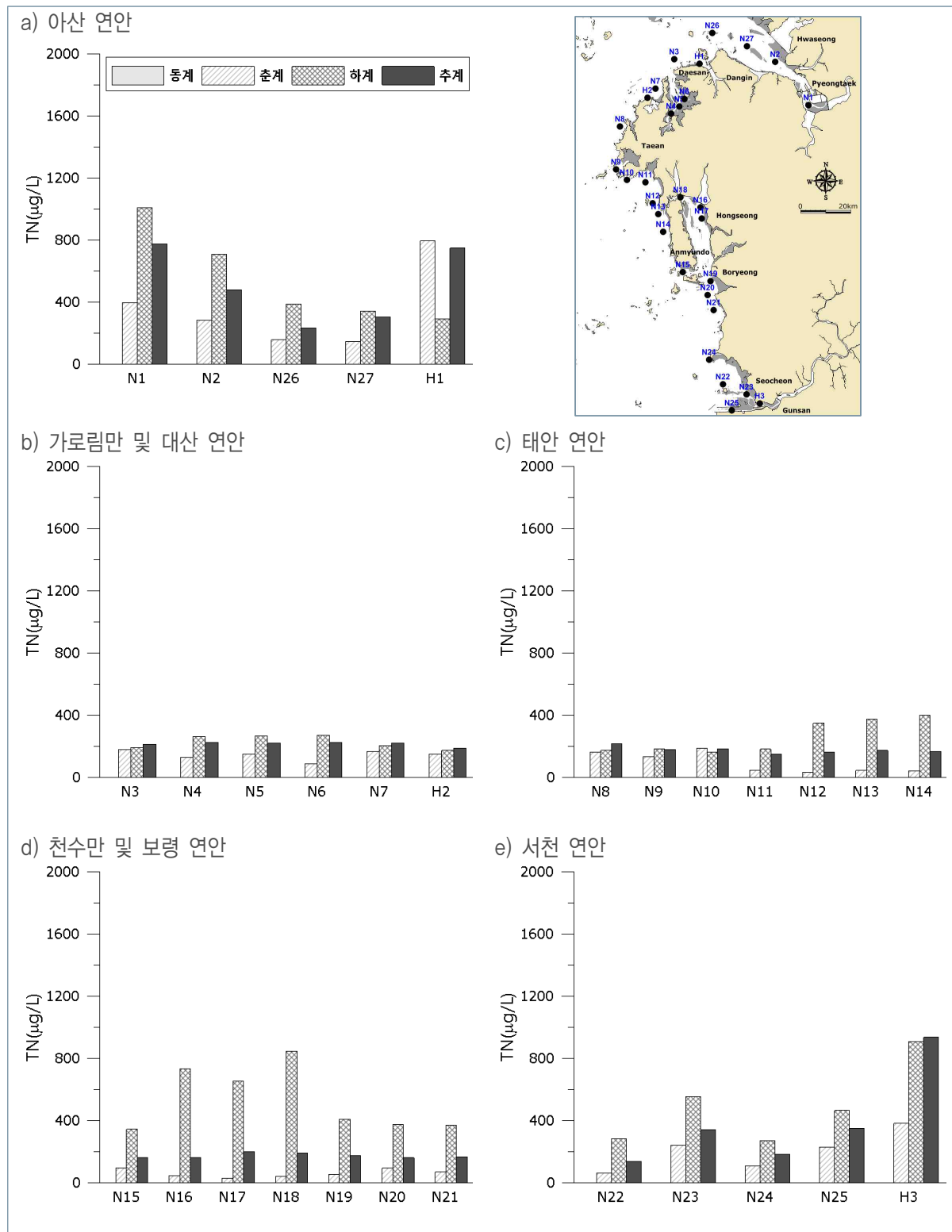
〈그림 3.3-13〉 해수 수질 중 일반항목 염록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(표층)



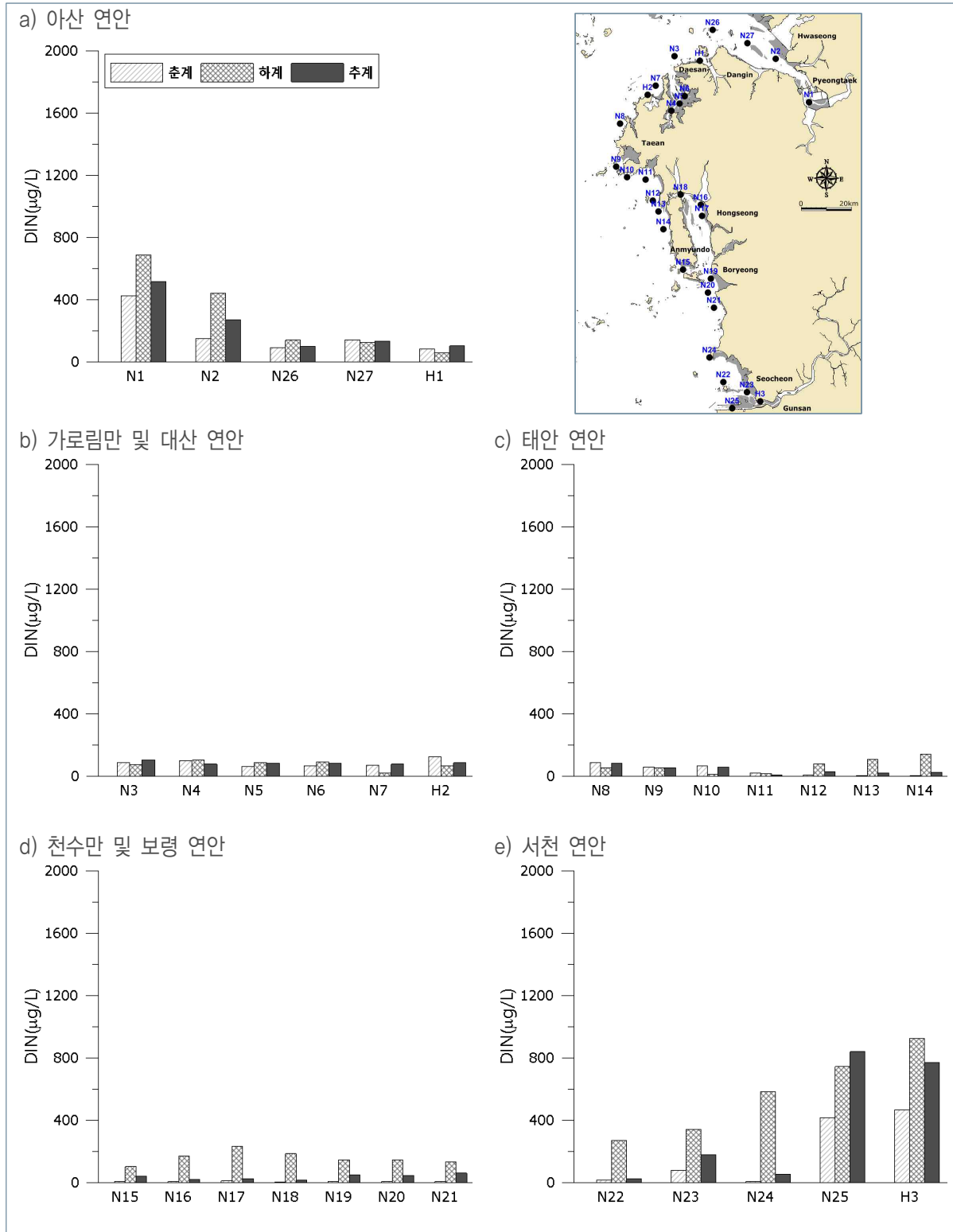
〈그림 3.3-14〉 해수 수질 중 일반항목 염록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(저층)



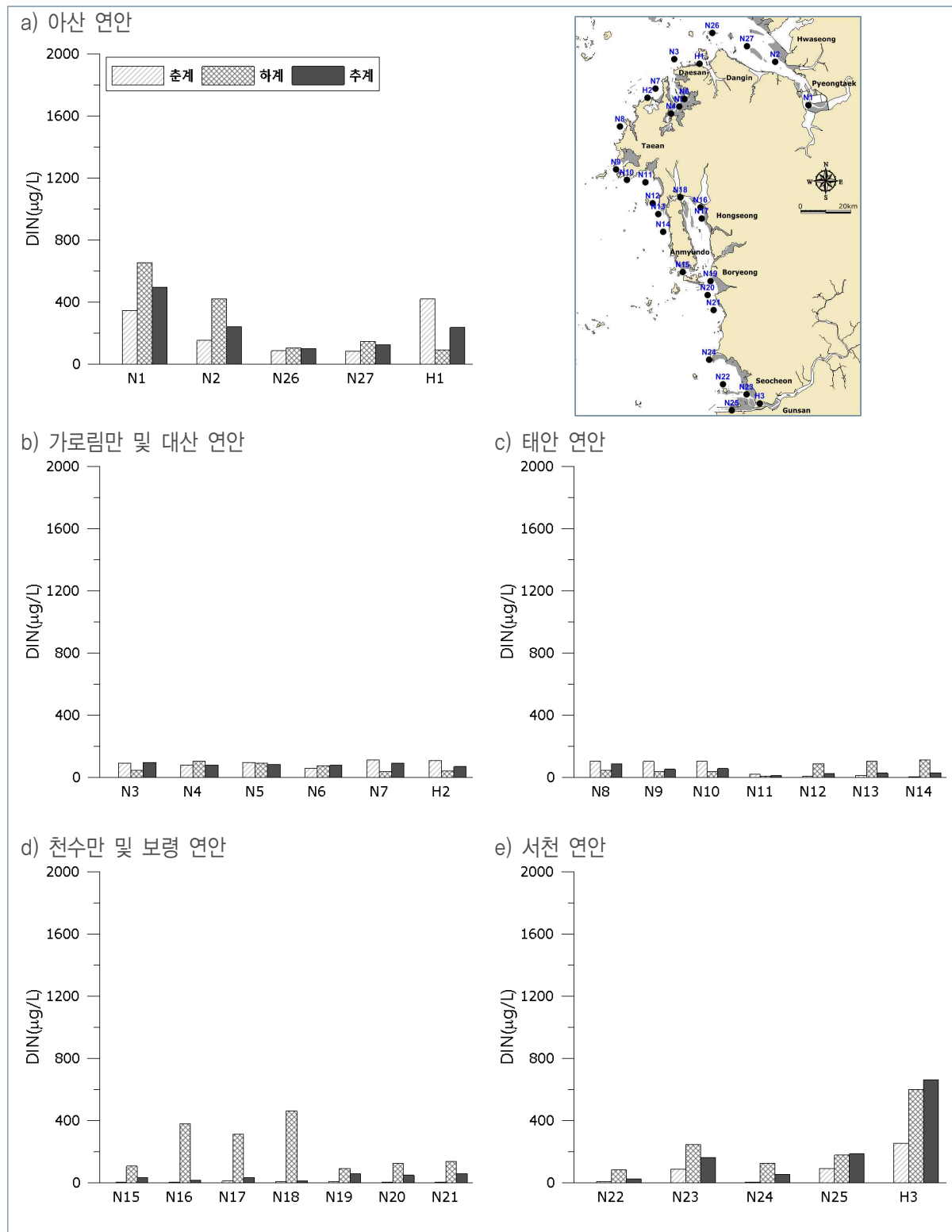
<그림 3.3-15> 해수 수질 중 일반항목 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(표층)



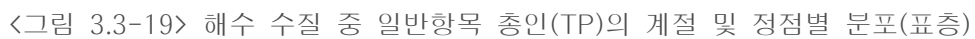
<그림 3.3-16> 해수 수질 중 일반항목 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(저층)



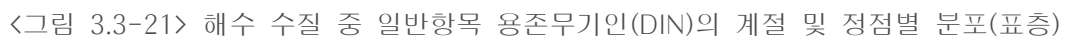
〈그림 3.3-17〉 해수 수질 중 일반항목 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(표층)

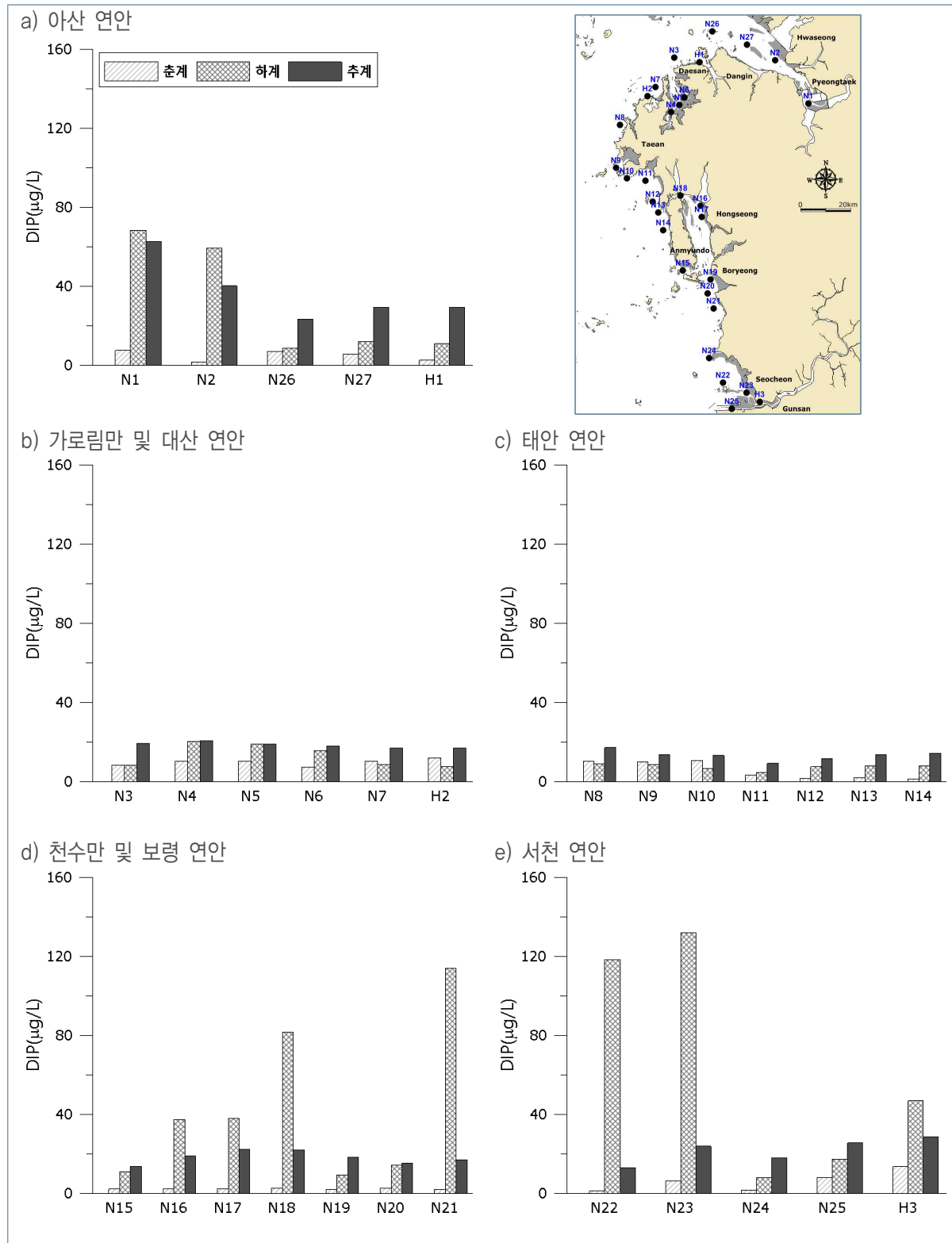


〈그림 3.3-18〉 해수 수질 중 일반항목 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(저층)

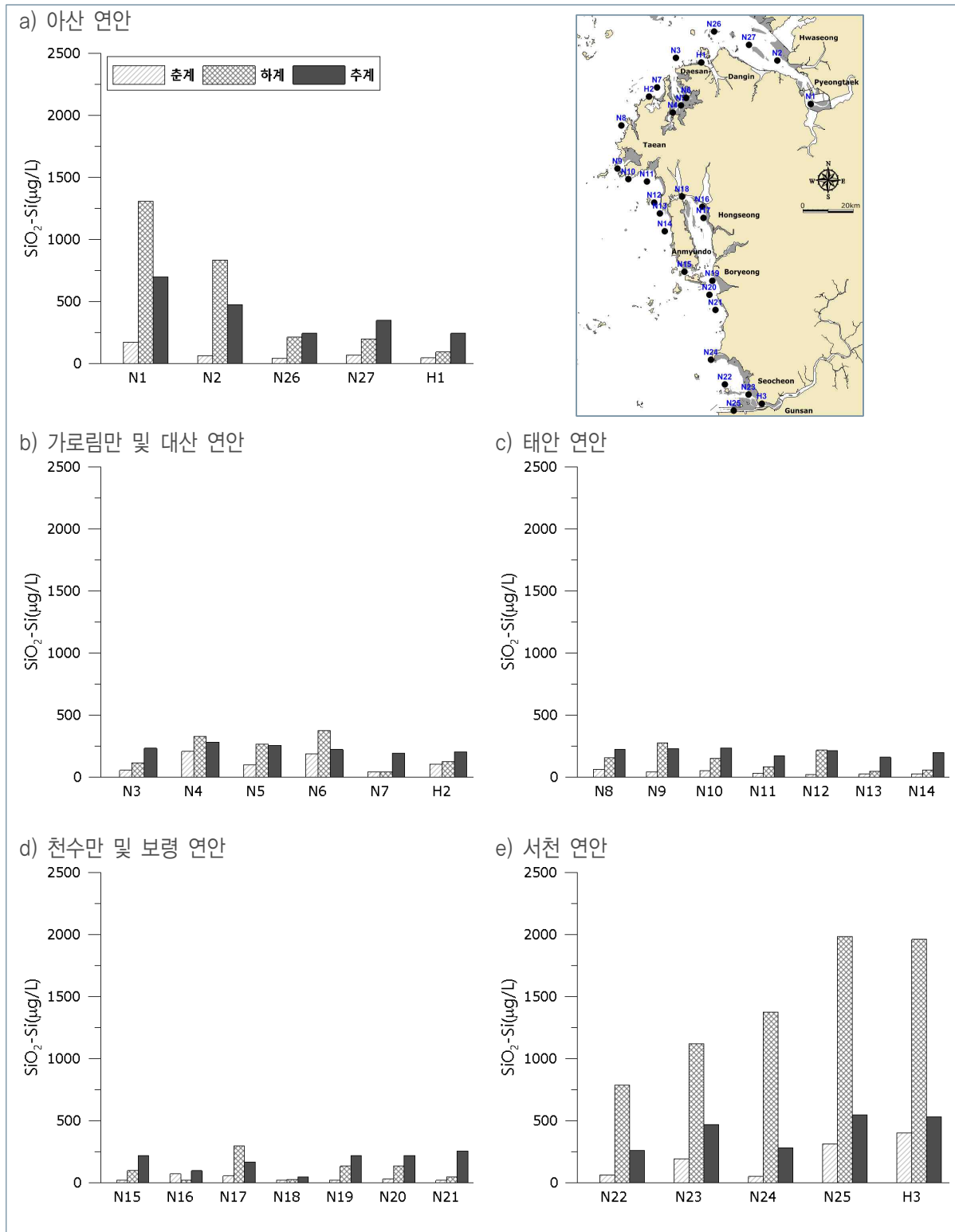




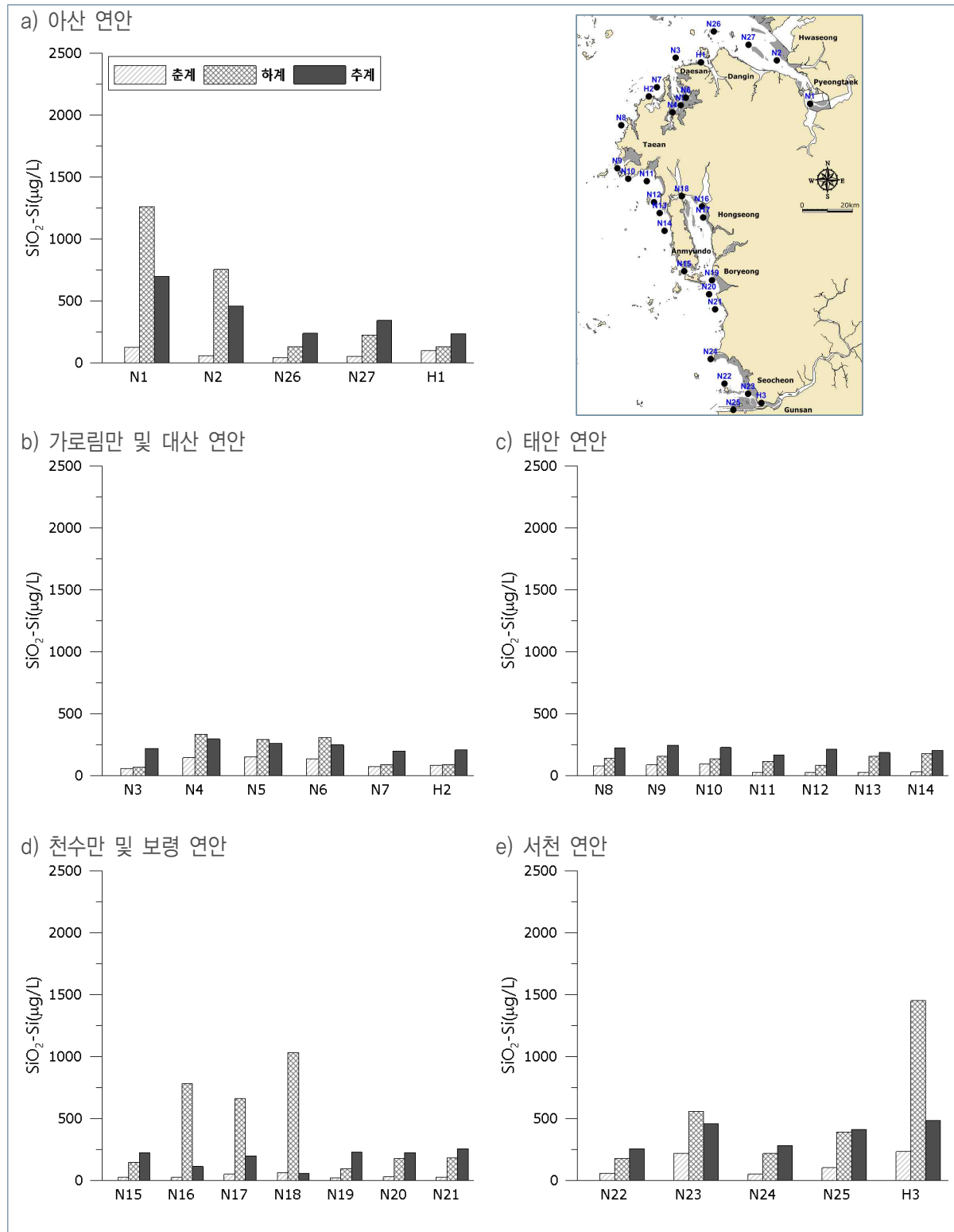




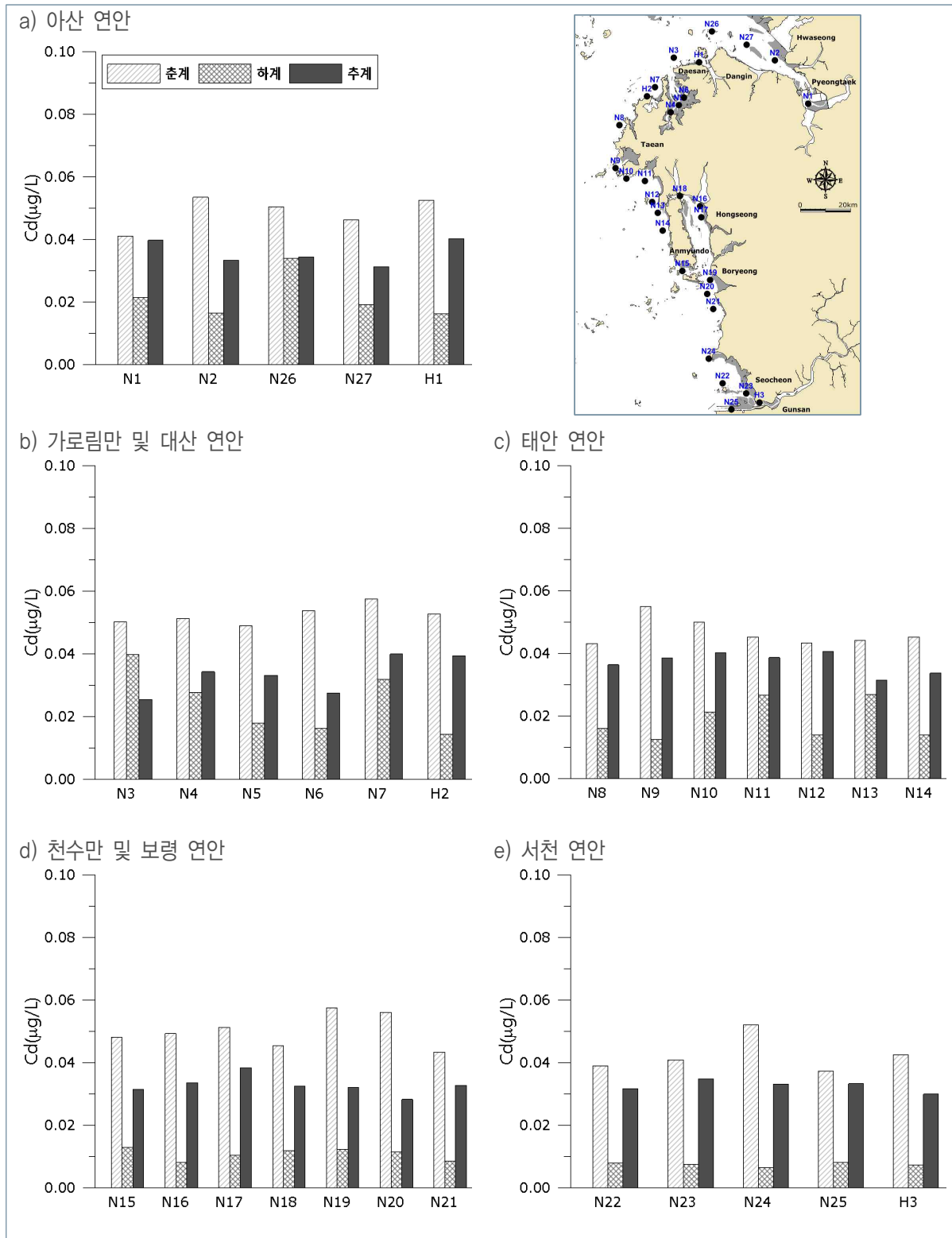
<그림 3.3-22> 해수 수질 중 일반항목 용존무기인(DIN)의 계절 및 정점별 분포(저층)



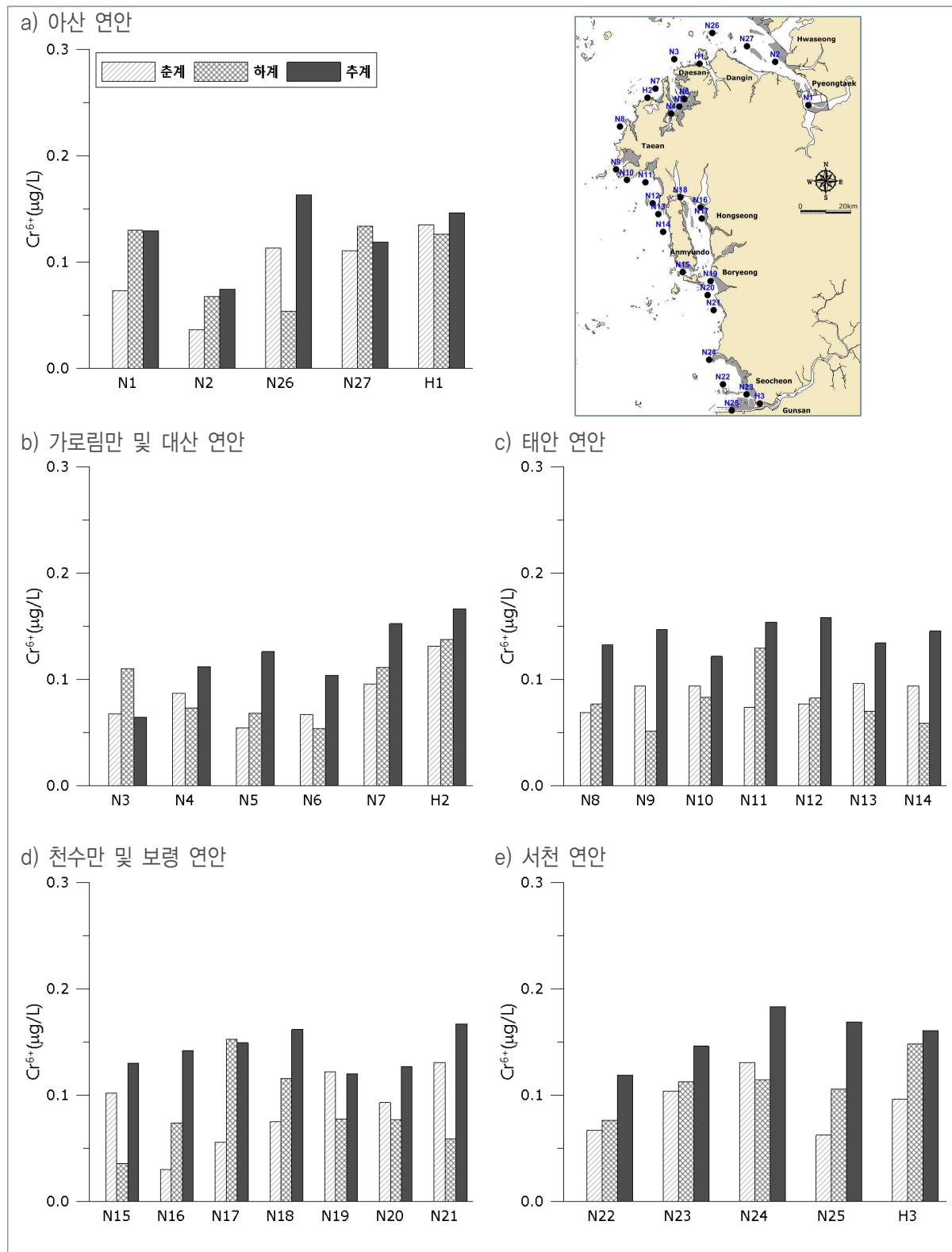
〈그림 3.3-23〉 해수 수질 중 일반항목 규산염 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 계절 및 정점별 분포(표층)



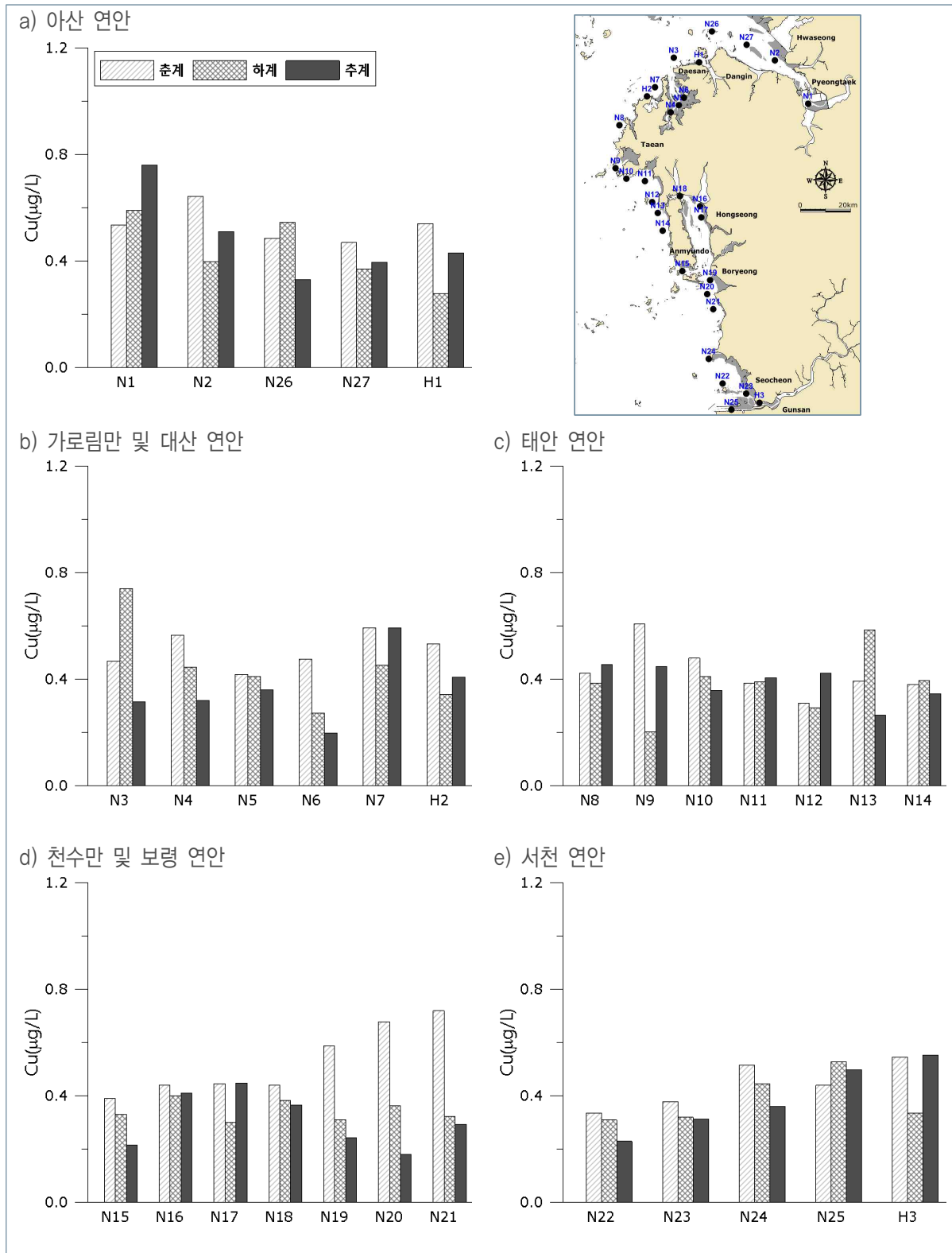
〈그림 3.3-24〉 해수 수질 중 일반항목 규산염 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)의 계절 및 정점별 분포(저층)



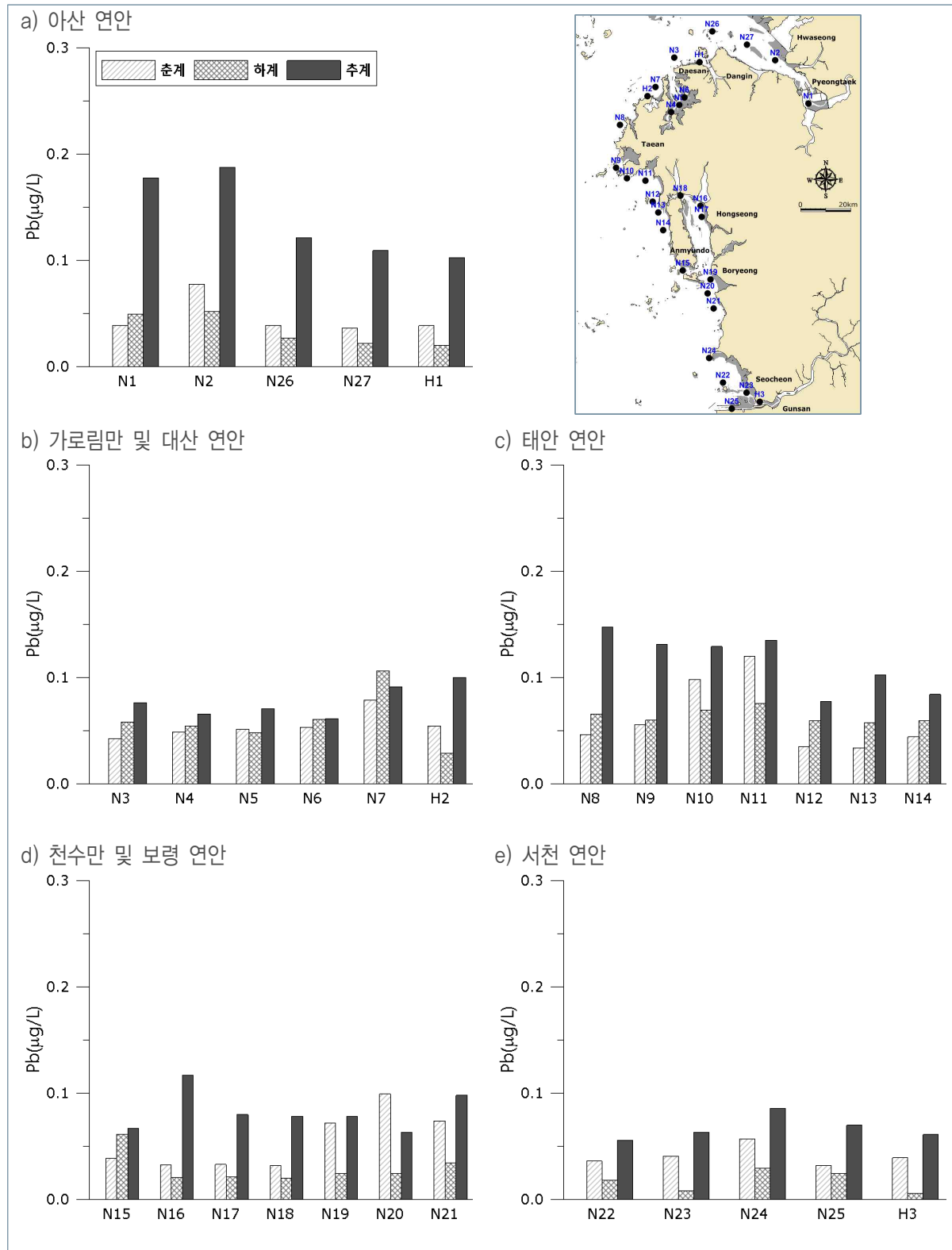
〈그림 3.3-25〉 해수 중 미량금속 카드뮴(Cd)의 계절 및 정점별 분포(표층)



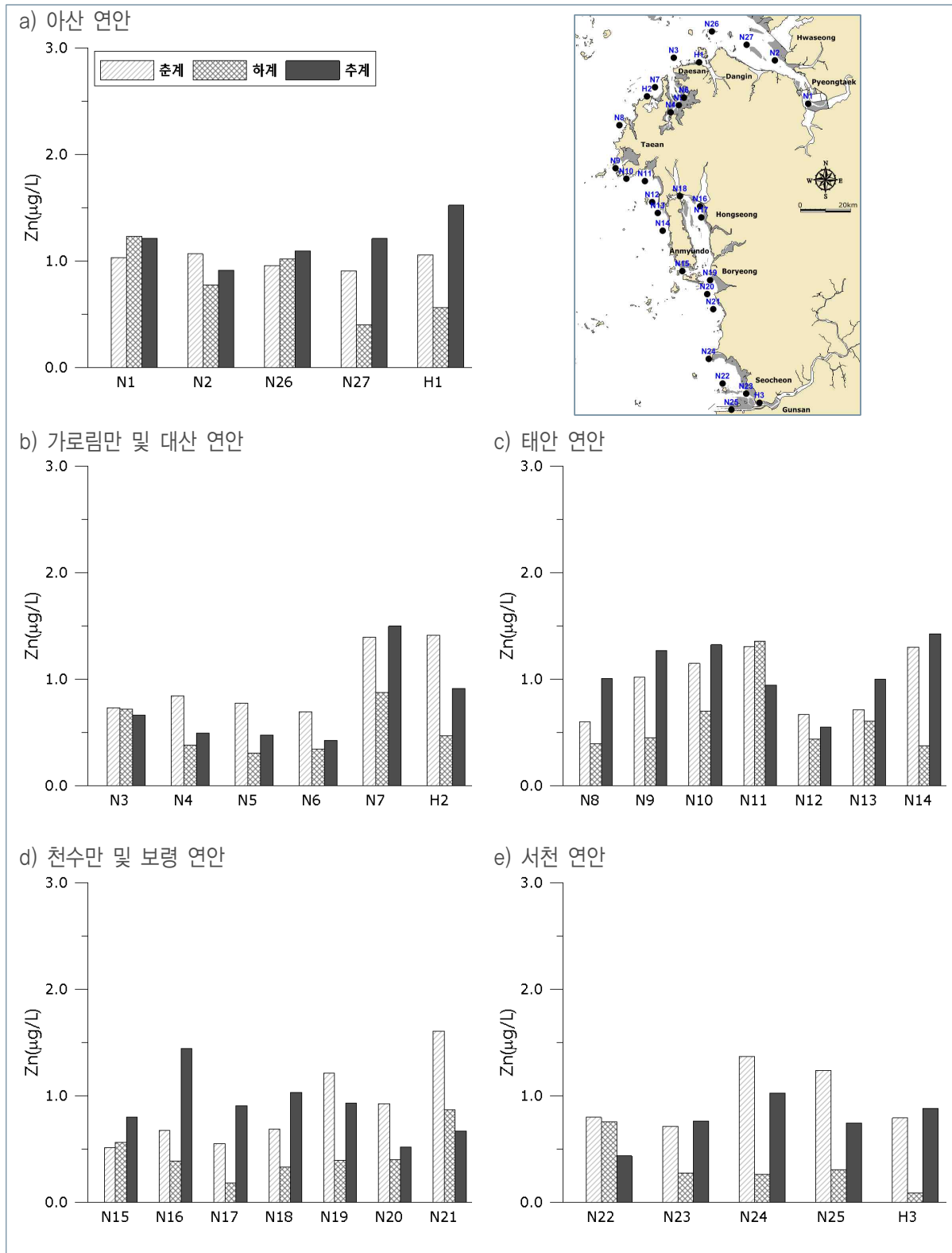
〈그림 3.3-26〉 해수 중 미량금속 크롬(Cr⁶⁺)의 계절 및 정점별 분포(표층)



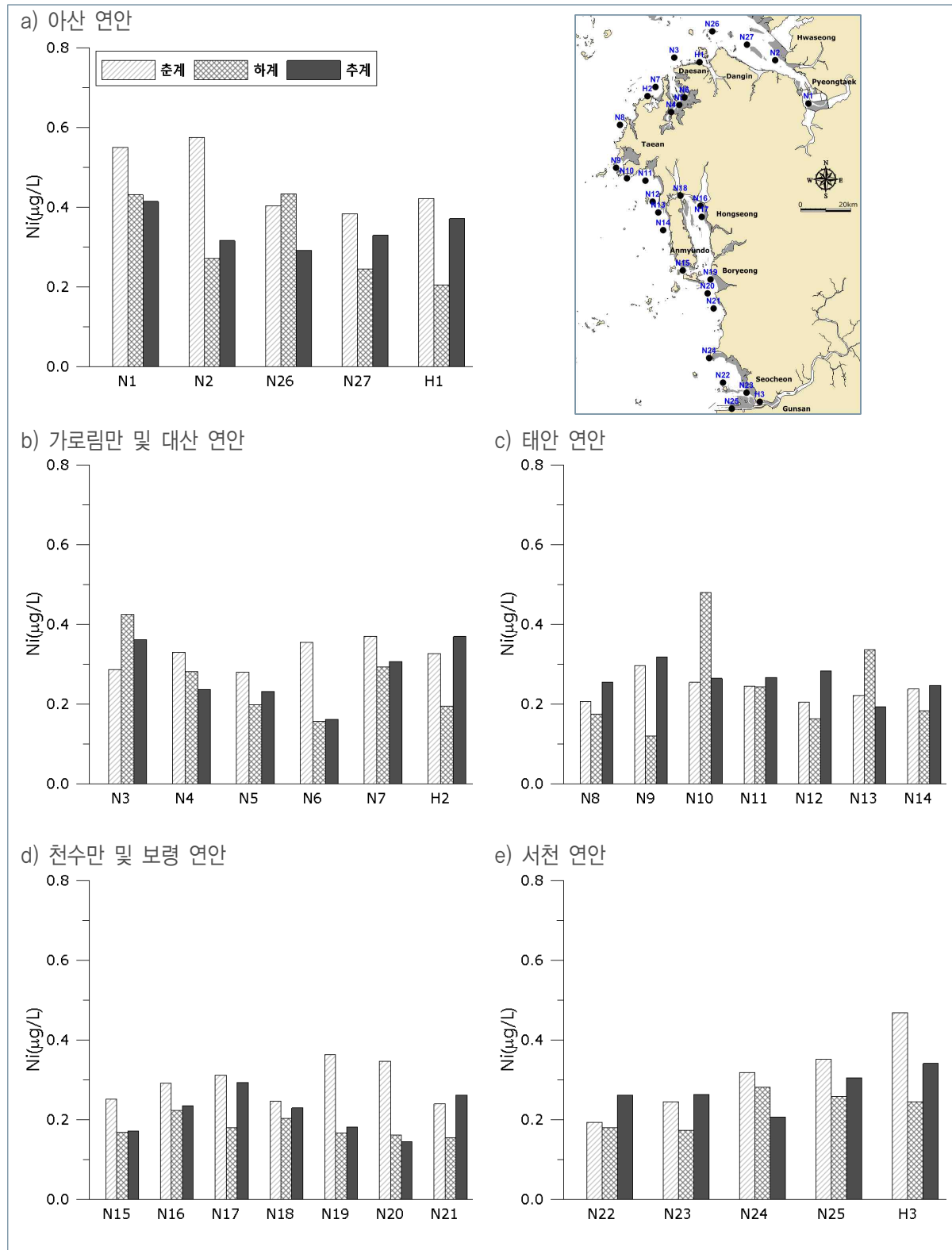
<그림 3.3-27> 해수 수질 중 미량금속 구리(Cu)의 계절 및 정점별 분포(표층)



<그림 3.3-28> 해수 수질 중 미량금속 납(Pb)의 계절 및 정점별 분포(표층)

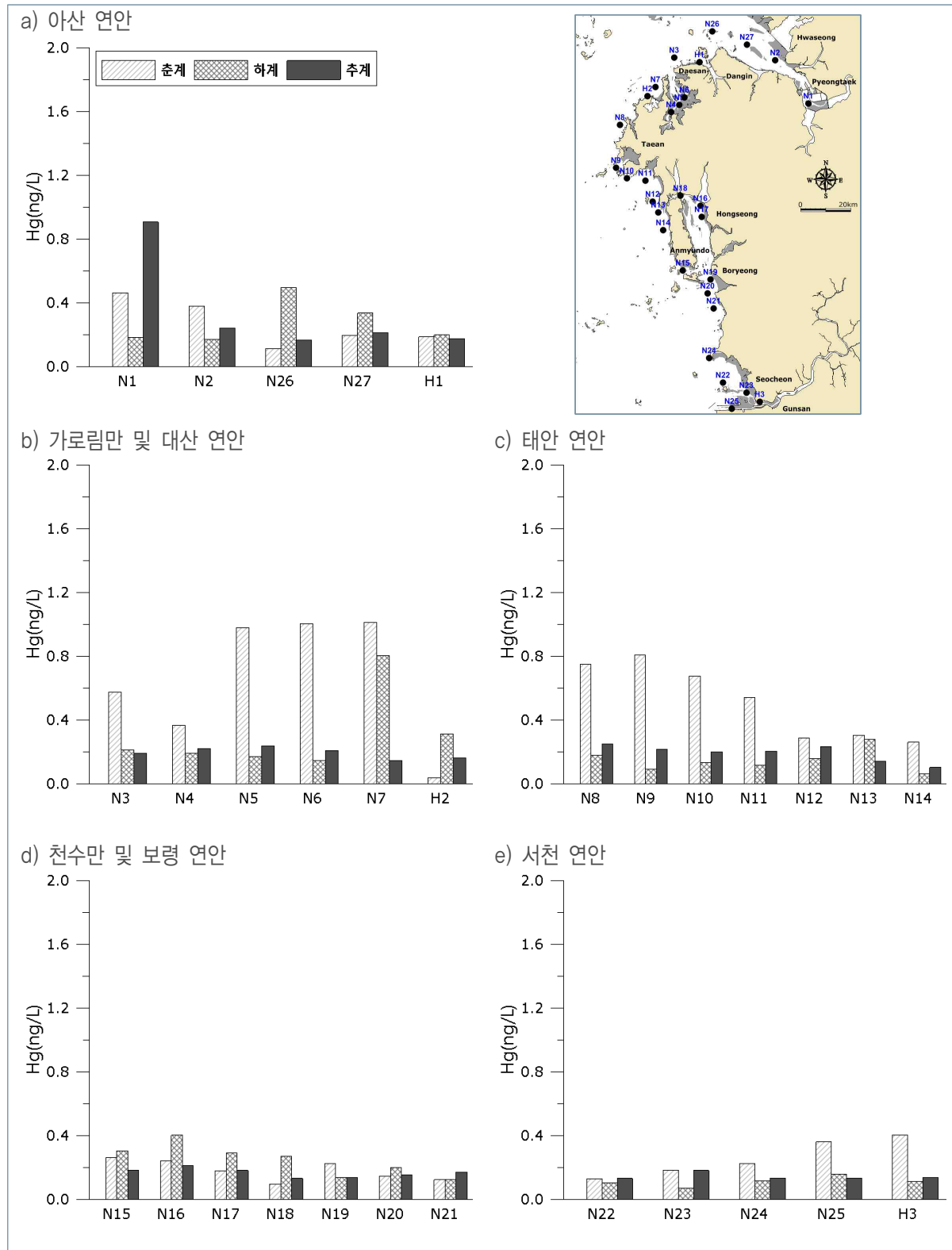


<그림 3.3-29> 해수 수질 중 미량금속 아연(Zn)의 계절 및 정점별 분포(표층)

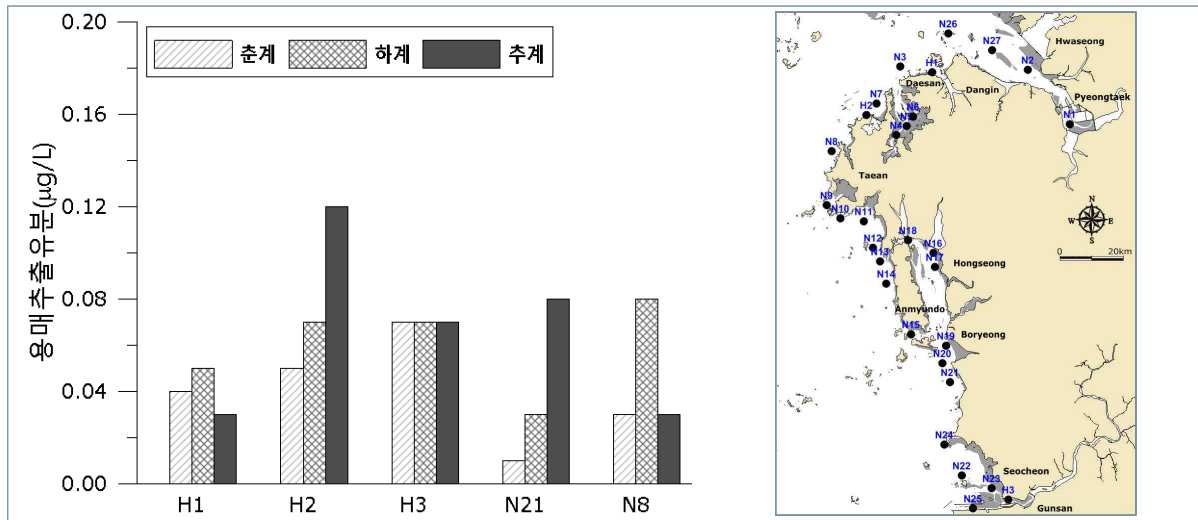


<그림 3.3-30> 해수 수질 중 미량금속 니켈(Ni)의 계절 및 정점별 분포(표층)





<그림 3.3-32> 해수 수질 중 미량금속 수은(Hg)의 계절 및 정점별 분포(표층)



〈그림 3.3-33〉 용매추출유분의 계절 및 정점별 분포(표층)

타. 생태기반 해수수질 기준

- 계절별 조사 결과를 바탕으로 생태기반 정점별 해수 수질 기준(수질평가지수, WQI)을 <표 3.3-11>~<표 3.3-13>, <그림 3.3-34>에 제시하였다.
- 생태기반 해수수질 기준을 산정하기 위해 대한민국 생태구역 구분도(<그림 3.3-35>)에서 서해중부생태구의 기준값을 적용하여 수질평가지수(Water Quality Index, WQI)를 산정하였다.

■ 춘계(2분기, 5월) WQI 결과

- 춘계 30개 정점의 WQI산정 결과 I 등급(매우 좋음)~II 등급(좋음) 비율은 63.3%이고, III 등급(보통) 비율은 16.7%, IV 등급(나쁨)~V 등급(매우 나쁨) 비율은 20.0%로 나타났다.
 - 1차년(2015년) 용역착수 이후 가장 나쁜 수준을 보였다.
- V 등급(매우 나쁨) 5개 정점 중 4개 정점이 서천 연안에서 나타났으며, Chl-a, 투명도, 저층 DO포화도 점수가 높았다.
 - 서천 연안의 수질 점수는 61~71점으로 나타났다(V등급 기준 : 60점 이상).

■ 하계(3분기, 8월) WQI 결과

- 하계 30개 정점의 WQI산정 결과 I 등급(매우 좋음)~II 등급(좋음) 비율은 6.7%이고, III 등급(보통) 비율은 20.0%, IV 등급(나쁨)~V 등급(매우 나쁨) 비율은 73.3%로 나타났다.
 - 8월 평균 I 등급~II 등급 비율 : 71.7%
- 하계 조사가 장마(중부지방 54일)와 태풍(한반도 영향 태풍 3개)시기 전후로 이뤄졌으며, 이로 인한 육지에서의 담수 방류와 해수 혼합, 기상학적 요소 등 다양한 요인이 작용했을 것으로 판단된다.
 - 특히 DIP(영양염류) 점수가 다른 조사에 비해 높게 산정되었으며, Chl-a와 저층 DO포화도 점수도 높게 산정되었다.
 - 그에 반해, 투명도는 3개 정점을 제외하고 1등급을 나타냈다.

■ 추계(4분기, 11월) WQI 결과

- 추계 30개 정점의 WQI산정 결과 I~II 등급 비율은 83.3%로 평년보다 좋은 수준으로 나타났으며, III 등급 10.0%, IV~V 등급은 6.7%로 좋은 수준으로 나타났다.
- IV 등급과 V 등급은 아산만과 서천연안(금강하구)에서 1개 정점이 나왔다.
 - 아산만은 영양염류와 투명도 점수가 높았고, 금강하구는 영양염류, Chl-a, 투명도 점수가 높았다.

〈표 3.3-11〉 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 춘계)

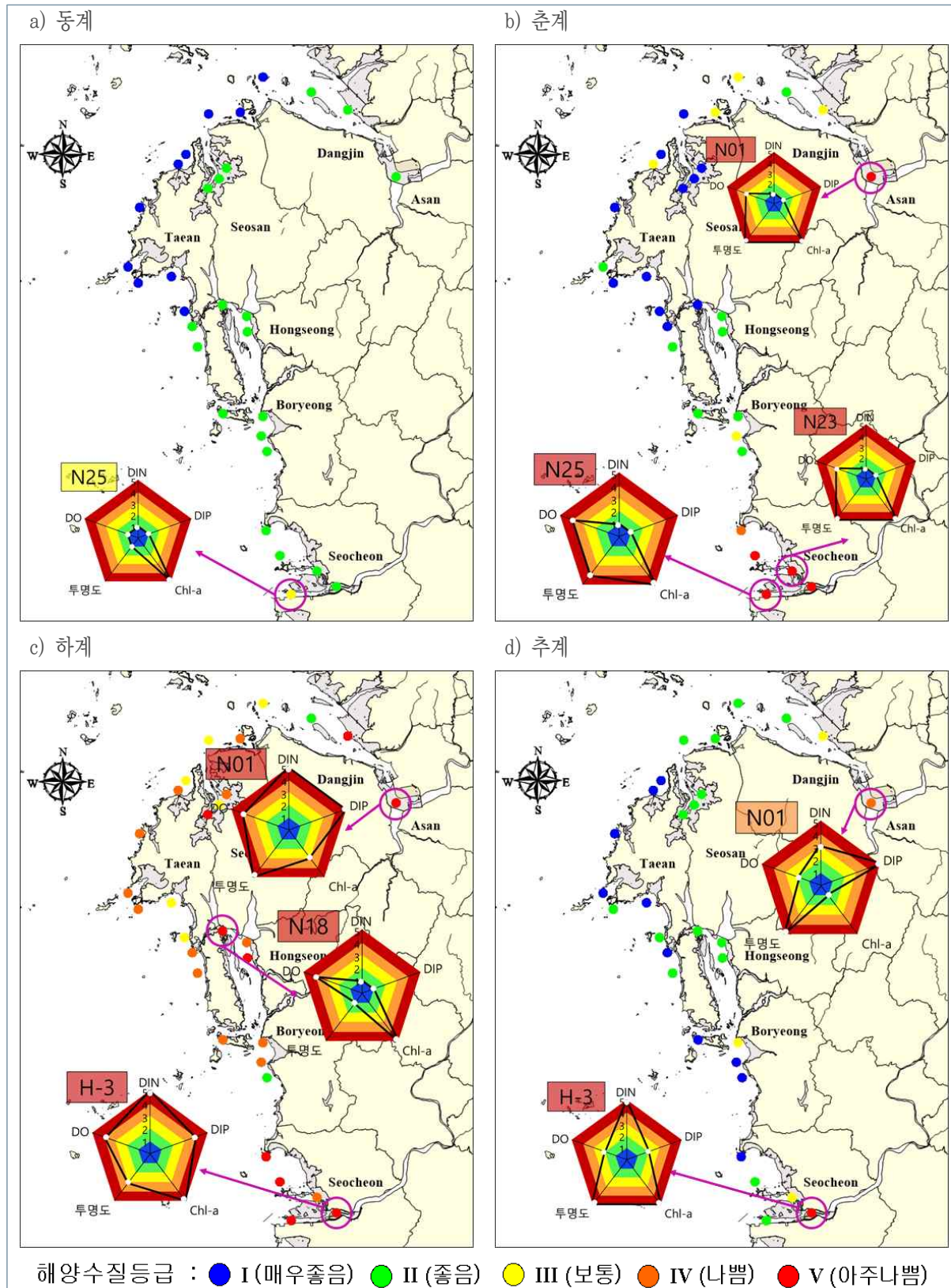
정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	5	3	5	1	1	64	5
N2	1	2	5	1	1	42	3
N3	1	1	1	1	1	20	1
N4	1	1	1	1	1	20	1
N5	1	1	1	1	1	20	1
N6	1	1	1	1	1	20	1
N7	1	1	1	1	1	20	1
N8	1	1	1	1	1	20	1
N9	1	1	4	1	1	29	2
N10	1	1	1	1	1	20	1
N11	1	1	1	1	1	20	1
N12	1	1	1	1	1	20	1
N13	1	1	2	1	1	23	1
N14	1	1	5	1	1	32	2
N15	1	1	5	1	1	32	2
N16	1	2	2	1	1	33	2
N17	1	2	1	1	1	30	2
N18	1	1	1	1	1	20	1
N19	1	1	3	1	1	26	2
N20	3	1	5	1	1	38	3
N21	1	1	5	1	1	32	2
N22	4	3	5	1	1	61	5
N23	5	3	5	1	1	64	5
N24	5	2	5	1	1	54	4
N25	4	4	5	1	1	71	5
N26	1	2	3	1	1	36	3
N27	1	2	1	1	1	30	2
H1	1	2	4	1	1	39	3
H2	3	1	4	1	1	35	3
H3	5	3	5	2	1	66	5

〈표 3.3-12〉 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 하계)

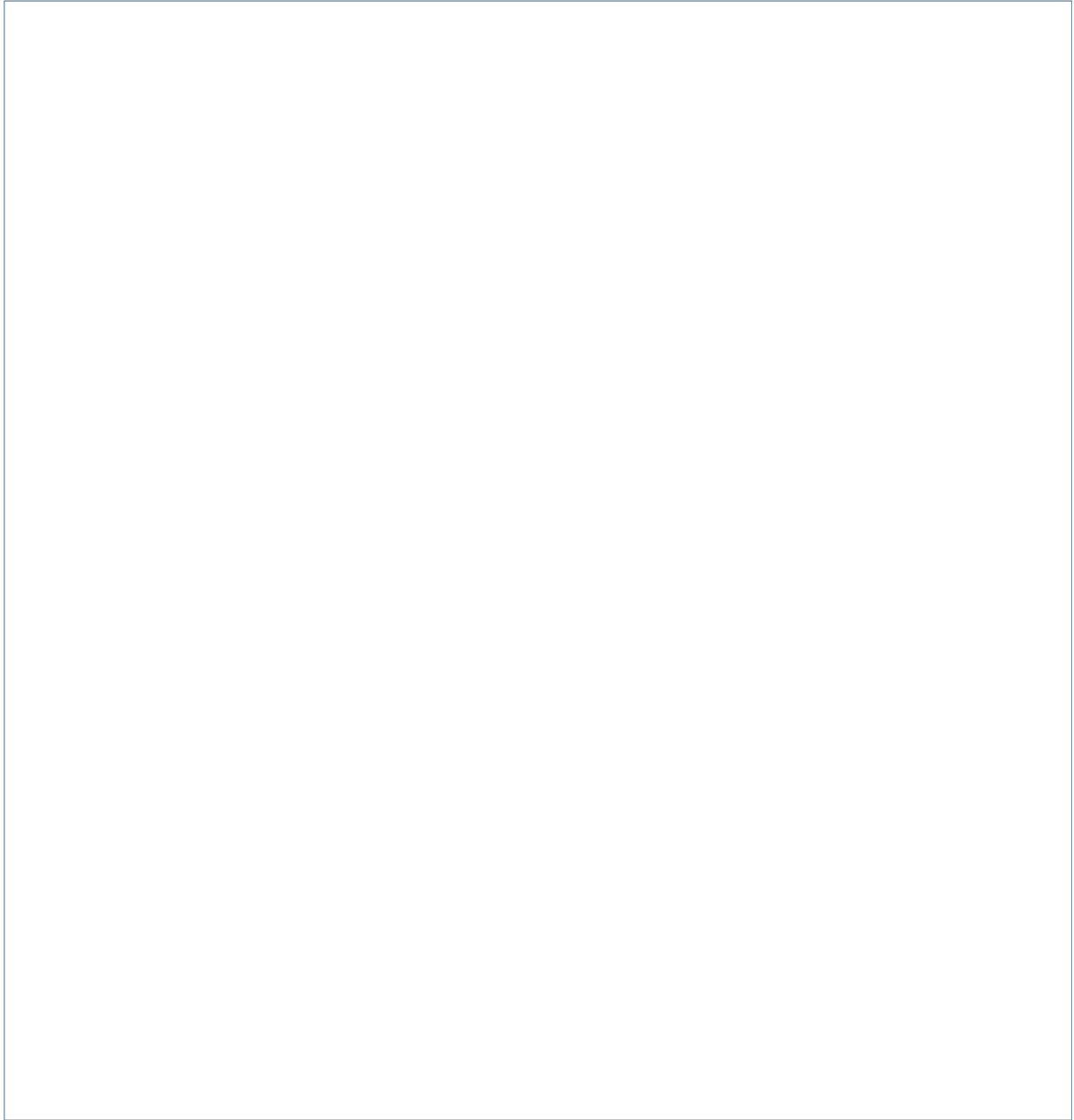
정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	5	4	3	5	5	84	5
N2	4	3	3	2	5	65	5
N3	1	2	5	1	1	42	3
N4	1	4	5	1	1	62	5
N5	1	3	2	1	1	43	3
N6	1	3	4	1	1	49	4
N7	1	3	1	1	1	40	3
N8	1	3	5	1	1	52	4
N9	1	3	5	1	1	52	4
N10	1	3	5	1	1	52	4
N11	1	2	5	1	1	42	3
N12	1	2	4	1	1	39	3
N13	1	3	5	1	1	52	4
N14	1	3	5	1	1	52	4
N15	1	3	5	1	1	52	4
N16	1	3	5	1	1	52	4
N17	1	4	5	1	1	62	5
N18	1	4	5	1	1	62	5
N19	1	3	5	1	1	52	4
N20	1	3	5	1	1	52	4
N21	1	1	5	1	1	32	2
N22	1	3	5	1	5	60	5
N23	1	2	5	1	5	50	4
N24	1	3	3	4	5	60	5
N25	1	3	5	5	2	62	5
N26	1	3	3	1	1	46	3
N27	1	2	1	1	1	30	2
H1	1	3	5	1	1	52	4
H2	1	3	4	1	1	49	4
H3	3	4	5	5	4	82	5

〈표 3.3-13〉 수질평가지수(WQI) 및 등급(2020년 추계)

정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	5	2	1	3	5	54	4
N2	1	2	1	1	4	36	3
N3	1	2	1	1	1	30	2
N4	1	2	1	1	1	30	2
N5	1	2	1	1	1	30	2
N6	1	2	1	1	1	30	2
N7	1	1	1	1	1	20	1
N8	1	1	1	1	1	20	1
N9	1	1	1	1	1	20	1
N10	1	2	2	1	1	33	2
N11	1	1	1	1	1	20	1
N12	1	1	4	1	1	29	2
N13	1	1	1	1	1	20	1
N14	1	1	4	1	1	29	2
N15	1	1	1	1	1	20	1
N16	1	1	5	1	1	32	2
N17	1	1	5	1	1	32	2
N18	1	1	5	1	1	32	2
N19	1	2	3	1	1	36	3
N20	1	1	2	1	1	23	1
N21	1	1	1	1	1	20	1
N22	1	1	5	1	1	32	2
N23	5	1	5	1	1	44	3
N24	1	1	2	1	1	23	1
N25	1	1	1	5	1	28	2
N26	1	2	1	1	1	30	2
N27	1	2	1	1	1	30	2
H1	1	2	1	1	1	30	2
H2	1	1	1	1	1	20	1
H3	5	2	5	5	2	64	5



<그림 3.3-34> 조사해역의 생태기반 해수수질(WQI) 분석 결과



〈그림 3.3-35〉 생태구역 구분도

파. 기존조사(해양환경측정망 결과)와의 비교

- 본 용역의 조사 결과와 인근 해역에서 해양환경공단에서 수행하는 해양환경측정망 자료를 비교하였으며, 해양환경측정망(2011~2019년)과 금회조사 결과(2020년)의 계절별 결과를 <그림 3.3-36>~<그림 3.3-41>에 제시하였다.

■ 부유입자물질(SPM)

- 표·저층간 유사한 분포를 보이는 지역이 있는 반면, 표·저층 간 차이를 보이는 지역도 있었으며, 해당 지역은 편차 또한 크게 나타났다.
- 특히, 하계 아산 연안과 천수만 연안의 편차도 크게 나타났다.

■ 화학적산소요구량(COD)

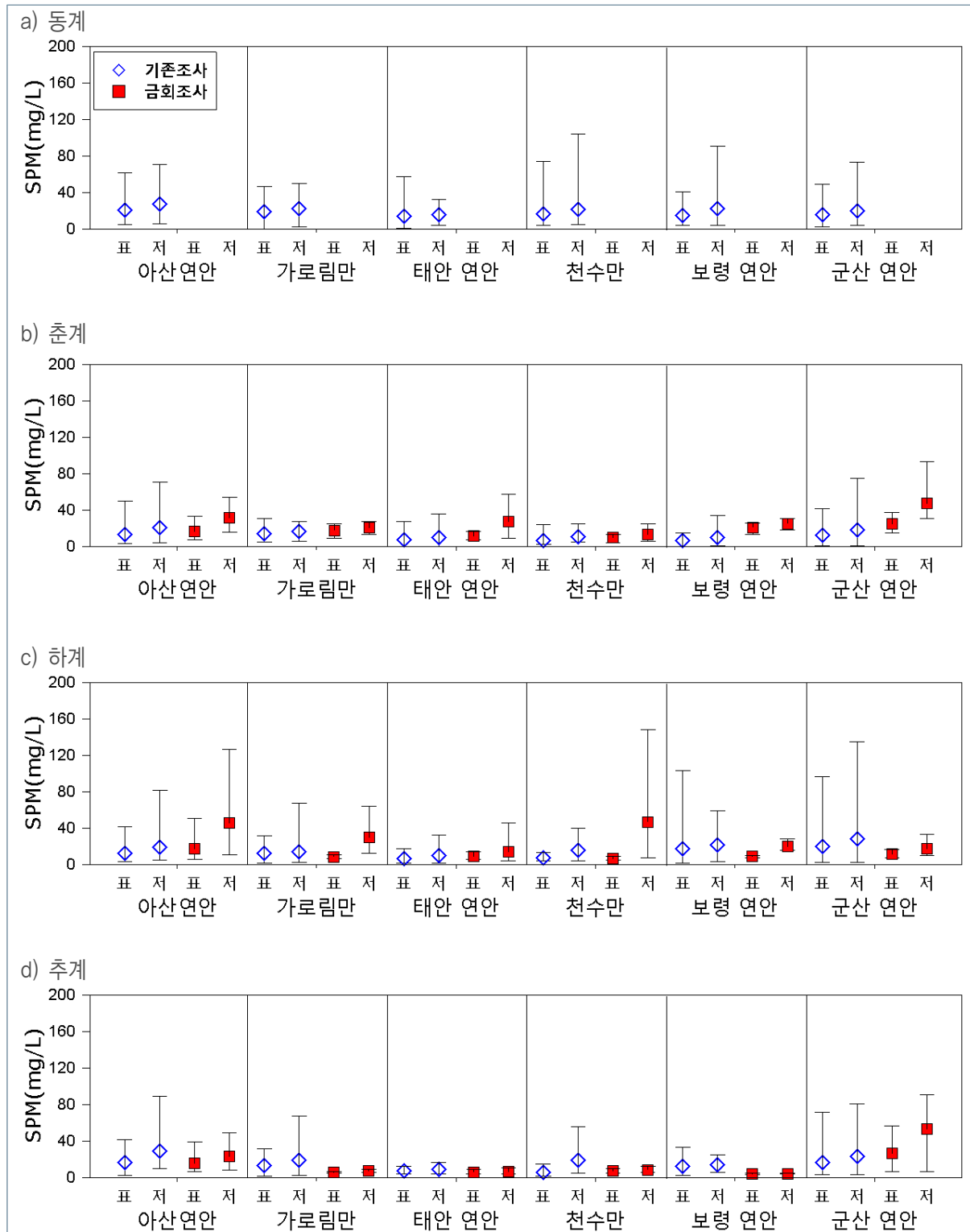
- 춘계와 추계에 표·저층간 유사한 평균값을 보이고 있고, 해양환경측정망에 비해 다소 높은 농도를 나타냈다.
- 하계에는 모든 연안에서 해양환경측정망 결과보다 높은 농도를 보였고, 농도의 편차도 큰 것으로 나타났는데, 이는 본 용역의 조사 정점이 연안에 더 인접해 있어 측정망 간 조사 정점의 위치적 특성으로 판단된다.

■ 총질소(TN), 총인(TP), 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP)

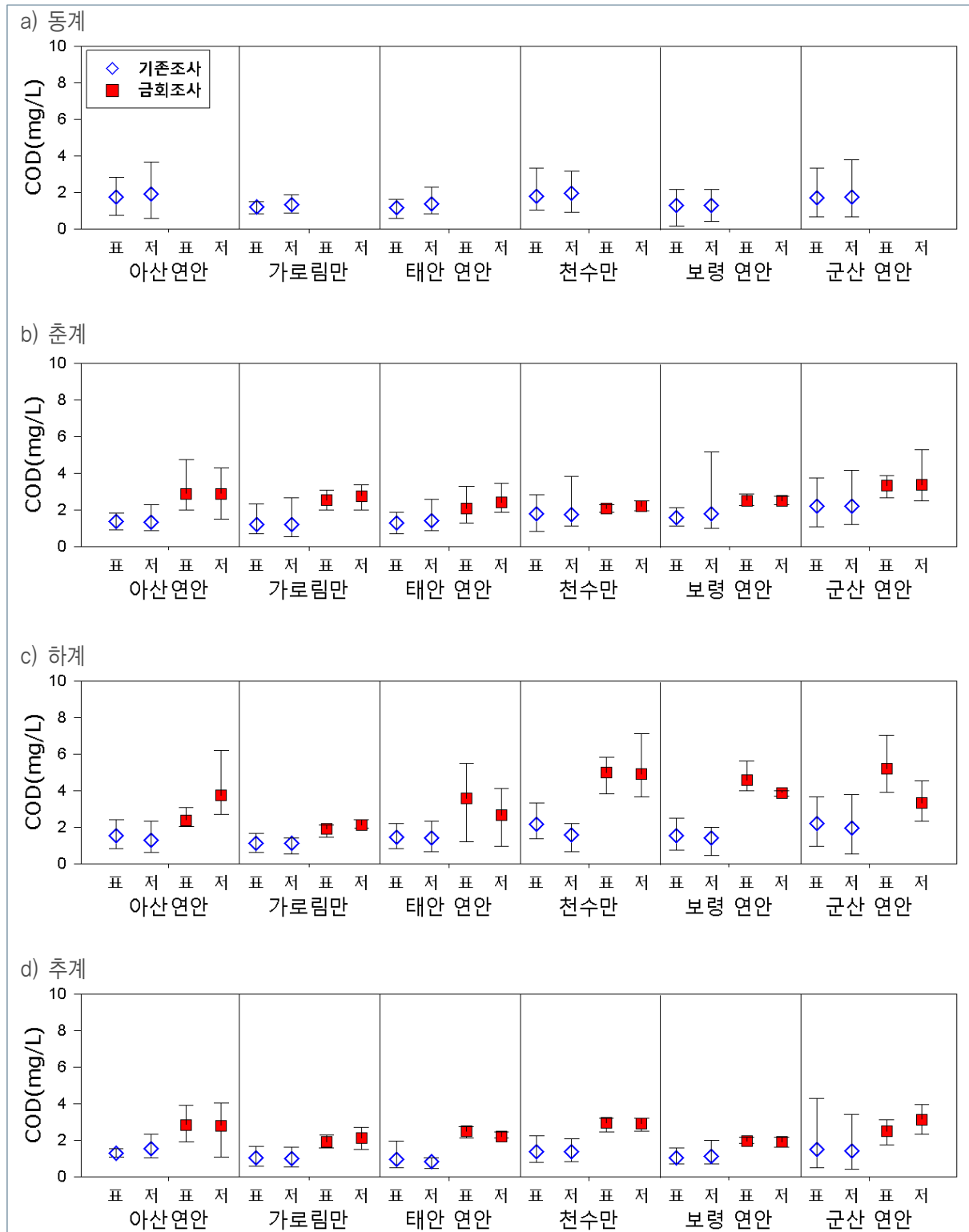
- 대부분 연안은 지역별·측정망별 차이가 크지 않은 것으로 나타났으나, 아산, 서천 연안 조사시기와 표·저층간의 차이가 큰 것으로 나타났다.
- 특히, 서천(군산) 연안은 하계와 추계 결과는 편차가 크게 나타났고, 두 측정망 모두 비슷한 경향을 보였다.

■ 종합평가

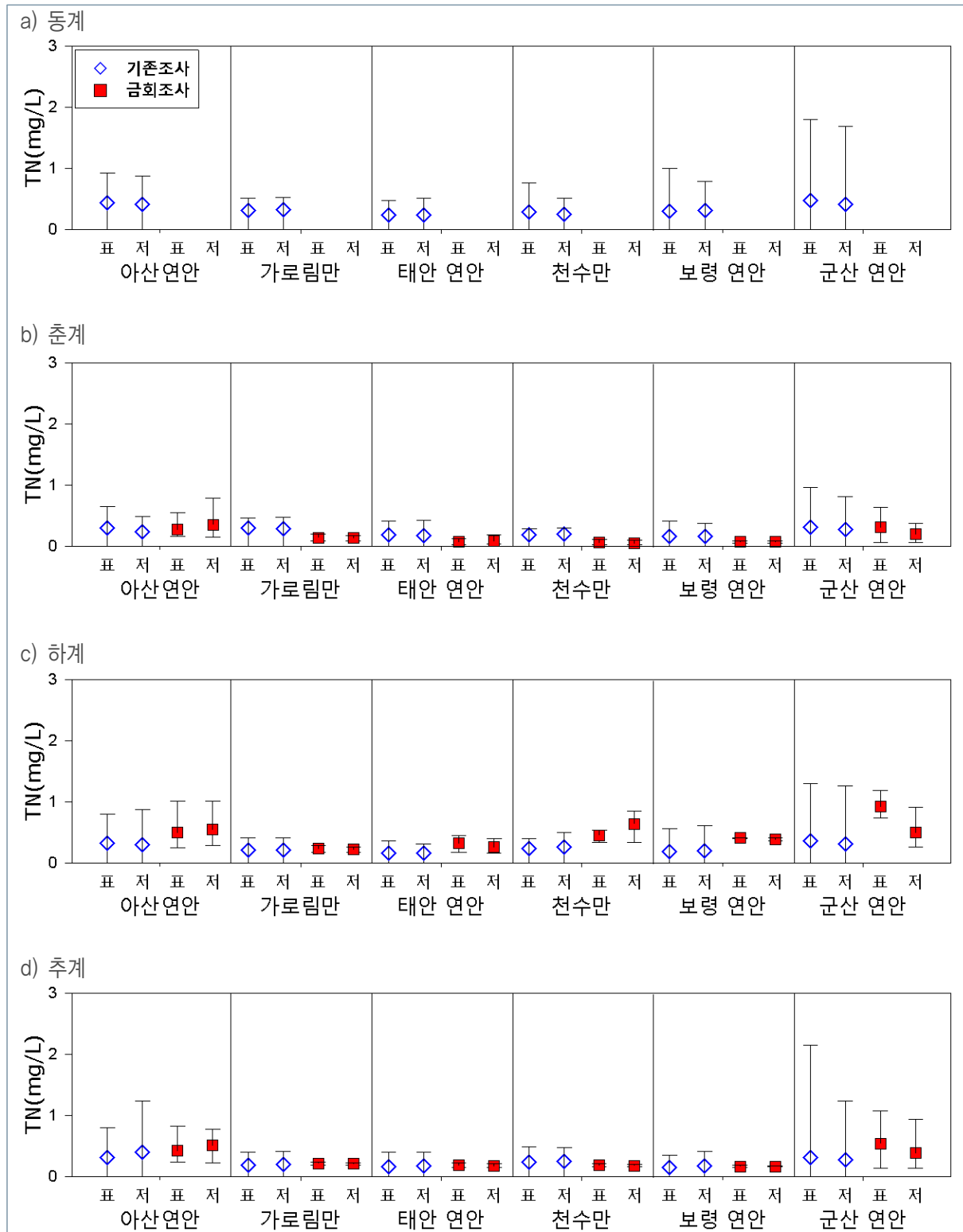
- 두 측정망 간 자료를 비교한 결과, 본 용역의 결과가 상대적으로 높은 농도를 보이고 있으며, 표·저층간의 차이도 뚜렷하게 나타났다.
- 아산 연안, 천수만, 서천(군산) 연안에서는 두 측정망 모두 각 층별 농도 분포 차이가 큰 것으로 분석되었다.



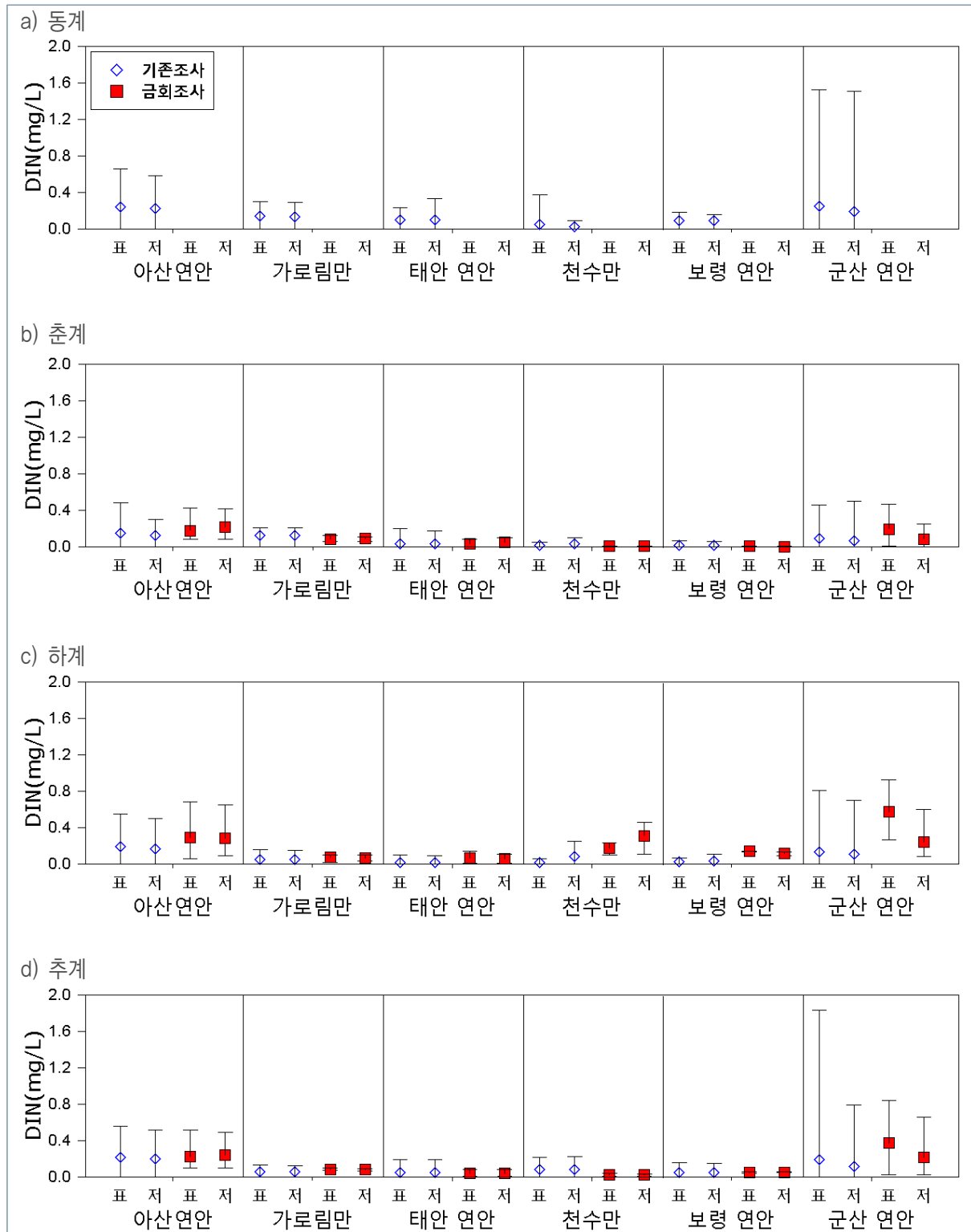
〈그림 3.3-36〉 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(부유입자물질)



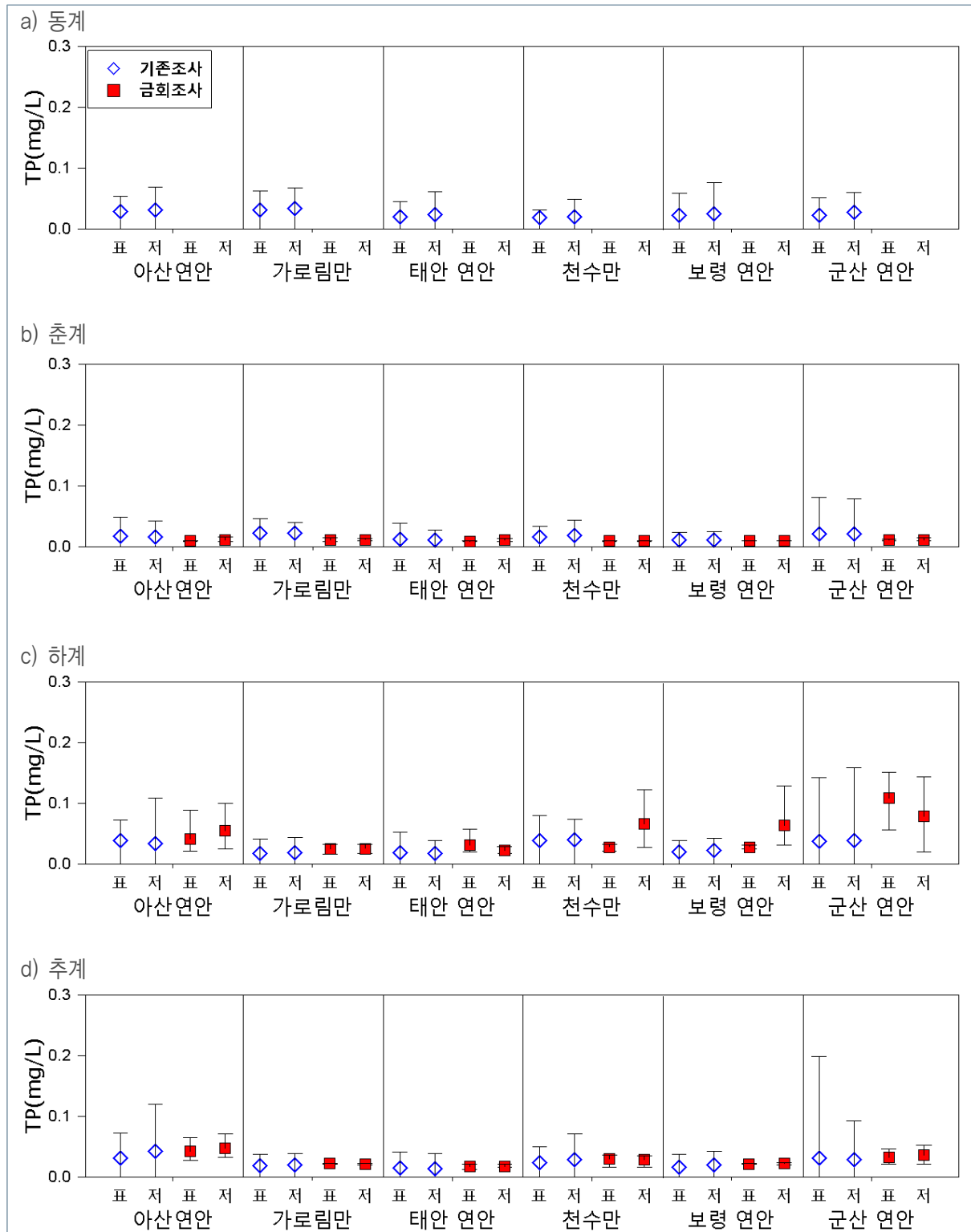
〈그림 3.3-37〉 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(화학적산소요구량)



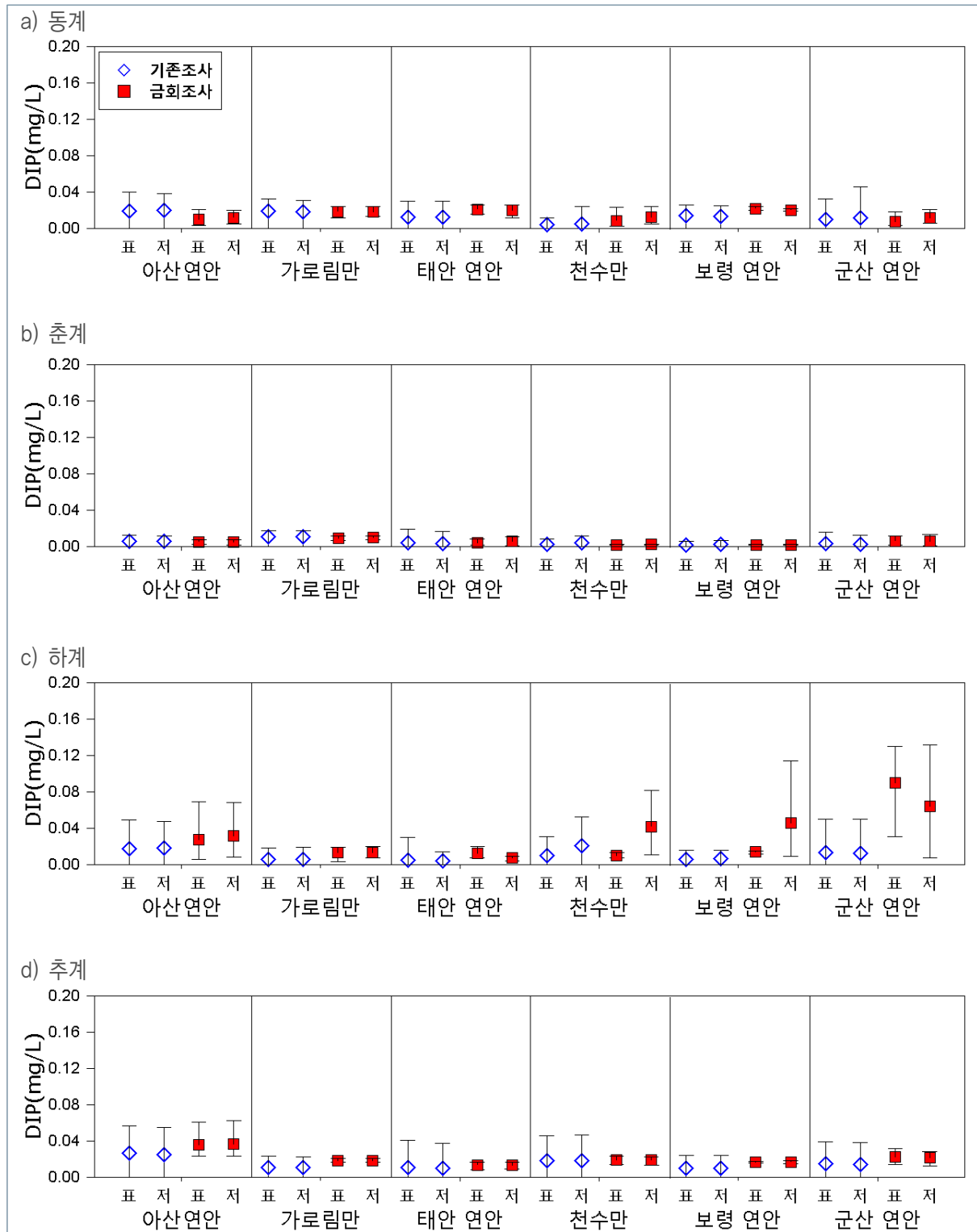
〈그림 3.3-38〉 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(총질소)



<그림 3.3-39> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(용존무기질소)



<그림 3.3-40> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(총인)

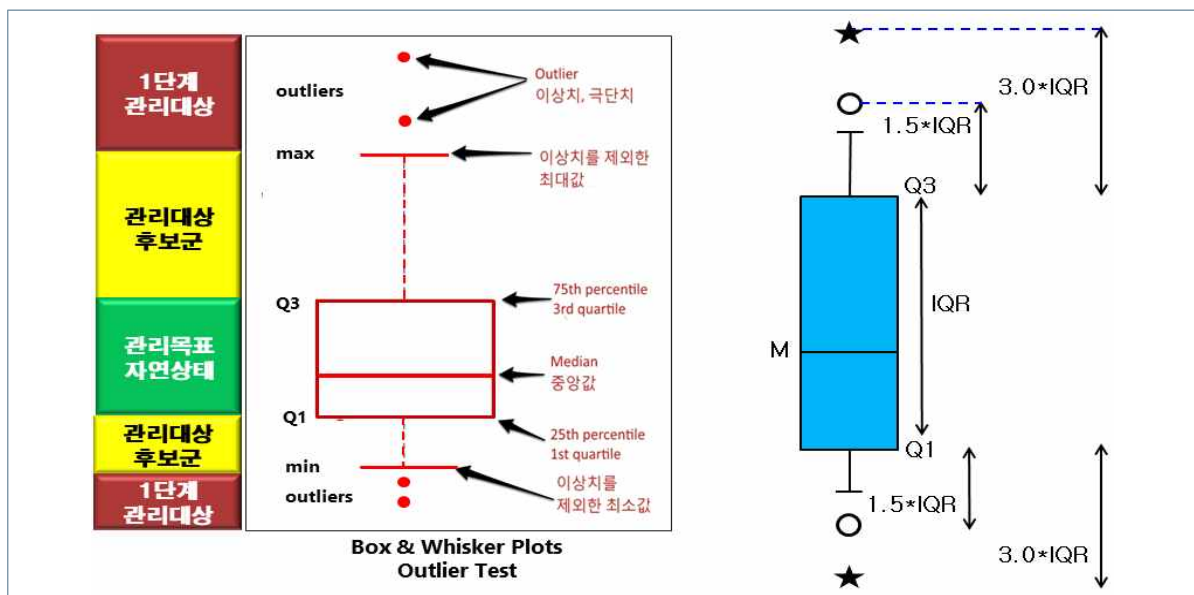


<그림 3.3-41> 기존조사(해양환경측정망)와 '20년 조사결과 비교(용존무기인)

3.3.2. 관리대상 해역 구분

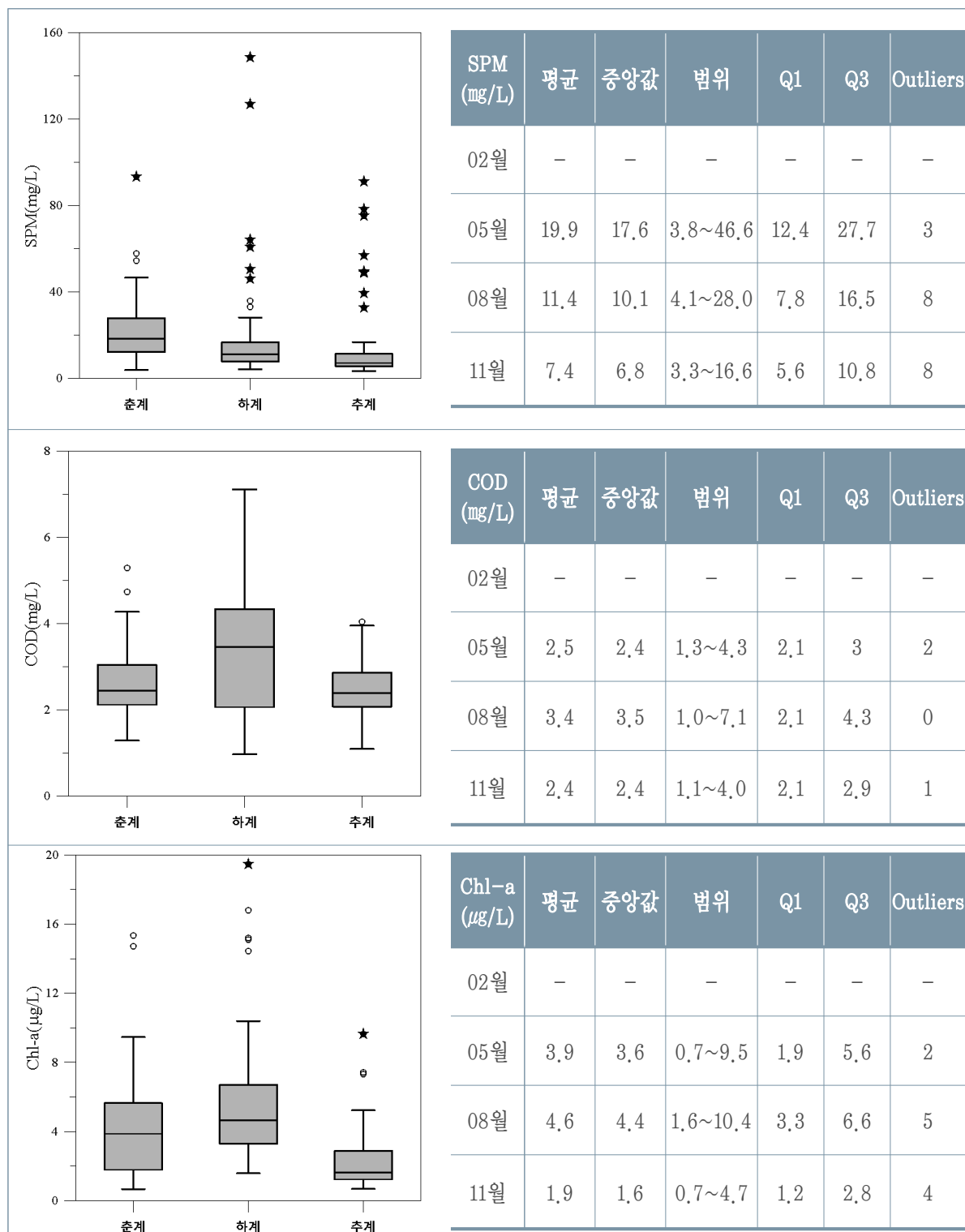
가. Box Plot을 통한 해역 관리항목 및 관리 목표 설정

- 정기조사 결과를 사분위수 범위(Inter Quartile Range : IQR)를 이용하여 이상점(Outlier)를 도출하였다.
- 분석항목 : COD, SPM, DIN, DIP, SiO₂-Si, TN, TP, Chl-a
- 분석에는 Box-Whisker 그래프를 활용했고, 제1사분위값(25%, Q1)과 제3사분위값(75%, Q3)을 상자(Box)로 제시하였다.
- 여기서 Q3(75% 범위수, 제3사분위값)부터 사분위수(IQR)의 ± 1.5 배 값이 더해진 범위까지를 관리대상 범위군으로 정의하며, 이 범위를 벗어난 값들을 이상치 값으로 본다("o"로 표시).
- 또한 Q3(75% 범위수, 제3사분위값)부터 사분위수(IQR)의 ± 3.0 배 값이 더해진 수치(극단치)를 초과하는 값은 "★"로 표시하였으며, 1단계 직접적 관리가 필요한 범위라고 할 수 있다.
- 이를 활용하여 평균 범위(25%~75%)를 벗어난 관리대상 후보군을 탐색하고, 이상치 또는 극단치로 구분되는 관리대상 지점에 대한 자료 분석이 가능하다.
- 충남 연안의 관리항목을 도출함과 동시에 항목별 기저데이터 범위(baseline) 및 관리목표 도출과 계절적인 장기변동 특성을 파악할 수 있다.
- 도표에서 Q1과 Q3은 관리목표 및 자연 상태의 범위를 나타낸다.
- Q3~최대값(이상치를 제외한 최대) 범위에 분포하는 지점은 관리대상 후보군에 포함된다.
- Outliers는 이상치(극단치)를 나타내는 정점수를 나타내고, 관리대상 해역에 포함된다.

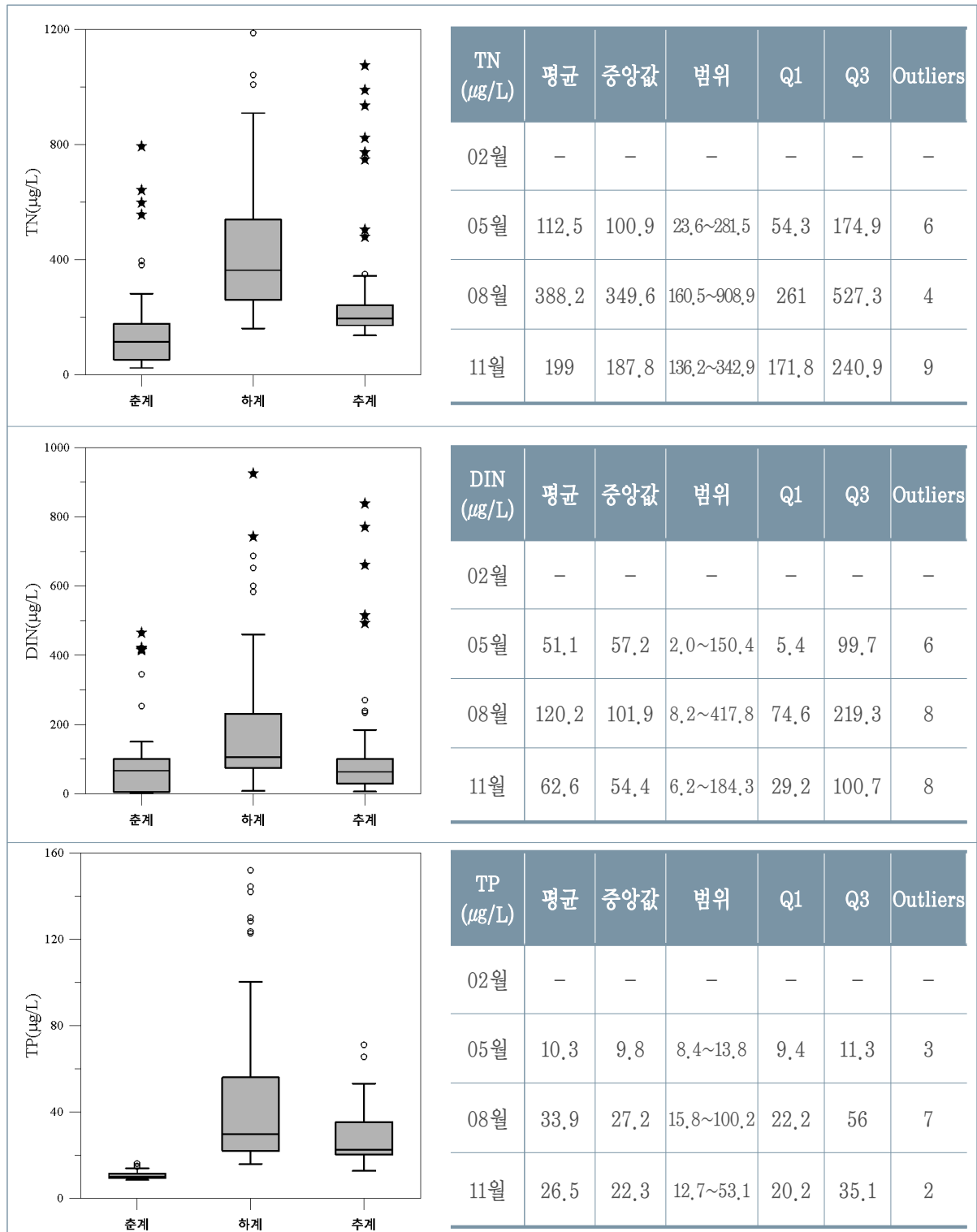


〈그림 3.3-42〉 Box Plot의 의미

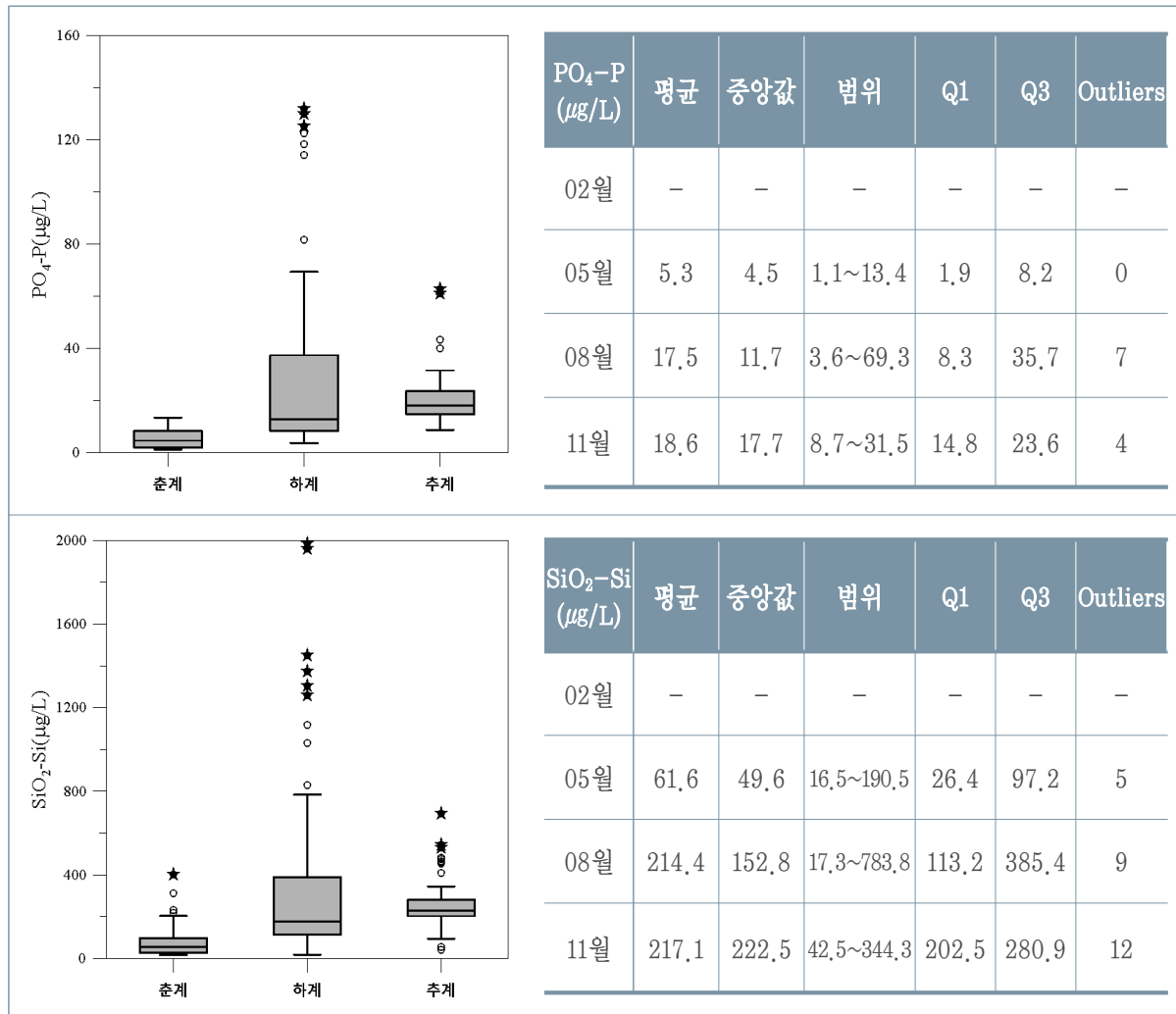
나. 해수 수질의 계절별 특성



〈그림 3.3-43〉 계절별 이상점 분포 특성(Box-Whisker plot)



〈그림 3.3-43〉 계 속

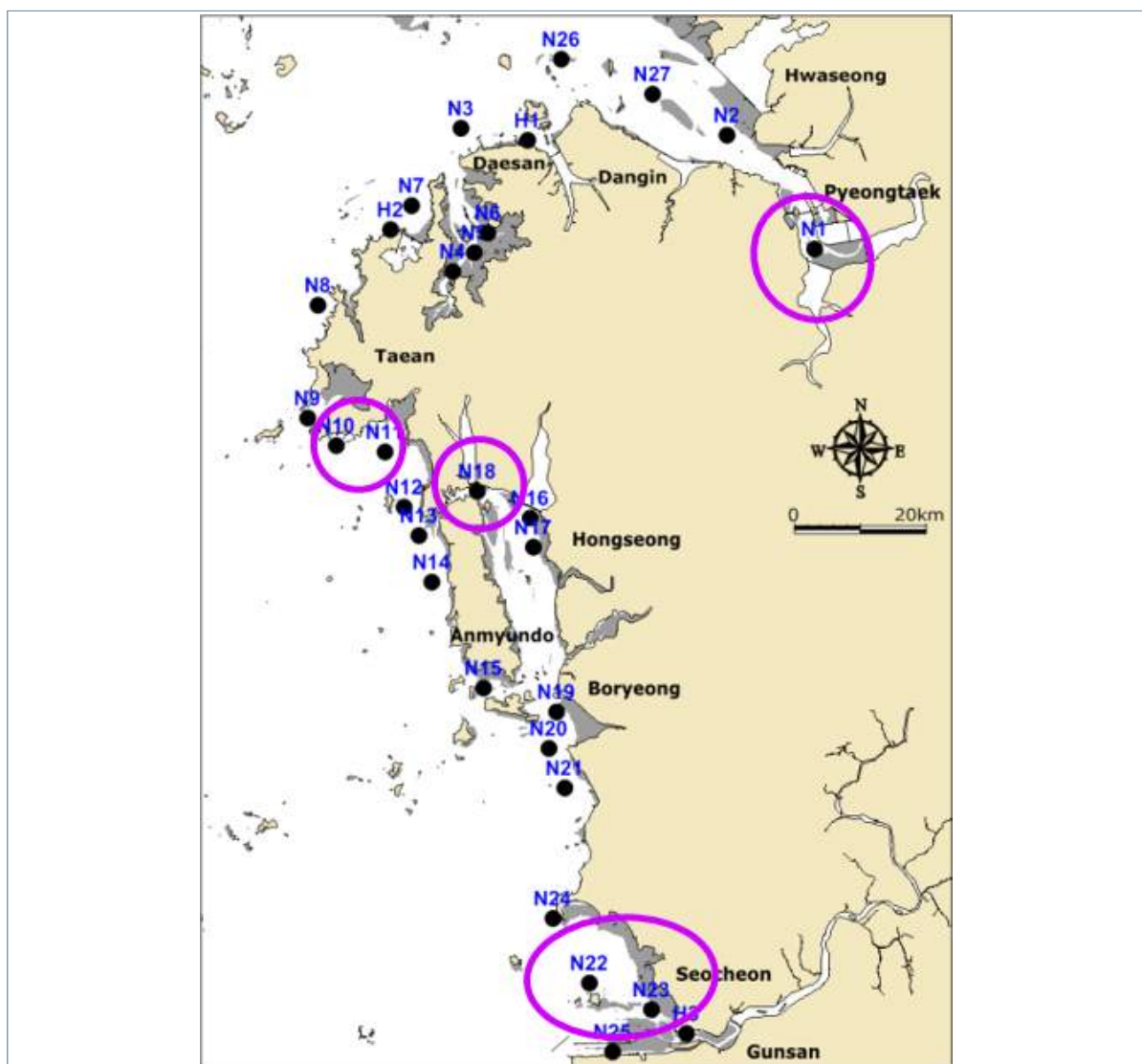


<그림 3.3-43> 계 속

<표 3.3-14> 충청남도 연안의 수질 일반항목별/시기별, 이상치(“★, o”) 기록 정점

구분	COD	Chl-a	SPM	TN	TP	SiO ₂ -Si	DIN	DIP
춘계	N1-표 N23-저	N23-표 N23-저	N9-저 N23-저 H1-저	N1-표, 저 N25-저 H1-저 H3-표, 저	H1-저 H2-표 H3-저	N4-표 N23-저 N25-표 H3-표, 저	N1-표, 저 H1-저 N25-표 H3-표, 저	
하계		N10-표 N11-표 N18-저 N22-표 N23-표	N1-표, 저 N2-저 N4-저 N6-저 N14-저 N18-저 H3-저	N1-표, 저 N25-표 H3-표	N18-저 N21-저 N22-표, 저 N23-표, 저 N24-표	N1-표, 저 N2-표 N18-저 N23-표 N24-표 N25-표 H3-표, 저	N1-표, 저 N2-표 N18-저 N24-표 N25-표 H3-표, 저	N18-저 N21-저 N22-표, 저 N23-표, 저 N24-표
추계	N1-저	N16-표 N17-표 N18-표, 저	N1-표, 저 N23-표, 저 N25-저 N27-저 H3-표, 저	N1-표, 저 N2-표, 저 N25-표, 저 H1-표 H3-표, 저	N1-표, 저	N1-표, 저 N2-표, 저 N23-표, 저 N25-표, 저 H3-표, 저	N1-표, 저 N2-표, 저 N25-표 H2-저 H3-표, 저	N1-표, 저 N2-표, 저

- <표 3.3-14>, <그림 3.3-43>를 살펴보면, 수질 항목에서 이상치를 보인 정점은 대부분 아산만 내측, 천수만 내측, 금강하구에 위치하고 있다.
- TN, TP 자료에 제시된 환경기준은 과거 해역 생활기준을 사용했으며, 현재 수질에 대한 환경기준은 수질평가지수만 사용되고 있다.
- 특히, 8월 영양염류 항목에서 많은 정점이 이상치를 보였고, 2020년 WQI 악화 현상에 영향을 준 것으로 판단된다.
- WQI IV등급(나쁨)~V(매우 나쁨)등급은 1차원 용역착수 이래 가장 높은 비율을 보였다.



<그림 3.3-44> 충남해역 수질 관리 대상 후보군 지점

3.3.3. 연차별 수질 결과 분석

가. 서해안 권역 해양환경측정망

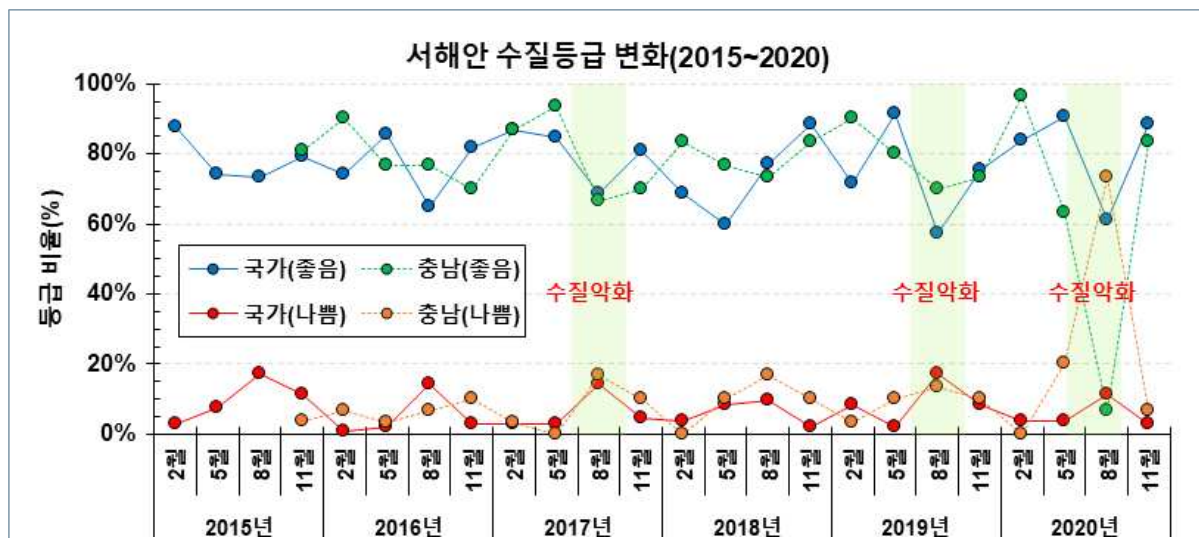
- 수질평가지수(WQI)는 해수 내 5가지 항목(저층 DO포화도, Chl-a, DIN, DIP, 투명도)을 활용하여 I등급(매우 좋음)~V등급(매우 나쁨)을 결정하는 지표이다.
- 이 5가지 항목은 현장의 기상 상황 등 다양한 이벤트로 인해 수치가 민감하게 변하고, 그로 인해 WQI 산정결과에 큰 영향을 주고 있다.
- 본 용역의 1차년도 결과부터 2020년까지 약 5년간의 WQI를 분석한 결과 특정 월 또는 특정 기간에 수질이 악화하는 현상이 빈번히 나타났다.
- 해당 현상을 서해안 권역에서 운영 중인 해양환경측정망 결과와 비교하여 충청남도 연안에 나타나는 일시적인 현상인지, 서해안 권역에 발생하는 현상인지 분석하였다.



<그림 3.3-45> 서해안 권역 해양환경측정망

■ 서해안 WQI 등급 변화

- 해양환경공단(KOEM)에서 운영 중인 해양환경측정망과 본 용역에서 수행 중인 서해안 연안환경측정망 2015년~2020년까지의 수질평가지수를 비교했다.
 - 해양환경측정망은 KOEM에서 제공받아 해남만 연안~시화호까지 105개 정점을 분석했다.
 - 서해안 연안환경측정망은 아산만~금강하구까지 30개 정점을 분석했다.
- 분석 결과 2017년 하계, 2019년 하계, 2020년 하계에 충남 연안을 포함한 서해안 권역의 좋음 이상의 등급(I 등급~II 등급)비율이 일시적으로 낮아졌다.
- 특히 2020년 하계(8월) 충청남도 연안의 WQI 좋음 이상 등급(I 등급~II 등급) 비율은 6.7%에 불과하고, 나쁨 이하 등급(IV등급~V 등급) 비율은 73.3%에 달해 기록적인 해수 수질 악화가 나타났다. 이는 최장기간 장마(54일간) 지속에 따라 높은 농도의 유기물이 포함된 육상 담수의 바다로의 유입이 상당기간 지속되었기 때문으로 보인다.
- 충남 연안은 하계 아산만과 천수만, 서천 연안의 수질이 WQI 좋음 이상의 등급(I 등급 ~ II 등급) 비율에 큰 영향을 미치는데, 2020년 하계에는 전 연안의 수질이 일시에 악화되어 낮은 WQI 좋음 이상의 등급 비율이 나타났다.
- 2017년에는 Chl-a, 투명도, 저층 DO포화도의 점수가 높아 WQI 산정에 영향을 줬으며, 2019년에는 Chl-a, 투명도, 영양염류에 의한 영향이 컸고, 2020년에는 Chl-a, 저층 DO포화도, 영양염류에 의한 영향이 큰 것으로 분석되었다.
- 국가측정망에서도 비슷한 현상이 나타났으며, 2017년, 2019년, 2020년 하계의 수질악화 현상은 서해안 권역 전체에 나타난 현상으로 판단된다.



〈그림 3.3-46〉 서해안 권역 WQI등급 변화

■ 충청남도 WQI 등급 변화

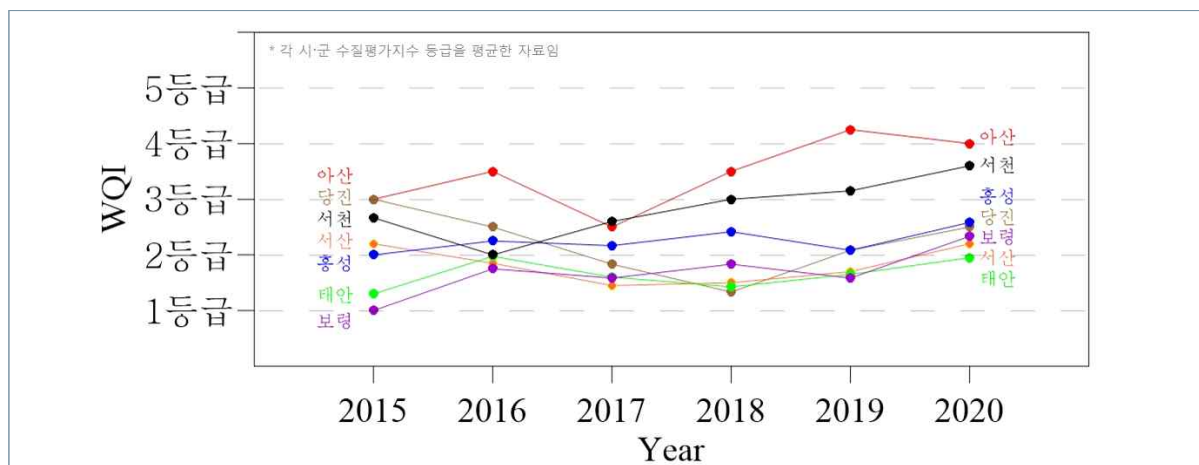
- 5년간 모니터링의 결과를 바탕으로 충청남도 7개 시·군 연안의 WQI 등급을 분석했다.
 - 조사기간 : 2015년 11월~2020년 11월(약 5년)
 - 30개 정점 : 아산시(1), 당진시(3), 서산시(5), 태안군(10), 홍성군(3), 보령시(3), 서천군(5)
- 2020년 2월 조사는 COVID-19 영향으로 수행하지 못하였으나, 조사정점 인근의 타 기관 측정망 자료(KOEM, 해양환경측정망)를 활용하여 WQI 등급을 적용했다.
- 2015년~2019년까지 I 등급(매우 좋음)~II 등급(좋음)의 비율은 약 78~79%를 유지했다.
 - 120개 정점 중 94~95개 정점이 좋음 이상의 등급을 보임
- 2015년~2019년까지는 8~11개 정점에서 IV등급(나쁨)~V 등급(매우 나쁨)이 나타나고 있으며, 대부분 아산만과 천수만, 서천 연안으로 분석되었다.
 - 해당 지역은 5년간의 수질 자료 분석을 통해 충남 연안에서 가장 나쁜 수질을 보이는 지역으로 나타났다.
- 2015년~2019년까지 충남 연안의 수질은 양호한 수준을 유지하는 것으로 나타났다.
- 그러나 2020년 I~II등급의 비율은 약 62.5%, III등급 12.5%, IV~V등급 25.0%로 나타났다.
- 2020년은 5월과 8월 전 연안에 걸쳐 수질이 악화되는 현상으로 인해 평년 대비 좋음 이상의 등급 비율이 가장 낮았고, 11월에는 평년에 비해 좋은 수준을 보였다.
- WQI 산정에 가장 큰 영향을 준 항목으로는 5월 Chl-a, 저층 DO포화도, 투명도였으며, 8월 Chl-a, 저층 DO포화도, 영양염류로 나타났다.
- 특히 하계조사는 최장기 장마(중부지방 54일)와 한반도 영향 태풍 3개로 인해 안정적인 시료 채취에 어려움이 존재하였으며, 대규모 담수방류 및 태풍으로 인한 해저 유기퇴적물의 부유 영향 등이 수질 등급 변화의 원인으로 판단된다.

〈표 3.3-15〉 충청남도 연안의 WQI등급 변화(2015년~2020년)

구분	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
정점수 (4회조사)	26	120	120	120	120	120
I 등급	11(42.3%)	27(22.5%)	54(45.0%)	50(41.7%)	36(30.0%)	31(25.8%)
II 등급	10(38.5%)	67(55.8%)	41(34.2%)	45(37.5%)	58(48.3%)	44(36.7%)
III 등급	4(15.4%)	18(15.0%)	16(13.3%)	14(11.7%)	15(12.5%)	15(12.5%)
IV 등급	1(3.8%)	7(5.8%)	7(5.8%)	9(7.5%)	3(2.5%)	15(12.5%)
V 등급	0(0.0%)	1(0.8%)	2(1.7%)	2(1.7%)	8(6.7%)	15(12.5%)
좋음 이상 (I~II) 등급 비율	-	78.3%	79.2%	79.2%	78.3%	62.5%

■ 충청남도 시·군별 WQI 등급 변화

- '15~'20년 WQI 결과를 시·군별(평균)로 분석했다.
 - 30개 정점 : 아산시(1), 당진시(3), 서산시(5), 태안군(10), 홍성군(3), 보령시(3), 서천군(5)
- 아산 연안과 서천 연안은 2015년 이후 WQI 등급이 지속적으로 상승(수질악화) 경향을 보인다.
- 당진 연안, 서산 연안, 태안 연안, 보령 연안, 홍성 연안의 WQI 등급은 연도별로 소폭 증감을 보이지만, 대체로 좋음~보통 수준을 유지하고 있다.
- '20년 8월 결과는 현장의 환경적 영향으로 모든 지역에서 III등급(보통)~V(매우 나쁨) 등급을 나타냈다.
- 특히, 아산 연안(아산만), 홍성 연안(천수만), 서천 연안(금강하구)은 V등급(매우 나쁨) 수준으로 나타났는데, 해당 지역은 모두 육상에서의 담수 유입이 많은 곳으로서 체계적인 유입원 관리를 통한 일시적 해양수질 악화의 영향을 최소화하는 것이 중요하다.



〈그림 3.3-47〉 충청남도 연안 WQI등급 변화

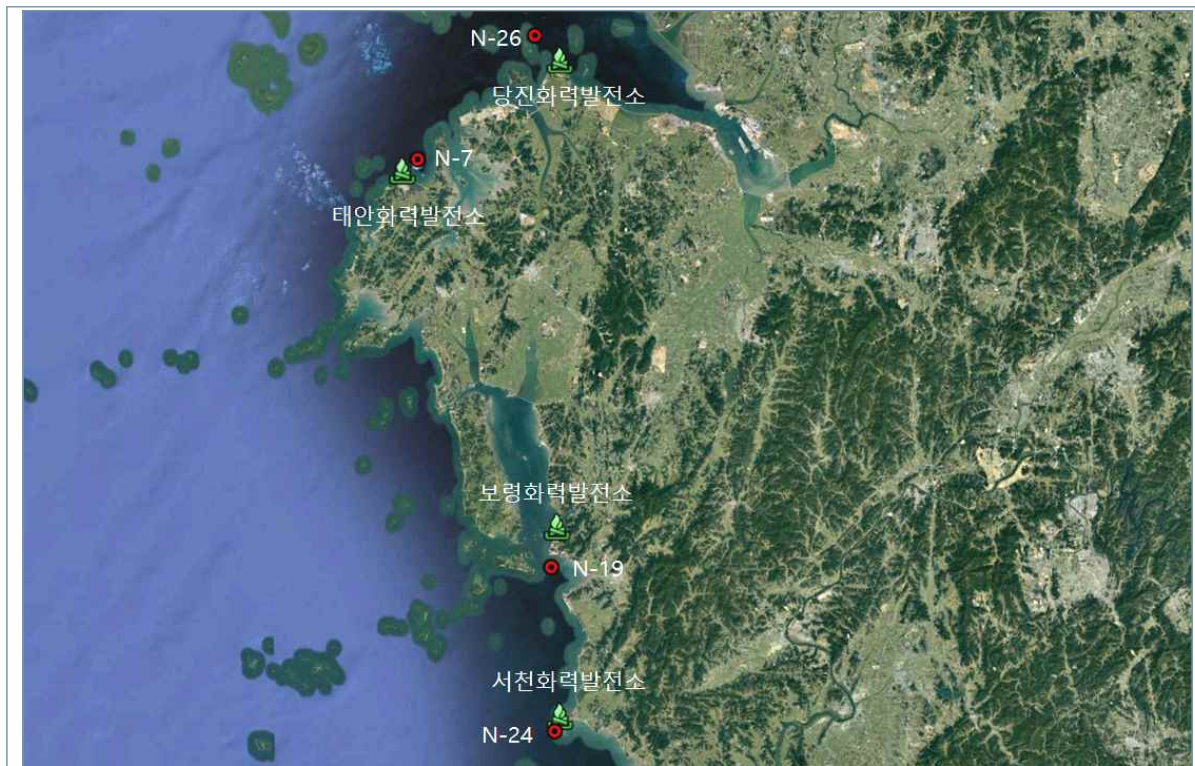
〈표 3.3-16〉 충청남도 계절별 WQI등급 결과(정점별 평균)

구분 분기	2015년				2016년				2017년				2018년				2019년				2020년			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
아산시	-		3	4	4	1	5	1	2	3	4	2	4	4	4	4	4	3	5	5	2	5	5	4
당진시	-		3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2	3	4	2
서산시	-		2	1	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	4	2
태안군	-		2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	4	2
보령시	-		2	1	2	3	3	2	2	4	1	2	3	4	1	2	2	3	2	2	2	2	4	2
홍성군	-		1	2	2	2	2	3	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	3	2	2	3	2	
서천군	-		3	1	2	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	4	5	3	3	5	5	3	

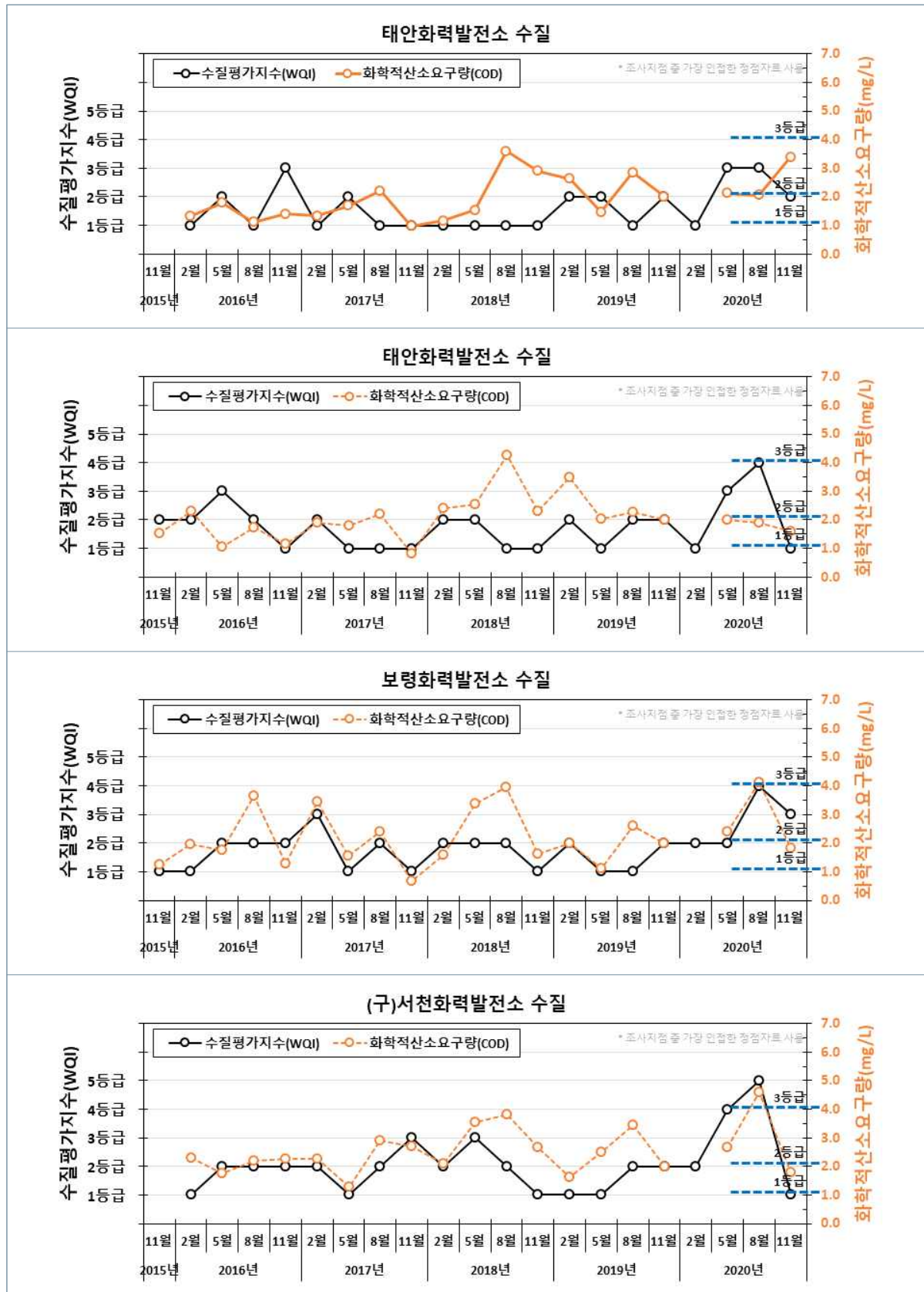
주 : 각 시군 수질평가지수의 점수를 평균한 자료임(〈그림 3.3-47〉과 상이할 수 있음)

나. 화력발전소 주변 WQI등급 변화

- 충청남도 연안에는 전국 화력발전소의 50%(30기/전국 총 60기)가 밀집되어 있으며, 대기 분야에서는 화력발전소와 미세먼지 사이의 문제, 해양 분야에서는 온배수의 배출에 따른 주변 해양생태계 영향이 화두가 되고 있다.
- 본 연구에서의 모니터링 조사 정점 중, 화력발전소 인근 정점의 수질평가지수(WQI)와 화학적산소요구량(COD)을 분석했다.
- 분석 결과 '19년까지 대부분 조사에서 좋음(I등급~II등급) 수준을 보이고 있으며, 2020년에는 태안, 보령화력발전소 주변에 나쁨(IV등급), (구)서천화력발전소 주변에는 매우 나쁨(V등급)으로 나타났다.
- '20년 보령과 서천화력발전소 주변 해역의 COD는 WQI 등급과 비슷한 양상으로 수치가 다소 상승하였다.



〈그림 3.3-48〉 화력발전소 주변 모니터링 정점도



〈그림 3.3-49〉 화력발전소 주변 정점에서의 해양수질(WQI 및 COD) 등급 변화

3.3.4. 해양 퇴적물

- 해양 퇴적물 조사 결과를 <표 3.3-17>~<표 3.3-19>과 <그림 3.3-50>~<그림 3.3-70>에 제시하였다.

가. 입도

1) 조성 및 퇴적상

- 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.0~45.6%, 모래 3.9~98.7%, 실트 0.6~83.0%, 점토 0.1~18.4%로 조사되었다.
- 퇴적상은 사질역(sG), 니사질역(msG), 역질사(gS), 역니질사(gmS), 약역니질사((g)mS), 약역질니((g)M), 실트질사(zS), 사질실트(sZ), 모래(S), 실트(Z), 약역니질사((g)sM)로 나타났다.

2) 조직 변수

- 평균 입경은 $-0.30 \sim 6.71\Phi$ (평균 3.79Φ)의 범위로 조사되었다.
- 분급도는 $0.51 \sim 3.16\Phi$ 의 범위로 Moderately well sorted에서 Very poorly sorted한 분포를 보였다.
- 왜도는 $-0.28 \sim 0.66$ 의 범위로 Coarse-skewed에서 Strongly fine-skewed한 분포를 보였으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세하였다.
- 첨도는 $0.80 \sim 3.52$ 으로 Platykurtic에서 Extremely leptokurtic한 분포를 보였다.

나. 함수율

- 퇴적물의 함수율은 일반적으로 조립한 퇴적상에서 낮은 값을 보이며, 세립한 퇴적상에서 높은 값을 보이는 것으로 알려져 있다.
- 조사해역에서 퇴적물의 함수율은 15.1~63.3%(평균 34.8%)의 범위를 보였다.
- 태안 연안은 전체적으로 함수율이 낮았으며, 천수만, 서천 연안에서 상대적으로 높은 경향을 보였다.

다. 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량 및 화학적산소요구량은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표 성분으로 알려져 있다.
- 강열감량은 1.3~8.9%(평균 4.8%)의 범위를 보였으며, 화학적산소요구량은 0.4~20.3mg

/g(평균 7.7mg/g)의 범위를 보였다.

- 두 항목 모두 천수만 내측에 위치한 정점에서 상대적으로 높은 값을 보였다.
- 퇴적물은 입도가 클수록(입자가 작을수록) 함유하는 물질의 양이 커지는데, 강열감량과 화학적산소요구량은 퇴적물의 평균 입도와 양호한 상관성을 보였다(<그림 3.3-76>).

라. 산취발성황화물(AVS)

- 퇴적물 중의 유기물은 분해되는 과정을 거치면서 산소를 소비해 저산소 상태에 이르면 황산염 환원세균 증식에 의해 황화가스가 발생되고, 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산취발성황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경악화지표 항목으로 이용되고 있다(Lee, 2010).
- 산취발성황화물(AVS)이 0.2mg/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로 산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경임을 지시하고 있다(Yokoyama, 2000).
- 산취발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01mg/g으로, 정점 N1~12, N14, N15, N19, N21, N24, N26, N27, H2, H3에서 불검출 되었으며, 그 외 정점에서는 0.01~0.11mg/g(평균 0.04mg/g)의 범위를 보였다.
- 대부분의 정점에서 0.02mg/g 이하로 조사되었으나, 천수만 내측 정점 N16에서 0.11mg/g로 상대적으로 높은 농도를 보였다.

마. 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

- 총유기탄소는 0.06~1.25%(평균 0.50%)의 범위를 보였으며, 정점 N9, H3에서 가장 낮은 농도인 0.06%를 보였고 정점 N22에서 가장 높은 농도인 1.25%로 조사되었다.
- 총질소의 검출 한계는 원소 분석기를 사용하여 분석 시 100mg/kg 이하로 금회 조사에서 정점 N1, N3, N8, N9, N10, H3에서 불검출 되었으며, 그 외 정점에서 200~1,600mg/kg(평균 763mg/kg)로 조사되었다.
- 해양 퇴적물 내 총유기탄소와 총질소는 $R^2 > 0.7$ 의 높은 상관관계를 보였다. 이러한 높은 상관 관계는 퇴적물 내 총유기탄소와 총질소가 퇴적 후 동일한 속성작용(diagenesis)이나 재광물화작용(reminealization)을 받은 것으로 알려져 있다(김 등., 2007). 이는 총유기탄소와 총질소의 기원이 동일하다는 것을 의미하고 일반적으로 C/N비는 퇴적물 내 유기물 기원을 규명하는데 많이 사용된다.
- C/N비가 12 이상인 유기물은 육상 기원 유기물을 나타내고(Lignin C/N atomic ratio 1500; Greaves와 Schwartz, 1952), 6~9는 식물플랑크톤의 범위이며(Holligan 등,

1984), 5~12의 C/N비를 가질 경우 해양 기원 유기물을 의미한다(Stein, 1991). 한편 2.6 ~ 4.3의 낮은 C/N비는 질소가 풍부한 박테리아에서 흔히 나타나는 값으로 5 이하에 해당하는 낮은 C/N비는 퇴적유기물 중 박테리아 기원을 나타내는 지표로 이용된다(Lee 와 Fuhrman, 1987).

- 분석결과 C/N비는 8.0~24.1로 조사되었다. C/N비는 대부분 5~12 사이로 해양 기원 유기물로 나타났으나, 12 이상은 육상 유기물의 유입 가능성이 있는 것으로 조사되었다(<그림 3.3-57>).

바. 중금속류

- 퇴적물 내 중금속은 수계(aquatic system)에 유입된 중금속 원소가 용해되어 이온 상태로 존재하기보다 대부분 고체상(solid phase)으로 변환되어 퇴적물이나 부유물에 흡착되고 이러한 퇴적물의 중금속은 주변 유역으로부터 오염물질의 유입 형태 변화에 따른 정보 또는 수계 내에서 진행된 다양한 생지화학적 과정에 관한 정보를 기록하고 있기 때문에 유용하게 이용되고 있으며, 환경 내에서 지속성을 가지고 축적되므로 환경변화를 이해 하는데 매우 유용한 것으로 알려져 있다(Forstner, 1981).
- 퇴적물 내 중금속은 카드뮴(Cd) 0.03~0.32mg/kg(평균 0.11mg/kg), 크롬(Cr) 15.9~85.5 mg/kg(평균 51.8mg/kg), 구리(Cu) 0.6~27.3mg/kg(평균 9.7mg/kg), 납(Pb) 18.7~35.1mg/kg(평균 27.7mg/kg), 아연(Zn) 11.2~85.9mg/kg(평균 45.8mg/kg), 니켈(Ni) 4.8~35.5mg/kg(평균 18.3mg/kg), 망간(Mn) 249~1,040mg/kg(평균 577mg/kg), 코발트(Co) 3.2~14.9mg/kg(평균 9.0mg/kg), 리튬(Li) 11.1~87.0mg/kg(평균 40.7mg/kg), 비소(As) 1.3~3.2mg/kg(평균 2.2mg/kg), 수은(Hg) 1.6~31.5 μ g/kg(평균 14.9 μ g/kg), 알루미늄(Al) 3.3~8.2%(평균 5.7%), 철(Fe) 0.9~4.3%(평균 2.5%)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 퇴적물의 중금속의 농도는 시료 채취 정점의 퇴적환경에 따라 변하는데, 특히, 퇴적물 입도가 세립한 해역인 당진 연안(N2), 홍성 연안(N16~N18), 서천 연안(N23, N25), 서산 연안(H1), 태안 연안(H2)에서 대부분 항목이 높은 농도를 보였다.

〈표 3.3-17〉 해양 퇴적물의 입도 분석 결과(2020년 5월)

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
N1	8.3	90.0	1.5	0.2	1.41	1.30	-0.28	1.14	gS
N2	0.0	19.7	66.6	13.7	5.75	1.94	0.17	0.85	sZ
N3	45.6	49.0	4.5	0.9	-0.28	1.99	0.44	1.09	sG
N4	32.4	48.7	15.6	3.3	1.04	3.16	0.43	0.93	msG
N5	3.6	37.7	51.4	7.3	4.72	2.59	-0.06	1.07	(g)sM
N6	0.0	24.3	66.1	9.6	5.52	2.09	-0.07	1.04	sZ
N7	13.5	60.6	21.6	4.2	2.98	2.69	0.17	1.60	gmS
N8	29.0	70.3	0.6	0.1	-0.30	1.35	0.33	1.62	gS
N9	0.0	98.7	1.3	0.1	2.23	0.64	-0.16	0.99	S
N10	0.0	97.4	2.4	0.1	2.50	0.62	0.03	1.43	S
N11	0.0	56.1	40.4	3.5	4.32	1.33	0.57	1.30	zS
N12	0.0	78.5	18.9	2.6	3.05	1.75	0.50	1.63	zS
N13	0.3	83.0	14.8	2.0	2.96	1.37	0.47	1.99	(g)mS
N14	0.0	57.7	37.4	4.9	4.48	1.59	0.59	1.14	zS
N15	0.1	55.4	38.4	6.1	4.42	1.90	0.45	1.03	(g)mS
N16	0.0	3.9	78.4	17.7	6.67	1.59	0.05	1.13	Z
N17	0.0	9.9	77.2	13.0	6.18	1.76	-0.01	1.06	Z

〈표 3.3-17〉 계 속(2020년 5월)

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
N18	0.6	5.5	75.6	18.4	6.71	1.66	0.01	1.23	(g)M
N19	0.5	76.8	19.8	3.0	2.50	2.37	0.60	1.11	(g)mS
N20	3.9	56.4	34.2	5.5	3.43	2.87	0.12	0.94	(g)mS
N21	0.0	52.8	40.7	6.6	4.36	2.20	0.32	0.84	zS
N22	0.0	4.3	83.0	12.7	6.46	1.50	0.07	1.18	Z
N23	0.0	28.4	60.5	11.2	5.58	1.94	0.10	0.80	sZ
N24	0.0	44.2	47.8	8.0	4.96	2.23	0.18	0.95	sZ
N25	0.0	38.5	50.2	11.2	5.28	2.16	0.14	0.81	sZ
N26	5.4	83.1	9.5	2.0	2.47	1.66	0.04	3.52	gmS
N27	0.0	67.7	27.8	4.5	3.71	1.80	0.66	1.01	zS
H-1	0.0	28.7	60.8	10.5	5.47	1.92	0.17	0.80	sZ
H-2	0.4	70.6	24.5	4.5	3.49	2.15	0.51	1.16	(g)mS
H-3	0.0	98.5	1.4	0.1	1.65	0.51	0.25	1.19	S
최소	0.0	3.9	0.6	0.1	-0.30	0.51	-0.28	0.80	-
최대	45.6	98.7	83.0	18.4	6.71	3.16	0.66	3.52	-
평균	4.8	53.2	35.8	6.2	3.79	1.82	0.23	1.22	-

〈표 3.3-18〉 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2020년 5월)

정점	함수율	감열감량	COD	AVS	TOC	TN
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)
N1	23.8	1.6	0.6	N/D	0.09	N/D
N2	48.7	7.4	14.1	N/D	0.86	0.11
N3	23.0	1.7	2.0	N/D	0.16	N/D
N4	24.9	3.5	5.6	N/D	0.36	0.05
N5	33.4	5.6	6.8	N/D	0.46	0.05
N6	41.7	6.9	10.1	N/D	0.70	0.10
N7	28.2	5.0	3.4	N/D	0.34	0.04
N8	15.1	2.2	0.8	N/D	0.10	N/D
N9	23.1	2.0	0.7	N/D	0.06	N/D
N10	24.1	2.2	0.4	N/D	0.13	N/D
N11	33.8	3.1	4.7	N/D	0.28	0.04
N12	25.0	3.9	7.5	N/D	0.41	0.06
N13	27.1	4.4	4.0	0.01	0.35	0.03
N14	34.0	4.9	7.5	N/D	0.44	0.06
N15	32.2	4.3	4.0	N/D	0.29	0.04
N16	63.3	8.9	20.3	0.11	1.18	0.15
N17	54.2	7.9	15.4	0.02	0.94	0.12

* N/D : not detected

〈표 3.3-18〉 계 속(2020년 5월)

정점	함수율	감열감량	COD	AVS	TOC	TN
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)
N18	47.0	8.8	19.9	0.02	1.15	0.14
N19	21.6	6.9	6.7	N/D	0.49	0.07
N20	28.1	4.9	6.2	0.01	0.41	0.06
N21	34.5	5.1	9.3	N/D	0.62	0.08
N22	58.4	7.8	20.2	0.05	1.25	0.16
N23	49.2	5.3	14.6	0.02	0.84	0.11
N24	39.0	6.0	7.4	N/D	0.52	0.07
N25	52.8	5.3	12.3	0.08	0.75	0.11
N26	24.9	2.1	2.7	N/D	0.18	0.02
N27	35.3	3.7	6.5	N/D	0.39	0.05
H1	45.9	5.1	10.7	0.02	0.59	0.08
H2	29.2	4.9	7.2	N/D	0.62	0.03
H3	23.6	1.3	0.6	N/D	0.06	N/D
최소	15.1	1.3	0.4	0.01	0.06	0.02
최대	63.3	8.9	20.3	0.11	1.25	0.16
평균	34.8	4.8	7.7	0.04	0.50	0.08

* N/D : not detected

〈표 3.3-19〉 해양 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과(2020년 5월)

환경기준 (주의기준)	Cd	Cr	Cu	Cu-Li	Pb	Zn	Zn-Li	Ni
	0.75	116.0	—	20.6	44.0	—	68.4	47.2
정점	(mg/kg)							
N1	0.05	22.5	2.4	2.4	30.0	19.5	19.5	9.8
N2	0.12	73.1	16.5	8.0	27.3	69.1	42.5	27.2
N3	0.04	22.2	4.6	4.6	23.2	16.2	16.2	9.3
N4	0.09	43.1	7.5	6.4	28.7	41.6	37.7	15.7
N5	0.11	63.2	11.4	7.5	27.2	54.4	41.4	21.2
N6	0.13	70.6	13.4	7.2	31.4	65.0	41.8	24.9
N7	0.09	43.7	5.8	5.8	25.5	31.5	31.5	13.3
N8	0.04	17.5	1.6	1.6	23.8	11.4	11.4	6.2
N9	0.03	19.5	0.6	0.6	18.7	11.2	11.2	4.8
N10	0.04	28.7	1.6	1.6	26.7	21.5	21.5	8.4
N11	0.09	56.7	5.4	5.4	21.6	36.4	36.4	14.5
N12	0.09	49.8	7.8	6.9	27.0	40.9	38.4	16.4
N13	0.08	42.2	5.8	5.8	26.7	34.2	34.2	13.7
N14	0.13	52.2	8.1	7.2	23.7	41.3	38.9	15.9
N15	0.08	51.6	7.1	6.2	23.9	39.3	36.5	16.5
N16	0.24	83.5	22.2	7.7	33.7	83.8	41.0	34.4
N17	0.16	74.2	17.2	7.4	30.8	71.5	40.9	28.9

* Cu-Li, Zn-Li : Li값을 사용하여 보정된 중금속 농도

〈표 3.3-19〉 계 속(2020년 5월)

주의기준	Cd	Cr	Cu	Cu-Li	Pb	Zn	Zn-Li	Ni
	0.75	116.0	—	20.6	44.0	—	68.4	47.2
정점	(mg/kg)							
N18	0.32	85.5	27.3	8.3	35.1	85.9	40.4	35.5
N19	0.10	47.3	9.0	7.9	29.1	40.8	38.4	18.0
N20	0.10	54.7	9.1	7.1	27.9	48.5	41.4	18.4
N21	0.14	65.8	12.2	7.5	28.8	60.9	43.0	22.3
N22	0.18	83.2	21.2	7.7	33.8	81.9	41.2	33.4
N23	0.15	70.1	14.5	7.4	29.4	65.0	41.4	25.2
N24	0.10	47.2	8.0	7.4	25.0	39.4	38.1	15.8
N25	0.15	66.1	14.6	7.9	29.1	64.1	42.5	24.4
N26	0.07	39.5	4.2	4.2	29.1	27.9	27.9	11.0
N27	0.08	49.8	8.9	7.5	27.7	45.2	40.8	18.3
H1	0.12	66.2	14.5	7.9	27.5	68.8	44.5	24.3
H2	0.08	47.2	8.0	8.0	25.1	35.4	35.4	14.9
H3	0.06	15.9	1.0	1.0	33.4	20.9	20.9	6.2
최소	0.03	15.9	0.6	0.6	18.7	11.2	11.2	4.8
최대	0.32	85.5	27.3	8.3	35.1	85.9	44.5	35.5
평균	0.11	51.8	9.7	6.1	27.7	45.8	34.6	18.3

* Cu-Li, Zn-Li : Li값을 사용하여 보정된 중금속 농도

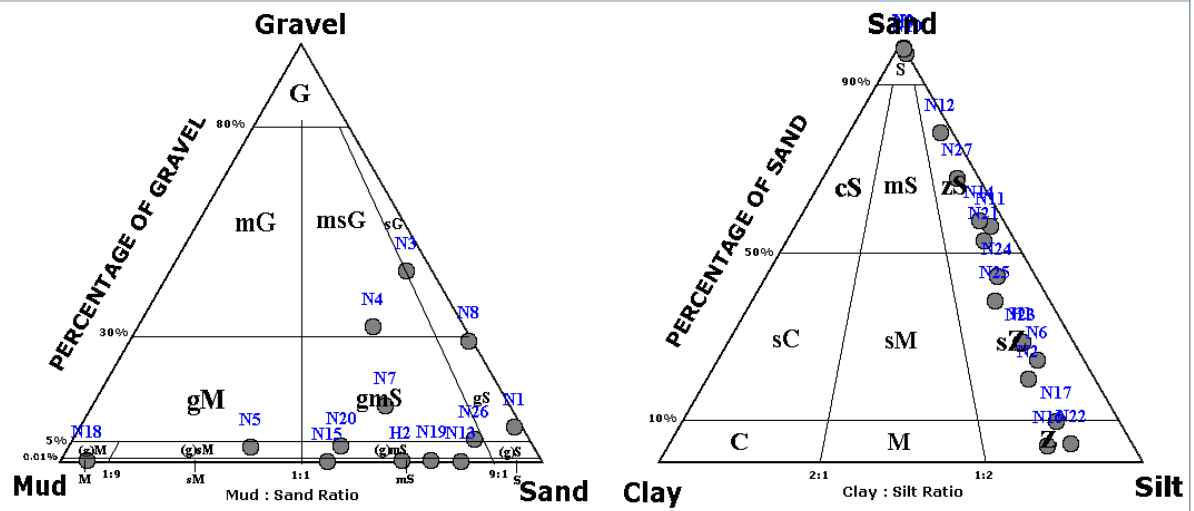
〈표 3.3-19〉 계 속(2020년 5월)

주의기준	Co	Mn	Li	As	Hg	Al	Fe
	—	—	—	14.5	110.0	—	—
정점	(mg/kg)				(μg/kg)	(%)	
N1	5.5	547.5	13.2	2.8	1.6	4.7	1.4
N2	12.9	848.4	59.3	3.2	29.3	6.8	3.3
N3	4.2	464.8	15.1	1.3	5.8	3.9	1.1
N4	7.3	472.5	39.3	1.9	12.2	5.7	2.1
N5	10.3	414.7	47.1	2.3	16.9	6.1	2.7
N6	11.3	454.7	57.2	2.7	20.6	6.3	2.9
N7	7.2	574.4	28.1	2.1	9.2	4.8	2.0
N8	3.3	528.9	11.1	1.6	4.2	3.7	0.9
N9	3.2	249.2	11.6	1.3	2.5	3.3	0.9
N10	6.6	343.9	17.9	2.1	3.5	4.7	2.1
N11	7.7	528.5	31.2	1.7	9.2	5.9	2.4
N12	8.8	451.3	36.9	2.4	13.5	5.6	2.7
N13	9.1	337.3	30.4	2.6	10.5	5.0	2.3
N14	8.4	438.4	36.5	2.1	13.8	5.6	2.5
N15	8.4	331.0	38.6	1.3	11.2	5.8	2.4
N16	14.6	640.0	81.4	2.5	31.3	8.0	4.1
N17	12.9	836.5	67.9	2.4	26.6	7.3	3.5

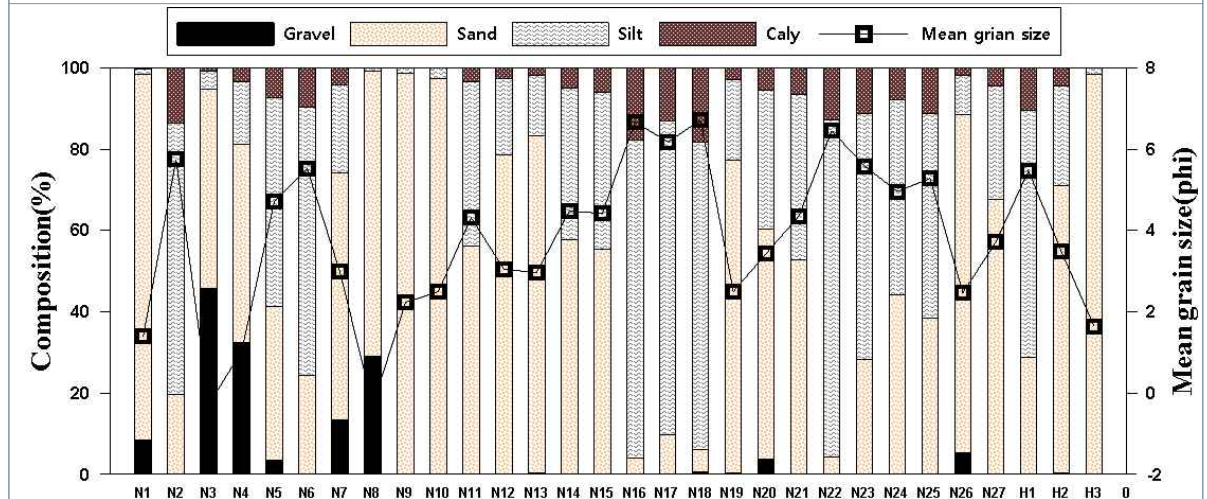
〈표 3.3-19〉 계 속(2020년 5월)

주의기준	Co	Mn	Li	As	Hg	Al	Fe
	—	—	—	14.5	110.0	—	—
정점	(mg/kg)				(μg/kg)	(%)	
N18	14.9	656.4	87.0	2.3	29.9	8.2	4.3
N19	8.6	712.9	36.7	1.8	15.7	5.4	2.3
N20	9.5	416.5	40.8	2.3	14.1	5.3	2.7
N21	11.3	559.2	50.0	2.1	18.8	6.2	3.0
N22	14.6	937.1	78.0	2.9	31.5	7.3	3.8
N23	11.8	1,040.1	58.8	3.0	22.2	6.8	3.2
N24	7.6	518.4	35.1	1.5	14.3	4.7	2.1
N25	11.6	748.8	54.2	2.3	22.0	6.4	3.1
N26	6.4	847.6	21.5	2.4	7.4	4.9	1.9
N27	9.3	858.0	38.1	2.4	13.8	5.9	2.4
H1	11.8	513.0	53.6	2.2	20.9	6.6	3.0
H2	7.2	440.5	30.6	2.7	11.5	4.6	2.0
H3	4.7	604.3	14.9	1.7	2.5	4.7	1.6
최소	3.2	249.2	11.1	1.3	1.6	3.3	0.9
최대	14.9	1,040.1	87.0	3.2	31.5	8.2	4.3
평균	9.0	577.2	40.7	2.2	14.9	5.7	2.5

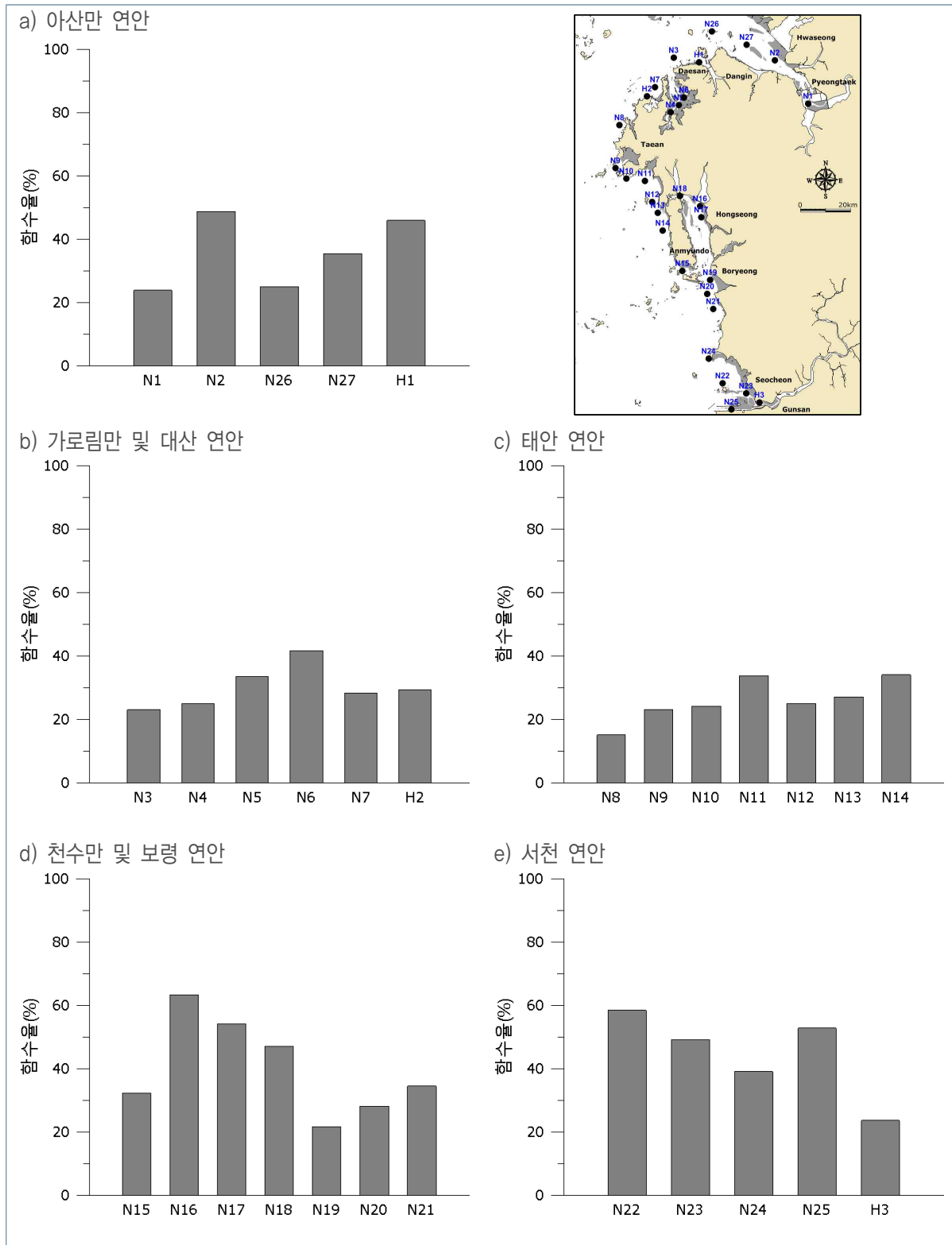
a) 삼각다이하그램



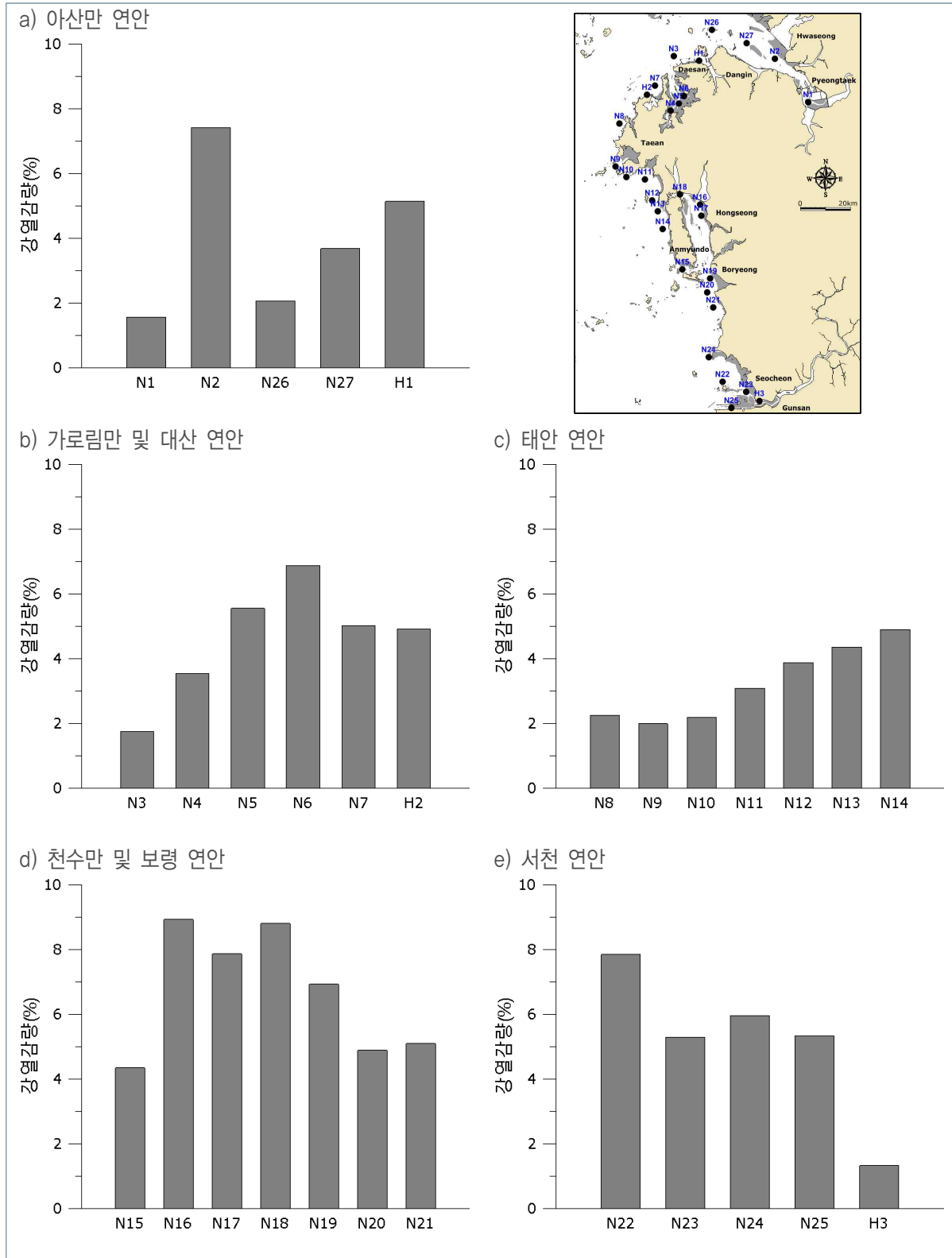
b) 입도 조성 및 평균입도 분포



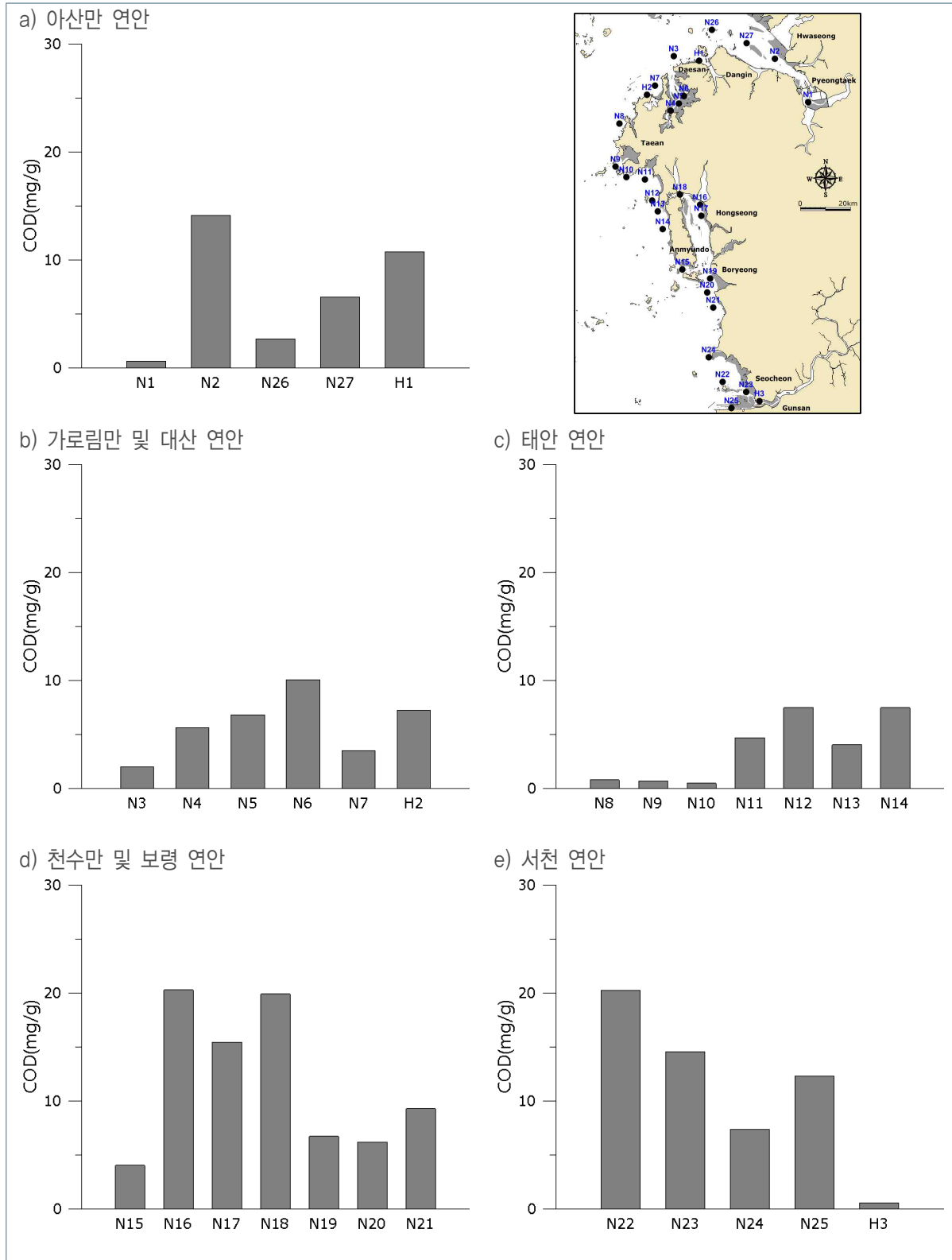
〈그림 3.3-50〉 정점별 입도분포 삼각다이하그램(a), 입도 조성 및 평균 입도 분포(b)



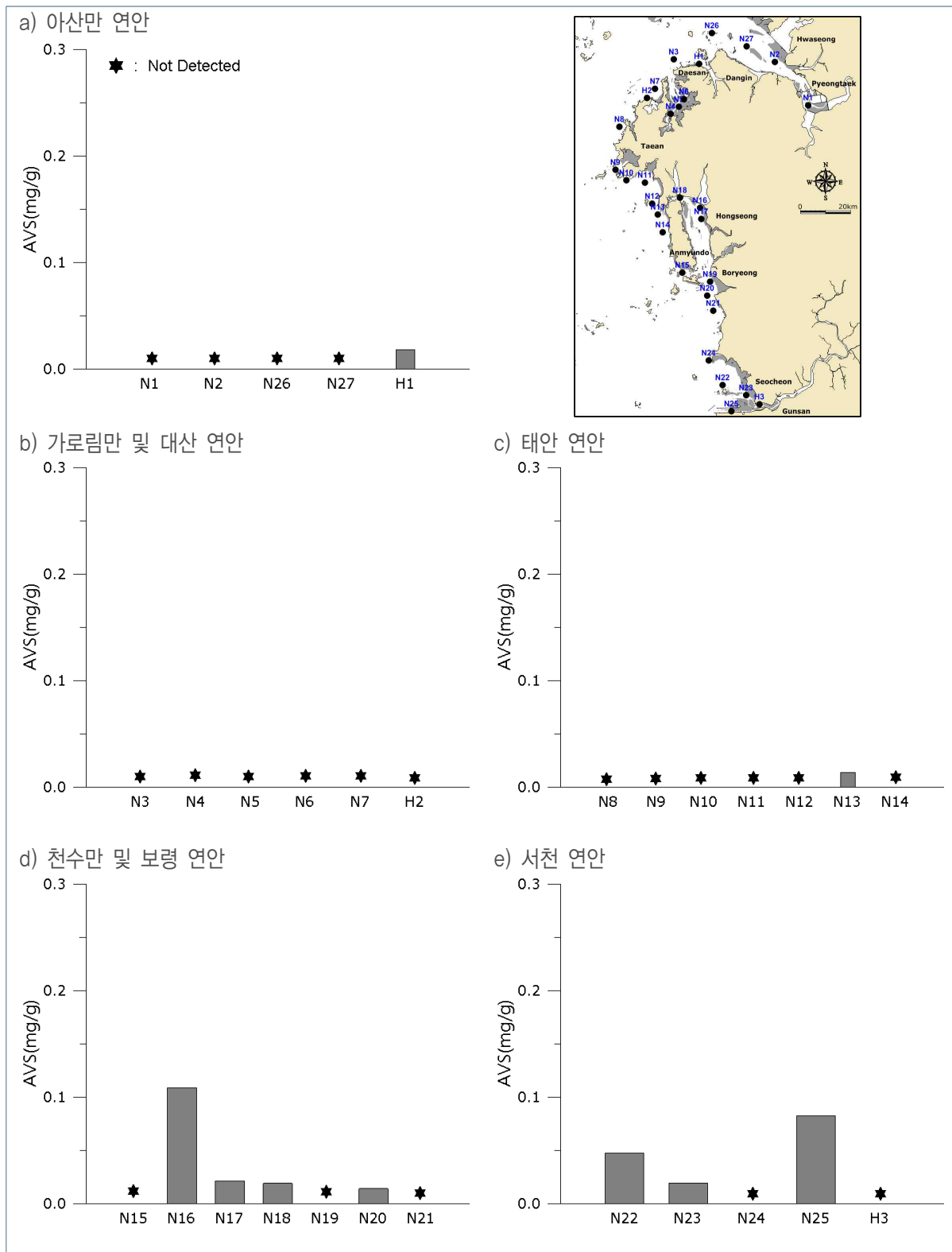
<그림 3.3-51> 해양 퇴적물의 함수율 분포 특성



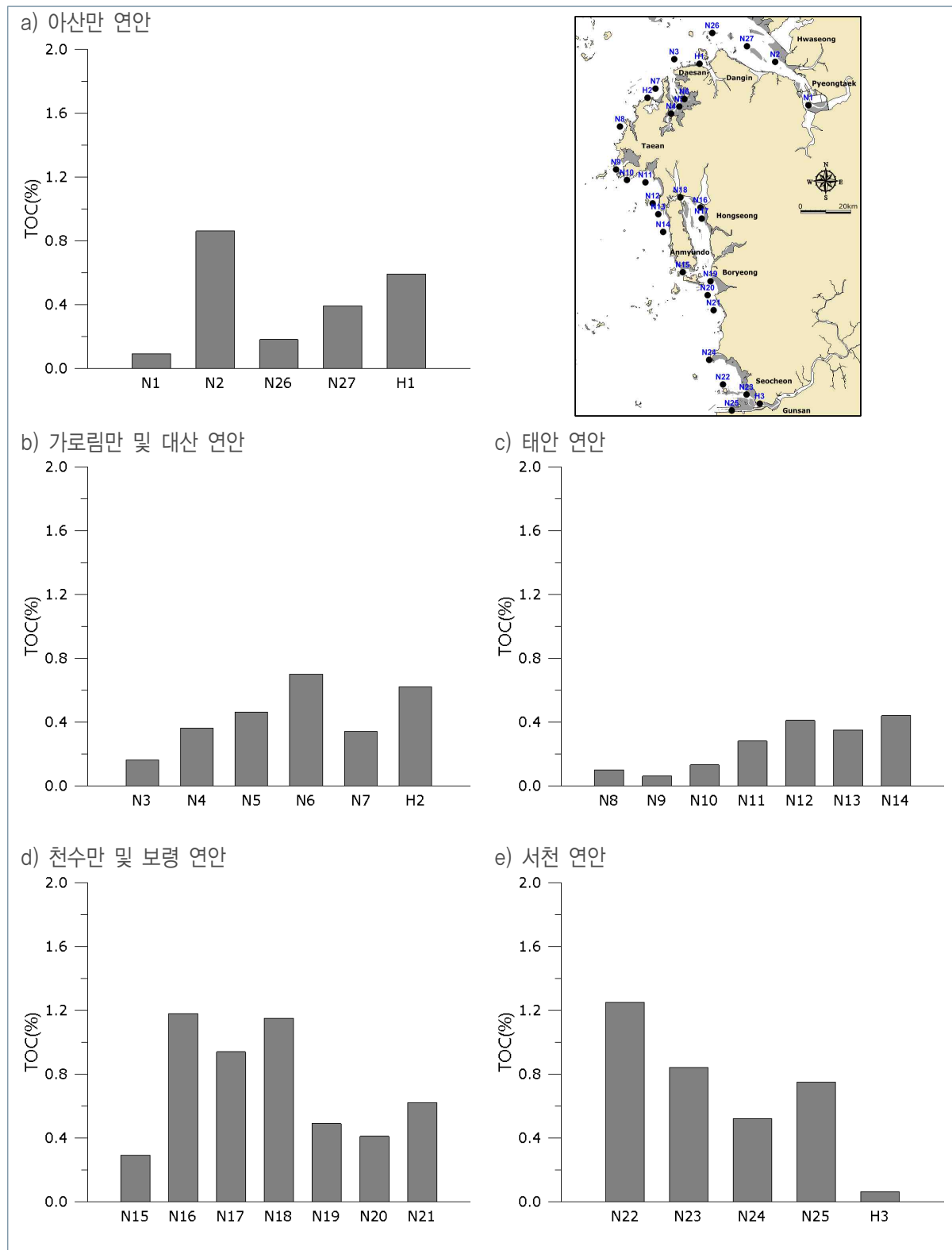
〈그림 3.3-52〉 해양 퇴적물의 감염감량(IL) 분포 특성



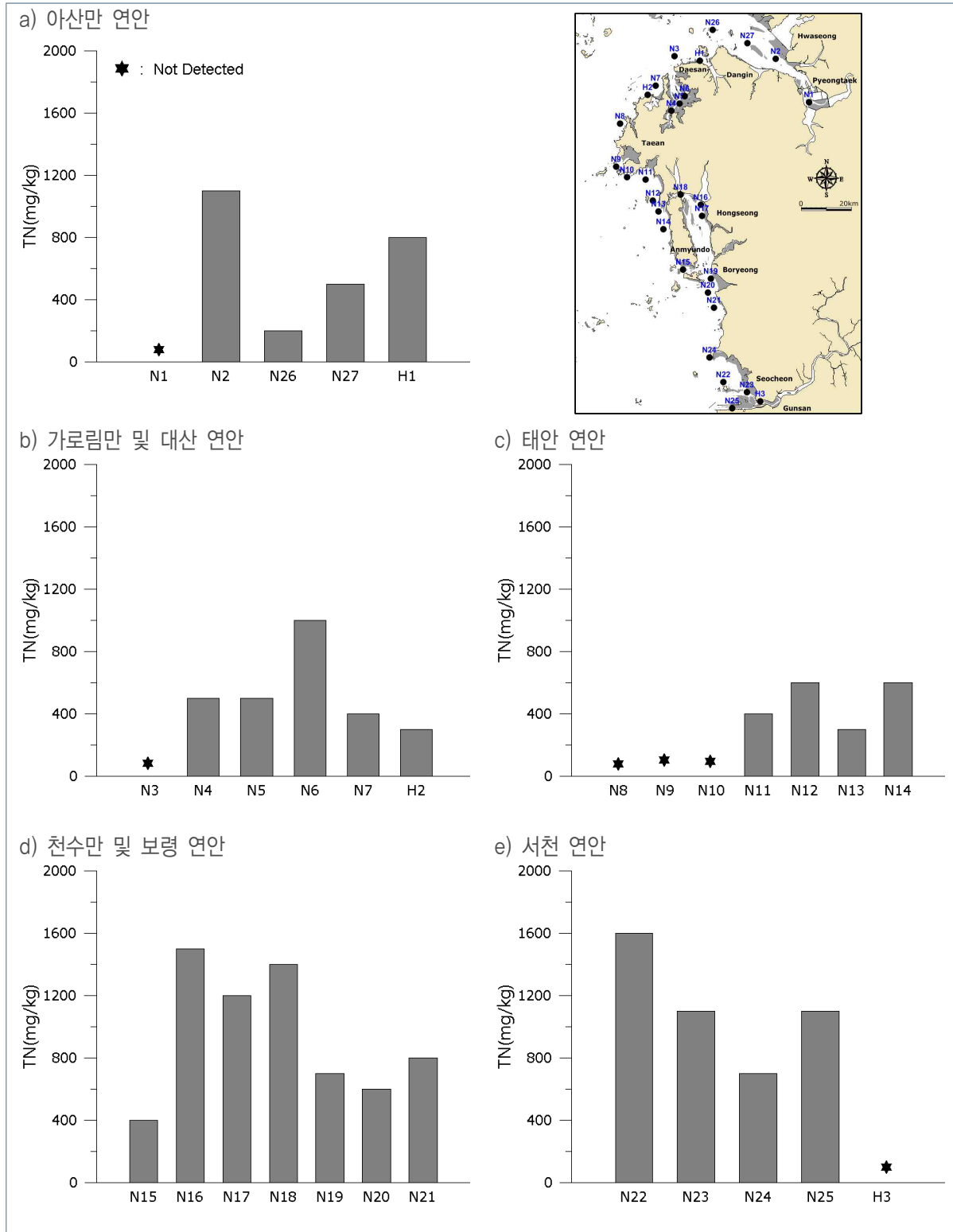
<그림 3.3-53> 해양 퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 분포 특성



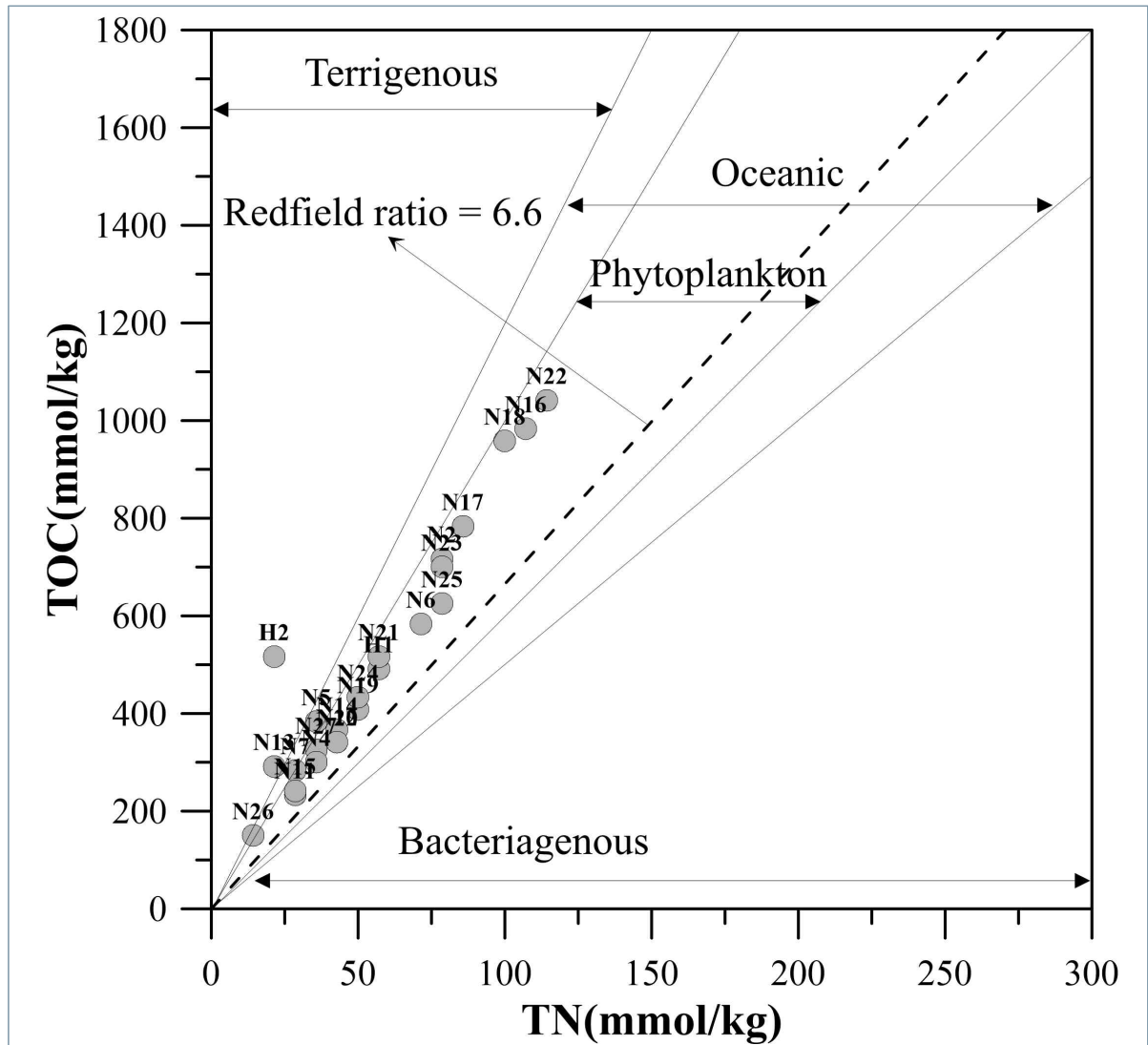
〈그림 3.3-54〉 해양 퇴적물의 산화발성황화물(AVS) 분포 특성



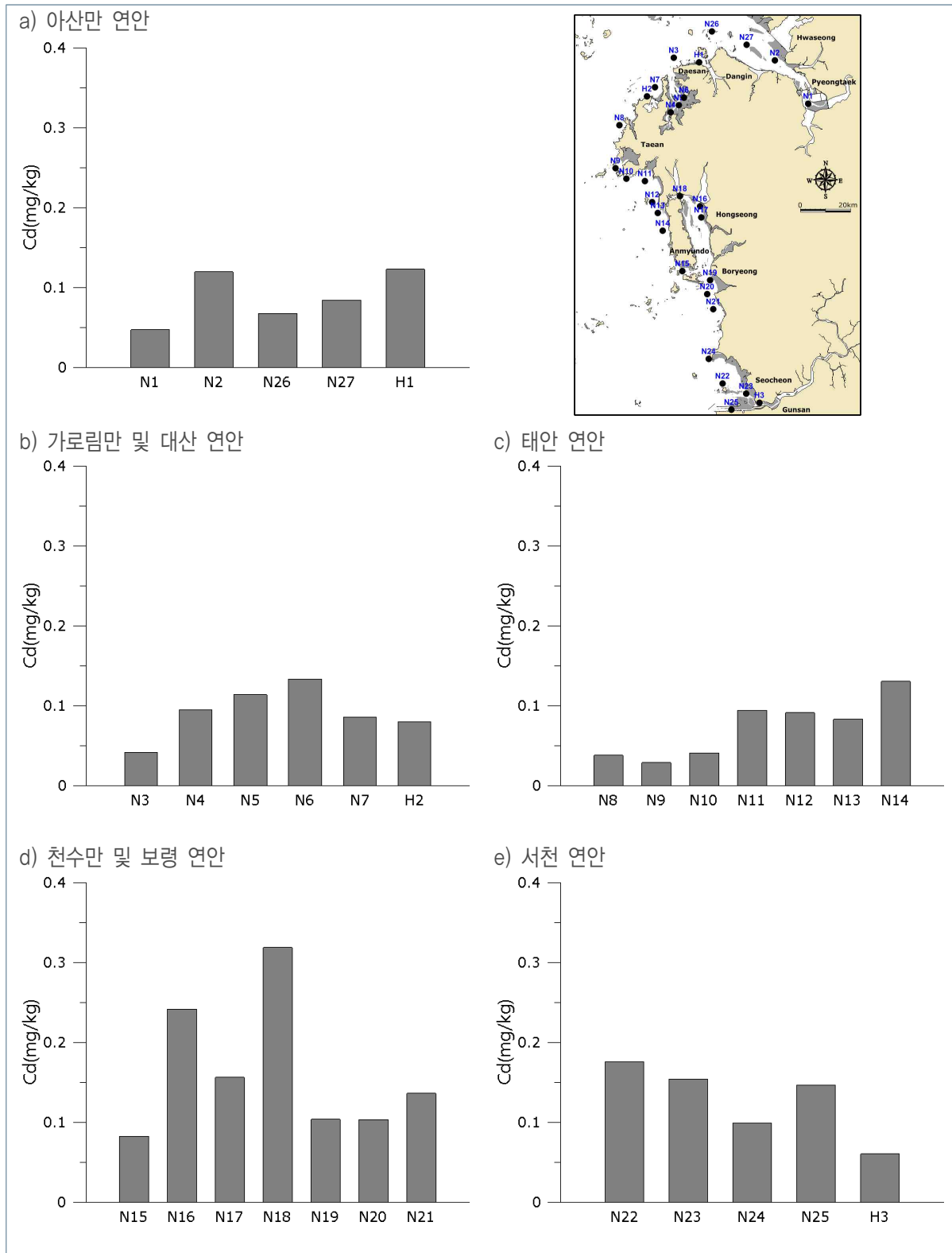
〈그림 3.3-55〉 해양 퇴적물의 총유기탄소(TOC) 분포 특성



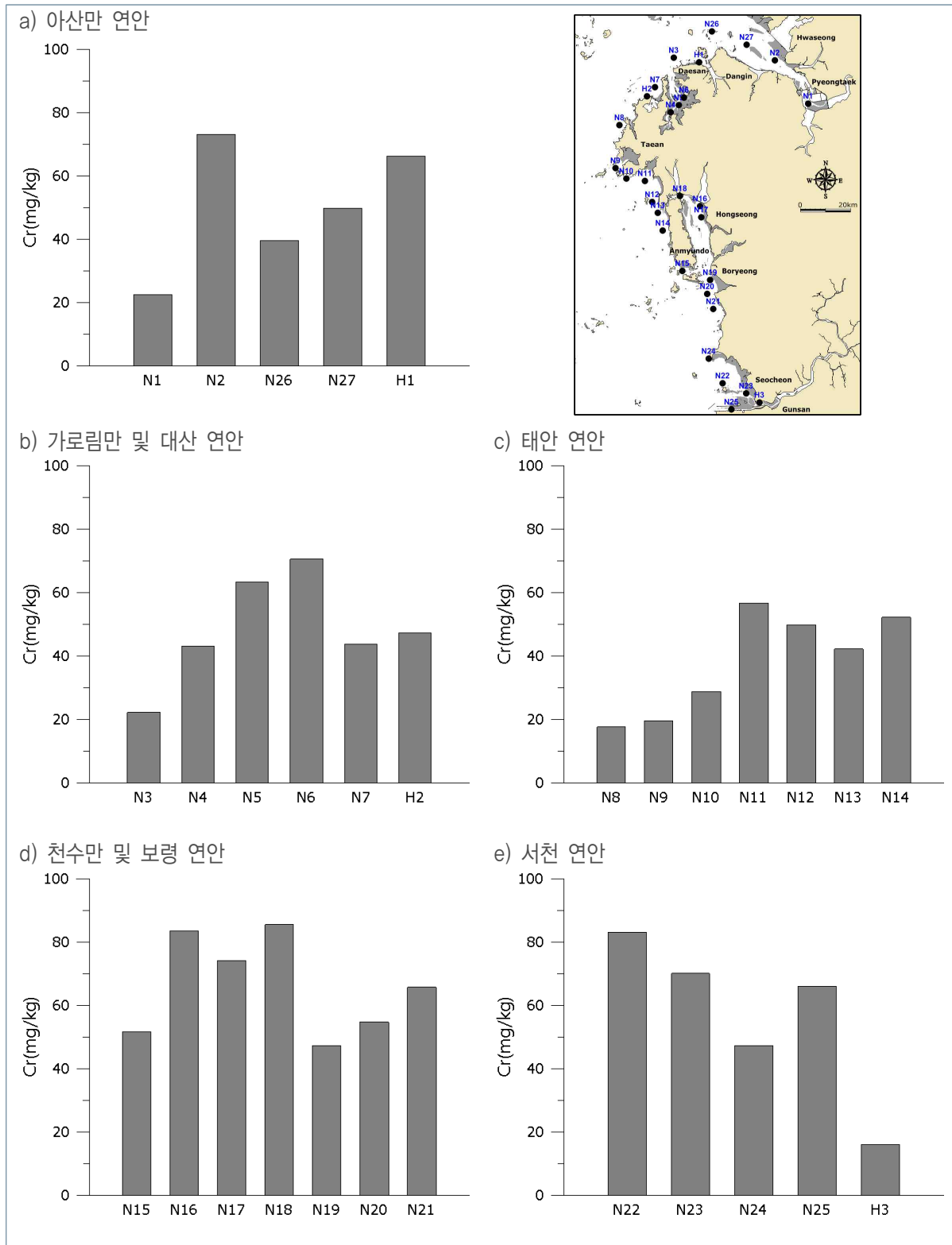
〈그림 3.3-56〉 해양 퇴적물의 총질소(TN) 분포 특성



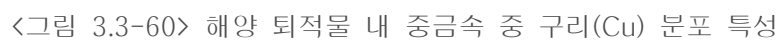
<그림 3.3-57> 해양 퇴적물 유기물의 탄소 대 질소비(C/N 비)(춘계, 하계, 추계)

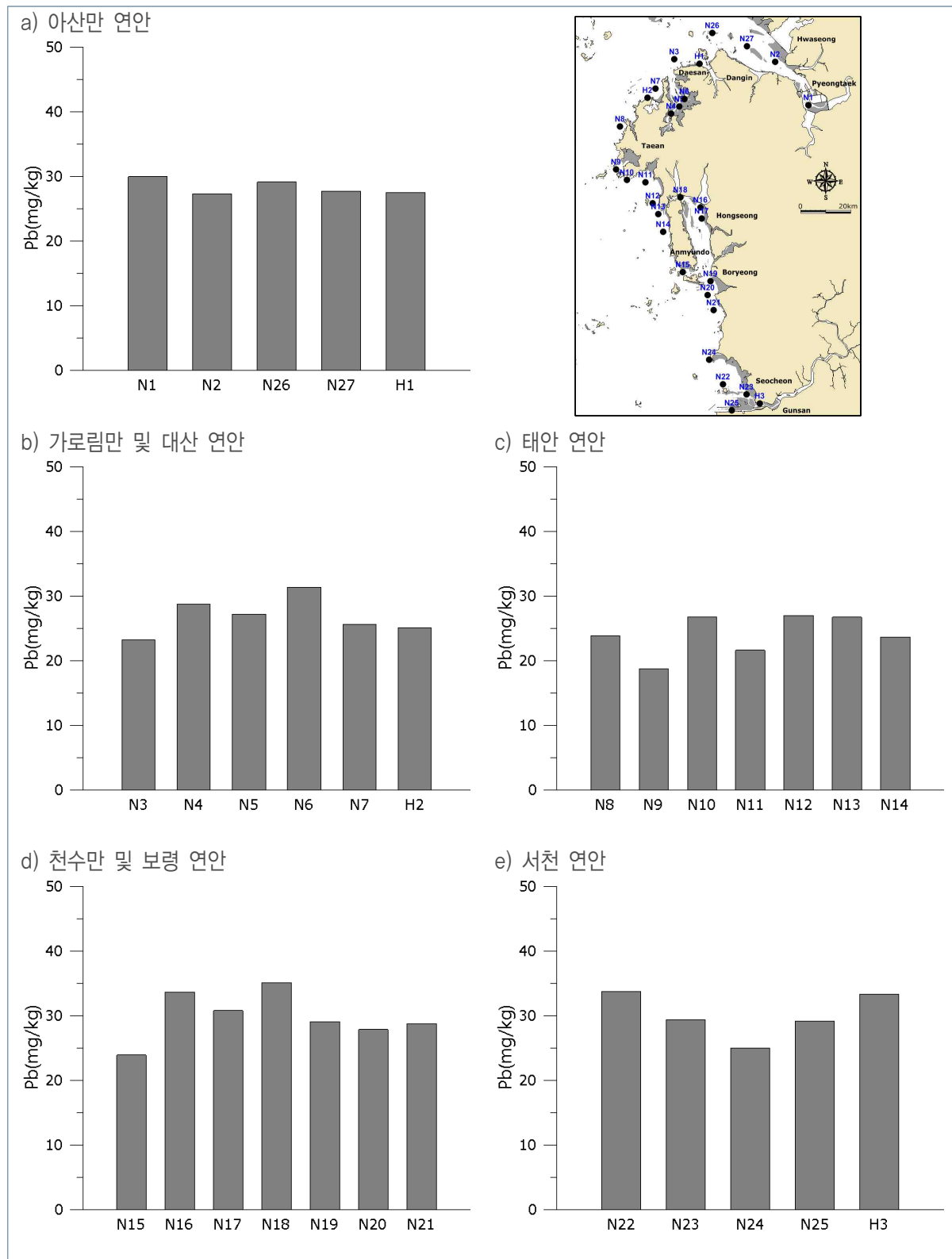


<그림 3.3-58> 해양 퇴적물 내 중금속 중 카드뮴(Cd) 분포 특성

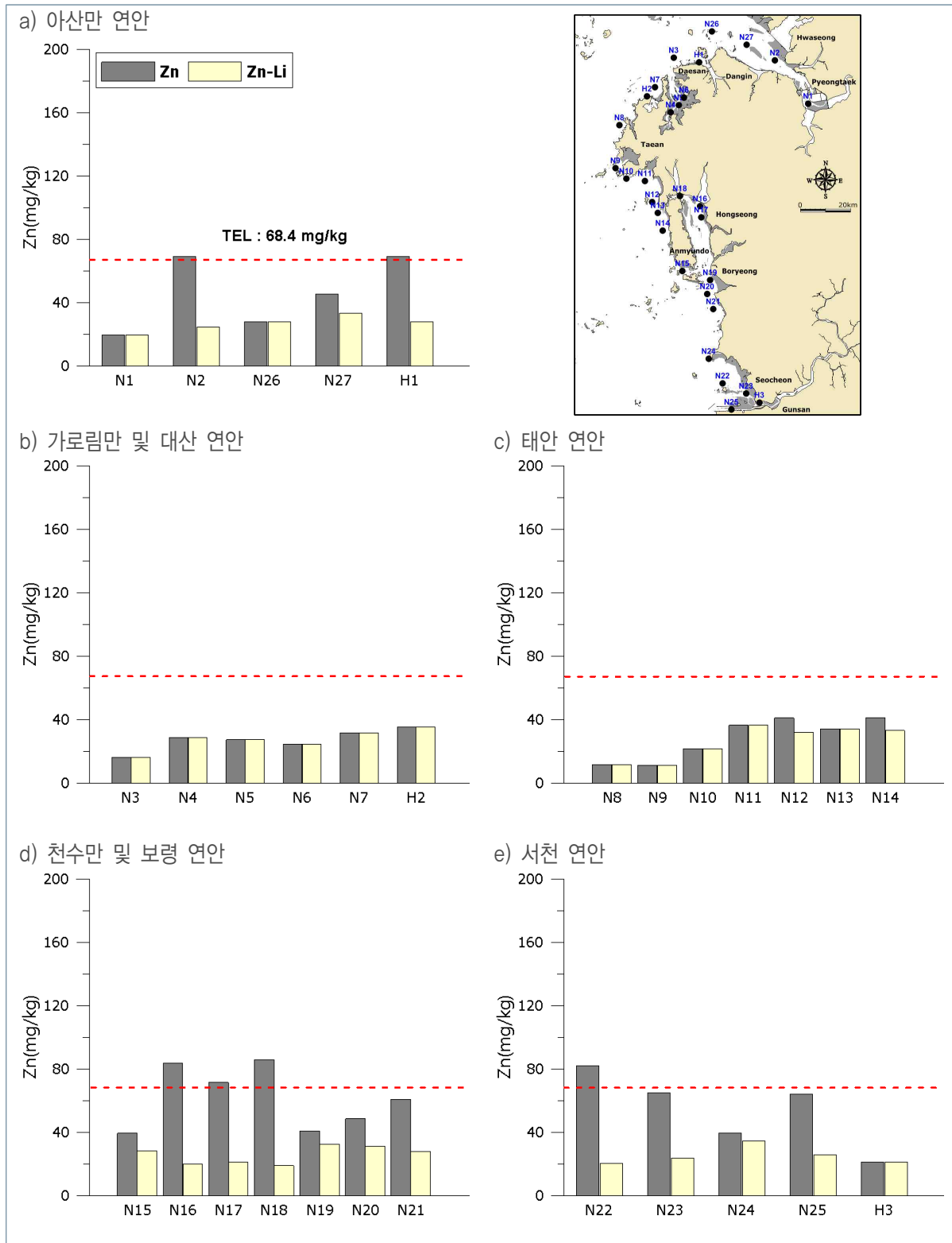


<그림 3.3-59> 해양 퇴적물 내 중금속 중 크롬(Cr) 분포 특성

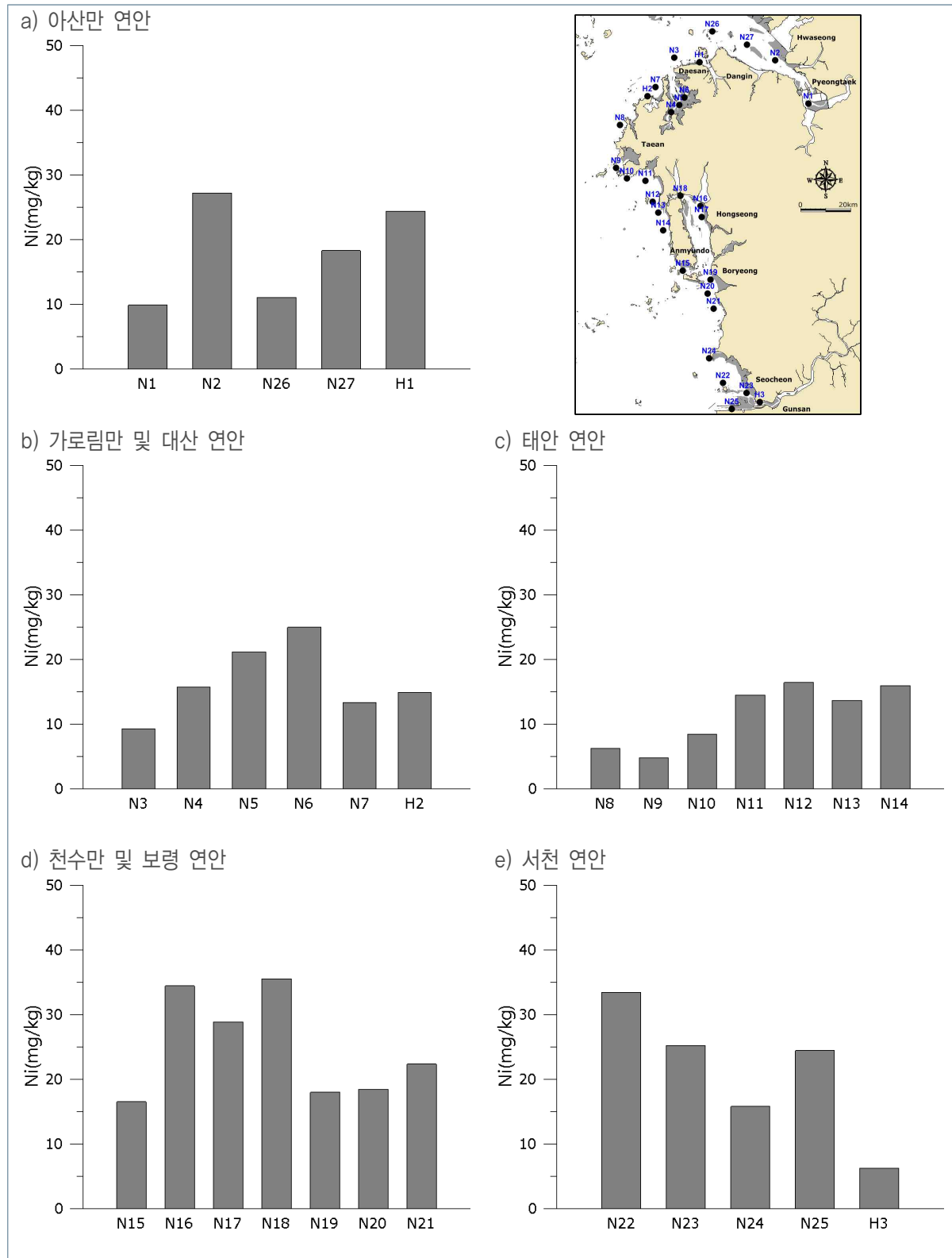




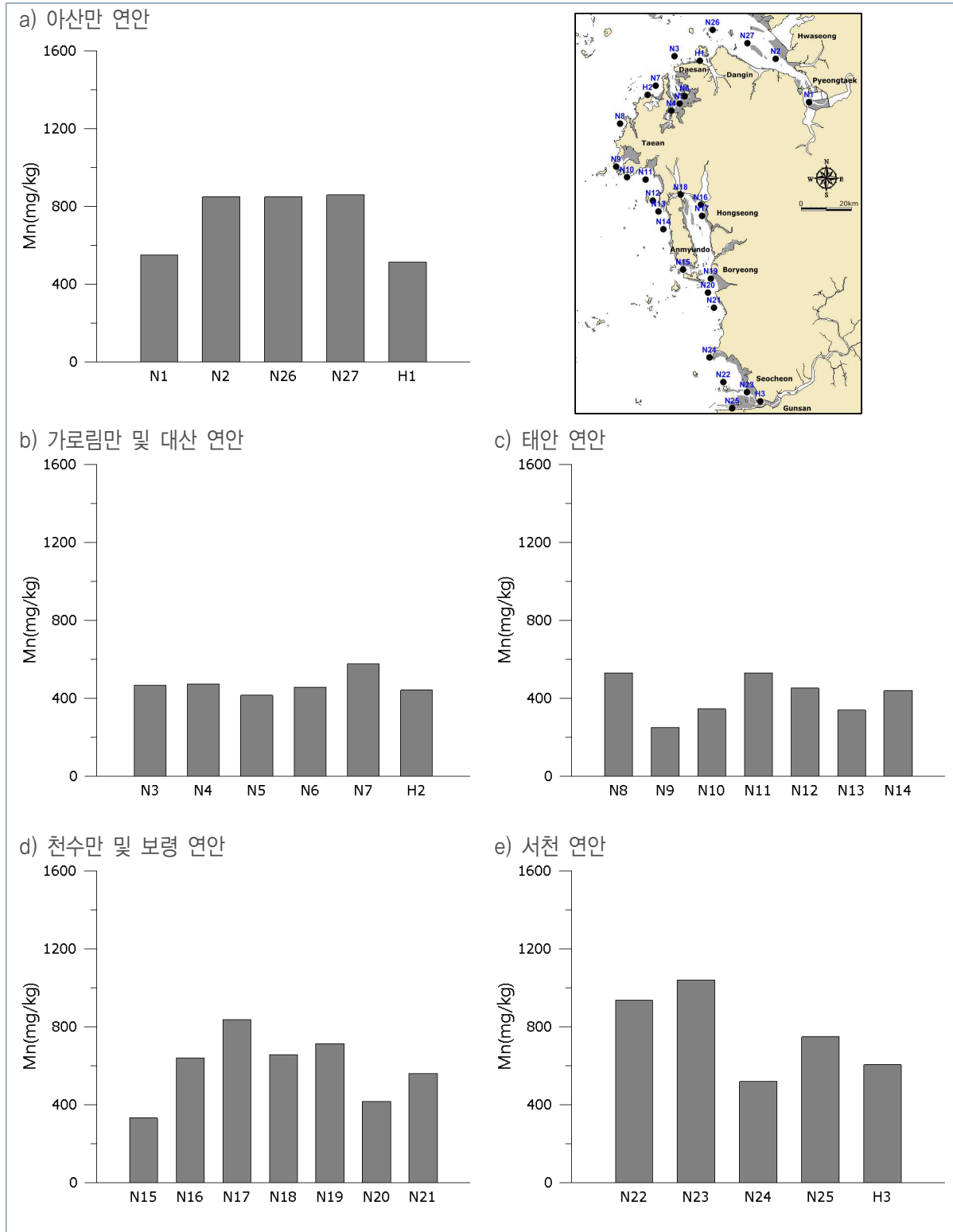
<그림 3.3-61> 해양 퇴적물 내 중금속 중 납(Pb) 분포 특성



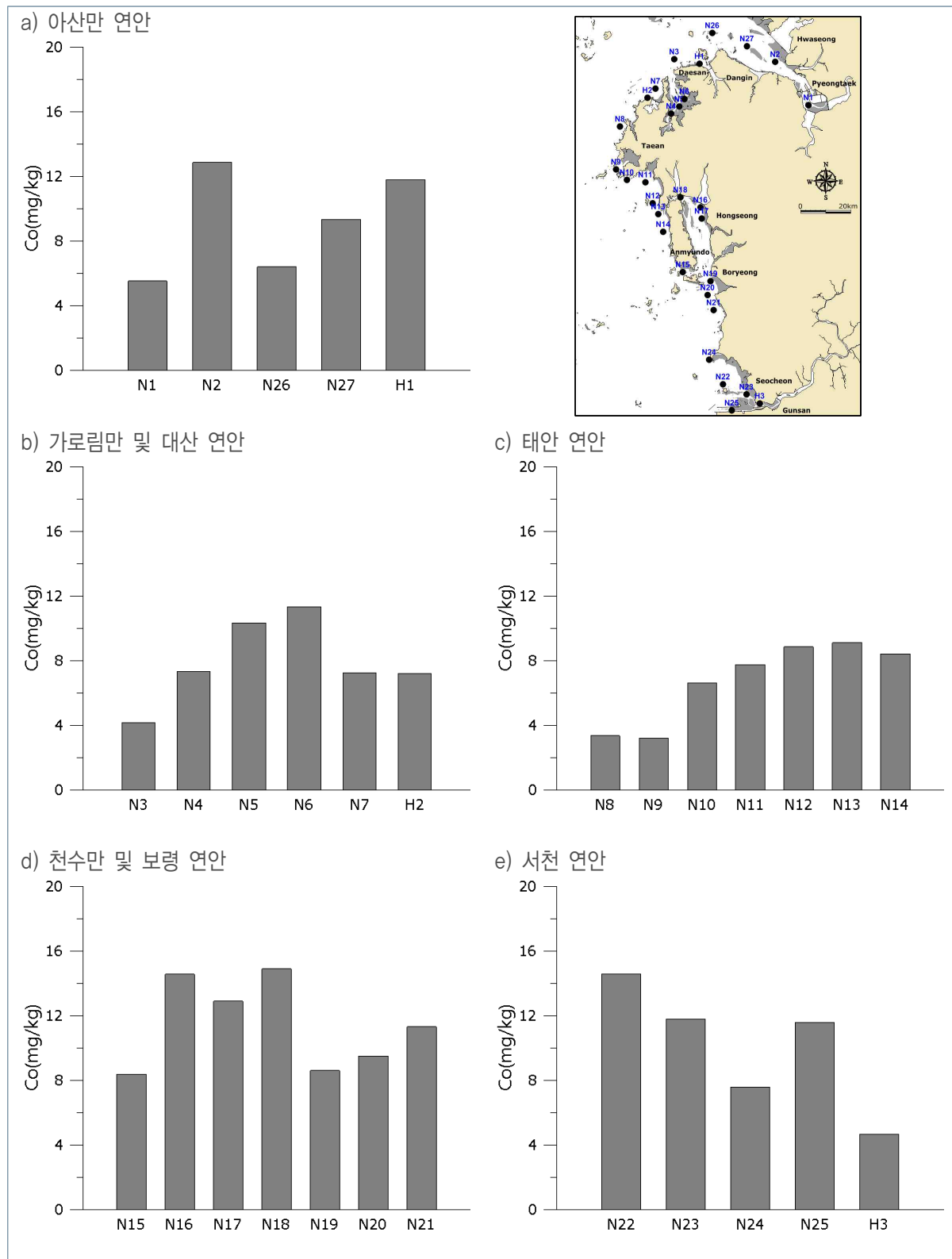
〈그림 3.3-62〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 아연(Zn) 분포 특성



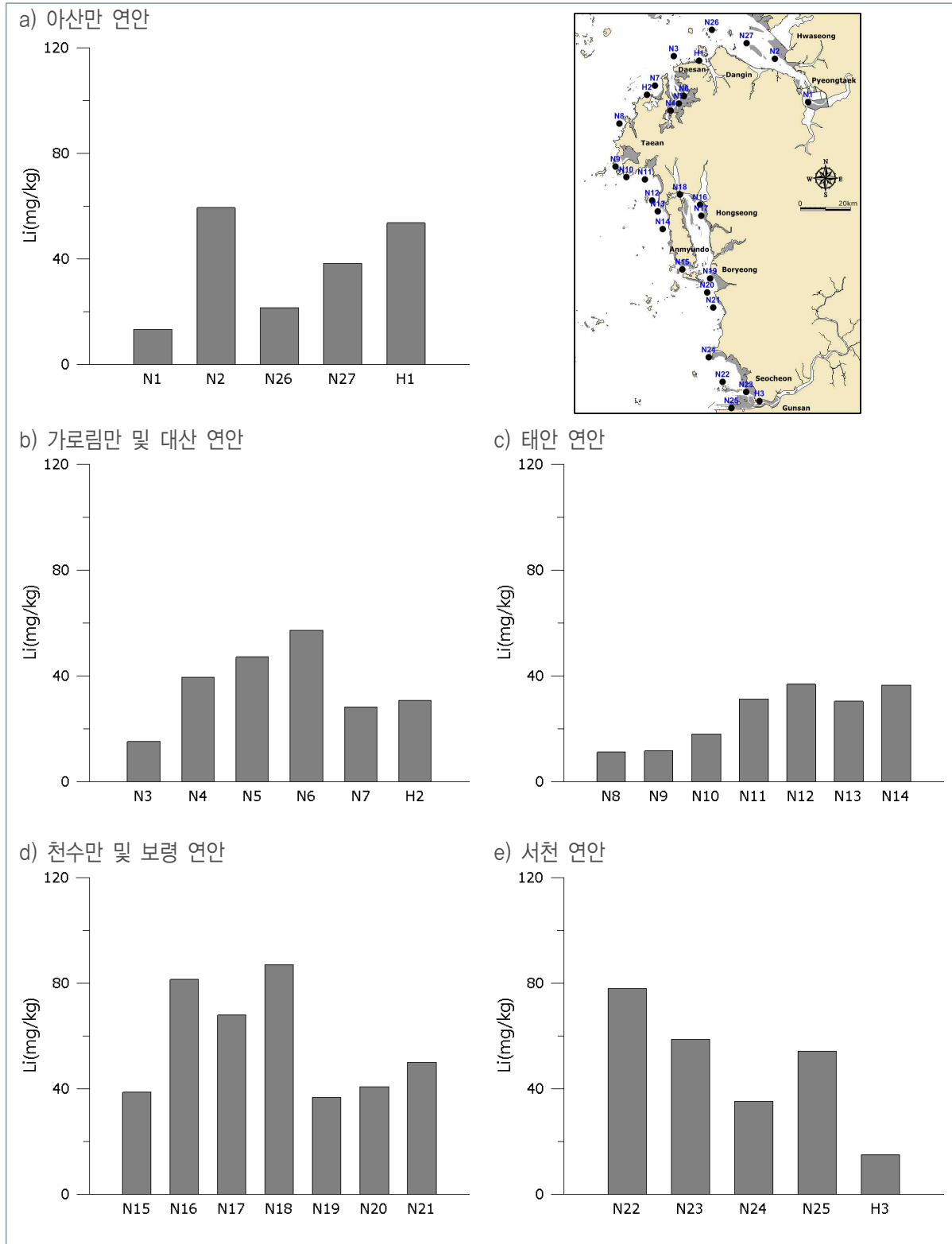
〈그림 3.3-63〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 니켈(Ni) 분포 특성



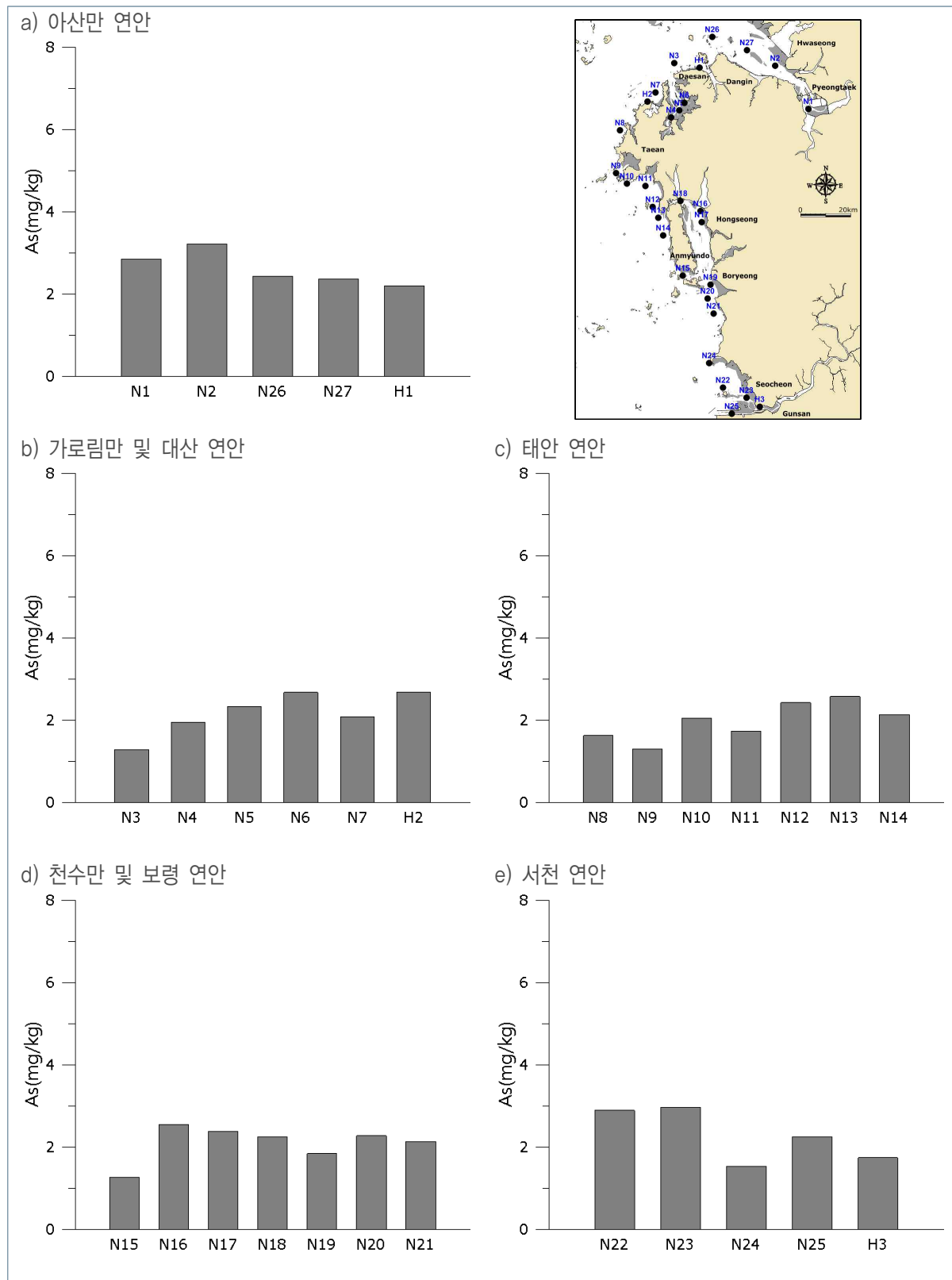
〈그림 3.3-64〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 망간(Mn) 분포 특성



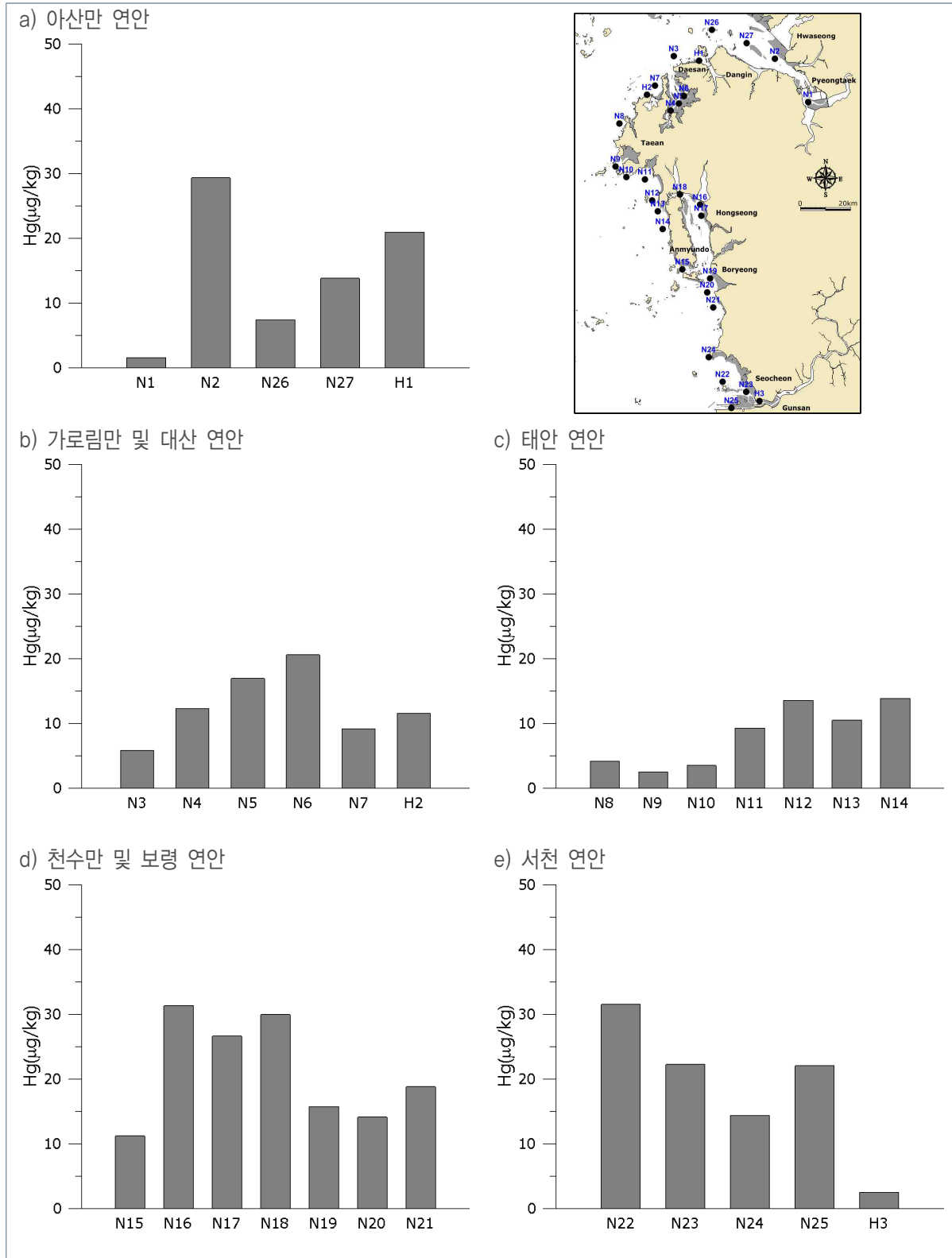
<그림 3.3-65> 해양 퇴적물 내 중금속 중 코발트(Co) 분포 특성



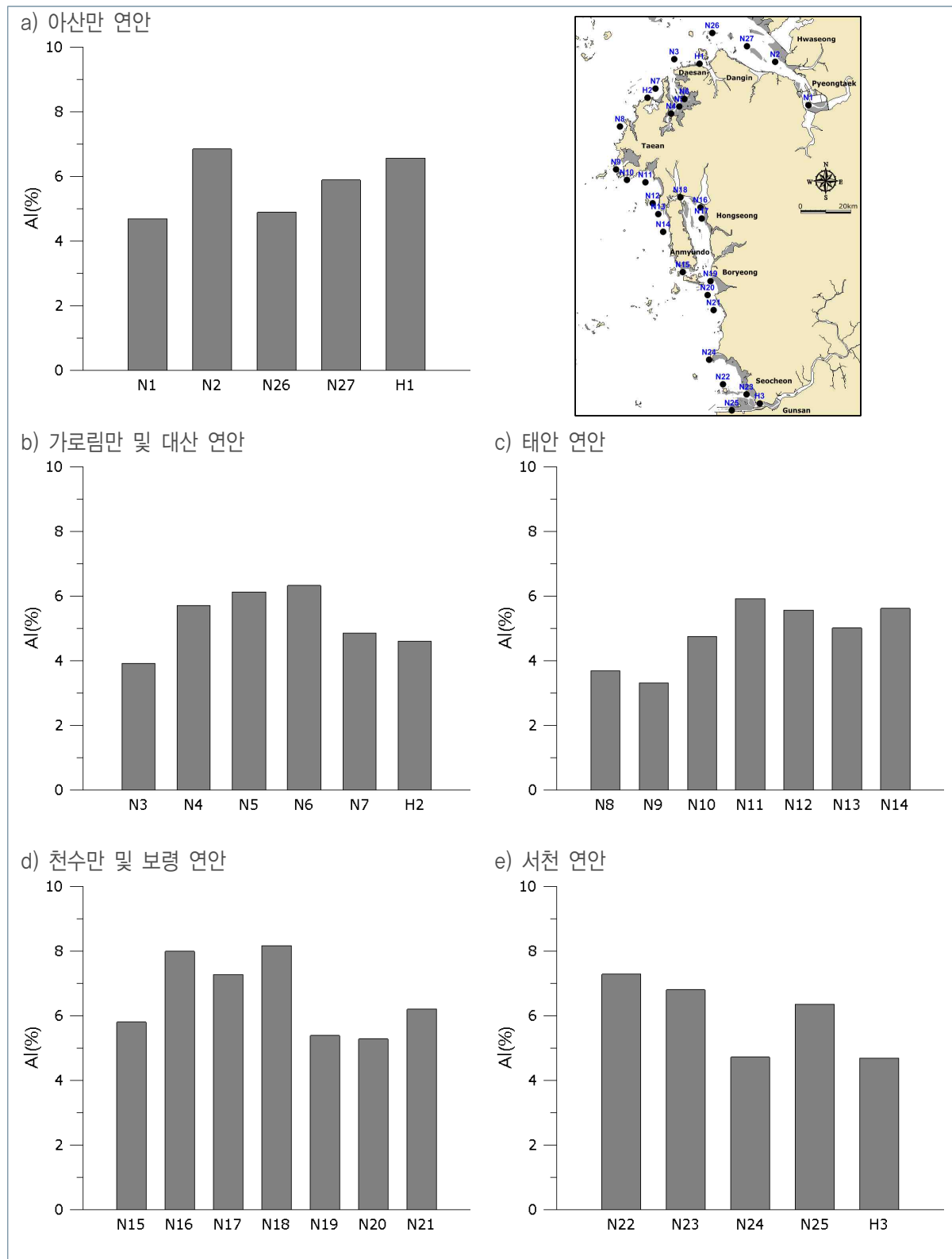
〈그림 3.3-66〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 리튬(Li) 분포 특성



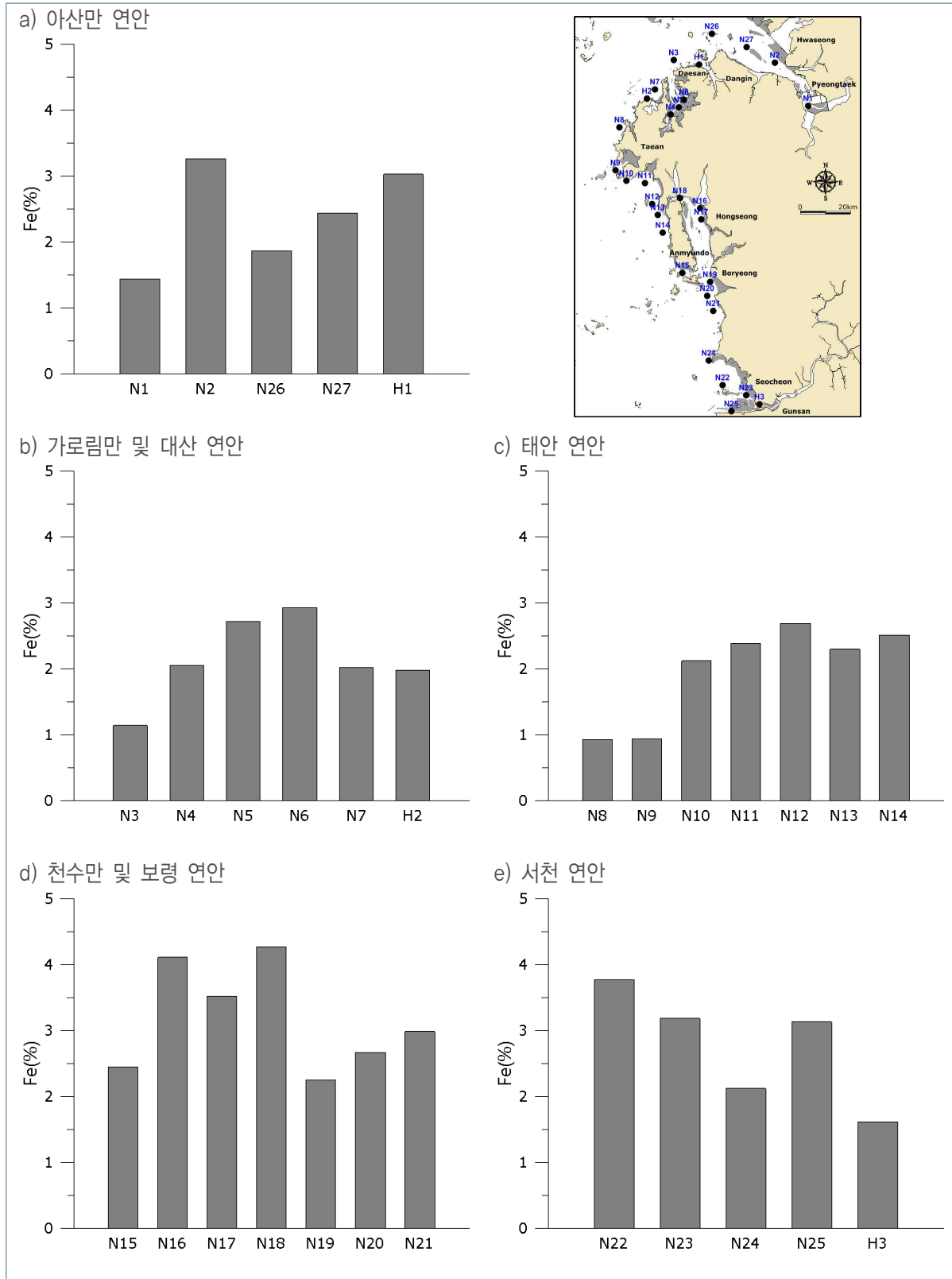
<그림 3.3-67> 해양 퇴적물 내 중금속 중 비소(As) 분포 특성



〈그림 3.3-68〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 수은(Hg) 분포 특성



〈그림 3.3-69〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 알루미늄(Al) 분포 특성



〈그림 3.3-70〉 해양 퇴적물 내 중금속 중 철(Fe) 분포 특성

사. 상관 분석 및 국내 환경 기준과의 비교

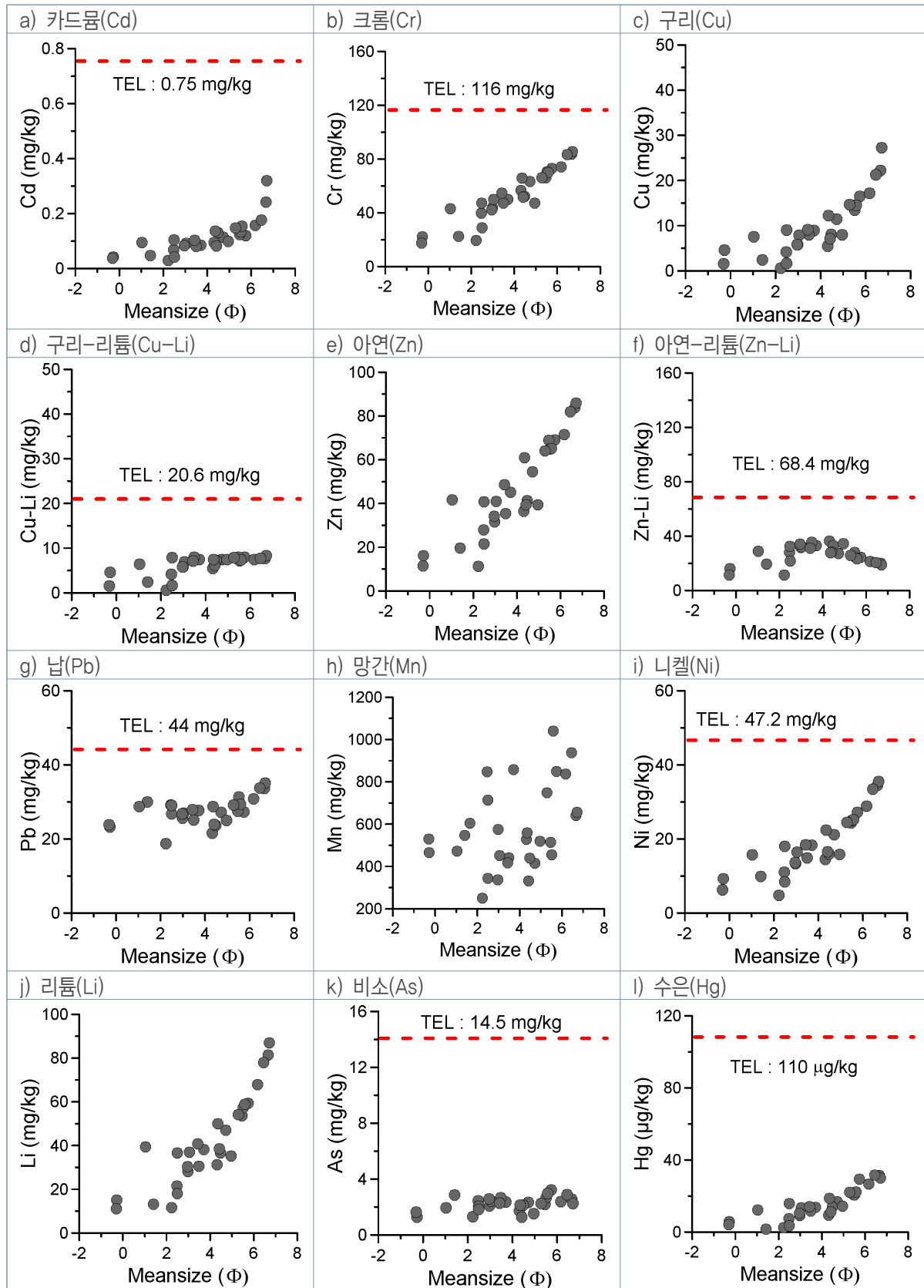
- 퇴적물 내 중금속의 공간적 분포를 조절하는 요인을 파악하기 위해 평균 입도와 중금속의 상관성을 파악하였고, 그 결과를 <표 3.3-20>과 <그림 3.3-71>에 제시하였다.
- 한편 해양퇴적물 내 중금속에 대한 국내 해양환경 기준(해양수산부, 2018)을 <표 3.3.21>에 제시하였다.
- 일반적으로 연안 해역에서 퇴적물 중금속 농도는 기원 암석의 광물적 조성, 입도, 퇴적물 내 속성작용, 자생광물 혹은 생물기원 광물, 인위적인 유입 등 여러 요인에 의해 영향을 받으며(Forstner, 1981), 그 중에서도 입도와 유기물 함량과 밀접한 관련이 있다고 보고된 바 있다(Cho and Park, 1998, Hwang et al., 2010; Hwang and Kim, 2011; Lim et al., 2013).
- 상관 분석 결과는 5단계로 구분되며 매우 낮은 상관성(0~0.2), 낮은 상관성(0.2~0.4), 양호한 상관성(0.4~0.7), 높은 상관성(0.7~0.9), 매우 높은 상관성(0.9~1.0)으로 알려져 있다.
- 평균입도와 유기물, 중금속 간의 상관 분석 결과 대부분 높은 상관성 이상을 보였으며, 납(Pb)과 비소(As)는 양호한 상관성을 보여 각각의 항목이 서로 영향을 주는 것으로 분석되었다.
- 퇴적물 내 중금속의 오염도는 해양환경기준(해양수산부, 2018)의 해저퇴적물 기준을 사용하여 분석하였으며, 해양환경기준은 총 8개의 중금속(비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 수은(Hg), 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn))에 대하여 주의기준(TEL:부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위)과 관리기준(PEL:부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도)을 설정하였다.
- 각 시료 내 중금속 농도는 입자 크기에 따라 변하므로, 입자 크기의 변화를 나타낼 수 있는 리튬(Li)으로 보정 후 적용하는데, 구리(Cu)와 아연(Zn)이 해당되고, 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 수은(Hg), 니켈(Ni), 납(Pb)은 측정값과 기준 농도를 직접 비교한다.
- 각 중금속 오염도를 분석한 결과 모든 항목이 주의기준(TEL) 이하로 분석되었으며, 충청남도 연안의 퇴적물은 중금속에 의한 오염도는 낮은 것으로 조사되었다.

〈표 3.3-20〉 해양 퇴적물 항목의 상관분석 결과(2020년 5월)

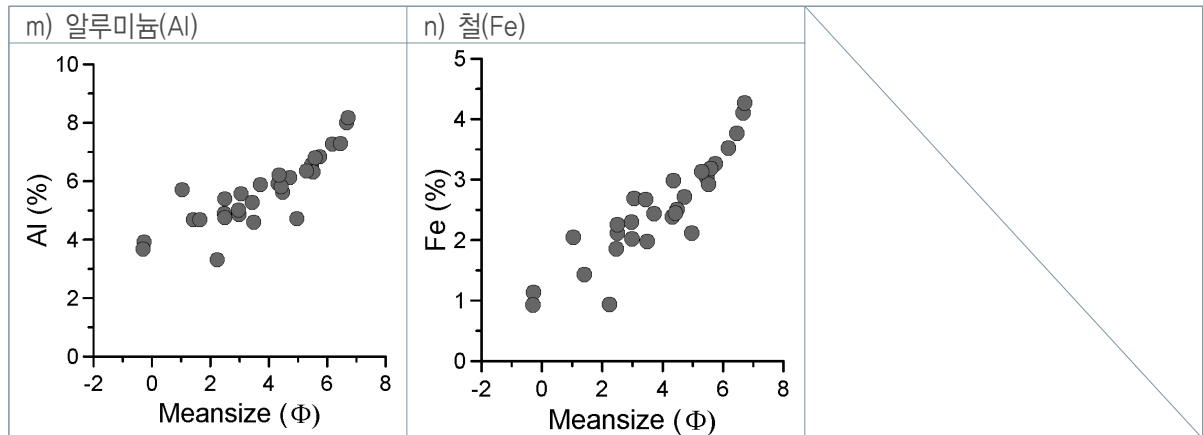
	Mz	IL	COD	TOC	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Li	As	Hg
Mz	1.0											
IL	0.8	1.0										
COD	0.9	0.9	1.0									
TOC	0.8	0.9	1.0	1.0								
Cd	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0							
Cr	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0						
Cu	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9	1.0					
Pb	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	1.0				
Zn	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0			
Li	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0		
As	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	1.0	
Hg	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	0.6	1.0	1.0	0.5	1.0

〈표 3.3-21〉 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10)

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	(mg/kg)							
주의기준 (TEL)	14.5	0.75	116	20.6	0.11	47.2	44.0	68.4
관리기준 (PEL)	75.5	2.72	181	64.4	0.62	80.5	119	157
<p>(1) 주의기준 (Threshold Effects Level, TEL): 부정적인 생태 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도</p> <p>(2) 관리기준 (Probable Effects Level, PEL): 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도</p> <p>(3) 적용 방법 : 금속 농도가 입자 크기에 따라 변화하므로 입자 크기의 변화를 나타낼 수 있는 금속 (Li)을 사용하여 보정된 금속 농도를 사용</p> <p>- As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb는 시료와 각 기준 농도를 직접 비교</p> <p>- Cu, Zn은 시료의 Li으로 측정 농도를 입도 보정하여 기준 농도와 비교</p> $\text{입도보정한 Cu 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 Cu 농도} - 4.10}{\text{시료의 Li 농도} - 21.2} \right) \times 11.9 \right) + 4.10$ $\text{입도보정한 Zn 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 Zn 농도} - 30.4}{\text{시료의 Li 농도} - 21.2} \right) \times 11.9 \right) + 30.4$ <p>- 만일 시료의 Li이 33.1 ppm 이하이거나 입도보정 농도가 음의 값을 보일 경우 별도의 입도보정 없이 주의기준과 관리기준에 직접 비교</p>								



〈그림 3.3-71〉 해양퇴적물의 입도, 중금속 항목의 상관성 및 국내 해양환경기준과의 비교



〈그림 3.3-71〉 계 속

아. 오염도 평가

1) 농축계수(enrichment factor : EF)

- 일반적으로 오염은 환경 내 매질 중 구성성분의 농도가 자연 상태에 존재하는 농도보다 높아져 있거나 생물에 악영향을 미치는 상태를 의미한다. 농축계수는 지각물질 중에 풍부하고 보존적인 성질을 가진 원소인 Al 혹은 Fe을 표준화 성분으로 사용하여 점토 광물의 구성비율과 연구지역내 미량금속의 구성비를 이용하여 각 중금속의 농축정도를 평가하는 방법이다(Choi et al., 2010, Hwang and Kim, 2011).
- 기존에 배경농도 설정을 상부 지각물질의 평균농도(Martin and Whitefield, 1983), 전 세계 연안 대륙붕지역의 평균농도(Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995), 또는 연구지역에서 가장 낮은 농도(Hyen et al., 2003)를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이러한 기존 배경농도 설정은 포괄적 또는 국지적으로 환경 고유의 특성이 간과되는 오류가 발생할 수 있다(Cho and Cho, 2015)

$$EF = \frac{(Metal)_{sample}}{Slope \times (Li)_{sample} + Yaxis}$$

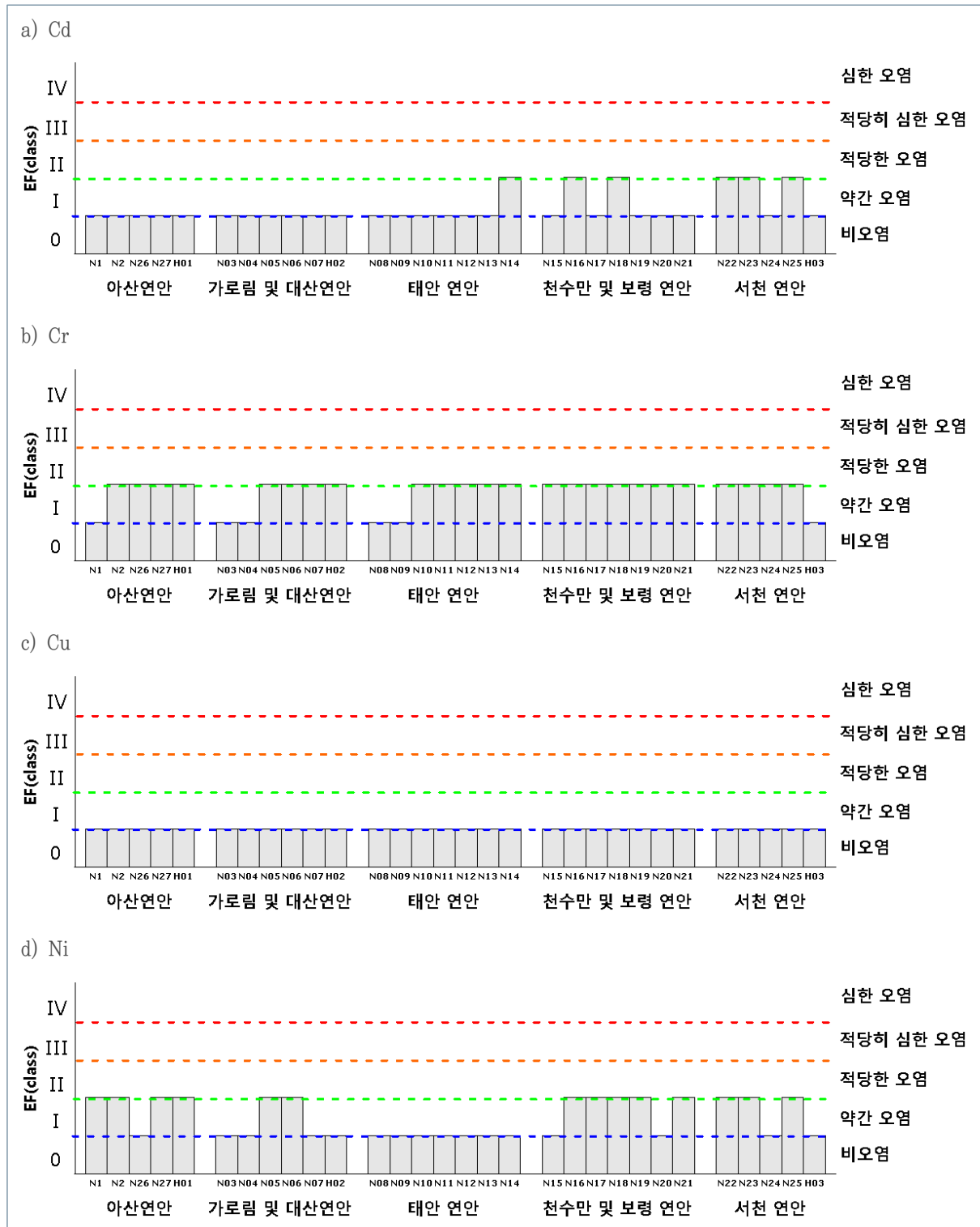
- 따라서 금회 조사 자료의 배경농도는 Woo et al(2019)이 제시한 한반도 연안 퇴적물의 중금속 배경농도를 이용하였다. 간단히 설명하면 오염영향이 없으면서 입도 효과가 중금속과 유사하게 나타나는 보존성 원소(Al, Cs, Li)에 대한 각 중금속의 기울기로 제시되었다. 금회 조사에서는 보존성 원소인 Li를 분석하여 그 값을 사용하였다.
- 일반적으로 농축계수의 값에 대한 오염도의 평가는 0.5~1.5 범위일 경우 오염되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고 1.5보다 클 경우 다른 오염원에 의한 오염이 있음을 의미한다(Zhang and Liu, 2002). 최근에는 농축계수의 값을 세분화 하여 오염을 평가하였으며, 평가 기준은 <표 3.3-22>에 제시하였다(Birth, 2003; Chen et al., 2007).
- 금회 조사에서 농축계수는 오염되지 않은 상태(no enrichment)에서 약간 오염 상태(minor enrichment)로 나타났다(<표 3.3-23>). 농축계수로 퇴적물 내 중금속의 오염도를 평가한 결과 구리(Cu), 아연(Zn)의 경우 오염되지 않은 상태로 나타났으나, 대부분의 항목이 오염되지 않는 상태와 약간 오염 및 오염되지 않은 상태를 보여 조사 해역의 오염도는 일부 정점을 제외하면 낮은 것으로 조사되었다(<그림 3.3.72>~<그림 3.3.73>).

〈표 3.3-22〉 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

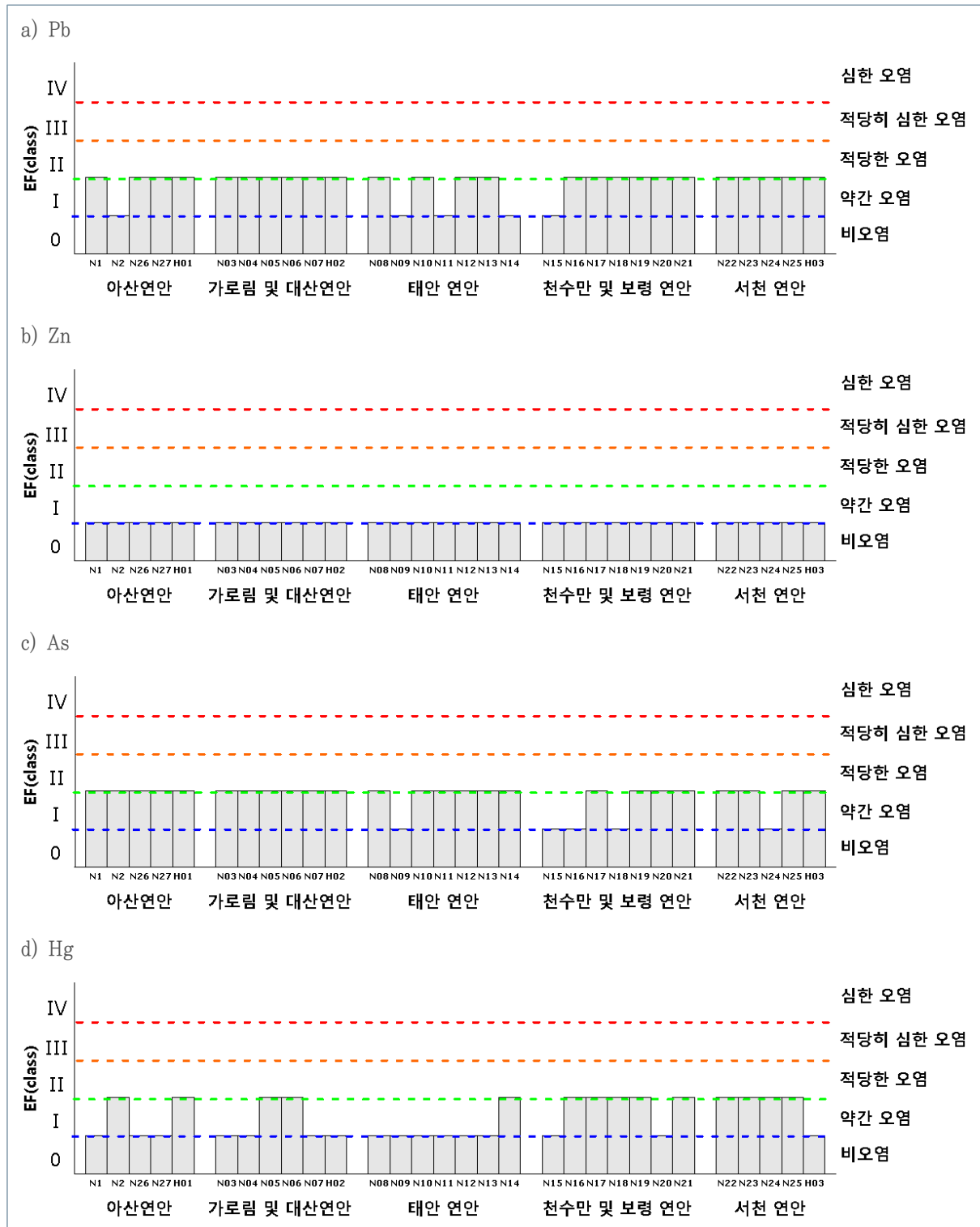
EF	Class	등급
> 50	6	극히 심한 오염 상태 (Extremely severe enrichment)
25-50	5	매우 심한 오염 상태 (Very severe enrichment)
10-25	4	심한 오염 상태 (Severe enrichment)
5-10	3	적당히 심한 오염 상태 (moderately severe enrichment)
3-5	2	적당한 오염 상태 (moderate enrichment)
1-3	1	약간 오염 상태 (minor enrichment)
< 1	0	오염되지 않은 상태 (no enrichment)

〈표 3.3-23〉 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2020년 준계)

EF	Class	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg
> 50	6	0	0	0	0	0	0	0	0
25-50	5	0	0	0	0	0	0	0	0
10-25	4	0	0	0	0	0	0	0	0
5-10	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3-5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1-3	1	6	24	0	14	25	0	25	14
< 1	0	24	6	30	16	5	30	5	16



<그림 3.3-72> 퇴적물 내 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni)의 정점별 농축계수(EF)



<그림 3.3-73> 퇴적물 내 납(Pb), 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)의 정점별 농축계수(EF)

2) 농집지수(geoaccumulation index : I_{geo})

- 농집지수는 퇴적물 내 금속의 오염도를 평가하기 위하여 Müller(1979)가 제안하였으며, 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5}$$

- 여기서 C_n 은 측정된 퇴적물 내 중금속의 농도이며, 지수 1.5는 지각 기원에 의한 영향을 보정하기 위해 사용되었고, B_n 은 미량금속의 바탕농도(background)이다.
- 금회 조사 자료의 배경농도는 농축계수(EF)와 동일하게 Woo et al(2019)이 제시한 한반도 연안 퇴적물의 중금속 배경농도를 이용하였다. 간단히 설명하면 오염영향이 없으면서 입도 효과가 중금속과 유사하게 나타나는 보존성 원소(Al, Cs, Li)에 대한 각 중금속의 기울기로 제시되었다. 금회 조사에서는 보존성 원소인 Li를 분석하여 그 값을 사용하였다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{(Metal)_{sample}}{(Slope \times (Li)_{sample} + Yaxis) \times 1.5}$$

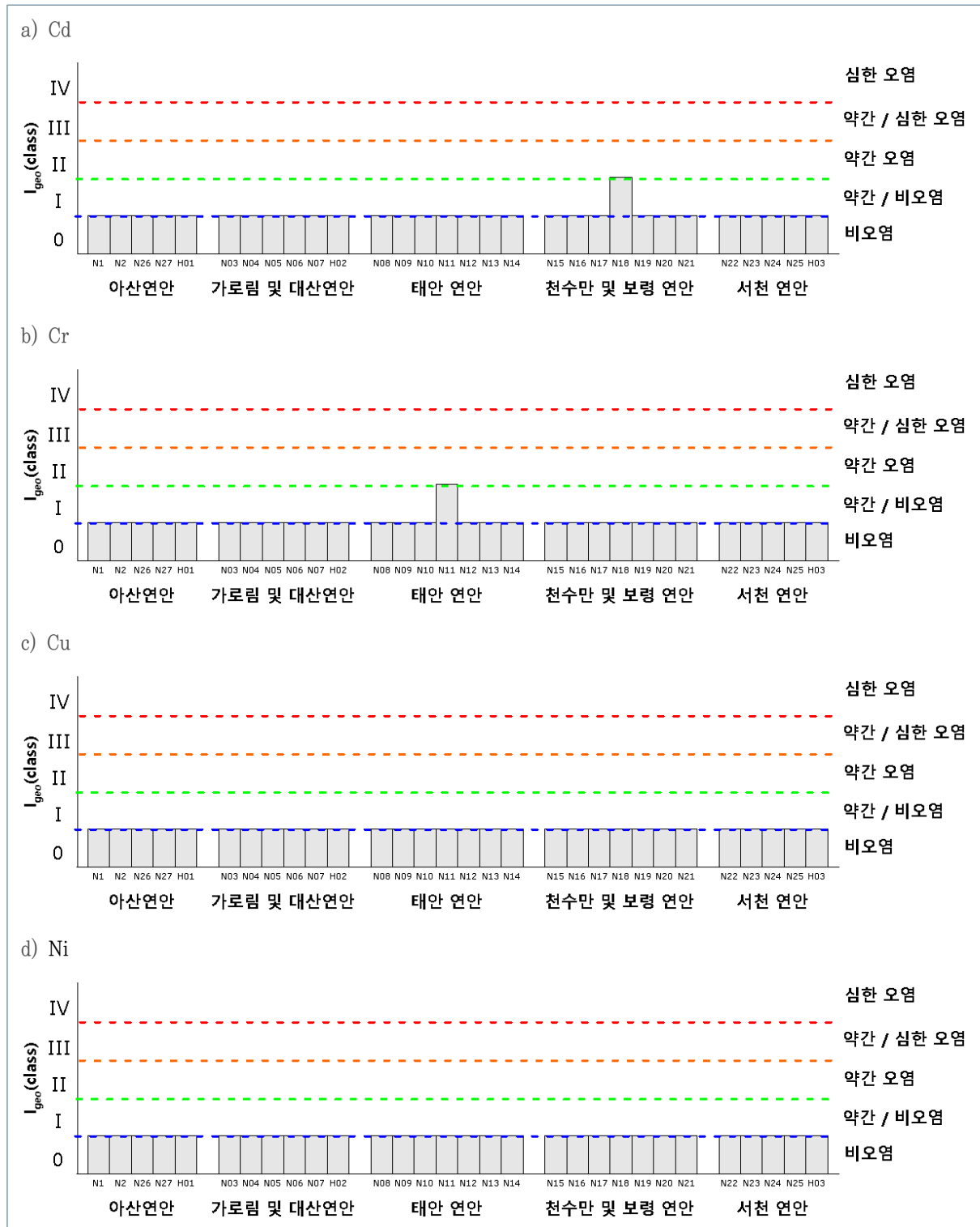
- 농집지수는 각 중금속 원소에 대하여 총 7개의 class로 구분하여 오염여부를 세분화하고 있으며, <표 3.3-24>에 제시하였다.
- 금회 조사의 퇴적물 농집지수는 비오염(Practically unpolluted)에서 약간 오염(Moderately polluted)으로 조사되었다. 카드뮴(Cd) 1개 정점, 크롬(Cr) 1개 정점, 납(Pb) 2개 정점, 비소(As) 4개 정점에서 약간 오염/비오염 수준을 보였으며, 나머지 항목들은 비오염 수준으로 나타났다(<표 3.3-25>). 금회 조사의 퇴적물 농집지수는 대부분의 항목이 비오염 수준으로 나타나 조사 해역의 오염도는 낮은 것으로 조사되었다(<그림 3.3-74>, <그림 3.3-75>).

〈표 3.3-24〉 농집지수를 이용한 해양 퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

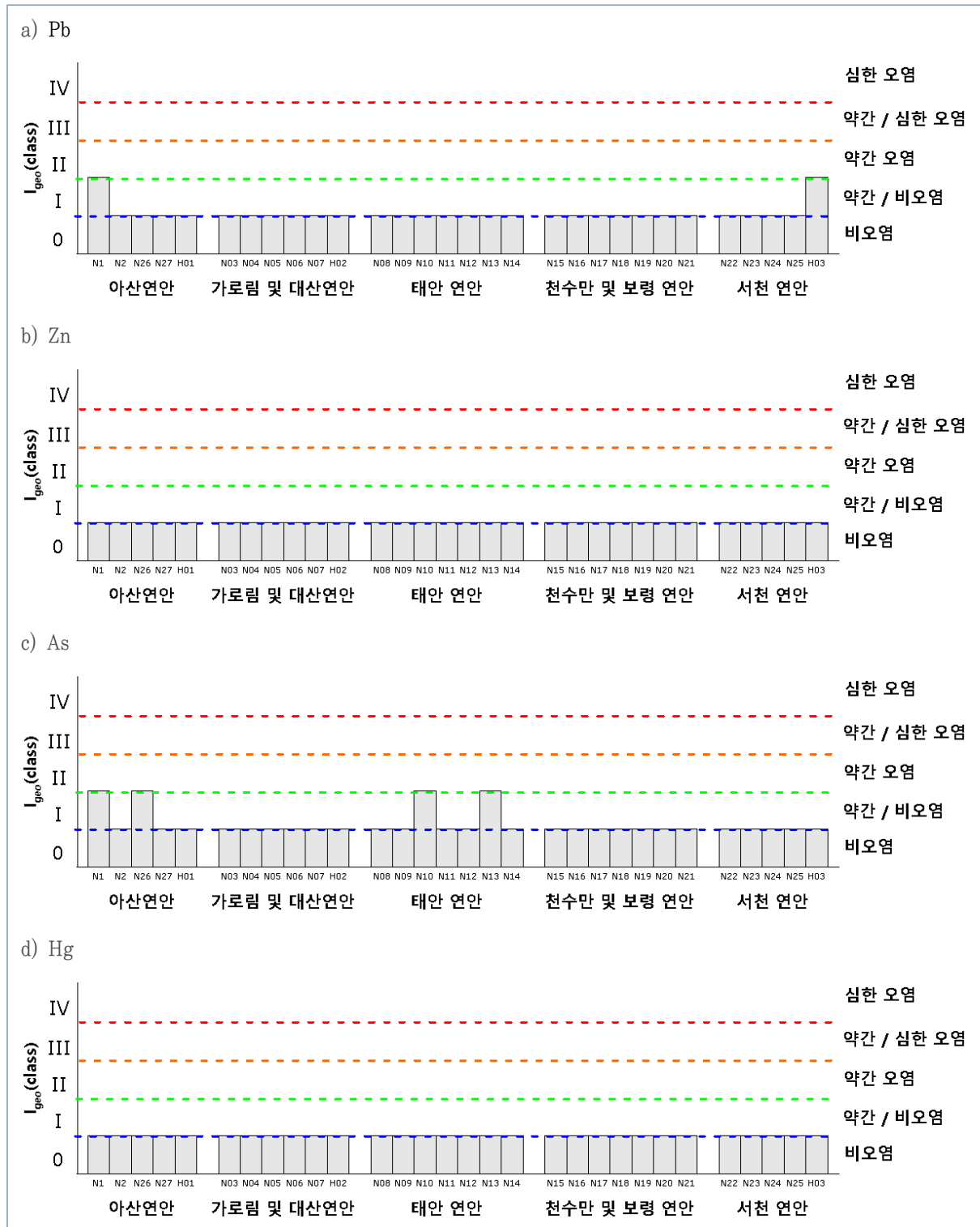
I _{geo}	Class	등급
>5	7	매우 심한 오염 (Very Strong polluted)
4-5	6	심한 오염/매우 심한 오염 (Strong/Very strong polluted)
3-4	5	심한 오염 수준 (Strong polluted)
2-3	4	약간 오염/심한 오염 수준 (Moderately/strongly polluted)
1-2	3	약간 오염 수준 (Moderately polluted)
0-1	2	약간 오염/ 비오염 수준 (Practically unpolluted/moderately polluted)
0	1	비오염 수준 (Practically unpolluted)

〈표 3.3-25〉 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2020년 준계)

I _{geo}	Class	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg
>5	6	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0-1	1	1	1	0	0	2	0	4	0
0	0	29	29	30	30	28	30	26	30



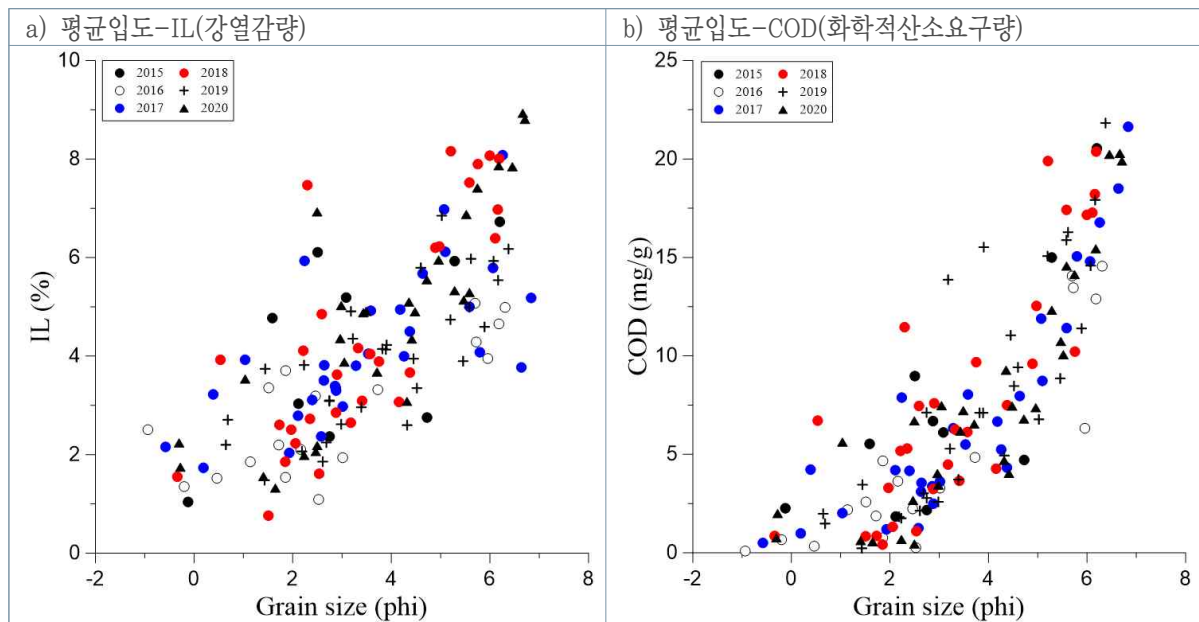
<그림 3.3-74> 퇴적물 내 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 니켈(Ni)의 정점별 농집지수(I_{geo})



<그림 3.3-75> 퇴적물 내 납(Pb), 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)의 정점별 농집지수(I_{geo})

자. 평균입도(Grain size)와 강열감량(IL), 화학적산소요구량(COD)간의 상관성

- 일반적으로 물질은 다른 성질의 물질과 접촉할 때, 입자가 작을수록 단면적이 넓어져서 입자가 클 때보다 농도 또는 함유량이 높아진다.
- 퇴적물의 입자 구분은 각 입자의 직경에 따라 크게 자갈(Gravel, 256mm 이상~2mm 이상), 모래(Sand, 1mm 이상~1/16mm 이상), 펄(Mud, 1/32mm 이상~1/512mm 이상)로 나눌 수 있다.
- 입자의 직경을 사용하여 입도($\phi = -\log_2(\text{입자직경})$)를 구할 수 있으며, 입자가 클수록 입도(ϕ)값은 작아지고, 입자가 작을수록 입도(ϕ)값이 커진다.
- 2015년~2020년까지 퇴적물의 평균입도와 IL, COD간의 상관성을 살펴보면, ϕ 값이 커질수록(입자가 작을수록) IL과 COD의 농도가 높아지는 경향을 보였고, 연도별로 비슷한 농도로 나타났다(<그림 3.3-76>).

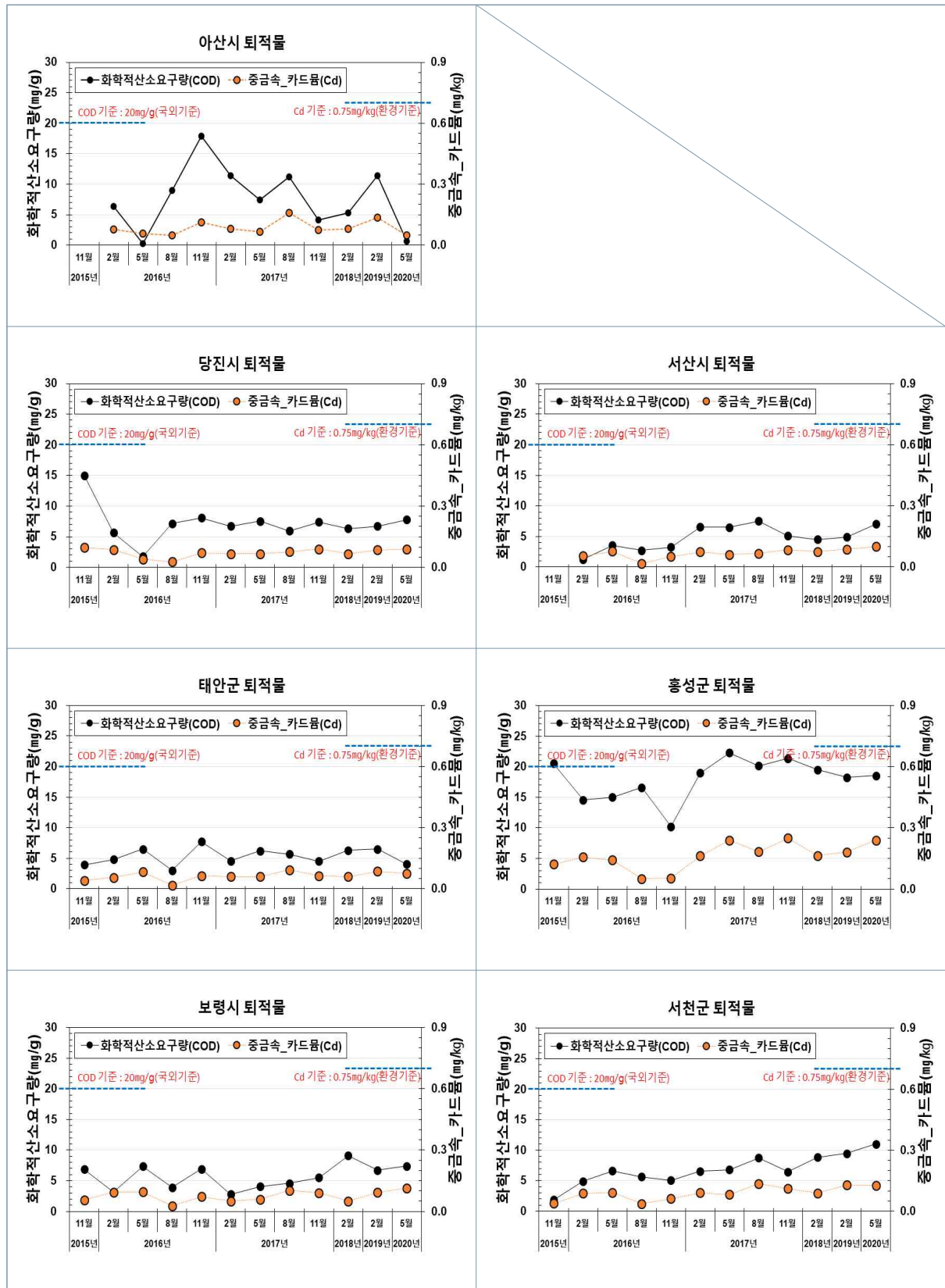


<그림 3.3-76> 퇴적물의 평균입도와 IL, COD간 상관성

3.3.5. 연차별 퇴적물 결과 분석

가. 충청남도 시·군별 퇴적물 분석 결과

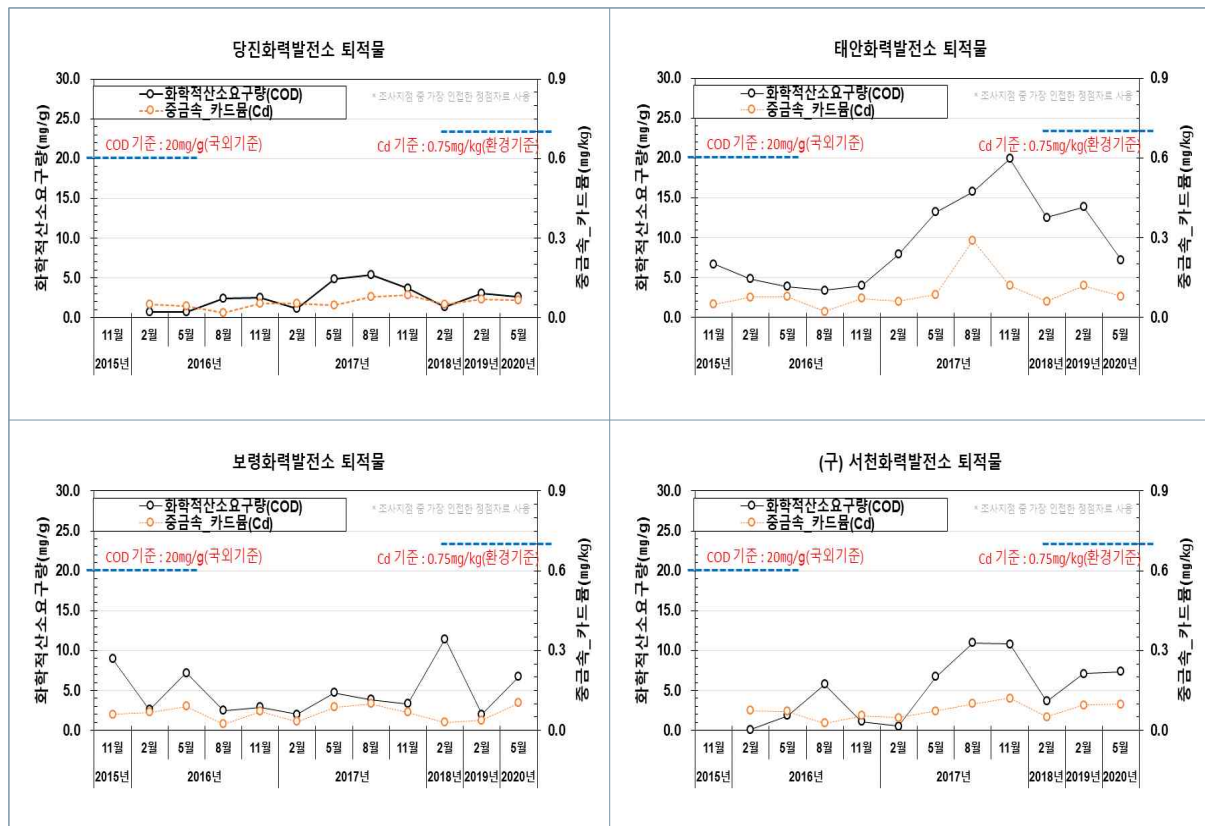
- 본 용역 모니터링의 해양 퇴적물 결과 중 일반항목 화학적산소요구량(COD)과 중금속류 카드뮴(Cd)농도를 활용하여 시·군별 퇴적환경의 오염도를 분석했다.
- 해양 퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 유기물오염도를 나타내는 척도로 사용되지만, 현재 국내 기준이 제시되어 있지 않아, 국외(일본 수산자원협회) 기준을 활용했다.
 - 국외 기준 : COD 20mg/g(건중량) 이하
- COD를 기준으로 살펴보면, 홍성군(천수만)을 제외한 지역은 기준치에 하회하는 것으로 나타났으며, 2017년 8월 이후 기준치에 근접한 수치로 분석되었다(〈그림 3.3-77〉).
- 홍성군 조사정점은 천수만 내측에 위치하고 있어 천수만 주변 4개 호소로부터 유입되는 담수 내 유기물이 해저로 침전되어 퇴적물의 유기물 농도를 증가시키는 것으로 판단된다.
- 중금속 카드뮴(Cd)를 살펴보면, 대부분의 지역은 기준치보다 하회하는 수준을 보이고 있으나, 홍성군의 카드뮴 농도가 점차 증가하는 추세를 보이고 있어 관리가 필요할 것으로 판단된다.



<그림 3.3-77> 시·군별 해양 퇴적물 내 유기오염도(COD) 및 중금속(Cd) 연변동 특성

나. 화력발전소 주변 퇴적물 분석 결과

- 해양 수질에서와 동일한 이유로 화력발전소 주변의 해양생태계 영향을 파악하기 위해 화력발전소 인근 정점의 퇴적물 결과 중 화학적산소요구량(COD)와 중금속 카드뮴(Cd) 농도를 분석했다(〈그림 3.3-78〉).
- '20년 조사 결과 보령화력발전소를 제외하고 전년도에 비해 수치가 감소하고 있는 것으로 나타났으며, 보령화력발전소는 소폭 상승하긴 했으나 기준치에는 못 미치는 수준이었다.
- 태안화력발전소의 경우 2017년까지 COD항목이 기준치에 근접했으나, 이후 감소하는 추세를 보이고 있다.



〈그림 3.3-78〉 화력발전소 주변 해양 퇴적물 내 유기오염도(COD) 및 중금속(Cd) 연변동 특성

3.3.6. 해양생물(굴)

- 해양으로 유입된 중금속은 수중에서 흡착되어 퇴적물로 이동하거나 생물체 내 흡수되어 제거되고, 특히 생물체내 흡수된 중금속은 유기염화물이나 탄화수소 등의 기타 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 가지며(Phillips and Segar, 1986), 모든 조직에 축적되어 생리적인 장애를 일으킨다(이와 김, 2000). 또한 하등 동식물에서 생물농축(Bioaccumulation)된 중금속은 먹이사슬을 통해 생물확대(Biomagnification)됨으로써 결국은 인간에게까지 영향을 미치는 지속성 오염물질이다(이, 1994)
- 생물체를 이용한 연안의 오염도를 평가하는 방법에서 해양오염지표종은 정착성 생물이며, 시료채취가 용이하고, 또한 환경 내 오염물질의 농도를 잘 반영하여야 한다(Brown and Luoma, 1995). 이때패류와 같은 연체동물들은 일생을 통해 활동 범위가 거의 한 지역에 국한되면서도 중금속, 유기화합물 등을 생물농축 시키므로 오염감시 목적으로 사용될 수 있다 (한과 이, 2000). 세계적으로도 진주 담치와 굴을 이용한 통합 감시 프로그램(International Mussel Watch)이 수행되고 있으며, 우리나라에서도 진주 담치(Mytilus edulis), 참굴(Crassostrea gigas)등을 오염 감시에 이용하기 위한 연구가 수행되어 왔다 (한국해양연구소, 1982; 조 등, 1998).
- 패류는 종에 따라서 체내 중금속 농도가 다른 분포를 보이며, 종 내에서도 중금속에 따라 다른 것으로 알려져 있다(Phillips and Rainbow, 1989). 굴과 진주 담치에 대하여 카드뮴(Cd)은 2 : 1(굴 : 진주 담치), 납(Pb)은 10 : 1(굴 : 진주 담치)의 비율을 보여, 진주 담치 보다 굴이 체내 중금속을 농축하는 정도의 차이가 있는 것으로 보고되었다(하 등, 2004). 또한 굴은 체내로 흡수된 아연(Zn)을 무독성 상태인 피로인산아연(Zinc pyrophosphate)으로 축적 하는 특성을 가지고 있어 굴 체내 아연(Zn)의 농도가 높은 것으로 알려져 있다(Rainbow et al., 1990).
- 본 용역은 충남 연안의 5개 정점(N3, N8, N9, N18, N22)을 선정하여 굴(Oyster : Crassostrea gigas)의 체내 중금속 농도를 분석하였다.
- 굴 체내 중금속은 함량을 측정하여 생물중량(Wet base)으로 나타내었다(〈표 3.3-26〉, 〈그림 3.3-79〉).
- 춘계에는 카드뮴(Cd)이 0.67~1.18mg/kg(평균 0.83mg/kg), 크롬(Cr)은 0.06~0.13mg/kg(평균 0.10mg/kg), 구리(Cu) 24.5~62.6mg/kg(평균 43.1mg/kg), 납(Pb) 0.11~0.13mg/kg(평균 0.12mg/kg), 아연(Zn) 178.6~401.6mg/kg(평균 277.1mg/kg), 비소(As) 0.97~1.92 mg/kg(평균 1.40mg/kg), 수은(Hg) 0.012~0.032mg/kg(평균 0.023mg/kg)으로 조사되었다.

- 하계에는 카드뮴(Cd)이 0.53~1.12mg/kg(평균 0.72mg/kg), 크롬(Cr)은 0.06~0.35mg/kg(평균 0.14mg/kg), 구리(Cu) 19.1~55.8mg/kg(평균 40.4mg/kg), 납(Pb) 0.09~0.13mg/kg(평균 0.11mg/kg), 아연(Zn) 98.4~212.1mg/kg(평균 155.6mg/kg), 비소(As) 0.67~1.22 mg/kg(평균 0.92mg/kg), 수은(Hg) 0.011~0.024mg/kg(평균 0.019mg/kg)으로 조사되었다.
- 추계에는 카드뮴(Cd)이 0.50~1.17mg/kg(평균 0.72mg/kg), 크롬(Cr)은 0.15~0.55mg/kg(평균 0.29mg/kg), 구리(Cu) 11.1~55.8mg/kg(평균 39.8mg/kg), 납(Pb) 0.11~0.18mg/kg(평균 0.13mg/kg), 아연(Zn) 46.0~192.5mg/kg(평균 123.7mg/kg), 비소(As) 0.89~1.27 mg/kg(평균 1.03mg/kg), 수은(Hg) 0.007~0.020mg/kg(평균 0.015mg/kg)으로 조사되었다.
- 국내 수산물 중 패류 및 연체류의 기준과 기존 연구된 국내 연안의 굴 체내 중금속 농도를 <표 3.3-27>에 제시하였다. 금회 연구 결과 국내 식품의약품안전처의 수산물 중 패류 기준인 카드뮴(Cd) 및 납(Pb) 2mg/kg와 수은(Hg) 0.5mg/kg 이하로 조사되었으며, 미국 식품의약품 수산물 기준 크롬(Cr) 13mg/kg 이하로 조사되었다.
- 현재 서해 연안 해역에서 생물체 내 중금속에 대한 연구 자료가 부족하여 비교 및 판단이 어려우나, 국내 연안에서 수행된 기존 연구 결과와 금회 조사 자료를 비교하면 대부분 유사하였으며, 진해만 및 멕시코 서부에 위치한 Mazatlan bay 보다는 낮은 농도를 보였다.
- 일반적으로 굴은 5월에서 8월 사이에 산란하며, 산란 후 굴 체내의 중금속 농도는 낮아지는 것으로 알려져 있다. 금회 조사의 경우 아연(Zn), 수은(Hg)은 추계 조사시 농도가 다른 시기에 비해 상대적으로 낮은 특성을 보였고, 그 외 시기에서는 정점간 변동성이 큰 것으로 조사되었다(<그림 3.3.79>). 또한 N8 정점에서 카드뮴(Cd)이 상대적으로 높은 특징이 전 계절에 걸쳐 나타나 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 3.3-26〉 해양 생물 체내 중금속 분석 결과(2020년)

정점		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
		(mg/kg wet wt.)						
동계	N3	-	-	-	-	-	-	-
	N8	-	-	-	-	-	-	-
	N9	-	-	-	-	-	-	-
	N18	-	-	-	-	-	-	-
	N22	-	-	-	-	-	-	-
춘계	N3	0.67	0.11	41.85	0.13	274.04	0.97	0.025
	N8	1.18	0.13	62.61	0.11	401.61	1.23	0.032
	N9	0.72	0.09	53.03	0.11	338.47	1.25	0.029
	N18	0.78	0.08	33.71	0.13	178.62	1.62	0.015
	N22	0.79	0.06	24.46	0.12	192.98	1.92	0.012
하계	N3	0.53	0.13	39.13	0.13	143.34	0.83	0.021
	N8	1.12	0.08	55.82	0.10	203.76	1.22	0.021
	N9	0.63	0.35	54.46	0.11	212.13	0.81	0.024
	N18	0.71	0.07	19.14	0.09	98.45	0.67	0.011
	N22	0.64	0.06	33.44	0.11	120.53	1.06	0.016
추계	N3	0.65	0.27	49.88	0.18	131.31	1.10	0.016
	N8	1.17	0.19	49.18	0.13	192.52	1.27	0.018
	N9	0.69	0.29	55.84	0.13	161.00	0.89	0.020
	N18	0.50	0.55	11.05	0.11	46.02	0.96	0.007
	N22	0.61	0.15	33.04	0.12	87.54	0.93	0.012
최소		0.50	0.06	11.05	0.09	46.02	0.67	0.007
최대		1.18	0.55	62.61	0.18	401.61	1.92	0.032
평균		0.76	0.17	41.11	0.12	185.49	1.11	0.019

〈표 3.3-27〉 국내·외 식품 중 패류의 중금속 기준 및 기존 연구결과

지역	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Hg
	(mg/kg wet wt.)					
기준 ¹⁾	2.00			2.0		0.500
기준 ²⁾		13.00				
가막만 ³⁾	0.29			0.3		0.006
남해연안 ⁴⁾	0.48					0.020
서해연안 ⁵⁾	0.57			3.8		0.580
진해만 ⁶⁾	2.50			1.1		
Mazatlan bay ⁷⁾	2.30	0.99		2.3		
남해연안 ⁸⁾	0.37~0.79	0.09~0.25		0.04~0.32		0.006~0.011
통영연안 ⁹⁾	0.49	0.73		0.7		0.078
국내연안 ¹⁰⁾	0.71	0.16	22.60	0.2	48.0	
금회조사 ¹¹⁾	0.50~1.18 (평균 0.76)	0.06~0.55 (평균 0.17)	11.01~62.61 (평균 41.11)	0.09~0.18 (평균 0.12)	46.0~401.6 (평균 185.5)	0.007~0.032 (평균 0.019)

1) 식품의 기준 및 규격(패류의 중금속 기준), 제2015-78호, 식품의약품안전처

2) 미국식품의약국 수산물 기준

3) Hwang et al., 1985, Heavy metal concentration in oyster, in Hansan-Koje Bay.

4) 최 등, 1997, 한국 연안 진주담치와 굴의 중금속 농도에 관한 연구

5) Kim, 1997, A Study on the heavy metals contents of shellfish in western coast of Korea

6) 이와 김, 2000, 진해만의 퇴적물 해수 및 참굴 내의 중금속 분포

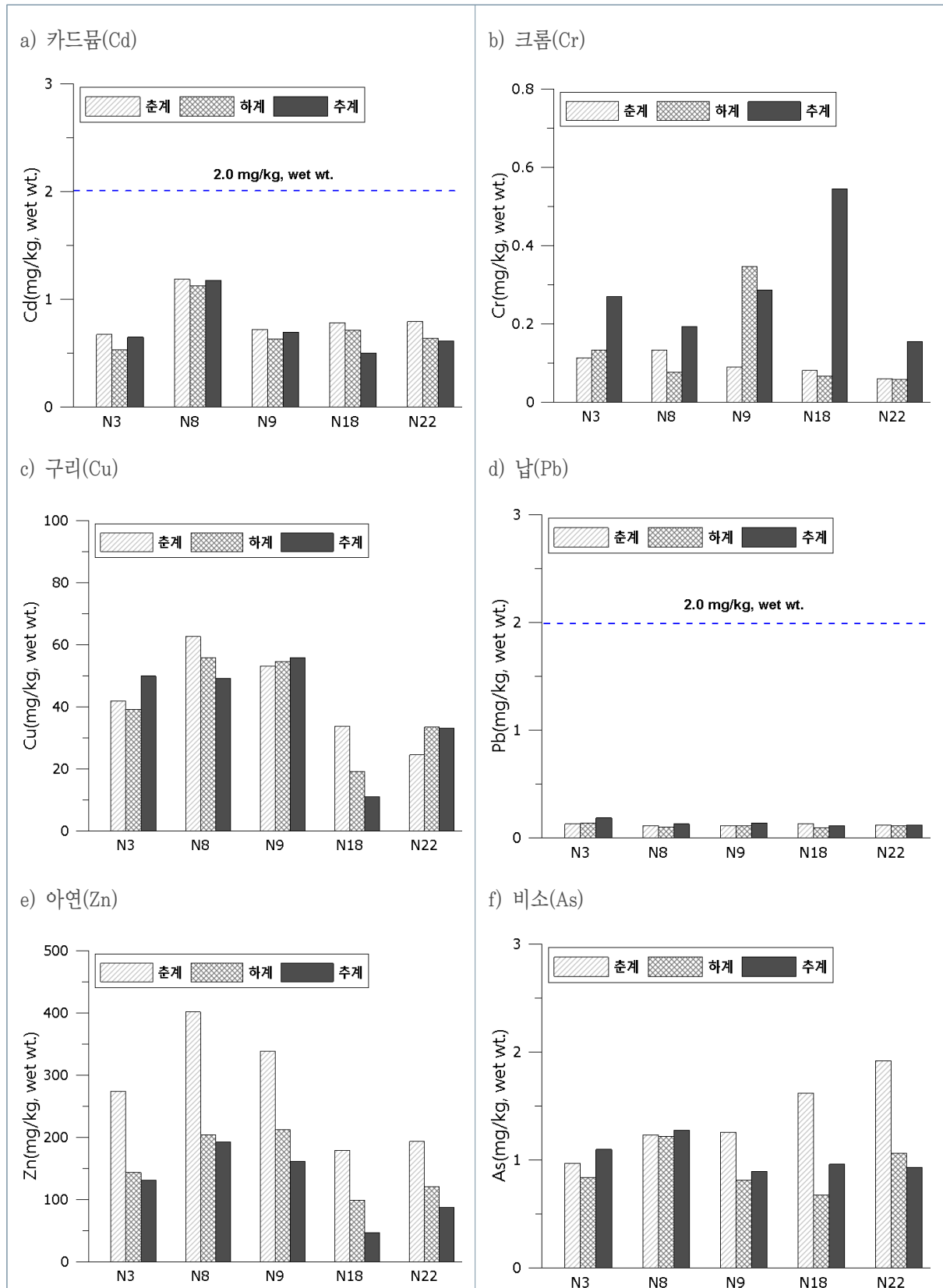
7) Soto et al, 2001, Distribution and normalization of heavy metal concentrations in Harbor

8) 김 등, 2003, 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량

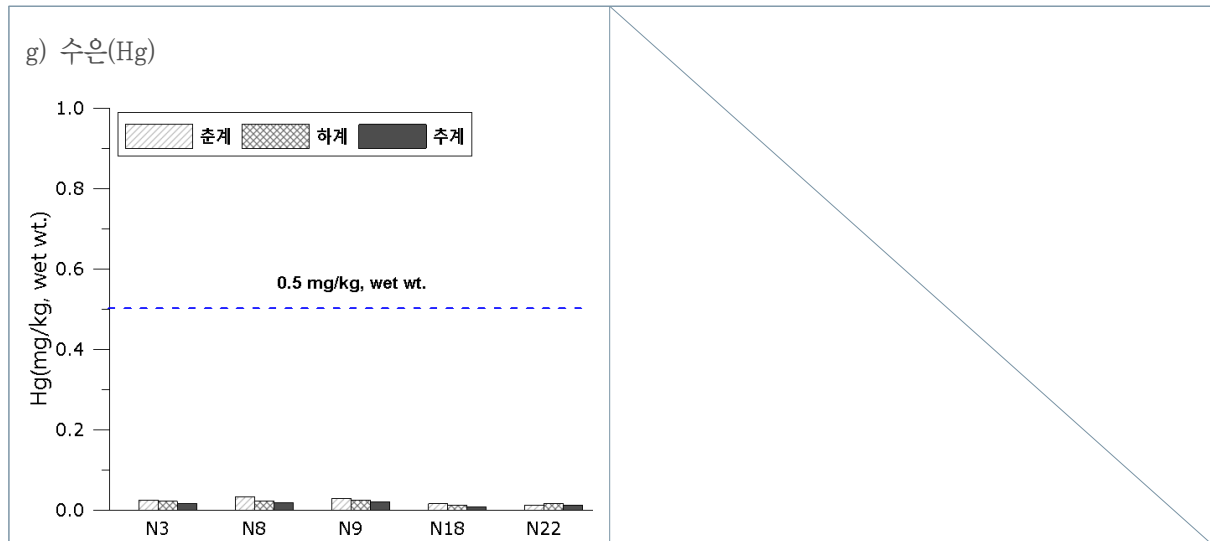
9) 조 등, 2009, 통영연안 해역의 양식 참굴의 중금속 농축에 관한 연구

10) 목 등, 2010, 한국 연안산 해산 무척추동물의 중금속 함량

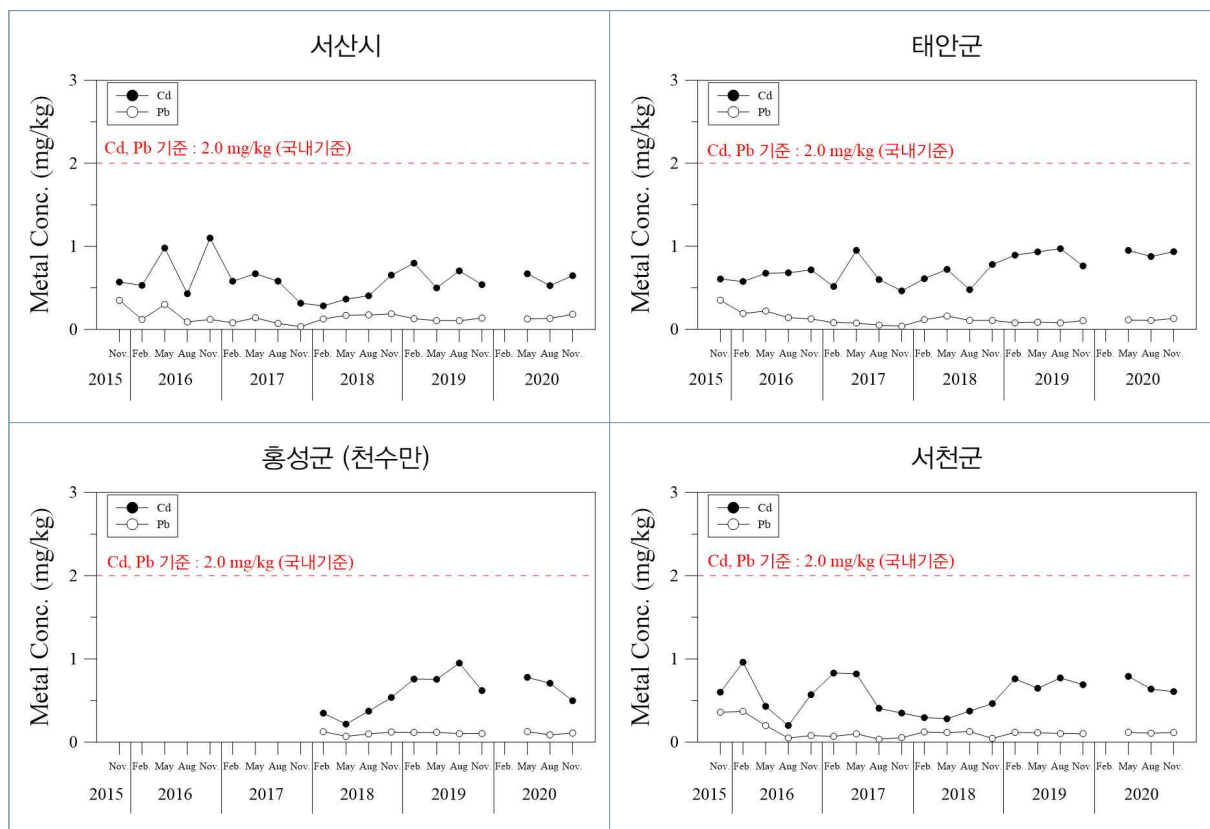
11) 금회 조사



<그림 3.3-79> 해양생물(굴) 체내 중금속 농도



〈그림 3.3-79〉 계 속



〈그림 3.3-80〉 연차별 해양생물 체내 중금속(Cd, Pb)농도 변화

제4장

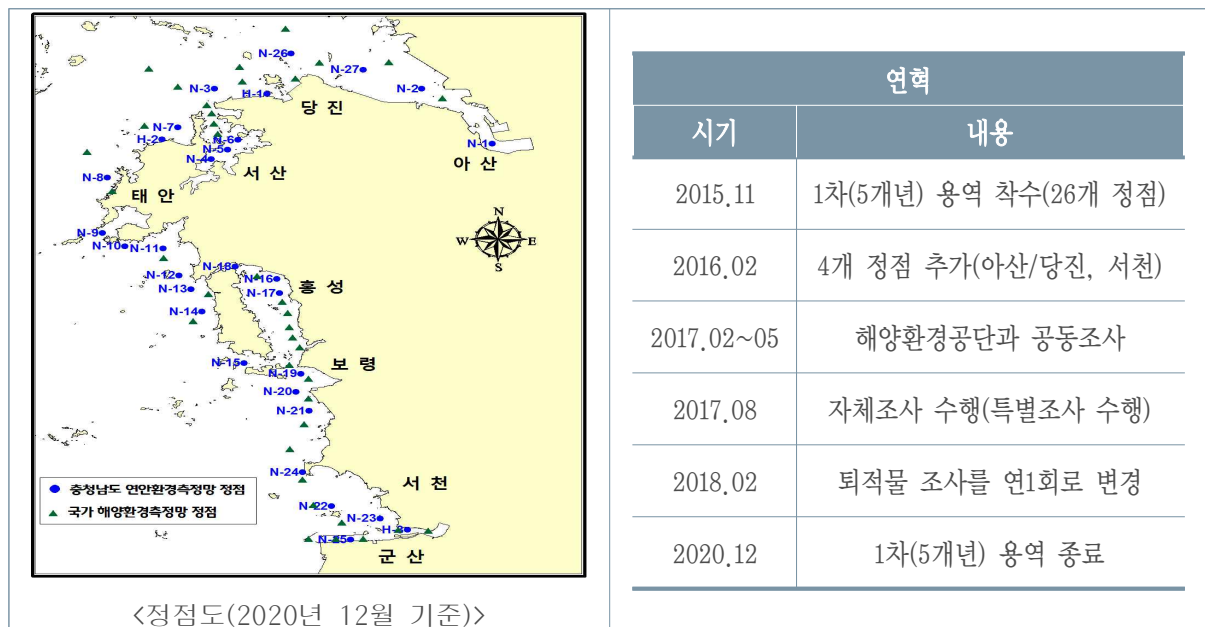
충청남도 연안환경 변화(2015~2020)

1. 개				요
2. 해	양	수		질
3. 해	양	퇴	적	물

제 4 장 충청남도 연안환경 변화

4.1. 개요

- 본 용역은 연차사업으로 2015년 11월부터 2020년 11월까지 수행하였다.
 - 2020년 동계조사(2월)는 COVID-19영향으로 수행하지 못하였다.
- 조사구역은 아산만부터 서천연안까지로 해양조사선 및 어선을 활용하여 수행하였다.
 - 조사선이 아닌 어선을 활용하여 조사한 경우, 어선법 제21조, 동법 시행규칙 제46조에 의거하여 한국해양교통안전공단을 통해 어선특별검사를 받았다.
- 계절별 조사를 기준으로 동계(2월), 춘계(5월), 하계(8월), 추계(11월)에 조사를 수행하였고, 퇴적물은 2018년부터 동계(2월)에 연 1회 조사를 수행하였다.
 - 퇴적물 조사는 2017년까지 계절별 조사를 수행하였다.
- 해수 조사항목은 일반항목 14개, 미량금속 9개 항목, 해저 퇴적물은 일반항목 7개, 중금속 13개 항목을 조사하였다(<표 2.2-1 참조>).
- 본 용역이 최초로 수행되었던 2015년 11월부터 2020년 11월까지 약 5년간의 자료를 바탕으로 충청남도 연안환경의 변화를 분석하였다.
- 해양수산부에서 운영 중인 해양환경측정망의 충청남도 정점자료(아산만~금강하구, 총 41개 정점)를 비교자료로 사용하였다.

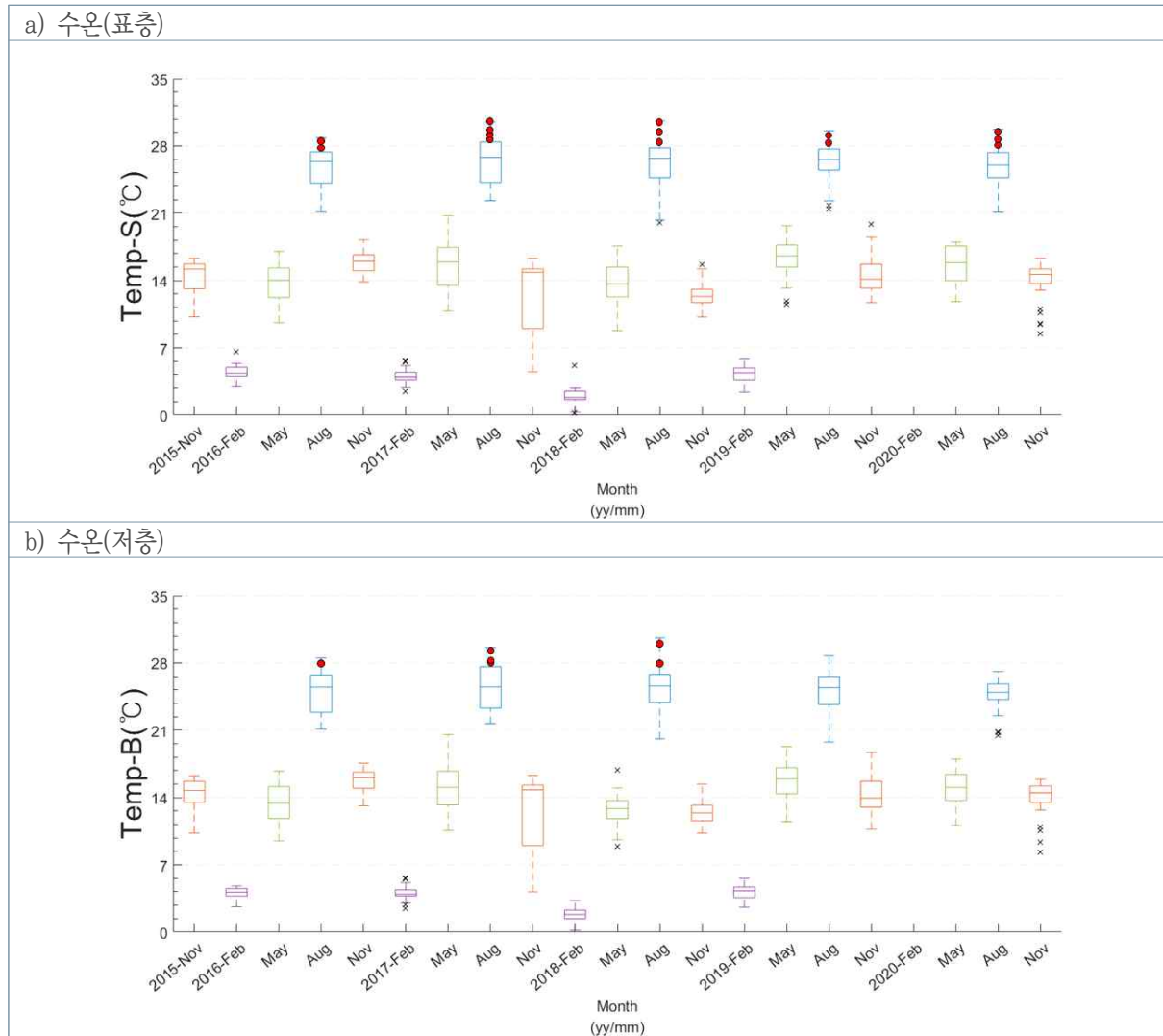


<그림 4.1-1> 서해안 연안환경측정망 정점도 및 연혁

4.2. 수질

4.2.1. 수온

- 수온은 염분과 더불어 해수 구성에 기본이 되는 요소이며, 수온의 변화는 해양생물의 서식환경에 큰 영향을 주고, 특히 하계 고수온은 해양생물의 집단폐사 등의 원인이 된다.



〈그림 4.2-1〉 충청남도 연안의 수온 변화 특성(고수온 발생)

- 해양수산부는 하계 고수온의 피해를 최소화하고자 고수온 발령기준을 28.0℃로 정하였다.
 - 관심단계(주의보 발령 예측 7일전, 주의보(수온 28.0℃ 도달 시), 경보(28℃ 이상 3일 지속 시)
- 충남 연안의 계절별 표층 수온은 동계 0.2~6.6℃(평균 3.7℃), 춘계 8.8~20.7℃(평균 15.0℃), 하계 20.0~30.6℃(평균 26.0℃), 추계 4.5~19.8℃(평균 14.0℃)의 범위를 보였다.
- 저층은 동계 0.2~5.6℃(평균 3.5℃), 춘계 8.9~20.6℃(평균 14.3℃), 하계 19.8~30.6℃(평균 25.0℃), 추계 4.2~18.7℃(평균 13.9℃)로 표층보다 0.1~1.0℃ 정도 낮았다.
 - 계절별 관측 범위 내에서 양의 방향 이상치는 거의 없었고, 음의 방향 이상치는 조금 관측되었다.
- 최근 5년간 충청남도 연안의 수온의 변동성은 크지 않은 것으로 나타나고 있으나, 2017년부터 2020년까지 하계조사(8월) 시에 표층과 저층에서 고수온(28.0℃ 이상)을 보이는 정점이 다수 관측되었다(<그림 4.2-2>).

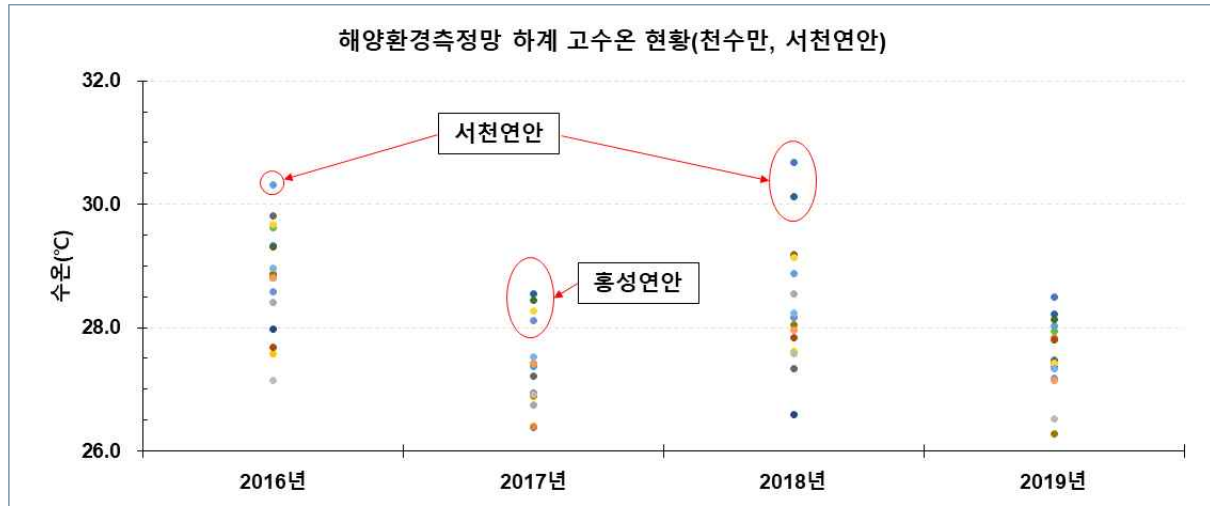
〈표 4.2-1〉 충청남도 하계 고수온 발생 현황

구분(단위 : ℃)			2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
연안 구분	지역	정점					
아산 연안	아산만	N01	*	*	28.7	29.4	*
홍성 연안	천수만	N16	**	29.4	29.3	**	29.7
		N17	**	29.0	29.0	**	29.0
		N18	**	30.5	29.7	29.6	28.1
서천 연안	금강하구	N22	28.2	29.5	28.4	**	28.1
		N23	28.3	30.0	30.6	29.0	28.8
		N24	**	28.4	**	**	29.6
		N25	28.5	29.5	**	28.7	*
		H03	28.8	29.5	30.0	29.3	**

* 수온 27℃ 이하

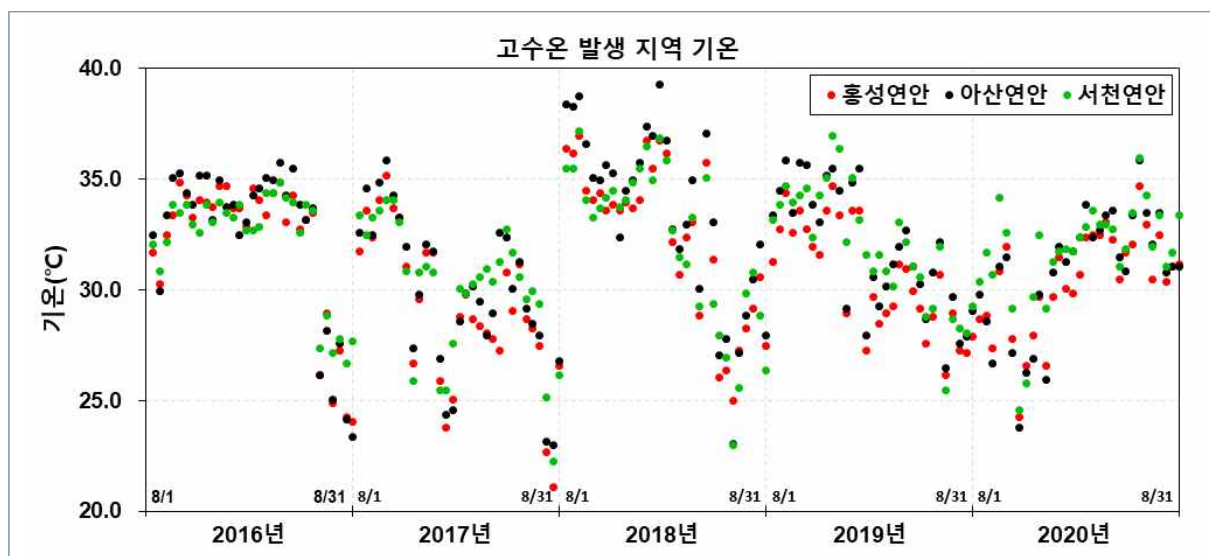
** 수온 27℃ 이상, 28℃ 미만

- 2017년에는 홍성연안과 서천연안 전 정점에서 28℃ 이상 고수온이 관측되었으며, 특히 천수만 내측(N18), 금강하구(N23, H3)은 30℃ 이상으로 관측되기도 했다(<표 4.2-1>).
- 고수온 현상은 해양환경측정망 자료에도 나타나고 있으며, 홍성·서천 연안의 17개 정점 중 2016년에 13개 정점, 2018년 11개 정점에서 고수온 현상이 관측되었고, 서천 연안에서는 30℃ 이상으로 관측되었다(<그림 4.2-2>).
 - 2017년에는 천수만 내측에서만 고수온 현상이 관측되었다.



〈그림 4.2-2〉 충청남도 연안의 고수온 발생 현황

- 고수온 발생조건에는 기온(폭염 등), 해수유동정체 등 다양한 요인이 있다.
- 현재 고수온이 발생하는 지역의 각 년도 하계 기온자료를 살펴보면 30℃ 또는 35℃(폭염 기준)를 기록하는 일수가 많은 것으로 관측되었다.
- 또한, 3지역 모두 만의 형태로 해수가 정체되기 좋은 조건도 가지고 있어 향후 하계에 지속적인 고수온이 발생할 것으로 판단된다.



〈그림 4.2-3〉 고수온 발생지역의 연도별 기온

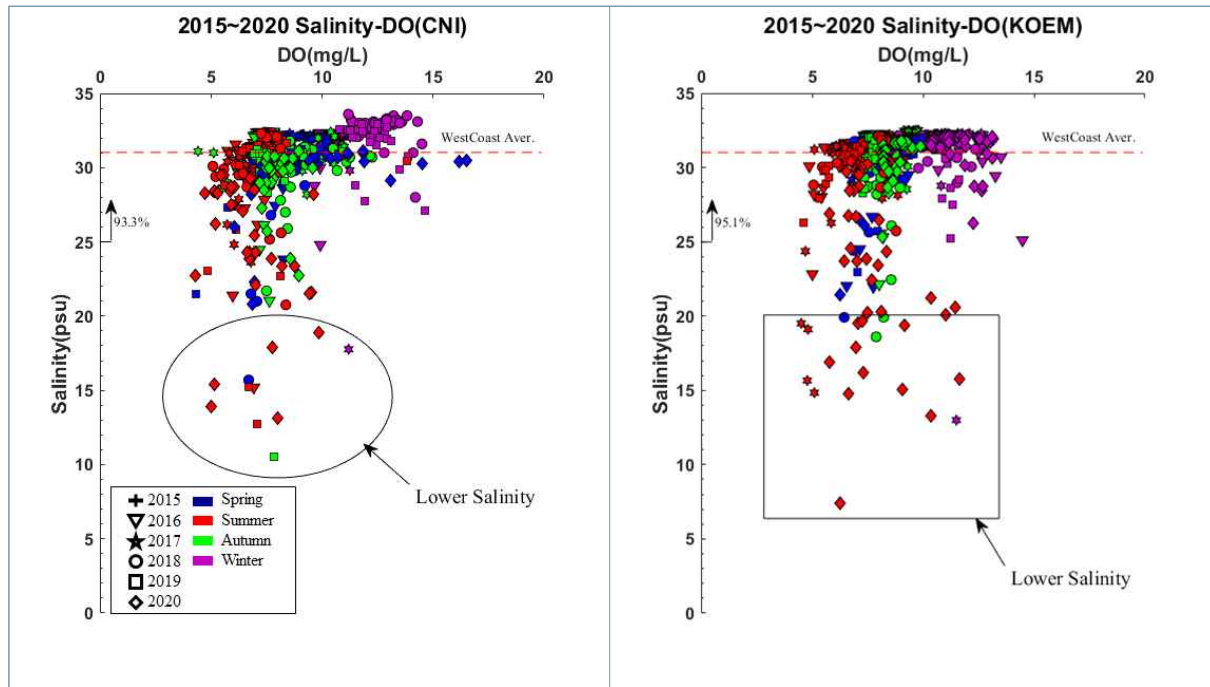
- 본 용역의 측정망과 해양환경측정망은 각 년도 하계 기온이 상대적으로 높은 시기에 조사를 수행하였으며, 이로 인해 분기별 1회성 조사에서 고수온 현상을 관측할 수 있었다.

〈표 4.2-2〉 각 년도별 하계 조사 일자(측정망별)

연안명	구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
	측정망					
홍성 연안	서해안 연안환경측정망	08/03	08/04	08/01	08/02	08/20
	해양환경측정망	-	08/21	08/11	08/08	08/13
서천 연안	서해안 연안환경측정망	08/04	08/07	08/07	08/08	08/18
	해양환경측정망	-	08/13~18	08/10~11	08~09	08/17

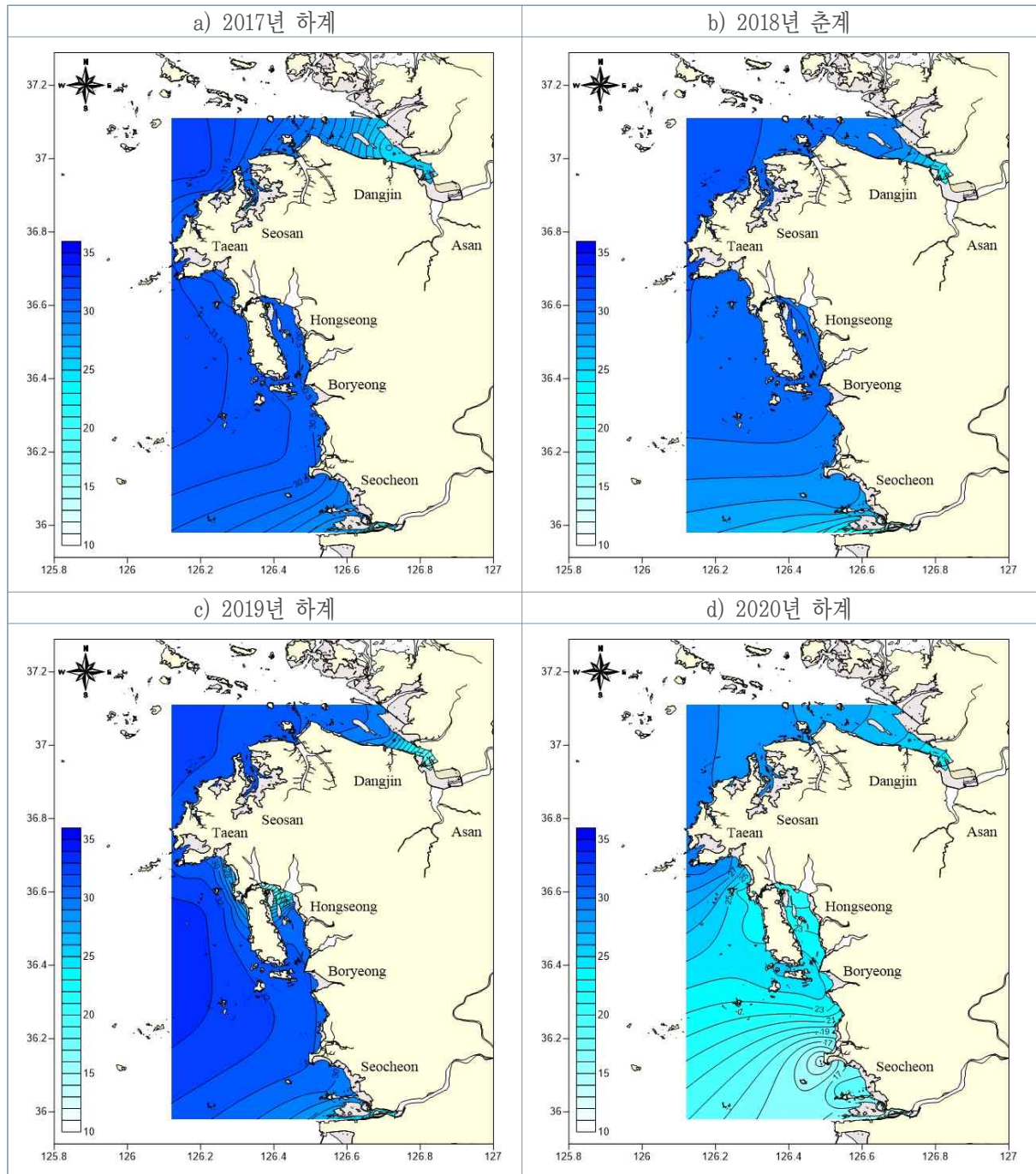
4.2.2. 염분

- 염분은 해수 내 가장 기본이 되는 요소로 해수 순환(대류현상), 생물의 생장에 관여하는 등 해양환경 조성에 중요한 역할을 하고(Kim *et al.*, 2007), 해수 내 DO 포화도에 영향을 준다.
 - 해수의 저층 DO 포화도는 수질평가지수(WQI) 산정시 필요한 5개 항목 중 1개이다.
- 해수 내 염분농도는 보통 28~32psu로 알려져 있으나, 각 연안의 환경에 따라 농도의 변화가 민감하여 적정 농도를 표현하기에는 어려운 점이 많다.
- 기존의 연구를 통해 서해안의 농도를 살펴본 결과, 2015년 서해중부연안(군산~시화호)의 평균 염분은 31.2psu로 알려졌으며(박 등., 2015), 해양환경측정망 결과에 따르면 육지와 거리가 인접하여 육상(하천·호소)에서의 유입이 활발한 지역이거나, 반폐쇄성 만(Bay)일 경우, 25psu 미만을 보이기도 했다.
- 25psu 미만의 농도를 보인 지역은 아산(아산만) 연안, 천수만 연안, 서천(금강하구) 연안이었고, 대체로 하계에 나타났다.
- 지역별 최저수치를 나타낸 시기는 아산(아산만) 연안은 2019년 8월(12.7psu)과 11월(10.5psu), 천수만 연안은 2019년 8월(15.2psu), 서천(금강하구) 연안은 2020년 8월(13.9psu)로 대부분 하계에 나타났다.



<그림 4.2-4> 충청남도 서해안 해수 내 염분 변화

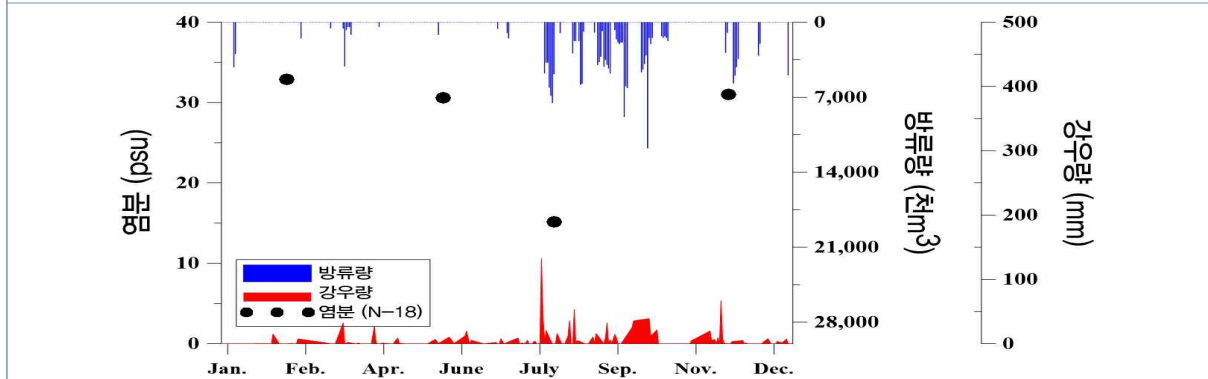
- 모니터링 결과 저염분 현상(25psu 미만)은 대부분 하계에 발생하였고, 2017년 하계 이후 아산, 천수만, 서천 연안에서 매년 발생한 것으로 나타났다(<그림 4.2-5>).
- 2018년은 춘계에 아산 연안과 서천 연안에서 나타났다.
- 2017년(하계)과 2018년(춘계) 아산(아산만) 연안은 26.2psu, 21.0psu, 서천(금강하구) 연안은 23.6psu, 15.7psu로 측정되었다
- 2019년 하계에는 아산(아산만) 연안에서 12.7psu, 천수만 연안은 15.2~30.8psu, 서천(금강하구) 연안 23.0psu로 측정되었다.
- 2020년 하계에는 서천 연안~안면도 연안까지 대부분 25psu보다 낮은 수치를 보였는데, 이는 중부지방 역대 최장 장마(54일)로 인한 강수 유입과 인근 대형 호소의 장기간 담수 방류로 인한 영향으로 판단된다.



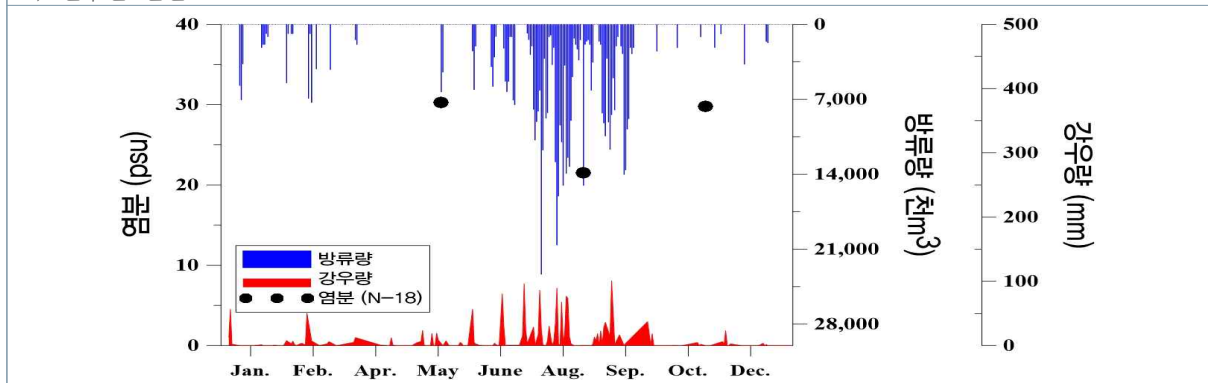
〈그림 4.2-5〉 충청남도 연안의 하계 염분 분포

- 천수만과 서천(금강하구) 연안에 나타난 저염분 현상을 유입원(방류량과 강우량) 1일 자료를 활용하여 분석하였다(〈그림 4.2-6〉).
 - 방류량 자료는 각 호소 관리기관의 협조를 받았으며, 천수만 지역에는 부남호, 간월호, 홍성호, 보령호의 방류량을 합산하여 사용했다.
 - 강우량 자료는 기상청 기상자료개방포털에 공개된 자료를 활용하였다.
- 두 지역 모두 담수 유입 이후 염분이 낮게 측정되는 경향을 보였다.
 - 호소 관리주체는 수위조절을 위해 강우 예보 시 방류를 계획하고, 주로 하계에 집중된다.
 - 그에 따라 강우와 방류가 집중되는 시기에 염분 농도가 낮게 측정되었다.
- 천수만 지역은 방류 이후 해수 중 염분농도의 감소 현상이 특히 뚜렷하게 나타났다.
- 금강하구는 일정량의 담수를 지속적으로 방류하는 경향으로 인해 평년의 염분 농도 변화에 큰 영향이 나타나지 않았다. 하지만, 2020년도에는 중부지방 기록적인 장마로 인해 평균 방류량의 9.7배에 달하는 담수가 방류되었고, 이에 따라 내륙에서의 대규모 담수유입에 따른 해수 중 염분 농도의 급감현상을 확인할 수 있었다.

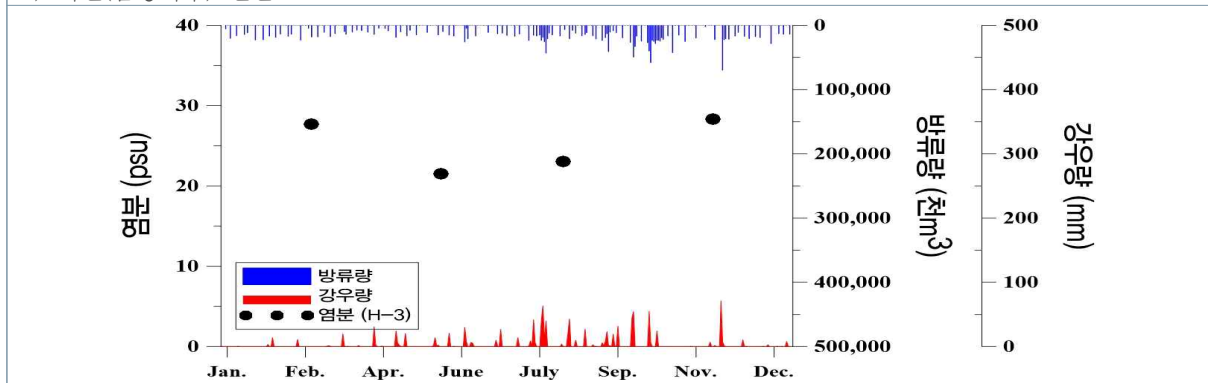
a) 천수만 연안-2019



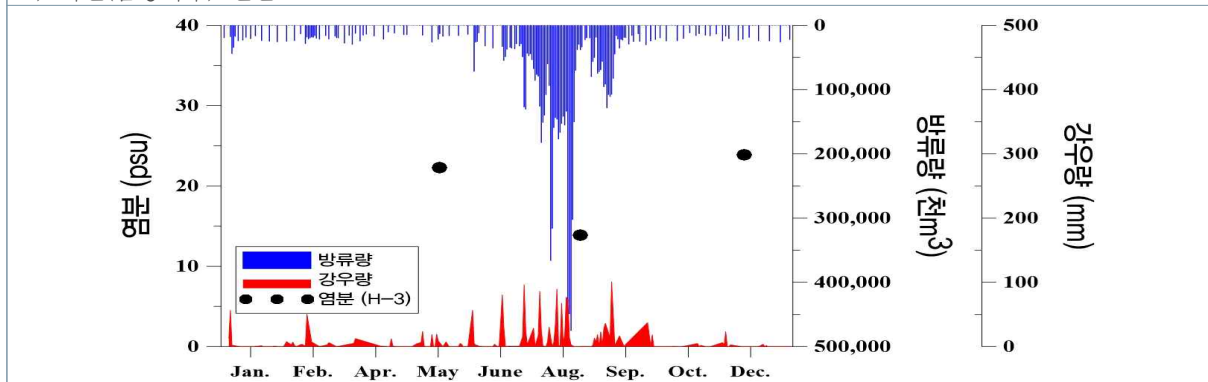
b) 천수만 연안-2020



c) 서천(금강하구) 연안-2019



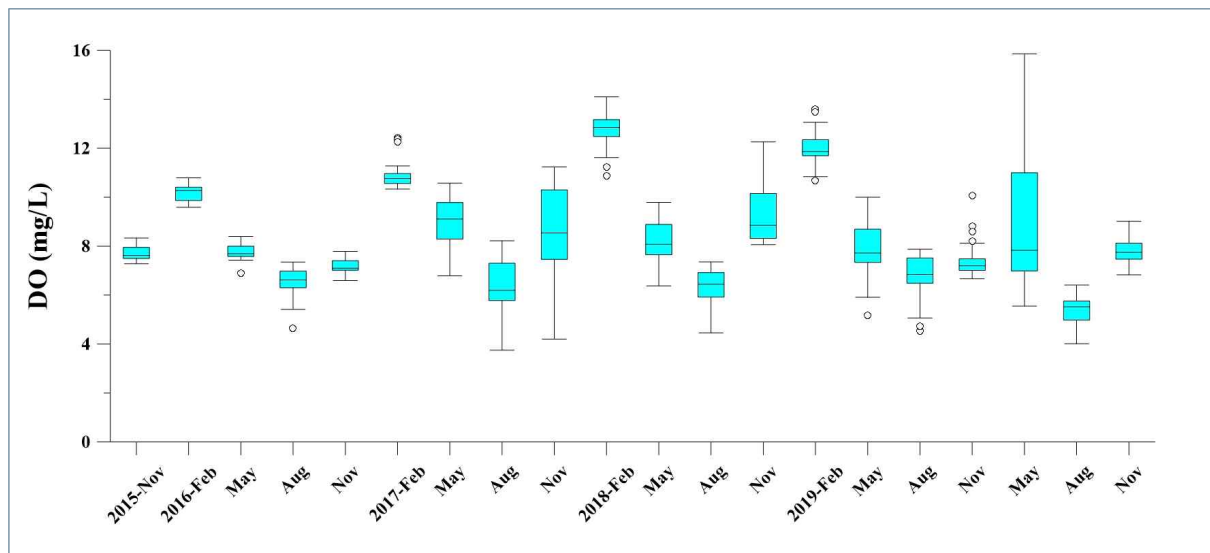
d) 서천(금강하구) 연안-2020



〈그림 4.2-6〉 하계 지역별 유입원에 따른 염분 농도

4.2.3. 저층 용존산소

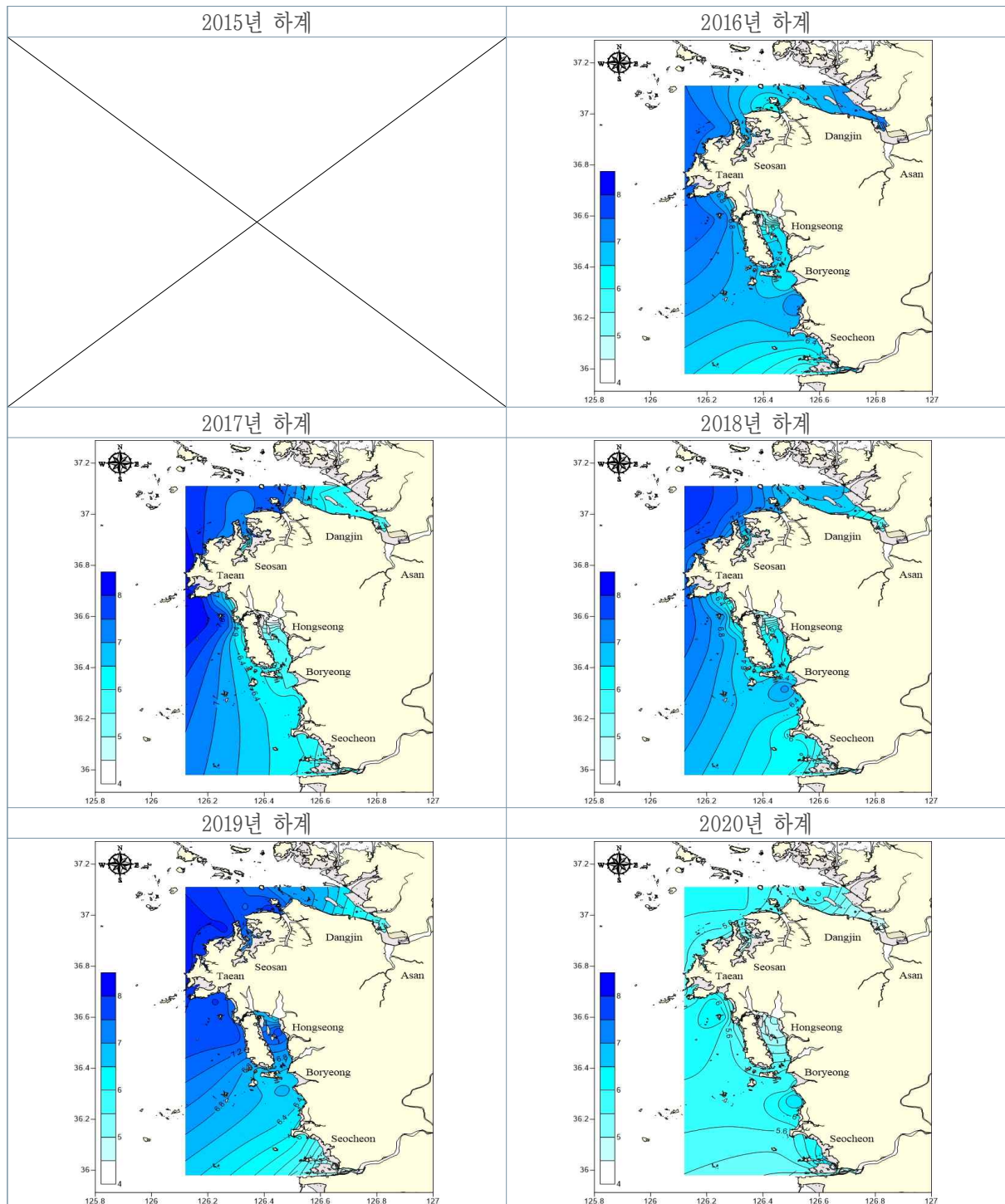
- 2015년부터 2020년까지 충청남도 연안의 저층 용존산소 농도는 3.8~15.9 mg/L의 범위를 보였다.
- 계절적으로 살펴보면 겨울철의 저층 DO 농도는 평균 11.5 mg/L로 가장 높았으며 여름철은 평균 6.3 mg/L로 가장 낮았다.
- 이는 겨울철 수층 간 혼합이 활발히 이루어지면서 표층의 풍부한 용존산소가 저층으로 많이 공급되면서 높게 나타나기 때문이다.
- 여름철에는 성층화가 이루어져 표층에서 저층으로의 용존산소 공급이 제한되며, 미생물의 활발한 활동 증가(기초대사에너지, 섭식, 재생산, 분해 등)로 인해 산소가 많이 소비되기 때문에 저층 산소농도가 급격히 감소하게 된다.
- 한편, 춘계와 추계 저층 DO 농도는 각각 평균 8.4mg/L, 8.0 mg/L의 결과를 보였다.
- 해양환경측정망 자료에서도 겨울철에 평균 10.9 mg/L로 가장 높았으며 여름철에 6.8 mg/L로 가장 낮았으며 충남 서해안 연안환경측정망 자료와 비슷한 양상을 보였다.



〈그림 4.2-7〉 연차별 충남해역 저층 용존산소 DO 농도 변화

- 공간적으로 살펴보면 연안으로부터 멀어질수록 저층의 산소농도가 증가하는 경향을 알 수 있었다.
- 특히, 태안반도 해역측에서 상대적으로 높은 산소농도를 보이는데, 태안반도 주변 해역은 강한 조석 전선이 형성되는 곳으로 여름철에도 수직혼합이 이루어지기 때문이다.

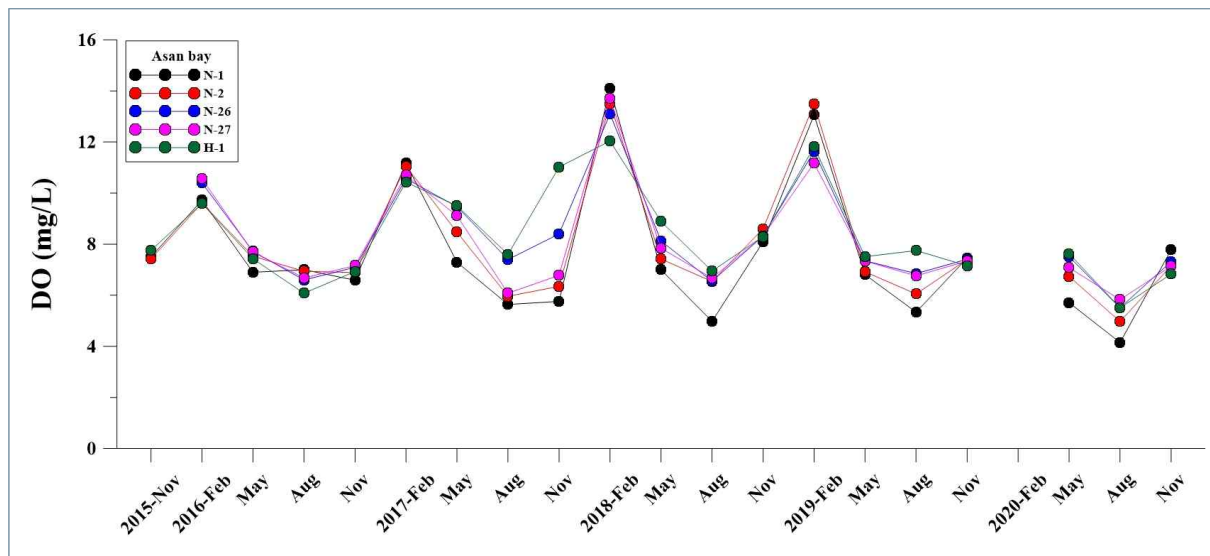
- 충청남도 지역 중 아산만, 천수만, 금강 하구역은 지속적인 담수가 유입되는 곳으로 여름철 대량의 담수가 방류되는 곳이며 세 지역은 다른 지역에 비해 상대적으로 낮은 저층산소 농도를 보였다.



〈그림 4.2-8〉 연차별 하계 충남해역 저층 용존산소(DO) 농도 변화

■ 아산 연안(아산만)

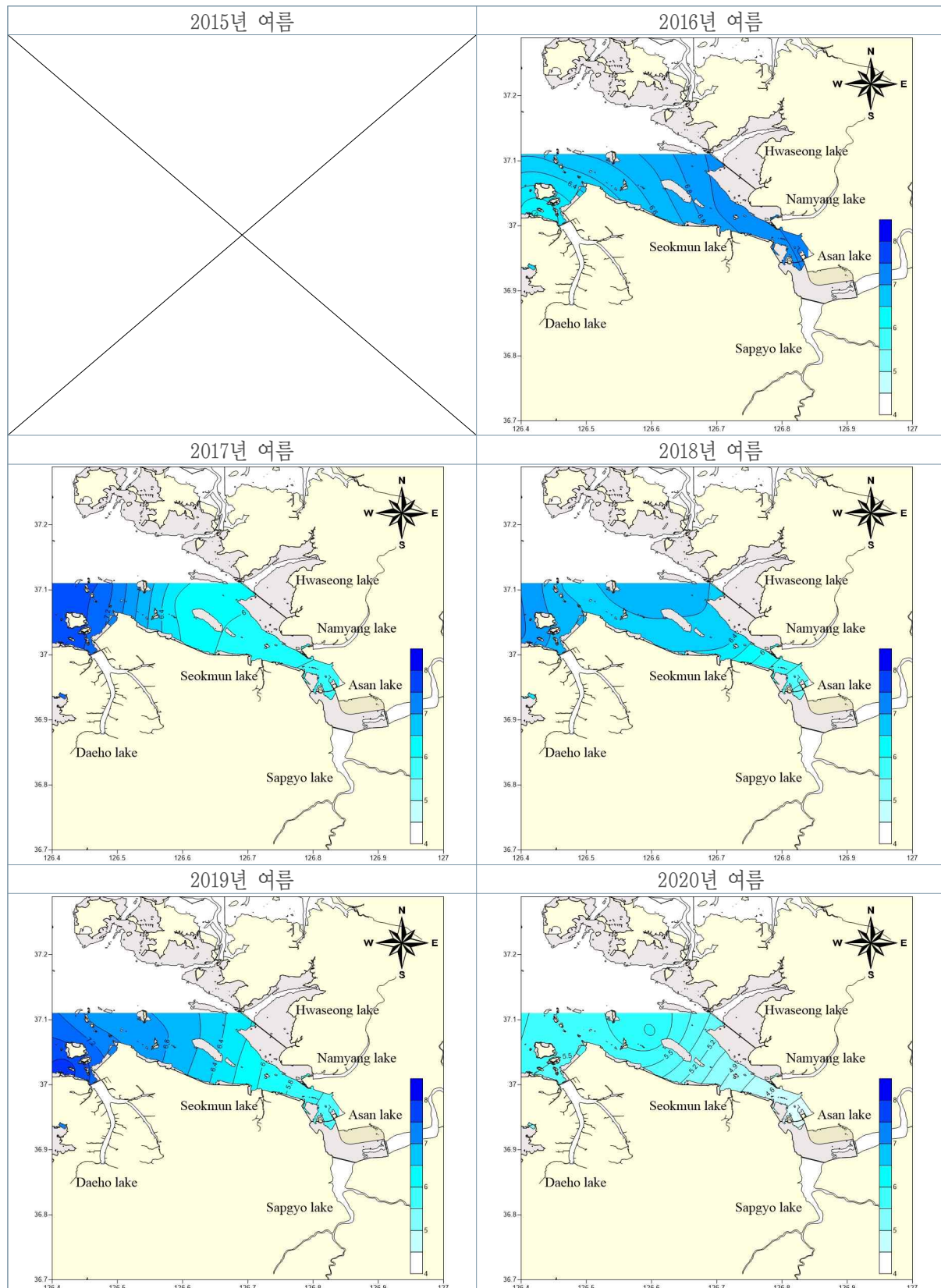
- 아산만은 대규모 항만과 항로 건설사업과 함께 증가하는 용수를 확보하기 위해 6개의 대형 방조제(삽교, 아산, 석문, 남양, 화성, 대호)로 둘러싸이게 되었으며 하계 방조제에 저장된 담수가 일시에 대량 유입되고 있다.
- 이로 인해 아산만은 하계에 전체적으로 저염분 현상과 동시에 저층에서 산소가 결핍되는 현상이 발생하기도 하였다.
- 2016년부터 2020년까지 하계기간 동안 아산만 해역의 저층 용존산소 농도는 4.2~7.8 mg/L(평균 6.3 mg/L) 범위를 보였으며, 상대적으로 만의 안쪽에서 낮고 바깥쪽에서 높은 양상을 보였다.
- 해양환경측정망 자료에서도 아산 주변 연안의 여름철 저층 DO 농도는 5.7~7.6 mg/L(평균 6.8 mg/L) 범위를 보였으며 충남 서해안 연안환경측정망 관측 자료와 유사한 수준을 나타내었다.
- 특히, 장마기간이 길었던 2020년 하계에는 만 전체가 평균 5.2 mg/L(4.2~5.8 mg/L)로 다른 년도에 비해 저층의 산소농도가 낮았으며 평균 73%의 산소포화도를 보였다.



〈그림 4.2-9〉 연차별 아산 주변 연안 저층 용존산소 DO 농도 변화

〈표 4.2-3〉 연차별 하계 아산 주변 연안 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도

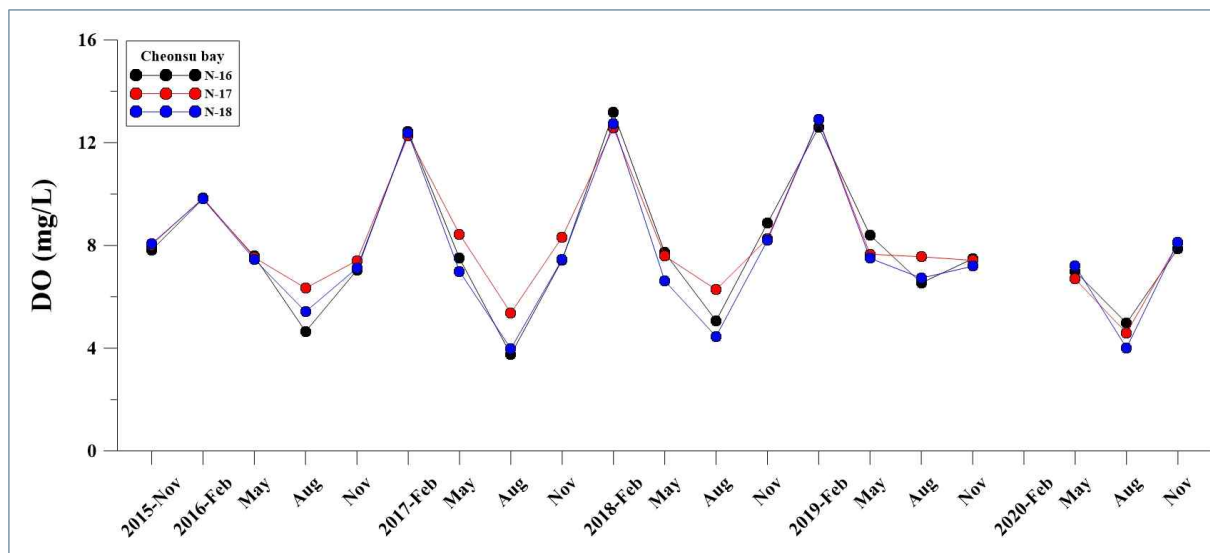
구분	정점	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
		mg/L (산소포화도, %)				
서해안 연안환경 측정망 (충청남도)	N-1	7.0 (100)	5.6 (80)	5.0 (75)	5.3 (78)	4.2 (58)
	N-2	6.9 (97)	6.0 (84)	6.5 (93)	6.1 (87)	5.0 (69)
	N-26	6.6 (92)	7.4 (104)	6.6 (92)	6.9 (97)	5.5 (77)
	N-27	6.7 (93)	6.1 (87)	6.7 (95)	6.8 (97)	5.8 (82)
	H-1	6.1 (84)	7.6 (106)	7.0 (98)	7.8 (110)	5.5 (78)
해양환경 측정망 (국가)	아산-1	6.7 (93)	7.5 (108)	7.6 (109)	6.8 (98)	6.8 (92)
	아산-2	6.8 (96)	7.2 (103)	7.6 (110)	6.7 (98)	6.7 (91)
	아산-3	6.4 (91)	7.5 (107)	7.6 (109)	6.8 (96)	6.3 (85)
	아산-4	5.7 (82)	6.8 (97)	7.2 (110)	5.7 (85)	6.1 (81)
	아산-5	6.3 (89)	7.1 (101)	7.1 (104)	6.4 (95)	5.9 (80)



<그림 4.2-10> 연차별 하계 아산 주변 연안 저층 용존산소(DO) 농도 변화

■ 홍성 연안(천수만)

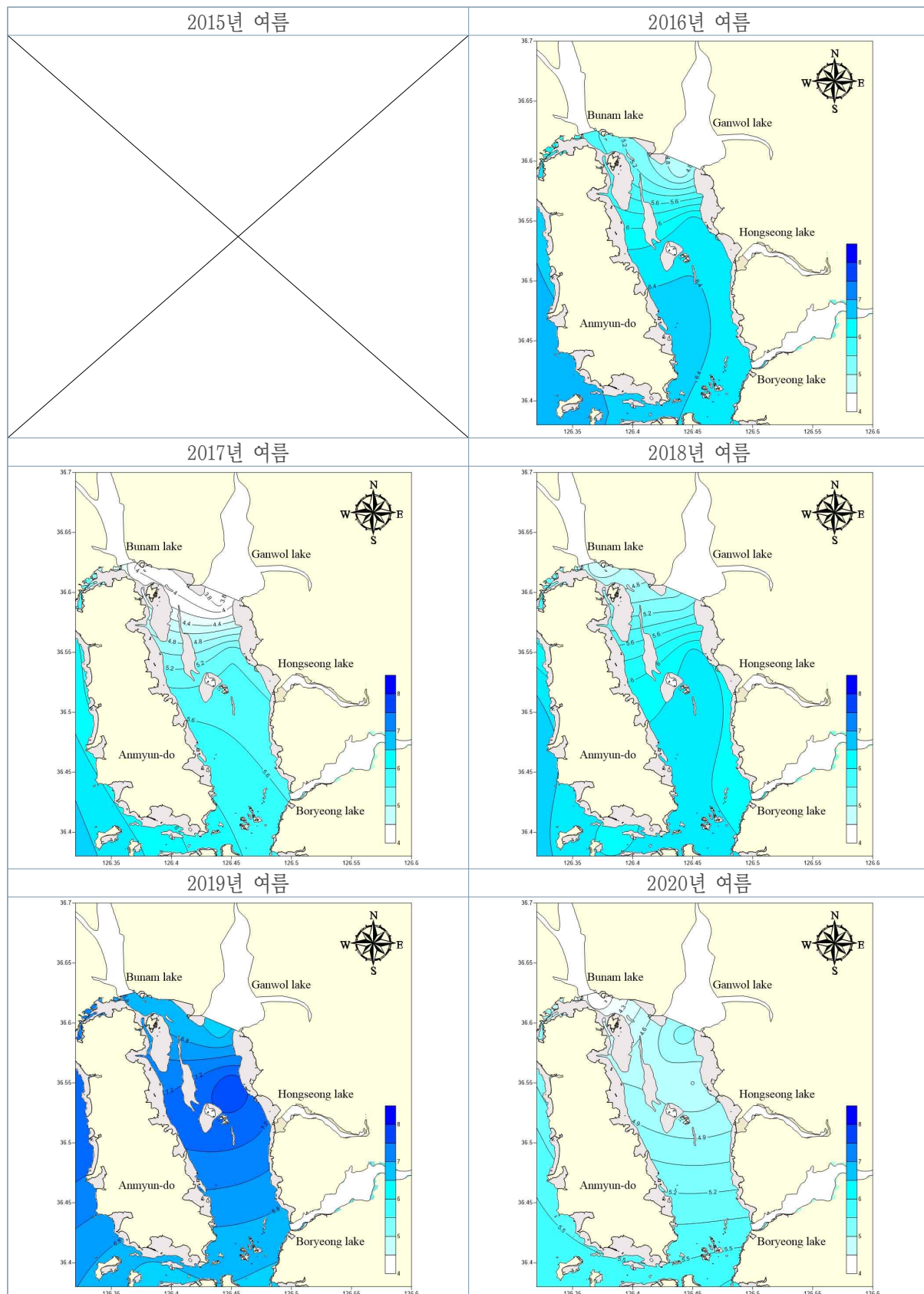
- 천수만의 경우, 반폐쇄적인 만으로 외해수와의 교환이 제한되어 여름철 빈산소 현상이 자주 관측되기도 하며, 산소고갈로 인해 저서생물의 폐사가 자주 발생하는 지역이다.
- 2016년부터 2020년까지 하계기간 동안 천수만 해역의 저층 용존산소 농도는 3.8~7.6 mg/L(평균 5.3 mg/L) 범위를 보였다.
- 해양환경측정망 자료에서도 천수만 해역의 여름철 저층 DO 농도는 4.4~7.8 mg/L(평균 6.2 mg/L) 범위를 보였으며 충남 서해안 연안환경측정망 관측 자료보다 다소 높은 농도 분포를 보였다.
- 이는 해양환경측정망 정점이 대부분 만의 바깥쪽에 위치하고 있기 때문에 충남 서해안 연안환경측정망 관측 자료보다 저층 DO 농도가 높게 나온 것으로 해석된다.
- 특히, 부남호와 간월호에 인접한 정점(N-18, N-16)에서는 약 5.0 mg/L 이하의 용존 산소(산소포화도 80.0% 이하)를 보였다.
- 2019년을 제외하더라도 천수만은 부남호와 간월호로부터의 담수 유입으로 인한 성층화, 부영양화 등으로 인해 저층에서 저산소 환경이 빈번히 발생할 수 있음을 확인하였다.
- 또한, 약 73%의 낮은 산소포화도로 인해 저서생물이 서식(생존)하는데 어려운 환경임을 파악할 수 있었다.



<그림 4.2-11> 연차별 천수만 저층 용존산소 DO 농도 변화

〈표 4.2-4〉 연차별 하계 천수만 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도

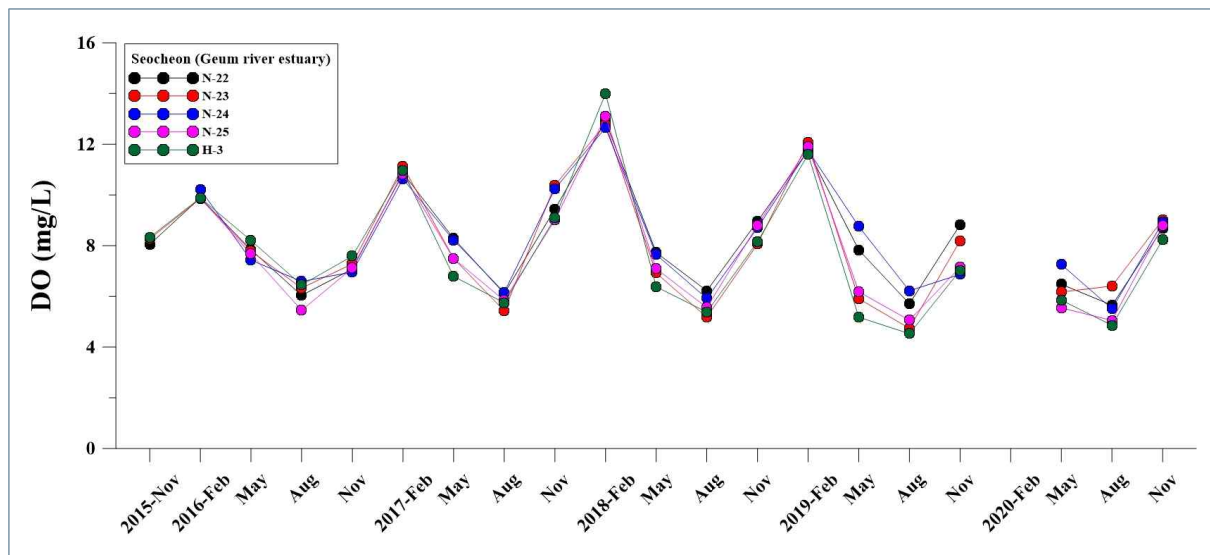
구분	정점	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
		mg/L (산소포화도, %)				
서해안 연안환경 측정망 (충청남도)	N-16	4.7 (69)	3.8 (56)	5.1 (76)	6.5 (96)	5.0 (71)
	N-17	6.3 (95)	5.4 (81)	6.3 (94)	7.6 (111)	4.6 (66)
	N-18	5.4 (81)	4.0 (61)	4.5 (66)	6.7 (99)	4.0 (57)
해양환경 측정망 (국가)	천수만-1	5.6 (85)	5.7 (88)	4.5 (69)	5.6 (86)	4.4 (62)
	천수만-2	5.9 (90)	5.7 (88)	6.5 (100)	7.0 (107)	5.8 (81)
	천수만-3	6.5 (99)	5.8 (88)	7.2 (110)	6.8 (103)	5.9 (83)
	천수만-4	6.2 (94)	6.1 (92)	6.8 (103)	6.9 (105)	6.2 (86)
	천수만-5	5.6 (84)	6.3 (94)	7.8 (116)	6.9 (103)	6.3 (87)
	천수만-6	5.4 (82)	5.9 (90)	6.9 (105)	7.0 (106)	6.1 (85)
	천수만-7	5.7 (86)	6.1 (92)	7.4 (112)	7.0 (106)	6.5 (91)



〈그림 4.2-12〉 연차별 하계 천수만 저층 용존산소(DO) 농도 변화

■ 서천 연안(금강 하구)

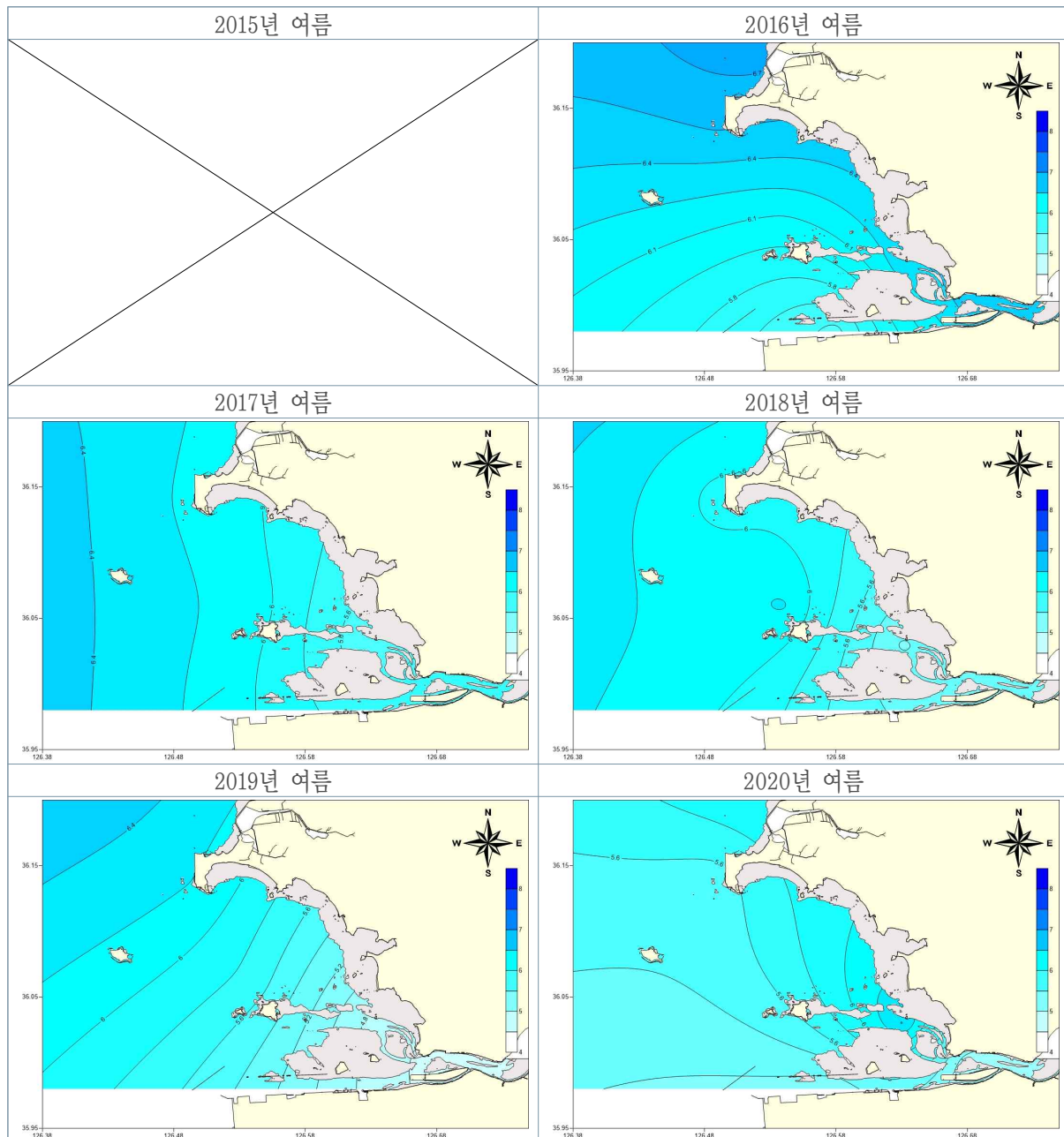
- 금강 하구역은 1988년 군산과 장항을 연결하는 하굿둑이 건설되었고 1994년 이후로 수문을 작동하기 시작하였으며 썰물(낙조)시에만 담수가 방출하며 수위를 조절하고 있다.
- 아산만, 천수만과 마찬가지로 여름철에 담수를 집중적으로 방류하고 있어 비주기적으로 독특한 하구 환경이 조성되고 있다.
- 2016년부터 2020년까지 하계기간 동안 금강 하구역 인근 서천 연안의 저층 용존산소 농도는 4.5~6.6 mg/L(평균 5.7 mg/L) 범위를 보였으며, 하구역으로부터 멀어질수록 산소농도가 증가하는 경향을 보였다.
- 해양환경측정망 자료에서도 금강 하구역 인근 서천 연안의 여름철 저층 DO 농도는 4.1~8.6 mg/L(평균 5.9 mg/L) 범위를 보였으며 본 용역의 관측 자료와 유사한 수준을 나타내었다.
- 2020년 여름철에는 평균 5.5 mg/L로 다른 년도와 유사한 농도 수준을 보였으나, 다른 해에 비해 광범위한 낮은 산소농도 분포를 보였다.



〈그림 4.2-13〉 연차별 서천 연안의 저층 용존산소(DO) 농도 변화

〈표 4.2-5〉 연차별 하계 서천 연안의 저층 용존산소(DO) 농도 및 산소포화도

구분	정점	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
		mg/L (산소포화도, %)				
서해안 연안환경 측정망 (충청남도)	N-22	6.0 (92)	6.1 (93)	6.2 (92)	5.7 (86)	5.7 (79)
	N-23	6.3 (96)	5.4 (84)	5.2 (81)	4.7 (72)	6.4 (90)
	N-24	6.6 (99)	6.2 (94)	5.9 (87)	6.2 (93)	5.5 (78)
	N-25	5.5 (81)	5.8 (88)	5.6 (82)	5.1 (75)	5.1 (70)
	H-3	6.5 (94)	5.8 (86)	5.4 (83)	4.5 (67)	4.9 (67)
해양환경 측정망 (국가)	군산-1	5.1 (77)	4.4 (62)	5.1 (80)	4.4 (66)	5.9 (78)
	군산-2	5.0 (76)	4.7 (69)	5.3 (82)	5.1 (76)	5.8 (80)
	군산-3	5.2 (78)	4.8 (70)	5.5 (83)	5.4 (81)	5.5 (76)
	군산-4	6.0 (91)	4.1 (60)	6.0 (90)	5.4 (81)	5.7 (80)
	군산-5	5.9 (92)	5.1 (76)	6.7 (102)	5.6 (84)	6.6 (92)
	군산-6	6.2 (95)	5.8 (87)	6.9 (103)	6.8 (104)	7.2 (101)
	군산-7	5.8 (89)	5.8 (87)	7.4 (110)	6.5 (98)	8.6 (122)
	군산-8	4.9 (74)	5.2 (78)	6.0 (89)	5.7 (87)	6.5 (91)
	군산-9	6.3 (93)	6.0 (86)	6.1 (91)	5.1 (79)	8.2 (116)
	군산-10	5.3 (78)	6.8 (98)	6.5 (93)	5.6 (84)	8.2 (117)

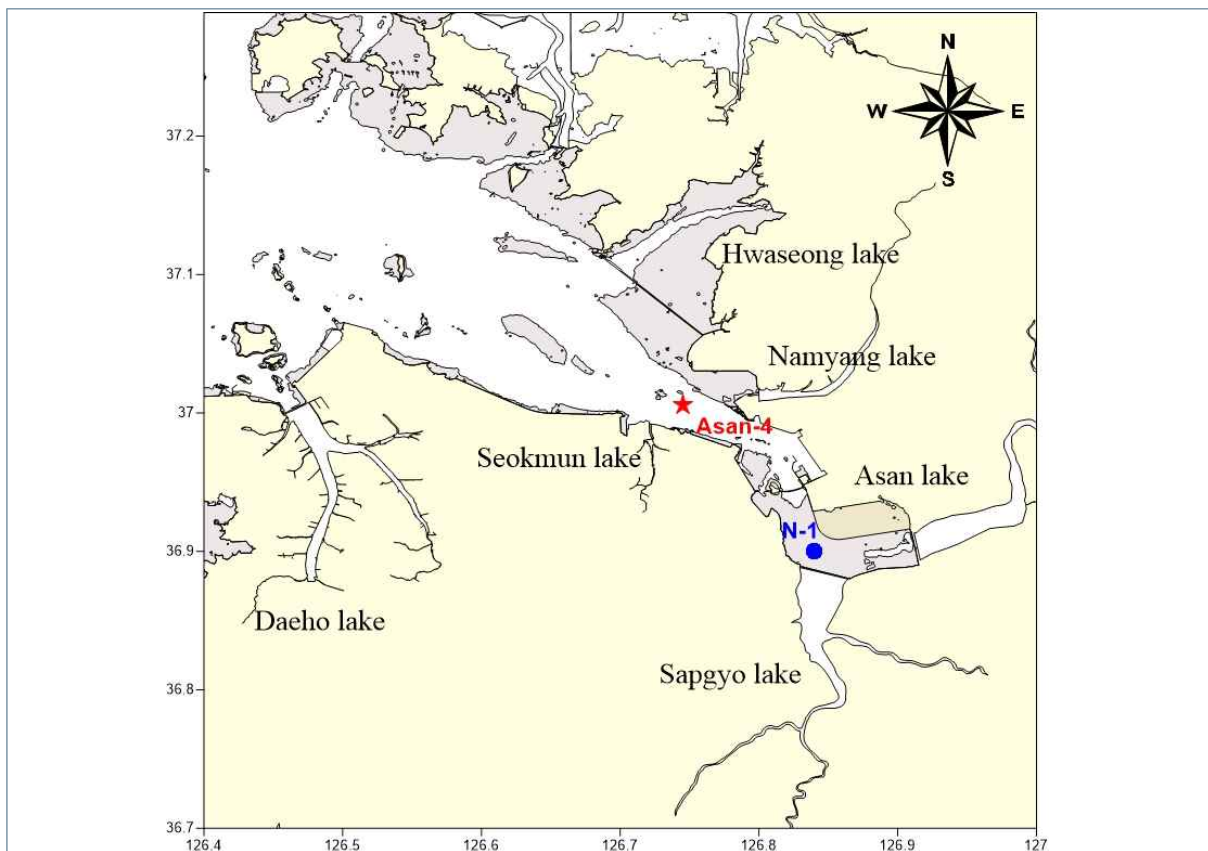


<그림 4.2-14> 연차별 하계 서천 연안의 저층 DO 농도 변화

4.2.4. 수질평가지수(WQI)

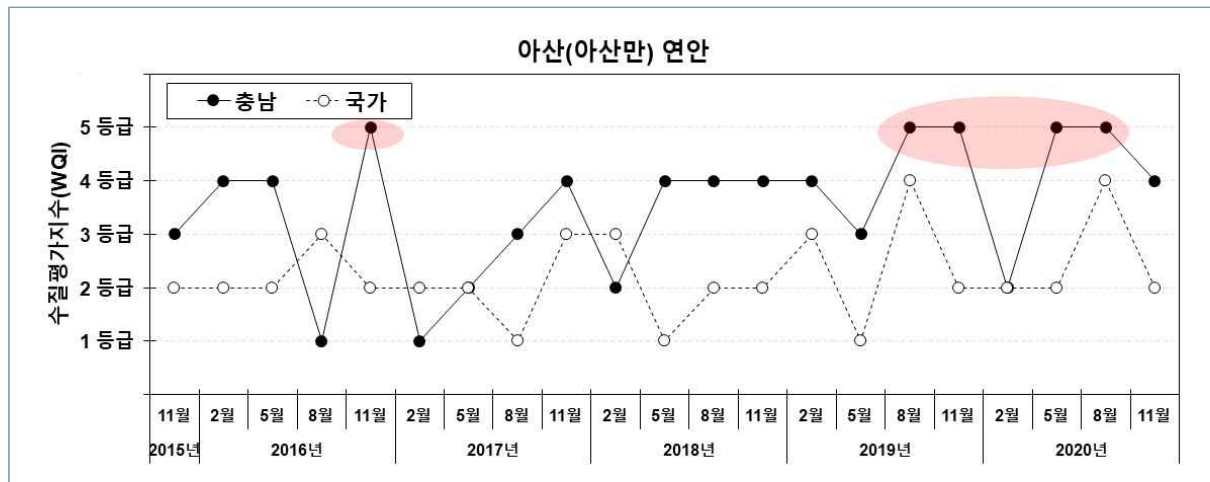
■ 아산 연안(아산만)

- 아산(아산만) 연안 조사는 아산만 내측·삽교호 전면부(N1)로 2015년 11월~2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- 아산만은 충청남도 아산시, 당진시와 경기도 평택시 사이에 있는 만으로 길이는 약 40km 이고, 너비는 2.2km인 좁고 긴 만의 형태를 지니고 있으며, 1970년대 이후 6차에 걸친 방조제 공사로 건설된 6개 방조제에서 연간 25억 m³의 담수가 유입되는 지역이다(정용훈 등, 2016).
- 또한, 주변의 공단과 평택당진항 등 대규모 산업시설이 위치하고 있어 육상으로부터의 오염원 유입이 활발할 것으로 판단되는 지역이다.
- 아산만(N1)과 인접한 정점으로 해양환경측정망의 아산-4 정점자료와 비교하였다.
- 본 용역은 COVID-19의 영향으로 2월 조사를 수행하지 못하였으며, 해당 월의 자료는 해양환경측정망 자료로 대체하여 사용하였다.



〈그림 4.2-15〉 아산(아산만) 연안의 조사정점도

- 각 측정망 간 지리적 특성으로 인하여 WQI 등급이 차이가 있는 것으로 판단된다.
- 충청남도 측정망의 결과로 아산만의 수질은 약 IV등급으로 분석되었으며, 특징적으로 춘·하계에 수질이 매우 나쁨을 나타내었고, 추계에는 다소 개선되는 것으로 분석되었다.
 - 국가 측정망에서도 하계 수질악화-추계/동계 수질 회복 패턴이 동일하게 나타난다.
- 또한, 2017년 11월 이후 IV등급을 유지하던 수질이 2019년 8월 이후부터는 V등급(매우 나쁨) 수준이 나타나고, 또 유지되고 있어 지속적 예찰이 필요한 상황이다.
- 수질지수(WQI)의 산정 항목별로 살펴보면, 춘계를 제외하고는 영양염류(DIN, DIP)가 특히 높은 농도를 보이고, Chl-a, 투명도, DO에서도 나쁜 수준의 수치가 나타내고 있다.



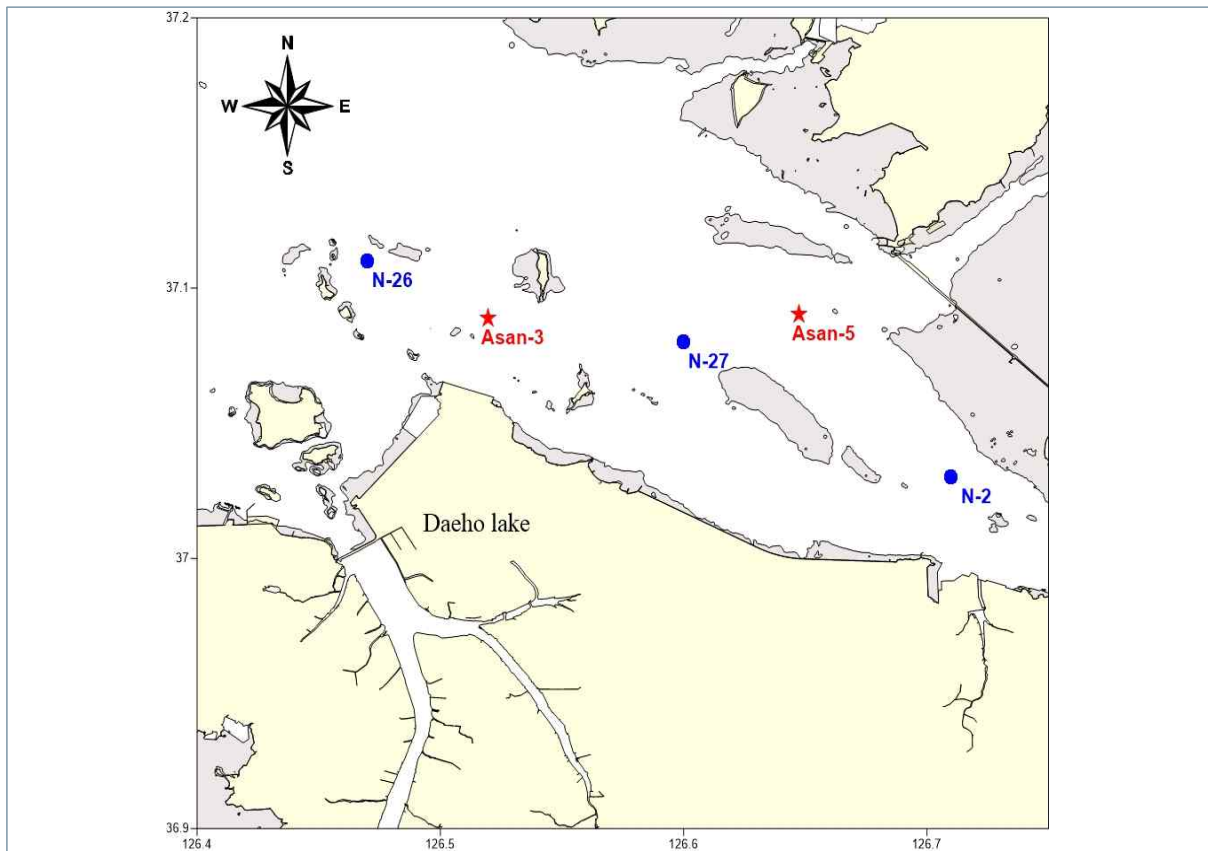
<그림 4.2-16> 아산(아산만) 연안의 WQI 등급 변화



<그림 4.2-17> 아산(아산만) 연안의 WQI 항목 변화

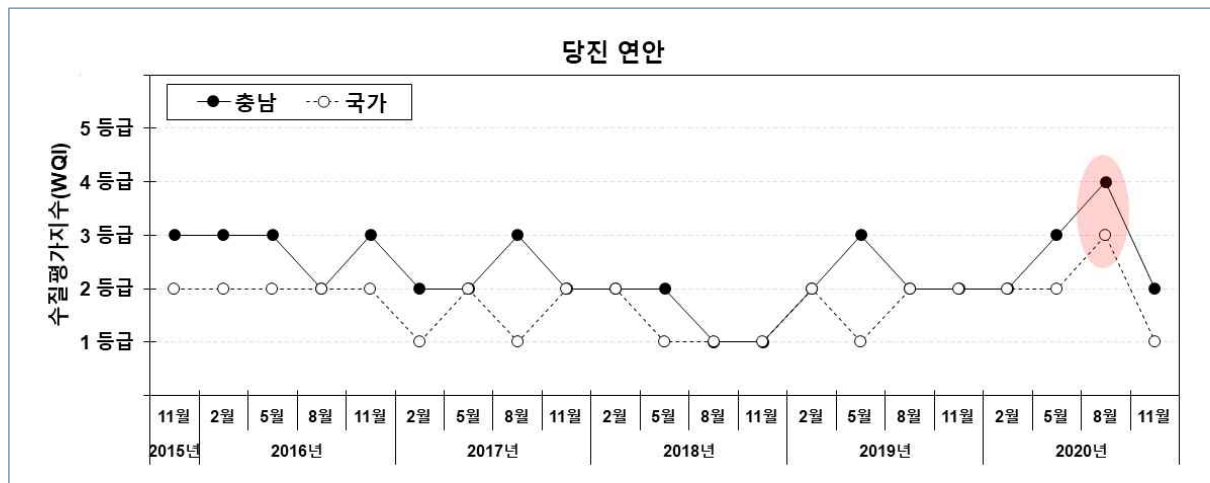
■ 당진 연안

- 당진 연안 조사정점은 대호 북측(N26), 아산만 입구(N27), 삽교호 전면부(N2)로 2015년 11월 ~ 2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- N26, N27 정점은 1차년도(2015년) 최종보고 결과와 자문단 의견을 반영하여 2차년도(2016년)에 추가된 정점이다.
- 당진 연안 정점은 아산만의 특성상 담수의 유입이 활발하고, 인근 공업단지가 밀집되어 있어 육상에서의 오염원 유입이 우려되는 해역이지만, 외해와 인접해 있어 만의 내측보다 수질 등급이 좋을 것으로 판단되는 지역이다.
- 본 영역의 결과와 비교분석을 위해 인접한 정점으로 해양환경측정망의 아산-3, 아산-5 자료를 활용하였다.



〈그림 4.2-18〉 당진 연안의 조사정점도

- 5년간('15년 11월~'20년 11월) 당진 연안의 WQI는 Ⅱ등급(좋음)~Ⅲ등급(보통) 수준을 유지하였으며, 2020년 8월에 Ⅳ등급(나쁨)을 나타냈으나, 다음 조사(11월)에서 Ⅱ등급(좋음)으로 평균 수준으로 회복되었다.
- 해양환경측정망의 결과도 이 시기에 평균보다 수질악화 이후, 회복되는 현상이 나타났다.
- Ⅱ~Ⅲ등급을 유지했던 2016년과 2017년의 WQI 항목을 살펴보면 영양염류 중 용존무기인(DIP)과 투명도에 의해서 Ⅲ등급 수준을 유지하고 있었다.
- 2020년 08월에는 WQI 항목 중 DO 점수에 의해 Ⅳ등급이 결정되었고, 나머지 항목들은 양호한 수준으로 관측되었다.
- WQI를 분석한 결과 당진연안은 담수 유입에 의한 영양염의 농도는 낮은 수준이었고, 저층 DO에 의해 수질 등급이 증감하는 경향을 보였다.



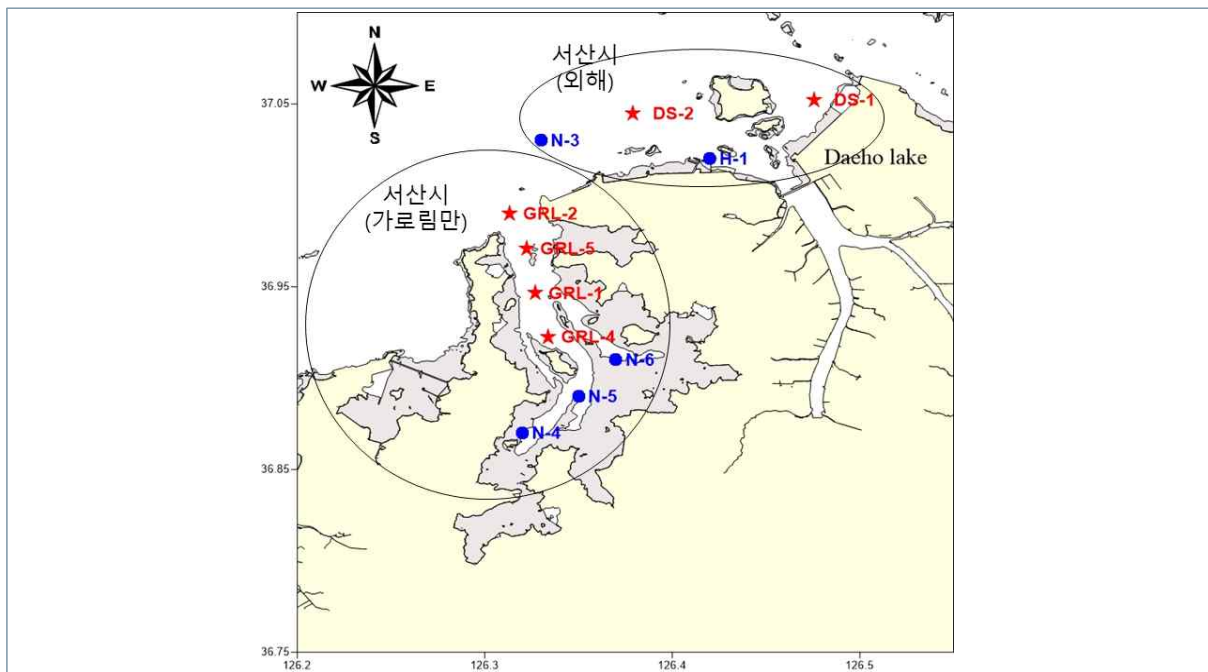
<그림 4.2-19> 당진 연안의 WQI 등급 변화



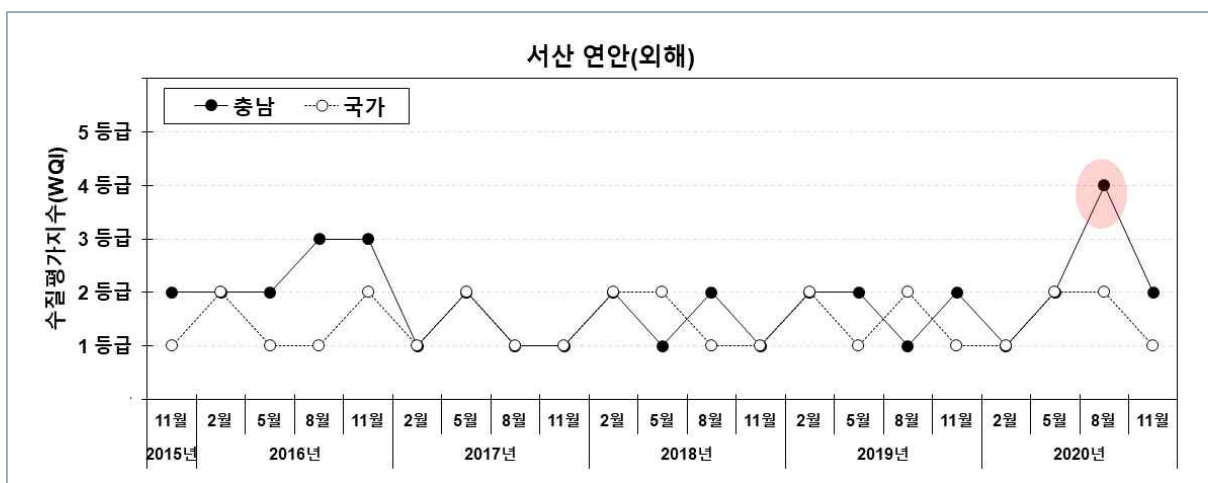
<그림 4.2-20> 당진 연안의 WQI 항목 변화

■ 서산 연안(외해)

- 서산연안(외해) 조사정점은 대천항 전면(H1, N3)과 가로림만 내측(N4, N5, N6)으로 2015년 11월~2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- WQI는 지난 5년간 I (매우 좋음)~II등급(좋음)으로 대체적으로 양호한 수준을 유지하고 있으며, 2020년 08월 조사에서 IV등급(나쁨)이 일시적으로 나타났고, WQI 항목 중 Chl-a와 DO 농도가 증가하여 등급상정에 영향을 준 것으로 분석되었다.



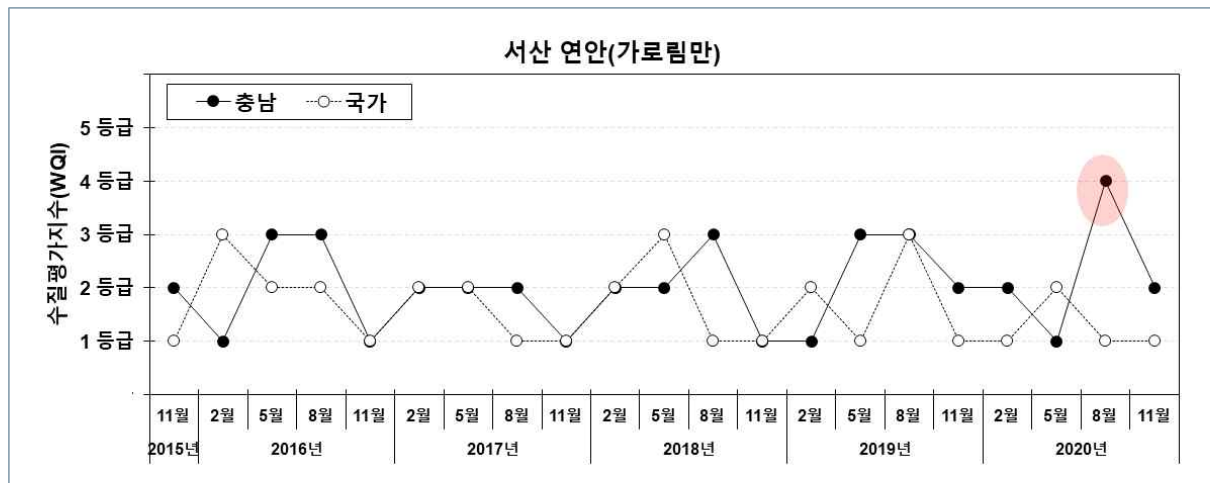
<그림 4.2-21> 서산 연안의 조사정점도



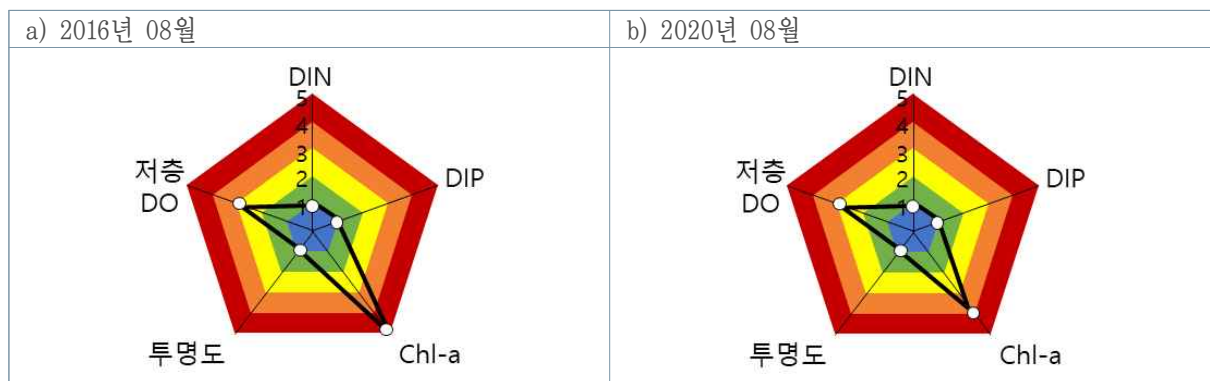
<그림 4.2-22> 서산 연안(외해)의 WQI 등급 변화

■ 서산 연안(가로림만)

- 가로림만의 WQI 변화를 비교하기 위해 해양환경측정망 가로림만 정점자료를 이용하였고, 정점도와 같이 만의 입구쪽과 내측으로 분할되었다.
- 가로림만 3번 정점은 태안화력발전소 전면부에 위치해 있어 제외하였다.
- 가로림만의 남북방향 길이는 25km로 두 측정망 간의 거리 차가 작아 WQI 결과가 비슷할 것으로 판단되었으나, 만 내측의 수질은 II(좋음)~III등급(보통) 수준을 유지하는 것으로 나타났고, 만의 입구는 I(매우 좋음)~II등급(좋음) 수준으로 분석되었다.
- 서산시(외해)의 결과와 동일하게 올해 08월 조사에서 일시적으로 IV등급 나타났으나, WQI 항목을 분석한 결과 Chl-a와 DO 농도가 증가하여 등급산정에 영향을 준 것으로 분석되었다.
- 영양염류, 투명도는 좋은 수준으로 분석되었다.



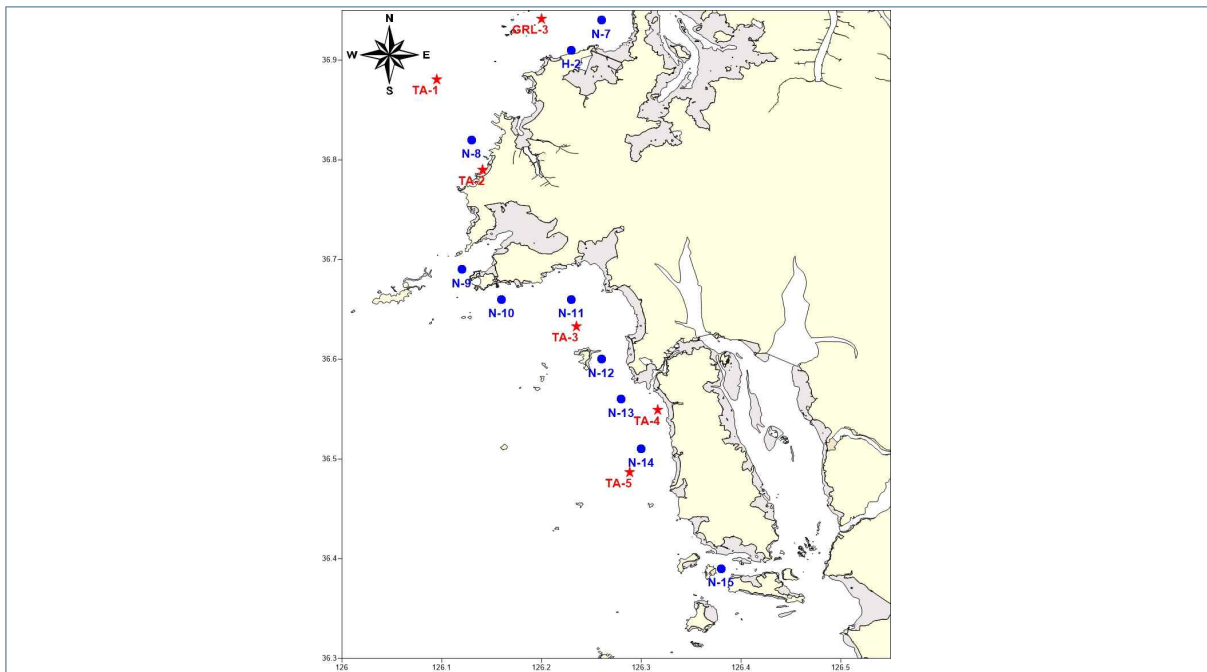
〈그림 4.2-23〉 서산 연안(가로림만)의 WQI 등급 변화



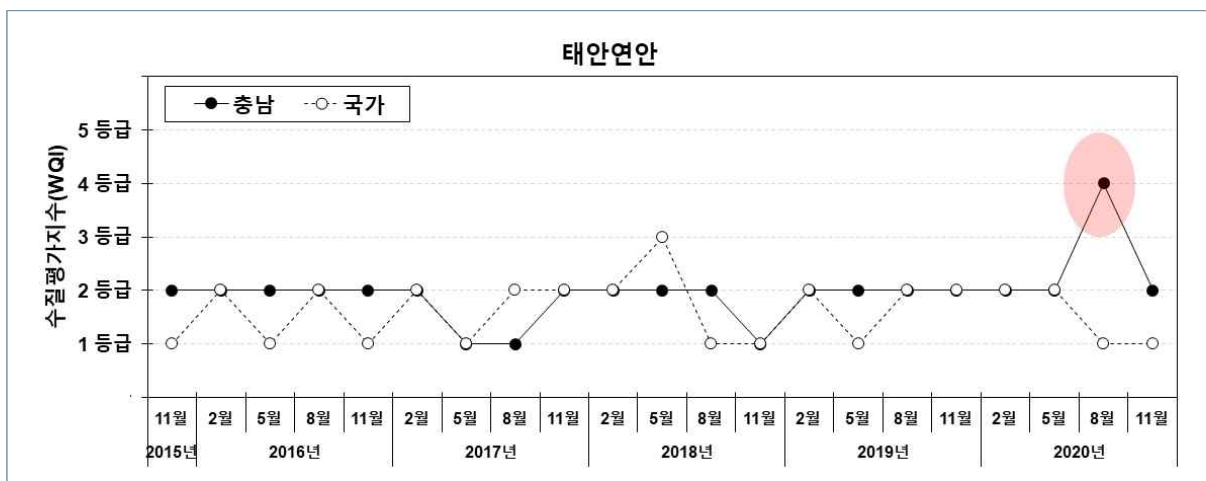
〈그림 4.2-24〉 서산 연안(가로림만)의 WQI 항목 변화

태안 연안

- 태안 연안 조사정점은 북쪽 이원면 연안(N7), 태안화력발전소 전면(H2)부터 남쪽 안면도 남측 연안(N15)으로 2015년 11월~2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- 태안 연안의 전체적인 WQI 등급은 평균 II등급(좋음) 수준을 유지하고 있으며, 특정 시기에 I등급(매우 좋음), III등급(보통)으로 분석되기도 했다.
- 2020년 8월은 모든 정점에서 Chl-a와 DO의 등급이 높아 III(보통)~IV(나쁨)등급으로 분석되었다.



<그림 4.2-25> 태안 연안의 조사정점도



<그림 4.2-26> 태안 연안의 WQI 등급 변화

■ 태안 연안(권역별)

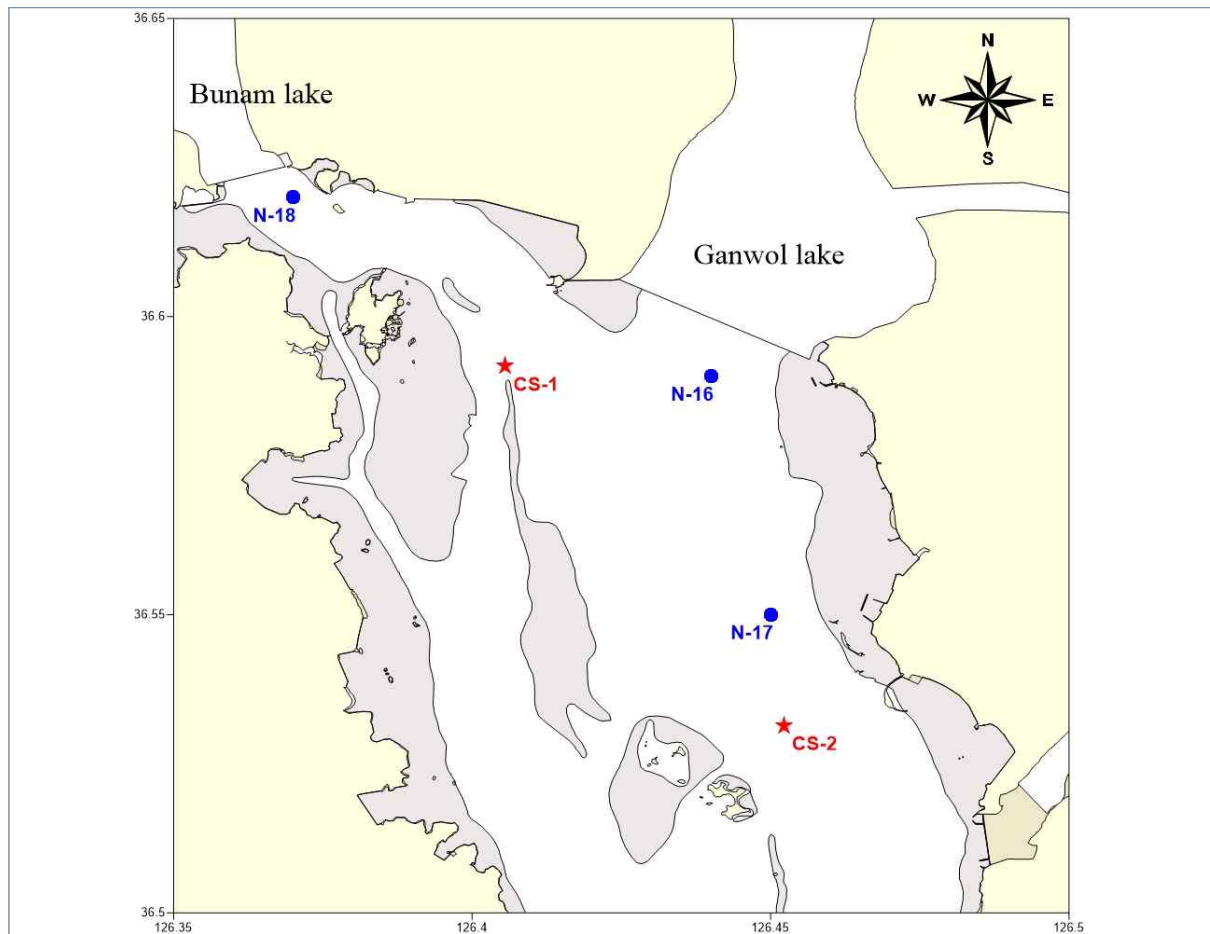
- 태안 연안을 권역별(태안북부, 만리포 연안, 신진도 연안, 안면도 연안)로 구분하여 5년간 수질 변화를 살펴보면 I 등급(매우 좋음)~II 등급(좋음)으로 좋은 수준을 유지하고 있다.
- III등급(보통), IV등급(나쁨)으로 분석되었을 때는 Chl-a와 투명도, DO 농도가 높게 측정되었고, 영양염류(DIN, DIP)은 좋은 수준이었다.



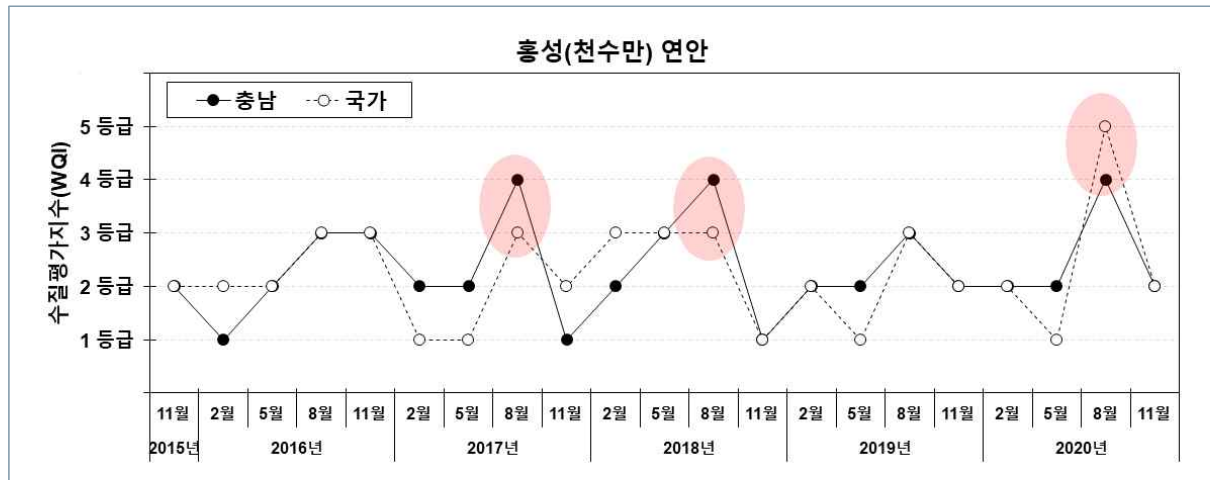
<그림 4.2-27> 태안 연안의 WQI 등급 변화

■ 홍성 연안(천수만)

- 홍성 연안(천수만) 조사정점은 간월호 전면(N16), 남당항(N17), 부남호 전면부(N18)로 2015년 11월~2020년 11월까지 수행되었다.
- N18 정점은 3차년도 용역부터 부남호의 담수방류로 인한 주변 연안환경의 오염 등의 이유로 죽도 상부에서 부남호 전면부로 재조정되었다.
- 비교자료로는 해양환경측정망의 천수만 정점 중 천수만-1, 천수만-2 자료를 사용했다.
- 두 측정망의 2017년 이후부터 비슷한 양상을 보이며, 각 년도 하계 수질 등급이 높게 분석되었다.



〈그림 4.2-28〉 홍성 연안(천수만)의 조사정점도



〈그림 3.4-29〉 홍성 연안(천수만)의 WQI 등급 변화

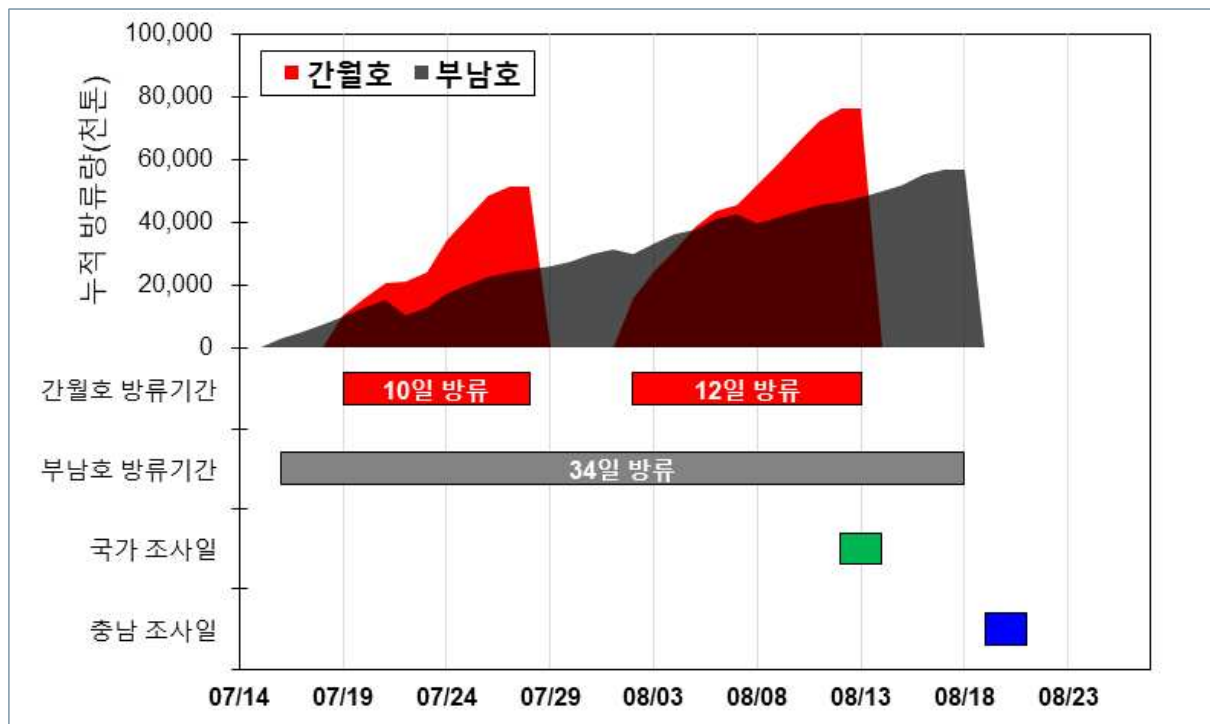
- 2019년 하계를 제외하면 2016년 하계 III등급(보통) 수준에서 2020년 하계 V등급(매우 나쁨) 수준으로 수질이 악화되었다.
- WQI를 구성하는 항목을 살펴보면 영양염류는 좋은 수준이었고, Chl-a와 그 외 DO의 점수에 의해 WQI 등급이 IV등급~V등급으로 계산되었다.
- 천수만은 하계에 호소에서 방류 영향으로 수질이 III등급(보통)~V등급(매우 나쁨)으로 급격하게 악화되는 경향을 보이며, 각연도의 WQI 산정항목 농도를 바탕으로 분석하였다.

〈표 4.2-6〉 홍성 연안(천수만) 하계 수질 등급

구분			WQI	DIN	DIP	Chl-a	투명도	DO
			등급	점수				
하계	2016년	충남	III	1.0	1.0	5.0	1.0	2.3
		국가	III	1.0	1.5	5.0	1.0	1.5
	2017년	충남	IV	1.0	1.0	3.7	1.0	3.3
		국가	III	1.0	1.0	5.0	1.0	2.0
	2018년	충남	IV	1.0	1.0	5.0	1.0	2.7
		국가	III	1.0	1.0	5.0	1.0	2.0
	2019년	충남	III	1.0	1.3	5.0	3.0	1.0
		국가	III	1.0	1.0	5.0	1.0	1.5
	2020년	충남	IV	1.0	1.0	5.0	1.0	3.7
		국가	V	4.5	4.5	5.0	1.0	3.5

* 각 항목은 정점별 점수의 평균으로 산정하였음

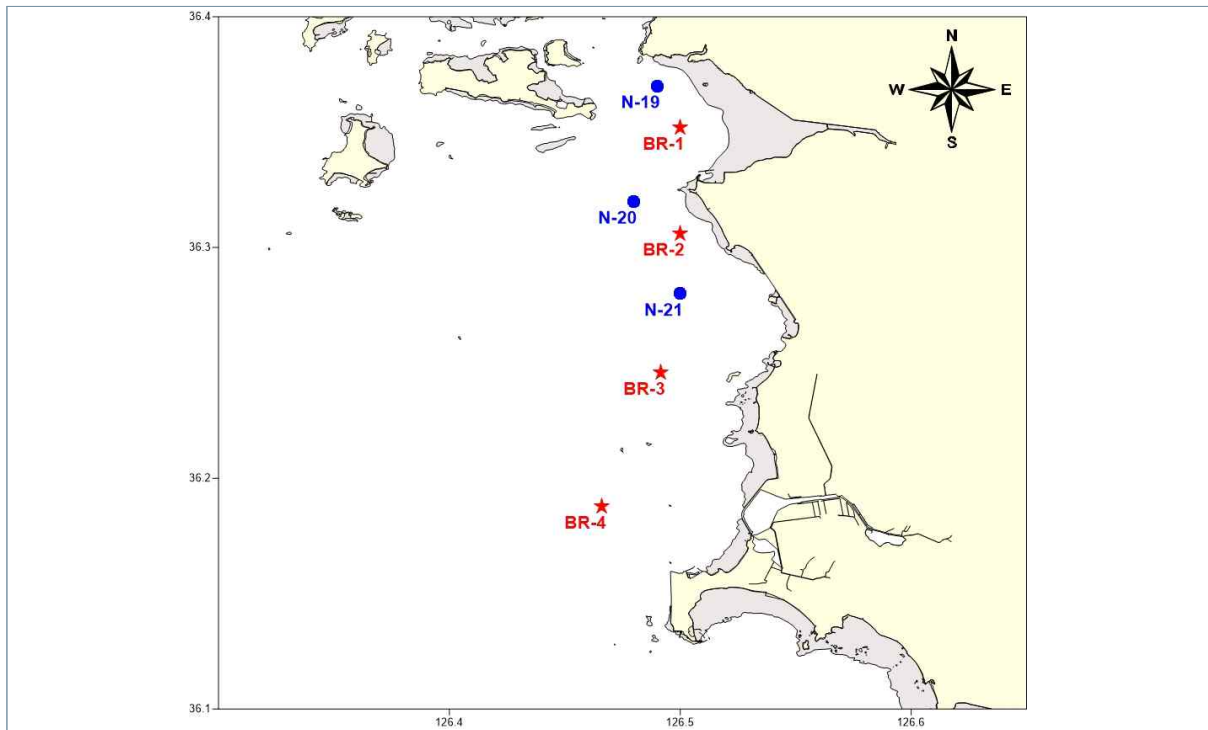
- 천수만 내측은 부남호와 간월호의 방류로 인해 육상에서의 담수가 지속적으로 유입되고 있는 지역이고, 부남호와 간월호의 담수는 영양염류(N, P류)의 농도가 높은 것으로 나타났다(충청남도, 2018).
 - 호소 수질 기준 총인(TP) : $150\mu\text{g/L}$ 이상 VI등급(부남호 평균 관측치 $577\mu\text{g/L}$)
 - 호소 수질 기준 총질소(TN) : $1500\mu\text{g/L}$ 이상 VI등급(부남호 평균 관측치 $1,954\mu\text{g/L}$)
- 담수 방류로 인해 주변 해역의 영양염류(N, P) 유입이 심할 것으로 판단되었으나, 실제 충청남도 분석 결과는 I 등급 수준으로 나타났으며, 국가측정망 분석 결과 IV등급 이상으로 분석되었다.
- 이는 조사시기와 담수방류시기의 차이인 것으로 판단되는데, 해양환경측정망의 천수만 조사가 이뤄진 8/13일은 부남호와 간월호의 담수 방류가 약 14일 이상 진행되어있는 시점이었다(<그림 4.2-30>).
 - 충청남도는 7일 후인 8/20일에 천수만 조사를 실시하였다.
- 이로 인해 측정망 간의 영양염류(DIN, DIP) 농도의 차이가 나타난 것으로 판단되다.



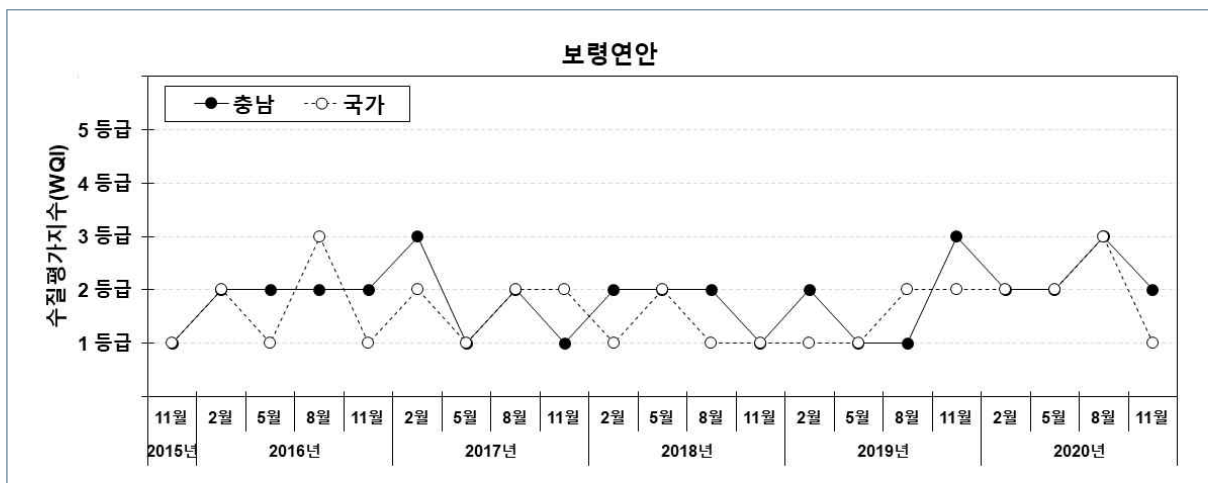
<그림 4.2-30> 천수만 내 방류기간 및 조사시기

■ 보령 연안

- 보령 연안 조사정점은 보령산업단지 남쪽(N19)에서, 대천해수욕장 남쪽(N21)으로 2015년 11월~2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- 보령 연안의 WQI 등급은 평균 II등급(좋음) 수준을 유지하고 있으며, 특정시기에 I등급(매우 좋음), III등급(보통)으로 분석되기도 했다.



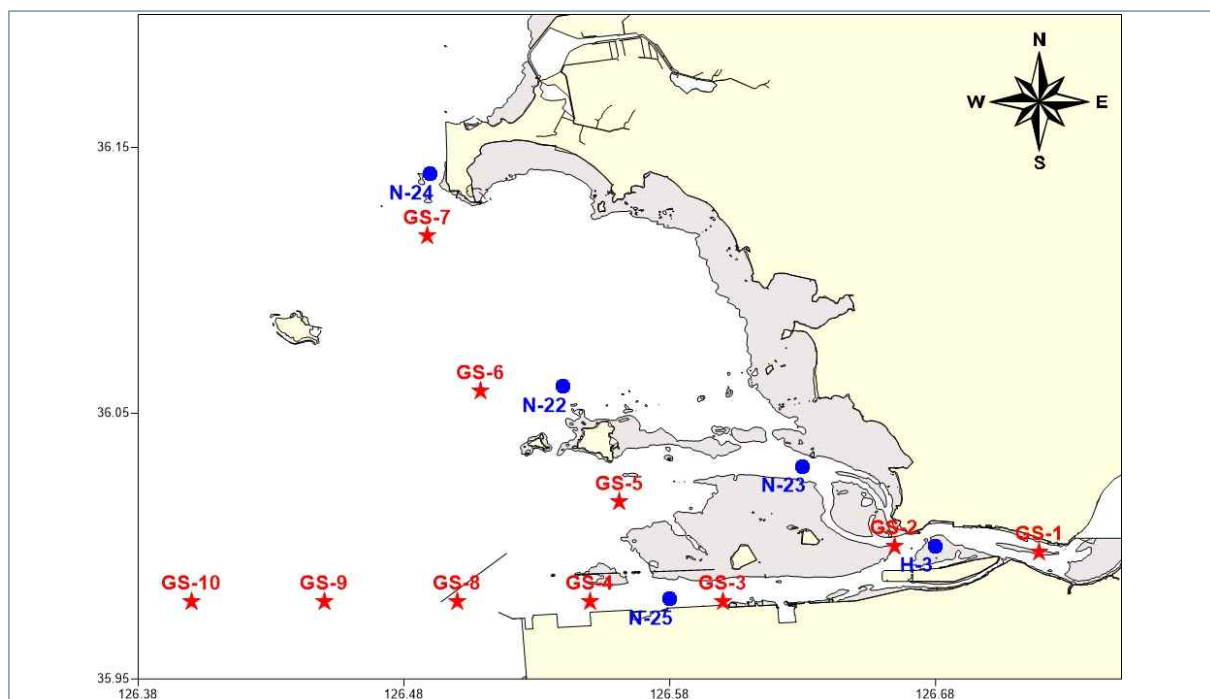
<그림 4.2-31> 보령 연안의 조사정점도



<그림 4.2-32> 보령 연안의 WQI 등급 변화

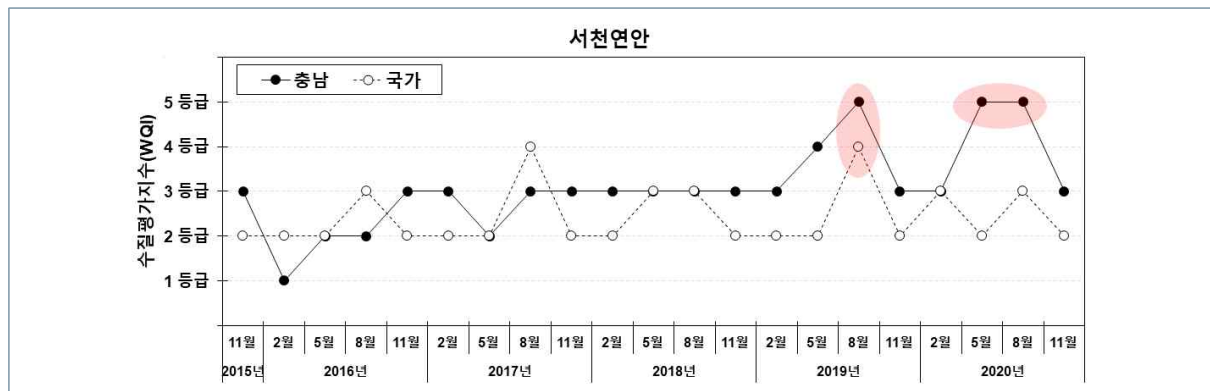
■ 서천 연안

- 서천 연안의 조사정점은 서천화력발전소(N24)에서 남쪽으로 군산국가산업단지(N25), 동쪽으로는 금강하구(H3) 까지이며, 2015년 11월~2020년 11월까지 조사를 수행되었다.
- 해당 지역에는 김 양식장이 많이 위치하고 있어, 추계와 동계 조사 시 항로 설정에 다소 어려움이 있는 지역이다.
- 또한, 남쪽에 위치한 군산국가산업단지와 동쪽의 금강하구를 통해 육상에서 유입되는 물질이 많은 지역이며, 특히, 금강하구둑을 통해 연평균 약 30 억톤의 담수가 연안으로 유입되고 있으며, 2020년에는 최장 장마기간으로 인해 93 억톤의 담수가 서천 연안으로 방류되었다.
 - 이로 인해 2020년 하계 서천 연안의 염분이 낮게 측정되었다.
- 서천 연안은 아산만, 천수만과 더불어 수질 관리의 필요성이 지속적으로 요구되는 지역이며, 수질분석 결과 수질이 점점 악화되고 있어 체계적인 수질 관리가 필요한 실정이다.
- 분석 결과를 비교하기 위해 해양환경측정망의 군산자료(GS-1~10)를 사용했으며, 연안과 다소 거리가 먼 정점까지 포함시켰다.



〈그림 4.2-33〉 서천 연안의 조사정점도

- 지난 5년간 서천 연안의 WQI는 평균 III등급(보통) 수준을 유지했으며, 2019년 이후 IV등급(나쁨), V등급(매우 나쁨)으로 수질이 악화되었다.
- 해양환경측정망 결과로는 평균 수질 II등급(좋음)이며, 하계에 III등급~IV등급으로 악화되기도 했다.
- 2019년과 2020년에 V등급을 나타냈으며, 세부항목을 살펴본 결과, 영양염류, Chl-a, 저층 DO의 농도가 복합적으로 작용하였다.
- 영양염류는 3~4점으로 분석되었으며, 이는 담수의 유입으로 판단되고, 저층 DO는 3점으로 빈산소 수준은 아닌 것으로 나타났다.
- 특히, Chl-a는 모두 5점으로 분석되었으며, WQI 등급산정에 큰 영향을 주고 있다.
- Chl-a는 식물플랑크톤의 주 광합성 색소이며, 식물플랑크톤의 생물량과 일차생산력을 추정하는 지시자로 이용되므로(Jeffrey and Mantoura, 1997; 심, 2003), 해당 연안에 식물플랑크톤이 많이 서식하는 것을 의미하고, 이들은 주로 영양염류와 DO를 소비한다.
- 이와 반대로 Chl-a점수는 높고 영양염류와 DO의 점수는 낮은 경우도 발생한다.



<그림 4.2-34> 서천 연안의 WQI 등급 변화



<그림 4.2-35> 서천 연안의 WQI 항목 변화

4.3. 퇴적물

4.3.1. 입도

1) 조성 및 퇴적상

- 2015년부터 2020년까지 퇴적물의 입도 조성 결과를 <표 4.3-1>에 제시하였다.
- 2015년부터 2020년까지 퇴적물의 입도 조성의 평균값은 자갈 1.8~4.8%(평균 3.3%), 모래 53.2~65.3%(평균 59.9%), 실트 27.6~35.8%(평균 31.5%), 점토 4.4~6.6%(평균 5.4%)의 범위로 조사되었다. 모든 입도 조성의 평균값이 기간에 따라 크게 차이가 나지 않았고 일정한 값을 보였다.
- 퇴적상은 실트(Z), 사질실트(sZ), 실트질사(zS), 모래(S), 약역질니((g)M), 약역니질사((g)mS), 약역질사((g)S), 약역사질니((g)sM), 역질니(gM), 역니질사(gmS), 역질사(gS), 니사질역(msG), 사질역(sG)로 나타났으며 시간이 지나면서 퇴적상의 변화가 거의 없었다.

2) 조직 변수

- 2015년부터 2020년까지 퇴적물의 평균 입경은 3.0~3.8Φ(평균 3.5Φ)의 범위로 조사되었다. 분급도는 0.5~3.1Φ의 범위로 Moderately well sorted에서 Very poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.3~0.7의 범위로 Coarse-skewed에서 Strongly fine-skewed한 분포를 보였으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.7~2.7으로 Platykurtic에서 Very leptokurtic한 분포를 보였다.

4.3.2. 함수율

- 2015년부터 2020년까지 퇴적물의 함수율의 평균값은 30.0~34.8%(평균 32.3%)의 범위로 조사되었다.
- 6년의 기간동안 퇴적물의 함수율의 평균값은 약 5%의 자료의 폭을 가지고 있으나 자료의 큰 변동성이나 뚜렷한 경향성은 없었다. 마지막 2020년 5월 조사에서의 가장 높게 나타났으며, 그 전년도인 2019년 2월 조사에서의 가장 낮게 나타났다.
- 그 중 2017년 8월 태안해역에 위치한 정점 N7에서 가장 낮은 함수율 값을 보였고(10.7%), 2016년 5월 동일한 정점인 N7에서 가장 높은 함수율 값을 보였다(66.8%). 같은 정점 위치이지만 조사 시기가 약 1년 정도의 차이가 있고, 조사 시기의 계절 차이로 인한 결과값의 차이로 판단된다.

4.3.3. 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량과 화학적산소요구량은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표성분이다.
- 강열감량과 화학적산소요구량의 연별 평균값은 기간에 관계없이 거의 일정한 값을 보였고, 두 항목 모두 다른 기간에 비해 2016년에 상대적으로 낮은 값을 보였다.
- 2015년부터 2020년까지 강열감량의 평균값은 3.4~4.8%(평균 4.2%)의 범위로 조사되었고, 화학적산소요구량의 평균값은 5.8~8.1 mg/g(평균 7.4mg/g)의 범위로 조사되었다.
- 그 중 2017년 8월 천수만 내측에 위치한 정점 N16에서 강열감량의 값이 가장 높았고(11.4%), 화학적산소요구량의 농도 또한 가장 높았다(26.3mg/g). 그리고 2016년 8월 태안연안에 위치한 정점 N8에서 강열감량의 값이 가장 낮았고(0.6%), 2017년 11월 태안연안에 위치한 정점 N7에서 화학적산소요구량의 농도가 가장 낮았다(0.1mg/g).
- 강열감량 및 화학적산소요구량의 농도가 가장 높았던 정점 N16의 경우 천수만 내측에 위치한 정점으로 평균 입도 값이 높게 나타난 세립질 퇴적물이었고(sZ(사질실트)), 강열감량의 값이 가장 낮았던 정점 N8과 화학적산소요구량의 값이 가장 낮았던 정점 N7의 경우 각각 해당 조사기간의 퇴적물 시료들 중 평균 입도 값이 낮은 조립질 퇴적물이었다(gS(역질사), (g)S(약역질사)).
- 퇴적물은 입도가 클수록(입자가 작을수록) 함유하는 물질의 양이 커지는데, 강열감량과 화학적산소요구량은 퇴적물의 평균 입도와 양호한 상관성을 보였다(<그림 3.3-76>).

4.3.4. 산취발성황화물(AVS)

- 퇴적물 중의 유기물은 분해되는 과정을 거치면서 산소를 소비해 저산소상태에 이르면 황산염 환원세균 증식에 의해 황화가스가 발생된다. 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에게 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산취발성황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경 악화지표 항목으로 이용되고 있다(Lee, 2010). 산취발성황화물(AVS)이 0.2mg/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로 산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경임을 지시하고 있다(Yokoyama, 2000).
- 산취발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01mg/g으로, 2015년 1개 정점, 2016년 35개 정점, 2017년 35개 정점, 2018년 13개 정점, 2019년 14개 정점, 2020년 21개 정점에서 불검출 되었으며, 그 외 정점에서는 2015년 0.02~0.09mg/g(평균 0.04mg/g), 2016년 0.02~0.05mg/g(평균 0.04mg/g), 2017년 0.03~0.05mg/g(평균 0.04mg/g), 2018년 0.01~0.05mg/g(평균 0.02mg/g), 2019년 0.01~0.27mg/g(평균 0.05mg/g), 2020년 0.01~0.11mg/g(평균 0.04mg/g)의 범위로 조사되었다.
- 산취발성황화물(AVS)의 연별 평균값을 살펴보면 2018년에 상대적으로 낮은 값을 보였으나, 거의 일정한 값을 보였으며 큰 변동성은 없었다.

〈표 4.3-1〉 해양 퇴적물 일반항목 분석 결과(2015~2020)

시기	자갈			모래			실트			점토		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
2015년	0.0	12.7	1.8	7.6	99.3	65.3	0.0	77.4	28.0	0.0	14.9	4.9
2016년	0.0	49.2	4.5	7.2	99.6	63.5	0.0	81.0	27.6	0.0	17.3	4.4
2017년	0.0	32.0	3.6	1.4	99.6	58.0	0.0	78.2	31.7	0.0	27.2	6.6
2018년	0.0	20.8	2.5	8.5	99.9	62.0	0.1	81.2	30.9	0.0	15.2	4.6
2019년	0.0	25.0	2.5	8.7	98.4	57.2	1.4	78.4	34.8	0.2	15.7	5.5
2020년	0.0	45.6	4.8	3.9	98.7	53.2	0.6	83.0	35.8	0.1	18.4	6.2

〈표 4.3-1〉 (계 속)

시기	평균 입도			분급도			왜도			첨도		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
2015년	-0.1	6.2	3.1	0.6	2.5	1.8	0.1	0.6	0.3	0.8	2.4	1.3
2016년	-0.9	6.3	3.0	0.5	3.2	1.8	-0.3	0.6	0.2	0.7	2.5	1.3
2017년	-0.6	7.5	3.6	0.5	3.2	1.8	-0.3	0.8	0.3	0.5	2.6	1.3
2018년	-0.3	6.2	3.5	0.3	3.2	1.7	-0.4	0.6	0.2	0.7	2.7	1.2
2019년	0.6	6.4	3.8	0.6	3.1	1.9	-0.3	0.7	0.2	0.8	2.6	1.2
2020년	-0.3	6.7	3.8	0.5	3.2	1.8	-0.3	0.7	0.2	0.8	3.5	1.2

〈표 4.3-1〉 (계 속)

시기	함수율 (%)			IL (%)			COD (%)			AVS (%)		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
2015년	17.5	56.4	33.5	1.0	6.7	4.1	1.8	20.5	7.4	0.02	0.09	0.04
2016년	30.2	32.1	31.2	2.9	3.8	3.4	4.9	7.3	5.8	0.02	0.05	0.04
2017년	30.3	33.8	32.5	3.9	5.0	4.3	7.0	8.1	7.5	0.03	0.05	0.04
2018년	13.3	50.0	31.9	0.8	8.2	4.4	0.4	20.4	8.0	0.01	0.05	0.02
2019년	15.0	47.9	30.0	1.5	6.8	3.9	0.2	21.8	8.1	0.01	0.27	0.05
2020년	15.1	63.3	34.8	1.3	8.9	4.8	0.4	20.3	7.7	0.01	0.11	0.04

제5장

연안환경측정망 특별조사

1. 조 사 개 요

2. 특별 조사 I - 주 상 퇴 적 물 조 사

3. 특별 조사 II - 호 소 조 사

4. 특별 조사 III - 유 입 하 천 조 사

제 5 장 연안환경측정망 특별조사

5.1. 조사개요

5.1.1. 공간적 범위

- 특별조사Ⅰ - 주상퇴적물(부남호 전면부)
- 특별조사Ⅱ - 호소(천수만 4개 호소)
- 특별조사Ⅲ - 유입하천(부남호, 가로림만)

5.1.2. 시간적 범위

- 특별조사Ⅰ : 2020년 08월 24일
- 특별조사Ⅱ : 2020년 08월 31일~09월 22일
- 특별조사Ⅲ : 2020년 09월 22일, 09월 24일

5.1.3. 내용적 범위

- 부남호 전면에서 천수만 방향으로 주상퇴적물 조사(6개 정점)
- 천수만 인근 호소 조사(4개 호소, 12개 정점)
- 부남호, 가로림만으로 유입되는 하천의 수질(12개 정점) 및 퇴적물 조사(5개 정점)

5.1.4. 조사 목적

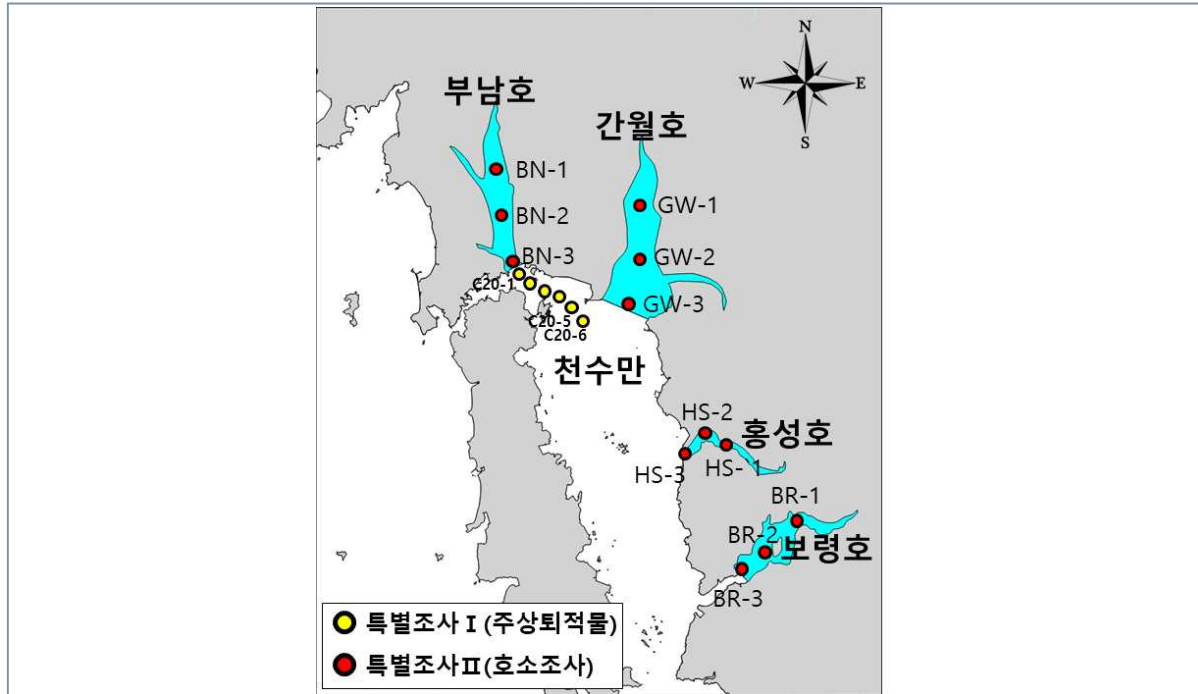
- 호소로 유입되는 담수, 호소 내 담수, 천수만으로 방류되는 담수로 인한 수질 및 퇴적환경 분석
- (특별조사Ⅰ) 부남호의 지속적인 방류로 인해 부남호 외측해역 퇴적환경(퇴적층) 오염도 분석
- (특별조사Ⅱ) 천수만 주변 4개 호소 내 수질 및 퇴적물의 오염도 변화분석(2017~2020)
- (특별조사Ⅲ) 부남호와 가로림만내 하구호으로 유입되는 지류하천의 수질 및 퇴적물의 오염도 조사

〈표 5.1-1〉 2020년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목

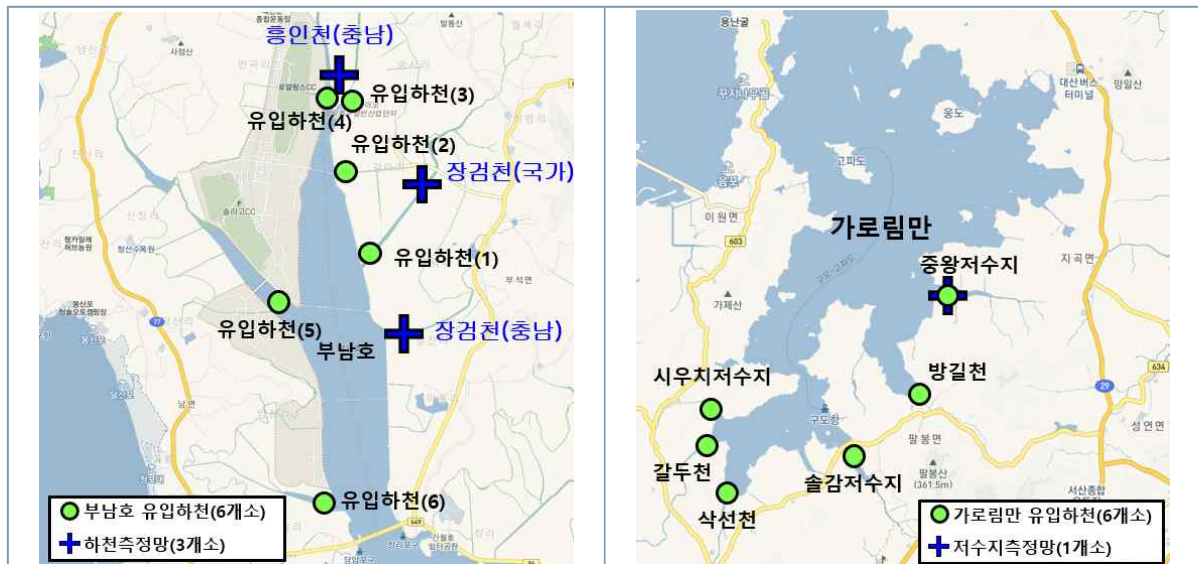
구분		조사항목		조사정점
특별조사Ⅰ (천수만 주상퇴적물)	퇴적물	일반항목(7)	입도, 함수율, COD, IL, TOC, TN, 총인	6개 정점
		미량금속(13)	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	6개 정점
특별조사Ⅱ (천수만 호소),	수질	일반항목(14)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N), TP, DIP(PO ₄ -P), SiO ₂ -Si, SPM, Chlorophyll-a, 투명도, TOC	24개 정점
		미량금속(8)	Cr ⁶⁺ , Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg	24개 정점
특별조사Ⅲ (부남호, 가로림만 유입하천)	퇴적물*	일반항목(8)	입도, 함수율, IL, COD, AVS, TOC, TN, TP,	17개 정점
		미량금속(13)	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, Al, Fe, As	17개 정점

5.1.5. 조사 정점도

- 특별조사 I ~Ⅲ의 정점도를 <그림 5.1-1>~<그림 5.1-2>에 나타내었다.



<그림 5.1-1> 특별조사(I, II) 조사정점도



<그림 5.1-2> 특별조사(III) 조사정점도

5.1.6. 시료 채취 방법

- 시료는 해수, 해양 퇴적물, 해양생물을 채취하였으며, 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.
- 시료 채취 세부방법은 다음과 같다

가. 해수

1) 호소

- 해수 시료는 니스킨 채수기(Niskin-X sampler)를 이용하였으며 채수기는 현장 해수로 3회 이상 세척하여 사용하였다.
- 표층과 저층에서 시료를 각각 채취하였으며, 표층수는 수면 아래 0.5m에서 저층수는 바닥으로부터 1m 상부 수층에서 채수하였다.

2) 유입하천

- 하천까지의 접근과 수심이 충분히 확보되지 않아 니스킨을 사용할 수 없는 하천은 시료 용기를 로프에 묶어 직접적으로 채취했다.

나. 해양 퇴적물

1) 표층퇴적물

- 퇴적물 시료는 0.1m² 크기의 van Veen 채니기를 사용하여 채취하였다.
- 채취한 퇴적물은 채니기 덮개와 접촉하지 않은 상층 부분(표층 2cm 이내)을 플라스틱 주걱을 활용하여 시료 용기에 담아 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동하였다.
- 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법에 따라 건조하였다.

2) 주상퇴적물

- 주상퇴적물 시료는 중력식 코어를 사용하였다.
- 채취된 시료는 10cm 간격으로 분취하여 시료용기에 담았고 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동했다.
- 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법으로 건조하였다.

다. 현장 야장

- 특별조사의 현장 조사과정을 <표 5.1-2>, <그림 5.1-3>~<그림 5.1-5>에 제시했다.
- 유입하천의 좌표는 표기하지 않았다.

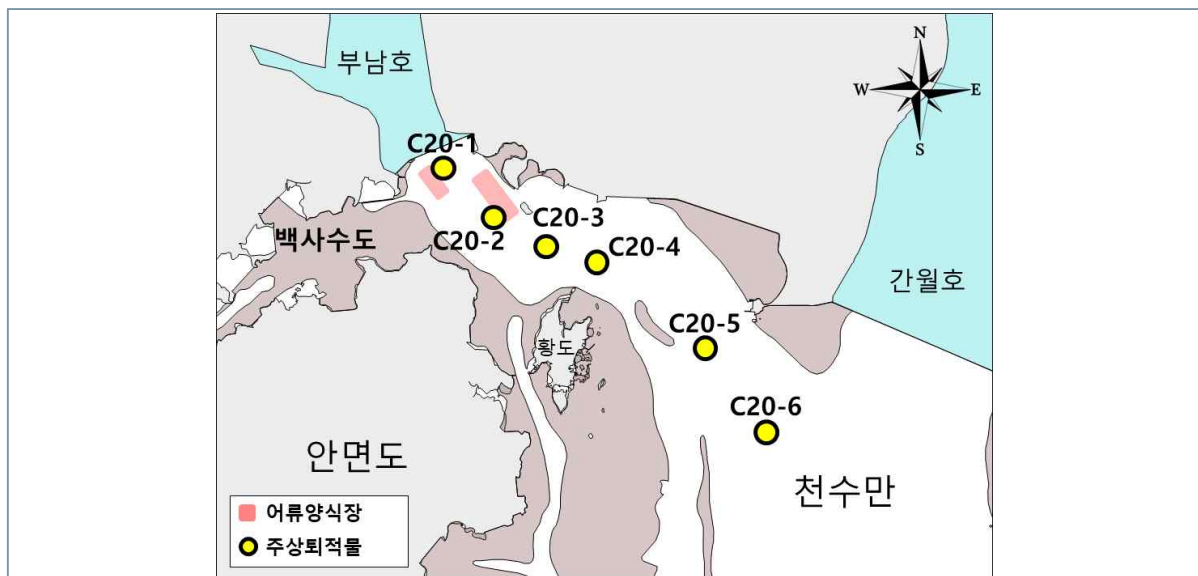
<표 5.1-2> 특별조사 현장야장

구분 (mm/dd hh:mm)		조사시간	좌표		
			위도	경도	
특별조사 I (주상퇴적물)	천수만 (부남호 전면)	C20-1	08-24 10:24	36°37'18.0"	126°21'44.2"
		C20-2	08-24 10:45	36°36'56.4"	126°22'11.9"
		C20-3	08-24 11:47	36°36'49.3"	126°22'34.0"
		C20-4	08-24 11:20	36°36'39.4"	126°23'08.4"
		C20-5	08-24 12:52	36°35'52.6"	126°24'16.3"
		C20-6	08-24 13:04	36°35'15.8"	126°24'48.9"
특별조사 II (호소)	부남호	BN-1	09/22 10:57	36°40'33.9"	126°20'52.7"
		BN-2	09/22 14:40	36°39'21.0"	126°21'19.0"
		BN-3	08/31 16:30	36°37'37.5"	126°21'41.8"
	간월호	GW-1	09/08 15:12	36°39'44.3"	126°27'13.6"
		GW-2	09/08 14:51	36°37'55.5"	126°27'15.2"
		GW-3	09/08 14:15	36°36'10.0"	126°26'41.0"
	홍성호	HS-1	09/10 14:20	36°31'15.5"	126°30'55.0"
		HS-2	09/10 14:45	36°31'41.2"	126°29'57.8"
		HS-3	09/10 15:02	36°30'51.6"	126°29'08.1"
	보령호	BR-1	09/10 17:30	36°28'38.6"	126°34'14.2"
		BR-2	09/10 18:02	36°27'18.6"	126°32'24.6"
		BR-3	09/10 18:15	36°26'48.0"	126°31'43.0"
특별조사 III (유입하천-부남호)		BN-S-1	09/22 11:21	—	—
		BN-S-2	09/22 11:48	—	—
		BN-S-3	09/22 12:19	—	—
		BN-S-4	09/22 12:35	—	—
		BN-S-5	09/22 13:59	—	—
		BN-S-6	09/22 15:10	—	—
특별조사 III (유입하천-가로림만)		갈두천	09/24 11:00	—	—
		방길천	09/24 09:40	—	—
		솔갑	09/24 10:01	—	—
		삭선천	09/24 10:32	—	—
		중왕	09/24 09:05	—	—
		시우치	09/24 11:25	—	—

5.2. 특별조사 I - 주상퇴적물

5.2.1. 조사개요

- 특별조사 I 은 부남호에서 방류되는 담수가 천수만 해저 퇴적환경에 미치는 영향을 파악하기 위해 부남호 수문에서 천수만 방향으로 6개 정점에 대한 주상퇴적물 시료를 채취하였다.
- 정점은 부남호 방조제 전면에서부터 간월호에 이르는 천수만 북측 수로를 따라 6개를 배치하였다.
- 부남호 전면에는 낙시터와 가두리 양식장이 밀집되어 있고 해당 시설이 해양환경에 주는 영향 파악 및 퇴적층의 오염변화를 분석하고자 양식장 인근에 1개 정점(C20-2)을 설정하였다.
- 또한, 2018년 용역에서 특별조사를 통해 천수만 내측 2정점에 대해 주상퇴적물 시료를 채취하여 분석한 적이 있으며, 이와 연계된 천수만 내측 퇴적층의 공간적 분포를 파악하고자 CO-4 ~ CO-6 정점을 설정하였다.
- 현장에서 중력식 코어를 사용해 시료를 채취하였으며, 해저면이 암반, 자갈이거나 시료의 깊이가 충분히 확보되지 않아 적게는 3회, 많게는 7회에 걸쳐 채취하였다.
 - 부남호 서쪽의 백사수도 방향으로도 시료를 채취하기 위한 시도가 있었으나, 해저면이 암반으로 구성되어 있어 시료를 채취하지 못하였다.
- 각 정점에서 C20-1 50cm, C20-2 50cm, C20-3 40cm, C20-4 60cm, C20-5 40cm, C20-6 60cm의 깊이의 시료를 채취했다.
- 시료는 10cm단위로 분취하여 드라이아이스로 냉동 후 실험실에서 냉동 보관하였다.



〈그림 5.2-1〉 특별조사(I) 조사정점도

5.2.2. 분석 결과

- 부남호 전면에서부터 천수만 방향으로의 6개 정점에서의 주상퇴적물 시료를 채취하여 분석했다(〈표 5.2-1〉~〈표 5.2-3〉, 〈그림 5.2-2〉~〈그림 5.2-7〉).

가. 입도

1) 조성 및 퇴적상

- 정점 C20-1의 입도 조성은 모래 3.5~5.5%(평균 4.3%), 실트 74.3~78.8%(평균 76.0%), 점토 16.9~22.1%(평균 19.7%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z)로 나타났으며, 실트가 우세한 퇴적환경으로 조사되었다.
- 정점 C20-1의 수직적인 분포 특성은 하부(50cm층)에서 상부(0cm)까지 대체로 일정한 퇴적상을 가지는 것으로 조사되었다.
- 정점 C20-2의 입도 조성은 자갈 0.0~0.8%(평균 0.2%), 모래 5.4~11.7%(평균 8.7%), 실트 74.4~76.2%(평균 75.1%), 점토 13.8~18.5%(평균 16.1%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z), 약역질니((g)M), 사질실트(sZ), 약역사질니 ((g)sM)으로 나타났으며, 실트가 우세한 퇴적환경으로 조사되었다.
- 정점 C20-3의 입도 조성은 자갈 0.0~0.2%(평균 0.0%), 모래 4.6~7.9%(평균 6.6%), 실트 77.0~78.1%(평균 77.7%), 점토 14.0~17.7%(평균 15.7%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z), 약역질니((g)M)으로 나타났으며, 실트가 우세한 퇴적환경으로 조사되었다.
- 정점 C20-4의 입도 조성은 모래 2.9~9.3%(평균 5.3%), 실트 77.3~83.0%(평균 79.6%), 점토 13.3~16.4%(평균 15.1%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z)로 나타났으며, 실트가 우세한 퇴적환경으로 조사되었다.
- 정점 C20-4의 수직적인 분포 특성은 하부(60cm층)에서 상부(0cm)까지 대체로 일정한 퇴적상을 가지는 것으로 조사되었다.
- 정점 C20-5의 입도 조성은 모래 4.7~14.9%(평균 8.7%), 실트 68.2~83.2%(평균 74.5%), 점토 12.1~20.9%(평균 16.8%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z), 사질실트(sZ)로 나타났으며, 실트가 우세한 퇴적환경으로 조사되었다.
- 정점 C20-6 입도 조성은 자갈 0.0~8.0%(평균 1.3%), 모래 3.9~50.6%(평균 13.9%), 실트 35.6~79.0%(평균 69.2%), 점토 5.8~21.0%(평균 15.6%)로 조사되었고, 퇴적상은 실트(Z), 사질실트(sZ), 역니질사(gmS)로 나타났다.
- 정점 C20-6의 수직적인 분포 특성은 하부(60cm층)로 갈수록 조립한 퇴적상을 가지는 것으로 조사되었다.

2) 조직 변수

- 정점 C20-1의 조직변수는 평균 입경이 6.76~6.95 Φ (평균 6.86 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.52~1.64 Φ (평균 1.60 Φ)의 범위로 poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.05~0.02의 범위로 near-symmetrical한 분포를 나타냈으며, 첨도는 1.21~1.37으로 mesokurtic에서 leptokurtic한 분포로 조사되었다.
- 정점 C20-2의 조직변수는 평균 입경이 6.20~6.71 Φ (평균 6.45 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.65~1.80 Φ (평균 1.74 Φ)의 범위로 poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.07~0.04의 범위로 near-symmetrical한 분포를 나타냈으며, 첨도는 1.14~1.22으로 leptokurtic한 분포로 조사되었다.
- 정점 C20-3의 조직변수는 평균 입경이 6.35~6.69 Φ (평균 6.54 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.60~1.67 Φ (평균 1.64 Φ)의 범위로 poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.08~0.04의 범위로 near-symmetrical한 분포를 나타냈으며, 첨도는 1.19~1.29으로 leptokurtic한 분포로 조사되었다.
- 정점 C20-4의 조직변수는 평균 입경이 6.19~6.66 Φ (평균 6.50 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.48~2.01 Φ (평균 1.77 Φ)의 범위로 poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.01~0.12의 범위로 near-symmetrical에서 Fine-skewed한 분포를 나타냈으며, 첨도는 1.10~1.29으로 mesokurtic에서 leptokurtic한 분포로 조사되었다.
- 정점 C20-5의 조직변수는 평균 입경이 6.21~6.66 Φ (평균 6.44 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.48~2.01 Φ (평균 1.77 Φ)의 범위로 poorly sorted에서 very poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.11~0.10의 범위로 coarse-skewed에서 fine-skewed한 분포를 나타냈으며, 첨도는 0.95~1.25으로 mesokurtic에서 leptokurtic한 분포로 조사되었다.
- 정점 C20-6의 조직변수는 평균 입경이 3.44~6.84 Φ (평균 6.02 Φ)의 범위로 나타났다. 분급도는 1.57~3.10 Φ (평균 1.93 Φ)의 범위로 poorly sorted에서 very poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 0.02~0.05의 범위로 Near-symmetrical한 분포를 나타냈으며, 첨도는 0.95~1.18으로 mesokurtic에서 leptokurtic한 분포로 조사되었다.

나. 함수율

- 함수율은 정점 C20-1에서 45.3~55.0%(평균 50.1%), 정점 C20-2에서 50.9~59.1%(평균 55.6%), 정점 C20-3에서 50.0~54.5%(평균 52.5%), 정점 C20-4에서 49.0~57.7%(평균 53.6%), 정점 C20-5에서 44.0~56.7%(평균 49.7%), 정점 C20-6에서 27.4~60.1%(평균 49.3%)의 범위로 조사되었다.
- 수직적인 분포 특성은 C20-6 정점은 최하부(60cm층)에서 상부(0cm)로 갈수록 증가하는 경향을 보였고, 나머지 정점은 일정한 수준을 유지했다.

다. 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량(IL)은 정점 C20-1에서 10.2~10.5%(평균 10.4%), 정점 C20-2에서 7.7~9.5% (평균 8.6%), 정점 C20-3에서 7.8~9.6%(평균 8.8%), 정점 C20-4에서 7.6~9.2%(평균 8.7%), 정점 C20-5에서 7.9~9.2%(평균 8.4%), 정점 C20-6에서 4.9~10.4%(평균 8.4%)의 범위를 보였다.
- 화학적산소요구량은(COD) 정점 C20-1에서 20.4~25.1%(평균 22.9%), 정점 C20-2에서 18.0~25.8%(평균 21.7%), 정점 C20-3에서 19.4~22.0%(평균 20.6%), 정점 C20-4에서 18.4~22.1%(평균 20.2%), 정점 C20-5에서 15.7~18.3%(평균 17.4%), 정점 C20-6에서 4.8~21.9%(평균 15.8%)의 범위로 나타났다.
- 강열감량의 수직적 분포 특성은 C20-1~5정점에서 층별 농도가 일정한 수준을 보이고 있으며, C20-6정점에서 최하부(60cm)에서 상부(0cm)로 갈수록 농도가 증가하였다.
- 화학적산소요구량의 수직적 분포 특성은 C20-1, C20-3, C20-4, C20-5 정점은 층별 농도가 일정한 수준을 보였고, C20-2, C20-6 정점은 C20-6의 경우 최하부(60cm)에서 상부(0cm)로 갈수록 농도가 증가하였다.

라. 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

- 총유기탄소는 정점 C20-1에서 1.17~1.48%(평균 1.31%), 정점 C20-2에서 0.99~1.46%(평균 1.15%), 정점 C20-3에서 1.09~1.25%(평균 1.13%), 정점 C20-4에서 0.95~1.39%(평균 1.18%), 정점 C20-5에서 1.00~1.24%(평균 1.11%), 정점 C20-6에서 0.50~1.53%(평균 1.12%)의 범위로 조사되었다.
- 총질소는 정점 C20-1에서 1,100~1,400mg/kg(평균 1260mg/kg), 정점 C20-2에서 800~1,600mg/kg(평균 1,120mg/kg), 정점 C20-3에서 900~1,300mg/kg(평균 1,000mg/kg), 정점 C20-4에서 800~1,100mg/kg(평균 983mg/kg), 정점 C20-5에서 800~1,100mg/kg(평균 925mg/kg), 정점 C20-6에서 400~1,200mg/kg(평균 900mg/kg)의 범위로 나타났으며, 50~60cm 층에서는 불검출 되었다.

- 총유기탄소의 수직적 분포 특성은 최하부(60cm)에서 상부(0cm)로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였고, C20-6 정점은 층간 농도 변화량이 크게 나타났다.
- 총질소의 수직적 분포 특성은 C20-1, C20-5 정점은 모든 층에서 일정한 농도 수준을 나타냈고, C20-3 정점은 10cm 이하 층부터 일정한 농도를 타나냈다.
- C20-4 정점은 층별 농도의 차이가 존재하였고, C20-6은 최하부(60cm)~30cm까지 농도가 증가하였으며, 상부(0cm)까지 일정한 농도를 보였다,

마. 총인(TP)

- 총인은 정점 C20-1에서 259.4~587.3mg/kg(평균 475.8mg/kg), 정점 C20-2에서 305.9~569.8mg/kg(평균 411.3mg/kg), 정점 C20-3에서 282.3~372.0mg/kg(평균 323.1mg/kg), 정점 C20-4에서 257.6~330.3mg/kg(평균 287.6mg/kg), 정점 C20-5에서 272.8~304.4mg/kg(평균 290.3mg/kg), 정점 C20-6에서 273.1~327.4mg/kg(평균 295.6mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 수직적 분포 특성은 C20-1, C20-2, C20-3, C20-5 정점은 최하부(60cm)에서 상부(0cm)로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였고, C20-4, C20-6은 층별 농도가 일정한 수준을 유지했다.

바. 중금속류(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, As, Hg, Al, Fe)

- 정점 C20-1에서 카드뮴(Cd) 0.27~0.49mg/kg(평균 0.38mg/kg), 크롬(Cr) 75.6~77.3mg/kg(평균 76.3mg/kg), 구리(Cu) 71.3~78.9mg/kg(평균 74.9mg/kg), 납(Pb) 30.6~31.3mg/kg(평균 31.0mg/kg), 아연(Zn) 90.3~96.1mg/kg(평균 93.7mg/kg), 니켈(Ni) 33.9~35.4mg/kg(평균 34.8mg/kg), 망간(Mn) 350~518mg/kg(평균 409mg/kg), 비소(As) 7.0~7.7mg/kg(평균 7.4mg/kg), 수은(Hg) 30.2~33.6 μ g/kg(평균 31.6 μ g/kg), 알루미늄(Al) 5.7~7.4%(평균 6.7%), 철(Fe) 3.8~4.0%(평균 3.9%)의 범위를 보였다.
- 정점 C20-2에서 카드뮴(Cd) 0.23~0.29mg/kg(평균 0.27mg/kg), 크롬(Cr) 71.3~78.9mg/kg(평균 74.9mg/kg), 구리(Cu) 30.2~40.8mg/kg(평균 34.6mg/kg), 납(Pb) 27.5~31.2mg/kg(평균 30.1mg/kg), 아연(Zn) 79.6~93.0mg/kg(평균 87.5mg/kg), 니켈(Ni) 29.9~34.8mg/kg(평균 33.1mg/kg), 망간(Mn) 326~431mg/kg(평균 382mg/kg), 비소(As) 7.1~9.0mg/kg(평균 7.9mg/kg), 수은(Hg) 25.6~30.1 μ g/kg(평균 28.9 μ g/kg), 알루미늄(Al) 5.3~7.0%(평균 6.1%), 철(Fe) 3.5~4.0%(평균 3.8%)의 범위를 보였다.

- 정점 C20-3에서 카드뮴(Cd) 0.23~0.29mg/kg(평균 0.25mg/kg), 크롬(Cr) 77.5~86.6mg/kg(평균 83.8mg/kg), 구리(Cu) 23.6~31.6mg/kg(평균 28.2mg/kg), 납(Pb) 25.9~33.4mg/kg(평균 30.6mg/kg), 아연(Zn) 81.5~96.8mg/kg(평균 90.9mg/kg), 니켈(Ni) 32.1~37.3mg/kg(평균 35.6mg/kg), 망간(Mn) 428~431mg/kg(평균 382mg/kg), 비소(As) 7.6~7.3mg/kg(평균 8.4mg/kg), 수은(Hg) 26.7~32.2 μ g/kg(평균 30.1 μ g/kg), 알루미늄(Al) 5.1~6.9%(평균 5.7%), 철(Fe) 3.3~3.9%(평균 3.7%)의 범위를 보였다.
- 정점 C20-4에서 카드뮴(Cd) 0.20~0.26mg/kg(평균 0.22mg/kg), 크롬(Cr) 80.7~88.2mg/kg(평균 84.1mg/kg), 구리(Cu) 21.4~26.8mg/kg(평균 24.8mg/kg), 납(Pb) 29.2~31.8mg/kg(평균 30.0mg/kg), 아연(Zn) 85.6~95.2mg/kg(평균 91.1mg/kg), 니켈(Ni) 33.0~37.3mg/kg(평균 35.4mg/kg), 망간(Mn) 504~675mg/kg(평균 582mg/kg), 비소(As) 8.0~9.5mg/kg(평균 8.7mg/kg), 수은(Hg) 24.7~32.7 μ g/kg(평균 29.6 μ g/kg), 알루미늄(Al) 4.5~6.7(평균 5.2%), 철(Fe) 3.4~4.1%(평균 3.7%)의 범위를 보였다.
- 정점 C20-5에서 카드뮴(Cd) 0.19~0.21mg/kg(평균 0.20mg/kg), 크롬(Cr) 74.7~76.8mg/kg(평균 75.8mg/kg), 구리(Cu) 21.2~21.7mg/kg(평균 21.5mg/kg), 납(Pb) 27.9~29.2mg/kg(평균 28.7mg/kg), 아연(Zn) 81.8~85.9mg/kg(평균 84.1mg/kg), 니켈(Ni) 31.5~32.6mg/kg(평균 31.9mg/kg), 망간(Mn) 514~642mg/kg(평균 592mg/kg), 비소(As) 7.3~9.0mg/kg(평균 8.2mg/kg), 수은(Hg) 31.2~31.9 μ g/kg(평균 31.4 μ g/kg), 알루미늄(Al) 4.5~5.1(평균 4.8%), 철(Fe) 3.3~3.6%(평균 3.4%)의 범위를 보였다.
- 정점 C20-6에서 카드뮴(Cd) 0.09~0.24mg/kg(평균 0.18mg/kg), 크롬(Cr) 59.2~86.1mg/kg(평균 76.2mg/kg), 구리(Cu) 12.2~26.4mg/kg(평균 20.8mg/kg), 납(Pb) 24.9~33.4mg/kg(평균 29.2mg/kg), 아연(Zn) 52.9~100.6mg/kg(평균 82.9mg/kg), 니켈(Ni) 20.6~37.3mg/kg(평균 31.7mg/kg), 망간(Mn) 327~739mg/kg(평균 561mg/kg), 비소(As) 6.6~9.9mg/kg(평균 8.6mg/kg), 수은(Hg) 21.4~49.6 μ g/kg(평균 36.3 μ g/kg), 알루미늄(Al) 3.1~6.8(평균 5.5%), 철(Fe) 2.4~3.7%(평균 3.2%)의 범위를 보였다.
- 중금속의 수직적인 분포 특성은 전반적으로 하부(60cm층)에서 상부(0cm)까지 대체로 일정한 농도 수준을 나타냈으며, 모든 정점의 모든 퇴적층에서 국내 해양환경기준의 주 의기준(부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위) 이하로 조사되었다.

〈표 5.2-1〉 주상 퇴적물 입도 분석 결과

정점	깊이 (cm)	조성비				조직변수				퇴적상
		자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
		(%)				(Φ)				
C20-1	~10	0.00	3.66	74.27	22.07	6.92	1.64	0.02	1.21	Z
	~20	0.00	3.52	75.09	21.39	6.95	1.61	-0.01	1.28	Z
	~30	0.00	4.44	75.39	20.17	6.89	1.61	-0.01	1.32	Z
	~40	0.00	4.29	78.80	16.91	6.76	1.52	0.01	1.37	Z
	~50	0.00	5.47	76.34	18.19	6.78	1.62	-0.05	1.36	Z
C20-2	~10	0.00	5.38	76.15	18.48	6.71	1.65	0.04	1.20	Z
	~20	0.75	7.05	75.43	16.77	6.56	1.70	0.00	1.22	(g)M
	~30	0.00	11.69	74.53	13.78	6.20	1.80	-0.04	1.14	sZ
	~40	0.22	10.19	74.41	15.18	6.35	1.78	-0.07	1.15	(g)sM
	~50	0.00	8.97	74.88	16.14	6.42	1.76	-0.04	1.14	Z
C20-3	~10	0.00	4.55	77.77	17.69	6.69	1.60	0.04	1.20	Z
	~20	0.00	7.86	78.13	14.00	6.35	1.67	0.01	1.19	Z
	~30	0.19	6.77	76.96	16.08	6.59	1.65	-0.08	1.28	(g)M
	~40	0.00	7.14	77.99	14.87	6.52	1.64	-0.03	1.29	Z
C20-4	~10	0.00	4.88	79.84	15.28	6.52	1.56	0.08	1.18	Z
	~20	0.00	5.19	79.31	15.49	6.54	1.57	0.06	1.20	Z
	~30	0.00	9.34	77.32	13.34	6.19	1.75	0.01	1.10	Z
	~40	0.00	5.57	78.04	16.39	6.55	1.62	0.06	1.18	Z
	~50	0.00	4.14	79.84	16.02	6.66	1.53	-0.01	1.29	Z
	~60	0.00	2.94	83.01	14.05	6.53	1.45	0.12	1.21	Z
C20-5	~10	0.00	4.72	83.18	12.11	6.39	1.48	0.10	1.25	Z
	~20	0.00	7.67	75.17	17.16	6.52	1.75	-0.07	1.13	Z
	~30	0.00	7.60	71.52	20.88	6.66	1.85	-0.07	1.08	Z
	~40	0.00	14.86	68.17	16.97	6.21	2.01	-0.11	0.95	sZ
C20-6	~10	0.00	4.44	75.47	20.09	6.75	1.69	0.04	1.12	Z
	~20	0.00	4.43	78.98	16.58	6.62	1.57	0.02	1.16	Z
	~30	0.00	3.87	75.19	20.95	6.84	1.66	0.05	1.18	Z
	~40	0.00	6.24	76.68	17.08	6.48	1.72	0.02	1.08	Z
	~50	0.00	13.60	73.13	13.27	6.00	1.84	0.05	0.97	sZ
	~60	8.02	50.62	35.58	5.78	3.44	3.10	0.03	0.95	gmS

〈표 5.2-2〉 주상 퇴적물 일반항목 분석 결과

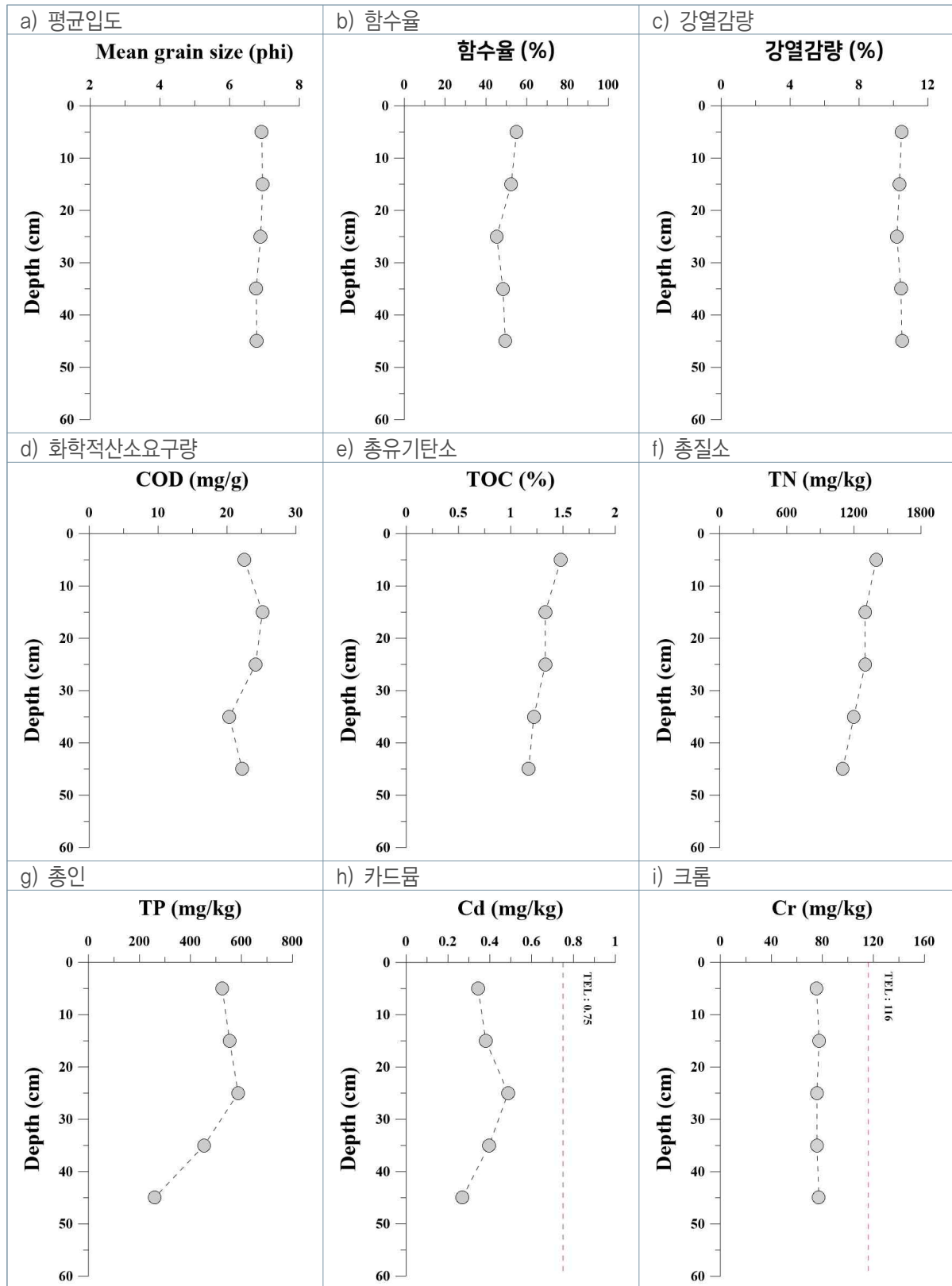
정점	깊이 (cm)	함수율	강열감량	COD	TOC	TN	TP
		(%)		mg/g	(%)	(mg/kg)	
C20-1	~10	55.0	10.5	22.5	1.48	1,400	525.1
	~20	52.4	10.3	25.1	1.33	1,300	553.6
	~30	45.3	10.2	24.1	1.33	1,300	587.3
	~40	48.3	10.4	20.4	1.22	1,200	453.9
	~50	49.5	10.5	22.2	1.17	1,100	259.4
C20-2	~10	59.1	9.5	24.4	1.46	1,600	569.8
	~20	55.0	9.0	25.8	1.24	1,300	418.5
	~30	50.9	7.7	18.0	0.99	900	359.6
	~40	57.2	8.5	21.3	1.08	1,000	402.7
	~50	55.8	8.5	18.8	0.99	800	305.9
C20-3	~10	52.8	8.6	22.0	1.25	1,300	372.0
	~20	50.0	7.8	19.4	1.10	900	282.3
	~30	54.5	9.6	19.9	1.09	900	338.7
	~40	52.6	9.2	21.1	1.09	900	299.3
C20-4	~10	57.7	9.2	20.1	1.39	1,100	330.3
	~20	54.5	8.7	20.2	1.25	1,100	291.4
	~30	49.0	7.6	18.4	0.95	800	261.6
	~40	52.7	8.4	21.0	1.18	1,000	273.8
	~50	53.5	9.2	19.6	1.17	900	257.6
	~60	54.1	9.2	22.1	1.12	1,000	311.0
C20-5	~10	56.7	9.2	17.7	1.24	1,100	284.1
	~20	50.2	8.1	17.7	1.09	900	299.9
	~30	48.1	8.5	18.3	1.10	900	304.4
	~40	44.0	7.9	15.7	1.00	800	272.8
C20-6	~10	59.3	10.0	21.9	1.53	1,200	327.4
	~20	54.6	9.3	20.5	1.31	1,100	284.0
	~30	60.1	10.4	20.9	1.42	1,100	273.1
	~40	49.9	9.0	17.3	1.20	700	301.1
	~50	44.7	6.6	9.6	0.75	400	283.1
	~60	27.4	4.9	4.8	0.50	N/D	305.0

〈표 5.2-3〉 주상 퇴적물 중금속 분석 결과

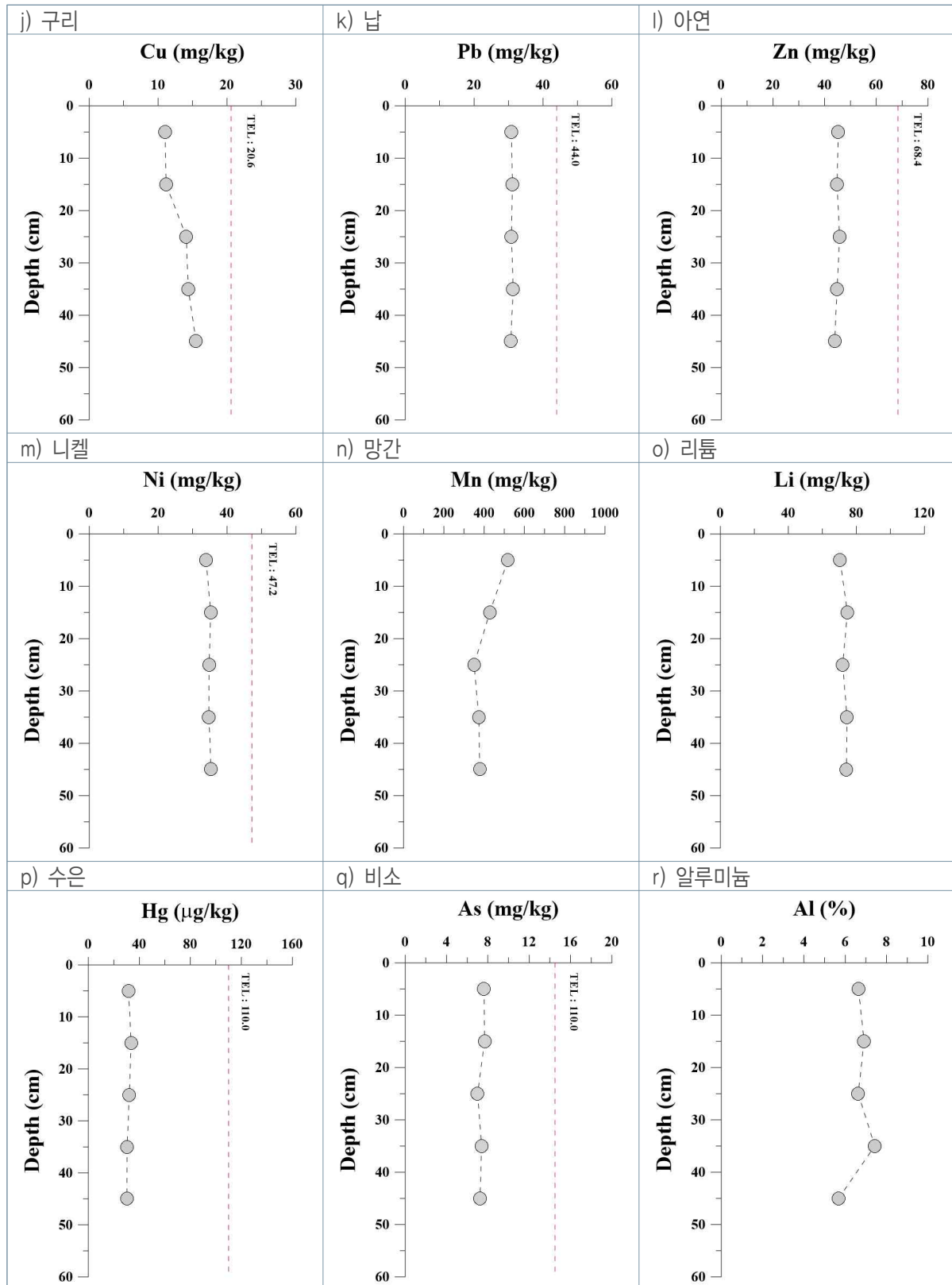
주요기준	깊이 (cm)	0.75	116.0	—	20.6	44.0	—	68.4	47.2
		Cd	Cr	Cu	Cu-Li	Pb	Zn	Zn-Li	Ni
정점		(mg/g)							
C20-1	~10	0.34	75.6	32.8	11.0	30.9	92.0	45.3	33.9
	~20	0.38	77.3	35.9	11.2	31.1	95.3	44.8	35.3
	~30	0.49	75.8	46.7	14.1	30.9	96.1	45.8	34.8
	~40	0.40	75.8	50.1	14.4	31.3	95.0	44.8	34.7
	~50	0.27	77.2	54.9	15.5	30.6	90.3	43.9	35.4
C20-2	~10	0.28	75.9	36.9	11.8	30.9	92.7	45.0	34.3
	~20	0.29	78.9	32.2	10.7	31.2	93.0	45.2	34.8
	~30	0.26	71.3	30.2	11.7	27.5	79.6	44.8	29.9
	~40	0.29	73.5	40.8	13.1	30.3	87.8	44.4	33.1
	~50	0.23	75.1	32.9	10.8	30.5	84.3	43.0	33.5
C20-3	~10	0.24	86.2	27.8	8.7	32.1	96.8	43.3	37.3
	~20	0.23	77.5	23.6	8.8	25.9	81.5	42.7	32.1
	~30	0.29	86.6	29.6	9.3	31.1	92.9	43.1	36.2
	~40	0.25	84.9	31.6	9.3	33.4	92.6	42.3	36.7
C20-4	~10	0.21	81.4	23.1	8.4	29.2	88.4	43.5	34.1
	~20	0.22	83.3	26.1	8.7	29.8	91.7	43.2	35.5
	~30	0.20	80.7	21.4	8.1	29.5	85.6	43.2	33.0
	~40	0.26	86.0	25.4	8.3	30.9	93.8	42.9	36.3
	~50	0.22	84.9	26.8	8.5	30.7	91.7	42.2	36.5
	~60	0.20	88.2	26.0	8.1	31.8	95.2	42.2	37.3
C20-5	~10	0.19	76.8	21.2	8.4	27.9	84.3	43.8	31.8
	~20	0.21	74.7	21.6	8.1	29.1	85.9	43.2	32.6
	~30	0.21	75.7	21.7	8.3	29.2	84.6	43.4	31.8
	~40	0.19	76.0	21.5	8.3	28.6	81.8	42.9	31.5
C20-6	~10	0.23	82.5	24.0	8.4	31.2	94.6	44.3	35.0
	~20	0.22	78.6	22.6	8.4	30.5	90.0	44.3	34.1
	~30	0.24	86.1	26.4	8.3	33.4	100.6	43.7	37.3
	~40	0.18	79.6	22.3	7.8	29.9	86.9	42.0	33.6
	~50	0.10	71.3	17.1	7.7	25.1	72.5	42.0	29.2
	~60	0.09	59.2	12.2	8.9	24.9	52.9	43.9	20.6

〈표 5.2-3〉 주상 퇴적물 중금속 분석 결과(계속)

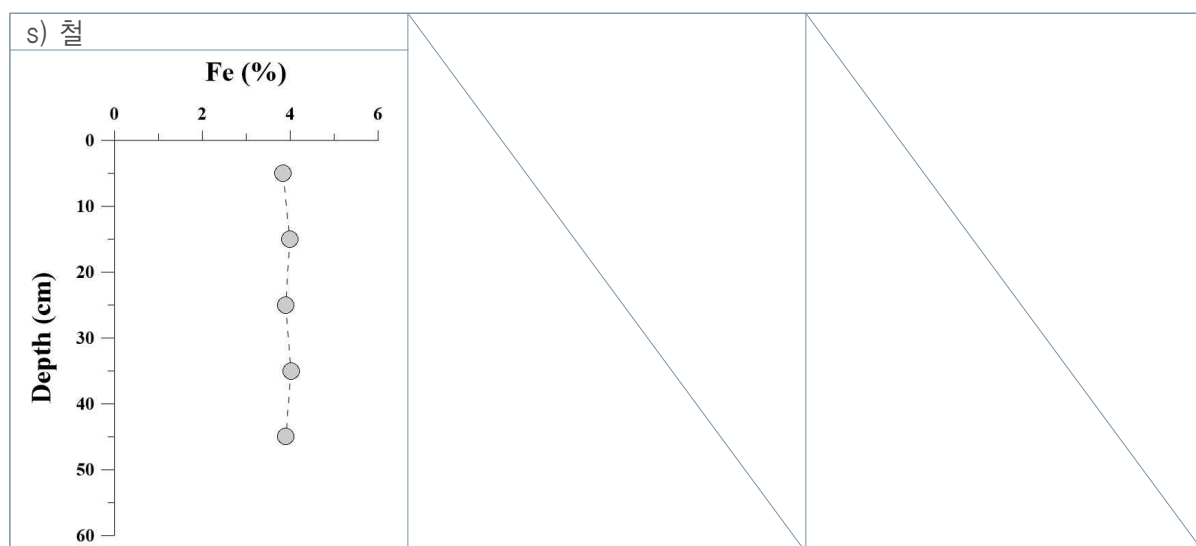
주요기준	깊이 (cm)	-	-	-	14.5	110.0	-	-
		Co	Mn	Li	As	Hg	Al	Fe
정점		(mg/g)				(μg/kg)	(%)	
C20-1	~10	13.4	517.6	70.4	7.6	31.6	3.8	6.6
	~20	13.7	427.4	74.7	7.7	33.6	4.0	6.9
	~30	13.4	349.8	72.0	7.0	32.1	3.9	6.6
	~40	13.6	373.0	74.5	7.4	30.5	4.0	7.4
	~50	13.8	378.1	74.2	7.2	30.2	3.9	5.7
C20-2	~10	13.6	418.4	72.1	7.2	29.8	3.8	5.9
	~20	13.9	431.1	71.5	8.1	30.1	4.0	7.0
	~30	12.0	326.2	61.9	7.1	25.6	3.5	5.3
	~40	13.2	348.8	69.9	8.2	29.3	3.7	6.2
	~50	13.3	383.6	72.2	9.0	29.6	3.8	6.2
C20-3	~10	15.1	553.3	82.6	8.4	31.2	3.9	6.9
	~20	13.2	494.6	70.5	7.6	26.7	3.3	5.1
	~30	14.5	488.0	79.9	8.5	30.1	3.7	5.1
	~40	14.8	428.3	83.5	9.3	32.2	3.8	5.5
C20-4	~10	14.1	620.2	73.8	8.0	29.9	3.5	4.9
	~20	14.5	675.0	78.3	8.5	29.5	3.7	5.3
	~30	13.9	608.1	72.4	8.3	24.7	3.4	4.5
	~40	15.0	575.0	81.3	8.8	29.7	3.6	4.5
	~50	14.9	504.0	83.0	9.1	31.5	3.8	5.2
	~60	15.0	507.8	86.8	9.5	32.7	4.1	6.7
C20-5	~10	13.1	641.8	68.9	7.3	31.2	3.4	4.5
	~20	13.8	632.0	72.6	8.0	31.2	3.6	5.1
	~30	13.3	581.2	70.9	8.3	31.9	3.5	5.1
	~40	13.4	513.9	70.0	9.0	31.3	3.3	4.5
C20-6	~10	14.5	717.7	76.1	9.2	49.6	3.7	6.8
	~20	14.1	600.7	72.2	8.5	34.8	3.4	5.8
	~30	15.3	739.0	83.8	9.3	35.6	3.6	6.5
	~40	14.3	536.8	79.3	9.9	32.7	3.3	5.9
	~50	13.0	445.8	64.4	8.2	21.4	2.9	4.9
	~60	9.2	327.2	41.0	6.6	43.6	2.4	3.1



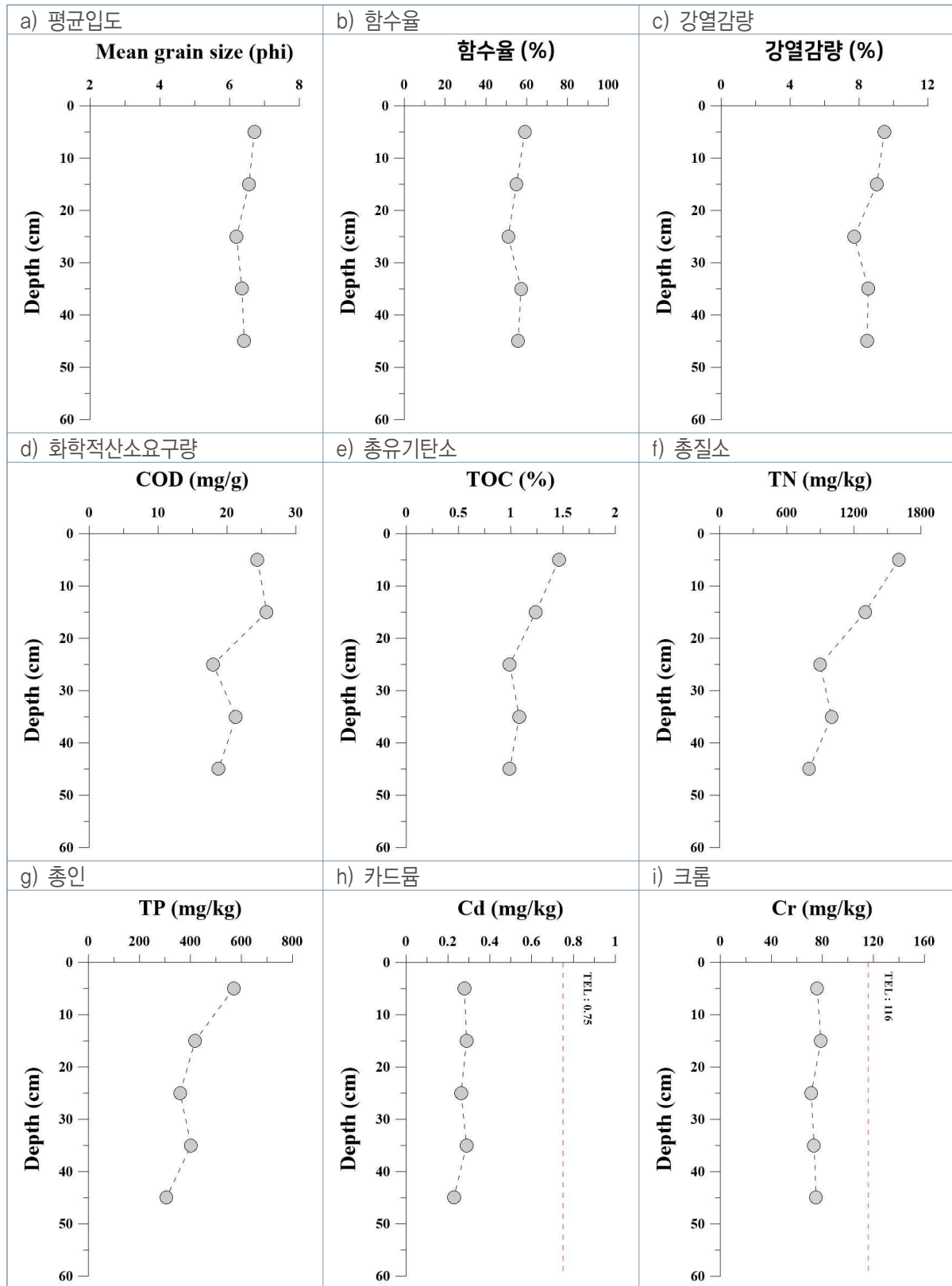
<그림 5.2-2> 정점 C20-1 주상퇴적물의 수직분포



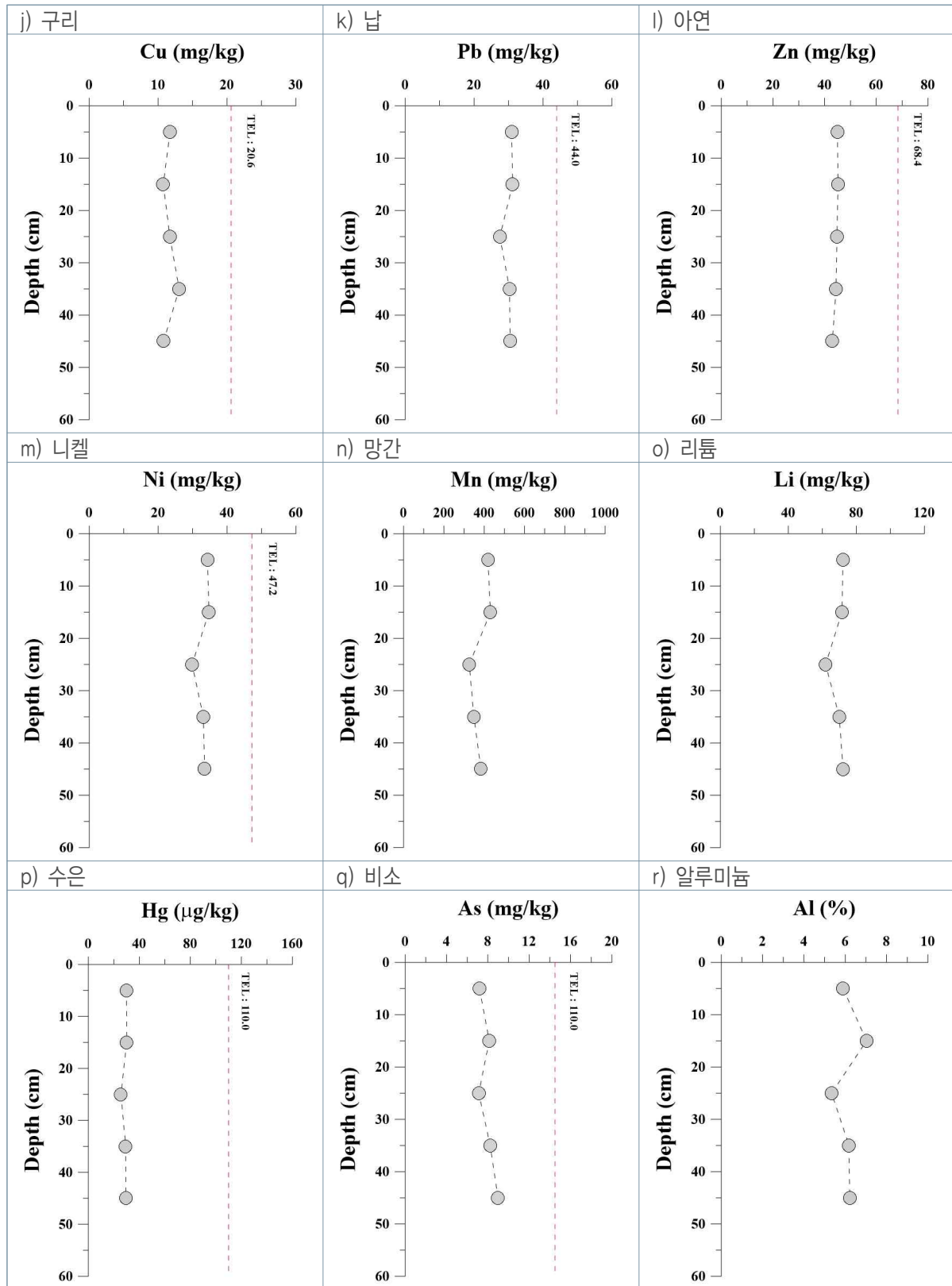
<그림 5.2-2> 정점 C20-1 주상퇴적물의 수직분포(계속)



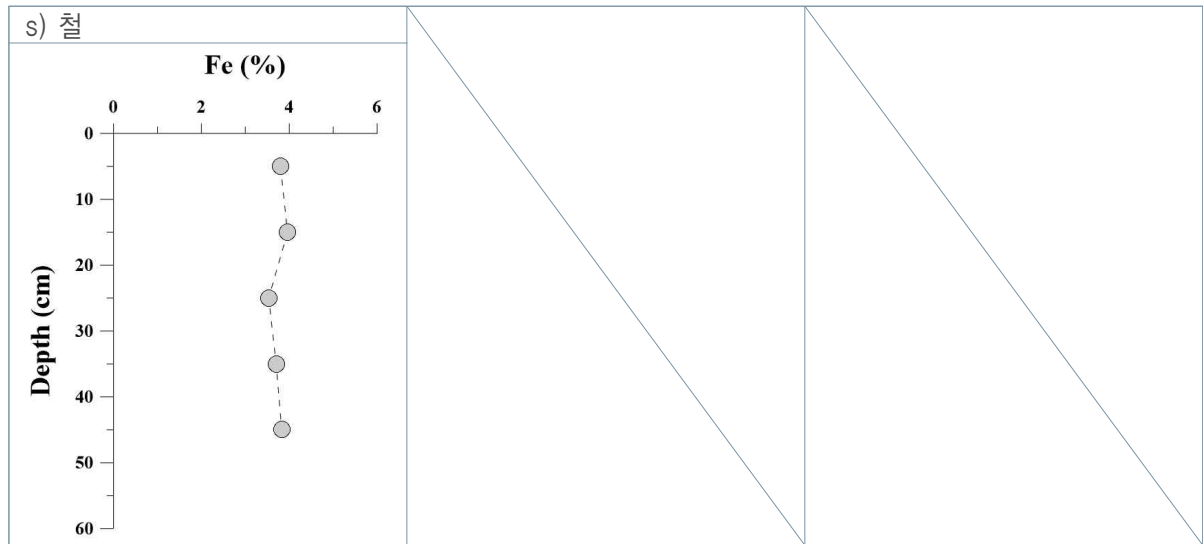
<그림 5.2-2> 정점 C20-1 주상퇴적물의 수직분포(계속)



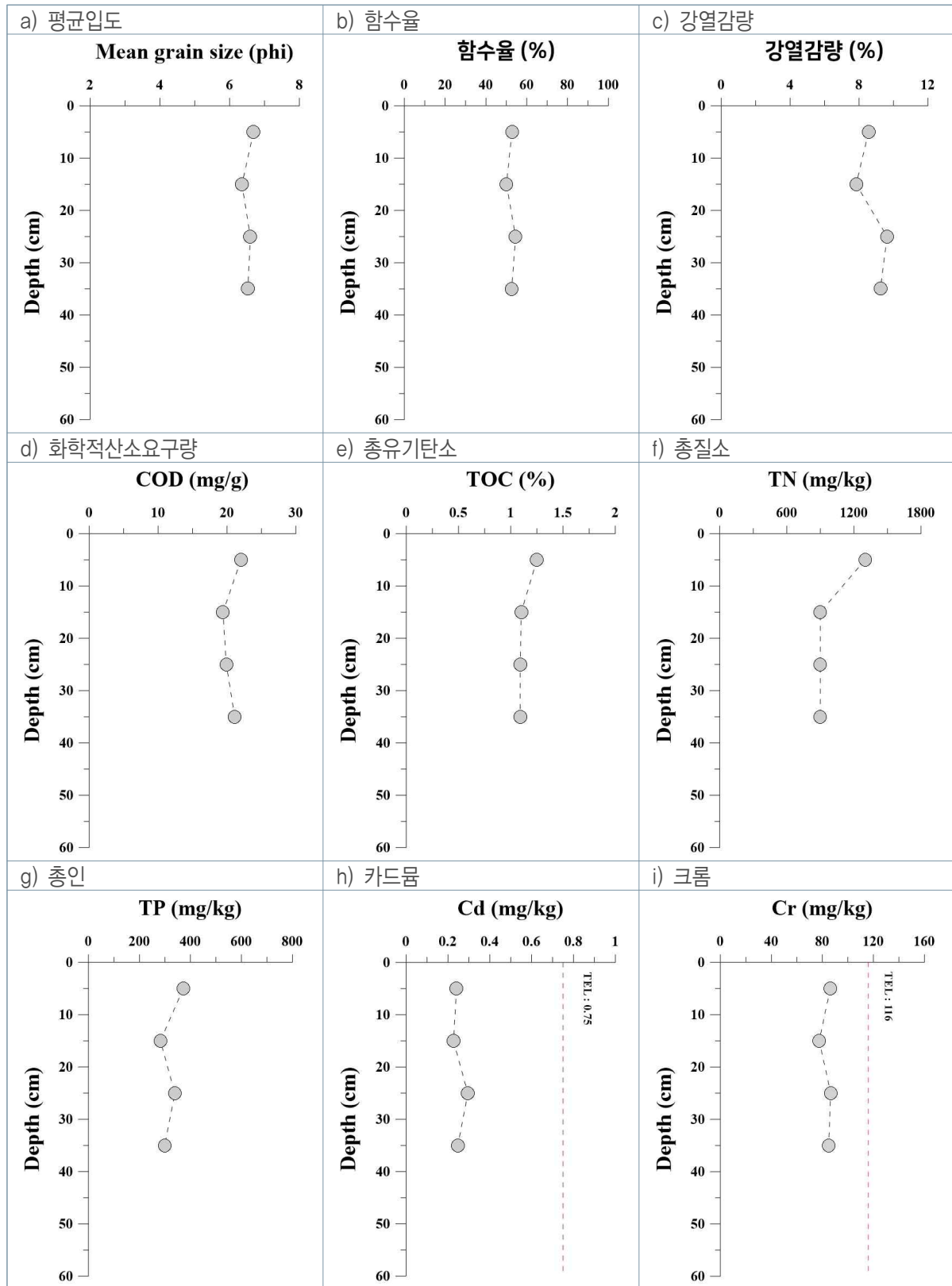
〈그림 5.2-3〉 정점 C20-2 주상퇴적물의 수직분포



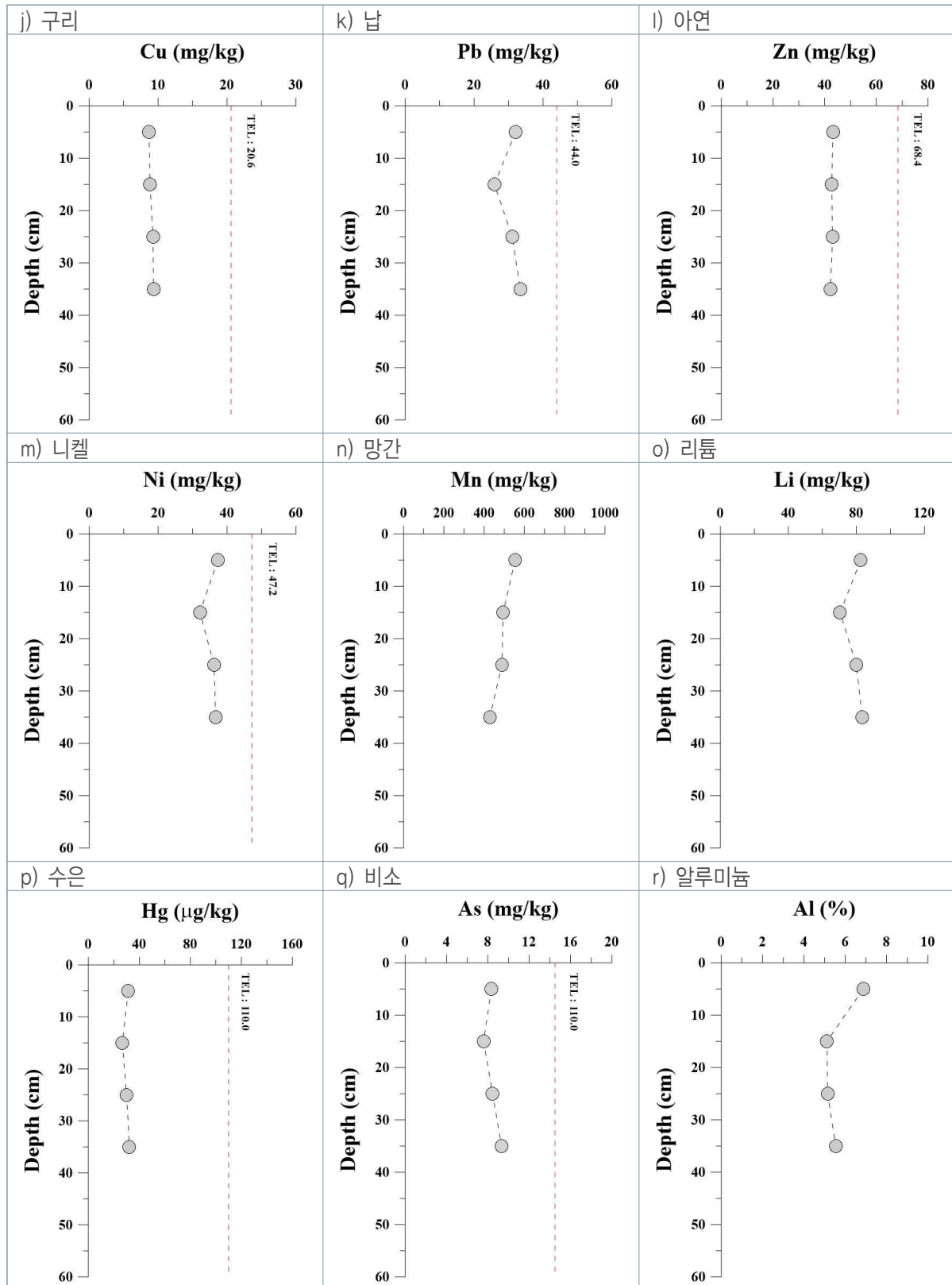
<그림 5.2-3> 정점 C20-2 주상퇴적물의 수직분포(계속)



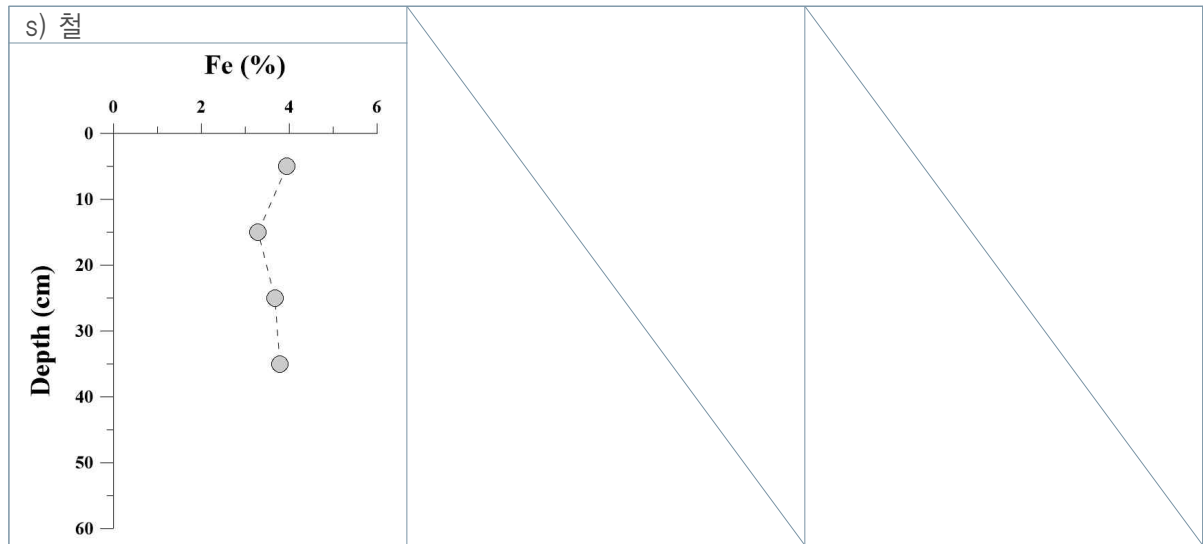
〈그림 5.2-3〉 정점 C20-2 주상퇴적물의 수직분포(계속)



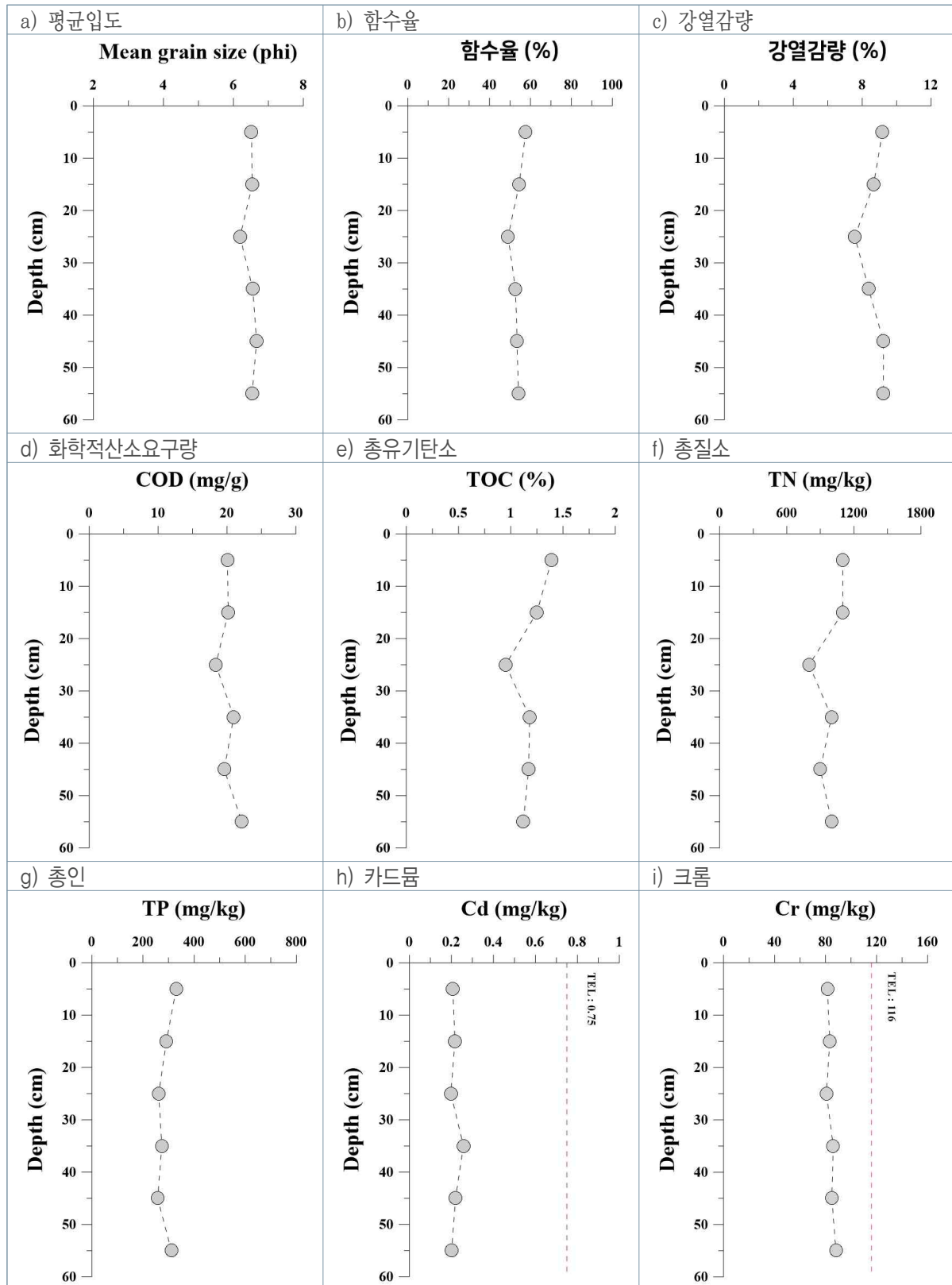
<그림 5.2-4> 정점 C20-3 주상퇴적물의 수직분포



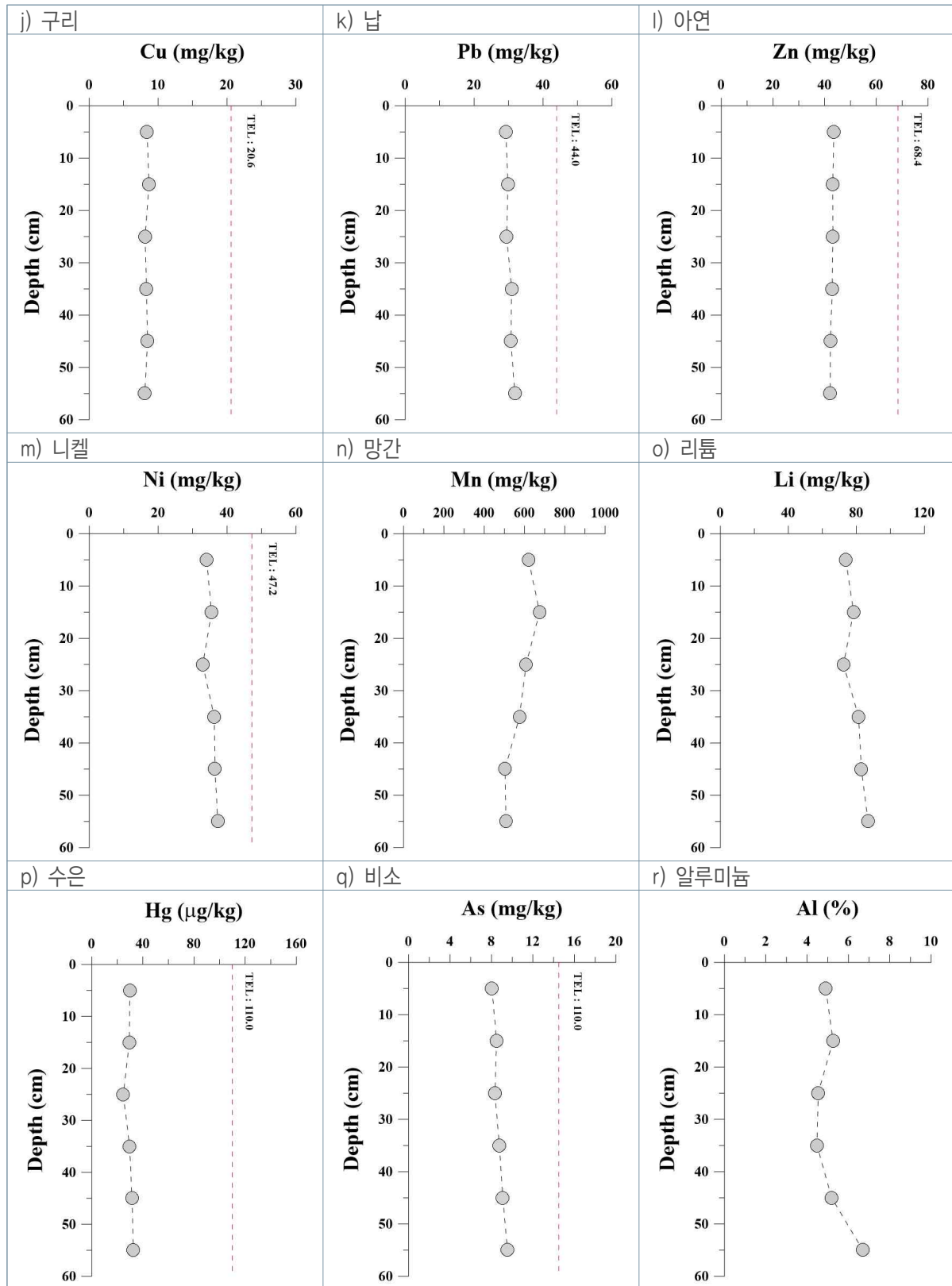
<그림 5.2-4> 정점 C20-3 주상퇴적물의 수직분포(계속)



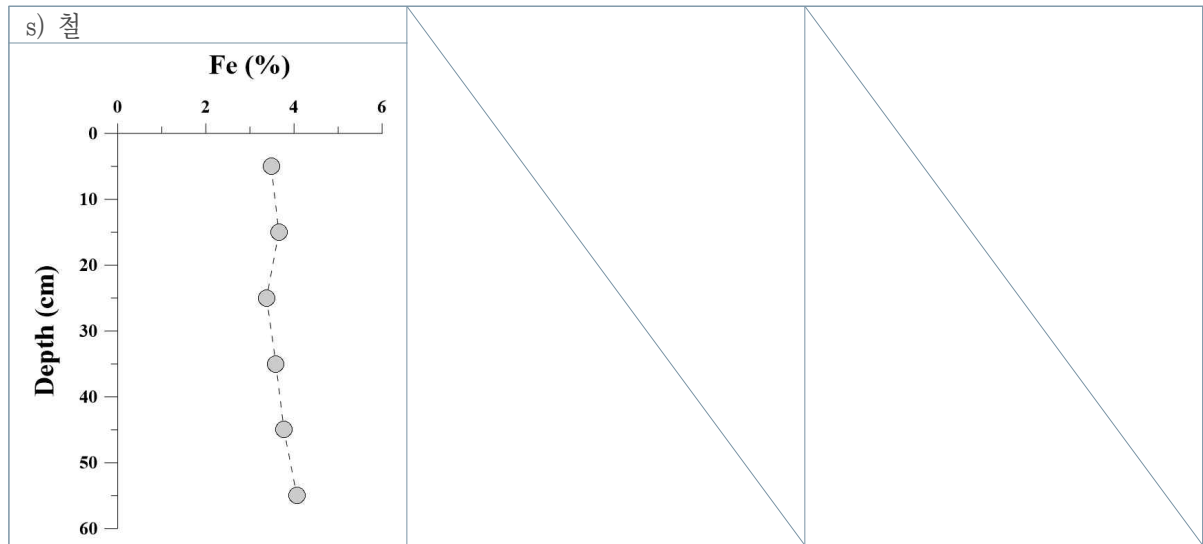
〈그림 5.2-4〉 정점 C20-3 주상퇴적물의 수직분포(계속)



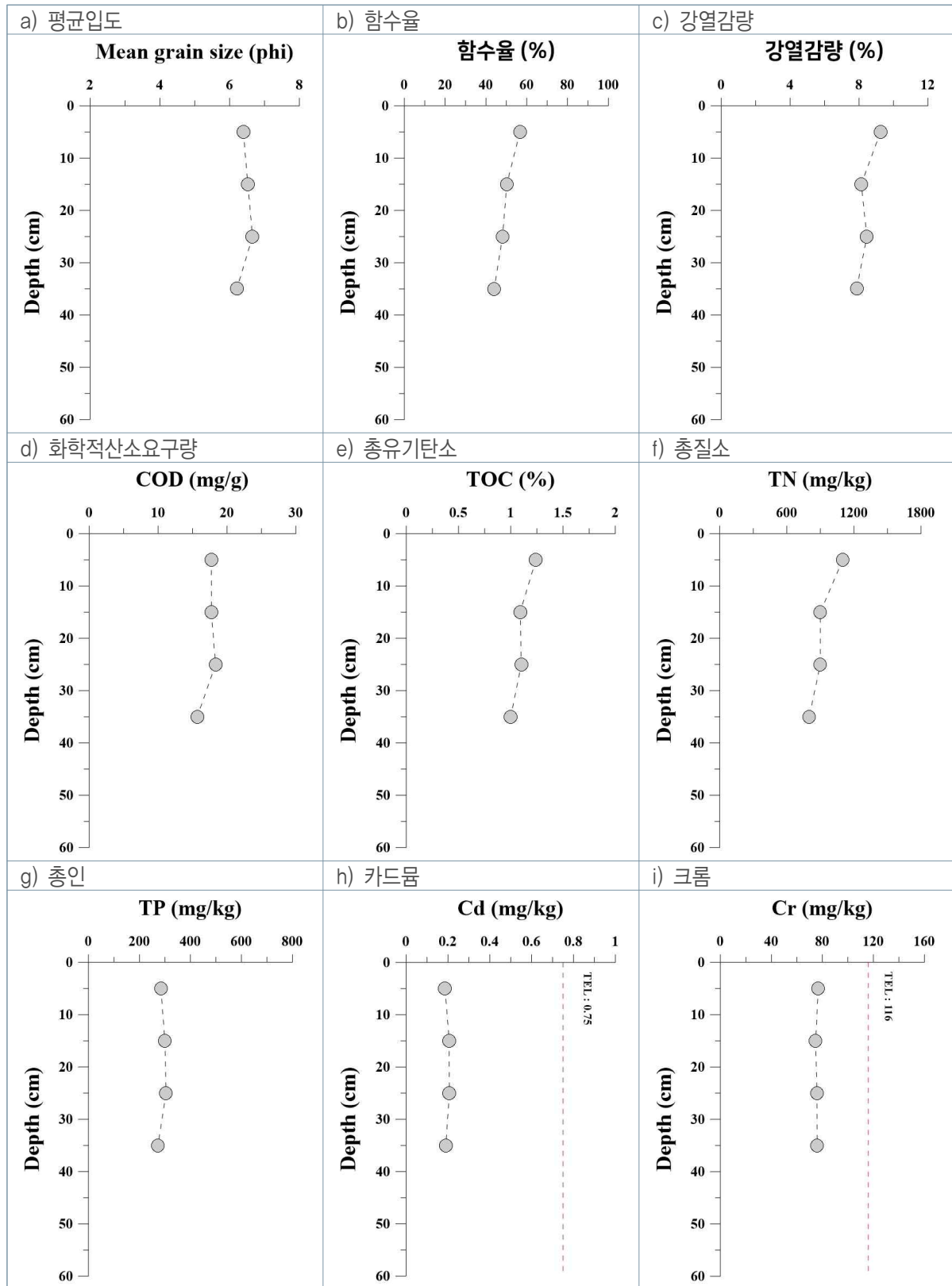
〈그림 5.2-5〉 정점 C20-4 주상퇴적물의 수직분포



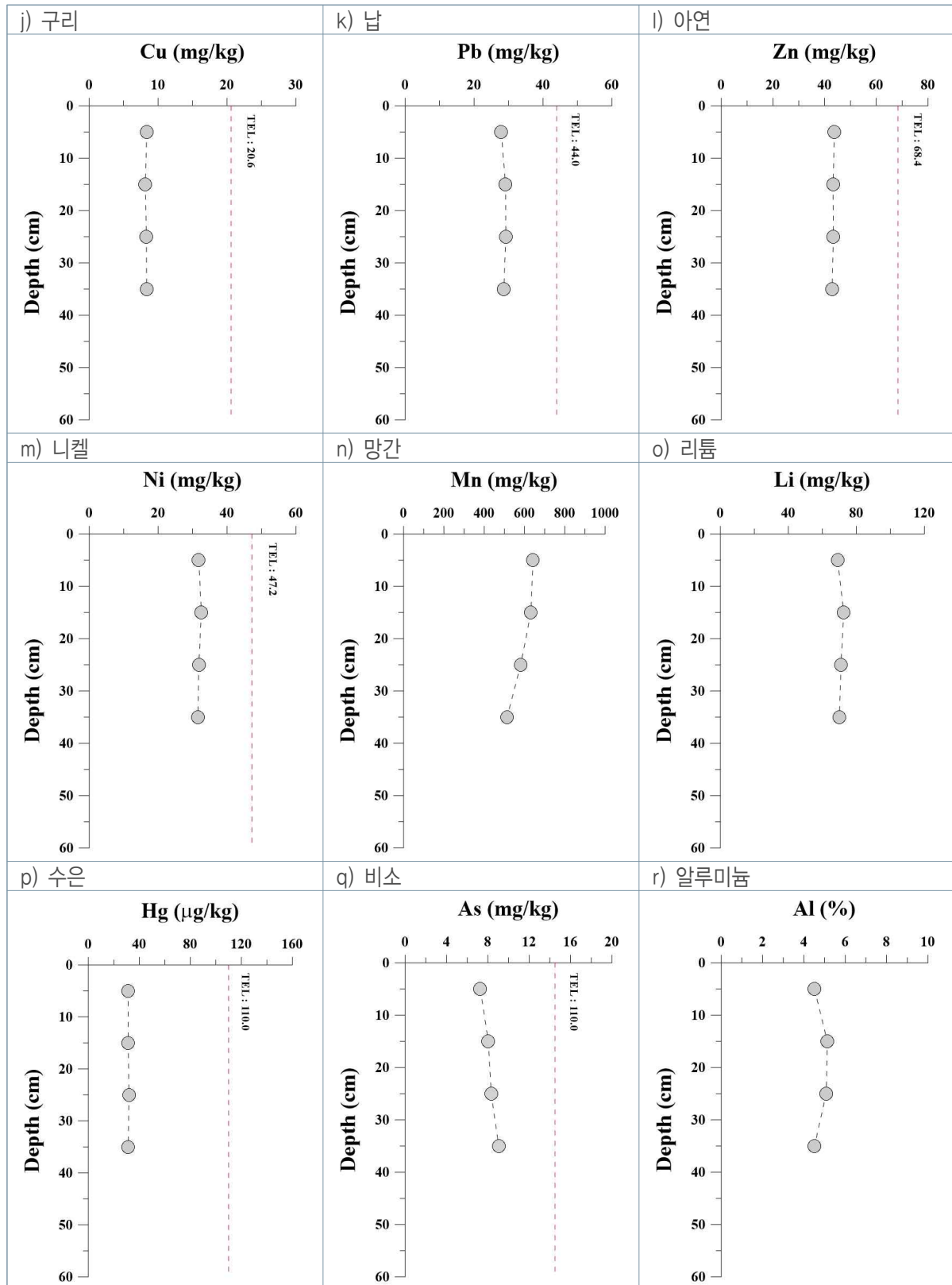
<그림 5.2-5> 정점 C20-4 주상퇴적물의 수직분포(계속)



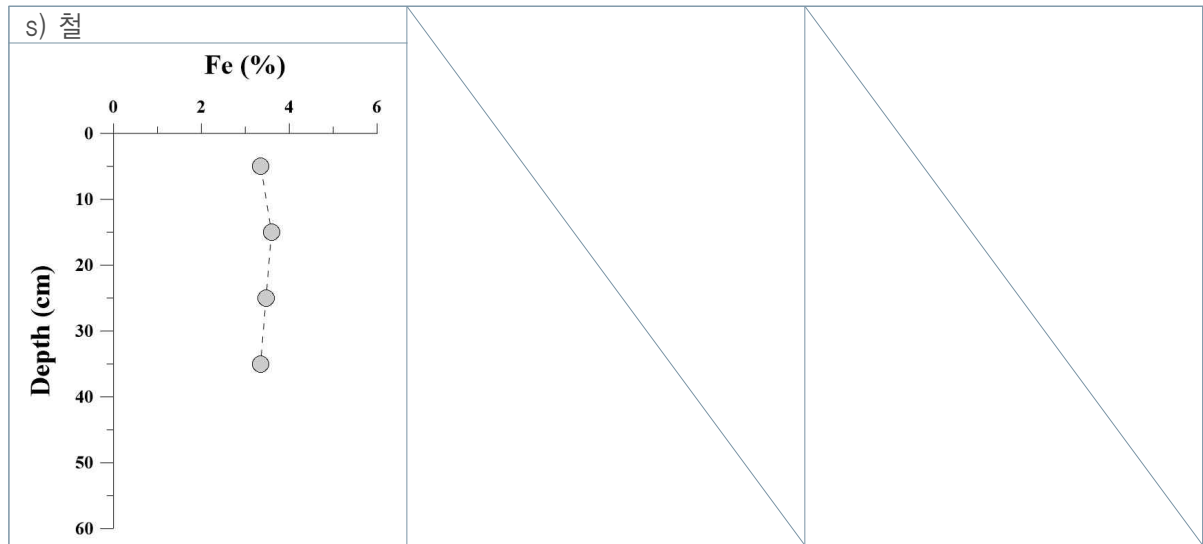
<그림 5.2-5> 정점 C20-4 주상퇴적물의 수직분포(계속)



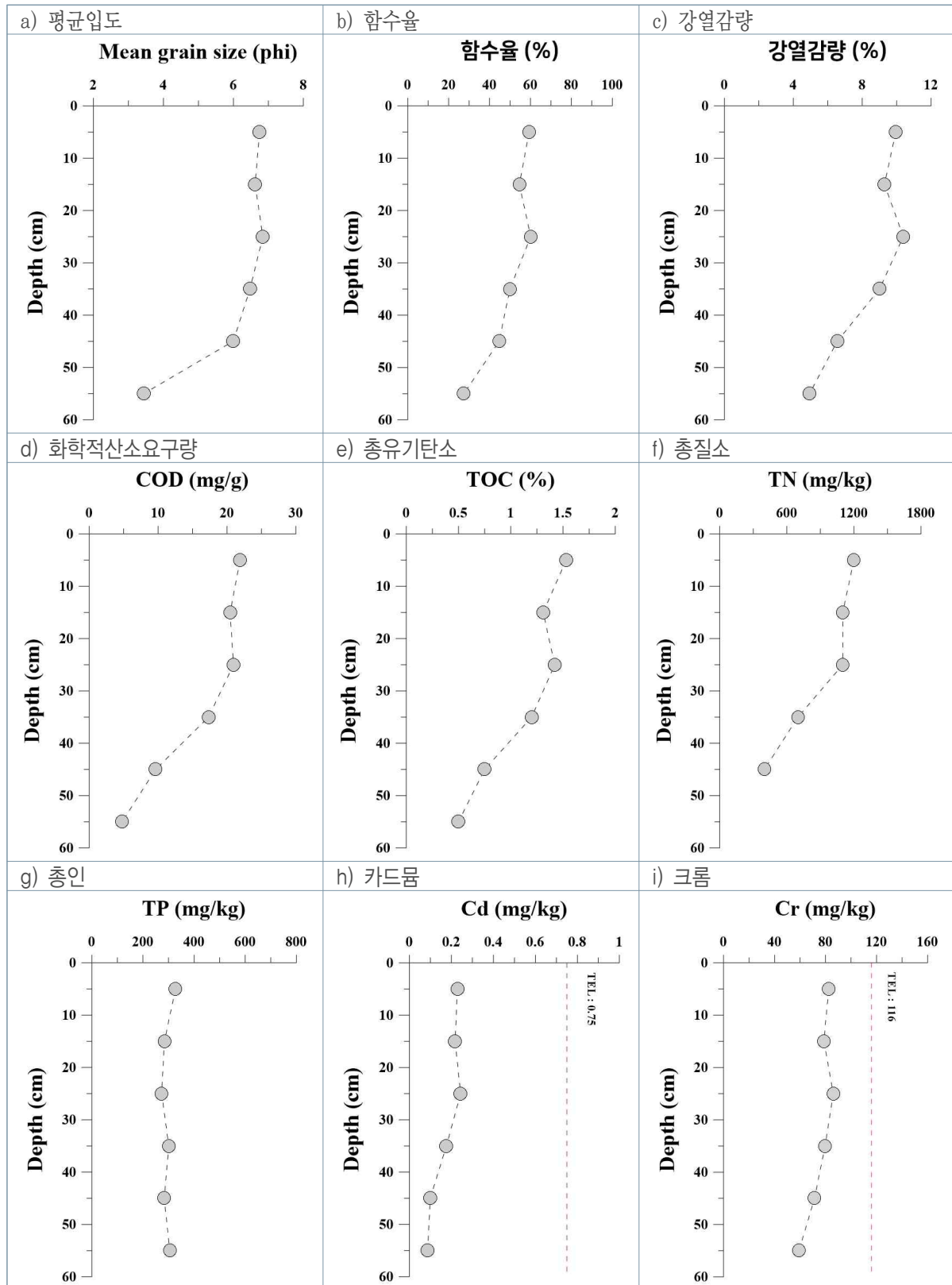
<그림 5.2-6> 정점 C20-5 주상퇴적물의 수직분포



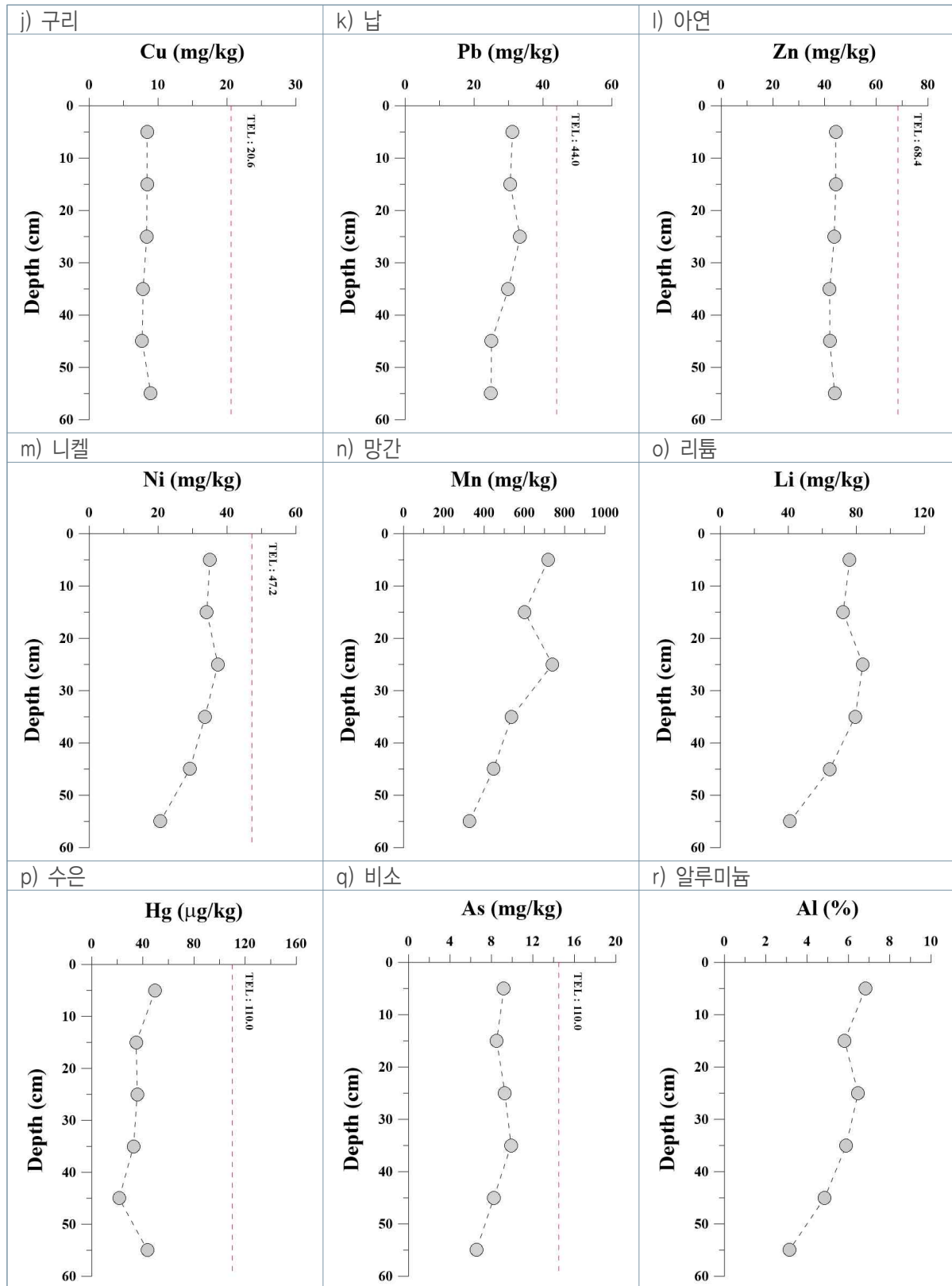
<그림 5.2-6> 정점 C20-5 주상퇴적물의 수직분포(계속)



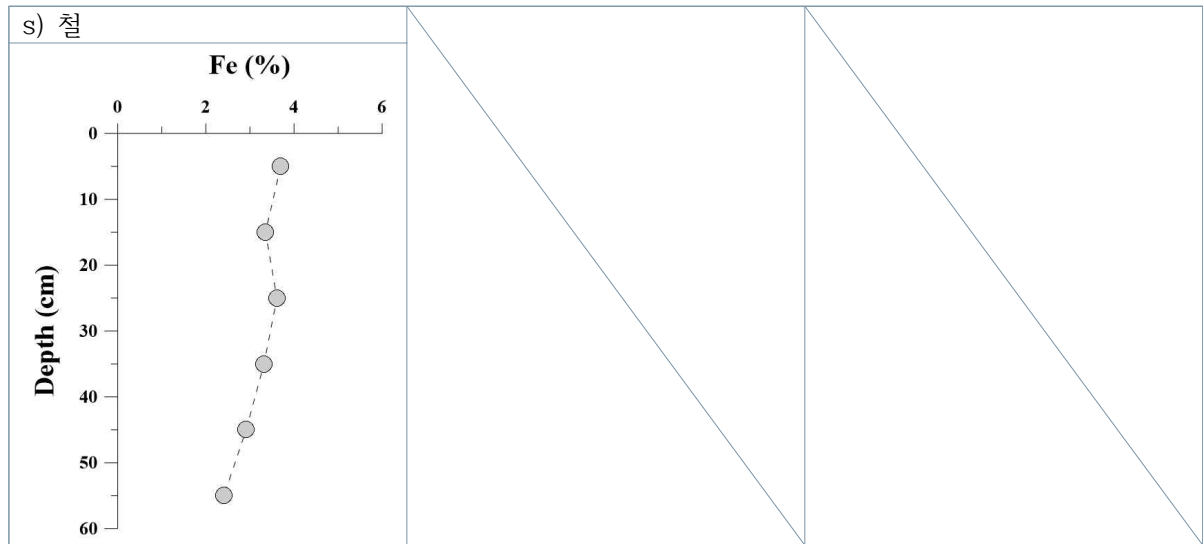
<그림 5.2-6> 정점 C20-5 주상퇴적물의 수직분포(계속)



〈그림 5.2-7〉 정점 C20-6 주상퇴적물의 수직분포



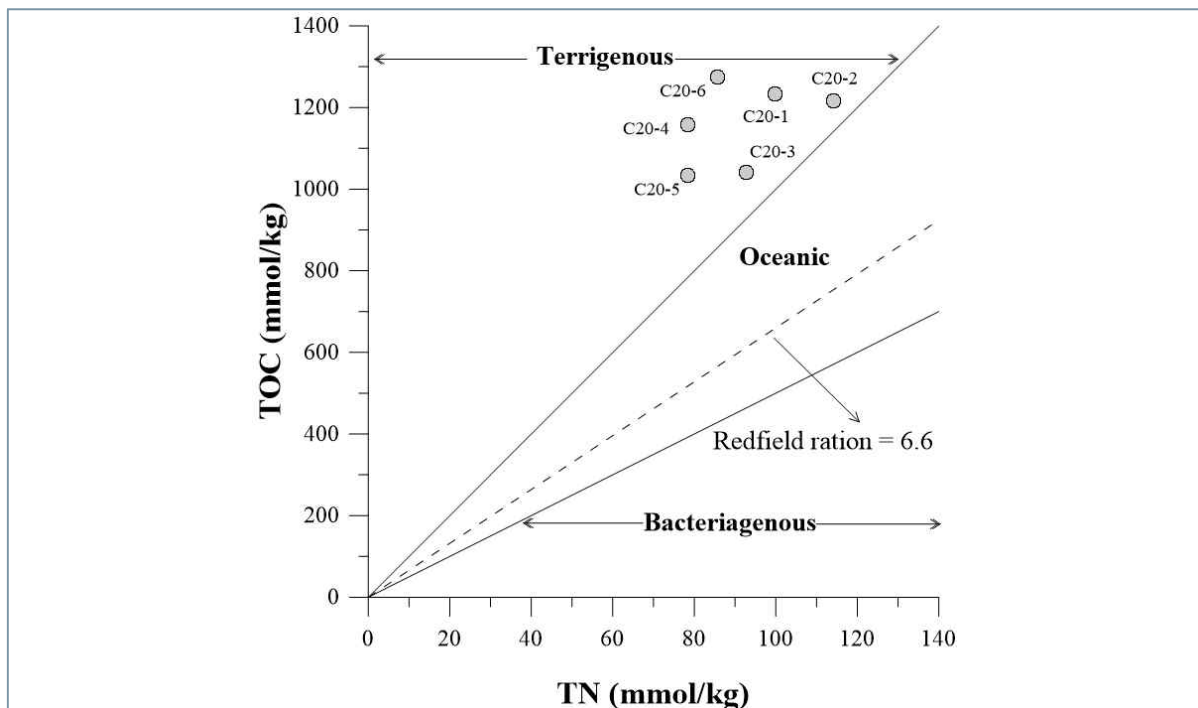
<그림 5.2-7> 정점 C20-6 주상퇴적물의 수직분포(계속)



<그림 5.2-7> 정점 C20-6 주상퇴적물의 수직분포(계속)

5.2.3. C/N비

- 퇴적물 내 유기물 기원을 파악하기 위해 총유기탄소(TOC)와 총질소(TN)간의 비율인 C/N ratio를 활용했다.
- C/N비가 10 이상인 경우, 퇴적물 내 유기물이 육상에서 기원한 것으로 판단하고, 반대로 해양에서 기원한 경우 C/N비가 10 이하를 나타낸다(Muller, 1977).
- 부남호 전면부 퇴적물 내 유기물 기원을 파악하기 위해 각 정점에서 채취한 주상퇴적물의 0~10cm(표층) 구간에 대한 C/N비를 분석했다.
- 모든 조사정점의 시료(0~10cm 구간)에서 C/N비가 10 이상으로 나타났고, 부남호 수문에 가까운 구간(C20-1~3)보다 부남호와 간월호 사이(C20-4~6)에서 더 높은 수치를 보였다.
- 천수만의 해수는 입구로 들어와서 반시계방향으로 움직여 입구(출구)로 다시 빠져나가고, 일부는 천수만 내측의 백사수도를 통해 외해로 나가는데, 이 때 호소에서 담수가 방류되면 해수와 동일한 거동을 보인다.
- 방류는 낙조 시(썰물)에 진행하지만, 낙조 시간 동안에 부남호와 간월호에서 방류되는 담수는 천수만을 빠져나가지 못하고, 천수만 내측에 정체된다(충청남도 2017).
- 이로 인해 외해로 나가지 못한 담수들이 부남호와 간월호 사이 해저로 침전되어 퇴적물의 유기물 농도를 증가시키고, 퇴적물 내 유기물은 육상에서 기원한 것으로 판단된다.

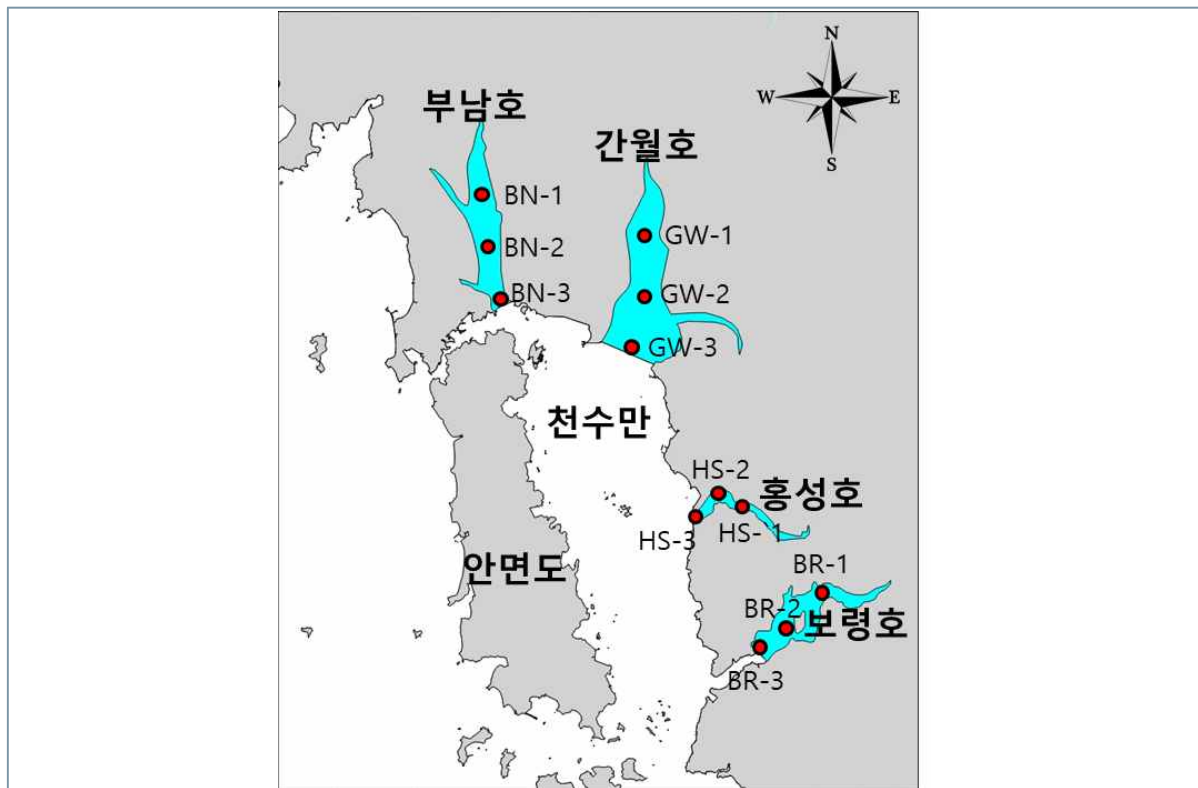


〈그림 5.2-8〉 주상퇴적물 C/N비(0~10cm 구간)

5.3. 특별조사Ⅱ - 호소

5.3.1. 조사 개요

- 특별조사Ⅱ는 천수만 내 4개 호소(부남호, 간월호, 홍성호, 보령호)의 수질과 퇴적환경의 오염도를 파악을 위해 각 호소의 상·중·하단 1개 정점에서 수질(표층, 저층)과 퇴적물 시료를 채취했다.
- 채취 장비는 4.1.6절과 같이 니스킨 채수기와 van veen 채니기를 사용했다.
- 조사에는 레저보트를 대여해서 활용하였으며, 내부로 진입하기 위해 각 호소 관리 주체인 현대서산농장(부남호), 한국농어촌공사(간월호, 홍성호, 보령호)의 협조를 받았다.
- 천수만 4개 호소 조사는 '17년과 '18년 용역에서 이미 수행한 적이 있으며, '20년 조사를 통해 그간 수질과 퇴적환경의 변화를 분석했다.
 - 환경부에서 운영 중인 호소측정망 자료와 호소 관리 주체 기관의 조사자료와도 비교 분석했다.
- 또한 '20년에는 역대 최장기간 장마(중부지방 54일)로 인해 각 호소는 평년에 비해 많은 양의 담수를 방류했고, 그로 인한 영향이 존재할 것으로 판단하여 약 5년간 방류량과 수질의 상관성을 분석했다.



〈그림 5.3-1〉 특별조사Ⅱ 조사정점도

5.3.2. 호소 수질

- 천수만 4개 호소의 수질분석 결과를 <표 5.3-1>~<표 5.3-3>, <그림 5.3-2>~<그림 5.3-21>에 제시했다.

가. 수온 및 염분

- 수온은 간월호 21.7~23.9℃(평균 22.8℃), 홍성호 22.0~24.3℃(평균 23.2℃), 보령호 20.4~24.3℃(평균 22.6℃)의 범위를 보였다.
- 각 호소 및 정점간 수온 차이는 작았고, 수층간 유사한 분포를 보였다. 보령호에서 정점 BR2의 저층에서 상대적으로 낮은 수온을 보였다.

나. 수소이온농도(pH)

- 수소이온농도는 간월호 2.2~5.1(평균 4.3), 홍성호 2.9~5.0(평균 4.2), 보령호 0.3~21.4(평균 3.9)의 범위를 보였다. 보령호의 정점 BR2의 저층에서 상대적으로 낮은 농도를 보였다.
- 천수만 내측 호소에서 수소이온농도, 용존산소, 클로로필-a는 서로 밀접한 상관성을 보이는 것으로 조사되었으며, 식물플랑크톤의 광합성에 의해 수층의 용존산소가 증가하며, 수소이온농도의 변화에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

다. 용존산소(DO)

- 용존산소는 간월호 6.8~7.0mg/L(평균 6.9mg/L), 홍성호 7.1~7.7mg/L(평균 7.4mg/L), 보령호 7.2~8.7mg/L(평균 7.9mg/L)의 범위를 보였다.
- 간월호에서 상대적으로 낮은 용존산소를 보였으며, 용존산소 포화도는 각각 81%, 87%, 94%로 조사되었다.

라. 부유입자물질(SPM)

- 부유입자물질은 부남호 11.5~22.3mg/L(평균 20.1mg/L), 간월호 13.7~84.9mg/L(평균 52.0mg/L), 홍성호 19.3~47.5mg/L(평균 26.2mg/L), 보령호 17.1~31.7mg/L(평균 24.6mg/L)의 범위를 보였다.
- 간월호에서 상대적으로 높은 평균값을 보였고, 부남호 정점 BN1과 간월호 정점 GW3 제외하고는 표층보다 저층에서 높은 농도의 경향을 보였다.

마. 화학적산소요구량(COD)

- 화학적산소요구량은 부남호 8.3~38.5mg/L(평균 15.7mg/L), 간월호 7.0~9.1mg/L(평균 7.9mg/L), 홍성호 7.7~9.5mg/L(평균 8.5mg/L), 보령호 8.3~48.9mg/L(평균 16.7mg/L)의 범위를 보였다.
- 간월호와 홍성호에서는 정점 및 수층간 농도 차이가 작았고, 부남호의 정점 BN3의 표층과 보령호의 정점 BR2의 저층에서 높은 농도를 보였다.

바. 총유기탄소(TOC)

- 총유기탄소는 부남호 3.9~10.8mg/L(평균 6.1mg/L), 간월호 3.0~4.0mg/L(평균 3.4mg/L), 홍성호 4.0~5.0mg/L(평균 4.5mg/L), 보령호 3.4~4.7mg/L(평균 4.0mg/L)의 범위를 보였다.
- 전반적으로 저층보다 표층에서 높은 농도를 보였고, 부남호에서 상대적으로 높은 평균값을 나타냈다. 표층의 경우 부남호는 상류에서 방조제로 갈수록 증가하는 경향을 보였고, 그 외 호소에서는 표층과 저층이 유사한 분포를 나타냈다.

사. 클로로필-a(Chl-a)

- 클로로필-a는 부남호 18.1~112.8 μ g/L(평균 49.9 μ g/L), 간월호 6.8~15.2 μ g/L(평균 11.2 μ g/L), 홍성호 7.9~17.8 μ g/L(평균 12.0 μ g/L), 보령호 2.8~58.4 μ g/L(평균 25.4 μ g/L)의 범위를 보였다.
- 보령호 BR2 저층에서 최소값을 보였고, 부남호 정점 BN3의 표층에서 최대값을 보였다. 그 외 간월호와 홍성호에서는 유사한 분포를 나타냈다.

아. 총질소(TN)

- 총질소는 부남호 1,422.6~18,464.1 μ g/L(평균 5415.8 μ g/L), 간월호 1,743.6~2,603.6 μ g/L(평균 2,099.3 μ g/L), 홍성호 3,426.8~4,330.9 μ g/L(평균 3787.1 μ g/L), 보령호 2,376.6~7,088.0 μ g/L(평균 3,588.0 μ g/L)의 범위를 보였다.
- 간월호에서 가장 낮고, 부남호에서 상대적으로 높은 평균값을 보였다. 이는 부남호의 정점 BN3의 저층에서 최대값을 나타내어 평균값에 영향을 주었다. 보령호의 정점 BR2의 저층을 제외하면 수층간 유사한 분포를 보였다.
- 부남호, 간월호, 홍성호, 보령호에서 총질소 중 용존무기질소가 차지하는 비율은 각각 61%, 78%, 85%, 77%로 총질소의 구성 중 용존무기질소의 비율이 가장 많이 존재하는 것으로 조사되었다.

자. 총인(TP)

- 총인은 부남호 163.8~3,500.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 868.9 $\mu\text{g/L}$), 간월호 168.3~320.7 $\mu\text{g/L}$ (평균 217.3 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 326.0~1,622.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 548.3 $\mu\text{g/L}$), 보령호 229.6~2,253.4 $\mu\text{g/L}$ (평균 584.1 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 부남호에서 높고 간월호에서 상대적으로 낮은 평균값을 보였다. 부남호의 경우 정점 BN3의 저층에서 최대값을 보여 수직적인 농도 차이가 크게 나타났다.
- 표층의 농도 분포를 살펴보면, 간월호와 홍성호는 상류에서 방조제로 갈수록 감소하였고, 홍성호는 상류 정점에서 높게 나타났다.
- 부남호 정점 BN3와 보령호 정점 BR2 저층에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.
- 부남호, 간월호, 홍성호, 보령호에서 총인 중 용존무기인이 차지하는 비율은 각각 65%, 84%, 75%, 84%로 모든 호소는 총인의 구성 중 용존무기인이 차지하는 비율이 상대적으로 큰 것으로 조사되었다.

차. 영양염류

1) 용존무기질소(DIN)

- 용존무기질소는 암모니아 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 합으로 구성되며, 부남호 182.7~17,194.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 4,452.9 $\mu\text{g/L}$), 간월호 1,453.6~1,835.1 $\mu\text{g/L}$ (평균 1,604.3 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 2,750.1~3,849.9 $\mu\text{g/L}$ (평균 3208.7 $\mu\text{g/L}$), 보령호 1,797.9~5424.1 $\mu\text{g/L}$ (평균 2,777.6 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 암모니아 질소는 부남호 15.6~17,188.9 $\mu\text{g/L}$ (평균 3,470.7 $\mu\text{g/L}$), 간월호 107.6~1,037.8 $\mu\text{g/L}$ (평균 341.3 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 256.1~456.1 $\mu\text{g/L}$ (평균 306.9 $\mu\text{g/L}$), 보령호 23.8~5,260.4 $\mu\text{g/L}$ (평균 973.2 $\mu\text{g/L}$), 아질산 질소는 부남호 1.9~85.9 $\mu\text{g/L}$ (평균 45.2 $\mu\text{g/L}$), 간월호 20.6~176.6 $\mu\text{g/L}$ (평균 82.4 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 75.2~118.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 99.5 $\mu\text{g/L}$), 보령호 4.0~89.4 $\mu\text{g/L}$ (평균 64.4 $\mu\text{g/L}$), 질산 질소는 부남호 3.5~1,827.7 $\mu\text{g/L}$ (평균 937.0 $\mu\text{g/L}$), 간월호 365.9~1,696.8 $\mu\text{g/L}$ (평균 1180.5 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 2,178.4~3,469.0 $\mu\text{g/L}$ (평균 2,802.3 $\mu\text{g/L}$), 보령호 159.8~2,842.2 $\mu\text{g/L}$ (평균 1,740.0 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 부남호는 표층의 경우 상류에서 하류로 갈수록 감소하지만 저층은 방조제 인근 정점에서 높은 농도를 보였다. 간월호와 보령호, 홍성호는 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보여, 인근 육상으로부터 유입된 질소계 영양염류가 하류로 갈수록 희석작용을 거쳐 서서히 낮아지는 것으로 나타났다.

- 부남호의 경우 정점 BN3의 저층에서 높은 농도를 보여 수층간 차이가 크게 나타났으며, 용존무기질소 중 암모니아 질소가 약 100%를 차지하였다.
- 이 외 간월호 정점 GW3와 보령호 정점 BR2의 저층에서도 용존무기질소 중 암모니아가 차지하는 비율이 각각 71%, 97%로 높게 나타났다.
- 용존산소가 풍부한 해역은 일반적으로 질산화 과정에 의해서 암모니아질소($\text{NH}_4\text{-N}$)가 아질산질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$)형태로 산화되어, 대부분 질산질소($\text{NO}_3\text{-N}$) 형태로 존재한다. BN3, GW3, BR2의 경우 저층의 DO농도가 낮아 질산화 과정이 일어나지 않아 암모니아질소($\text{NH}_4\text{-N}$) 농도가 높은 것으로 판단된다.

2) 인산 인($\text{PO}_4\text{-P}$)

- 인산 인은 부남호 63.8~2,221.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 556.9 $\mu\text{g/L}$), 간월호 146.0~247.4 $\mu\text{g/L}$ (평균 179.9 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 267.1~302.4 $\mu\text{g/L}$ (평균 284.1 $\mu\text{g/L}$), 보령호 187.9~2,181.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 533.5 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 홍성호와 간월호에서는 정점 및 수층간 유사한 분포를 보였고, 부남호의 정점 BN3, 보령호의 정점 BR2의 저층에서 크게 증가하는 현상이 나타났다. 이는 저산소 환경에서 퇴적물로부터 저층 수괴로 인산 인이 용출되었기 때문으로 판단된다.

3) 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 규산 규소는 부남호 527.3~3,933.6 $\mu\text{g/L}$ (평균 1,604.6 $\mu\text{g/L}$), 간월호 680.8~2,647.3 $\mu\text{g/L}$ (평균 2,082.9 $\mu\text{g/L}$), 홍성호 3,283.3~4,418.0 $\mu\text{g/L}$ (평균 3,737.5 $\mu\text{g/L}$), 보령호 2,031.9~4,655.6 $\mu\text{g/L}$ (평균 3,604.2 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다.
- 표층에서는 홍성호에서는 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였고, 수층간 분포는 부남호의 경우 정점 BN3의 저층에서 높은 농도를 보였고, 간월호 정점 GW3에서는 낮은 농도를 보였다.

카. 미량금속류 및 시안(CN)

- 4개 호소에서의 미량금속 조사는 표층에서만 수행되었다. 4개 호소에서 카드뮴(Cd)은 0.01~0.02 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.02 $\mu\text{g/L}$), 6가 크롬(Cr^{6+}) 0.09~0.16 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.12 $\mu\text{g/L}$), 구리(Cu) 0.61~1.88 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.12 $\mu\text{g/L}$), 납(Pb) 0.02~0.16 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.05 $\mu\text{g/L}$), 아연(Zn) 0.37~1.63 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.84 $\mu\text{g/L}$), 비소(As) 0.82~1.16 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.12 $\mu\text{g/L}$), 수은(Hg) 0.10~0.51 ng/L (평균 0.18 ng/L)의 범위를 보였으며, 시안(CN)은 모든 정점에서 검출한계(0.01 mg/L) 미만으로 불검출되었다.

- 카드뮴(Cd)은 모든 정점에서 유사한 농도 분포를 보였다.
- 6가 크롬(Cr^{6+})은 부남호에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.
- 구리(Cu)의 농도는 보령호를 제외한 호소에서 상류에서 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다.
- 납(Pb)은 부남호에서 방조제 인근 정점에서 높은 농도를 보였으며, 간월호의 상류 정점인 GW1에서도 다소 높은 농도를 보였다.
- 아연(Zn)은 부남호는 방조제 인근 정점에서 높은 농도를 보였으며, 홍성호는 상류에서도 높은 농도를 나타냈다.
- 비소(As)는 홍성호에서 비교적 높은 농도를 보였다.
- 수은(Hg)은 부남호의 방조제 인근 정점에서 최대값을 보였으며, 그 외 호소에서는 유사한 농도 수준을 보였다.

〈표 5.3-1〉 4개 호소 현장관측 결과 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과

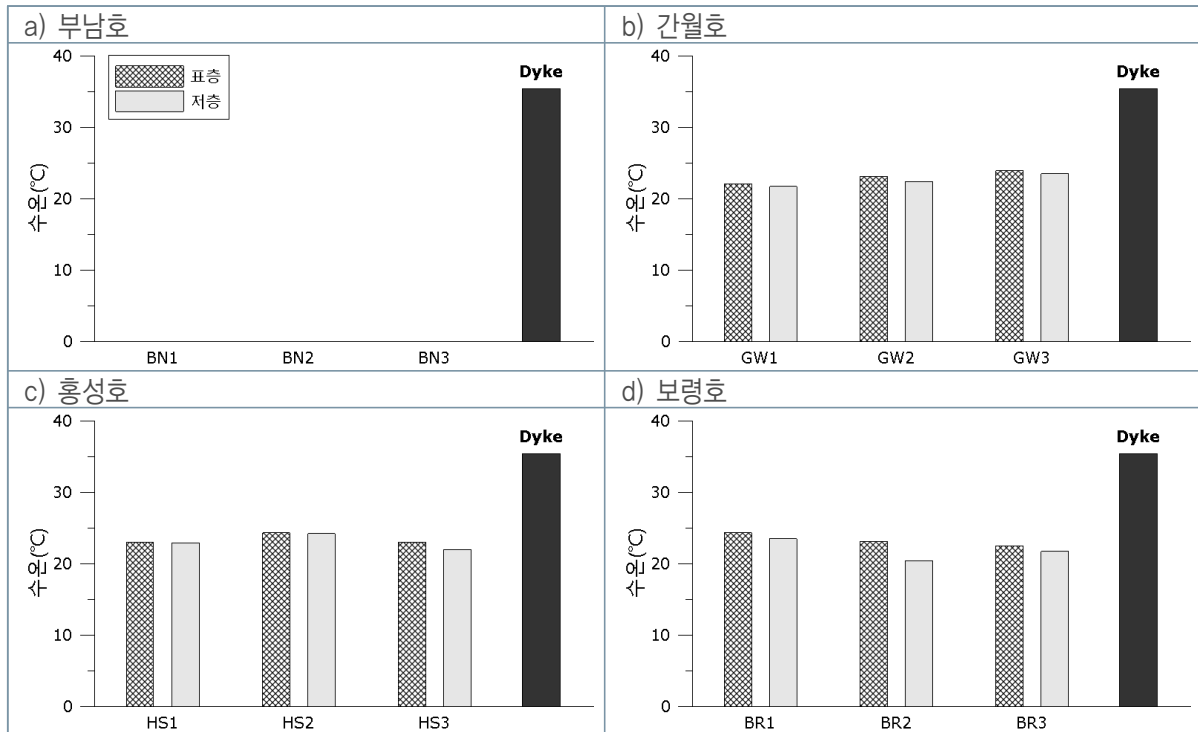
정점	수층	수심	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	TOC	Chl-a
		(m)	(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)	(mg/L)			(μg/L)
BN1	표층	-	-	-	-	-	-	21.6	10.7	4.6	58.2
	저층		-	-	-	-	-	13.8	9.1	5.1	33.6
BN2	표층	-	-	-	-	-	-	11.5	12.1	6.3	26.9
	저층		-	-	-	-	-	-	-	-	-
BN3	표층	-	-	-	-	-	-	20.5	38.5	10.8	112.8
	저층		-	-	-	-	-	33.3	8.3	3.9	18.1
최소			-	-	-	-	-	11.5	8.3	3.9	18.1
최대			-	-	-	-	-	33.3	38.5	10.8	112.8
평균			-	-	-	-	-	20.1	15.7	6.1	49.9
GW1	표층	3.0	22.1	0.1	5.1	6.9	80	77.9	8.5	3.1	7.9
	저층		21.7	0.1	4.6	7.0	80	84.9	7.4	3.0	9.6
GW2	표층	11.0	23.1	0.7	4.9	6.9	81	38.1	7.4	3.6	15.1
	저층		22.4	0.7	4.1	7.0	81	76.8	8.2	3.4	12.7
GW3	표층	14.0	23.9	1.1	4.9	6.8	82	20.4	7.0	4.0	15.2
	저층		23.5	2.1	2.2	7.0	84	13.7	9.1	3.6	6.8
최소			21.7	0.1	2.2	6.8	80	13.7	7.0	3.0	6.8
최대			23.9	2.1	5.1	7.0	84	84.9	9.1	4.0	15.2
평균			22.8	0.8	4.3	6.9	81	52.0	7.9	3.4	11.2
HS1	표층	3.0	23.0	0.1	4.1	7.1	83	19.3	8.0	4.0	13.2
	저층		22.9	0.1	4.0	7.2	84	22.7	7.7	4.0	7.9
HS2	표층	6.0	24.3	0.2	5.0	7.7	92	21.3	9.5	5.0	13.6
	저층		24.2	0.2	4.8	7.7	92	20.7	9.3	5.0	17.8
HS3	표층	7.0	23.0	0.2	4.6	7.5	88	25.8	7.7	4.2	10.7
	저층		22.0	0.3	2.9	7.3	84	47.5	8.8	4.6	8.7
최소			22.0	0.1	2.9	7.1	83	19.3	7.7	4.0	7.9
최대			24.3	0.3	5.0	7.7	92	47.5	9.5	5.0	17.8
평균			23.2	0.2	4.2	7.4	87	26.2	8.5	4.5	12.0
BR1	표층	3.0	24.3	0.3	7.4	8.7	104	17.1	11.3	4.7	54.1
	저층		23.5	0.3	6.7	8.7	103	23.1	10.7	3.8	58.4
BR2	표층	10.0	23.1	0.3	4.8	7.8	91	22.6	9.5	4.3	19.3
	저층		20.4	21.4	1.5	7.2	91	29.1	48.9	3.4	2.8
BR3	표층	8	22.5	0.4	4.6	7.6	88	24.1	8.3	4.2	11.5
	저층		21.7	0.7	3.5	7.4	84	31.7	11.5	3.5	6.2
최소			20.4	0.3	1.5	7.2	84	17.1	8.3	3.4	2.8
최대			24.3	21.4	7.4	8.7	104	31.7	48.9	4.7	58.4
평균			22.6	3.9	4.7	7.9	94	24.6	16.7	4.0	25.4

〈표 5.3-2〉 4개 호소 TN, TP, 영양염류 분석 결과

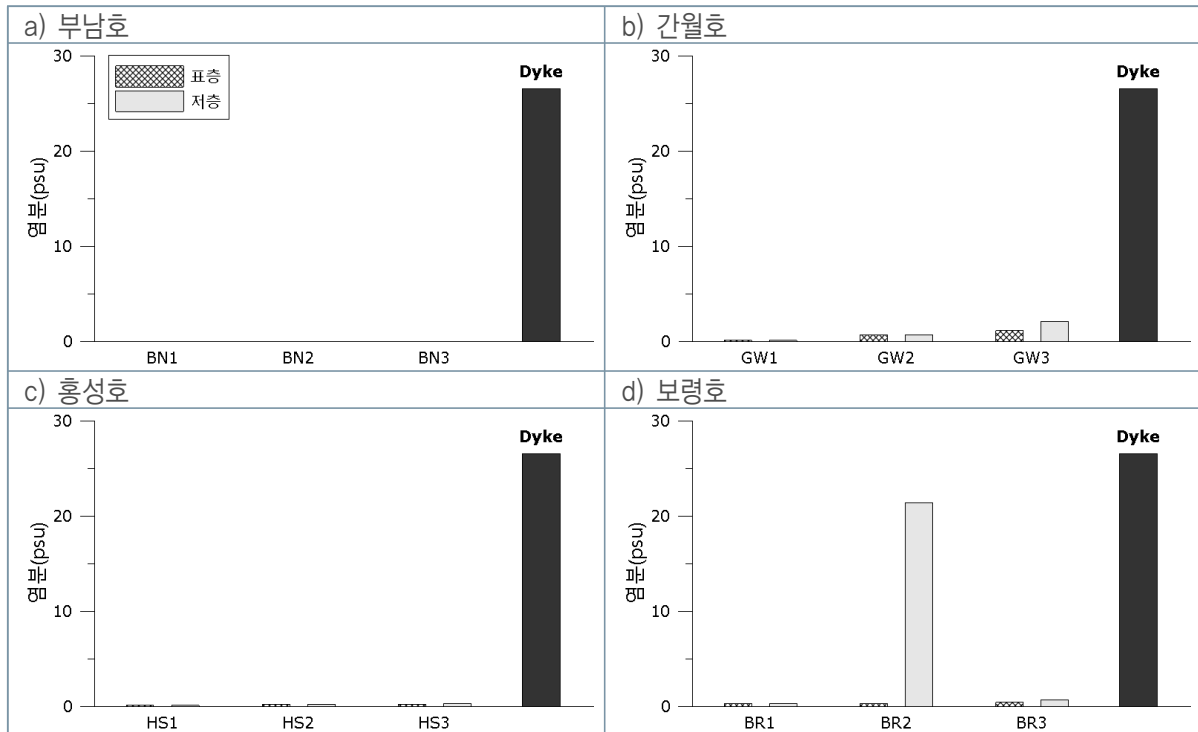
정점	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(μg/L)							
BN1	표층	2,723.2	61.0	67.3	1,795.3	1,923.7	228.8	169.7	1,619.5
	저층	2,603.2	68.9	85.9	1,827.7	1,982.4	212.4	176.2	1,408.6
BN2	표층	1,865.7	15.6	57.1	908.8	981.4	239.4	153.1	527.3
	저층	—	—	—	—	—	—	—	—
BN3	표층	1,422.6	18.9	14.1	149.7	182.7	163.8	63.8	534.1
	저층	18,464.1	17,188.9	1.9	3.5	17,194.3	3,500.3	2,221.5	3,933.6
최소		1,422.6	15.6	1.9	3.5	182.7	163.8	63.8	527.3
최대		18,464.1	17,188.9	85.9	1,827.7	17,194.3	3,500.3	2,221.5	3,933.6
평균		5,415.8	3,470.7	45.2	937.0	4,452.9	868.9	556.9	1,604.6
GW1	표층	1,948.5	114.1	24.3	1,696.8	1,835.1	206.3	164.3	2,632.4
	저층	1,743.6	107.6	20.6	1,340.4	1,468.6	225.5	190.8	2,647.3
GW2	표층	2,199.2	260.7	135.0	1,248.4	1,644.1	192.8	170.5	1,989.9
	저층	2,126.6	222.7	88.3	1,168.6	1,479.6	190.4	146.0	2,312.3
GW3	표층	1,974.3	304.9	176.6	1,263.2	1,744.7	168.3	160.3	2,234.6
	저층	2,603.6	1,037.8	50.0	365.9	1,453.6	320.7	247.4	680.8
최소		1,743.6	107.6	20.6	365.9	1,453.6	168.3	146.0	680.8
최대		2,603.6	1,037.8	176.6	1,696.8	1,835.1	320.7	247.4	2,647.3
평균		2,099.3	341.3	82.4	1,180.5	1,604.3	217.3	179.9	2,082.9
HS1	표층	4,126.3	282.8	75.2	3,135.2	3,493.2	1,622.5	270.5	4,418.0
	저층	4,330.9	295.1	85.7	3,469.0	3,849.9	333.7	302.4	4,206.3
HS2	표층	3,831.0	256.1	105.7	2,673.7	3,035.5	341.9	267.1	3,458.7
	저층	3,573.5	265.7	118.5	2,941.9	3,326.1	334.5	286.3	3,526.3
HS3	표층	3,434.2	285.7	96.2	2,415.9	2,797.8	330.9	301.8	3,283.3
	저층	3,426.8	456.1	115.5	2,178.4	2,750.1	326.0	276.5	3,532.1
최소		3,426.8	256.1	75.2	2,178.4	2,750.1	326.0	267.1	3,283.3
최대		4,330.9	456.1	118.5	3,469.0	3,849.9	1,622.5	302.4	4,418.0
평균		3,787.1	306.9	99.5	2,802.3	3,208.7	548.3	284.1	3,737.5
BR1	표층	3,688.1	25.5	84.7	2,842.2	2,952.4	243.0	187.9	4,655.6
	저층	2,912.5	23.8	64.7	2,261.6	2,350.1	252.4	191.7	4,072.1
BR2	표층	2,782.3	119.0	89.4	2,074.6	2,283.0	229.6	197.3	2,888.1
	저층	7,088.0	5,260.4	4.0	159.8	5,424.1	2,253.4	2,181.3	2,031.9
BR3	표층	2,680.3	143.6	70.6	1,583.6	1,797.9	256.9	212.3	4,479.5
	저층	2,376.6	266.7	73.1	1,518.4	1,858.2	269.2	230.2	3,498.0
최소		2,376.6	23.8	4.0	159.8	1,797.9	229.6	187.9	2,031.9
최대		7,088.0	5,260.4	89.4	2,842.2	5,424.1	2,253.4	2,181.3	4,655.6
평균		3,588.0	973.2	64.4	1,740.0	2,777.6	584.1	533.5	3,604.2

〈표 5.3-3〉 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과

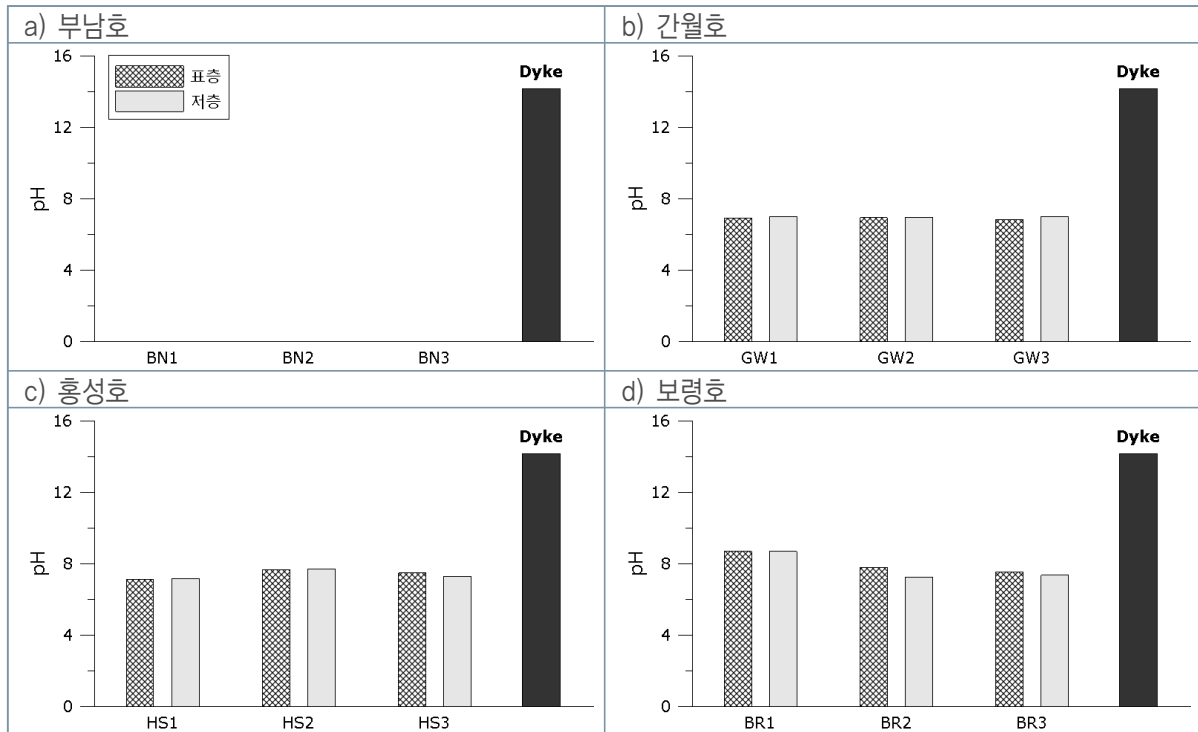
정점	Cr ⁶⁺	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN
	(μg/L)								
BN1	0.15	0.02	1.02	0.02	0.41	0.39	0.91	0.10	N.D
BN2	0.16	0.02	0.94	0.04	0.37	0.26	0.82	0.11	N.D
BN3	0.10	0.02	0.61	0.16	1.63	0.19	0.88	0.51	N.D
최소	0.10	0.02	0.61	0.02	0.37	0.19	0.82	0.10	—
최대	0.16	0.02	1.02	0.16	1.63	0.39	0.91	0.51	—
평균	0.14	0.02	0.86	0.08	0.80	0.28	0.87	0.24	—
GW1	0.10	0.02	1.38	0.07	1.01	0.37	1.22	0.19	N.D
GW2	0.09	0.02	0.90	0.04	1.27	0.30	1.03	0.13	N.D
GW3	0.11	0.02	0.69	0.03	0.78	0.26	1.14	0.19	N.D
최소	0.09	0.02	0.69	0.03	0.78	0.26	1.03	0.13	—
최대	0.11	0.02	1.38	0.07	1.27	0.37	1.22	0.19	—
평균	0.10	0.02	0.99	0.05	1.02	0.31	1.13	0.17	—
HS1	0.13	0.02	1.88	0.04	1.59	0.85	1.47	0.25	N.D
HS2	0.12	0.02	1.14	0.03	0.71	0.56	1.51	0.13	N.D
HS3	0.10	0.02	1.31	0.04	0.71	0.65	1.61	0.19	N.D
최소	0.10	0.02	1.14	0.03	0.71	0.56	1.47	0.13	—
최대	0.13	0.02	1.88	0.04	1.59	0.85	1.61	0.25	—
평균	0.12	0.02	1.44	0.04	1.00	0.68	1.53	0.19	—
BR1	0.13	0.01	1.38	0.03	0.52	0.71	0.94	0.10	N.D
BR2	0.11	0.01	1.12	0.05	0.49	0.56	1.03	0.12	N.D
BR3	0.13	0.01	1.10	0.04	0.58	0.53	0.94	0.15	N.D
최소	0.11	0.01	1.10	0.03	0.49	0.53	0.94	0.10	—
최대	0.13	0.01	1.38	0.05	0.58	0.71	1.03	0.15	—
평균	0.12	0.01	1.20	0.04	0.53	0.60	0.97	0.12	—



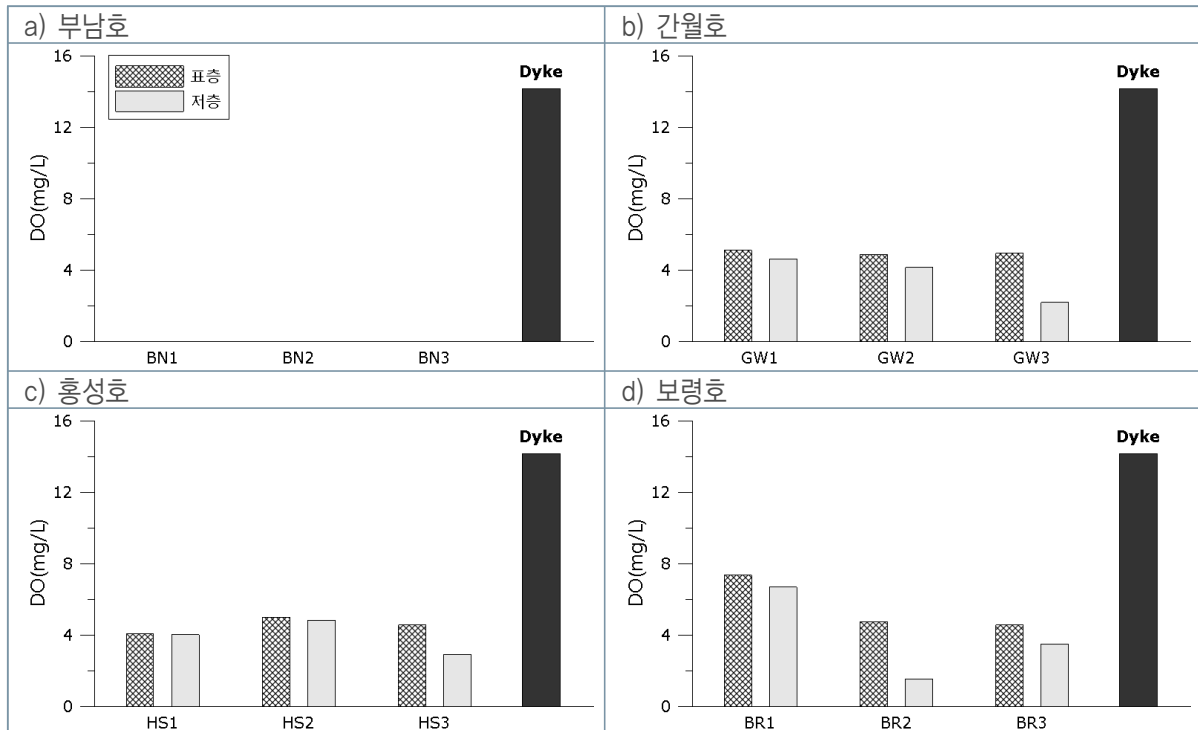
〈그림 5.3-2〉 호소 수질 내 수온의 정점별 분포



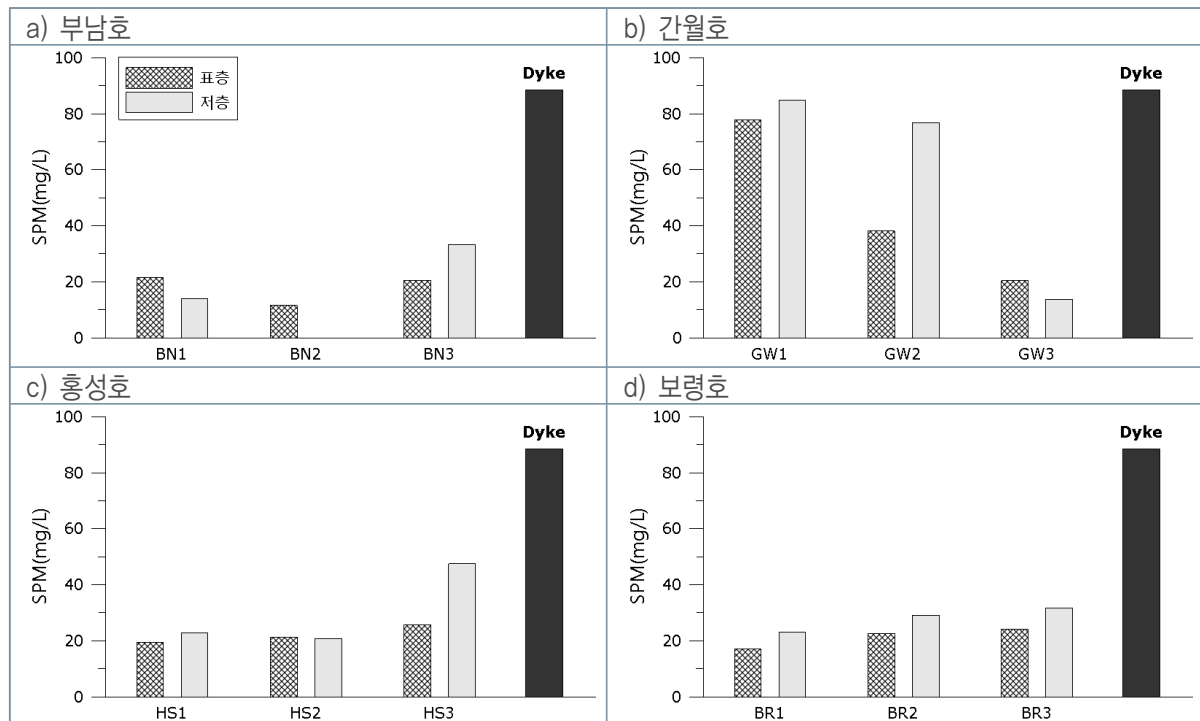
〈그림 5.3-3〉 호소 수질 내 염분의 정점별 분포



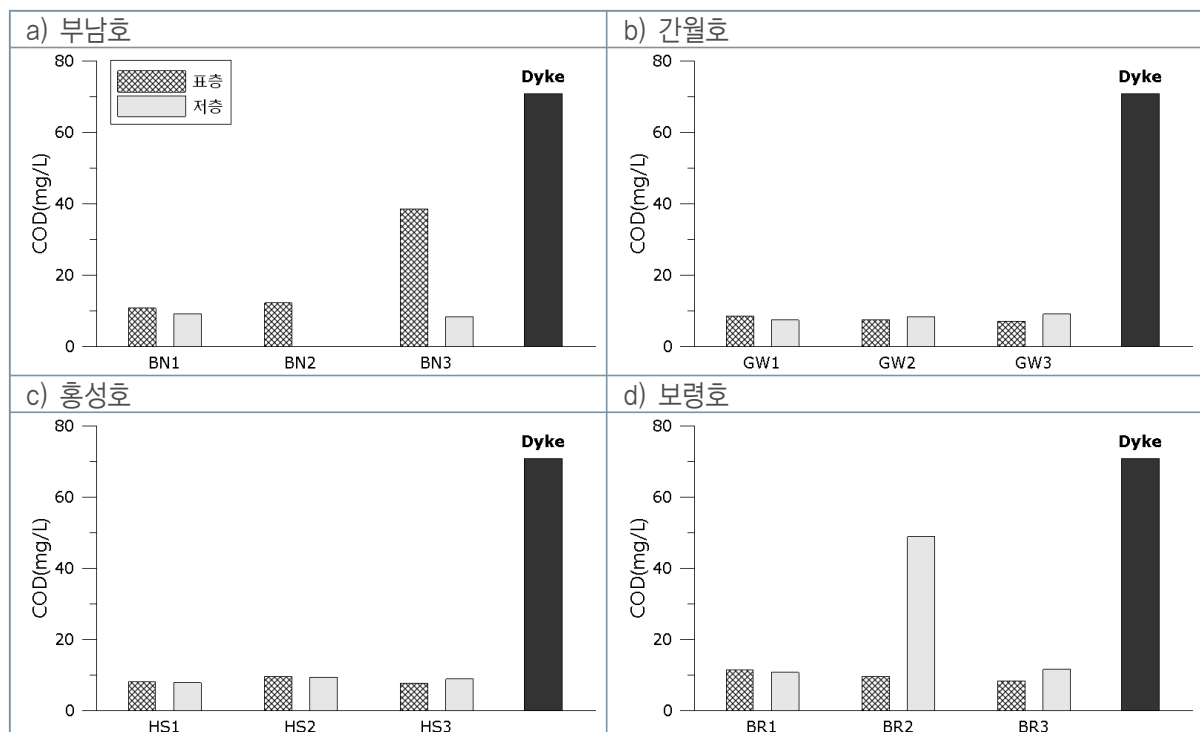
〈그림 5.3-4〉 호소 수질 내 pH의 정점별 분포



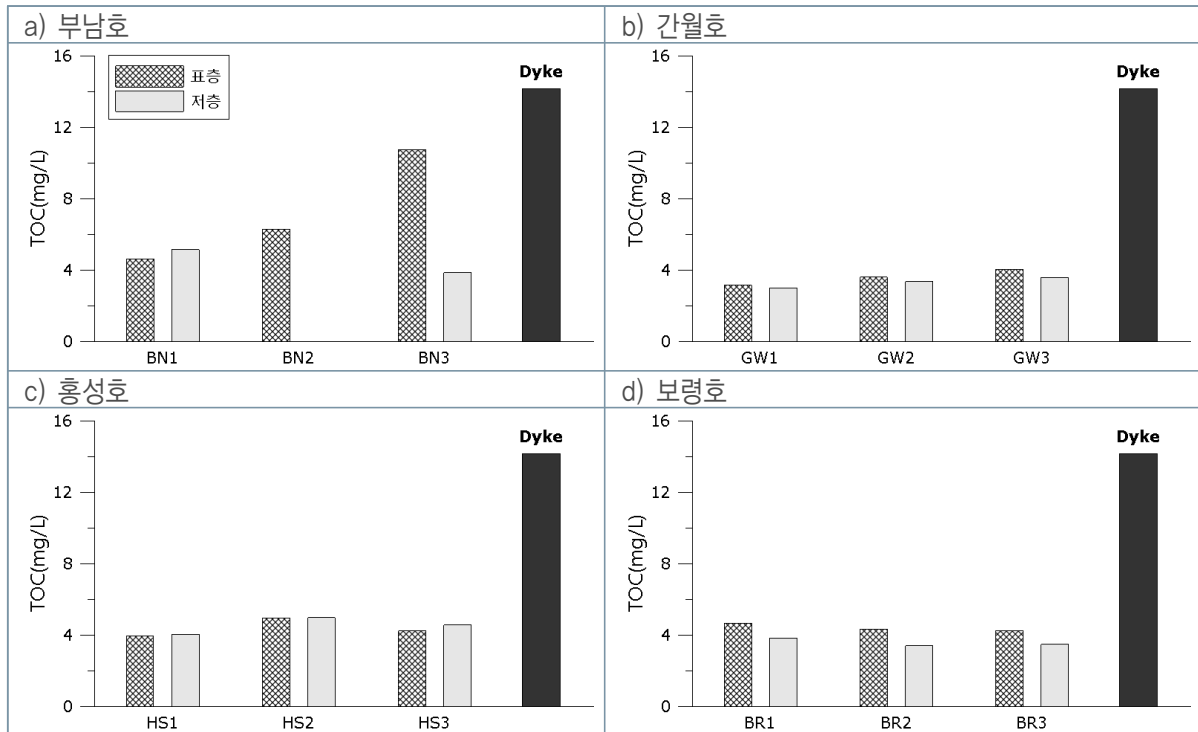
〈그림 5.3-5〉 호소 수질 내 용존산소(DO)의 정점별 분포



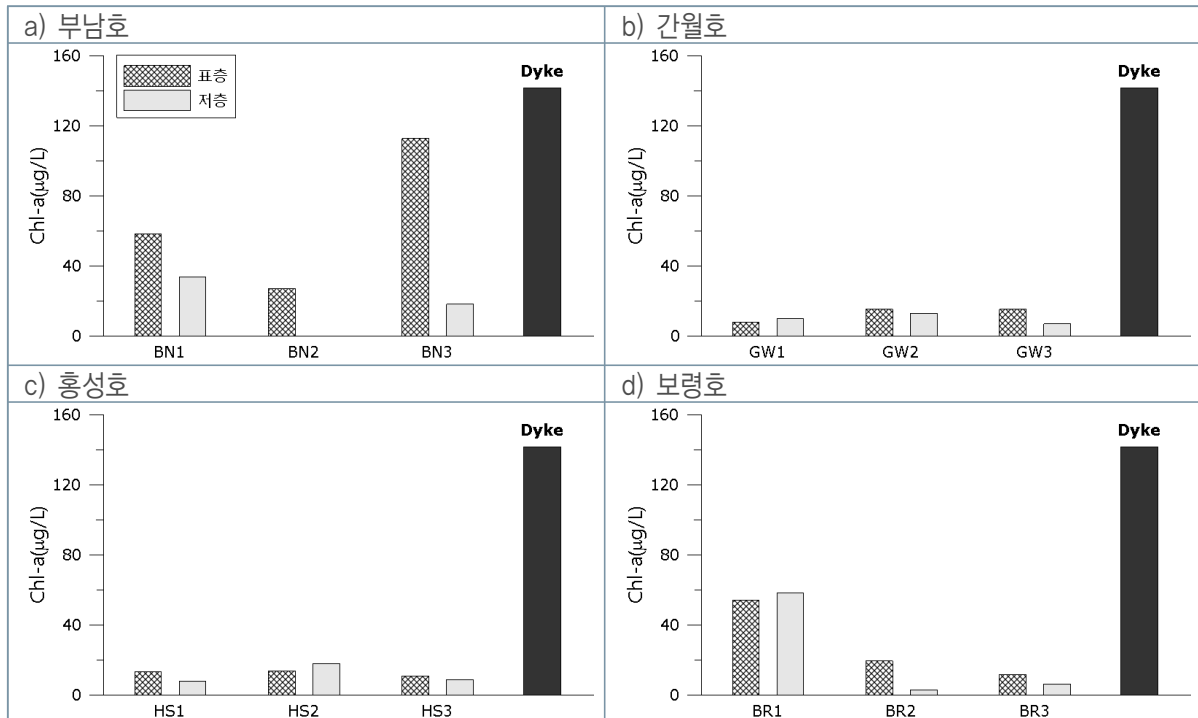
〈그림 5.3-6〉 호소 수질 내 부유입자물질(SPM)의 정점별 분포



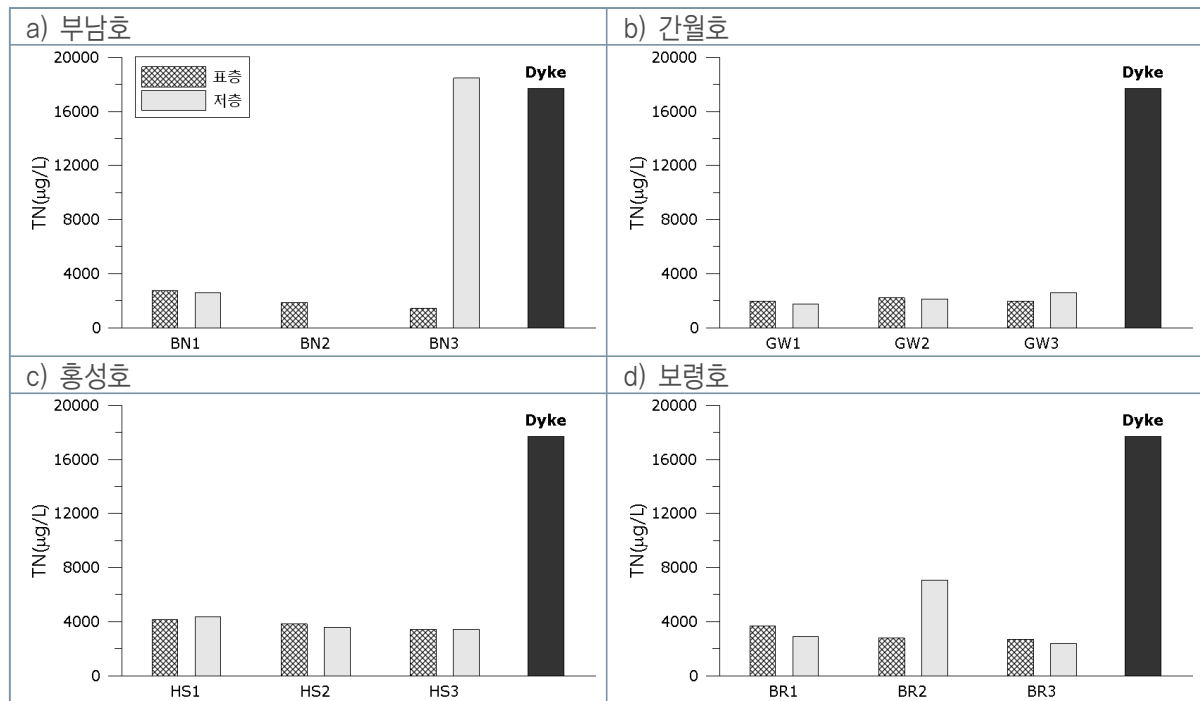
〈그림 5.3-7〉 호소 수질 내 화학적산소요구량(COD)의 정점별 분포



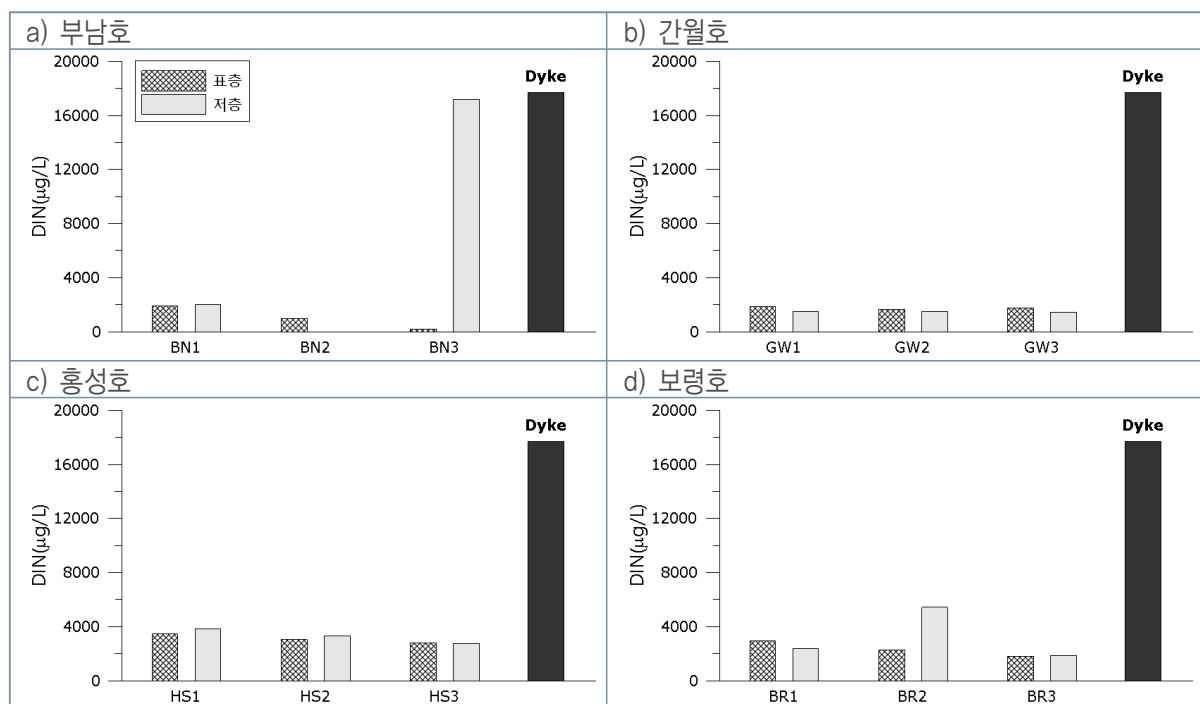
〈그림 5.3-8〉 호소 수질 내 총유기탄소(TOC)의 정점별 분포



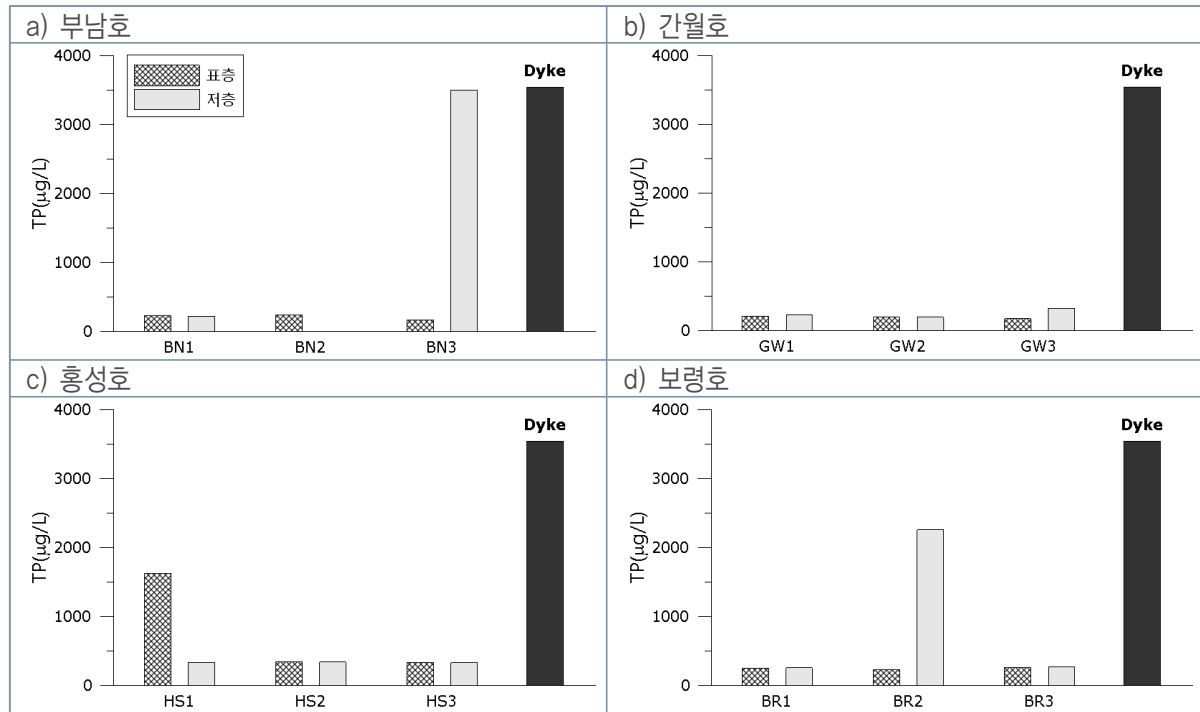
〈그림 5.3-9〉 호소 수질 내 엽록소-a(Chl-a)의 정점별 분포



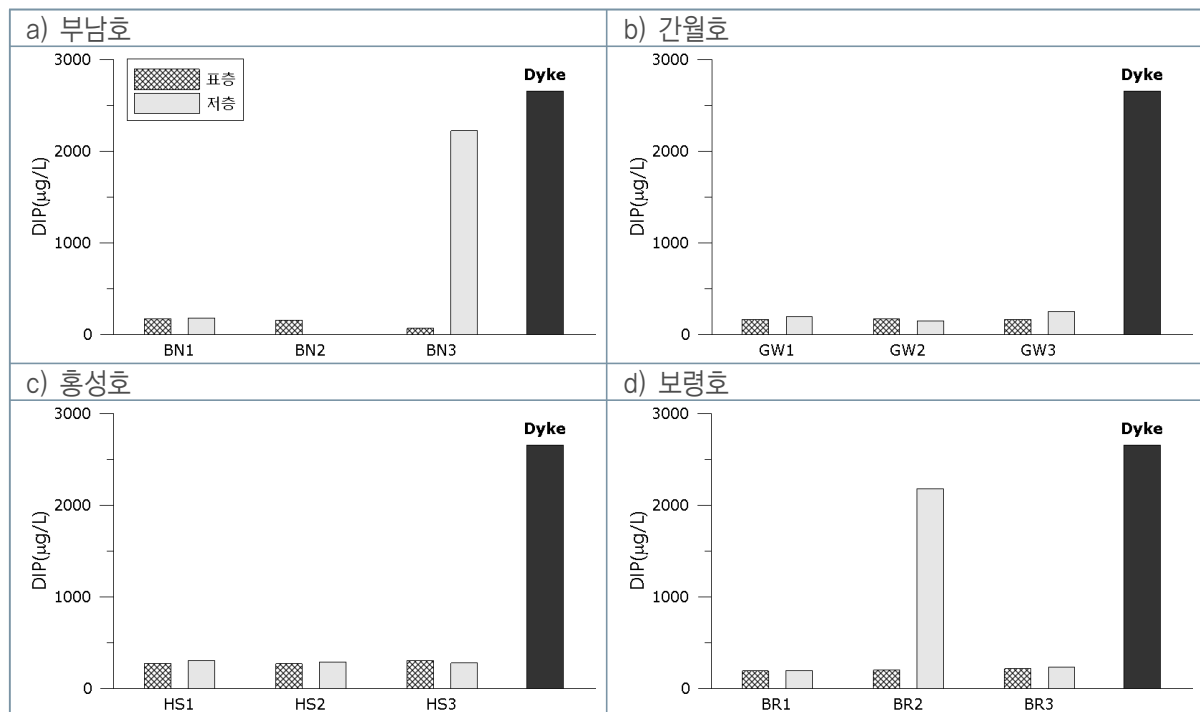
〈그림 5.3-10〉 호소 수질 내 총질소(TN)의 정점별 분포



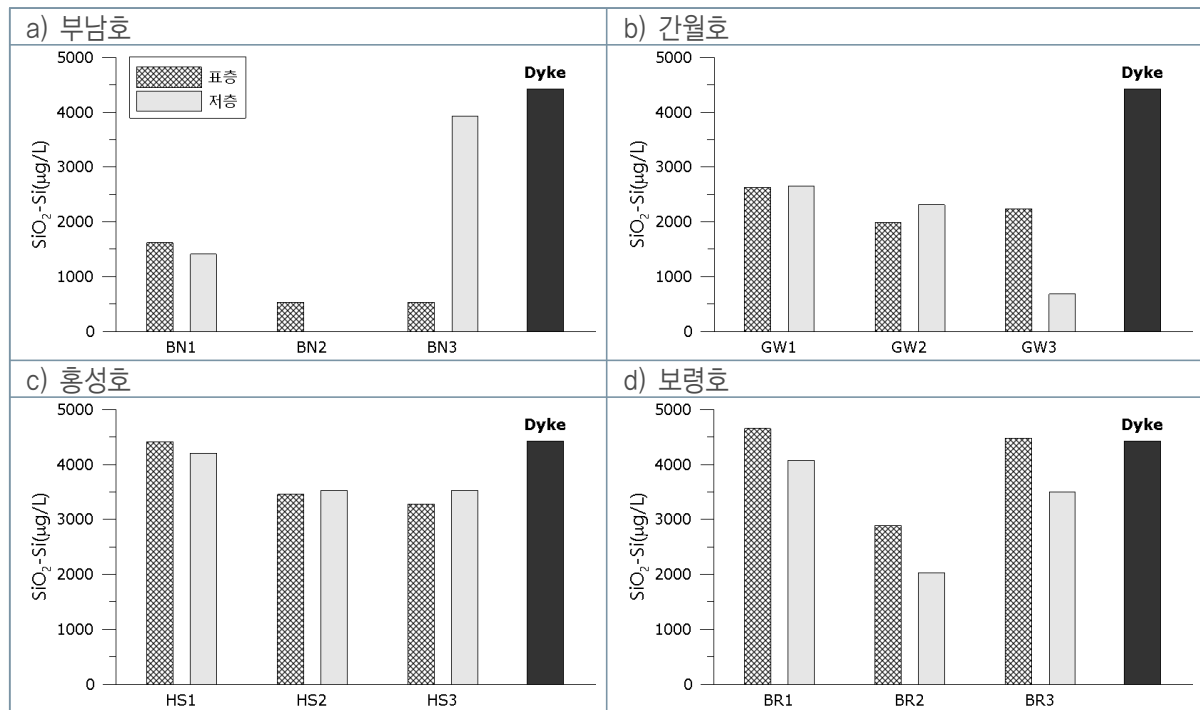
〈그림 5.3-11〉 호소 수질 내 용존무기질소(DIN)의 정점별 분포



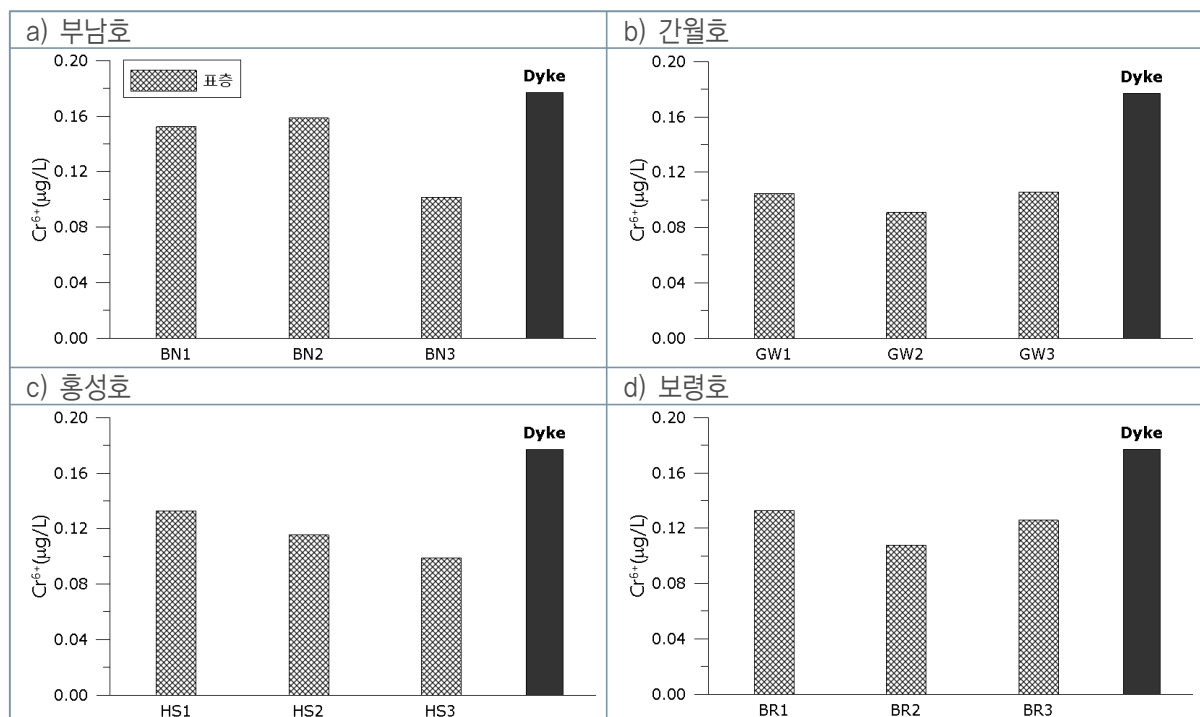
〈그림 5.3-12〉 호소 수질 내 총인(TP)의 정점별 분포



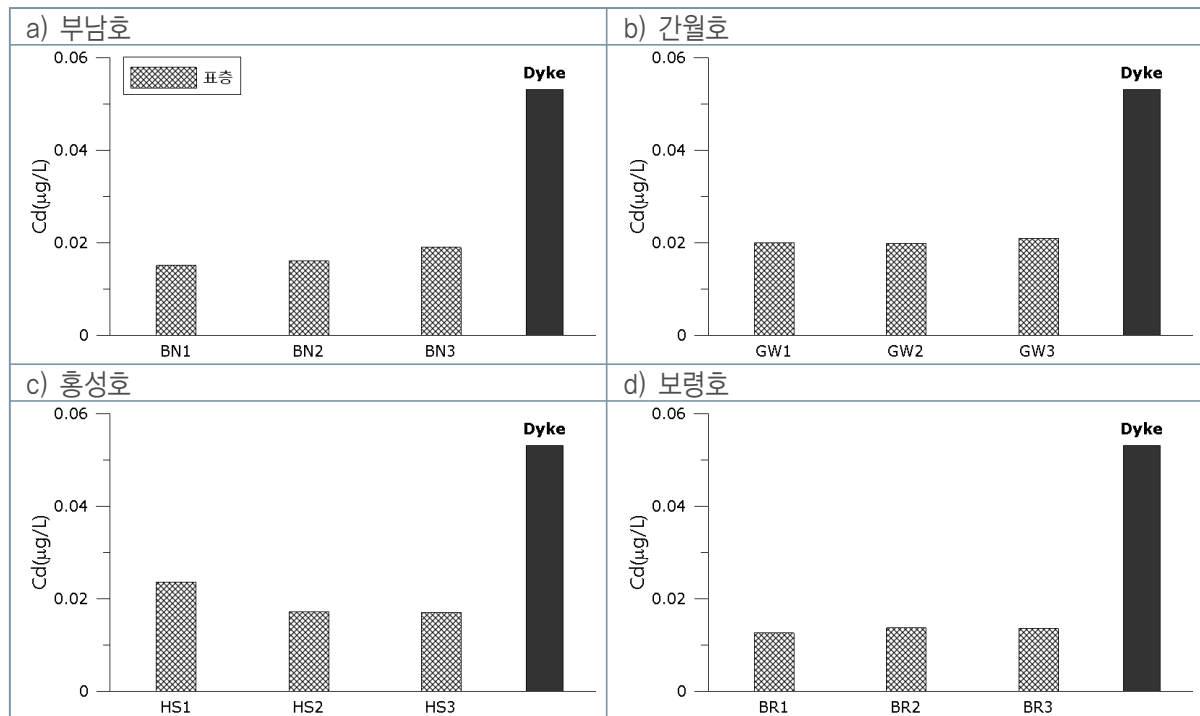
〈그림 5.3-13〉 호소 수질 내 용존무기인(DIP)의 정점별 분포



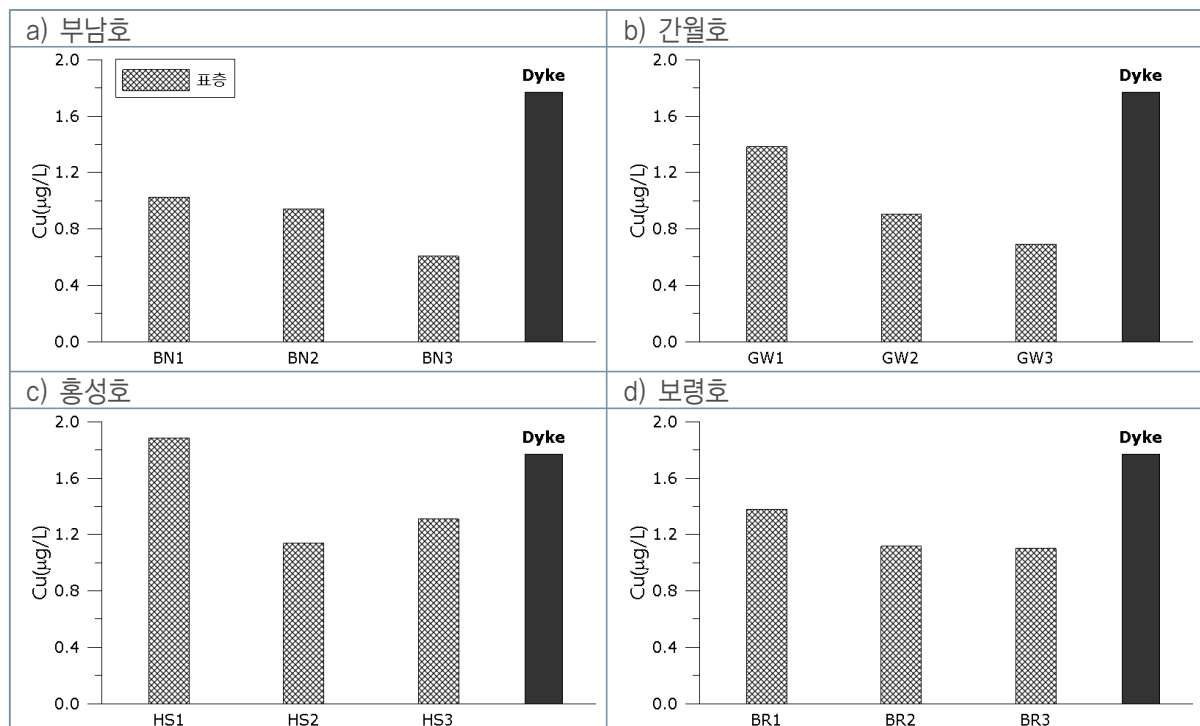
<그림 5.3-14> 호소 수질 내 규산염규소(SiO₂-Si)의 정점별 분포



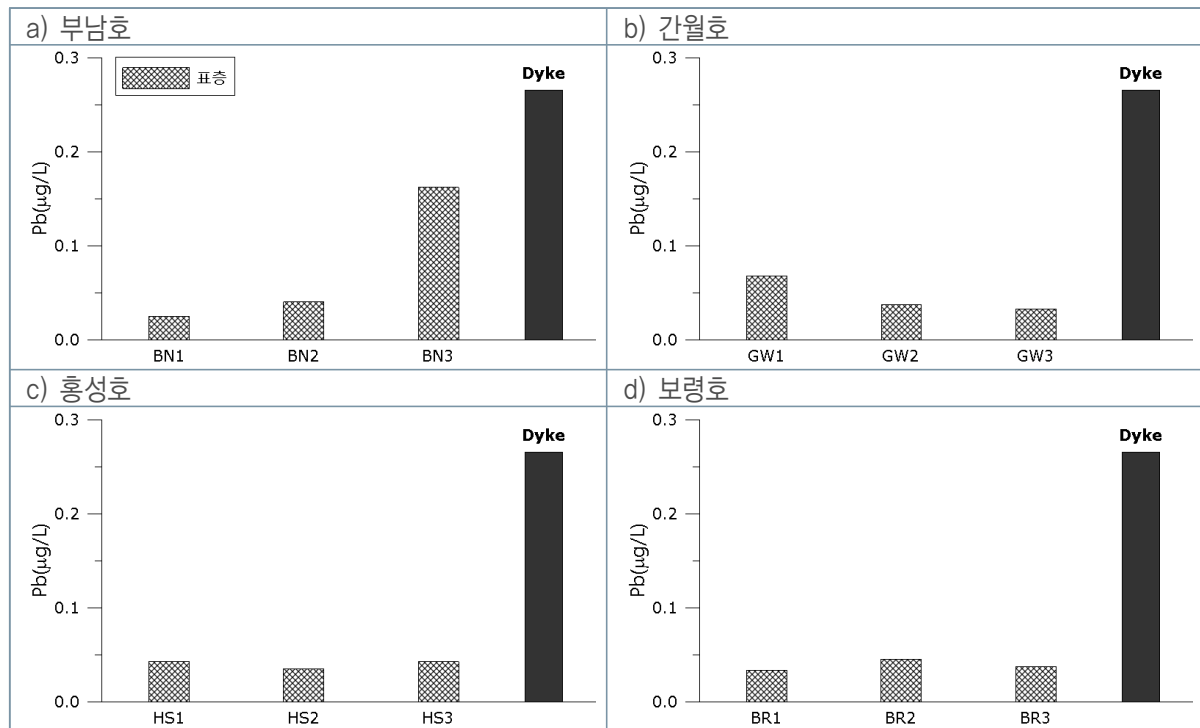
<그림 5.3-15> 호소 수질 내 크롬(Cr⁶⁺)의 정점별 분포



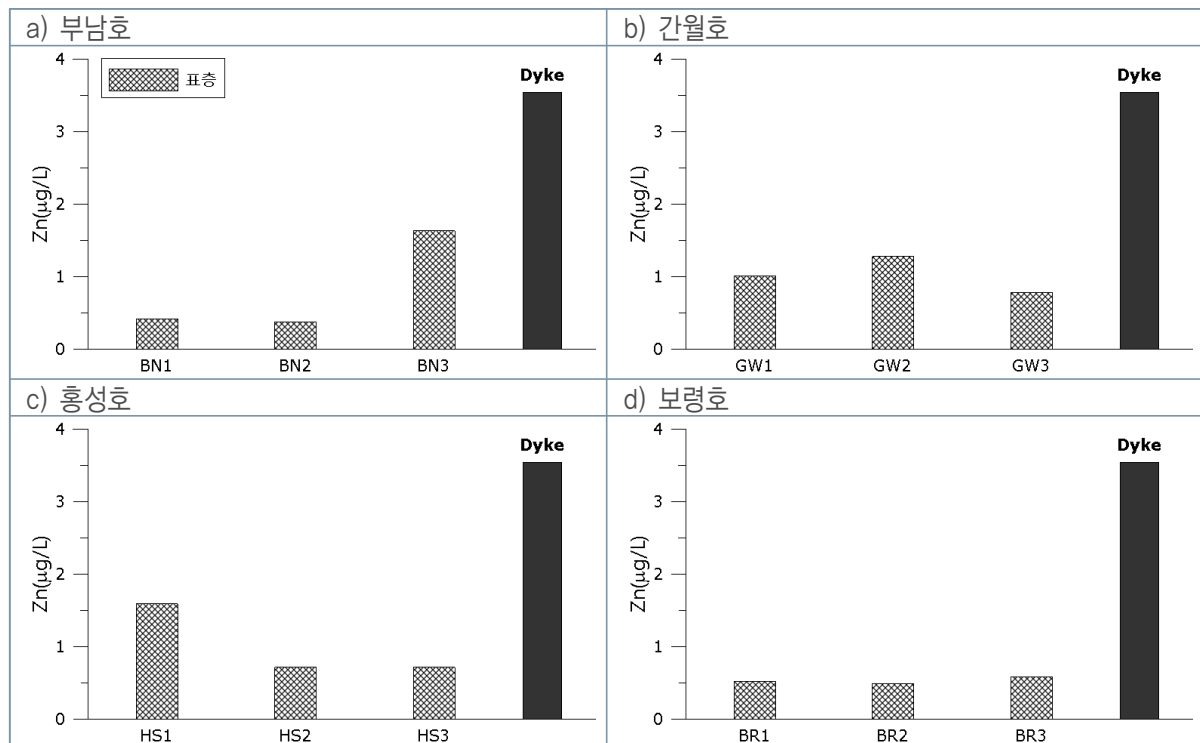
〈그림 5.3-16〉 호소 수질 내 카드뮴(Cd)의 정점별 분포



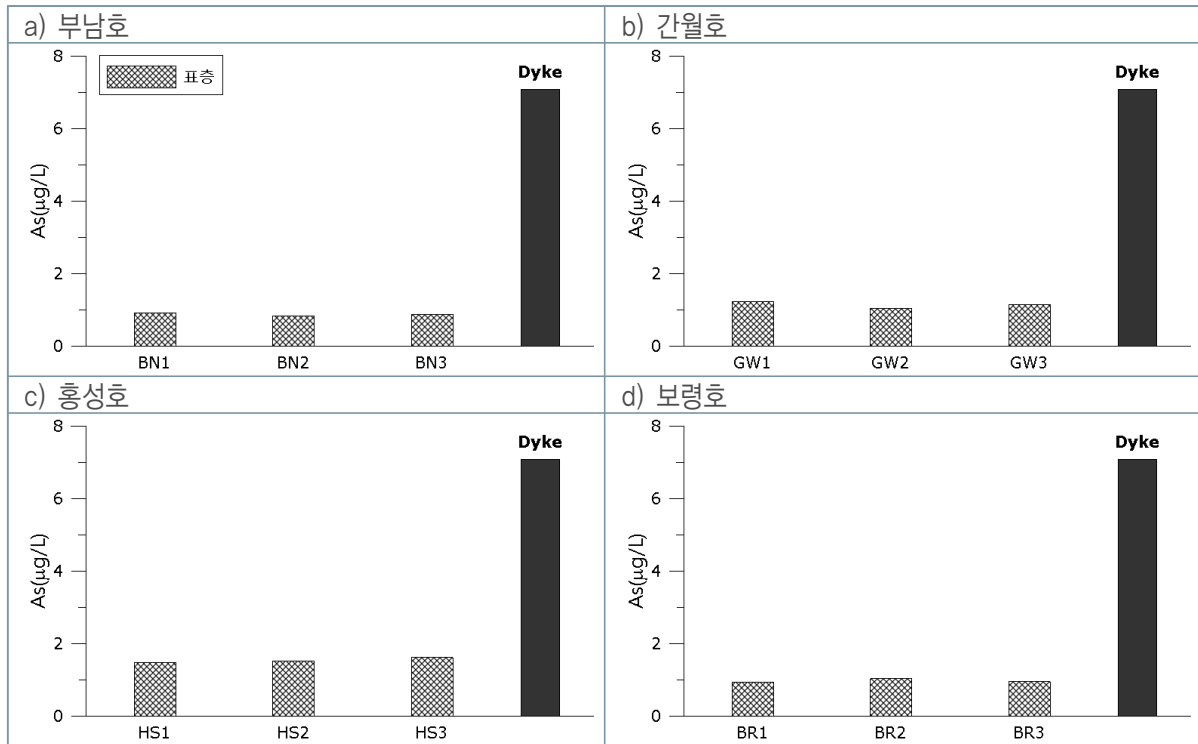
〈그림 5.3-17〉 호소 수질 내 구리(Cu)의 정점별 분포



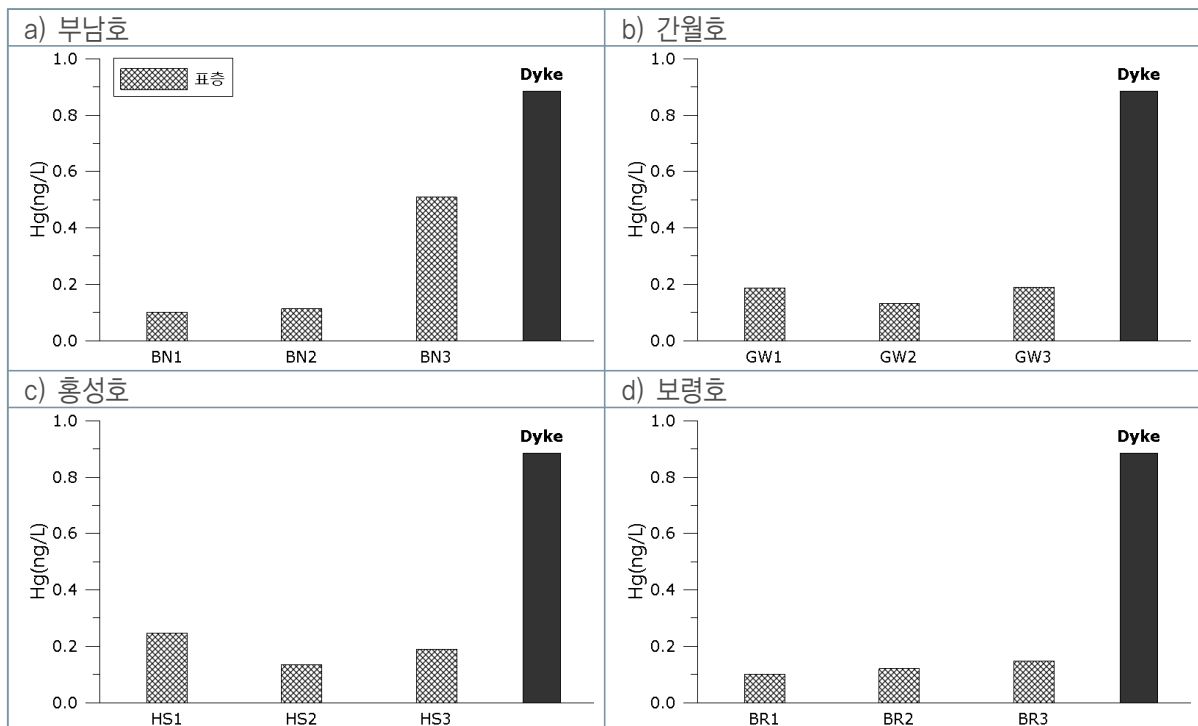
〈그림 5.3-18〉 호소 수질 내 납(Pb)의 정점별 분포



〈그림 5.3-19〉 호소 수질 내 아연(Zn)의 정점별 분포



〈그림 5.3-20〉 호소 수질 내 비소(As)의 정점별 분포



〈그림 5.3-21〉 호소 수질 내 수은(Hg)의 정점별 분포

5.3.3. 호소 퇴적물

- 천수만 4개 호소의 퇴적물 분석 결과를 <표 5.3-4>~<표 5.3-6>, <그림 5.3-22>~<그림 5.3-41>에 제시했다.
 - 입도 분석 : <표 5.3-4>
 - 퇴적상 분류 : <그림 5.3-22>~<그림 5.3-23>
 - 일반항목 분석 : <표 5.3-5>, <그림 5.3-24>~<그림 5.3-30>
 - 중금속 분석 : <표 5.3-6>, <그림 5.3-31>~<그림 5.3-41>

가. 입도

1) 조성 및 퇴적상

- 부남호 퇴적물
 - 입도 조성 : 모래 3.2~18.9%(평균 9.5%), 실트 71.6~82.7%(평균 76.4%), 점토 9.5~18.7%(평균 14.1%)의 범위를 보였다.
 - 퇴적상 : 사질실트(sZ)와 사질실트(sZ)로 분석되었다.
- 간월호 퇴적물
 - 입도 조성 : 자갈의 경우 정점 GW1에서만 12.6%로 나타났고, 모래 1.4~85.1%(평균 29.4%), 실트 1.9~77.1%(평균 51.7%), 점토 0.5~22.2%(평균 14.7%)의 범위를 보였다.
 - 퇴적상은 실트(Z)와 역질사(gS)로 분석되었다.
- 홍성호 퇴적물
 - 입도 조성 : 모래 3.8~9.9%(평균 6.9%), 실트 71.3~77.8%(평균 74.6%), 점토 18.1~18.8%(평균 18.4%)의 범위를 보였다.
 - 퇴적상 : 실트(Z)로 조사되었다.
- 보령호 퇴적물
 - 입도 조성 : 자갈의 경우 정점 BR1과 BR2에서 각각 15.6%, 0.2%로 나타났고, 모래 2.6~58.2%(평균 21.7%), 실트 21.8~74.6%(평균 55.0%), 점토 4.4~28.8%(평균 18.0%)의 범위를 보였다.
 - 퇴적상 : 역니질사(gmS), 약역질니((g)M), 실트(Z)로 분석되었다.

2) 조직 변수

○ 부남호 퇴적물

- 평균 입경 : 5.66~6.86 ϕ (평균 6.39 ϕ)의 범위로 나타났다.
- 분급도 : 1.36~1.79 ϕ 의 범위로 Poorly sorted(불량분급)한 분포를 보였다.
- 왜도 : -0.04~0.08의 범위로 Near-symmetrical(대칭왜도)한 분포를 보였다.
- 첨도 : 0.94~1.44으로 Mesokurtic(중첨)에서 Leptokurtic(극첨)한 분포를 보였다.

○ 간월호 퇴적물

- 평균 입경 : 0.49~7.11 ϕ (평균 4.86 ϕ)의 범위로 나타났다.
- 분급도 : 1.36~1.51 ϕ 의 범위로 Poorly sorted(불량분급)한 분포를 보였다.
- 왜도 : 0.03~0.11의 범위로 Near-symmetrical(대칭왜도)에서 Fine-skewed(양호왜도)한 분포를 나타냈다.
- 첨도 : 1.10~1.17으로 Mesokurtic(중첨)에서 Leptokurtic(극첨)한 분포를 보였다.

○ 홍성호 퇴적물

- 평균 입경 : 6.36~6.76 ϕ (6.55 ϕ)의 범위로 나타났다.
- 분급도 : 1.56~1.89 ϕ 의 범위로 Poorly sorted(불량분급)한 분포를 보였다.
- 왜도 : -0.04~0.01의 범위로 Near-symmetrical(대칭왜도)한 분포를 보였다.
- 첨도 : 0.95~1.16으로 Mesokurtic(중첨)에서 Leptokurtic(극첨)한 분포를 보였다.

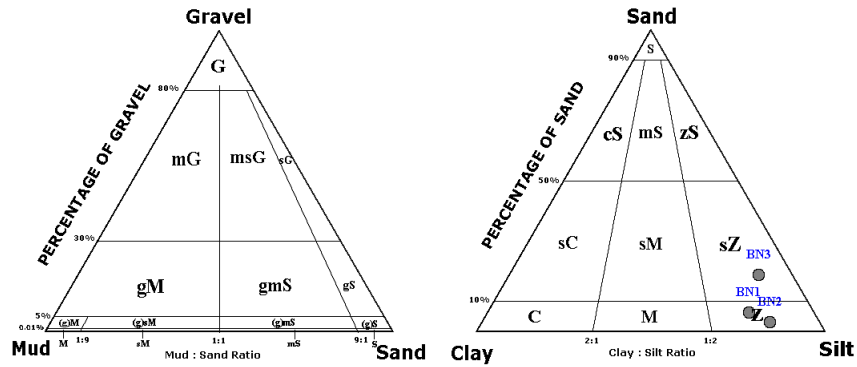
○ 보령호 퇴적물의

- 평균 입경 : 2.35~7.25 ϕ (평균 5.52 ϕ)의 범위로 나타났다.
- 분급도 : 1.56~3.15 ϕ 의 범위로 Poorly sorted(불량분급)에서 Very poorly sorted(극불량분급)한 분포를 보였다.
- 왜도 : -0.05~-0.01의 범위로 Near-symmetrical(대칭왜도)한 분포를 보였다.
- 첨도 : 1.15~1.30으로 Leptokurtic(극첨)한 분포를 보였다.

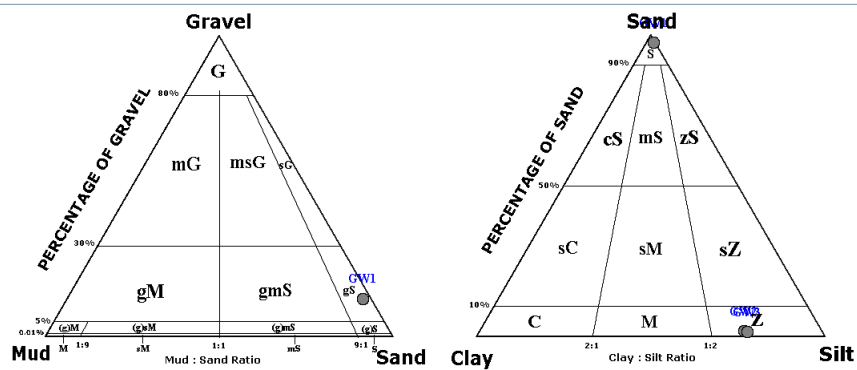
〈표 5.3-4〉 호소 퇴적물의 입도 분석 결과

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
BN1	0.0	6.3	75.0	18.7	6.86	1.61	-0.04	1.44	Z
BN2	0.0	3.2	82.7	14.2	6.66	1.36	0.08	1.22	Z
BN3	0.0	18.9	71.6	9.5	5.66	1.79	0.05	0.94	sZ
최소	0.0	3.2	71.6	9.5	5.66	1.36	-0.04	0.94	-
최대	0.0	18.9	82.7	18.7	6.86	1.79	0.08	1.44	-
평균	0.0	9.5	76.4	14.1	6.39	1.59	0.03	1.20	-
GW1	12.6	85.1	1.9	0.5	0.49	1.46	0.11	1.10	gS
GW2	0.0	1.7	76.1	22.2	6.97	1.51	0.03	1.13	Z
GW3	0.0	1.4	77.1	21.5	7.11	1.36	0.11	1.17	Z
최소	0.0	1.4	1.9	0.5	0.49	1.36	0.03	1.10	-
최대	12.6	85.1	77.1	22.2	7.11	1.51	0.11	1.17	-
평균	4.2	29.4	51.7	14.7	4.86	1.44	0.09	1.13	-
HS1	0.0	9.9	71.3	18.8	6.36	1.89	-0.01	0.95	Z
HS2	0.0	3.8	77.8	18.4	6.76	1.56	-0.01	1.16	Z
HS3	0.0	7.1	74.8	18.1	6.53	1.77	-0.04	1.06	Z
최소	0.0	3.8	71.3	18.1	6.36	1.56	-0.04	0.95	-
최대	0.0	9.9	77.8	18.8	6.76	1.89	-0.01	1.16	-
평균	0.0	6.9	74.6	18.4	6.55	1.74	-0.02	1.06	-
BR1	15.6	58.2	21.8	4.4	2.35	3.15	-0.01	1.27	gmS
BR2	0.2	4.2	74.6	21.0	6.96	1.57	-0.05	1.30	(g)M
BR3	0.0	2.6	68.6	28.8	7.25	1.56	-0.03	1.15	Z
최소	0.0	2.6	21.8	4.4	2.35	1.56	-0.05	1.15	-
최대	15.6	58.2	74.6	28.8	7.25	3.15	-0.01	1.30	-
평균	5.3	21.7	55.0	18.0	5.52	2.09	-0.03	1.24	-

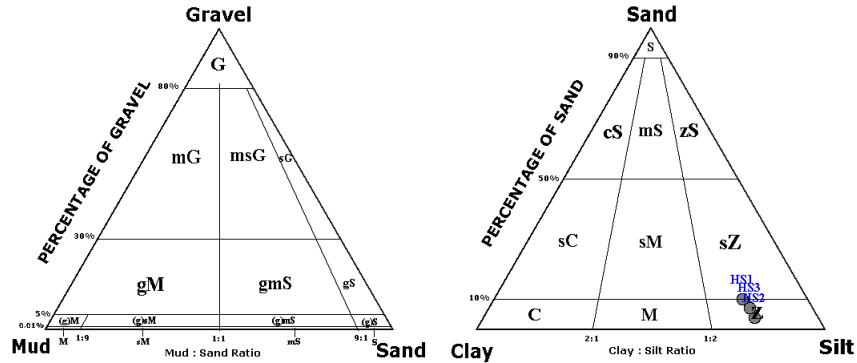
a) 부남호



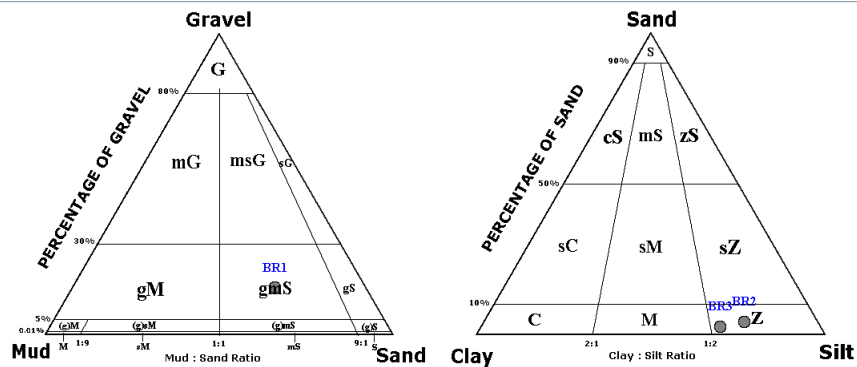
b) 간월호



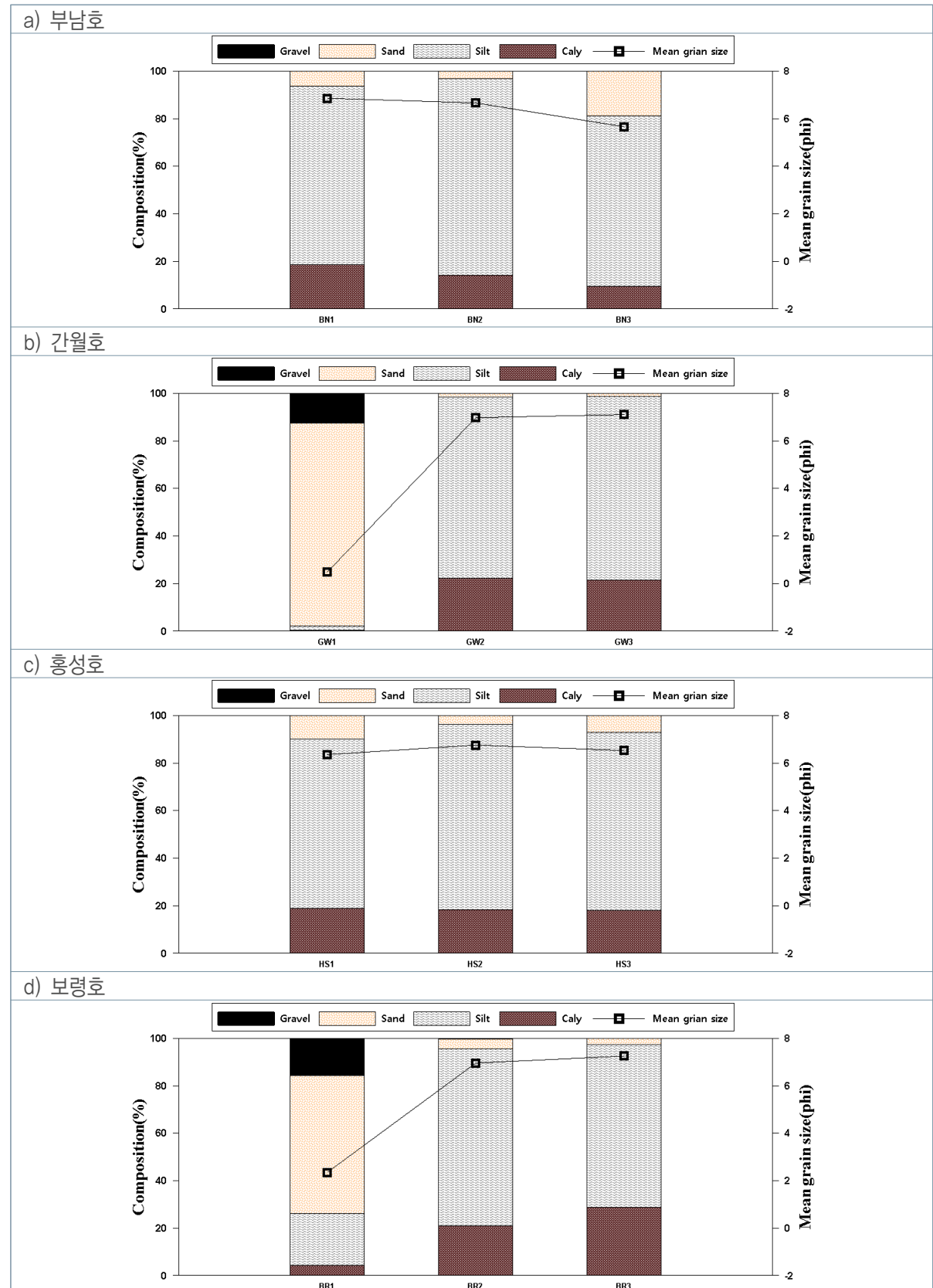
c) 흥성호



d) 보령호



〈그림 5.3-22〉 호소 내 퇴적물의 삼각다이아그램에 따른 퇴적상 분류



〈그림 5.3-23〉 호소 내 퇴적물의 함량비에 따른 퇴적상 분류

나. 함수율

- 간월호 16.8~57.8%(평균 43.6%), 홍성호 38.3~50.4(평균 46.1%), 보령호 43.9~47.2%(평균 45.1%)의 범위로 조사되었다.
- 각 호소별 함수율의 차이는 크지 않지만, 홍성호에서 상대적으로 높은 평균값을 보였다.

다. 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량 : 부남호 15.3~22.5%(평균 18.5%), 간월호 0.6~13.6%(평균 9.1%), 홍성호 6.6~11.2%(평균 9.4%), 보령호 10.4~11.6%(평균 11.0%)의 범위로 조사되었고, 부남호는 다른 호소에 비해 상대적으로 높은 함량을 보였고, GW1 정점을 제외하면 각 호소는 정점 간 일정 수준의 함량을 유지했다.
- 화학적산소요구량 : 간월호 1.2~39.3mg/g(평균 23.6mg/g), 홍성호 25.9~36.0mg/g(평균 32.3mg/g), 보령호 26.9~32.2mg/g(평균 30.1mg/g)의 범위로 조사되었고, 간월호, 홍성호, 보령호는 상류에서 수문으로 갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보이고 있다.
- 간월호 GW1 정점의 강열감량과 화학적산소요구량은 극히 낮은 농도를 나타냈으며, 이는 조립질(입자가 큰) 퇴적물의 영향으로 판단된다.

라. 산취발성황화물(AVS)

- 간월호 0.1~4.3mg/g(평균 2.6 mg/g), 홍성호 1.7~6.4mg/g(평균 3.9mg/g), 보령호 0.7~9.1mg/g(평균 5.1mg/g)의 범위로 조사되었다.
- 홍성호와 보령호는 서로 비슷한 경향을 보였고, 간월호는 홍성호와 보령호에 비해 상대적으로 낮은 농도를 보였다.

마. 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

- 총유기탄소 : 부남호 4.21~6.52%(평균 5.08%), 간월호 0.11~2.95%(평균 1.79%), 홍성호 1.39~2.88%(평균 2.20%), 보령호 1.58~2.82%(평균 2.02%)의 범위로 조사되었다.
- 총질소 : 부남호 5,200~5,300mg/kg(평균 5,233mg/kg), 간월호는 GW1에서 불검출되었으며 GW2에서 4,100mg/kg, GW3에서 3,200mg/kg으로 평균 3,650mg/kg으로 조사되었다. 홍성호는 1,500~3,400mg/kg(평균 2,700mg/kg), 보령호는 1,800~2,900 mg/kg(평균 2,233mg/kg)의 범위를 보였다.

바. 총인(TP)

- 부남호 303.8~1,075.5mg/kg(평균 804.7mg/kg), 간월호 90.4~2,194.5mg/kg(평균 1,047.2mg/kg), 홍성호 449.8~1,055.2mg/kg(평균 699.7mg/kg), 보령호 454.1~1,195.4mg/kg(평균 781.0mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 각 호소의 정점별 분포를 보면 부남호, 홍성호, 보령호는 상류에서 방조제 수문으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 보였고, 간월호는 정반대의 결과를 보였다.

사. 중금속(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Al, Fe, As, Hg)

- 카드뮴(Cd) : 부남호 0.32~0.54mg/kg(평균 0.43mg/kg), 간월호 0.05~0.35mg/kg(평균 0.23mg/kg), 홍성호 0.27~0.31mg/kg(평균 0.29mg/kg), 보령호 0.26~0.34mg/kg(평균 0.30mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 크롬(Cr) : 부남호 55.7~85.9mg/kg(평균 70.8mg/kg), 간월호 6.5~79.1mg/kg(평균 53.7mg/kg), 홍성호 67.9~87.1mg/kg(평균 79.3mg/kg), 보령호 91.4~107.9mg/kg(평균 97.0mg/kg)의 범위로 조사되었다. 간월호에서 가장 낮은 농도를 보였으며, 보령호에서 가장 높은 농도가 조사되었다.
- 구리(Cu) : 부남호 32.6~37.4mg/kg(평균 35.0mg/kg), 간월호 2.5~35.2mg/kg(평균 24.1mg/kg), 홍성호 30.3~46.8mg/kg(평균 40.8mg/kg), 보령호 40.1~51.4mg/kg(평균 47.1mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 니켈(Ni) : 부남호 32.2~42.3mg/kg(평균 37.2mg/kg), 간월호 2.5~41.3mg/kg(평균 27.7mg/kg), 홍성호 31.4~43.1mg/kg(평균 38.8mg/kg), 보령호 45.1~51.7mg/kg(평균 48.6mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 납(Pb) : 부남호 33.9~39.1mg/kg(평균 36.5mg/kg), 간월호 28.0~46.9mg/kg(평균 37.3mg/kg), 홍성호 22.1~33.1mg/kg(평균 28.8mg/kg), 보령호 26.6~32.1mg/kg(평균 29.7mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 아연(Zn) : 부남호 100.3~139.1mg/kg(평균 119.7mg/kg), 간월호 21.1~161.7mg/kg(평균 110.5mg/kg), 홍성호 124.1~199.8mg/kg(평균 170.7mg/kg), 보령호 148.8~234.9mg/kg(평균 186.4mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 망간(Mn) : 부남호 790.5~1,984.6mg/kg(평균 1,387.5mg/kg), 간월호 115.6~849.4mg/kg(평균 563.9mg/kg), 홍성호 341.9~745.7mg/kg(평균 581.9mg/kg), 보령호 296.7~575.0mg/kg(평균 395.1mg/kg)의 범위로 조사되었다.

- 철(Fe) : 부남호 3.2~4.9%(평균 4.1%), 간월호 0.6~4.9%(평균 3.3%), 홍성호 3.1~4.3%(평균 3.9%), 보령호 4.3~4.8%(평균 4.6%)의 범위로 조사되었으며, 모든 호소에서 정점간 유사한 분포를 보였다.
- 알루미늄(Al) : 부남호 6.0~9.5%(평균 7.8%), 간월호 2.9~7.3%(평균 5.8%), 홍성호 4.7~5.8%(평균 5.3%), 보령호 5.1~6.8%(평균 6.1%)의 범위로 조사되었으며, 부남호는 상류에서 방조제 수문으로 갈수록 농도가 낮아졌고, 간월호는 반대의 경향을 보였다. 홍성호와 보령호는 정점 간 차이가 작았다.
- 비소(As) : 부남호 6.1~12.8mg/kg(평균 9.5mg/kg), 간월호 1.3~13.5mg/kg(평균 8.9mg/kg), 홍성호 7.3~10.3mg/kg(평균 9.0mg/kg), 보령호 6.3~7.7mg/kg(평균 6.9mg/kg)의 범위로 조사되었다.
- 수은(Hg) : 부남호 32.9~39.8 μ g/kg(평균 36.4 μ g/kg), 간월호 5.3~43.9 μ g/kg(평균 29.7 μ g/kg), 홍성호 26.9~33.5 μ g/kg(평균 30.9 μ g/kg), 보령호 50.0~66.1 μ g/kg(평균 58.7 μ g/kg)의 범위로 조사되었다.
- 부남호의 퇴적물 내 중금속은 대부분 항목에서 방조제 인근보다 상류 지역에서 높은 농도를 보였으며, 카드뮴(Cd)은 상류 지역보다 방조제에 높은 특징이 나타났다.
- 간월호의 퇴적물 내 모든 중금속은 상류 지역에 비해 중류 및 방조제 인근 지역에서 높은 특성을 보였으며, 특히 중류보다 방조제 인근에서 상대적으로 높은 농도로 조사되었다.
- 홍성호와 보령호의 퇴적물 내 중금속은 상류부터 방조제 인근 지역까지 일정한 농도 수준을 가지는 것으로 조사되었다.

〈표 5.3-5〉 호소 퇴적물의 일반항목 분석 결과

정점	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN	TP
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)	
BN1	—	17.8	—	—	4.52	5,300	1,075.5
BN2	—	15.3	—	—	4.21	5,200	1,034.9
BN3	—	22.5	—	—	6.52	5,200	303.8
최소	—	15.3	—	—	4.21	5,200	303.8
최대	—	22.5	—	—	6.52	5,300	1,075.5
평균	—	18.5	—	—	5.08	5,233	804.7
GW1	16.8	0.6	1.2	0.1	0.11	N/D	90.4
GW2	57.8	13.1	39.3	3.3	2.95	4,100	856.5
GW3	56.1	13.5	30.3	4.3	2.31	3,200	2,194.5
최소	16.8	0.6	1.2	0.1	0.11	3,200	90.4
최대	57.8	13.5	39.3	4.3	2.95	4,100	2,194.5
평균	43.6	9.1	23.6	2.6	1.79	3,650	1,047.2
HS1	49.6	11.2	36.0	1.7	2.88	3,400	1,055.2
HS2	50.4	10.4	35.1	6.4	2.32	3,200	594.3
HS3	38.3	6.6	25.9	3.6	1.39	1,500	449.8
최소	38.3	6.6	25.9	1.7	1.39	1,500	449.8
최대	50.4	11.2	36.0	6.4	2.88	3,400	1,055.2
평균	46.1	9.4	32.3	3.9	2.20	2,700	699.7
BR1	43.9	10.4	32.2	0.7	2.82	2,900	1,195.4
BR2	47.2	11.6	26.9	9.1	1.66	2,000	693.5
BR3	44.2	11.1	31.3	5.6	1.58	1,800	454.1
최소	43.9	10.4	26.9	0.7	1.58	1,800	454.1
최대	47.2	11.6	32.2	9.1	2.82	2,900	1,195.4
평균	45.1	11.0	30.1	5.1	2.02	2,233	781.0

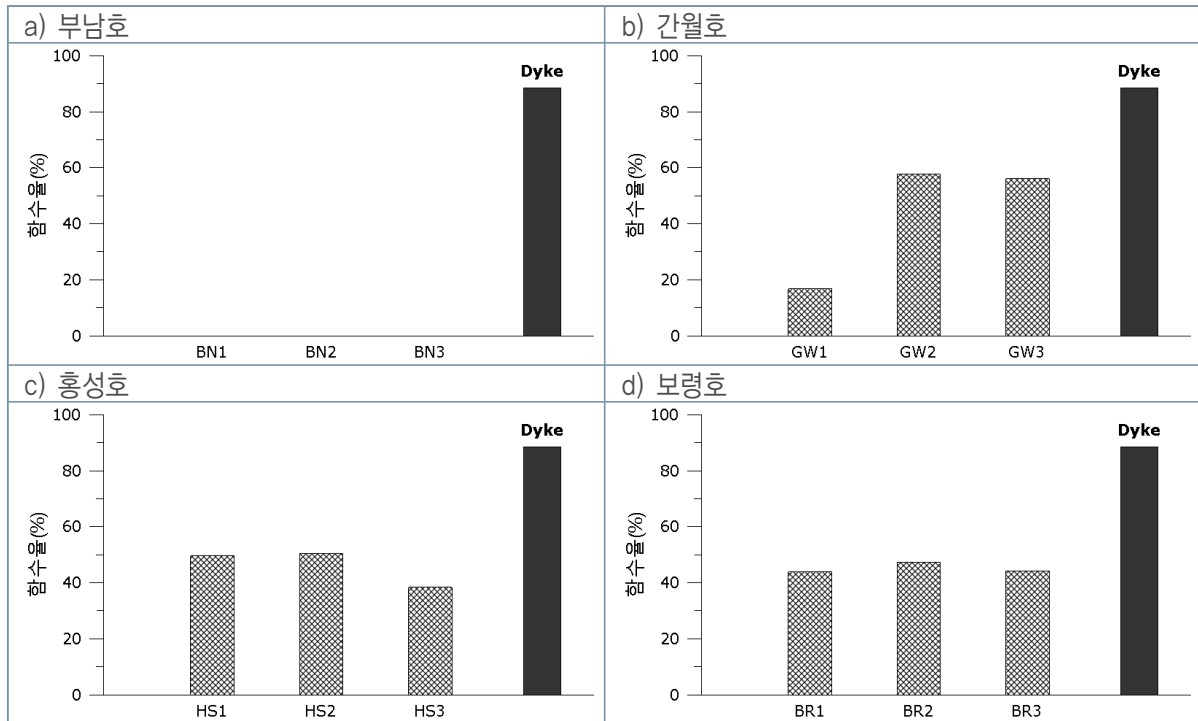
* N/D : not detected

〈표 5.3-6〉 호소 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과

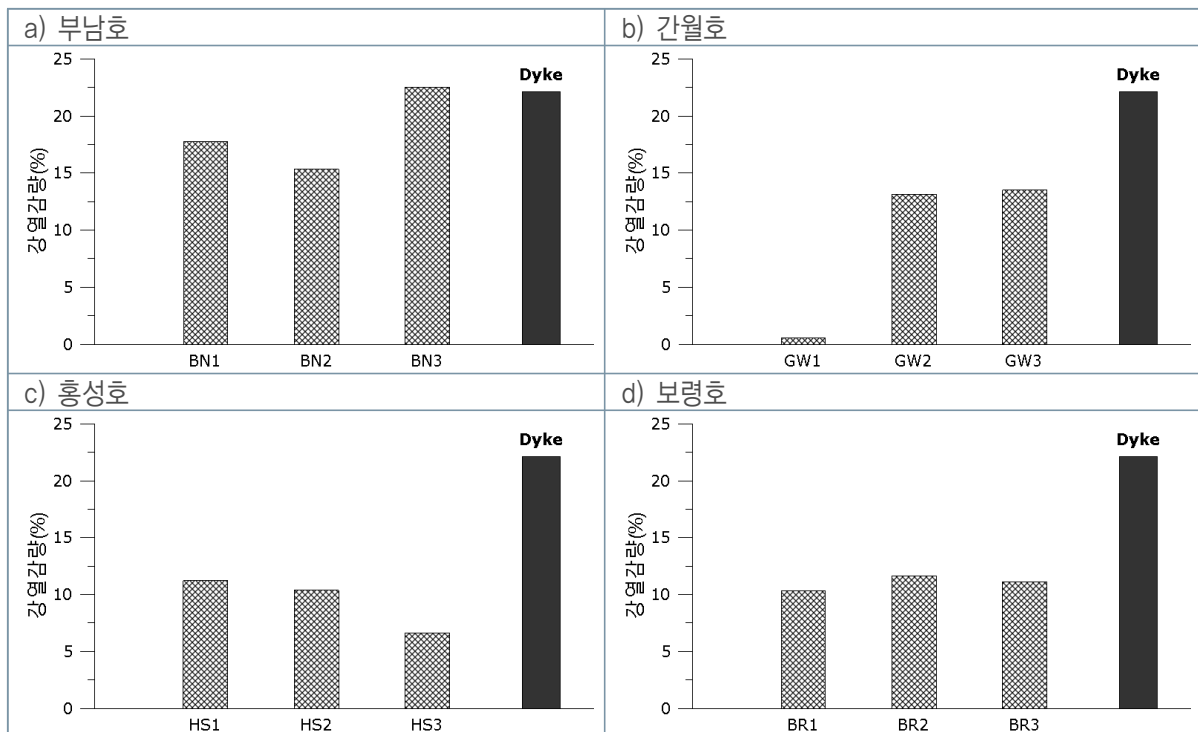
정점	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	(mg/kg)					
BN1	0.32	85.9	37.4	42.3	39.1	139.1
BN2	—	—	—	—	—	—
BN3	0.54	55.7	32.6	32.2	33.9	100.3
최소	0.32	55.7	32.6	32.2	33.9	100.3
최대	0.54	85.9	37.4	42.3	39.1	139.1
평균	0.43	70.8	35.0	37.2	36.5	119.7
GW1	0.05	6.5	2.5	2.5	28.0	21.1
GW2	0.31	75.3	34.6	39.3	37.0	148.6
GW3	0.35	79.1	35.2	41.3	46.9	161.7
최소	0.05	6.5	2.5	2.5	28.0	21.1
최대	0.35	79.1	35.2	41.3	46.9	161.7
평균	0.23	53.7	24.1	27.7	37.3	110.5
HS1	0.27	87.1	46.8	43.1	31.3	199.8
HS2	0.31	83.0	45.3	41.9	33.1	188.2
HS3	0.28	67.9	30.3	31.4	22.1	124.1
최소	0.27	67.9	30.3	31.4	22.1	124.1
최대	0.31	87.1	46.8	43.1	33.1	199.8
평균	0.29	79.3	40.8	38.8	28.8	170.7
BR1	0.26	107.9	51.4	51.7	26.6	234.9
BR2	0.30	91.4	40.1	45.1	32.1	148.8
BR3	0.34	91.8	49.9	49.1	30.5	175.5
최소	0.26	91.4	40.1	45.1	26.6	148.8
최대	0.34	107.9	51.4	51.7	32.1	234.9
평균	0.30	97.0	47.1	48.6	29.7	186.4

〈표 5.3-6〉 호소 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과(계속)

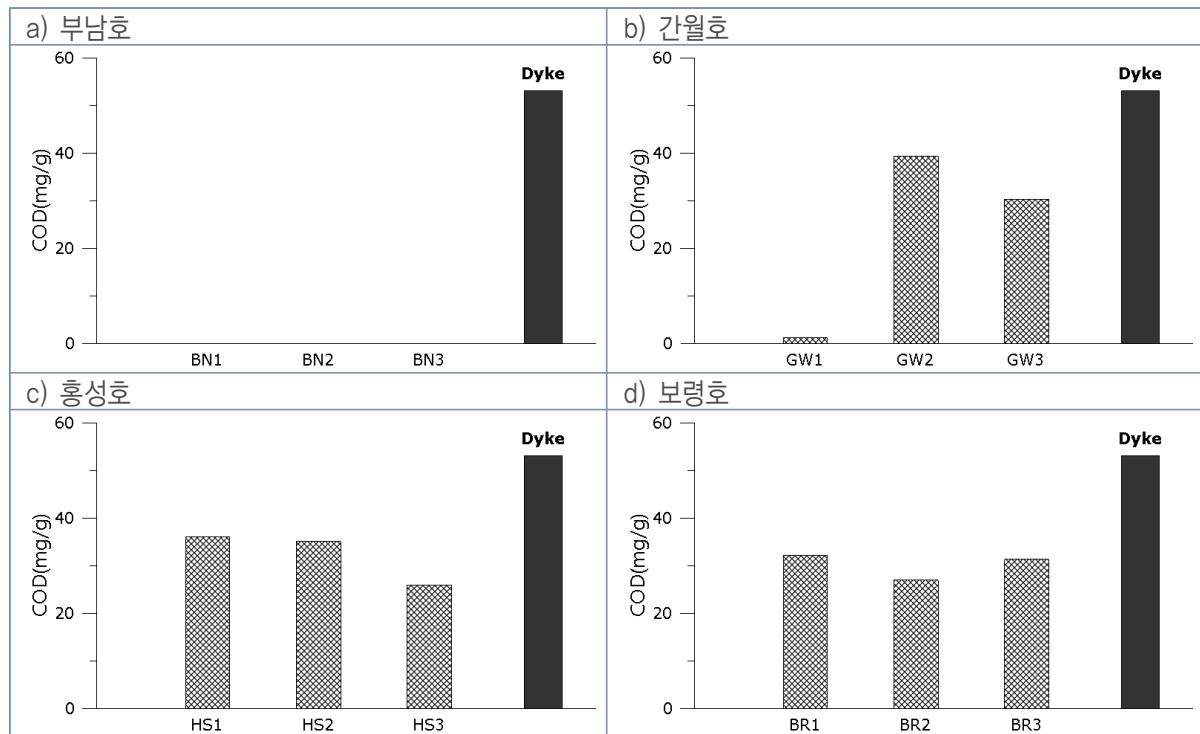
정점	Mn	Fe	Al	As	Hg
	(mg/kg)				
BN1	1,984.6	4.9	9.5	12.8	39.8
BN2	—	—	—	—	—
BN3	790.5	3.2	6.0	6.1	32.9
최소	790.5	3.2	6.0	6.1	32.9
최대	1,984.6	4.9	9.5	12.8	39.8
평균	1,387.5	4.1	7.8	9.5	36.4
GW1	115.6	0.6	2.9	1.3	5.3
GW2	726.5	4.4	7.3	11.9	39.9
GW3	849.4	4.9	7.1	13.5	43.9
최소	115.6	0.6	2.9	1.3	5.3
최대	849.4	4.9	7.3	13.5	43.9
평균	563.9	3.3	5.8	8.9	29.7
HS1	745.7	4.3	5.4	9.3	32.4
HS2	658.0	4.2	5.8	10.3	33.5
HS3	341.9	3.1	4.7	7.3	26.9
최소	341.9	3.1	4.7	7.3	26.9
최대	745.7	4.3	5.8	10.3	33.5
평균	581.9	3.9	5.3	9.0	30.9
BR1	575.0	4.6	6.5	6.3	50.0
BR2	313.6	4.8	6.8	6.5	60.0
BR3	296.7	4.3	5.1	7.7	66.1
최소	296.7	4.3	5.1	6.3	50.0
최대	575.0	4.8	6.8	7.7	66.1
평균	395.1	4.6	6.1	6.9	58.7



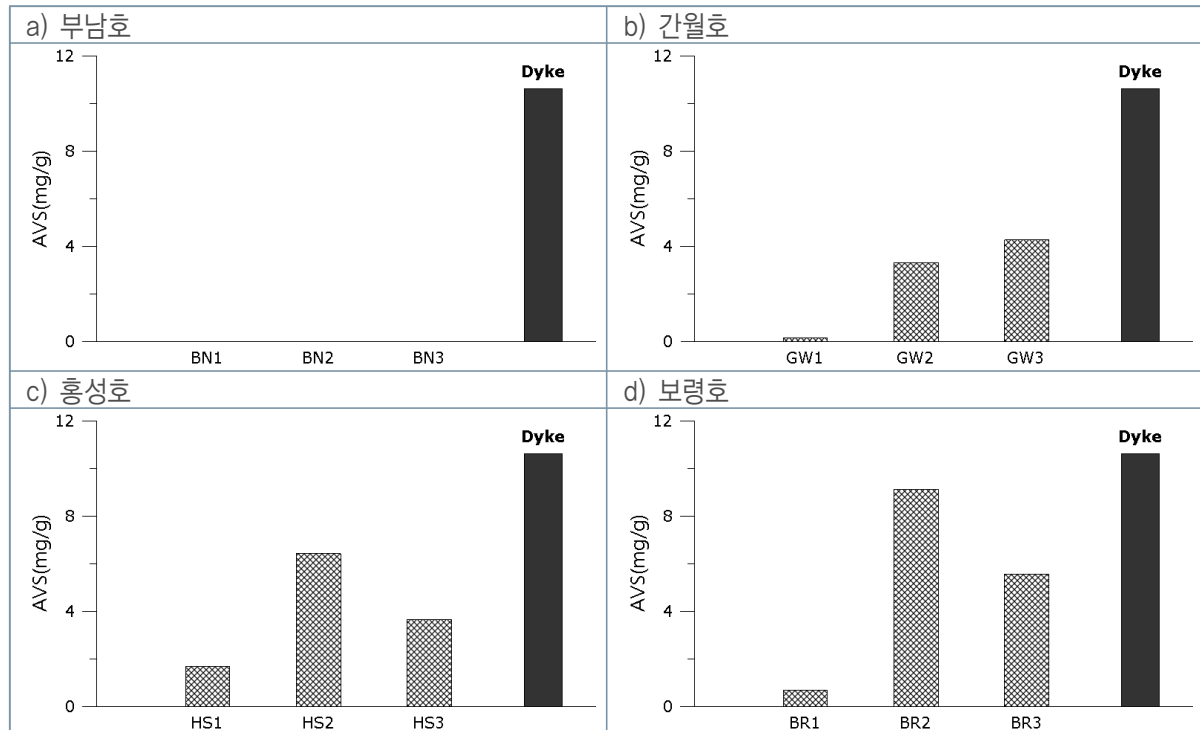
〈그림 5.3-24〉 호소 퇴적물 내 함수율의 정점별 분포



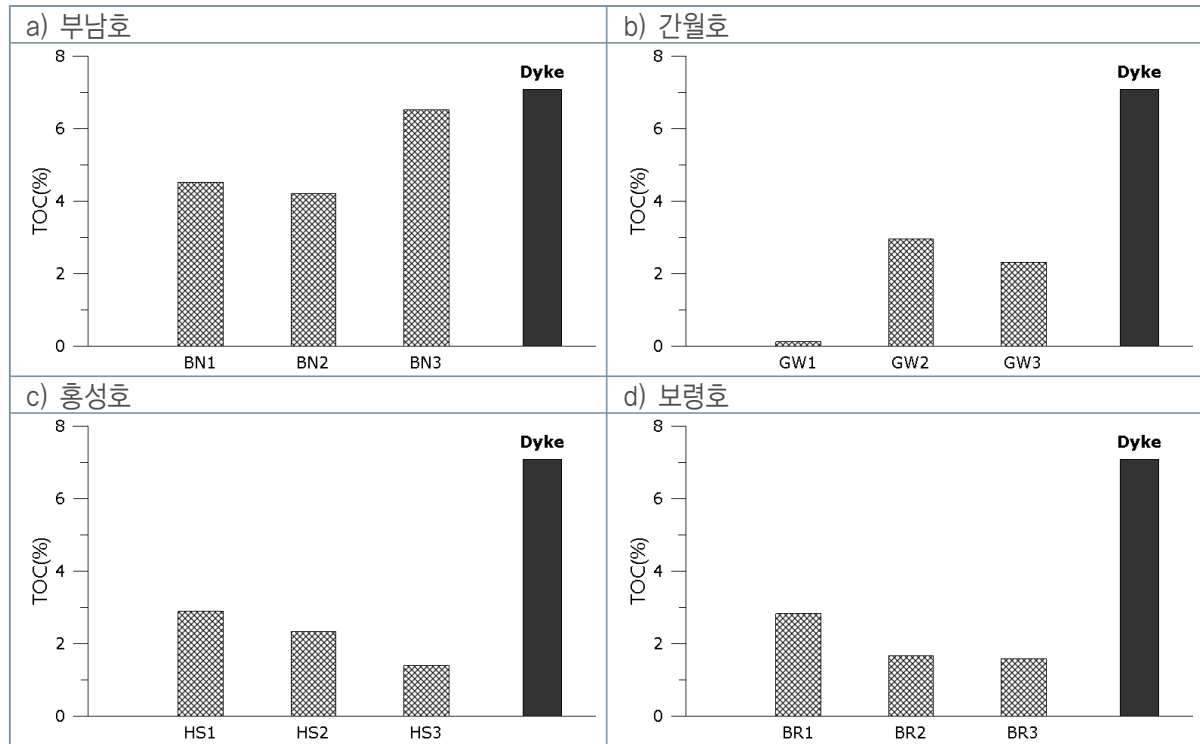
〈그림 5.3-25〉 호소 퇴적물 내 강열감량(IL)의 정점별 분포



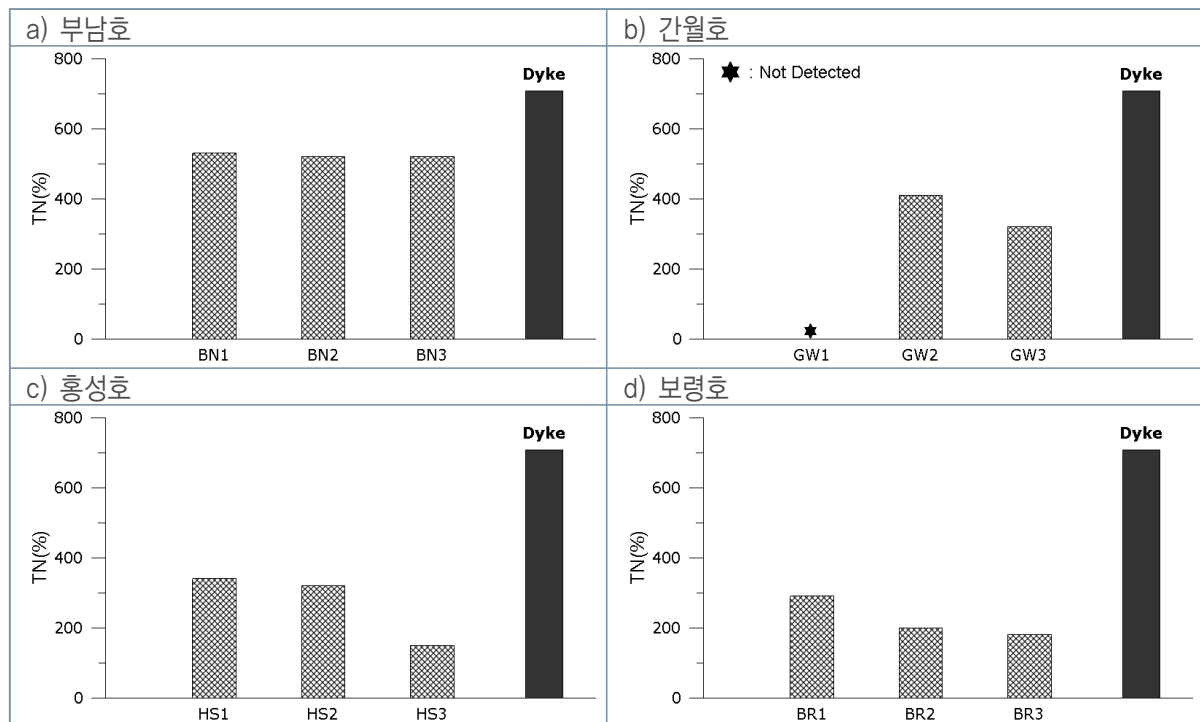
〈그림 5.3-26〉 호소 퇴적물 내 화학적산소요구량(COD)의 정점별 분포



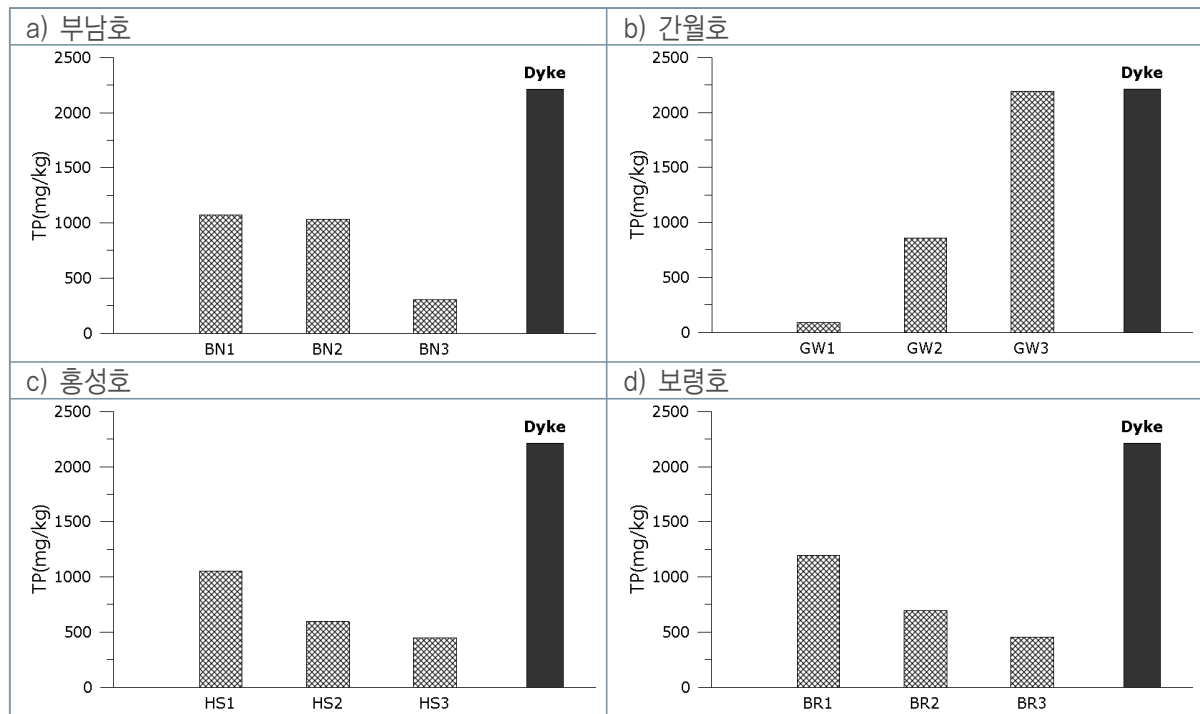
〈그림 5.3-27〉 호소 퇴적물 내 산화발성황화물(AVS)의 정점별 분포



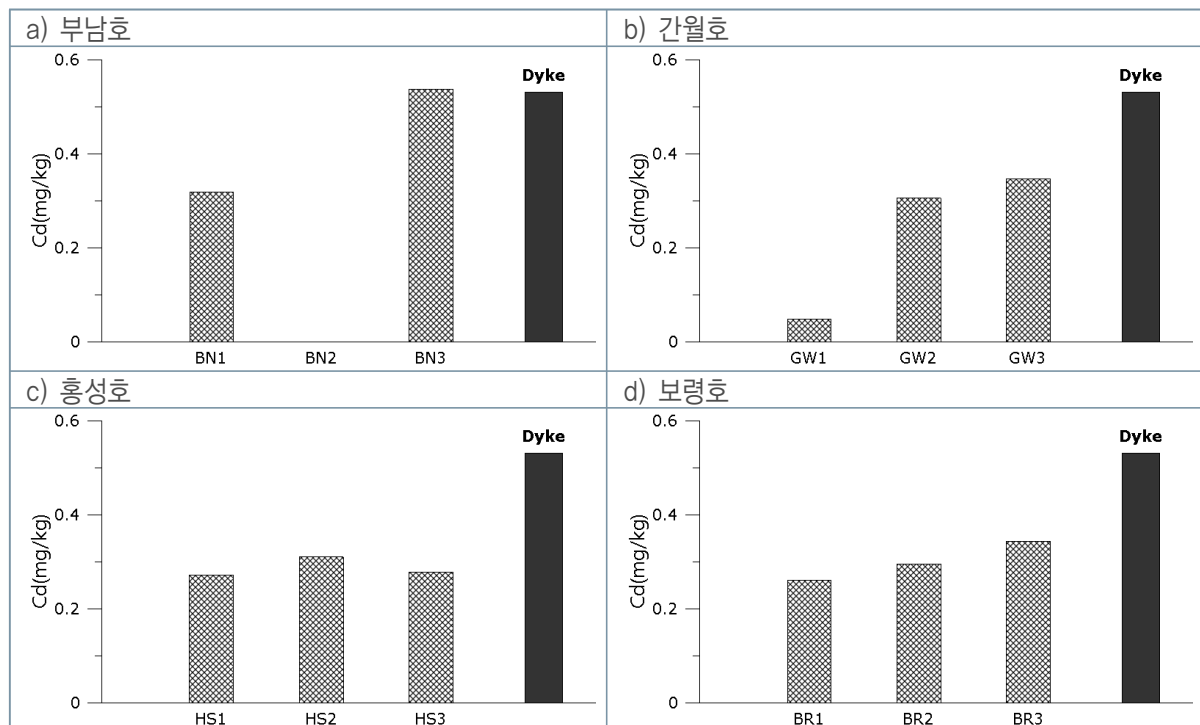
〈그림 5.3-28〉 호소 퇴적물 내 총유기탄소(TOC)의 정점별 분포



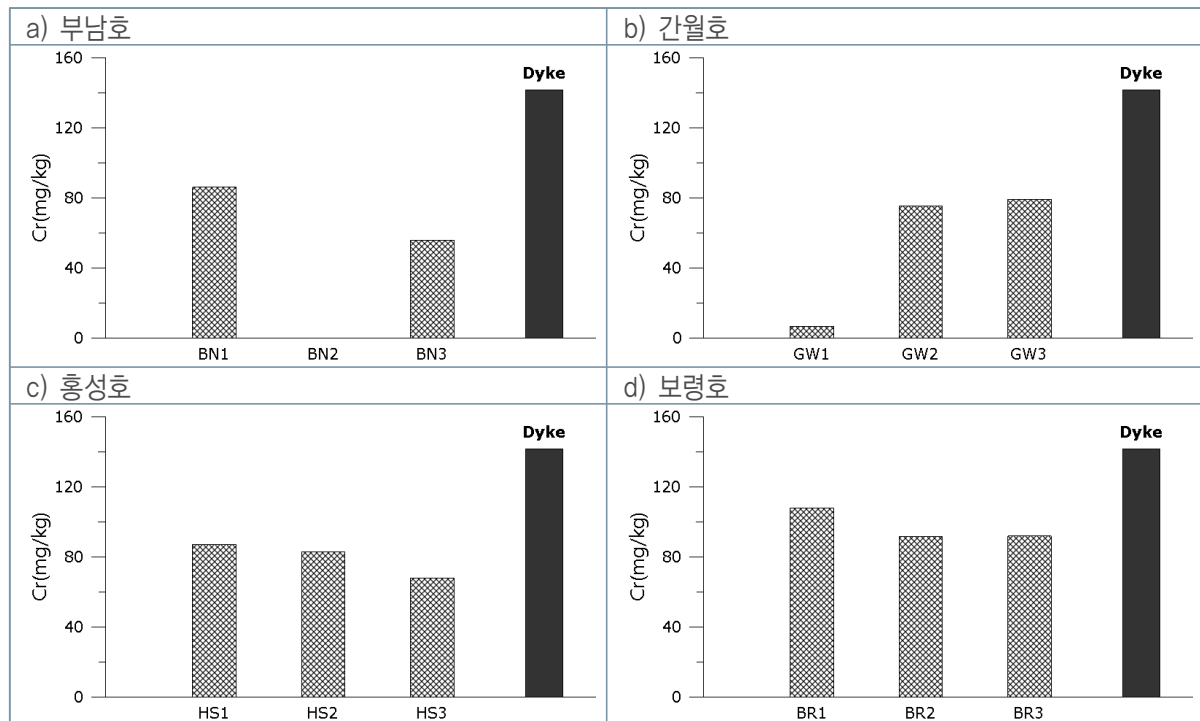
〈그림 5.3-29〉 호소 퇴적물 내 총질소(TN)의 정점별 분포



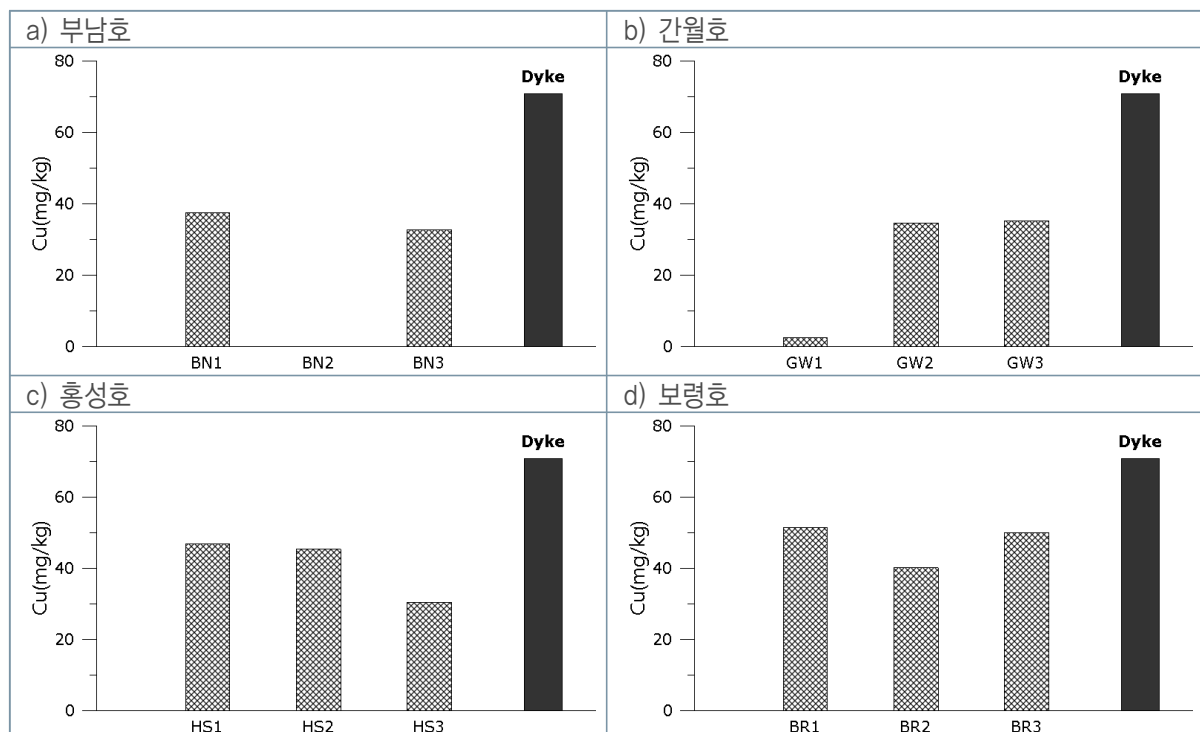
〈그림 5.3-30〉 호소 퇴적물 내 총인(TP)의 정점별 분포



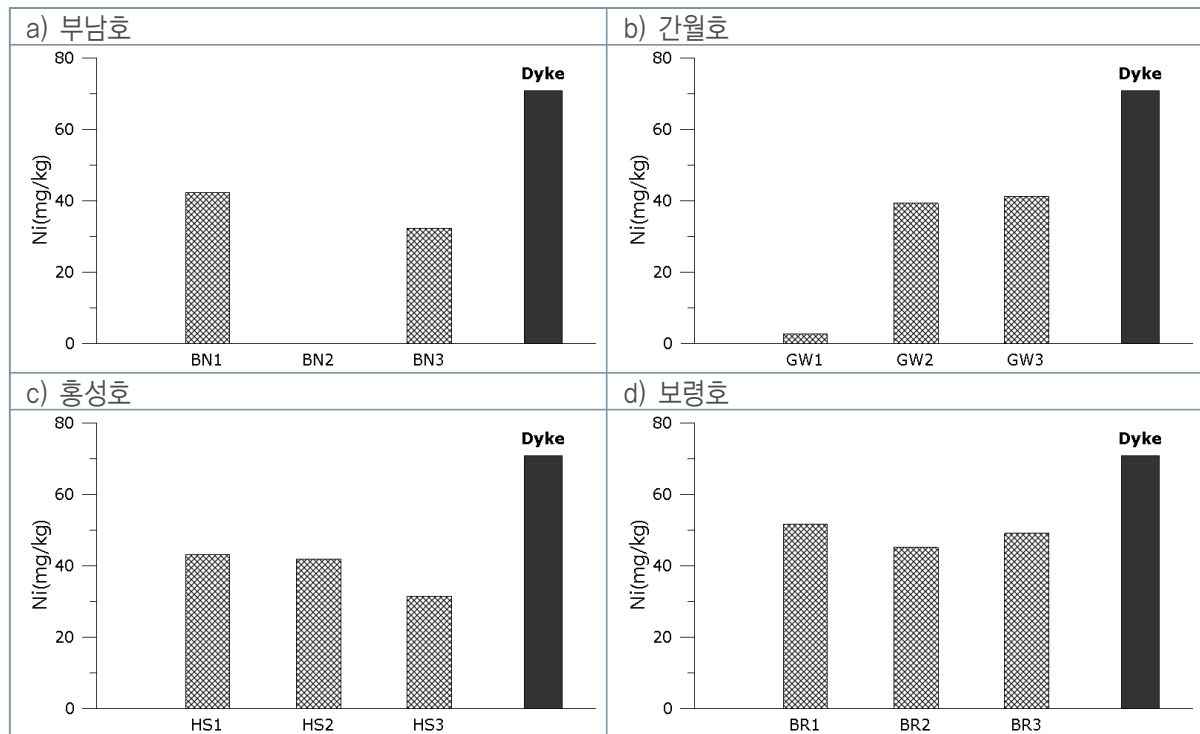
〈그림 5.3-31〉 호소 퇴적물 내 카드뮴(Cd)의 정점별 분포



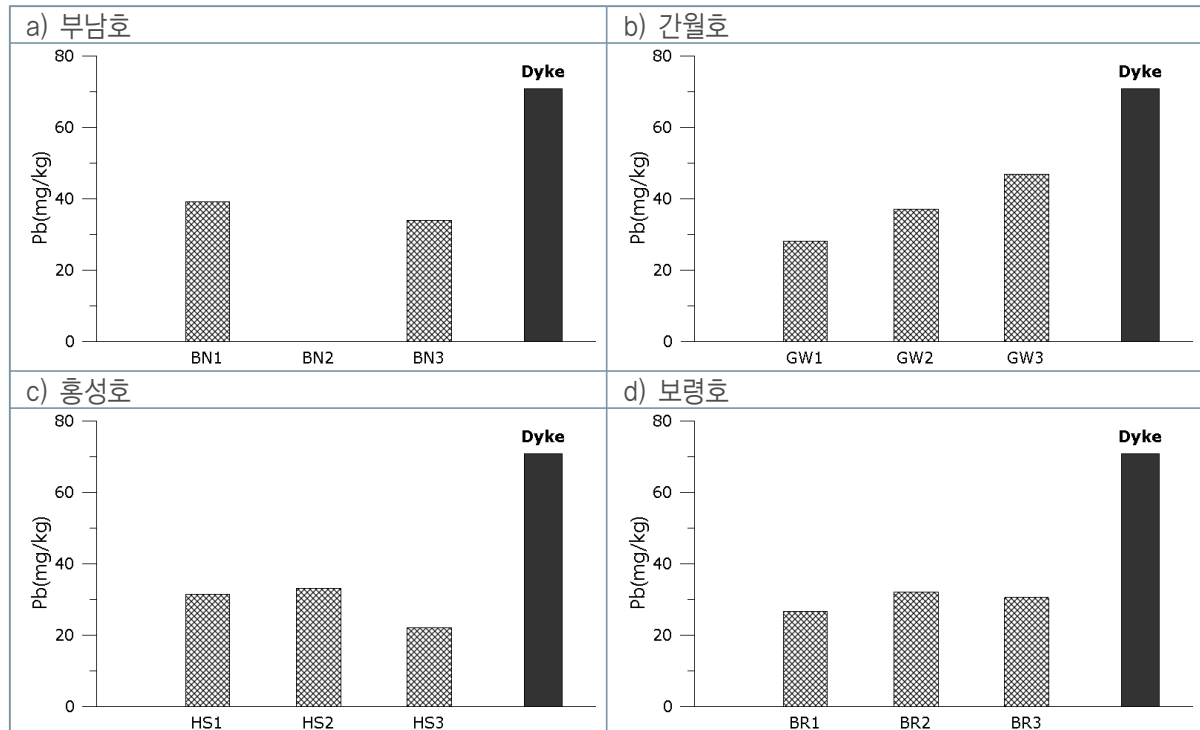
〈그림 5.3-32〉 호소 퇴적물 내 크롬(Cr)의 정점별 분포



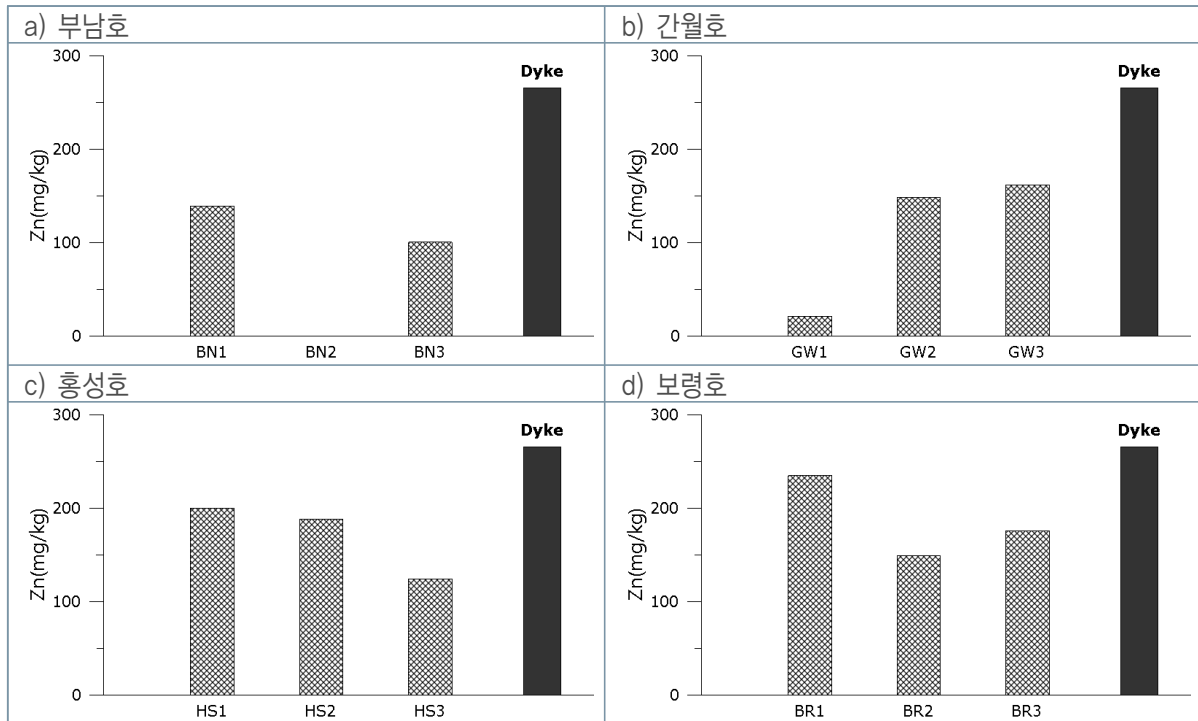
〈그림 5.3-33〉 호소 퇴적물 내 구리(Cu)의 정점별 분포



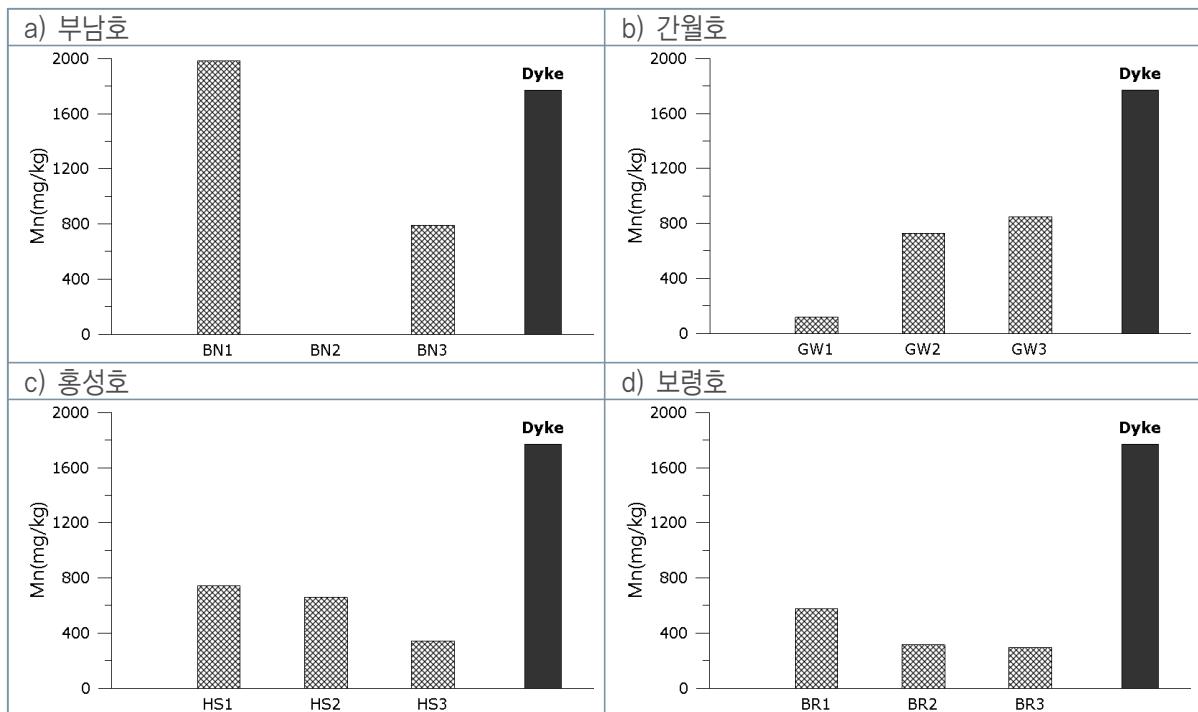
<그림 5.3-34> 호소 퇴적물 내 니켈(Ni)의 정점별 분포



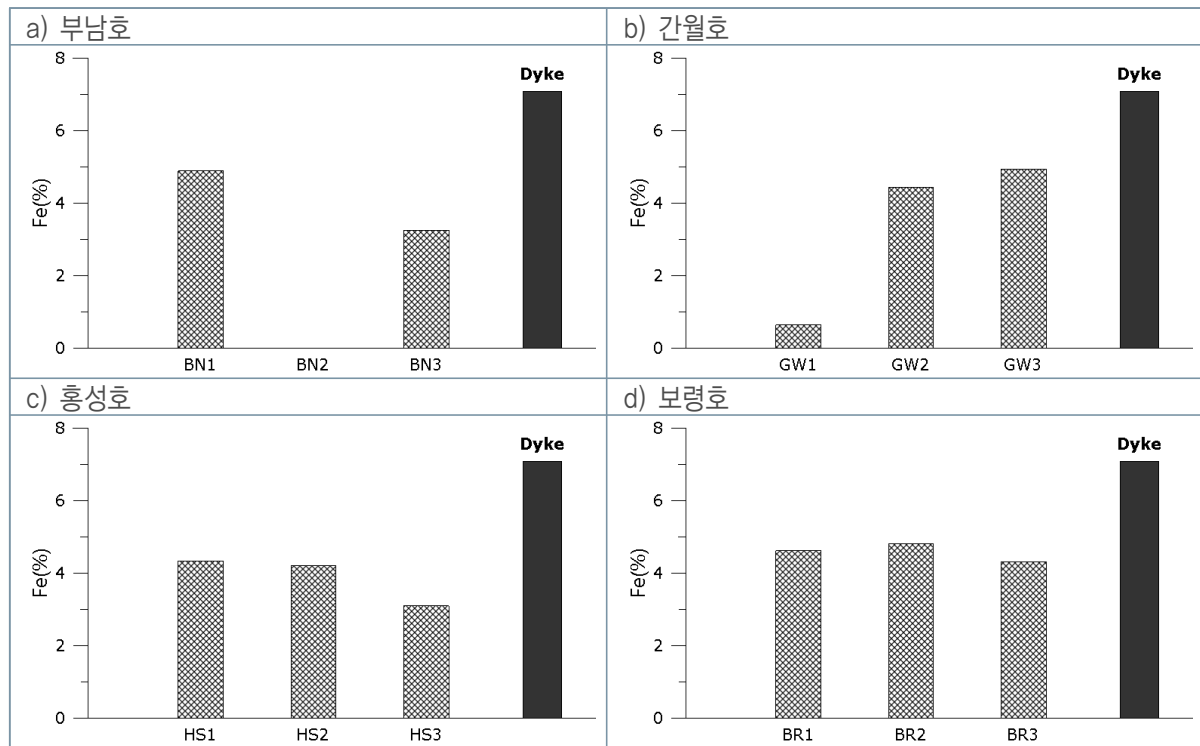
<그림 5.3-35> 호소 퇴적물 내 납(Pb)의 정점별 분포



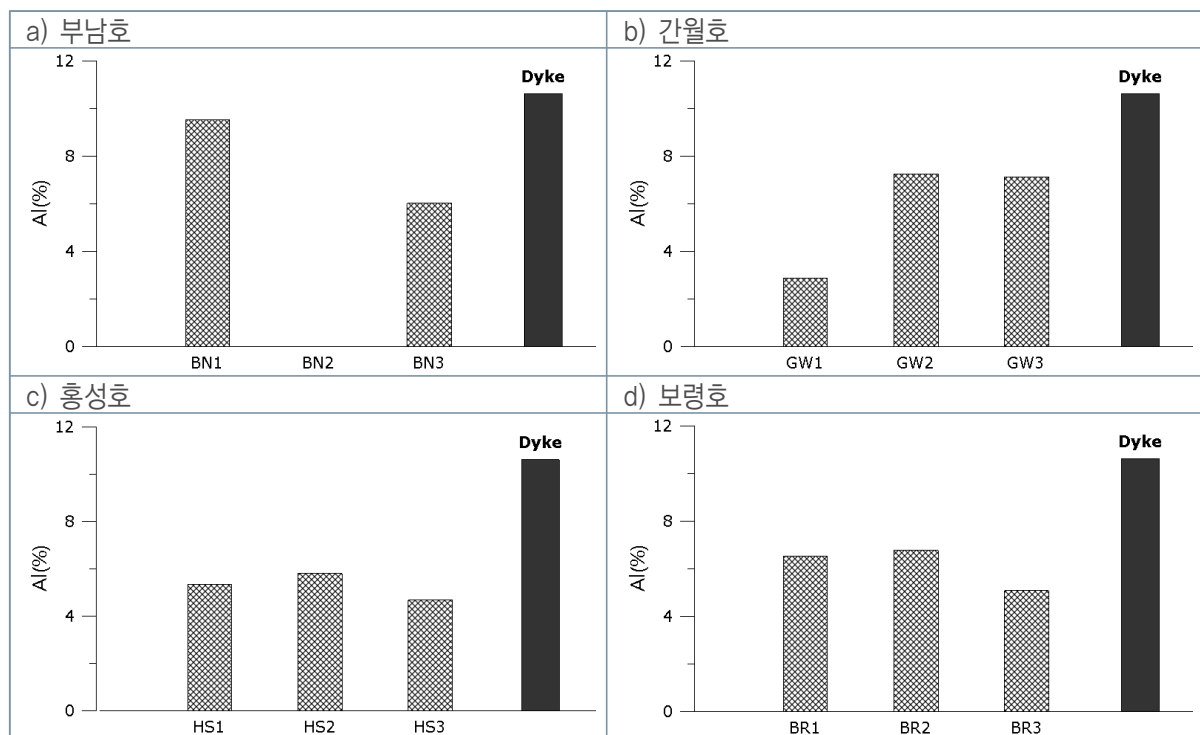
〈그림 5.3-36〉 호소 퇴적물 내 아연(Zn)의 정점별 분포



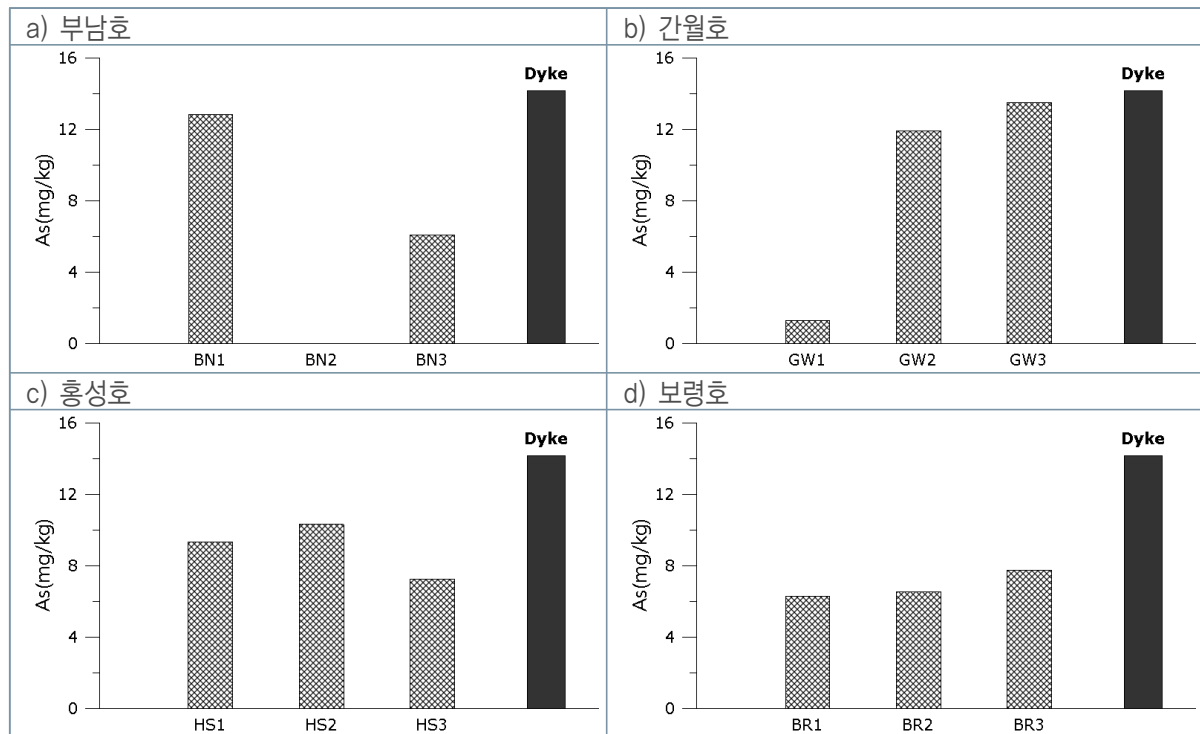
〈그림 5.3-37〉 호소 퇴적물 내 망간(Mn)의 정점별 분포



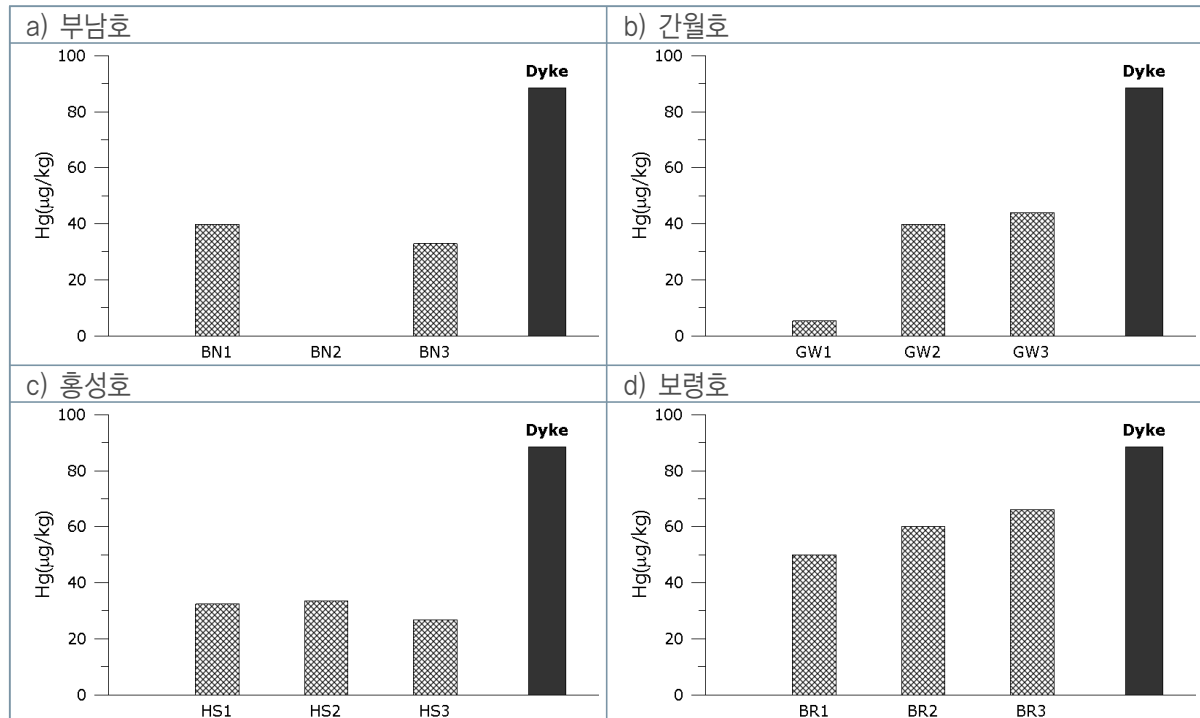
<그림 5.3-38> 호소 퇴적물 내 철(Fe)의 정점별 분포



<그림 5.3-39> 호소 퇴적물 내 알루미늄(Al)의 정점별 분포



〈그림 5.3-40〉 호소 퇴적물 내 비소(As)의 정점별 분포



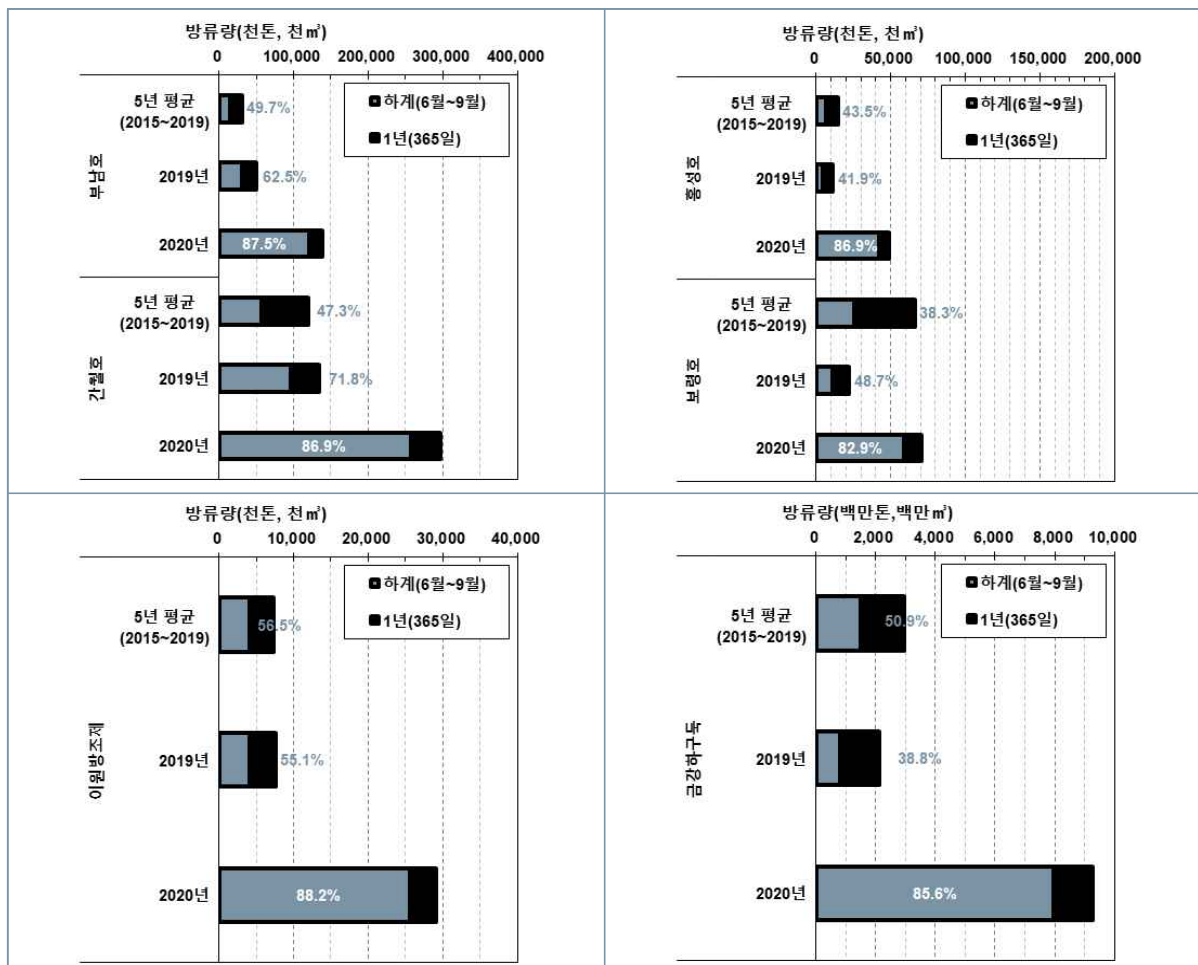
〈그림 5.3-41〉 호소 퇴적물 내 수은(Hg)의 정점별 분포

5.3.4. 담수 방류

- 호소는 호수와 늪을 합쳐 만든 용어로서 내륙의 와지에 있는 정수괴를 총칭한다.
- 법적 정의로는 댐, 보 또는 독을 쌓아 하천, 계속에 흐르는 물을 가두어 두는 곳 또는 저수지, 하천에 흐르는 물이 자연적으로 가두어 지는 곳으로 규정되어 있다.
 - 호소는 “~~호”, “~~독”, 또는 “~~방조제” 등으로 불린다.
- 한국농어촌공사는 호소가 폐쇄성 또는 준폐쇄성 형태이고 물의 체류 시간이 길며, 연중 수질 변화가 거의 없고 N(질소)와 P(인) 등 오염물질의 유입에 의한 녹조 발생, 부영양화 등으로 수자원의 가치가 낮다고 명시했다(한국농어촌공사, 2020).
- 또한, 호소의 담수는 주변 농경지의 농업용수 확보를 목적으로 담수를 저장하고 있으며, 강우, 장마, 태풍 등 관리 수위를 넘는 담수가 유입되면, 배수갑문을 열어 외해(해역)으로 방류하여 호소의 수위를 조절하고 있다.
- 육상에서 유입되는 담수에는 영양염류가 많이 포함되어 있으므로 해양환경에 도움이 될 수 있으나, 방류되는 담수는 오염물질이 장기간 농축되어 수질이 악화되어 있어 해양환경에 악영향을 미치고 있다.
- 충청남도는 총 279개의 크고 작은 방조제를 보유하고 있으며, '18년, '19년 용역을 통해 천수만 4개 호소의 수질이 악화되어 있고, 방류를 통해 외해에 미치는 영향을 제시했다.
- 환경정책기본법 시행령의 호소 수질 기준인 COD('15년까지 적용), TOC를 살펴보면 COD는 천수만 4개 호소에서 VI등급(매우 나쁨)을 초과했고, TOC 또한 VI(매우 나쁨)을 초과하거나 근접한 수치를 보여줬다.
- '20년 용역에는 호소 수질 자료의 연속성 확보와 정기조사를 통해 이상치(특정 수질 항목)를 보이는 정점 인근 방조제의 방류량과 수질을 분석했다.
 - 조사대상 : 부남호, 간월호, 홍성호, 보령호, 이원방조제(추가), 금강하구둑(추가)
- 방류량 자료는 각 호소의 관리 주체 기관을 통해 입수했다. 부남호의 경우, 2019년 이후 방류량을 산정하지 않다는 답변을 받았으며, 기존(2018년 이전) 산정방식을 전달받아 용역수행기관에서 자체적으로 산정했다.
- 수질 자료는 각 호소의 관리 주체 기관과 환경부 물환경정보시스템, 본 용역의 '18년, '19년 결과를 사용했다.
 - 한국농어촌공사 : 간월호, 홍성호, 보령호, 이원방조제, 금강하구둑
 - 현대서사농장 : 부남호
 - 자료기간 : '16년 ~ '20년

가. 방류량

- '20년 하계 중부지방은 54일간의 장마와 5개의 태풍(8호 바비, 9호 마이삭, 10호 하이선)의 영향으로 수위 관리를 위해 호소의 방류량이 폭증하였다.
- 호소는 평년 하계(6월~9월)에 전체방류량의 약 50%를 해역으로 방류하였으나, '20년에는 80% 이상을 하계(6월~9월)에 방류하였다.
 - 부남호 87.5%, 간월호 86.9%, 홍성호 86.9%, 보령호 82.9%, 이원방조제 88.2%, 금강하구둑 85.6%
- '20년과 '19년을 비교하면 1년(365일) 기준으로 2.8~4.4배 많은 양의 담수를 방류하였고, 하계(6월~9월) 기준으로 2.7배~9.7배 많이 방류하였다.
 - 1년 기준 : 부남호 2.8배, 간월호 2.2배, 홍성호 4.3배, 보령호 3.2배, 이원방조제 4.4배, 금강하구둑 3.8배
 - 하계 기준 : 부남호 3.9배, 간월호 2.7배, 홍성호 9.0배, 보령호 5.4배, 이원방조제 6.1배, 금강하구둑 9.7배
- '20년 각 호소 방류량은 부남호 137 백만톤, 간월호 297 백만톤, 홍성호 49 백만톤, 보령호 70 백만톤, 이원방조제 29 백만톤, 금강하구둑 9,283 백만톤으로 산정되었다.

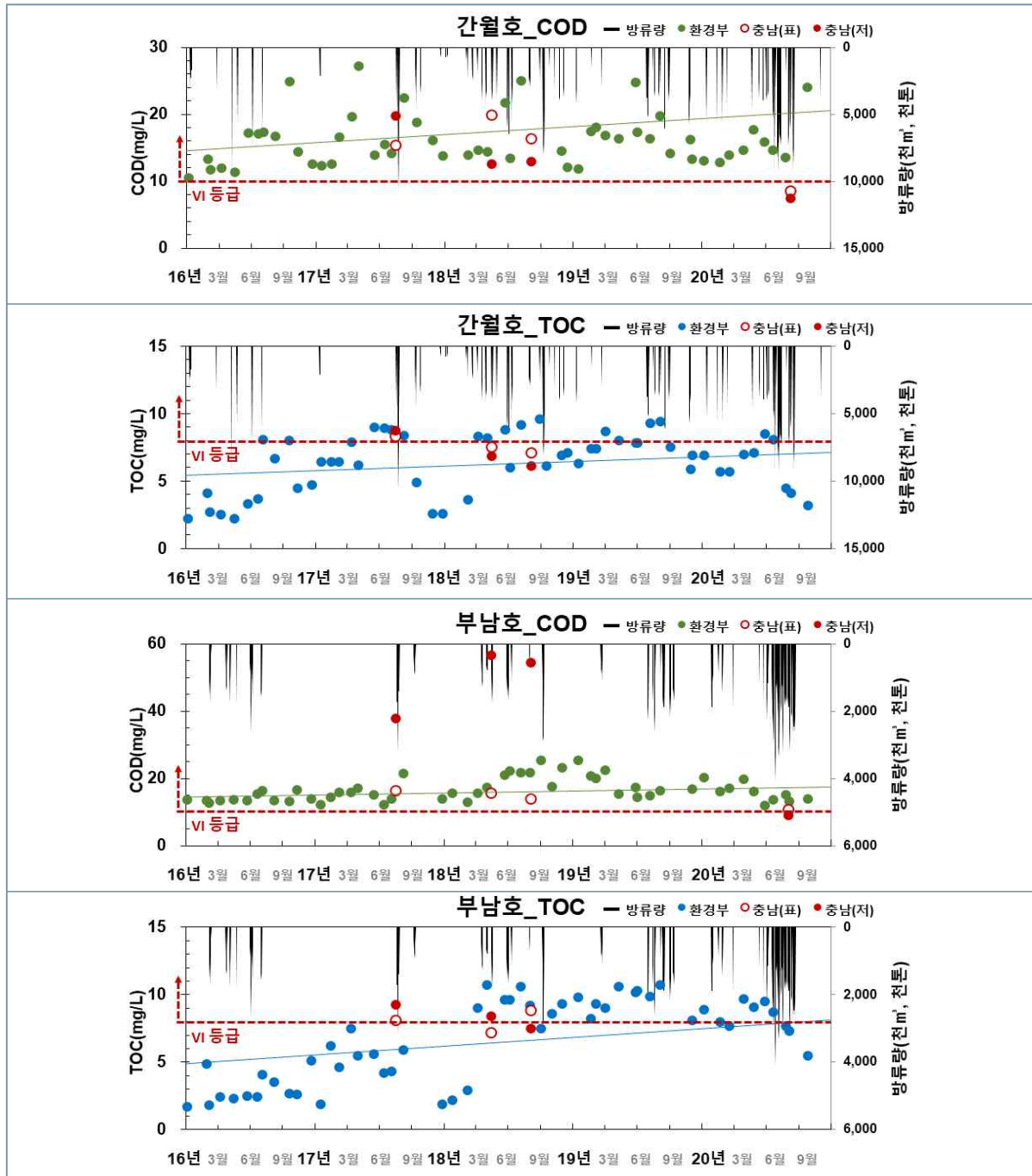


〈그림 5.3-42〉 호소 방류량 비율

나. 방류량-수질 상관관계(부남호, 간월호, 흥성호, 보령호)

1) 간월호, 부남호

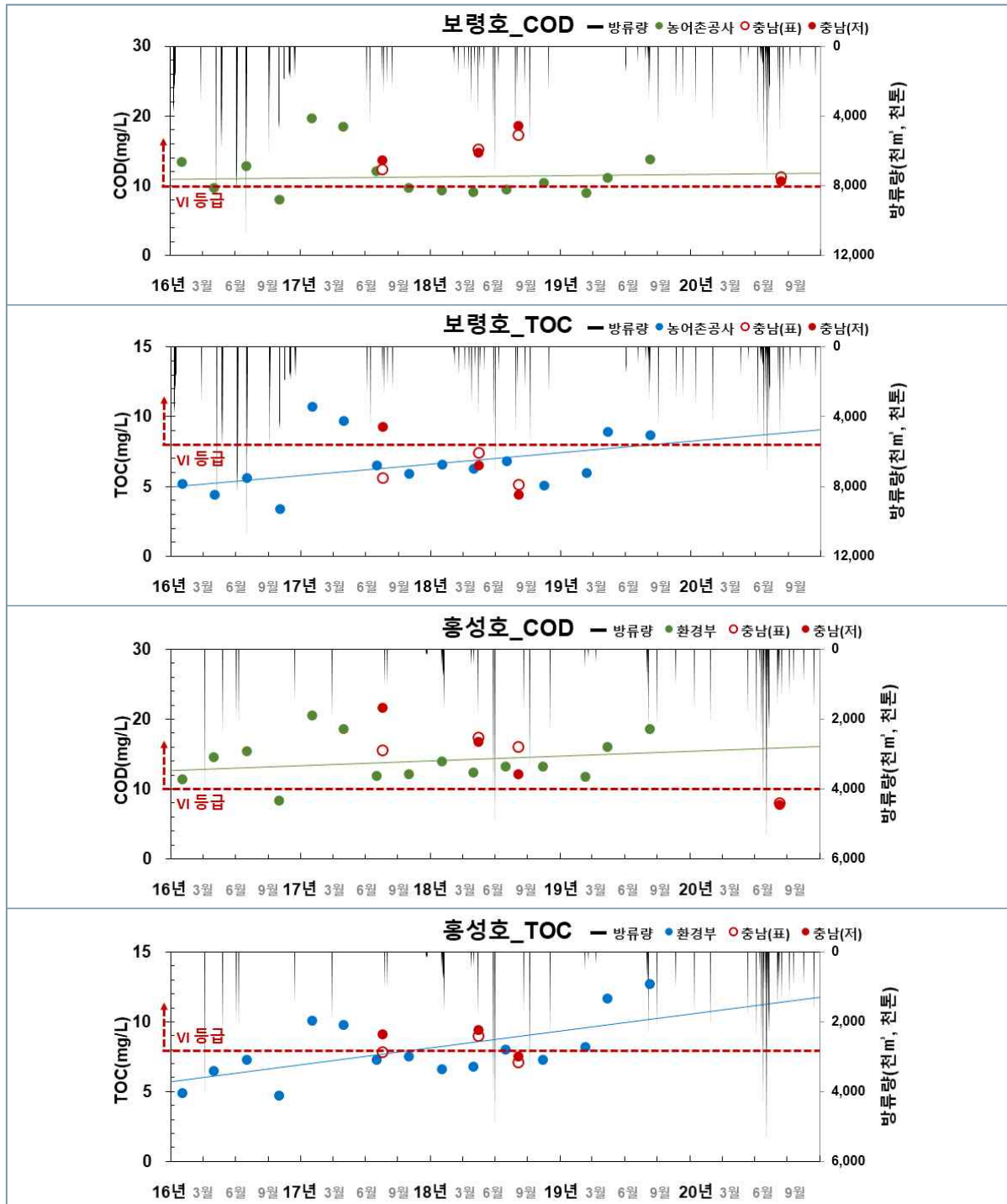
- COD를 살펴보면, 간월호와 부남호 모두 '16년 이후 VI등급(매우 나쁨)을 초과하고 있다.
- TOC는 간월호에서 하계에 VI등급을 초과하고 부남호는 '18년 이후 VI등급을 초과했다.
- 두 호소 모두 '20년 장기간의 방류영향으로 COD와 TOC가 일시적으로 감소했다.



<그림 5.3-43> 방류량-수질 관계(간월호, 부남호)

2) 홍성호, 보령호

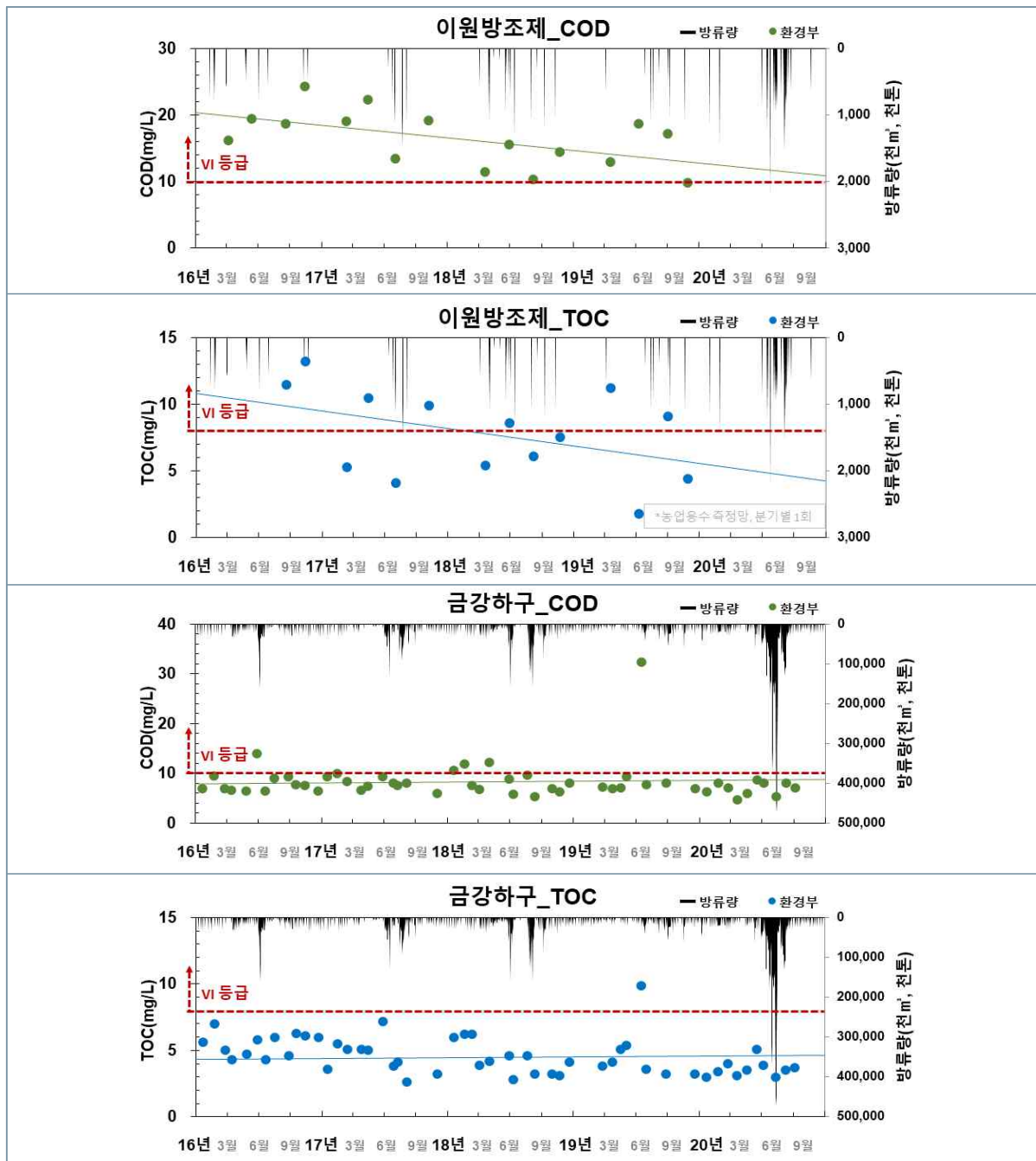
- 수질 자료는 농어촌공사 자체 분석자료를 사용했으며, 두 호소 모두 '17년 이후 COD와 TOC가 VI을 초과하거나 근접한 수치를 나타내고 있다.
- 한국농어촌공사는 2020년 분석자료 공표하지 않음(2021.01, 현재)



〈그림 5.3-44〉 방류량-수질 관계(보령호, 홍성호)

3) 이원방조제, 금강하구둑

- 이원방조제는 계절별로 수치의 차이가 큰 것으로 나타났으나, COD는 VI등급을 초과했고, TOC는 특정 시기에 VI등급을 초과했다.
- 금강하구의 COD와 TOC는 대부분 VI등급을 초과하지 않으며, 방류에 따라 수치의 증감이 다른 호소에 비해 적게 나타났다.
- 평상시에도 지속적인 방류로 인해 수질이 유지되는 것으로 판단된다.

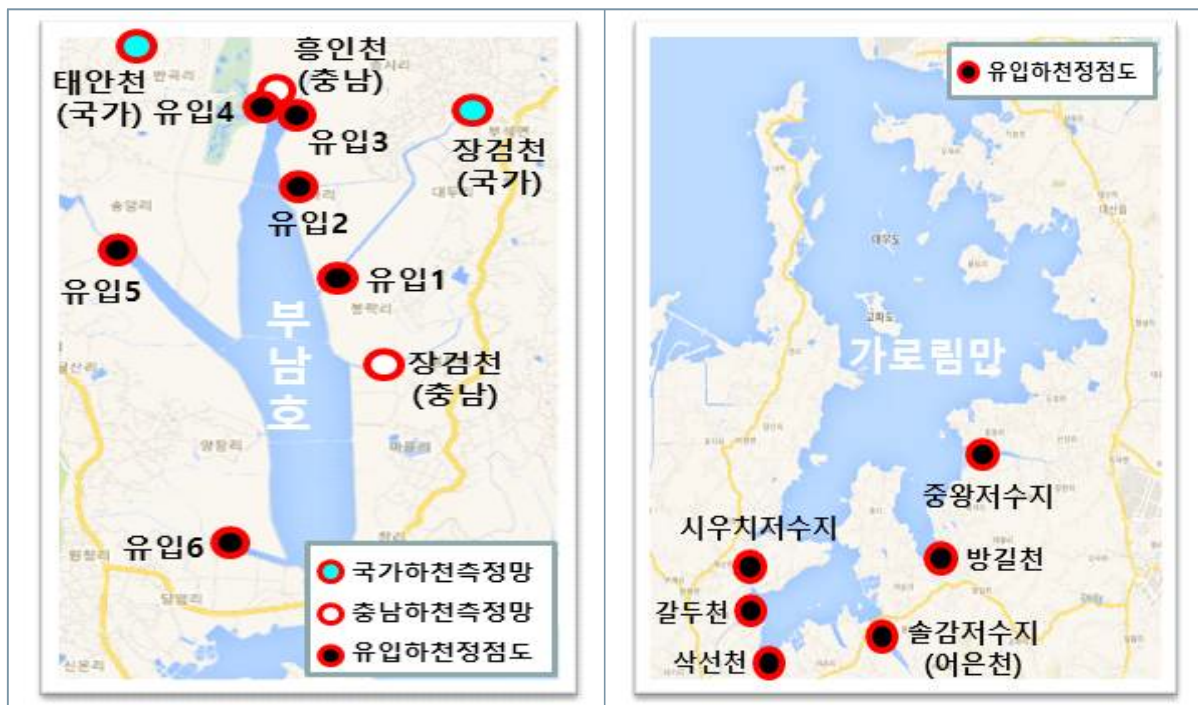


〈그림 5.3-45〉 방류량-수질 관계(이원방조제, 금강하구둑)

5.4. 특별조사Ⅲ - 유입하천

5.4.1. 조사 개요

- 현재 천수만 4개 호소의 수질은 VI등급(COD, TOC 기준) 수준으로 측정되고 있으며, 수질 개선이 필요한 실정이다.
- 이를 위해 호소 내부 준설과 점진적 하구복원 등 호소의 수질 개선을 위한 다양한 정책이 논의되고 있다.
- 본 용역에서는 호소 내부 담수가 장기간 오염물질을 농축하면서 수질이 악화되는 것 이외에 외부에서 호소로 유입되는 담수가 호소 수질 오염에 미치는 영향을 파악하기 위해 호소로 유입되는 하천들에 대한 수질 및 퇴적물 조사를 수행하였다.
- 대상 호소는 현재 수질이 지속적으로 악화되고 있는 부남호('18년 이후 TOC VI초과)로 선정했으며, 육상에서의 담수 유입이 많은 가로림만도 대상지로 선정하였다.
 - 가로림만은 해양생물 보호구역으로 지정되어있으며, 향후 체계적인 수질 관리가 필요한 구역이다.
- 수질분석의 대조군으로는 조사정점 주변의 국가 또는 지방 측정망 자료를 활용했다.
- 대상지(부남호, 가로림만) 주변으로 각각 6개의 유입하천(또는 저수지)의 정점도는 아래 그림과 같다.



〈그림 5.4-1〉 특별조사(Ⅲ) 조사정점도

5.4.2. 부남호 유입하천 수질분석 결과

- 부남호 인근 하천의 수질 결과를 <표 5.4-1>~<표 5.4-3>에 제시하였다.

가. 화학적산소요구량(COD)

- 화학적산소요구량은 평균 9.9mg/L로 조사되었으며, 정점 1에서 14.5mg/L로 가장 높고 정점 3에서 6.0mg/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

나. 총유기탄소(TOC)

- 총유기탄소는 평균 4.6mg/L로 조사되었으며, 정점 6에서 5.4mg/L로 가장 높고 정점 3에서 3.8mg/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

다. 용존무기질소(DIN)

- 용존무기질소는 평균 3832.6 μ g/L로 조사되었으며, 정점 3에서 9840.7 μ g/L로 가장 높고 정점 6에서 1454.7 μ g/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

라. 총질소(TN)

- 총질소는 평균 4876.2 μ g/L로 조사되었으며, 정점 3에서 12637.6 μ g/L로 가장 높고 정점 6에서 1909.6 μ g/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

마. 용존무기인(DIP)

- 용존무기인은 평균 124.6 μ g/L로 조사되었으며, 정점 1에서 215.2 μ g/L로 가장 높고 정점 6에서 22.8 μ g/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

바. 총인(TP)

- 용존무기인은 평균 204.1 μ g/L로 조사되었으며, 정점 1에서 329.6 μ g/L로 가장 높고 정점 6에서 79.2 μ g/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

사. 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 규산 규소는 평균 2518.4 μ g/L로 조사되었으며, 정점 3에서 4889.7 μ g/L로 가장 높고 정점 6에서 662.4 μ g/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

아. 부유입자물질(SPM)

- 부유입자물질은 평균 30.0mg/L로 조사되었으며, 정점 5에서 56.9mg/L로 가장 높고 정점 6에서 18.8mg/L로 가장 낮은 농도를 보였다.

자. 엽록소-a(Chl-a)

- 엽록소-a는 평균 $32.5\mu\text{g/L}$ 로 조사되었으며, 정점 2에서 $50.6\mu\text{g/L}$ 로 가장 높고 정점 6에서 $18.8\mu\text{g/L}$ 로 가장 낮은 농도를 보였다.

차. 미량금속(Cd, Cr^{6+} , Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg)

- 담수 내 미량금속의 농도는 다음과 같다.
 - 6가 크롬(Cr^{6+}) : $0.09\sim 0.16\mu\text{g/L}$ (평균 $0.12\mu\text{g/L}$)
 - 카드뮴(Cd) : $0.014\sim 0.022\mu\text{g/L}$ (평균 $0.017\mu\text{g/L}$)
 - 구리(Cu) : $0.79\sim 1.68\mu\text{g/L}$ (평균 $1.07\mu\text{g/L}$)
 - 납(Pb) : $0.02\sim 0.05\mu\text{g/L}$ (평균 $0.03\mu\text{g/L}$)
 - 아연(Zn) : $0.33\sim 2.38\mu\text{g/L}$ (평균 $0.91\mu\text{g/L}$)
 - 니켈(Ni) : $0.32\sim 0.63\mu\text{g/L}$ (평균 $0.43\mu\text{g/L}$)
 - 비소(As) : $0.56\sim 1.31\mu\text{g/L}$ (평균 $0.80\mu\text{g/L}$)
 - 수은(Hg) : $0.07\sim 0.15\text{ng/L}$ (평균 0.11ng/L)

<표 5.4-1> 부남호 유입하천 수질의 현장관측 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과

정점	수심	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	TOC	Chl-a
	(m)	($^{\circ}\text{C}$)	(psu)		(mg/L)	(%)		(mg/L)		
BN-S-1	2.0	23.8	0.3	8.13	5.83	69.3	30.5	14.5	4.9	39.84
BN-S-2	2.0	24.5	0.6	8.00	6.21	74.9	24.8	11.8	5.0	50.57
BN-S-3	2.0	20.7	0.7	8.05	7.37	82.7	29.7	6.0	3.8	22.83
BN-S-4	1.5	22.3	0.6	7.67	6.19	71.6	19.5	6.7	4.3	17.84
BN-S-5	1.5	24.9	0.3	7.81	4.54	55.1	56.9	9.5	4.5	20.98
BN-S-6	1.5	23.3	1.7	8.75	8.49	100.8	18.8	11.1	5.4	42.78
최소		20.7	0.3	7.67	4.54	55.1	18.8	6.0	3.8	17.84
최대		24.9	1.7	8.75	8.49	100.8	56.9	14.5	5.4	50.57
평균		23.3	0.4	8.07	6.44	75.7	30.0	9.9	4.6	32.47

〈표 5.4-2〉 부남호 유입하천 수질의 TN, TP, 영양염류 분석 결과

정점	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
BN-S-1	3,020.9	94.0	67.4	2,219.3	2,380.6	329.6	215.2	1,774.6
BN-S-2	2,668.0	25.5	45.4	1,458.6	1,529.5	225.9	131.6	2,034.0
BN-S-3	12,637.6	82.5	88.4	9,669.8	9,840.7	197.3	138.7	4,889.7
BN-S-4	6,633.6	382.2	279.3	5,282.7	5,944.1	227.1	136.6	4,032.5
BN-S-5	2,387.6	86.0	31.3	1,728.6	1,845.9	165.4	102.6	1,716.8
BN-S-6	1,909.6	11.0	33.8	1,410.0	1,454.7	79.2	22.8	662.4
최소	1,909.6	11.0	31.3	1,410.0	1,454.7	79.2	22.8	662.4
최대	12,637.6	382.2	279.3	9,669.8	9,840.7	329.6	215.2	4,889.7
평균	4,876.2	113.5	90.9	3,628.1	3,832.6	204.1	124.6	2,518.4

〈표 5.4-3〉 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과

정점	Cr ⁶⁺	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg
	(μg/L)							
BN-S-1	0.16	0.01	1.68	0.02	0.62	0.63	1.31	0.15
BN-S-2	0.12	0.02	1.11	0.03	0.50	0.47	0.93	0.08
BN-S-3	0.12	0.02	1.05	0.05	0.73	0.35	0.56	0.13
BN-S-4	0.09	0.02	0.79	0.03	2.38	0.34	0.59	0.13
BN-S-5	0.13	0.02	0.88	0.04	0.92	0.32	0.62	0.07
BN-S-6	0.12	0.02	0.93	0.03	0.33	0.49	0.79	0.11
최소	0.09	0.01	0.79	0.02	0.33	0.32	0.56	0.07
최대	0.16	0.02	1.68	0.05	2.38	0.63	1.31	0.15
평균	0.12	0.02	1.07	0.03	0.91	0.43	0.80	0.11

5.4.3. 부남호 유입하천 퇴적물 분석 결과

- 부남호 인근 호소의 퇴적물 결과를 <표 5.4-4>~<표 5.4-6>에 제시하였다.

가. 입도

1) 조성 및 퇴적상

- 부남호 인근 하천 퇴적물의 입도 조성은 자갈의 경우 0~28.3%(평균 11.7%), 모래 26.8~85.2%(평균 65.0%), 실트 0.1~65.4%(평균 20.3%), 점토 0.0~7.8%(평균 3.0%)의 범위를 보였으며, 퇴적상은 약역니질사((g)mS), 역질사(gs), 사질실트(sZ)로 조사되었다.

2) 조직 변수

- 부남호 인근 하천 퇴적물의 조직변수는 평균 입경의 경우 $-0.36 \sim 5.12\Phi$ 의 범위이고, 평균 1.84Φ 로 나타났다. 분급도는 $1.01 \sim 2.57\Phi$ 의 범위로 Poorly sorted에서 Very poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 $-0.13 \sim 0.23$ 의 범위로 Coarse-skewed에서 Fine-skewed한 분포를 나타냈으며, 첨도는 $0.92 \sim 1.11$ 로 Mesokurtic에서 Leptokurtic한 분포를 보였다.

나. 일반항목(함수율, 강열감량, COD, TOC, AVS, TN, TP)

- 부남호 인근 하천 퇴적물의 함수율은 7.6~26.5%(평균 16.8%), 강열감량은 0.3~4.7%(평균 1.8%), 화학적산소요구량(COD)은 0.3~12.4mg/g(평균 3.0mg/g), 총유기탄소(TOC)는 0.1~0.9%(평균 0.3%), 총인(TP)은 69.2~1,358.3mg/kg(평균 471.2mg/kg)으로 나타났다.
- 산화발성황화물(AVS)은 정점 1에서 0.33mg/g으로 관측되었다(나머지 정점에서 불검출(N/D)).
- 총질소(TN)는 정점 1에서 0.1%로 나타났다(나머지 정점에서 불검출(N/D)).

다. 중금속(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Li, Hg, As, Al, Fe)

- 부남호 인근 하천 퇴적물에서 중금속의 분포는 카드뮴(Cd)이 0.02~0.19mg/kg(평균 0.08mg/kg), 크롬(Cr)이 4.0~53.9mg/kg(평균 32.8mg/kg), 구리(Cu)가 0.8~20.7mg/kg(평균 9.9mg/kg), 납(Pb)이 13.8~22.2mg/kg(평균 18.0mg/kg), 아연(Zn)은 6.5~80.3mg/kg(평균 39.7mg/kg), 니켈(Ni)은 1.1~25.5mg/kg(평균 13.4mg/kg), 코발트(Co)는 1.1~12.3mg/kg(평균 6.6mg/kg), 망간(Mn)은 45.5~437.8mg/kg(평균 229.9mg/kg), 리튬(Li)은 5.7~36.0mg/kg(평균 21.4mg/kg), 수은(Hg)은 2.9~18.5mg/kg(평균 7.7mg/kg), 비소(As)는 0.6~5.0mg/kg(평균 2.6mg/kg), 알루미늄(Al)은 2.8~5.8%(평균 4.0%), 철(Fe)은 0.3~3.0%(평균 1.6%)로 조사되었다.

〈표 5.4-4〉 부남호 유입하천 퇴적물의 입도 분석 결과

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
BN-S-1	1.5	60.2	31.6	6.6	3.6	2.6	0.2	1.1	(g)mS
BN-S-2 [*]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
BN-S-3	28.3	70.8	0.7	0.2	-0.4	1.1	0.1	0.9	gS
BN-S-4	17.8	82.1	0.1	0.0	-0.1	1.0	-0.1	1.0	gS
BN-S-5	11.0	85.2	3.6	0.3	0.9	1.7	0.0	1.0	gS
BN-S-6	0.0	26.8	65.4	7.8	5.1	1.9	0.2	1.1	sZ
최소	0.0	26.8	0.1	0.0	-0.4	1.0	-0.1	0.9	—
최대	28.3	85.2	65.4	7.8	5.1	2.6	0.2	1.1	—
평균	11.7	65.0	20.3	3.0	1.8	1.6	0.1	1.0	—

* BN-S-2 정점의 시료는 채취하지 못하였음

〈표 5.4-5〉 부남호 유입하천 퇴적물의 일반항목 분석 결과

정점	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN	TP
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)	
BN-S-1	26.5	4.7	12.4	0.33	0.92	0.1	1,358.3
BN-S-2 [*]	—	—	—	—	—	—	—
BN-S-3	12.9	0.3	0.4	N/D	0.06	N/D	69.2
BN-S-4	7.6	0.3	0.6	N/D	0.08	N/D	469.1
BN-S-5	18.8	1.1	0.3	N/D	0.13	N/D	372.0
BN-S-6	17.9	2.8	1.1	N/D	0.22	N/D	87.5
최소	7.6	0.3	0.3	0.33	0.06	0.1	69.2
최대	26.5	4.7	12.4	0.33	0.92	0.1	1,358.3
평균	16.8	1.8	3.0	0.33	0.28	0.1	471.2

* BN-S-2 정점의 시료는 채취하지 못하였음

〈표 5.4-6〉 부남호 유입하천 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과

정점	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	(mg/kg)					
BN-S-1	0.19	52.2	20.7	21.9	22.2	80.3
BN-S-2*	—	—	—	—	—	—
BN-S-3	0.02	4.0	0.8	1.1	18.1	6.5
BN-S-4	0.02	28.6	1.6	6.8	14.3	11.4
BN-S-5	0.08	25.4	8.5	11.7	21.4	42.2
BN-S-6	0.11	53.9	17.8	25.5	13.8	58.2
최소	0.02	4.0	0.8	1.1	13.8	6.5
최대	0.19	53.9	20.7	25.5	22.2	80.3
평균	0.08	32.8	9.9	13.4	18.0	39.7

* BN-S-2 정점의 시료는 채취하지 못하였음

〈표 5.4-6〉 부남호 유입하천 퇴적물의 중금속 항목 분석 결과(계속)

정점	Co	Mn	Li	Hg	As	Al	Fe
	(mg/kg)						
BN-S-1	12.3	437.8	33.5	18.5	4.5	5.8	2.8
BN-S-2*	—	—	—	—	—	—	—
BN-S-3	1.1	63.0	5.7	5.8	0.6	3.3	0.3
BN-S-4	2.5	45.5	7.7	2.9	0.6	2.8	0.5
BN-S-5	5.4	242.1	24.0	6.2	2.4	3.8	1.6
BN-S-6	11.6	361.1	36.0	5.0	5.0	4.6	3.0
최소	1.1	45.5	5.7	2.9	0.6	2.8	0.3
최대	12.3	437.8	36.0	18.5	5.0	5.8	3.0
평균	6.6	229.9	21.4	7.7	2.6	4.0	1.6

* BN-S-2 정점의 시료는 채취하지 못하였음

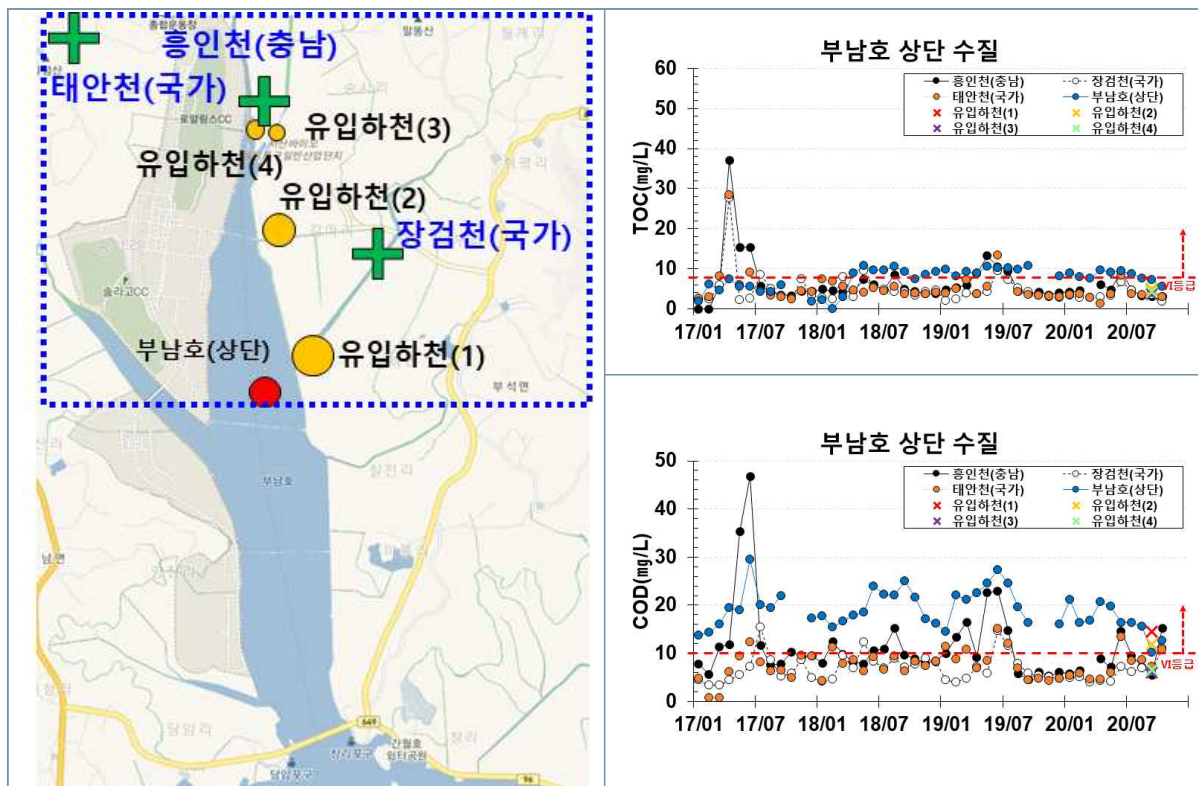
5.4.4. 부남호 유입하천 수질 비교

- 부남호 분석정점은 12개 정점이며, 호소를 상단과 중단으로 구분하였다.
 - 상단 : 유입하천 4정점, 호소측정망 1정점, 하천측정망(국가) 2정점, 하천측정망(충남) 1정점
 - 중단 : 유입하천 2정점, 호소측정망 1정점, 하천측정망(충남) 1정점

가. 수질

1) 상단부

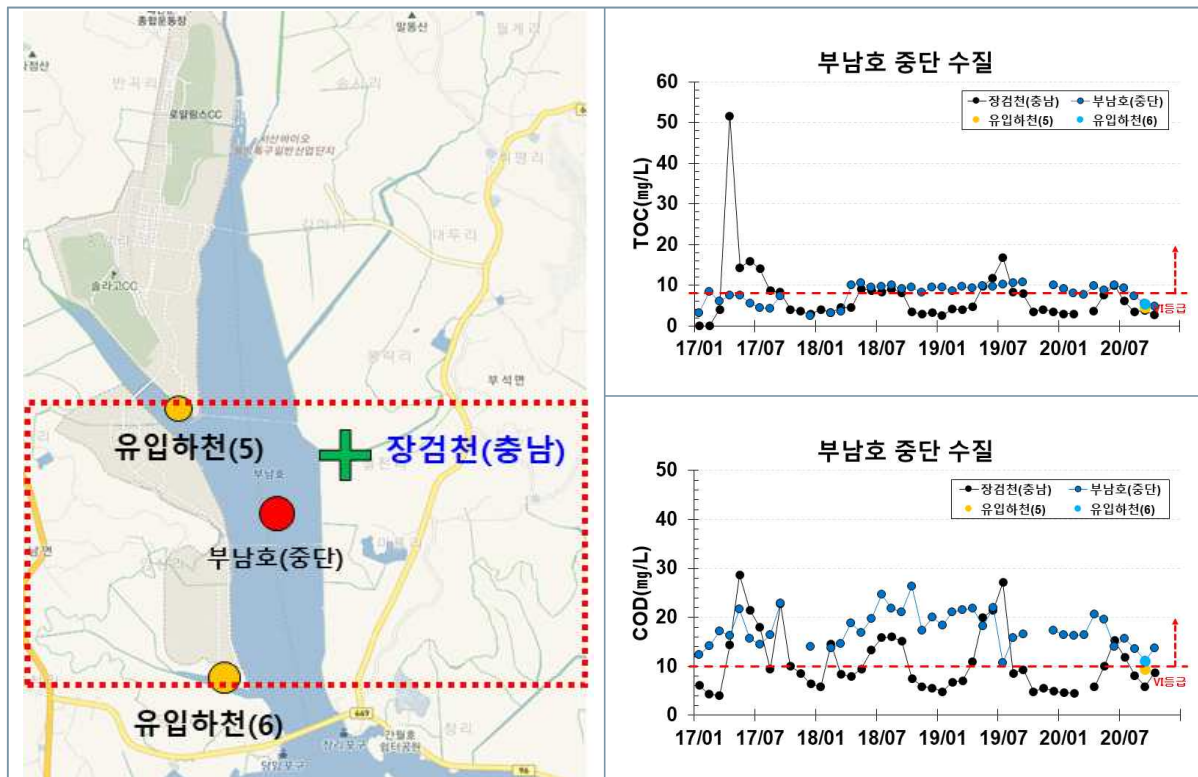
- '17년 6~7월 각 측정망에서 VI등급(매우 나쁨) 기준보다 약 3~5배 높은 이상치를 보였다.
 - TOC : 장검천(국가) 27.6mg/L, 태안천(국가) 28.4mg/L, 홍인천(충남) 37.1mg/L
 - COD : 홍인천(충남) 46.8mg/L, 부남호(상단) 29.5mg/L
- TOC를 살펴보면 '18년 이후 부남호 내부(상단) 수질은 VI등급(매우 나쁨) 기준치를 초과하는 수준을 보이는 반면, 부남호로 유입되는 소하천의 수질은 '19년 하계, '20년 하계의 일시적 VI등급(매우나쁨) 기록을 제외하고는 평균 III등급(보통)의 수질인 것으로 분석되었다.
- COD 기준으로는 '17년, '19년, '20년 하계를 제외하면 부남호 내부(상단) 수질보다 매우 깨끗한 수준이다. 유입하천 1, 2정점은 VI등급(매우 나쁨)의 수질은 매년 5월~8월의 장마 시기 전후로 일시적으로 나타나고 있었다.



〈그림 5.4-2〉 부남호 유입하천 조사 결과(상단)

2) 중단부

- 부남호 상단과 동일한 시기('17년 6~7월)에 중단의 장검천(충남) 측정망 TOC가 기준치에 6배가 넘는 수치를 일시적으로 보였다. 또한 부남호 내부(중단)의 수질은 '18년 이후 VI등급(매우 나쁨) 기준치를 넘어서고 있으며, 이 후 이러한 추세가 계속 유지하고 있었다.
- 2017년 하계 부남호 상류 측에서 특정 이벤트가 일어났을 것으로 추측된다.
- TOC를 살펴보면, '18년, '19년, '20년 하계에 일시적으로 VI등급(매우 나쁨)을 초과하고 있으며, 상단부와 비슷한 양상을 보였다.
- 유입하천 5, 6정점은 부남호(중단) 수질과 비슷하거나 약간 낮은 수치를 보였다.
- COD를 살펴볼 때, 장검천(충남)의 수질은 대부분 하계(5~7월)에 VI등급(매우 나쁨)을 초과하고, 이후에 회복되는 패턴이 나타나고 있다.
- 유입하천의 경우 특정 시기(장마 전후)에는 부남호 내부의 수질보다 더 나쁜 수질값을 보이기도 했으나, 전반적으로 부남호 내부(중단) 수질보다 양호한 수준을 보였다.
- 유입하천 5, 6정점은 부남호(중단) 수질과 비슷한 수치를 보였다.
- 이를 통해 부남호 내부 수질악화의 원인이 유입하천의 수질이 나빠서가 아닌 것을 확인할 수 있다.



〈그림 5.4-3〉 부남호 유입하천 조사 결과(중단)

나. 퇴적물

- 퇴적물은 2번 정점을 제외한 5개 정점에서 시료를 채취했다.
- 퇴적물 오염평가 기준은 「국립환경과학원 예규 제2015-687호」 호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준을 적용했다.

〈표 5.4-7〉 하천·호소 퇴적물 오염평가 기준(국립환경과학원 예규 2015-687호)

구분		I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급
유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)	기준치 없음			13 초과
	총질소(TN, mg/kg)	기준치 없음			5,600 초과
	총인(TP, mg/kg)	기준치 없음			1,600 초과

* 비교 - IV등급 : 심각하고 명백한 오염

- 총질소(TN)은 유입하천 1 정점을 제외하고 검출되지 않았으며, 유입하천 1의 수치는 IV등급의 1/5수준으로 분석되었다.
- 총인(TP)은 모든 정점에서 검출되었으며, 유입하천 1 정점에서만 IV등급에 근접한 수치를 보였고, 나머지 정점은 기준치에 비해 매우 낮은(양호한) 수준으로 분석되었다.

다. 종합분석

- TOC를 기준으로 살펴보면 부남호(상단)의 수질은 '17년 이후 VI등급(매우 나쁨)을 초과하고 있으나, 주변 하천은 수치는 점차 하락(개선)하여 '20년 평균 수질은 II(약간 좋음)~III등급(보통)으로 유입하천의 수질은 깨끗한 수준으로 나타났다.
- 부남호로 유입되는 소하천들의 수질에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났으며, 흐름이 정체된 부남호로의 최종 담수유입 이후에 하구호 내부의 유기물 산화에 따른 수질악화가 반복되고 있음을 확인할 수 있다.

〈표 5.4-8〉 부남호 유입하천 연평균 수질

구분 (단위 : mg/L)	장검천 (국가)		태안천 (국가)		홍인천 (충남)		장검천 (충남)		부남호 (상단)		유입하천 (1~6)	
	TOC	COD	TOC	COD	TOC	COD	TOC	COD	TOC	COD	TOC	COD
2017년	6.1	6.4	6.6	6.6	9.9	14.6	12.7	12.9	4.8	15.2	-	-
2018년	4.7	7.8	4.9	7.8	5.2	9.8	5.8	10.5	8.1	19.5	-	-
2019년	4.3	6.8	5.5	8.2	6.5	11.4	6.7	11.0	9.6	18.4	-	-
2020년	3.5	6.0	3.8	7.5	4.8	8.9	4.8	8.3	8.2	15.8	4.7	9.9

5.4.5. 가로림만 유입하천 수질분석 결과

- 가로림 인근 하천/저수지의 수질 결과를 <표 5.4-9>~<표 5.4-11>에 제시하였다.

가. 화학적산소요구량(COD)

- 갈두천에서 10.7mg/L, 방길천 3.7mg/L, 솔감저수지 9.1mg/L, 삭선천 7.5mg/L, 중왕방조제 6.0mg/L, 시우치 저수지 7.2mg/L의 범위를 보였다.

나. 총유기탄소(TOC)

- 갈두천에서 2.3mg/L, 방길천 1.8mg/L, 솔감저수지 4.3mg/L, 삭선천 4.3mg/L, 중왕방조제 3.6mg/L, 시우치 저수지 3.1mg/L의 범위를 보였다.

다. 용존무기질소(DIN)

- 갈두천에서 3,615.4 μ g/L, 방길천 9,293.8 μ g/L, 솔감저수지 2,538.0 μ g/L, 삭선천 3,406.6 μ g/L, 중왕방조제 6,056.2 μ g/L, 시우치 저수지에서 1541.1 μ g/L의 범위를 보였다.

라. 총질소(TN)

- 갈두천에서 3,721.2 μ g/L, 방길천 9,602.7 μ g/L, 솔감저수지 3,227.8 μ g/L, 삭선천 3,566.7 μ g/L, 중왕방조제 6,381.2 μ g/L, 시우치 저수지 2,049.3 μ g/L의 범위를 보였다.

마. 용존무기인(DIP)

- 갈두천에서 38.1 μ g/L, 방길천 37.1 μ g/L, 솔감저수지 26.5 μ g/L, 삭선천 169.7 μ g/L, 중왕방조제 62.4 μ g/L, 시우치 저수지 10.7 μ g/L의 범위를 보였다.

바. 총인(TP)

- 갈두천에서 83.7 μ g/L, 방길천 57.2 μ g/L, 솔감저수지 90.7 μ g/L, 삭선천 234.5 μ g/L, 중왕방조제 95.6 μ g/L, 시우치 저수지 47.8 μ g/L의 범위를 보였다.

사. 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 갈두천에서 5,290.9 μ g/L, 방길천 6,363.0 μ g/L, 솔감저수지 2,785.4 μ g/L, 삭선천 5,272.4 μ g/L, 중왕방조제 2,588.0 μ g/L, 시우치 저수지 3,964.6 μ g/L의 범위를 보였다.

아. 부유입자물질(SPM)

- 갈두천에서 13.2mg/L, 방길천 2.3mg/L, 솔감저수지 19.1mg/L, 삭선천 8.1mg/L, 중왕방조제 47.2mg/L, 시우치 저수지 8.1mg/L의 범위를 보였다.

자. 엽록소-a(Chl-a)

- 갈두천에서 20.2 $\mu\text{g/L}$, 방길천 10.3 $\mu\text{g/L}$, 솔감저수지 36.9 $\mu\text{g/L}$, 삭선천 4.3 $\mu\text{g/L}$, 중왕방조제 11.4 $\mu\text{g/L}$, 시우치 저수지 45.9 $\mu\text{g/L}$ 의 범위를 보였다.

차. 미량금속(Cd, Cr⁶⁺, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Hg)

- 갈두천
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.16 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.02 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 1.08 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.04 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 0.56 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.46 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 0.86 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.15ng/L를 보였다.
- 방길천
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.15 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.03 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 0.76 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.04 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 0.65 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.26 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 0.47 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.08ng/L를 보였다.
- 솔감저수지
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.12 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.01 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 0.53 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.02 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 0.53 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.20 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 0.58 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.43ng/L를 보였다.
- 삭선천
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.12 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.03 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 0.71 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.05 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 2.71 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.53 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 0.51 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.14ng/L를 보였다.
- 중왕방조제
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.17 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.01 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 1.45 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.04 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 0.83 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.50 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 1.13 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.16ng/L를 보였다.
- 시우치 저수지
 - 6가 크롬(Cr⁶⁺)이 0.12 $\mu\text{g/L}$, 카드뮴(Cd)은 0.01 $\mu\text{g/L}$ 구리(Cu)는 0.56 $\mu\text{g/L}$, 납(Pb)은 0.03 $\mu\text{g/L}$, 아연(Zn)은 0.47 $\mu\text{g/L}$, 니켈(Ni)은 0.35 $\mu\text{g/L}$, 비소(As) 0.74 $\mu\text{g/L}$, 수은(Hg)은 0.14ng/L를 보였다.

〈표 5.4-9〉 가로림만 유입하천 수질의 현장관측 및 SPM, COD, TOC, Chl-a 분석 결과

정점	수심	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	TOC	Chl-a
	(m)	(℃)	(psu)		(mg/L)	(%)		(mg/L)		(μg/L)
중왕 저수지	1.5	20.8	0.1	7.68	4.97	55.7	47.2	6.0	3.6	11.41
방길천	0.5	18.1	0.2	7.55	7.98	84.7	2.3	3.7	1.8	10.25
솔감 저수지	1.5	20.9	0.1	7.56	5.15	57.8	19.1	9.1	4.3	36.90
삭선천	2.0	21.9	0.5	7.44	5.85	67.1	8.1	7.5	4.3	4.33
갈두천	1.5	21.3	0.3	8.78	14.39	163.0	13.2	10.7	2.3	20.16
시우치 저수지	1.5	22.3	0.1	8.37	13.15	151.7	8.1	7.2	3.1	45.86
최소		18.1	0.1	7.44	4.97	55.7	2.3	3.7	1.8	4.33
최대		22.3	0.5	8.78	14.39	163.0	47.2	10.7	4.3	45.86
평균		20.9	0.2	7.90	8.58	96.7	16.3	7.4	3.2	21.49

〈표 5.4-10〉 가로림만 유입하천 수질의 TN, TP, 영양염류 분석 결과

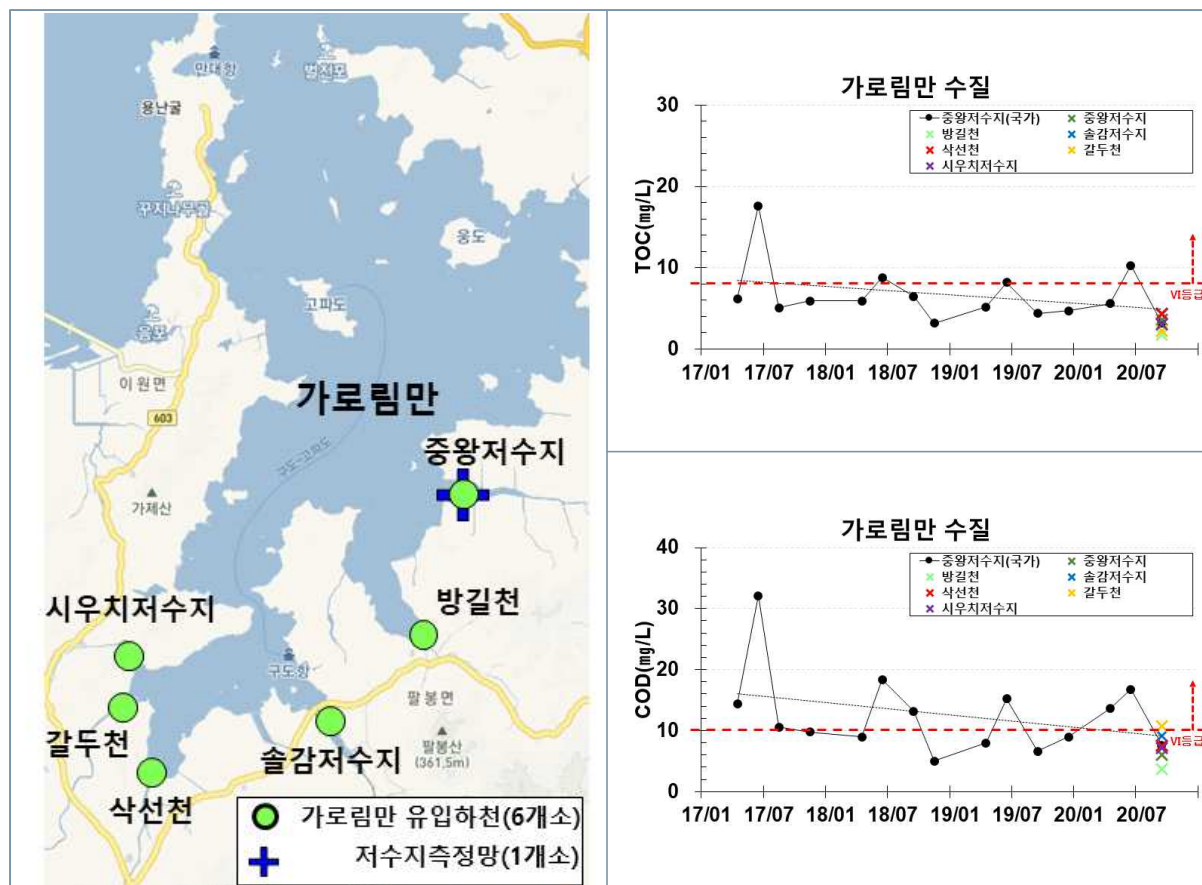
정점	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
중왕 저수지	6,381.2	142.7	72.0	5,841.5	6,056.2	95.6	62.4	2,588.0
방길천	9,602.7	6.8	18.0	9,269.0	9,293.8	57.2	37.1	6,363.0
솔감저수지	3,227.8	74.2	36.8	2,427.1	2,538.0	90.7	26.5	2,785.4
삭선천	3,566.7	93.2	28.9	3,284.6	3,406.6	234.5	169.7	5,272.4
갈두천	3,721.2	27.5	29.5	3,558.4	3,615.4	83.7	38.1	5,290.9
시우치 저수지	2,049.3	57.9	30.2	1,453.0	1,541.1	47.8	10.7	3,964.6
최소	2,049.3	6.8	18.0	1,453.0	1,541.1	47.8	10.7	2,588.0
최대	9,602.7	142.7	72.0	9,269.0	9,293.8	234.5	169.7	6,363.0
평균	4,758.2	67.1	35.9	4,305.6	4,408.5	101.6	57.4	4,377.4

〈표 5.4-11〉 4개 호소 미량금속류, 시안 분석 결과

정점	Cr ⁶⁺	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg
	(μg/L)							
중왕 저수지	0.17	0.01	1.45	0.04	0.83	0.50	1.13	0.16
방길천	0.15	0.03	0.76	0.04	0.65	0.26	0.47	0.08
솔감 저수지	0.12	0.01	0.53	0.02	0.53	0.20	0.58	0.43
삭선천	0.12	0.03	0.71	0.05	2.71	0.53	0.51	0.14
갈두천	0.16	0.02	1.08	0.04	0.56	0.46	0.86	0.15
시우치 저수지	0.12	0.01	0.53	0.03	0.47	0.35	0.74	0.14
최소	0.12	0.01	0.53	0.02	0.47	0.20	0.47	0.08
최대	0.17	0.03	1.45	0.05	2.71	0.53	1.13	0.43
평균	0.14	0.02	0.84	0.04	0.96	0.38	0.72	0.18

5.4.6. 가로림만 유입하천 수질 비교

- 가로림만 유입하천조사(본 연구) 6개 정점, 저수지측정망(환경부) 1개 정점을 분석했다.
 - 유입하천조사 : 중왕저수지, 방길천, 솔감저수지, 삭선천, 갈두천, 시우치저수지
 - 저수지측정망(환경부) : 중왕저수지
- 유입하천 6개 정점 분석 결과를 살펴보면 TOC는 1.8~4.3mg/L로 I a등급(매우 좋음)~III등급(보통) 수준으로 나타났다.
- 금년도 조사에서 수질 COD의 경우 갈두천에서 VI등급(매우 나쁨)을 초과한 것 이외에, 다른 정점에서는 3.7~9.1mg/L로 II등급(약간 좋음)~V등급(나쁨) 수준으로 나타났다.
- 과거 자료가 축적되어 있는 환경부에서 운용중인 저수지측정망(중왕저수지)의 결과를 살펴보면, TOC / COD 모두 '17년 하계에 기준치의 약 2~3배가 높은 이상치를 보였는데, 이는 부남호 인근 하천과 유사한 양상을 보였다.
- 각 년도 하계(5~7월)를 전후로 수질 악화 현상이 반복적으로 나타나며, 이는 계절적 영향으로 판단되는데 가로림만의 해양환경 관리 측면에서의 지속적인 모니터링은 필요하다.



〈그림 5.4-4〉 가로림만 유입하천 조사 결과

제6장

결론 및 차년도 연안환경측정망 운영 개선안

- 1. 정기조사 실시의 성과
- 2. 특별조사 실시의 성과
- 3. 차년도 연안환경측정망 운영 개선안
- 4. 충청남도 연안하구 모니터링 연구사업 제안

제 6 장 결론 및 차년도 연안환경측정망 운영 개선안

6.1. 정기조사 실시의 성과

6.1.1. 해수

가. 해수 수질

- 수질평가 지수값(WQI) 분석결과 2, 5월 조사에서 양호하였으나, 8월 조사에서 4등급(나쁨)과 5(매우나쁨)등급이 70% 이상 나타났으며, 이는 장마의 영향이 큰 것으로 분석되었다.
- 8월 금강하구, 아산만 내측, 천수만에서 4(나쁨)~5(아주나쁨)등급 나타났으며, 54일간 지속된 장마의 영향으로 나쁜수질의 담수가 다량 배출된 영향임

나. 해수 내 미량금속

- 해양생태계 보호기준 이하 수준으로 전반적으로 양호한 수준이었다.
- 구리, 아연, 크롬의 경우 아산만 내측, 천수만 내측, 금강하구 일부 지역에서 상대적으로 높게 나타남(기준치 이하)

다. 화력발전소 주변지역

- 수질평가 지수(WQI) 기준, 1(매우 좋음)~3(보통)등급으로 오염지수가 낮게 나타났으며, 8월에만 3(보통)~5등급(매우 나쁨)을 기록하였다.

6.1.2. 해저 퇴적물

가. 부영양화

- 천수만 내측(부남호, 간월호 전면) 정점에서 상대적으로 높으며, 전반적인 해저 퇴적물 내 유기물 오염은 기준치를 하회하여 양호하였다.

나. 중금속

- 대부분 해역에서 국내외 기준(주의기준)을 하회하는 것으로 분석되었다.
- 금강하구 일부, 천수만 내측에서 크롬, 구리, 아연 등 국내 주의기준에 가까운 농도 조사됨(해역의 광물특성 및 농업활동 관련 유기물 비료와 연관)

6.1.3. 해양 생물(굴)

- 국내 식품에 대한 중금속기준이 제시된 납(Pb) 및 카드뮴(Cd)은 기준치인 2.0mg/kg 이하에 충족하였고, 수은(Hg)도 기준치인 0.5mg/kg 이하로 조사되었다.

6.1.4. 기타

- 충남도 해역에는 천수만 뿐 아니라 삽교호와 아산호가 위치한 아산만과 함께 금강하구 역의 해양환경이 지속적으로 악화되고 있는 것으로 나타났다.
- 본 연구에서 수행되는 도 내 전 해역에 대한 정기조사는 지속적으로 시행될 필요가 있으며, 이와 함께 금강하구, 천수만, 아산만 등 오염우심해역이나 오염원 유입이 지속되는 해역을 중심으로 특별조사를 지속적으로 진행할 필요가 있다.
- 정기조사에서 수행된 자료는 해양환경정보포털(www.meis.go.kr)을 통해 공개가 되고 있으며, 2016년 이후 자료부터 찾아볼 수 있도록 시스템이 구성되어 있다.

6.2. 특별조사 실시의 성과

6.2.1. 천수만 내 담수호(부남, 간월, 홍성, 보령호) 특별조사

가. 호소 수질

- TOC 기준 최고등급인 VI등급(매우 나쁨, TOC 8mg/L 초과)을 대부분 상회, 수질이 매우 악화된 상태이며, '17년 이후 호소 내 VI등급(매우 나쁨) 상태가 지속되고 있다.
- 다만, 8월 조사에서는 수질이 일시적으로 개선됨(장마의 영향, 해역은 수질악화)

나. 퇴적물 부영양화

- 부남호, 간월호는 호소퇴적물 IV등급(매우 나쁨, 준설조건 충족), 홍성호, 보령호는 IV등급 기준에 근접하는 오염도가 나타났다.

다. 퇴적물 내 중금속

- 4개 담수호 내 중금속 오염정도는 낮은 것(기준치 이하)으로 분석되었다.
- 담수호 방류시 해양으로 배출된 오염 토사는 부유이동하여 천수만 내측(부남, 간월호 전면) 수로 부근에 지속적으로 축적되고 있는 것으로 나타났다.

6.2.2. 부남호 전면해역 주상퇴적물 조사

- 6개 조사 정점 모두에서 표층 10~30cm 내외로 유기물 오염도가 높으며, 중금속의 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다.
- 퇴적물 내 유기물은 육상기원(부남호, 간월호 방류영향) 및 양식장에서 기인한 것으로 분석되었다.

6.2.3. 부남호 및 가로림만 유입하천 수질조사

가. 부남호 유입하천

- 부남호 유입하천의 수질은 부남호 내측보다 양호한 것으로 분석되었다.
- 보통등급 수질의 지류하천으로부터 부남호로 유입된 후, 하구호 내 내부생산에 의한 수질악화가 반복되는 것이 확인되었다. 즉 유입하천의 수질에는 문제가 없는 수준임을 밝힐 수 있었다.
- 유입하천 퇴적물의 오염 정도는 낮으며, 유기물질 축적에 의한 오염특성을 나타냈다.
- 따라서 부남호의 수질관리 대책은 부남호 호소 내에 집중적으로 실시할 필요가 있다.

나. 가로림만

- 가로림만으로 유입되는 소하천의 수질은 대체로 보통 수준으로 나타났다.
- 그러나 중왕저수지, 시우치저수지, 솔감저수지 등 일부 하구호는 VI등급(매우 나쁨) 수준에 달하는 수질이 나타나 그 지속성에 대한 모니터링이 필요할 것으로 보인다.

6.3. 차년도 연안환경측정망 운영 개선안

6.3.1. 1단계(2016~2020년) 종료 후, 2단계(2021~2025년) 사업 지속 추진

- 조사지점 간 중복을 피하고, 해양퇴적물 조사의 공간적 범위를 확보하기 위한 현재의 정기조사망 운영에 큰 문제가 없는 것으로 판단되며 DB 구축의 연속성 확보 차원에서 현 정기조사 정점을 계속 유지할 필요가 있다.
 - 해양수질 조사는 계절적 변화 추적 및 사전예방적 기본조사 측면에서 30개 정점에 대한 년 4회 실시 유지
- ➡ 충청남도 지속가능발전지표(SDGs) 2030 SDGs에 해양수질 지표 반영됨(해양수질지수 1~2등급 비율을 2030년까지 90% 이상 달성, 전략 14-1 관련)
 - 세부 조사 항목은 '17년도 조사 방침 유지
- 1단계('16~'20) 5년간 수행에 따른 충남도 해양환경변화 자료집 제작 및 배포를 추진한다.

6.3.2. 지속적인 특별조사 기획 실시

- 천수만 내 4개 담수호 수질 및 퇴적물 오염도 조사(2017년부터~, 5년차 실시)
 - 담수호 조사결과를 근거로 관리청(농어촌공사, 현대건설, 천수만사업단)과 담수호 수질 및 퇴적물에 대한 오염 저감 방안에 대하여 지속 협의

- 부남호 주변 양식장의 퇴적물 오염도 기여도 조사·분석
- 부남호 주변 갯벌 지형(수치표고자료) 조사(드론 활용)
 - 부남호 역간척 사업 지원 자료 구축

6.4. 충청남도 연안하구 모니터링 연구사업 제안

6.4.1. 필요성

- 금강권역(충남 서해안)의 하구는 총 67개로, 열린하구는 6개, 닫힌하구는 61개가 분포하고 있다.
- 금강권역의 닫힌하구 비율은 91%로 전국 1위로 조사되었다(전국평균 49%).
- 충청남도는 현재 열리하구 비율을 9.6%에서 2030년까지 20.9%로 올리려는 계획을 지속가능발전목표(SDGs)에 명시하고 있다.
- 따라서 2030년까지 8개소의 닫힌 하구 복원이 요구되기 때문에, 하구 복원에 대한 체계적인 계획을 수립할 필요가 있다.

〈표 6.4-1〉 충청남도 SDGs 계획(전략 14-2)

구분 (열린하구/전체하구)	2015년	2020년	2025년	2030년
열린하구 비율	9.6% (6 / 67)	11.2% (8 / 67)	14.5% (10 / 67)	20.9% (14 / 67)

출처 : 충청남도, 『지속가능발전목표 SDGs 2030』, 2018

6.4.2. 충청남도 하천·호소 관리현황

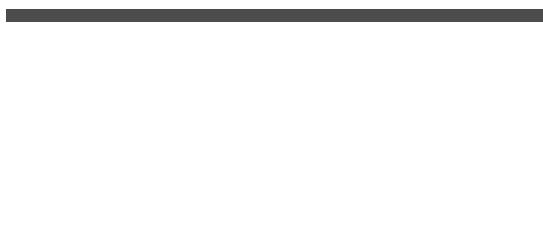
- 2018년 해수부는 「서해안 연안 및 하구해역 생태계관리·복원 방안 마련 연구」를 통해 서해안 145개 하구에 대한 복원순위를 선정하였다.
- 이 중, 충청남도에는 60개 하구·하천(32개 호소)에 대한 평가가 이루어졌으며, 평가하구 및 호소에 대한 관리 현황이 조사되었다.
- 충남도 조사 대상이었던 60개 하구·하천 중 하천측정망을 통해 수질자료를 제공하는 하천은 총 32개소로 파악되었으며, 호소(하구호)의 경우 총 12개소 중 7개소만이 측정망을 통한 관리가 이뤄지고 있다.
 - 국가측정망(하천측정망, 호소측정망) : 환경부
 - 지자체측정망 : 충청남도 물관리정책과·보건환경연구원

- 특히, 가로림만의 경우 조사대상이 된 5개 유입하천 모두 하류측 하천·호소 측정망이 없어 수질관리가 이루어지지 않고 있다.
- 천수만에 위치한 홍성호, 보령호의 경우도 하구호에 대한 하천·호소 측정망이 구축되어 있지 않다.
- 충청남도는 대규모 현안사업으로서 「가로림만 해양정원」, 「부남호 역간척」 사업을 역점적으로 추진하고 있다.
- 또한 2030년까지 갯벌복원 5개소에 대한 기본계획을 수립(2020)한 바 있다.
- 가로림만, 천수만 등 도 내 주요 해역에 대한 대규모 생태계 보전관리 계획이 추진되고 있음에, 육상기인 오염원으로 작용하고 있는 단한하구의 하구호에 대한 체계적인 관리가 무엇보다도 중요하다.

6.4.3. 정책제언

- 충남에 소재한 60개 하구·하천 중 하천측정망을 통해 수질자료를 제공하는 하천은 총 32개소로 파악되었다(특히 가로림만 내 유입하천에는 측정망이 전무함).
- 이 중 하구호가 존재하는 12군데 중, 하구호 수질측정망이 있는 곳은 7군데에 불과하다.
- 바다로 유입되기 전의 하구역에서의 수질오염 및 저층 퇴적물의 오염 정도가 점차 심각해지고 있으나, 환경부 하천·호소 측정망의 경우 수질 조사만 수행하고 있다.
- 하굿둑 내측에 고여 있는 정체된 오염수와 저층에 깔려있는 오염퇴적토는 하구호 내의 수질오염을 반복시키는 원인이 되고 있다.
- 따라서 충청남도 연안하구 복원사업의 중장기적인 플랜 수립이 필요하며, 복원의 우선 순위의 산정에 앞서 충남 도내에 위치한 60개의 하구에 대한 수질/퇴적물 오염현황에 대한 정량적인 파악이 특히 중요하다.
- 본 연구에서 제안하는 「충청남도 연안하구 모니터링 및 관리방안 수립」 연구를 통해서 하구에 대한 수질 및 퇴적물에 대한 오염정도를 시공간적으로 평가하고, 이를 활용한 정책대응 방안 수립이 가능할 것으로 기대된다.
- 본 연구에서의 1단계 5년(2016~2020년)에 대한 모니터링 연구성과와 연계하여 2단계 계획에서의 중장기 관리방안 수립, 복원 우선대상지 선정 등의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌



참 고 문 헌

- 국토해양부, 2007. 해양생태계 기본조사 -35.5° 곰소만 입구~37° 아산만-
- 김지희, 임치원, 김평중, 박정흠, 2003. 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량. J.Fd Hyg. Safety. 18(3), 125-132
- 목종수, 이가정, 심길보, 이태식, 송기철, 김지희, 2010. 한국 연안산 해산 무척추동물의 중금속 함량. J Korean Soc Food Sci Nutr. 39(6), 894-901
- 박미옥, 이용우, 안정보, 김성수, 이석모. 2017, 2015년 한국 연안 수온과 염분의 시공간적 분포 특성., 한국해양환경·에너지학회지 Vol20, No4, 226-239.
- 박준건, 김은수, 조성록, 김경태, 박용철, 2003. 시화호 수질의 연변화 양상에 대한 연구, Ocean and Polar Research, 25(4): 459-468.
- 식품의약품안전처, 2015, 식품의 기준 및 규격
- 윤성진, 박경수, 2011. 부유물질증가에 따른 저서성 해양생물의 독성평가에 관한 연구, 한국환경과학회지, 20(11): 1383-1394.
- 이광우, 양한섭, 1999, 화학해양학. 청문각.
- 이수형. 1994. 이매패류를 지표종으로 이용한 해양환경오염연구. 한국패류학회지 10:24-40
- 이인숙, 김은정. 2000. 진해만의 퇴적물, 해수 및 참굴 내의 중금속 분포. Korean J. Ecol. 23(1), 59-64
- 정용훈, 조만균, 이동기, 두선민, 최현수, 양재삼. 2016, 담수유입으로 인한 아산만 해양수질의 계절적인 변동. 해양환경안전학회지. v22 no 5 pp.454-467
- 조상만, 김영환, 정우건. 2009. 통영연안 해역의 양식 참굴의 중금속 농축에 관한 연구. 한국패류학회지. v23 no.1 pp.59-64
- 조현서, 박청길, 변종률. 1998. 온산연안 해역의 중금속 오염에 관한 연구. 수질보전학회지 4: 31-40
- 최희구, 박주석, 이필용. 1992. 한국연안 진주담치와 굴의 중금속 농도에 관한 연구. 한국수산학회지. v25 no.6 pp.485-494
- 하강자, 송주영, 하대식. 2004. 경상남도 연안지역 어패류 중의 중금속 함량에 관한 연구, J.Fe Hyg. Safety 19(3), 132-139
- 한수정, 이인숙. 2000. 생물지표종을 이용한 온산만의 중금속 오염도 평가. 한국생태학회지 23(1) : 51~57
- 한국해양연구소, 1982. 생태계 내에 있어서 오염물질의 이동체계에 대한 연구. BSPE 00032-60-40. p77

해양수산부, 2013. 해양환경공정시험기준

해양수산부, 2018. “해양환경관리법” 제 8조에 따른 해양환경기준 : 해양수산부고시 제 2018-10호

한국농어촌공사, 2020. <https://ekr.or.kr>

Birth G. 2003. A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments using sediments. In: Proceedings of Coastal GIS 2003. Woodcoffe CD and Fumess RA, eds. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy, New South Wales, Australia, 14.

Brown C and Luoma SN . 1995. Use of the euryhaline bivalve *Potamocorbula amurensis* as a biosentinel species to assess trace metal concentration in San Francisco Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12:129-142

Bruland, K. W., 1983. Trace elements in seawater. In: Chemical Oceanography. edited by Riley, J. P. and R. Chester, Academic Press, New York, 8: 157-220pp.

Chen CW, Kao CM, Chen CF and Dong CD. 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. Chemosphere 66, 1431-1440.

Cho, H.C. and Y.G. Cho, 2015. Heavy Metals in Surface Sediments from Doam Bay, Southwestern Coast of Korea. J. Korean Soc. Oceanogr, 20: 159-168.

Cho YG and Park KY. 1998. Heavy metals in surface sediments of the Youngsan Estuary, west coast of Korea. J Kor Environ Sci Soc 7, 549-557.

Choi SW, Oh KH, Youn ST, Kim HG and Koh YK. 2010. Sedimentary environments and geochemistry characteristics of tidal flat sediments in semi-enclosed Cheonggye Bay, Korea. J Kor Island 22,175-187.

Folk RL and Ward WC. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. J Sed Petol 27, 3-26.

Forstner, U. 1981. Metal concentrations in river, lake and ocean water. In: Metal pollution (Forstner, U. and Wittmann, G. T. W.) : 71-109.

Greaves, C., Schwartz, H., 1952, The chemical utilization of wood. Department of Resource Development, Forest Branch, Ottawa, 28.

Holligan, P. M., Harris, R. P., Newell, R. C., Harbour, D. S., Head, R. N., Linley E. A. S., Lucas, M. I., Tranter, P. R. G., Weekley, C. M., 1984, Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel. Mar. Ecol, 14(2), 111-127.

- Hwang DW, Ryu SO, Kim SG, Choi Ol, Kim SS and Koh BS. 2010. Geochemical characteristics of intertidal surface sediments along the southwestern coast of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 146-158.
- Hwang DW and Kim SG. 2011. Evaluation of heavy metal contamination in intertidal surface sediments of coastal islands in the western part of Jeollanam province using geochemical assessment techniques. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 772-784.
- Hwang, G.C., Kim, S.J., Song, K.C., Wi, C.H. and Park, J.H. 1985. Heavy metal concentration in oyster, *Crassostrea gigas*, and blue mussel, *Mytilus edulis*, in Hansan-Koje Bay. *Bulletin of Fisheries Research and Development Agency* 48: 205-215.
- Kim, S.K. 1997. A Study on the heavy metals contents of shellfish in western coast of Korea. *Journal of Natural Sciences of Soonchunhyang University* 3:353-364.
- Kim, S., Zhang, C.I., Kim, J.Y., Oh, J.H., Kang, S. and Lee, J.B., 2007, "Climate variability and its effects on major fisheries in Korea", *Ocean Sci. J.*, Vol. 42, 179-192.
- Lee, S. H., Fuhrman, J. A., 1987, Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton, *Appl. Environ. Microbiol*, 53, 1298 - 1303.
- Lee, M.Y., 2010, Characteristics of organic matters and trace metal distribution in the surface sediments of Gwangyang bay, Korea, Graduate school of Education Pukyong National University.
- Lim D, Choi JY, Shin HH, Rho KC and Jung HS. 2013. Multi element geochemistry of offshore sediments in the southeastern Yellow Sea and implications for sediment origin and dispersal. *Quat Internat* 298, 196-206.
- Martin, J.M. and Whitefield, M., 1983. The significance of river input of chemical element to the Ocean In: Wong C.S., Boyle, E., Bruland, K.W. (eds.). *Trace metals in sea water*. Plenum, New York, pp. 265-296.
- Martin, J.M. and H.L. Windom, 1991. Present and future roles of ocean margins in regulating marine biogeochemical cycles of trace elements: In *Ocean Marine Processes in Global Change*. Edited by Mantoura, R.F.C., J.M. Martin and R. Wollast, John Wiley and Sons, 165-180p.
- Millero, F.J. and M.L. Sohn, 1992. *Chemical Oceanography*. CRC Press, 227-366p.
- Müller G. 1979. Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veränderungen seit

1971. Umschan 79:778-783
- Phillips DJH and Rainbow PS. 1989. Strategies of trace metal sequestration in aquatic organisms. *Mar. Environ. Res.* 28: 207-210
- Phillips DJH and Segar DA. 1986. Use of bioindicators in monitoring conservative contaminants: programme design imparatives. *Mar. Pollut. Bull.* 17:10
- Rainbow PS, DJH Phillips and MH Depledge. 1990. The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates. *Mar. Pollut. Bull.* 21:321-324
- Stein, R., 1991, Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Springer Verlag, Berlin, 1-217.
- Soto, J. and Paez, O. 2001. Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and aagoonal sediments from Mazatlan Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 53: 259-274.
- Taylor SR. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. *Geochem Cosmochim Acta* 28, 1273-1285.
- Taylor SR and McLennan SM. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophys* 33, 241-265.
- Woo, J.S., H.J. Lee, J.K. Park, K.K. Park, D.J. Cho, D.J. Jang, S.J. Park, M.S. Choi, and J.K. Yoo. 2019. Background concentration and contamination assessment of heavy metals in Korean coastal sediments. *Journal of the Korean Society of Oceanogrpahy*, Vol. 24, pp. 64-78.
- Yokoyama H. 2000. Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japaness coastal area - a new policy and its potential problems. *Bul Natl Res Inst Aquacult* 29, 123-134
- Zhang J and Liu CL. 2002. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. *Estuar Coast Shelf Sci* 54, 1051-1070.