2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역

2020. 02

충청남도

제 출 문

충청남도지사 귀하

○ 본 보고서를 『2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구용역』에 대한 최종성과품으로 제출합니다.

2020년 02월

충 남 연 구 원

총괄연구책임자 : 윤 종 주

참 여 연 구 원 : 이 상 신 신 우 석

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 조사 개요 ····· 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 및 분석 ····· 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 ····· 112
3.3.2 연차별 수질 결과 분석 ····· 116
3.3.3 해양 퇴적물 ····· 124
3.3.4 지역별, 연차별 퇴적물 결과 분석 ····· 169
3.3.5 해양 생물 내 중금속 ····· 181

제 4 장 연안환경측정망 특별 조사 ····· 189
4.1 조사 개요 ····· 189
4.1.1 공간적 범위 ····· 189
4.1.2 시간적 범위 ····· 189
4.1.3 내용적 범위 ····· 189
4.1.4 조사 목적 ····· 189
4.1.5 조사 정점 및 조사 항목 ····· 190
4.1.6 시료 채취 방법 및 분석 ····· 192
4.2 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원 조사(특별조사Ⅰ) ····· 195
4.2.1 천수만 특별조사 ····· 195
4.2.2 천수만 주변 담수호 내측 수질 변화 비교 ····· 198
4.2.3 천수만 내 주요 담수호 오염도 조사 현황 ····· 200
4.3 가로림만 담수호 조사(특별조사Ⅱ) ····· 205
4.3.1 가로림만 특별조사 ····· 205
4.3.2 솔감저수지 · 어은천의 수질조사결과 ····· 209
4.3.3 솔감저수지 · 어은천의 퇴적물 조사결과 ····· 210

제 5 장 차년도 연안환경측정망 운영계획 개선안 ····· 215
5.1 정기조사 실시의 성과 ····· 215
5.1.1 해수 수질 ····· 215
5.1.2 해저 퇴적물 ····· 215
5.1.3 해양 생물(굴) ····· 215
5.1.4 기타 ····· 215
5.2 특별조사 실시의 성과 ····· 216
5.2.1 천수만 특별조사 ····· 216
5.2.2 가로림만 특별조사 ····· 217
5.3 차년도 서해안 연안환경측정망 모니터링 수행 ····· 217
5.4 2020년도 특별조사 및 향후 추진 계획 ····· 218

참 고 문 헌 ····· 225

부 록 ····· 233
부록 1. 충청남도 내 호소 조사 현황 ····· 233

부록 2. 환경부 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준 ·····235
부록 3. 하천 · 호소 퇴적물 오염평가 기준 ·····236
부록 4. 해양환경 기준 ·····238
부록 5. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 규정 ·····240
부록 6. 충청남도 지속가능발전목표 2030 내 관련 지표 ·····242

표 목 차

<표 2.2-1> 2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 정기조사 분석항목 ·····11
<표 2.2-2> 2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목 ·····11
<표 2.2-3> 서해안 연안환경측정망 정기조사 지점 종합 ·····12
<표 3.1-1> 해양환경 정기조사 개요 ·····17
<표 3.2-1> 지수별 퇴적물의 입도 환산표 ·····27
<표 3.2-2> 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale) ·····28
<표 3.2-3> 표준시료(MOOS-3)에 대한 해수 내 영양염류의 분석 결과 및 회수 ·····31
<표 3.2-4> 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율 ·····31
<표 3.2-5> 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율 ·····32
<표 3.3-1> 각 시기별 현장조사 시간 ·····39
<표 3.3-2> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 동계) ·····40
<표 3.3-3> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 동계) ·····42
<표 3.3-4> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 동계) ·····44
<표 3.3-5> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 춘계) ·····46
<표 3.3-6> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 춘계) ·····48
<표 3.3-7> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 춘계) ·····50
<표 3.3-8> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 하계) ·····52
<표 3.3-9> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 하계) ·····54
<표 3.3-10> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 하계) ·····56
<표 3.3-11> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 추계) ·····58
<표 3.3-12> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 추계) ·····60
<표 3.3-13> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 추계) ·····62
<표 3.3-14> 해양환경기준-해양수산부고시 제 2018-10호 ·····64
<표 3.3-15> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 동계) ·····105
<표 3.3-16> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 춘계) ·····106
<표 3.3-17> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 하계) ·····107
<표 3.3-18> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 추계) ·····108
<표 3.3-19> 해양환경기준(생태기분 해수수질 기준) - 해양수산부고시 제2018-10호 ·····111
<표 3.3-20> 충청남도 연차별 수질등급(WQI) 비율 ·····117
<표 3.3-21> 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08) ·····117
<표 3.3-22> 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2019년 동계) ·····125

<표 3.3-23> 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2019년 동계) ·····129
<표 3.3-24> 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2019년 동계) ·····140
<표 3.3-25> 해양 퇴적물 항목의 상관분석 결과(2019년 동계) ·····158
<표 3.3-26> 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10) ·····158
<표 3.3-27> 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준 ·····162
<표 3.3-28> 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2019년 동계) ·····162
<표 3.3-29> 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준 ·····166
<표 3.3-30> 해양퇴적물 내 농집지수(2019년 동계) ·····166
<표 3.3-31> 해양 생물 중금속 분석 결과(2019년도) ·····183
<표 3.3-32> 국내 · 외 식품 중 패류의 중금속 기준 및 굴 체내 중금속의 기존 연구 결과 ··184
<표 4.1-1> 연안환경측정망 특별조사 개요 ·····191
<표 4.2-1> 천수만 특별조사 수질 분석결과 ·····197
<표 4.2-2> 충청남도 담수호 오염도 조사 기관 현황 ·····205
<표 4.3-1> 솔감저수지・어은천 항목별 수질 등급 ·····215
<표 4.3-2> 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 항목별(입도, 유기물 및 영양염류) 결과 ·····216
<표 4.3-3> 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 중금속 분포 결과 ·····216
<표 4.3-4> 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준[환경부, 2012.11] ·····217
<표 4.3-5> 하천 · 호소 퇴적물 오염평가 기준[환경부, 2015.12] ·····217

그 림 목 차

<그림 2.2-1> 서해안 연안환경측정망 정기조사 정점 ····· 8
<그림 2.2-2> 특별조사Ⅰ정점도(천수만) ····· 10
<그림 2.2-3> 특별조사Ⅱ정점도(가로림만) ····· 10
<그림 2.3-1> 상위계획 및 관련 계획과의 연계도 ····· 14
<그림 3.2-1> 동계(2월) 정기조사 현장사진(충남 연안) ····· 19
<그림 3.2-2> 춘계(5월) 정기조사 현장사진(충남 연안) ····· 20
<그림 3.2-3> 하계(8월) 정기조사 현장사진(충남 연안) ····· 21
<그림 3.2-4> 추계(11월) 정기조사 현장사진(충남 연안) ····· 22
<그림 3.2-5> 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류 ····· 29
<그림 3.3-1> 조사해역에서 수온의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 65
<그림 3.3-2> 조사해역에서 염분의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 67
<그림 3.3-3> 조사해역에서 수소이온농도(pH)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 69
<그림 3.3-4> 조사해역에서 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 71
<그림 3.3-5> 조사해역에서 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 73
<그림 3.3-6> 조사해역에서 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 75
<그림 3.3-7> 조사해역에서 엽록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 77
<그림 3.3-8> 조사해역에서 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 79
<그림 3.3-9> 조사해역에서 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 81
<그림 3.3-10> 조사해역에서 총인(TP)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 83
<그림 3.3-11> 조사해역에서 용존무기인(DIP)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 85
<그림 3.3-12> 조사해역에서 규산염 규소(SiO2)의 계절 및 정점별 분포(표층) ····· 87
<그림 3.3-13> 조사해역에서 중금속(Cr6+)의 계절 및 정점별 분포 ····· 89
<그림 3.3-14> 조사해역에서 용매추출유분의 계절 및 정점별 분포 ····· 96
<그림 3.3-15> 기존조사(해양환경측정망)와 금회조사 결과 비교(부유입자물질) ····· 98
<그림 3.3-16> 조사해역의 생태기반 해수수질 기준 ····· 109
<그림 3.3-17> 생태구역 구분도 ····· 110
<그림 3.3-18> Box Plot의 의미 ····· 112
<그림 3.3-19> 해수 수질의 계절별 특성 ····· 113
<그림 3.3-20> 해수 수질의 계절별 특성 ····· 114
<그림 3.3-21> 충남해역 수질 관리 대상 후보군 지점 ····· 115
<그림 3.3-22> 지역별(평균) 해양수질 시계열 분석 결과 ····· 118

<그림 3.3-23> 지역별(평균) 해양수질 시계열 분석 결과(TN-TP) ·····119
<그림 3.3-24> 화력발전소 주변 조사정점 ·····120
<그림 3.3-25> 화력발전소 주변 해양수질 시계열 분석 결과 ·····120
<그림 3.3-26> 충남 서해안 조사정점 비교 ·····121
<그림 3.3-27> 충청남도 서해안 해수 조사항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균) 122
<그림 3.3-28> 삼각다이아그램(a), 입도 조성 및 평균 입도 분포(b) ·····127
<그림 3.3-29> 평균입도와 강열감량, COD간의 상관성 분석 ·····131
<그림 3.3-30> 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비 ·····132
<그림 3.3-31> 해양 퇴적물의 함수율 분포 특성 ·····133
<그림 3.3-32> 해양 퇴적물의 강열감량 분포 특성 ·····134
<그림 3.3-33> 해양 퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 분포 특성 ·····135
<그림 3.3-34> 해양 퇴적물의 산휘발성황화물(AVS) 분포 특성 ·····136
<그림 3.3-35> 해양 퇴적물의 총유기탄소(TOC) 분포 특성 ·····137
<그림 3.3-36> 해양 퇴적물의 총질소(TN) 분포 특성 ·····138
<그림 3.3-37> 해양 퇴적물의 카드뮴(Cd) 분포 특성 ·····144
<그림 3.3-38> 해양 퇴적물의 크롬(Cr) 분포 특성 ·····145
<그림 3.3-39> 해양 퇴적물의 구리(Cu) 분포 특성 ·····146
<그림 3.3-40> 해양 퇴적물의 납(Pb) 분포 특성 ·····147
<그림 3.3-41> 해양 퇴적물의 아연(Zn) 분포 특성 ·····148
<그림 3.3-42> 해양 퇴적물의 니켈(Ni) 분포 특성 ·····149
<그림 3.3-43> 해양 퇴적물의 망간(Mn) 분포 특성 ·····150
<그림 3.3-44> 해양 퇴적물의 코발트(Co) 분포 특성 ·····151
<그림 3.3-45> 해양 퇴적물의 리튬(Li) 분포 특성 ·····152
<그림 3.3-46> 해양 퇴적물의 비소(As) 분포 특성 ·····153
<그림 3.3-47> 해양 퇴적물의 수은(Hg) 분포 특성 ·····154
<그림 3.3-48> 해양 퇴적물의 알루미늄(Al) 분포 특성 ·····155
<그림 3.3-49> 해양 퇴적물의 철(Fe) 분포 특성 ·····156
<그림 3.3-50> 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교 ·····159
<그림 3.3-51> 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb)의 정점별 농축계수(EF) ·····163
<그림 3.3-52> 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)의 정점별 농축계수(EF) ·····164
<그림 3.3-53> 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb)의 정점별 농집지수(Igeo) ·····167
<그림 3.3-54> 아연(Zn), 비소(As), 크롬(Cr)의 정점별 농집지수(Igeo) ·····168
<그림 3.3-55> 지역별, 연차별 해양퇴적물 시계열 분석 결과 ·····170

<그림 3.3-56> 화력발전소 주변 퇴적물 시계열 분석 결과 ····171
<그림 3.3-57> 충청남도 서해연안 퇴적물 일반항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균) ···173
<그림 3.3-58> 충청남도 서해연안 퇴적물 중금속항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균) ····174
<그림 3.3-59> 충청남도 연안 퇴적물 일반항목 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균) ····175
<그림 3.3-60> 충청남도 연안 해양 퇴적물(미량금속) 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균) ···177
<그림 3.3-61> 정점별 생물 체내 중금속 농도 ····185
<그림 3.3-62> 연차별 해양생물 채내 중금속(납, 수은) 농도 변화 ····186
<그림 4.1-1> 특별조사Ⅰ정점도(천수만) ····190
<그림 4.1-2> 특별조사Ⅱ정점도(가로림만) ····190
<그림 4.1-3> 천수만 특별 조사 현장사진(특별조사Ⅰ) ····192
<그림 4.1-4> 천수만 특별 조사(특별조사Ⅰ) ····193
<그림 4.1-5> 가로림만 특별 조사(특별조사Ⅱ) ····194
<그림 4.2-1> 천수만 부남호 전면에 위치한 가두리 양식장 전경 ····195
<그림 4.2-2> 간월, 부남호 호소내 시계열 오염지수 변동 ····204
<그림 4.2-3> 수질측정망 조사 정점도(부남호, 간월호) ····207
<그림 4.2-4> 부남호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교 ····208
<그림 4.2-5> 간월호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교 ····208
<그림 4.2-6> 홍성호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교 ····209
<그림 4.2-7> 보령호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교 ····209
<그림 4.3-1> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 현황 ····211
<그림 4.3-2> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 수질 변화(도내, 사창저수지) ····212
<그림 4.3-3> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 수질 변화(중왕, 지곡저수지) ····213
<그림 4.3-4> 솔감저수지 및 어은천 조사 정점 및 공간 구분 ····214
<그림 5.3-1> 천수만 내 담수호 오염도 조사 ····223
<그림 5.3-2> 천수만 주상퇴적물 조사 계획 ····224
<그림 5.3-3> 부남호 유입하천 수질조사 계획 ····224
<그림 5.3-4> 가로림만 내 담수호 특별조사 계획 ····225

제1장

연구 개요

제 1 장 연구 개요

- 해양, 특히 연안의 환경은 인간의 활동영역이 연안역에 집중되고 다양한 산업활동, 수산양식, 경제활동 및 관광레저 활동이 증가함에 따라 연안오염이 점차 증가되고 있다.

- 주요 연안역은 도시화 및 산업화 등 인간활동의 집중화로 인하여 육상 및 해상기인 오염원이 증가하고 있다. 이는 해양환경의 이용을 저해하고, 해양환경의 악화를 유발하여 해양생물의 생존을 위협하는 1차적인 생태계 악영향 뿐 아니라 이로 인한 2차적인 인간의 환경피해까지 그 영향이 나타나고 있다.

- 충청남도 연안은 서해안의 중심부에 위치하여 환황해권의 중심 역할을 하고 있으며, 1,242㎞의 리아스식 해안과 357㎢의 넓은 천해의 갯벌자원을 보유하고 있다. 이를 통하여 연중 질 좋은 수산물이 생산되며, 다양한 도서와 함께 수려한 해안환경, 해빈 및 항포구 등은 해양관광자원으로서 매우 높은 가치를 지니고 있다.

- 그러나 충남 연안을 따라 다양하게 들어선 산업단지, 공단, 화력발전소 등의 산업활동 및 이와 관련된 대규모 항만시설 등은 해양수질 등의 연안환경에 대한 위해요소 또는 해양환경의 악영향을 미칠 수 있는 요인을 제공하고 있다.

- 본 연구에서는 이러한 연안역의 각종 오염원의 유입환경이 증대되고 있는 가운데, 깨끗한 연안환경의 지속적인 보전정책의 수립을 위한 기초자료의 확보를 목적으로 도내의 주요 해양 정점을 중심으로 정기적인 해양환경에 대한 모니터링을 수행하였다.

- 세부적으로는 해양환경 중 기초적 자료인 해수에 대한 수질, 해저퇴적물 및 해양생물에 대해 조사하고 분석하여 해양환경의 현황과 오염원을 평가하였다.

- 2019년 연구에서는 추가적으로 충남연안의 반폐쇄성 천수만 내측 부남호, 간월호 전면 해역에서의 퇴적물과 가두리양식장 배합사료, 주요 담수호(부남호, 간월호, 홍성호) 간의 상관관계를 살펴보기 위한 특별조사를 실시하였다.

- 이러한 상관분석을 통하여, 천수만 내 수질 및 퇴적물의 오염 누적원인에 대한 1차 규명을 시도하였다.

- 2019년도에는 기존의 천수만 해역에 대한 특별조사 이외에 가로림만에 위치한 솔감저수지(어은천 하구)에 대한 수질/퇴적물 오염도 조사를 실시하였다.

- 이는 ‘가로림만 국가해양정원 조성’이 추진되고 있으며, 국내최초 해양생물보호구역(해양보호구역)으로 지정된 청정해역인 가로림만으로 유입되는 닫힌하구의 수질 환경을 전반적으로 살펴보기 위하여 우선 1개소에 대한 시범조사를 실시한 것이다.

- 이를 통하여 장기적인 관점에서의 가로림만 해양생태계 보전을 위한 오염원 원인규명 및 지속가능한 유지관리를 위한 조사체계 구축의 필요성을 살펴보았다.

- 본 과제는 지난 2016년도부터 시작되었으며, 금번 조사까지 4년차 수행되었다.

- 1단계 5개년 수행 후, 지속될 2021년부터의 2단계 5개년 조사 계획을 면밀하게 검토할 필요가 있다.

- 2017년부터 정기조사와 함께 진행되어온 특별조사의 성과를 잘 연계하여 지속가능한 충청남도 연안 해역의 환경관리 및 보전정책 수립의 기반을 마련하는데 본 과제의 목적이 있다.

- 이를 통하여, 장기적인 해수면 상승, 해양산성화, 이상 해황 등의 기후변화에 대응할 수 있는 도내 해양환경의 기초자료를 축적하고, 환경변화가 가속화되는 해역을 중심으로 해양환경보전 정책을 집중할 수 있을 것으로 기대한다.

제2장

연안환경측정망 배경 및 목적

1. 연안환경측정망 배경 및 목적
2. 연안환경측정망 내용
3. 법적근거

제 2 장 연안환경측정망 배경 및 목적

2.1 연안환경측정망 배경 및 목적

2.1.1 연안환경측정망 배경

- 충청남도 연안은 그 가치가 높게 평가 되고 있으나, 연안역 이용증가 및 산업단지 등에 각 종 오염원 유입환경이 증대 되고 있으며, 이러한 연안오염에 따른 수산자원 등의 감소주장에 대한 객관적인 자료는 부족한 실정이다.
- 따라서, 체계적인 연안환경관리 및 보전정책 수립을 위한 기초자료의 확보 및 연안오염물질 유입에 따른 오염실태에 대한 분석이 반드시 필요하다.
- 현재 해양환경공단의 국가해양환경측정망, 국립수산과학원 서해수산연구소의 어장환경모니터링, 국립공원연구원의 국립공원 해양환경변화측정망 등 충청남도 연안의 측정망 및 모니터링 정점은 다양하게 존재하지만 각 정점들 간의 거리 편차가 크고 자료의 연속성이 떨어지며, 주관 운영기관의 목적에 따른 측정 항목에 차이가 있다.

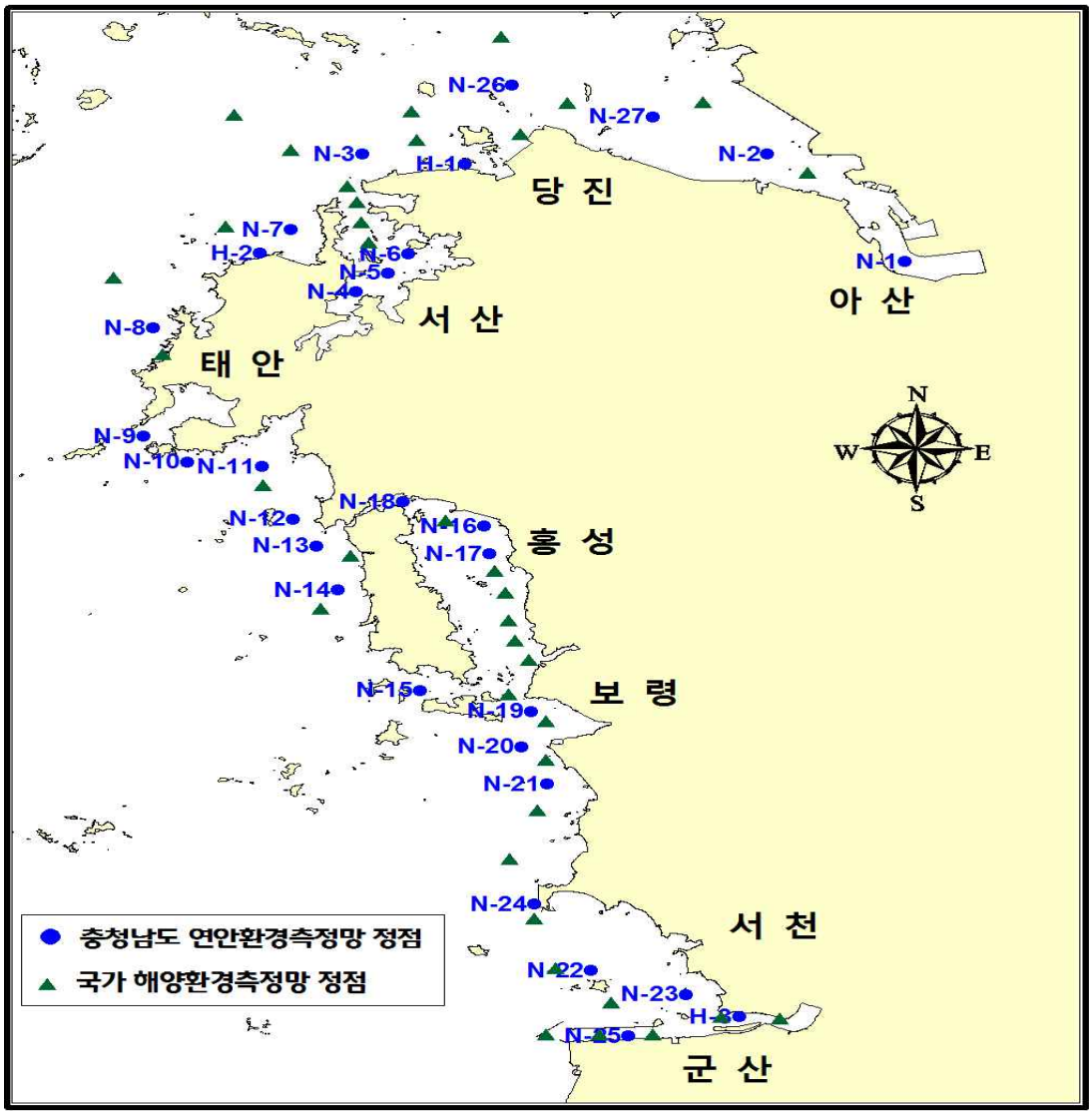
2.1.2 연안환경측정망 목적

- 본 연구는 깨끗한 연안환경의 지속적인 보전정책의 수립을 위한 기초자료의 확보를 목적으로 도내의 주요 해양정점을 중심으로 정기적인 해양환경에 대한 모니터링을 수행하고, 세부적으로는 해수에 대한 수질, 해저퇴적물 및 해양생물에 대해 조사 및 분석하여 해양환경현황, 오염원을 평가한다.

○ 서해안 연안환경측정망 모니터링
- 충청남도 서해안 연안 환경변화에 따른 개발과 보존이 공존하는 지속가능한 발전의 토대 구축 - 각 종 연안환경오염의 원인규명 및 관리대안 마련 - 중장기적인 실천계획의 수립을 위한 자료 축적 - 국가 상위 계획과의 연계를 통한 도정의 지속성, 연속성 확보 충청남도 연안환경 측정망 구축 ➔ 연안환경측정망 모니터링 ➔ 해양환경관리 및 보전정책 수립

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).
- 2015년도 4/4분기의 26개 측정지점에 대한 현장 측정 이후에 아산만/당진연안과 금강하구의 서천연안에 대한 정점 추가가 요구되어 2016년 4개 정점을 추가하여 이후 30개 정점에 대한 조사를 수행하고 있다(그림 2.2-1).
- 

<그림 2.2-1> 서해안 연안환경측정망 정기조사 정점

2.2.2 특별조사 정점 선정

- 2019년도 특별조사는 천수만 주요 담수호와 가로림만에 위치한 솔감저수지와 어은천에 대하여 실시하였다.
- 천수만 담수호 조사는 부남호, 간월호, 홍성호에 대해 수행하였다.
- 천수만 담수호에 대해서는 2017년과 2018년에 연속으로 수질 및 퇴적물 조사를 수행하였으며, 2019년도에는 해양오염퇴적물에 대한 하구호 등 육상기원 오염물질과 해상 가두리양식장과의 오염도 상관성을 분석하기 위한 조사를 진행하였다(그림 2.2-2).
- 이를 위하여 각 호소 내측의 수질과 함께 질소, 탄소 안정동위원소 분석을 통하여 호소측과 해역측의 상관관계를 조사하였다.
- 가로림만에 위치한 솔감저수지는 서산시 팔봉면과 태안군 태안읍 사이에 위치하며, 어은천을 따라 흘러들어온 담수를 하구역 저수지에 가두어두고 농업용수 목적으로 활용중이다.
- 그러나 갇힌 하구의 특성상 수질악화가 지속되고 있음에도 한국농어촌공사의 수질관리가 미흡한 실정이며, 향후 체계적인 수질관리가 필요하다.
- 이와 함께 가로림만 국가해양정원 조성 사업이 추진되고 있어, 서산시와 태안군의 경계에 위치한 솔감저수지는 가로림만 생태보전사업에 있어 매우 큰 상징적인 의미를 가질 수 있다.
- 솔감저수지는 가로림만 내에 위치한 주요 담수호의 오염상태를 잘 나타내 줄 수 있을 것으로 판단되며, 조사결과에 따라 다른 가로림만 내 담수호에 대한 추가 조사 필요 여부를 알아볼수 있을 것으로 기대한다.
- 솔감저수지 및 어은천은 수질 및 퇴적물에 대한 조사를 수행하였다(그림 2.2-3).

<그림 2.2-2> 특별조사Ⅰ정점도(천수만)

<그림 2.2-3> 특별조사Ⅱ정점도(가로림만)

2.2.3 조사 시기 및 조사항목

- 정기조사 시기는 분기별 조사를 기준으로 하여 각 분기별 2, 5, 8, 11월 초에 현장 조사가 실시되었으며, 시료 채취시간은 『해양환경공정시험기준』 제1항 2.2절에 따라 조석현상을 고려하여 수행하였다. 단 퇴적물 조사는 2월에 한하여 년 1회 실시하였다.
- 천수만 내 담수호 특별조사는 9월, 가로림만 내 솔감저수지 특별조사는 5월에 실시하였다
- 각 조사의 항목별 세부조사항목과 정점별 측정항목은 다음과 같다(<표 2.2-1>~<표 2.2-3>).

<표 2.2-1> 2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 정기조사 분석항목

구분		조사항목	조사정점
해수	일반항목(15)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO_2-N, NH_4-N, NO_3-N), TP, DIP(PO_4-P), SIO_2-SI, SPM, 투명도, Chlorophyll-a, 용매추출유분	30개 정점
	유분		5개 정점
	미량금속(8)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr^{6+}, 총수은, As, CN	18개 정점
해저 퇴적물	일반항목(6)	입도, 강열감량, 황화물, COD, 원소분석(TOC, TN)	30개 정점
	중금속(13)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, Ni, Co, Al, Li, Fe, Mn	30개 정점
해양 생물	중금속(7)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As	5개 정점

<표 2.2-2> 2019년 서해안 연안환경측정망 모니터링 특별조사 분석항목

구분		조사항목	조사정점
수질 (하구호)	일반항목 (13)	수온, 염분, pH, 투명도, COD, TN, DIN(NO_2-N, NH_4-N, NO_3-N), TP, DIP(PO_4-P), SIO_2-SI, SPM, Chlorophyll-a, TOC(호소 내)	천수만 6개소, 가로림만 3개소
	미량금속 (8)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr^{6+}, 총수은, As, CN	
퇴적물 (하구호)	일반항목 (8)	함수율, 입도, COD, AVS, 강열감량, 총인, 원소분석(TOC, TN), 안정동위원소(탄소, 질소)	
	중금속 (11)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, Ni, Al, Fe, Mn	

<표 2.2-3> 서해안 연안환경측정망 정기조사 지점 종합

구분	시군	지점	북위	동경	조사항목		
					해수	해저 퇴적물	해양 생물
연근해	아산	N-1	36° 54'10"	126° 50'10"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
	당진	N-2	37° 01'50"	126° 42'27"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		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	미량 금속
		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	
	태안	N-7	36° 41'40"	126° 07'20"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	
		N-8	36° 39'50"	126° 09'50"	일반항목, 유분, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량 금속
		N-9	36° 39'30"	126° 14'00"	일반항목, 미량금속	일반항목, 미량금속	미량 금속
		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	미량 금속
	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	미량 금속
		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 추진 중에 있다.

- 제2차 해양수산발전 기본계획(2011~2020)
- 제2차 연안정비 기본계획(2010~2019)
- 제3차 연안정비 기본계획(2020~2029)
- 해양생태계 복원계획
- 서해안발전 종합계획(2010.12)
- 제2차 연안통합 관리계획(2011~2020)
- 제4차 해양환경 종합계획(2011~2020)
- 제1차 해양공간 기본계획(2019~2028)

○ 이와 관련한 광역지자체 단위의 계획으로는 다음과 같은 충청남도의 계획이 추진 중에 있다(그림 2.3-1).

- 충청남도 종합계획(2012~2020)
- 제4차 충청남도 환경보전종합계획(2016~2025)
- 제2차 연안관리지역계획
- 충청남도 해양수산발전계획(2015)
- 충청남도 해양생태환경 중장기 발전전략(2016)
- 충청남도 해양공간계획(2020)

<그림 2.3-1> 상위계획 및 관련 계획과의 연계도

제3장

연안환경측정망 정기 조사

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 조사 개요

3.1.1 공간적 범위

○ 충청남도 서해 연안지역

- 7개 시・군(보령, 아산, 서산, 당진, 서천, 홍성, 태안)

3.1.2 시간적 범위

○ 용역기간 : 2019년 1월 1일~2019년 12월 31일(12개월)

○ 조사시기

- 동계 정기조사 : 2019년 2월 11~28일
- 춘계 정기조사 : 2019년 5월 22~31일
- 하계 정기조사 : 2019년 8월 2~14일
- 추계 정기조사 : 2019년 11월 5~26일

3.1.3 내용적 범위

○ 충청남도 연안의 해양환경 상태 및 오염원 정기조사 및 특별조사(표 3.1-1)

○ 충청남도 서해안 연안환경측정망 조사(30개 정점)

○ 해역별 해양환경측정 자료 분석

○ 체계적인 연안환경관리 및 보전정책수립을 위한 기본자료 생산

○ 차년도 연안환경측정망 운영계획 개선·개정 의견 제시

<표 3.1-1> 해양환경 정기조사 개요

구분	조사항목		정점수
해수	일반항목(15)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO_2-N, NH_4-N, NO_3-N), TP, DIP(PO_4-P), SIO_2-SI, SPM, 투명도, Chlorophyll-a, 용매추출유분	30개
	유분		5개
	미량금속(8)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr^{6+}, 총수은, As, CN	30개
해저 퇴적물	일반항목(6)	입도, 강열감량, 황화물, COD, 원소분석(TOC, TN)	30개
	중금속(13)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, Ni, Co, Al, Li, Fe, Mn	30개
해양생물	중금속(7)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As	5개

주) 1. 해수는 표·저층 조사를 원칙으로 하며, 단 유분, 미량금속은 표층조사
2. 미량금속 조사정점과 퇴적물 조사정점 동일
3. 해양생물은 굴 체내의 미량금속 농도를 추정하여 해양 환경 오염 상태를 진단
4. 해수 및 해양생물 시료는 년 4회 채취, 해저퇴적물 시료는 년 1회(2월) 채취

3.2 조사 방법

3.2.1 시료 채취 방법 및 분석

- 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다

가. 해양 수질

1) 일반 항목

- 해양 수질 시료는 니스킨 채수기(Niskin-X sampler)를 이용하였으며 채수기는 현장 해수로 3회 이상 세척한 다음 사용하였다. 표층과 저층 2개 층에서 시료를 각각 채취하였으며 표층은 수면하 0.5m, 저층은 바닥으로부터 1m 상부 수층에서 채수하였다.

2) 미량금속 항목

- 해양 수질의 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, 미리 염산으로 세척된 채수병에 담에 냉장 보관 후 실험실로 운반하였다.

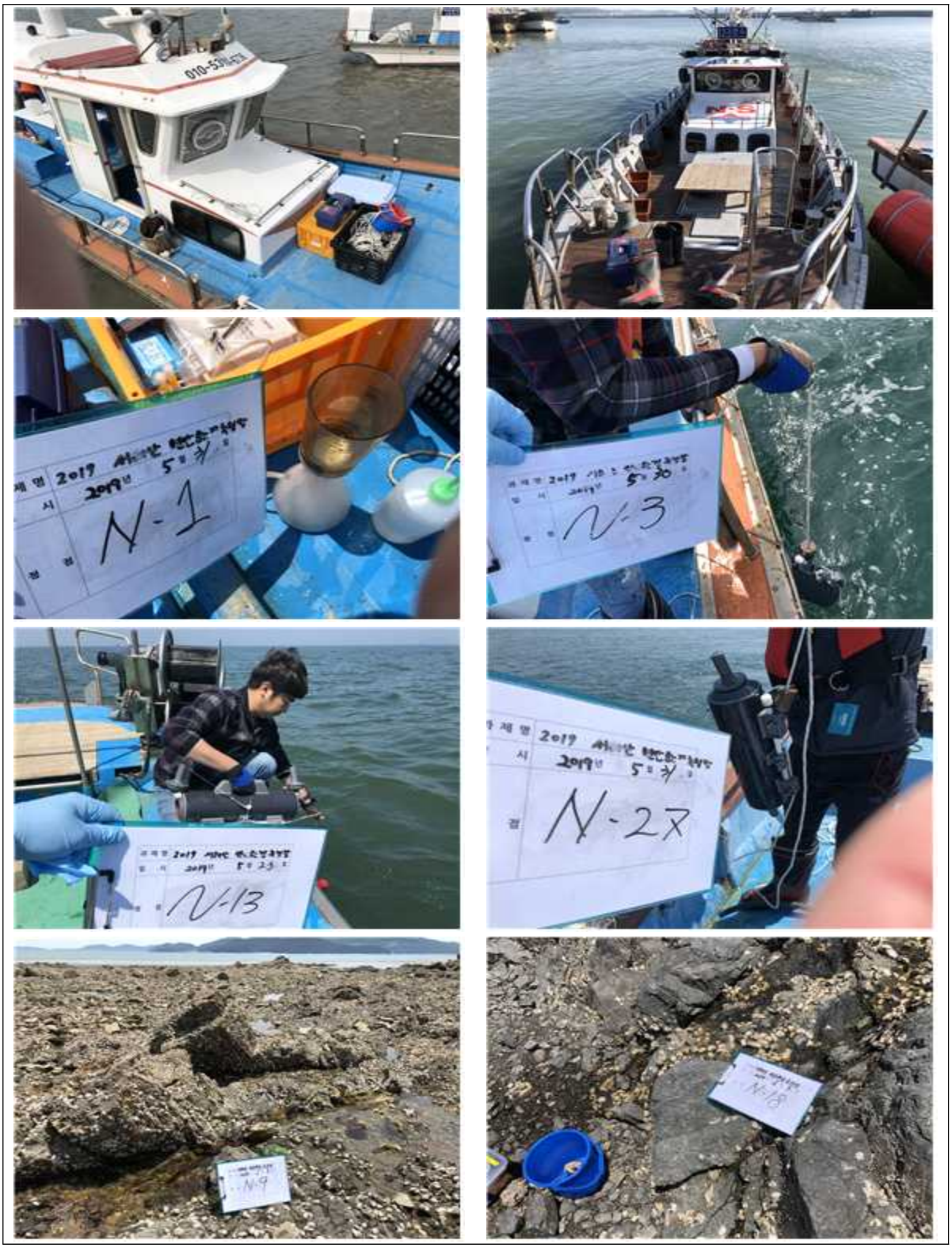
나. 해양 퇴적물

- 퇴적물 시료는 0.1㎡ 크기의 van Veen 채니기를 사용하여 채취하였다. 채니기 덮개와 접촉하지 않은 퇴적물의 상층 부분(표층 2cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료봉투에 담고 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동하였다. 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법으로 건조하였다.

다. 해양 생물

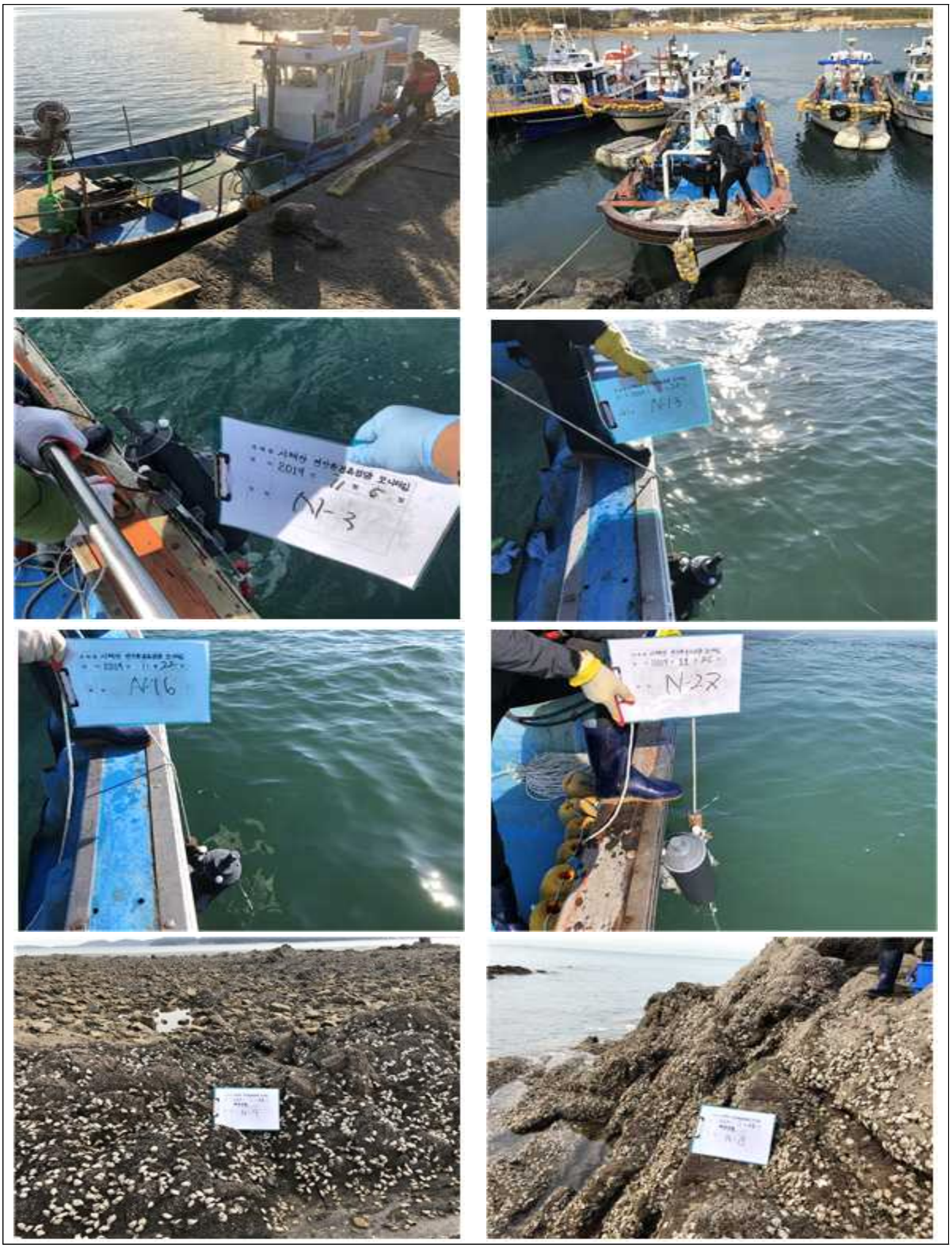
- 해양 생물 시료는 개체에 따른 중금속의 변동을 최소화하기 위해 지점별로 유사한 크기의 굴을 10 개체 이상을 채취한 후 해수로 세척하였다. 생물의 장내에 있는 퇴적물이나 기타 섭취물질을 제거하기 위해 현장의 여과한 해수로 약 24시간 탈장 후 냉동 보관하였다. 시료는 동결건조법으로 건조하였다.

<그림 3.2-1> 동계(2월) 정기조사 현장사진(충남 연안)



<그림 3.2-2> 춘계(5월) 정기조사 현장사진(충남 연안)

<그림 3.2-3> 하계(8월) 정기조사 현장사진(충남 연안)



<그림 3.2-4> 추계(11월) 정기조사 현장사진(충남 연안)

3.2.2 시료의 전처리 및 분석

- 시료의 전처리 및 분석은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.

가. 해양 수질

1) 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)

- 현장에서 간이측정기 RBR CTD(Maestro)를 이용하여 측정하였다.

2) 투명도

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

3) 부유입자물질(SPM)

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

4) 화학적산소요구량(COD)

- 시료를 알카리성으로 하여 과망간산칼륨($KMnO_4$)를 넣고 100℃ 수욕상에서 60분간 가열 반응시킨 후, 요오드화칼륨(KI) 및 황산(H_2SO_4)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

5) 용존무기질소(DIN : NH_4-N, NO_2-N, NO_3-N)

가) 암모니아 질소(NH_4-N)

- 시료에 EDTA($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot H_2O$)와 sodium nitroprusside($Na_2Fe(CN)_5NO \cdot 2H_2O$)의 혼합 용액 및 alkaline phenol(C_6H_5OH)과 dichloroisocyanic acid ($C_3Cl_2N_3NaO_3 \cdot 2H_2O$) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

나) 아질산 질소(NO_2-N)

- 시료에 Sulfanilamide($C_6H_8O_2 \cdot N_2S$)와 naphtylethylenediamine($C_{12}H_{14}N_2 \cdot 2HCl$) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 520 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

다) 질산 질소(NO_3-N)

- 시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 다음 sulfanilamide와 naphtylethylenediamine 용액을 가하여 발색 시킨 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(PO_4-P)

- 시료에 sodium molybdate($Na_2MoO_4.2H_2O$), 황산(H_2SO_4), antimony potassium tartrate ($K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot \frac{1}{2}H_2O$)의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid($C_6H_8O_6$)로 환원시켜 발색 시킨 후 파장 880 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

7) 규산 규소(SiO_2-Si)

- 시료에 Sodium Molybdate($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$)를 가하여 Silicomolybdate Complex를 만든 후, Oxalic Acid($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$)와 Ascorbic acid($C_6H_8O_6$)를 가하여 발색시켜 파장 660㎚에서 영양염 자동분석기(QuAATRO Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

8) 총질소(TN)

- 시료에 과황산칼륨($K_2S_2O_8$)을 가하여 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과 시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

9) 총인(TP)

- 시료에 과황산칼륨($K_2S_2O_8$)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

○ 시료를 0.45㎛인 멤브레인 여과지(membrane filter paper)로 여과한 후 질산을 이용하여 pH를 2 부근으로 조절하였다. 이 후 유기착화제인 APDC/DDDC(ammonium pyrolidine dithiocarbamate/diethylammonium diethldithiocarbamate)를 이용하여 유기금속착화합물 형성 후 유기용매인 클로로포름($CHCl_3$)을 이용하여 추출하였다. 추출된 유기용매는 증발시킨 다음 잔유물을 질산(ultrapure 등급)으로 분해시킨 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

나) As, Hg

○ 해수를 환원기화장치를 이용하여 환원 시킨 후 포집장치에 포집하여 수은·비소분석기(Millennium Excalibur Satellite, PSA)로 분석하였다.

12) 시안(CN)

○ 해수중 CN은 가열 증류 후 수산화나트륨에 포집하여 피리딘-피라졸론 혼합용액을 넣어 흡광도를 측정하였다.

13) 용매추출유분

○ 필터 되지 않은 시료 약 500mL를 테프론 분액깔대기에 넣고 노말핵산 20~40mL 첨가하여 교반시킨 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. 4ϕ체를 이용한 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리한 후, 4ϕ보다 조립질 시료는 진탕기를 이용하여 1ϕ간격으로 분석하였으며, 4ϕ보다 세립질 시료는 자동입도분석기(Mastersizer 2000, Malvan, UK)를 이용하여 1ϕ 간격으로 분석하였다. Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 적용하여 퇴적물의 조직변수를 산출하였다. 지수별 퇴적물의 입도 환산표와 조직 표준치의 산정 공식 및 언어표기 척도를 <표3.2-1>과 <표 3.2-2>에 제시하였으며 자갈, 모래, 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류를

<그림 3.2-5>에 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 무게차이로 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) 중금속(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Al, Fe)

- 퇴적물 중의 금속 분석을 위해 동결건조 후 혼합산(HF + HNO_3 + $HClO_4$)을 이용하여 완전 분해하였다. 여기에 1% 질산(HNO_3, suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

가) 수은(Hg)

- 동결 건조된 시료 1g을 1M 염산(HCl) 50mL로 산분해 후 환원 기화하여 냉증기 원자흡광광도계(AAS : Fims100, PerkinElmer)로 분석하였다.

나) 비소(As)

- (완전분해법) 퇴적물 내에 비소를 질산, 황산 및 불소산을 이용하여 완전 분해한 후 1N 염산 용액으로 재용해한 다음 KI 및 아스코르빅 용액으로 비소 5가를 3가로 환원시켜 원자흡광광도계(AAS)로 분석하였다.
- (용출법) 동결 건조된 시료 1g을 1M 질산(HNO_3) 50mL로 용출 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 분석하였다.

7) 원소분석(C, N)

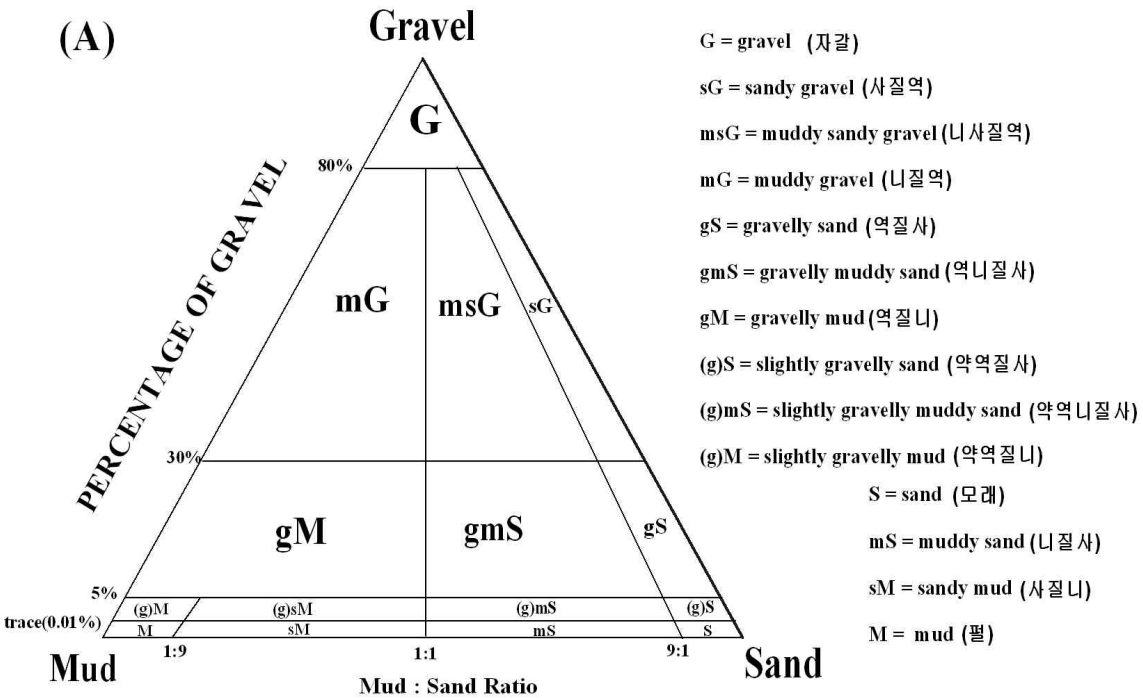
- 원소분석은 퇴적물을 동결건조 후 원소분석기를 이용해서 분석하였으며, TOC 및 TN 값을 산정하는데 사용하였다.

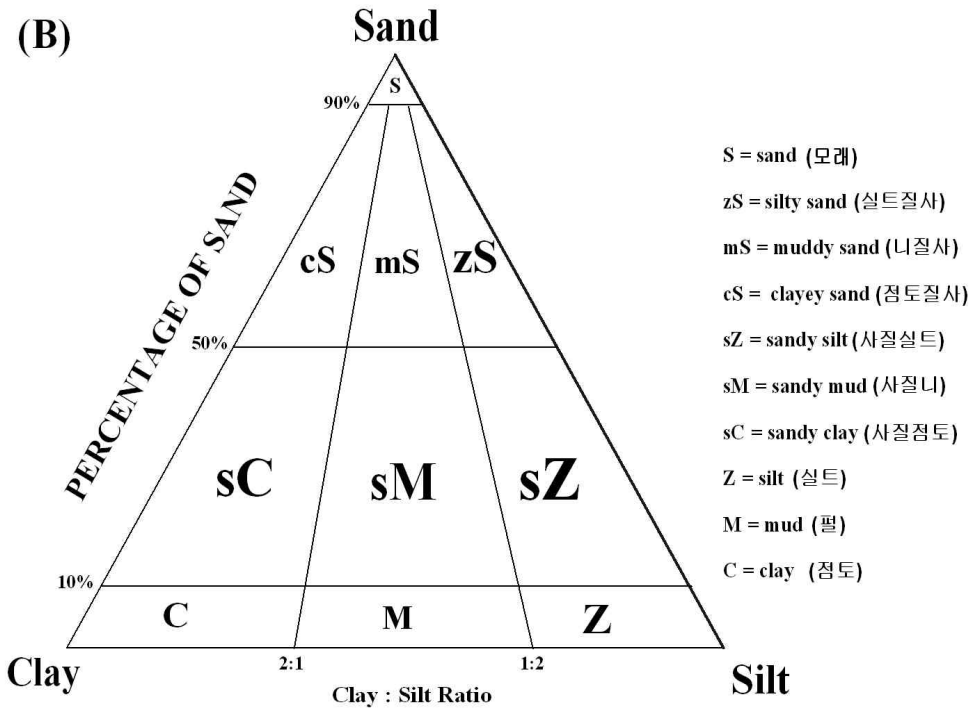
<표 3.2-1> 지수별 퇴적물의 입도 환산표

Diameter (mm)		phi Scale (φ)	Wentworth Size Class	
4096	(212)	-12		
2048	(211)	-11	Boulder	
1024	(210)	-10		
512	(29)	-9		
256	(28)	-8		
128	(27)	-7	Cobble	Gravel
64	(26)	-6		
32	(25)	-5		
16	(24)	-4	Pebble	
8	(23)	-3		
4	(22)	-2	Granule	
2	(21)	-1	Very Coarse Sand	
1	(20)	0	Coarse Sand	
0.5	(2-1)	1	Medium Sand	Sand
0.25	(2-2)	2	Fine Sand	
0.125	(2-3)	3	Very Fine Sand	
0.063	(2-4)	4	Coarse Silt	
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		Mud
0.002	(2-9)	9		
0.00098	(2-10)	10	Clay	
0.00049	(2-11)	11		
0.00024	(2-12)	12		

<표 3.2-2> 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 <	Extermely pooly sorted	최극불량분급
Inclusive Graphic Skewness : 왜도 (입도의 대칭성) $Sk_I = \frac{\phi_{84}+\phi_{16}-2\phi_{50}}{2(\phi_{84}-\phi_{16})} + \frac{\phi_{95}+\phi_5-2\phi_{50}}{2(\phi_{95}-\phi_5)}$ $= \frac{\phi_{84}-\phi_{50}}{\phi_{84}-\phi_{16}} - \frac{\phi_{50}-\phi_5}{\phi_{95}-\phi_5}$ (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 3.2-5> 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류

다. 해양 생물

1) 중금속(Cu, Pb, Zn, Cd, Cr)

○ 동결 건조한 해양 생물 시료를 분쇄하여 후 질산 및 과염소산으로 산분해하였다. 여기에 1% 질산(HNO3, suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합 플라즈마질량분석기(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(HNO3) 10mL로 24시간 용출 후 적절히 희석하여 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 분석하였다.

3.2.3 회수율

○ 분석 자료의 정확도를 검증하기 위해 캐나다 NRC(National Research Council, Canada)의 MOOS-3, CASS-5, MESS-3과 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준 인증물질(CRM)을 사용하였고, 각 항목별 회수율을 <표 3.2-3>~<표 3.2-6>에 제시하였다.

가. 해양 수질

<표 3.2-3> 표준시료(MOOS-3)에 대한 해수 내 영양염류의 분석 결과 및 회수

(mean±sd, n=5, 단위 : μM)

분석항목		NO_2-N	NO_2+NO_3	PO_4-P	SiO_2-Si
함유농도		0.116	16.2	1.19	38.5
분석결과	동계	0.112	17.1	1.17	37.6
	춘계	0.110	16.9	1.14	39.8
	하계	0.119	16.5	1.15	38.1
	추계	0.120	16.7	1.21	39.2
회수율 (%)	동계	97	106	98	98
	춘계	95	104	95	103
	하계	103	102	97	99
	추계	104	103	102	102

<표 3.2-4> 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율

(mean±sd, n=3, 단위 : μg/L)

분석항목		Cd	Cu	Pb	Zn	As
함유농도		0.0217 ±0.0019	0.530 ±0.032	0.0106 ±0.0040	1.27 ±0.18	0.418 ±0.040
분석결과	동계	0.0233 ±0.0014	0.555 ±0.019	0.0105 ±0.0012	1.29 ±0.01	0.449 ±0.004
	춘계	0.0226 ±0.0015	0.543 ±0.026	0.0114 ±0.0012	1.26 ±0.06	0.421 ±0.014
	하계	0.0224 ±0.0023	0.537 ±0.016	0.0112 ±0.0004	1.21 ±0.04	0.415 ±0.010
	추계	0.0219 ±0.0009	0.514 ±0.008	0.0109 ±0.0009	1.33 ±0.03	0.443 ±0.010
회수율 (%)	동계	107	105	99	102	107
	춘계	104	102	108	99	101
	하계	103	101	106	95	99
	추계	101	97	103	104	106

나. 해양 퇴적물

<표 3.2-5> 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율

(건중량, Mean±sd, n=3)

분석 항목	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Li	Al	Fe
	(㎎/㎏)						(%)	
함유 농도	0.28 ±0.04	32.9 ±1.8	21.5 ±1.2	147 ±6	42.8 ±1.6	65.3 ±6.8	128	7.91 ±0.20
분석 결과	0.29 ±0.01	35.9 ±0.8	22.6 ±0.5	154 ±4	44.2 ±1.5	69.3 ±0.5	129 ±1	7.46 ±0.14
회수율 (%)	103	109	105	105	103	106	101	94

*Hg : BCR-277R 사용

다. 해양 생물

<표 3.2-5> 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 이용한 분석 결과 및 회수율

(건중량, Mean±sd, n=3, 단위 : ㎎/㎏)

분석 항목		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As
		(㎎/㎏)					
함유 농도		7.40 ±0.37	0.45 ±0.02	330.1 ±16.5	1.52 ±0.08	835.4 ±42	13.17 ±0.66
분석 결과	동계 춘계	7.97 ±0.15	0.43 ±0.06	340.9 ±17.0	1.45 ±0.06	861.8 ±13	15.04 ±0.28
	하계 추계	7.10 ±0.14	0.41 ±0.04	353.8 ±10.7	1.39 ±0.04	877.3 ±9	13.99 ±0.41
회수율 (%)	동계 춘계	108	96	103	95	103	114
	하계 추계	96	92	107	92	105	106

3.3 정기 조사 결과

3.3.1 해양 수질

- 해양 수질 조사 기간을 <표 3.3-1>에 작성하였으며, 조사결과를 <표 3.3-2>~<표 3.3-13>과 <그림 3.3-1>~<그림 3.3-32>에 제시하였고, 해양환경기준을 <표 3.3-14>에 제시하였다.

가. 수온 및 염분

- 수온은 동계 조사시 2.4~5.8℃(평균 4.3℃), 춘계 11.5~19.7℃(평균 16.0℃), 하계 19.8~29.6℃(평균 25.5℃), 추계에는 10.7~19.8℃(평균 14.6℃)의 범위를 보였고, 염분은 동계 조사시 27.1~33.0psu(평균 31.8psu), 춘계 21.5~31.2psu(평균 30.1psu), 하계 12.7~31.9psu(평균 30.1psu), 추계에는 10.5~31.5psu(평균 30.2psu)의 범위로 조사되었다.
- 조사해역은 비교적 수심이 낮고 수직적인 혼합이 잘 이루어져 수온과 염분의 수직적인 차이가 작았다. 수온의 경우 춘계와 하계 조사시 태안반도 인근(정점 N7, N8, N9)에서 상대적으로 낮은 분포를 보였고, 이러한 현상은 태안반도 인근 해역에서 조석전선(tidal front)이 강하게 형성되기 때문으로 보고되었으며(국토해양부, 2007), 2016~2018년까지 수행된 조사에서도 춘계와 하계 조사시 지속적으로 나타났다.
- 염분은 아산호 내측(N1)과 천수만 내측(N16, N18), 금강에 인접한 정점(H3)에서 담수 유입에 의해 상대적으로 낮은 분포를 보였으며, 추계 조사시 정점 N1의 표층에서 가장 낮은 염분(10.5psu)이 관측되었다.

나. 수소이온농도(pH)

- 수소이온농도(pH)는 해수중에서 일어나는 여러 가지 화학반응 및 생물의 성장과 활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 해수에서 7.5～8.4의 범위를 보여며, 광합성 작용이 활발한 지역에서는 이보다 더 높은 값을 가진다(이 등, 1999).
- 수소이온농도는 동계 조사시 7.3~9.1(평균 8.0), 춘계 7.5~8.4(평균 7.9), 하계 7.6~8.4(평균 8.0), 추계에는 8.0~8.5(평균 8.3)의 범위로 추계 조사시 상대적으로 높은 평균값을 보였다. 동계에는 N21, 춘계에는 서천연안, 하계에는 N23의 저층에서 상대적으로 낮았고, 추계에는 전반적으로 유사한 분포를 나타냈다.
- 조사해역에서 수소이온농도는 모든 정점의 수층에서 해양환경기준(해양수산부고시 제2018-10호)의 범위(6.5~8.5)를 만족하는 것으로 조사되었다.

다. 용존산소(DO) 및 용존산소 포화도

- 대기중의 산소는 수표면에서 물속으로 분산 흡수되고 흡수된 산소는 기체분압에 의해 용존되며, 물의 온도와 기압, 불순물 및 염분도에 의해 영향을 받게 된다. 해양에서의 용존산소는 식물플랑크톤의 높은 일차생산력에 의해 100% 이상의 높은 용존산소 포화도를 나타내기도 한다(박 등, 2003).
- 용존산소는 동계 조사시 10.7~14.7㎎/L(평균 12.1㎎/L), 춘계 4.3~10.8㎎/L(평균 8.0㎎/L), 하계 4.5~13.8㎎/L(평균 7.1㎎/L), 추계에는 6.7~10.9㎎/L(평균 7.6㎎/L)의 범위로, 수온이 낮은 동계에 상대적으로 높았고, 용존산소 포화도는 동계 102~131%(평균 115%), 춘계 54~127%(평균 97%), 하계 67~205%(평균 104%), 추계에는 77~125%(평균 89%)의 범위를 나타냈다.
- 동계에는 아산만 내측의 정점 N1과 N2에서 상대적으로 높은 용존산소 및 용존산소 포화도를 보였는데, 이는 높은 생물량에 의한 광합성 때문으로 판단되며, 춘계와 하계에는 서천연안에 위치한 정점(N23, N24, N25, H3)에서 낮은 농도를 보였다. 추계에는 정점 N8과 N9에서 낮고, N14에서 상대적으로 높은 분포를 나타냈다.

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).
- 부유입자물질은 동계 조사시 9.9~157.1㎎/L(평균 33.5㎎/L), 춘계 9.2~415.5㎎/L(평균 29.2㎎/L), 하계 4.8~66.9㎎/L(평균 19.9㎎/L), 추계에는 5.4~188.2㎎/L(평균 20.3㎎/L)의 범위로 동계 조사시 상대적으로 높은 평균값을 보였다. 표층에서는 동계의 경우 태안 연안의 N7과, 보령 연안의 N15, 추계에는 아산 연안의 N2에서 상대적으로 높게 조사되었다. 저층에서는 동계 조사시 정점 N18과 H2, 춘계 조사시 정점 N25, 추계 조사시 H3에서 높은 농도를 나타냈다.
- 조사해역은 비교적 수심이 낮고 강한 조석에 의한 재부유 현상으로 인해 부유입자물질의 농도는 전반적으로 표층보다 저층에서 높게 조사되었다.

마. 화학적산소요구량(COD)

- 화학적산소요구량은 해수중의 유기물 농도의 간접적인 지표로 이용되고 있으며, 담수(육상)로부터 공급되는 유기물과, 해양에서 식물플랑크톤에 의해 생성되는 유기물, 그리고 저층에서 재부유나 용출되는 물질 등에 의해 조절된다.
- 화학적산소요구량은 동계시 0.8~6.4㎎/L(평균 2.5㎎/L), 춘계 1.1~5.3㎎/L(평균 2.9㎎/L), 하계 1.5~5.1㎎/L(평균 2.9㎎/L), 추계에는 1.0~7.8㎎/L(평균 2.4㎎/L)의 범위로 춘

계와 하계 조사시 상대적으로 높은 평균값을 보였다. 표층에서는 대체로 아산 연안의 정점 N1, 천수만 내측의 정점 N18, 금강 하구에 인접한 정점 H3에서 높았고, 저층에서는 동계 조사시 정점 N18과 추계 조사시 정점 N23에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.

- 금회조사에서 화학적산소요구량은 일부 정점에서 부유입자물질 및 클로로필-a와 높은 상관성을 보이지만, 그 외에는 뚜렷한 상관성이 나타나지 않기 때문에, 조사해역에서 화학적산소요구량은 생물량 및 부유입자물질의 농도 변화 등 여러 복합적인 요인에 의해 조절되는 것으로 판단된다.

바. 클로로필-a(Chl-a)

- 클로로필-a는 동계 조사시 0.02~31.41㎍/L(평균 8.36㎍/L), 춘계 0.02~26.02㎍/L(평균 4.93㎍/L), 하계 0.02~14.08㎍/L(평균 3.59㎍/L), 추계에는 0.39~14.48㎍/L(평균 1.72㎍/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 클로로필-a는 동계에 가장 높은 평균 값을 보였고, 춘계와 하계에는 유사한 수준을 나타냈으며, 추계에 상대적으로 낮은 특성을 보였다. 추계를 제외하면 전반적으로 아산 연안, 천수만 내측, 서천 연안에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 동계 조사시 아산 연안의 정점 N1과 N2에서는 30㎍/L 이상의 높은 농도가 관측되기도 하였다.

사. 총질소(TN)

- 총질소는 동계 조사시 112.3~1260.4㎍/L(평균 312.0㎍/L), 춘계 79.7~1050.3㎍/L(평균 199.0㎍/L), 하계 73.3~1762.1㎎/L(평균 233.9㎎/L), 추계 60.2~1772.3㎎/L(평균 236.4㎎/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 총질소는 춘계 조사시 낮고 동계에 상대적으로 높은 평균 농도를 나타냈고, 전반적으로 아산 연안의 정점 N1과 금강하구 인근의 정점 H3에서 높은 경향을 보였다.

아. 총인(TP)

- 총인은 동계 조사시 12.2~98.2㎍/L(평균 27.0㎎/L), 춘계 5.1~46.7㎍/L(평균 12.3㎍/L), 하계 7.4~79.7㎍/L(평균 23.9㎍/L), 추계에는 7.7~106.9㎍/L(평균 28.5㎍/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 총인은 춘계 조사시 상대적으로 낮고, 그 외 계절에는 유사한 평균값을 보였다. 동계에는 가로림만 외측에 위치한 정점 N3과 대산항 정점인 H2의 저층에서 높았고, 춘계에는 서천 연안의 정점 N25와 H3에서 다소 높은 농도를 나타냈다.

- 하계에는 아산 연안의 정점 N1과 천수만 내측 정점인 N18의 저층, 그리고 서천 연안에 위치한 정점에서 높았고, 추계에는 정점 N1, H2의 표층, N25, H3에서 상대적으로 높은 경향을 보였다.

자. 영양염류

- 영양염류 분포 추이에 대한 특징을 살펴보면 하계 조사에는 대부분의 영양염류가 천수만 내측에서 높은 농도로 관측되고 있다.
- 이러한 이유는 크게 두 가지 원인으로 첫 번째로는 불규칙적으로 부남호와 간월호에서 오염된 호소수가 방류되면서 천수만 내측에 영향을 미치고 있는 것과 두 번째로는 이미 해저 퇴적물 내에 포함되어 있던 영양염류들이 수온이 높아지고 박테리아에 의한 분해 등 생물화학적인 반응 등에 의해 재용출 되는 과정에서 영양염류 농도가 높아지고 있는 것으로 판단된다.

1) 용존무기질소(DIN)

- 용존무기질소는 암모니아 질소(NH_4-N), 아질산 질소(NO_2-N), 질산 질소(NO_3-N)의 합으로 구성되며, 동계 조사시 10.5~726.3㎍/L(평균 176.6㎍/L), 춘계 2.3~868.8㎍/L(평균 89.9㎍/L), 하계 4.6~1528.3㎍/L(평균 115.8㎍/L), 추계에는 31.7~1472.2㎍/L(평균 119.0㎍/L)의 범위를 보였다.
- 암모니아 질소는 동계 조사시 6.6~88.9㎍/L(평균 16.9㎍/L), 춘계 0.6~437.8㎍/L(평균 28.4㎍/L), 하계 0.7~284.2㎍/L(평균 41.8㎍/L), 추계에는 0.7~252.7㎍/L(평균 29.6㎍/L), 아질산 질소는 동계 조사시 0.5~18.0㎍/L(평균 2.4㎍/L), 춘계 0.5~31.7㎍/L(평균 3.9㎍/L), 하계 0.6~135.3㎍/L(평균 9.7㎍/L), 추계에는 0.6~32.7㎍/L(평균 6.3㎍/L), 질산 질소는 동계 조사시 0.7~660.1㎍/L(평균 157.4㎍/L), 춘계 0.8~400.1㎍/L(평균 57.7㎍/L), 하계 2.5~1253.0㎍/L(평균 64.4㎍/L), 추계에는 13.1~1186.8㎍/L(평균 83.1㎍/L)의 범위를 보였다.
- 금회 조사에서 용존무기질소 중 질산 질소의 비율은 동계 7~95%(평균 82%), 춘계 24~95%(평균 64%), 하계 12~85%(평균 48%), 추계에는 21~96%(평균 70%)의 범위를 보였다. 동계, 춘계, 추계에는 용존무기질소가 대부분 질산 질소의 형태로 존재하여 양호한 산화 환경을 나타냈으나, 하계의 경우 천수만 내측 해역의 저층에서 암모니아 질소의 농도가 높게 나타나 상대적으로 낮은 비율을 보였다.

2) 인산 인(PO_4-P)

- 인산 인은 동계 조사시 2.6~25.9㎍/L(평균 15.4㎍/L), 춘계 0.8~44.1㎍/L(평균 7.8㎍/L), 하계 4.0~77.0㎍/L(평균 20.4㎍/L), 추계에는 6.4~92.6㎍/L(평균 21.3㎍/L)의 범위

로, 춘계에 낮고, 하계와 추계 조사시 상대적으로 높은 평균 농도를 보였다.

- 동계와 춘계 모두 천수만 내측 정점의 표층에서 상대적으로 낮은 농도를 보였고, 하계에는 아산 연안의 정점 N1과, 천수만 내측 정점 N18의 저층, 서천 연안에 위치한 정점 N23, N25, H3에서 높은 경향을 보였다.
- 하계 조사시 정점 N18의 경우 저층에서 인산 인의 농도가 높게 나타나 표 · 저층간 차이가 크게 나타났으며, 추계에는 아산 연안의 정점 N1과 대산항 정점인 H2의 표층에서 상대적으로 높은 분포를 보였다.

3) 규산 규소(SiO_2-Si)

- 규산 규소는 동계 조사시 6.7~408.0㎍/L(평균 235.4㎍/L), 춘계 2.4~883.8㎍/L(평균 97.2㎍/L), 하계 48.1~1466.6㎍/L(평균 388.9㎍/L), 추계에는 84.3~1229.9㎍/L(평균 286.9㎍/L)의 범위로 춘계에 상대적으로 낮은 평균값을 보였다.
- 조사해역에서 규산 규소는 동계 조사시 아산 연안과 천수만 내측에 위치한 정점에서 낮고, 그 외 정점에서는 유사한 분포를 보였으며, 춘계에는 서천 연안의 정점 N23, N25, H3에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.
- 하계와 추계에는 정점 아산 연안의 정점 N1과 서천 연안의 정점 N23, N25, H3에서 높은 경향을 보였으며, 천수만 내측에 위치한 정점 N18의 경우 하계 조사시 저층에서의 농도가 크게 증가하는 특성을 보였다.

차. 미량금속류 및 시안(CN)

- 해수 내 중금속 조사는 30개 정점의 표층에서 수행되었다.
- Cd는 동계 0.01~0.08㎍/L(평균 0.03㎍/L), 춘계 0.01~0.06㎍/L(평균 0.03㎍/L), 하계 0.03~0.07㎍/L(평균 0.05㎍/L), 추계 0.01~0.03㎍/L(평균 0.02㎍/L), Cr^{6+}은 동계 0.03~0.45㎍/L(평균 0.12㎍/L), 춘계 0.04~0.19㎍/L(평균 0.10㎍/L), 하계 0.04~0.24㎍/L(평균 0.11㎍/L), 추계 0.02~0.15㎍/L(평균 0.08㎍/L), Cu는 동계 0.31~3.43㎍/L(평균 0.74㎍/L), 춘계 0.50~1.93㎍/L(평균 0.81㎍/L), 하계 0.65~1.70㎍/L(평균 0.90㎍/L), 추계 0.11~1.10㎍/L(평균 0.31㎍/L), Pb는 동계 0.01~0.30㎍/L(평균 0.09㎍/L), 춘계 0.04~0.25㎍/L(평균 0.09㎍/L), 하계 0.04~0.47㎍/L(평균 0.10㎍/L), 추계 0.01~0.16㎍/L(평균 0.04㎍/L), Zn은 동계 0.63~6.61㎍/L(평균 1.51㎍/L), 춘계 0.60~1.92㎍/L(평균 1.18㎍/L), 하계 0.51~4.03㎍/L(평균 1.30㎍/L), 추계 0.18~2.28㎍/L(평균 0.93㎍/L), As는 동계 0.53~2.76㎍/L(평균 1.08㎍/L), 춘계 0.54~1.47㎍/L(평균 0.85㎍/L), 하계 1.06~2.71㎍/L(평균 1.53㎍/L), 추계 0.33~1.61㎍/L(평균 0.73㎍/L), Hg는 동계 0.0005~0.0012㎍/L(평균 0.0007㎍/L), 춘계 0.0006~0.0012㎍/L(평균 0.0008㎍/L), 하계 0.0003~0.0008㎍/L(평균 0.0005㎍/L), 추계

0.0001~0.0008㎍/L(평균 0.0003㎍/L)의 범위를 보였으며, CN은 모든 정점에서 검출한계(0.01㎎/L) 미만으로 불검출 되었다.

- Cr, Cu, Cd, Zn 등은 산업폐수에 많이 포함되어 있고 주로 하천이나 강우를 통해 해양으로 유입되고, 대기를 통해서 유입되기도 하며, Pb는 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).
- 금회 조사에서 해수 내 미량금속 중 Cr^{6+}과 Zn은 동계, Hg는 춘계, Cd, Cu, Pb, As는 하계 조사시 상대적으로 높은 평균값을 보였으나, 조사시기에 따른 농도 차이는 작은 것으로 조사되었다.
- 공간적으로는 Cr^{6+}의 경우 정점 아산 연안 외측에 위치한 N26과 금강 하구에 인접한 정점 H3, Cu는 아산 연안 내측의 정점 N1, N2와 H3에서 높았고, Pb와 Zn은 천수만 내측의 정점 N18과 H3에서 상대적으로 높은 농도를 보여, 계절적인 차이는 있지만 전반적으로 담수 유입의 영향을 받는 정점에서 높은 특성을 보였다.
- 조사해역에서 해수 내 미량금속은 모든 정점에서 해양환경기준인 사람의 건강보호 기준 및 해양생태계 보호 기준(장기기준)보다 낮은 수준을 유지하는 것으로 조사되었다.

카. 용매추출유분

- 해수 내 용매추출유분 조사는 5개 정점(N8, N21, H1, H2, H3)의 표층에서 수행되었다.
- 용매추출유분은 동계 조사시 0.02~0.05㎍/L(평균 0.03㎍/L), 춘계 0.02~0.07㎍/L(평균 0.04㎍/L), 하계 0.02~0.08㎍/L(평균 0.04㎍/L), 추계 0.02~0.08㎍/L(평균 0.05㎍/L)의 범위를 보여, 계절별로 유사한 평균 농도를 나타냈다.
- 동계와 추계에는 대산항 정점인 H1, 춘계에는 정점 N21, 하계에는 태안항 정점인 H2에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈다.
- 조사해역에서 해수 내 용매추출유분은 모든 정점에서 해양환경기준의 생활기준(10㎍/L 미만)보다 낮은 수준으로 조사되었다.

<표 3.3-1> 각 시기별 현장조사 시간

구분 (mm/dd hh:mm)	동계	춘계	하계	추계
N1	02/18 10:20	05/31 12:14	08/14 12:45	11/26 12:54
N2	02/18 11:19	05/31 11:30	08/14 11:44	11/26 12:03
N3	02/26 12:07	05/30 09:58	08/05 11:55	11/05 11:05
N4	02/26 10:32	05/30 13:03	08/05 13:20	11/05 13:07
N5	02/26 10:09	05/30 13:40	08/05 12:40	11/05 12:52
N6	02/26 09:40	05/30 11:54	08/05 14:05	11/05 11:45
N7	02/26 12:46	05/30 11:12	08/05 10:55	11/05 10:41
N8	02/13 10:05	05/24 10:27	08/06 10:30	11/21 11:21
N9	02/13 11:11	05/24 11:26	08/06 11:05	11/21 12:13
N10	02/13 11:44	05/24 12:00	08/06 11:38	11/21 10:12
N11	02/13 12:15	05/24 12:27	08/06 12:06	11/21 09:45
N12	02/12 09:21	05/23 10:25	08/02 15:00	11/22 10:15
N13	02/12 09:45	05/23 10:45	08/02 14:28	11/22 09:50
N14	02/12 10:14	05/23 11:15	08/02 14:05	11/22 09:36
N15	02/11 10:55	05/29 09:43	08/13 11:38	11/20 12:13
N16	02/12 11:29	05/23 12:36	08/02 13:05	11/22 11:04
N17	02/12 11:50	05/23 12:48	08/02 15:47	11/22 11:20
N18	02/12 11:02	05/23 12:07	08/02 12:25	11/22 10:44
N19	02/11 10:06	05/29 10:30	08/13 11:16	11/20 11:38
N20	02/11 09:24	05/29 10:48	08/13 10:44	11/20 11:20
N21	02/11 08:40	05/29 11:25	08/13 10:14	11/20 10:55
N22	02/28 12:35	05/22 09:00	08/08 09:45	11/12 14:00
N23	02/28 10:43	05/22 09:35	08/08 10:27	11/12 14:35
N24	02/28 13:13	05/22 11:32	08/08 12:30	11/12 15:35
N25	02/28 11:19	05/22 10:30	08/08 11:24	11/12 15:35
N26	02/18 12:32	05/31 10:27	08/14 10:52	11/26 11:09
N27	02/18 11:54	05/31 11:00	08/14 11:16	11/26 11:35
H1	02/26 11:30	05/31 09:54	08/14 10:24	11/26 10:35
H2	02/26 13:09	05/30 10:58	08/05 11:07	11/05 10:15
H3	02/28 10:08	05/22 10:00	08/08 10:53	11/12 15:00

<표 3.3-2> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 동계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N1	표층	6.0	0.7	2.4	27.1	9.1	14.7	129	27.4	5.0	31.30
	저층			2.6	28.5	8.9	13.1	116	29.1	4.6	31.41
N2	표층	8.0	1.3	2.8	30.7	8.0	13.9	126	29.3	3.9	19.94
	저층			3.6	30.7	8.2	13.5	125	37.2	4.1	30.30
N3	표층	41.0	1.2	4.8	32.1	7.7	12.4	119	24.7	1.5	0.59
	저층			4.3	32.1	7.8	12.0	115	35.0	1.9	6.97
N4	표층	20.0	1.5	4.9	32.0	7.8	11.5	111	17.3	1.5	0.59
	저층			4.7	32.0	7.8	11.4	109	25.7	0.8	5.20
N5	표층	10.0	0.6	4.6	32.1	7.8	11.4	109	14.7	1.7	0.02
	저층			4.5	32.1	7.8	12.4	118	37.6	2.4	5.20
N6	표층	10.0	1.7	4.9	32.0	7.9	12.5	121	9.9	1.1	0.03
	저층			4.6	32.1	7.8	12.1	116	13.2	3.5	4.68
N7	표층	28.0	0.4	4.5	32.1	7.8	12.3	117	53.9	1.2	1.18
	저층			4.4	32.1	7.8	11.9	113	67.7	1.5	6.38
N8	표층	26.5	0.5	4.1	32.3	8.6	11.9	113	19.3	1.2	0.59
	저층			3.8	32.3	8.4	13.6	128	43.1	1.3	5.20
N9	표층	11.2	0.8	4.6	32.3	7.9	12.9	123	28.4	1.5	0.08
	저층			4.4	32.3	7.9	12.9	124	44.7	2.1	5.20
N10	표층	9.9	1.0	4.5	32.3	7.8	12.3	118	37.3	2.5	0.02
	저층			4.6	32.3	7.7	11.9	114	26.3	2.2	5.20
N11	표층	9.0	1.3	4.1	32.4	7.4	12.3	117	20.2	1.2	0.59
	저층			4.1	32.4	8.0	11.8	112	40.8	2.7	5.79
N12	표층	14.3	1.0	3.8	32.6	8.5	11.2	106	20.2	1.9	0.59
	저층			3.6	32.8	8.2	10.8	102	28.9	1.5	6.81
N13	표층	15.0	1.0	3.6	32.6	8.1	11.9	111	20.5	2.3	1.18
	저층			3.4	32.8	8.1	11.8	110	48.0	1.6	6.97
N14	표층	14.6	1.3	3.4	32.7	8.1	11.9	111	20.7	2.0	2.29
	저층			3.3	32.8	8.0	11.8	110	20.3	2.4	6.38
N15	표층	10.0	0.4	4.3	32.6	8.3	11.6	111	53.1	1.1	0.59
	저층			4.2	32.5	8.2	11.4	109	63.3	3.5	5.20
N16	표층	11.8	2.3	3.5	32.9	8.2	12.5	117	15.0	2.3	7.46
	저층			3.5	32.9	8.2	12.6	118	32.2	2.9	14.87
N17	표층	15.2	1.5	3.8	32.7	8.1	12.9	122	22.3	2.7	12.55
	저층			3.8	32.7	8.1	12.9	122	23.3	3.0	15.46

<표 3.3-2> 계 속(2019년 동계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N18	표층	17.8	2.2	3.4	32.9	8.2	11.8	110	16.3	2.0	6.27
	저층			3.3	33.0	8.2	12.9	120	157.1	6.4	25.64
N19	표층	16.0	0.6	4.7	32.6	7.9	10.8	104	25.8	2.0	0.59
	저층			4.7	32.4	7.9	10.7	103	51.4	2.0	4.77
N20	표층	21.6	1.0	3.8	32.5	7.8	11.3	106	32.3	1.8	0.59
	저층			4.3	32.3	7.9	11.7	112	44.3	1.9	5.79
N21	표층	8.0	0.6	4.0	32.4	7.3	11.8	112	33.4	1.7	0.59
	저층			3.9	32.1	7.5	11.9	112	37.4	1.9	5.20
N22	표층	13.0	1.2	5.7	31.9	8.0	12.9	127	16.3	3.1	11.37
	저층			5.4	32.0	7.9	11.8	115	20.6	2.8	9.77
N23	표층	2.0	0.3	5.6	29.9	8.1	13.5	131	26.2	4.1	19.94
	저층			5.6	30.2	8.0	12.1	117	29.6	4.3	28.52
N24	표층	10.0	1.3	5.5	32.0	7.8	12.2	119	16.6	1.6	1.19
	저층			5.2	32.2	7.8	11.8	115	20.4	1.9	6.38
N25	표층	11.0	1.0	5.7	28.8	7.9	11.5	111	15.6	3.3	8.57
	저층			5.3	31.2	7.9	11.9	116	41.3	3.3	24.45
N26	표층	7.0	1.7	3.7	32.0	8.6	12.6	118	23.2	2.6	4.58
	저층			3.4	32.0	8.3	11.6	108	35.7	1.4	10.37
N27	표층	7.0	1.5	2.8	31.8	8.1	13.1	120	19.3	3.3	14.25
	저층			2.9	31.6	8.2	11.2	102	17.1	2.5	18.85
H1	표층	23.0	1.5	4.8	31.5	7.8	12.5	120	11.2	2.4	3.47
	저층			4.7	31.5	7.8	11.8	113	21.0	2.7	5.17
H2	표층	8.0	0.5	5.8	31.7	7.8	12.2	120	38.0	3.5	0.59
	저층			5.1	31.8	7.8	12.0	116	128.1	3.8	2.29
H3	표층	5.0	0.7	5.5	27.7	8.1	11.9	114	14.3	4.7	14.84
	저층			5.2	29.5	8.0	11.6	111	69.4	4.1	21.04
표층		최소	0.3	2.4	27.1	7.3	10.8	104	9.9	1.1	0.02
		최대	2.3	5.8	32.9	9.1	14.7	131	53.9	5.0	31.30
		평균	1.1	4.3	31.7	8.0	12.3	117	24.1	2.4	5.55
저층		최소	-	2.6	28.5	7.5	10.7	102	13.2	0.8	2.29
		최대	-	5.6	33.0	8.9	13.6	128	157.1	6.4	31.41
		평균	-	4.2	31.9	8.0	12.0	114	43.0	2.7	11.18
전체		최소	0.3	2.4	27.1	7.3	10.7	102	9.9	0.8	0.02
		최대	2.3	5.8	33.0	9.1	14.7	131	157.1	6.4	31.41
		평균	1.1	4.3	31.8	8.0	12.1	115	33.5	2.5	8.36

<표 3.3-3> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 동계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N1	표층	1260.4	48.3	18.0	660.1	726.3	31.9	4.5	23.6
	저층	983.5	88.9	15.6	612.5	717.0	26.5	5.2	41.0
N2	표층	512.1	15.7	10.0	297.8	323.5	19.8	3.1	55.3
	저층	432.0	16.3	8.5	275.3	300.0	22.0	6.5	83.8
N3	표층	270.4	12.1	0.8	170.9	183.8	22.5	18.0	329.6
	저층	309.3	9.8	1.4	126.8	138.0	58.6	17.6	250.3
N4	표층	119.9	6.6	1.3	65.6	73.5	16.4	11.6	153.8
	저층	153.3	10.3	0.8	98.7	109.8	15.5	15.5	219.6
N5	표층	216.8	10.8	0.5	130.6	141.8	19.9	17.8	274.7
	저층	279.8	15.6	0.8	171.7	188.1	23.5	19.7	358.5
N6	표층	259.3	18.7	0.8	141.7	161.2	19.6	19.4	297.3
	저층	139.8	8.6	1.1	67.8	77.6	16.1	13.0	158.7
N7	표층	304.4	11.6	0.5	181.5	193.6	25.7	21.5	358.7
	저층	183.7	10.2	1.0	124.5	135.7	20.7	20.0	239.8
N8	표층	281.1	10.8	0.9	200.8	212.4	28.2	25.7	408.0
	저층	229.0	10.2	0.7	160.6	171.5	26.3	23.6	334.1
N9	표층	258.9	11.8	0.7	178.2	190.7	25.1	24.3	374.7
	저층	282.0	10.7	0.8	190.7	202.2	27.6	25.9	393.3
N10	표층	248.3	10.6	1.5	174.1	186.2	25.4	23.9	366.6
	저층	241.2	9.9	0.7	177.3	187.8	26.3	23.5	363.7
N11	표층	255.6	13.7	0.8	159.1	173.5	24.2	19.4	349.8
	저층	219.3	10.8	2.9	101.5	115.1	21.8	12.1	266.3
N12	표층	225.3	13.1	0.7	158.8	172.6	23.0	22.4	355.0
	저층	291.8	11.2	0.6	133.6	145.4	33.0	18.9	294.0
N13	표층	185.4	8.2	0.6	103.8	112.6	20.3	15.5	244.7
	저층	173.7	8.3	0.8	107.1	116.2	18.5	16.2	240.8
N14	표층	196.6	10.9	0.8	116.2	127.8	19.3	17.2	282.6
	저층	223.1	15.1	0.8	118.7	134.7	21.2	17.5	287.1
N15	표층	238.2	17.5	0.8	153.1	171.3	24.2	23.1	355.3
	저층	262.5	16.4	0.9	157.7	175.0	26.2	24.6	372.3
N16	표층	182.9	11.6	0.6	1.0	13.3	16.4	3.7	15.8
	저층	112.3	9.0	0.8	0.7	10.5	14.0	4.8	16.3
N17	표층	202.3	13.7	0.5	4.8	19.0	23.3	5.5	30.6
	저층	127.7	13.8	0.7	6.6	21.2	15.5	7.0	32.7

<표 3.3-3> 계 속(2019년 동계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N18	표층	137.7	12.6	0.7	1.8	15.2	12.2	2.6	6.7
	저층	171.9	14.6	0.7	1.7	17.0	30.1	12.1	54.5
N19	표층	337.2	20.5	1.0	136.3	157.8	34.4	20.1	319.1
	저층	234.3	16.7	1.1	138.1	155.9	25.5	21.5	323.8
N20	표층	317.7	17.6	1.1	154.5	173.2	39.1	24.1	359.5
	저층	269.9	20.7	0.9	128.2	149.8	27.0	19.4	299.3
N21	표층	273.7	25.2	1.1	151.2	177.6	25.1	21.3	345.0
	저층	288.4	20.1	1.0	140.4	161.4	27.7	20.3	323.3
N22	표층	214.8	8.5	0.9	25.1	34.5	23.3	3.1	60.6
	저층	192.3	11.0	1.1	86.8	98.9	19.6	12.8	221.3
N23	표층	522.9	16.9	8.2	236.5	261.6	21.3	5.2	113.4
	저층	598.5	26.3	7.0	204.7	238.0	46.6	5.5	125.2
N24	표층	215.2	13.4	1.4	131.2	146.0	21.6	18.1	300.9
	저층	240.7	17.5	1.4	140.8	159.7	23.3	20.8	320.9
N25	표층	357.4	17.3	3.9	167.8	189.1	17.2	4.5	86.3
	저층	267.5	17.6	2.3	108.6	128.5	23.7	9.0	105.2
N26	표층	398.9	11.4	2.4	225.4	239.2	34.9	20.6	365.1
	저층	422.7	14.1	2.4	212.8	229.3	42.5	20.0	347.8
N27	표층	450.0	13.2	5.9	195.6	214.7	35.2	8.2	194.1
	저층	453.4	18.8	4.8	206.9	230.5	40.4	12.8	255.6
H1	표층	235.4	10.4	1.2	114.7	126.3	25.6	12.5	170.6
	저층	260.4	10.0	1.3	144.2	155.5	25.2	15.5	220.6
H2	표층	402.8	33.3	0.5	187.8	221.5	26.3	24.1	363.3
	저층	493.5	16.5	0.8	174.9	192.2	98.2	23.8	343.4
H3	표층	547.3	47.5	6.6	270.8	324.9	31.2	6.8	139.7
	저층	554.3	40.5	5.8	224.5	270.8	46.7	8.9	131.2
표층	최소	119.9	6.6	0.5	1.0	13.3	12.2	2.6	6.7
	최대	1260.4	48.3	18.0	660.1	726.3	39.1	25.7	408.0
	평균	321.0	16.4	2.5	163.2	182.2	24.4	14.9	236.7
저층	최소	112.3	8.3	0.6	0.7	10.5	14.0	4.8	16.3
	최대	983.5	88.9	15.6	612.5	717.0	98.2	25.9	393.3
	평균	303.1	17.3	2.3	151.5	171.1	29.7	15.8	234.2
전체	최소	112.3	6.6	0.5	0.7	10.5	12.2	2.6	6.7
	최대	1260.4	88.9	18.0	660.1	726.3	98.2	25.9	408.0
	평균	312.0	16.9	2.4	157.4	176.6	27.0	15.4	235.4

<표 3.3-4> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 동계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N1	표층	0.03	0.08	1.08	0.10	2.69	1.39	0.85	0.0012	ND	-
N2		0.03	0.03	0.73	0.06	1.35	0.83	0.96	0.0009	ND	-
N3		0.03	0.15	0.52	0.12	0.87	0.41	1.11	0.0007	ND	-
N4		0.04	0.12	0.67	0.10	1.80	0.44	1.12	0.0008	ND	-
N5		0.04	0.15	0.61	0.14	1.59	0.45	1.11	0.0005	ND	-
N6		0.04	0.12	0.85	0.19	1.37	0.52	1.13	0.0007	ND	-
N7		0.03	0.08	0.48	0.14	1.10	0.37	1.05	0.0005	ND	-
N8		0.04	0.09	0.78	0.14	1.43	0.57	1.40	0.0006	ND	0.03
N9		0.03	0.06	0.81	0.15	1.60	0.36	1.04	0.0008	ND	-
N10		0.03	0.10	0.55	0.10	1.29	0.40	1.14	0.0005	ND	-
N11		0.04	0.08	1.07	0.11	1.29	0.46	1.35	0.0006	ND	-
N12		0.03	0.09	0.88	0.07	2.18	0.50	1.11	0.0005	ND	-
N13		0.02	0.05	0.36	0.04	2.19	0.26	0.89	0.0008	ND	-
N14		0.03	0.09	0.47	0.04	0.78	0.38	1.16	0.0006	ND	-
N15		0.02	0.05	0.41	0.03	0.69	0.25	0.72	0.0008	ND	-
N16		0.02	0.03	0.31	0.02	0.95	0.21	0.64	0.0006	ND	-
N17		0.03	0.06	0.46	0.03	0.63	0.37	0.87	0.0005	ND	-

* ND : not determined

<표 3.3-4> 계 속(2019년 동계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N18	표층	0.02	0.07	0.43	0.03	0.81	0.29	0.82	0.0007	ND	-
N19		0.01	0.16	0.33	0.01	0.78	0.21	0.57	0.0009	ND	-
N20		0.03	0.15	0.53	0.05	1.32	0.43	1.20	0.0007	ND	-
N21		0.04	0.13	0.61	0.19	2.10	0.51	1.17	0.0005	ND	0.02
N22		0.03	0.06	0.53	0.07	0.74	0.37	0.92	0.0006	ND	-
N23		0.02	0.06	0.62	0.06	1.08	0.46	0.70	0.0007	ND	-
N24		0.04	0.11	0.59	0.07	0.96	0.41	1.13	0.0005	ND	-
N25		0.01	0.08	0.52	0.04	0.74	0.38	0.53	0.0006	ND	-
N26		0.03	0.45	0.57	0.05	1.15	0.60	1.04	0.0007	ND	-
N27		0.05	0.19	0.95	0.06	1.07	1.06	1.49	0.0006	ND	-
H1		0.03	0.13	0.54	0.13	1.35	0.52	0.89	0.0007	ND	0.05
H2		0.05	0.16	1.39	0.14	2.69	0.65	1.38	0.0005	ND	0.03
H3		0.08	0.27	3.43	0.30	6.61	2.36	2.76	0.0011	ND	0.04
최소		0.01	0.03	0.31	0.01	0.63	0.21	0.53	0.0005	-	0.02
최대		0.08	0.45	3.43	0.30	6.61	2.36	2.76	0.0012	-	0.05
평균		0.03	0.12	0.74	0.09	1.51	0.55	1.08	0.0007	-	0.03

* ND : not determined

<표 3.3-5> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 춘계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N1	표층	4.0	1.0	19.0	28.7	8.0	7.3	93	20.4	4.5	12.95
	저층			19.0	28.7	8.0	6.8	87	26.2	3.5	7.22
N2	표층	11.6	1.6	18.3	29.6	7.9	7.4	94	13.8	3.9	3.90
	저층			17.1	29.7	7.9	6.9	86	20.3	3.0	1.10
N3	표층	37.0	2.5	14.7	30.5	7.9	8.7	103	14.5	2.0	0.02
	저층			13.6	30.6	7.9	8.3	97	14.0	1.8	3.56
N4	표층	17.0	1.4	16.6	30.5	7.9	7.6	93	14.7	3.5	4.42
	저층			16.0	30.6	7.9	7.4	90	10.5	3.1	2.21
N5	표층	16.0	1.0	15.9	30.6	8.2	8.5	103	17.5	3.4	3.47
	저층			15.8	30.8	8.0	7.8	96	11.2	3.7	1.02
N6	표층	18.0	1.0	17.7	30.4	7.8	6.9	87	18.1	2.0	0.03
	저층			17.6	30.6	7.8	6.8	86	24.3	2.9	0.67
N7	표층	22.0	1.7	13.2	30.8	7.8	8.9	102	9.2	2.8	6.52
	저층			12.6	30.8	7.8	8.7	99	16.9	3.4	7.22
N8	표층	23.1	1.8	11.5	31.2	7.9	9.9	111	22.6	2.6	3.82
	저층			11.5	30.6	7.8	8.4	93	23.8	2.7	1.53
N9	표층	10.0	1.5	11.8	31.2	7.8	9.1	102	22.3	2.3	4.66
	저층			12.1	30.9	7.8	8.7	99	28.6	4.0	4.58
N10	표층	8.0	2.3	15.4	30.7	8.1	10.2	123	16.7	3.0	1.02
	저층			14.4	30.7	8.0	9.7	114	17.1	4.2	5.92
N11	표층	7.0	1.7	16.5	30.7	8.2	9.7	120	15.9	3.5	5.76
	저층			15.7	30.7	8.1	9.5	115	13.2	3.9	6.94
N12	표층	11.0	1.5	14.1	30.9	8.0	10.8	127	17.5	2.8	7.38
	저층			14.0	30.8	8.0	10.0	118	9.3	2.7	7.38
N13	표층	12.8	1.7	15.4	30.6	8.1	9.7	117	15.9	2.5	6.79
	저층			15.2	30.7	8.1	8.9	107	20.2	2.9	6.11
N14	표층	12.4	1.7	15.7	30.7	8.1	9.6	117	21.5	3.0	4.41
	저층			14.0	30.9	8.1	9.8	116	26.0	3.0	3.31
N15	표층	15.0	2.5	16.0	31.1	8.0	8.0	98	14.1	2.6	1.62
	저층			15.9	30.6	8.0	7.8	95	16.4	2.9	3.55
N16	표층	13.1	1.4	18.0	30.5	8.1	8.4	107	12.1	3.6	2.80
	저층			17.2	30.6	8.1	8.4	105	16.9	3.6	8.21
N17	표층	14.0	1.5	17.7	30.6	8.1	8.7	110	19.2	3.3	0.53
	저층			17.1	30.6	8.0	7.7	96	26.4	3.7	8.81

<표 3.3-5> 계 속(2019년 춘계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N18	표층	14.9	1.7	18.1	30.6	8.4	8.6	109	20.5	3.7	5.61
	저층			18.0	30.4	8.2	7.5	95	21.1	3.5	6.87
N19	표층	17.0	2.8	16.6	30.5	7.9	7.0	87	16.0	1.1	0.03
	저층			16.4	30.5	7.9	7.5	92	15.6	1.8	0.59
N20	표층	22.0	3.5	17.1	30.5	8.0	7.4	92	14.8	1.8	0.59
	저층			16.4	30.6	8.0	7.5	92	10.2	1.2	0.51
N21	표층	10.0	1.8	17.2	30.9	8.0	7.3	91	18.1	2.0	2.96
	저층			17.1	30.5	8.0	7.3	92	19.3	1.7	2.88
N22	표층	13.0	1.2	16.9	30.6	7.9	8.3	104	35.7	3.1	18.88
	저층			16.1	30.6	8.0	7.8	96	37.0	3.6	14.68
N23	표층	5.5	0.7	18.6	28.6	7.7	5.9	74	51.8	3.8	26.02
	저층			18.5	28.6	7.7	5.9	75	201.3	5.3	7.84
N24	표층	7.5	1.3	16.5	30.5	8.1	8.7	108	19.6	2.5	1.97
	저층			15.8	30.6	8.0	8.8	107	22.8	3.1	10.58
N25	표층	9.5	0.5	17.9	27.3	7.6	5.8	72	32.1	3.6	5.44
	저층			17.6	28.0	7.7	6.2	77	415.5	3.2	23.46
N26	표층	28.2	2.7	15.8	30.2	7.9	7.5	91	15.3	1.5	0.04
	저층			15.2	30.3	7.9	7.4	88	12.6	1.8	0.67
N27	표층	14.5	2.8	16.7	30.0	8.0	7.4	92	14.8	1.6	1.18
	저층			16.0	30.1	7.9	7.3	89	13.0	1.6	2.29
H1	표층	19.5	2.3	15.6	30.3	8.0	8.3	101	15.9	2.0	5.25
	저층			15.1	30.6	7.9	7.5	90	20.6	2.5	2.13
H2	표층	25.0	1.8	13.3	31.0	7.9	8.6	100	19.9	2.0	0.03
	저층			13.0	30.7	7.8	8.1	93	12.5	1.2	1.19
H3	표층	4.0	0.5	19.7	21.5	7.6	4.3	54	32.3	3.9	4.14
	저층			19.3	22.3	7.5	5.2	64	39.0	4.1	0.43
표층		최소	0.3	11.5	21.5	7.6	4.3	54	9.2	1.1	0.02
		최대	3.5	19.7	31.2	8.4	10.8	127	51.8	4.5	26.02
		평균	1.7	16.3	30.1	8.0	8.1	99	19.8	2.8	4.74
저층		최소	-	11.5	22.3	7.5	5.2	64	9.3	1.2	0.43
		최대	-	19.3	30.9	8.2	10.0	118	415.5	5.3	23.46
		평균	-	15.8	30.1	7.9	7.9	95	38.7	3.0	5.11
전체		최소	0.3	11.5	21.5	7.5	4.3	54	9.2	1.1	0.02
		최대	3.5	19.7	31.2	8.4	10.8	127	415.5	5.3	26.02
		평균	1.7	16.0	30.1	7.9	8.0	97	29.2	2.9	4.93

<표 3.3-6> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 춘계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N1	표층	345.5	13.0	12.2	171.0	196.2	10.3	5.8	82.7
	저층	359.4	1.2	13.8	210.1	225.2	13.7	8.6	105.4
N2	표층	243.3	1.8	5.7	117.2	124.7	11.8	7.2	236.1
	저층	214.3	7.0	4.4	90.6	101.9	9.0	7.0	174.8
N3	표층	148.9	1.2	3.2	67.8	72.1	7.1	6.2	27.2
	저층	184.4	2.3	3.1	77.0	82.4	9.3	8.4	23.6
N4	표층	176.7	1.5	3.6	51.1	56.2	8.6	6.9	90.4
	저층	126.2	2.9	2.8	53.6	59.3	8.7	7.4	83.9
N5	표층	148.6	2.2	2.7	51.9	56.7	6.9	5.7	45.1
	저층	134.4	2.4	2.6	46.9	51.8	7.8	6.1	42.5
N6	표층	234.6	3.2	3.1	63.5	69.9	13.4	11.1	224.4
	저층	168.1	6.6	2.5	50.0	59.1	11.5	9.9	189.3
N7	표층	138.1	1.9	3.5	74.8	80.2	10.9	8.7	25.7
	저층	157.6	2.2	3.5	78.7	84.3	11.2	10.0	16.4
N8	표층	247.0	1.1	4.3	111.7	117.0	14.8	13.3	62.3
	저층	191.5	1.8	4.6	116.1	122.5	16.0	13.8	63.4
N9	표층	205.0	1.4	3.7	89.4	94.5	14.3	13.3	57.0
	저층	207.3	1.0	3.3	83.7	87.9	13.5	12.0	49.8
N10	표층	142.5	1.6	0.7	2.7	5.0	8.0	2.6	7.6
	저층	145.6	1.7	0.5	12.2	14.3	8.7	3.2	8.4
N11	표층	105.4	0.6	0.7	1.5	2.8	8.2	1.1	4.5
	저층	96.2	1.2	0.5	3.0	4.8	7.6	2.3	7.8
N12	표층	115.4	1.2	0.6	0.9	2.7	7.8	1.9	2.4
	저층	122.7	0.8	0.6	2.6	4.0	8.4	2.0	5.0
N13	표층	134.6	0.6	0.7	1.3	2.7	11.0	2.9	6.9
	저층	155.0	0.8	0.7	0.8	2.3	10.6	2.3	6.2
N14	표층	122.4	0.9	0.8	1.4	3.1	10.9	2.1	7.3
	저층	105.1	1.3	0.7	1.7	3.7	10.2	1.7	3.5
N15	표층	90.3	1.9	1.4	3.1	6.4	5.1	1.8	23.8
	저층	79.7	1.7	0.9	1.1	3.6	5.6	1.5	20.2
N16	표층	118.9	0.7	1.4	1.0	3.0	12.7	1.6	15.2
	저층	136.5	2.2	1.3	1.5	5.0	10.8	1.4	12.7
N17	표층	111.5	1.0	1.2	1.2	3.4	8.8	0.8	3.8
	저층	95.5	1.1	1.3	1.1	3.5	8.8	2.0	14.6

<표 3.3-6> 계 속(2019년 춘계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N18	표층	124.2	1.2	1.3	2.1	4.6	12.4	1.5	8.2
	저층	106.3	1.5	1.4	1.8	4.7	11.8	2.0	11.3
N19	표층	123.3	1.3	0.9	7.2	9.3	8.6	5.1	42.4
	저층	91.6	9.5	0.6	3.4	13.5	8.4	4.8	36.9
N20	표층	81.6	4.1	0.6	2.3	6.9	6.6	3.9	34.2
	저층	136.6	9.5	0.5	3.2	13.2	7.0	5.0	34.7
N21	표층	133.1	3.6	0.7	3.5	7.8	7.6	2.3	36.8
	저층	161.0	1.1	0.9	5.3	7.3	9.5	1.2	48.8
N22	표층	186.5	4.2	0.8	3.8	8.8	12.5	1.5	21.7
	저층	134.3	6.6	0.9	6.2	13.7	11.8	4.4	13.3
N23	표층	308.3	166.9	9.9	102.6	279.5	23.8	22.5	486.1
	저층	376.2	173.5	7.6	80.5	261.6	28.8	25.4	358.2
N24	표층	114.4	5.5	0.6	2.7	8.8	10.7	3.8	9.7
	저층	120.3	2.1	0.6	1.1	3.8	11.2	2.4	5.8
N25	표층	476.7	130.7	13.7	183.5	327.8	30.2	29.3	463.9
	저층	474.5	221.3	9.9	125.0	356.2	34.9	26.6	339.4
N26	표층	157.2	12.3	2.3	49.2	63.8	10.5	6.5	50.0
	저층	174.8	0.7	2.5	51.5	54.7	9.0	5.5	44.1
N27	표층	165.2	8.2	2.3	45.0	55.4	8.0	3.3	107.3
	저층	154.4	9.3	2.3	47.3	58.8	7.5	4.7	76.4
H1	표층	138.9	0.6	2.5	53.2	56.3	6.7	4.5	26.8
	저층	191.7	1.0	3.1	66.9	70.9	7.6	5.2	29.0
H2	표층	154.7	5.2	3.7	91.5	100.4	12.6	11.2	19.2
	저층	214.4	1.1	3.7	94.4	99.1	10.9	9.0	20.7
H3	표층	1050.3	437.8	31.0	400.1	868.8	43.9	42.4	875.5
	저층	879.0	408.7	31.7	383.7	824.2	46.7	44.1	883.8
표층	최소	81.6	0.6	0.6	0.9	2.7	5.1	0.8	2.4
	최대	1050.3	437.8	31.0	400.1	868.8	43.9	42.4	875.5
	평균	201.4	27.2	4.0	58.6	89.8	12.2	7.7	103.5
저층	최소	79.7	0.7	0.5	0.8	2.3	5.6	1.2	3.5
	최대	879.0	408.7	31.7	383.7	824.2	46.7	44.1	883.8
	평균	196.5	29.5	3.8	56.7	89.9	12.5	8.0	91.0
전체	최소	79.7	0.6	0.5	0.8	2.3	5.1	0.8	2.4
	최대	1050.3	437.8	31.7	400.1	868.8	46.7	44.1	883.8
	평균	199.0	28.4	3.9	57.7	89.9	12.3	7.8	97.2

<표 3.3-7> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 춘계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N1	표층	0.05	0.19	1.93	0.25	1.92	0.75	1.47	0.0009	ND	-
N2		0.05	0.07	1.54	0.21	0.85	0.60	1.39	0.0007	ND	-
N3		0.04	0.10	0.73	0.16	0.99	0.62	1.07	0.0011	ND	-
N4		0.06	0.11	1.24	0.14	0.69	0.62	1.25	0.0007	ND	-
N5		0.02	0.06	0.67	0.07	0.70	0.31	0.67	0.0008	ND	-
N6		0.03	0.06	0.81	0.08	0.99	0.44	0.78	0.0008	ND	-
N7		0.04	0.13	0.82	0.11	1.62	0.58	1.21	0.0006	ND	-
N8		0.04	0.09	0.77	0.09	1.59	0.64	0.98	0.0008	ND	0.02
N9		0.03	0.14	0.72	0.06	0.72	0.48	0.71	0.0008	ND	-
N10		0.03	0.07	0.99	0.08	1.41	0.39	0.77	0.0009	ND	-
N11		0.03	0.12	0.82	0.05	1.41	0.46	0.67	0.0007	ND	-
N12		0.02	0.10	0.81	0.15	1.04	0.40	0.60	0.0006	ND	-
N13		0.02	0.10	0.60	0.09	1.81	0.52	0.54	0.0007	ND	-
N14		0.03	0.12	0.68	0.08	0.76	0.44	0.68	0.0009	ND	-
N15		0.02	0.11	0.55	0.09	1.04	0.37	0.61	0.0007	ND	-
N16		0.02	0.05	0.51	0.05	0.96	0.37	0.66	0.0006	ND	-
N17		0.03	0.11	0.73	0.06	1.25	0.40	0.74	0.0007	ND	-

* N.D : not determined

<표 3.3-7> 계 속(2019년 춘계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N18	표층	0.03	0.12	0.87	0.07	1.35	0.47	0.82	0.0009	ND	-
N19		0.04	0.16	0.83	0.17	0.90	0.52	1.10	0.0012	ND	-
N20		0.03	0.08	0.74	0.11	0.88	0.56	0.90	0.0008	ND	-
N21		0.03	0.06	0.82	0.13	1.58	0.45	0.80	0.0007	ND	0.07
N22		0.03	0.09	0.65	0.06	0.88	0.45	0.71	0.0007	ND	-
N23		0.02	0.12	0.52	0.04	1.47	0.38	0.62	0.0006	ND	-
N24		0.05	0.14	1.09	0.09	1.01	0.68	1.13	0.0009	ND	-
N25		0.01	0.09	0.65	0.05	1.89	0.43	0.58	0.0010	ND	-
N26		0.02	0.04	0.50	0.06	0.72	0.35	0.56	0.0012	ND	-
N27		0.03	0.05	0.61	0.05	0.60	0.62	0.74	0.0008	ND	-
H1		0.03	0.13	0.62	0.05	1.06	0.50	0.75	0.0009	ND	0.03
H2		0.04	0.16	0.70	0.09	1.80	0.67	1.12	0.0008	ND	0.02
H3		0.02	0.05	0.84	0.04	1.53	0.79	0.84	0.0011	ND	0.05
최소		0.01	0.04	0.50	0.04	0.60	0.31	0.54	0.0006	-	0.02
최대		0.06	0.19	1.93	0.25	1.92	0.79	1.47	0.0012	-	0.07
평균		0.03	0.10	0.81	0.09	1.18	0.51	0.85	0.0008	-	0.04

* N.D : not determined

<표 3.3-8> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 하계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N1	표층	4.0	0.3	29.4	12.7	8.0	7.1	100	19.7	4.4	12.16
	저층			26.6	27.6	8.0	5.3	78	13.5	3.5	0.04
N2	표층	11.3	1.5	26.9	29.4	8.1	7.6	113	10.6	2.7	4.47
	저층			25.0	30.3	8.0	6.1	87	17.7	2.6	4.18
N3	표층	38.0	1.4	22.7	31.4	8.0	7.5	104	15.1	4.3	2.31
	저층			20.6	31.4	8.0	7.4	99	63.6	2.9	5.32
N4	표층	14.5	0.7	26.3	31.2	7.9	6.5	97	20.4	4.2	3.05
	저층			25.7	31.1	7.9	6.8	100	29.3	2.6	3.05
N5	표층	5.7	0.7	25.6	31.3	8.0	7.2	105	21.9	2.4	3.79
	저층			25.3	31.4	8.0	7.1	104	38.1	2.8	4.18
N6	표층	8.3	0.5	26.6	31.5	8.0	7.2	107	32.0	3.2	5.71
	저층			25.7	31.5	8.0	6.9	102	30.0	3.2	4.19
N7	표층	22.0	4.0	21.4	31.9	8.0	8.2	112	13.9	2.3	2.71
	저층			20.1	31.9	8.0	7.9	105	12.7	2.5	4.24
N8	표층	23.0	3.2	22.4	31.7	8.1	8.4	117	22.6	1.5	1.18
	저층			19.8	31.7	8.1	7.9	104	10.8	1.8	2.32
N9	표층	6.0	2.2	22.3	31.8	8.1	7.9	110	21.3	2.3	0.79
	저층			20.3	31.8	8.1	7.8	104	22.4	2.6	2.32
N10	표층	8.0	3.5	25.8	31.5	8.1	7.5	110	19.2	2.3	0.03
	저층			23.4	31.6	8.1	7.4	105	9.6	2.3	5.37
N11	표층	7.0	2.4	26.8	31.4	8.1	7.8	117	18.1	2.5	0.79
	저층			24.6	31.6	8.1	7.6	110	15.2	2.2	0.79
N12	표층	15.0	1.5	25.0	31.2	8.1	7.9	115	15.9	2.4	7.24
	저층			23.9	31.4	8.0	7.5	106	15.4	2.8	1.58
N13	표층	15.0	1.7	25.5	31.3	8.0	7.7	113	17.1	3.4	1.92
	저층			23.9	31.4	8.0	7.5	107	22.8	2.5	1.53
N14	표층	14.3	1.6	26.4	30.8	8.1	8.3	122	18.9	3.9	5.32
	저층			24.1	31.5	8.1	7.5	106	20.8	3.5	3.84
N15	표층	11.0	3.0	26.6	31.4	8.1	6.6	98	14.5	2.3	0.45
	저층			25.7	31.3	8.1	6.5	96	9.9	2.4	1.58
N16	표층	12.5	0.4	27.7	22.7	8.1	8.1	117	20.6	4.0	14.08
	저층			25.6	31.4	7.9	6.5	96	30.9	4.4	2.32
N17	표층	18.0	1.1	28.0	30.8	8.3	10.8	165	18.3	3.1	6.79
	저층			25.6	31.4	8.0	7.6	111	37.0	3.2	3.11

<표 3.3-8> 계 속(2019년 하계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N18	표층	14.2	0.9	29.6	15.2	8.2	6.7	96	12.9	4.6	13.34
	저층			25.7	31.2	7.9	6.7	99	12.6	3.3	6.11
N19	표층	17.0	2.2	27.0	31.2	8.1	6.5	97	13.4	2.6	0.05
	저층			26.8	31.3	8.1	6.5	97	23.8	2.1	0.79
N20	표층	19.0	1.0	27.0	31.3	8.1	6.6	99	12.7	1.7	0.02
	저층			26.6	31.3	8.1	6.6	99	7.7	2.9	0.79
N21	표층	6.0	1.2	27.0	31.3	8.0	6.8	101	16.3	2.5	0.40
	저층			27.0	31.2	8.1	6.6	98	19.4	3.0	1.92
N22	표층	15.0	2.2	27.9	30.2	8.0	6.3	95	14.0	2.9	6.45
	저층			27.4	30.5	8.0	5.7	86	12.8	2.7	1.19
N23	표층	7.0	0.6	29.0	28.8	7.9	5.6	86	23.3	3.6	8.31
	저층			28.7	29.3	7.6	4.7	72	66.9	5.1	9.11
N24	표층	10.0	1.8	26.9	31.1	8.0	6.4	96	17.8	3.5	3.45
	저층			26.9	31.1	7.8	6.2	93	12.2	2.5	2.66
N25	표층	11.0	0.6	28.7	25.8	7.9	6.2	92	28.1	3.7	5.71
	저층			26.9	29.7	7.9	5.1	75	16.2	2.7	1.92
N26	표층	16.0	2.2	25.6	30.9	8.1	8.1	119	15.2	2.9	1.92
	저층			23.6	31.0	8.1	6.9	97	7.3	2.3	1.53
N27	표층	15.0	1.4	26.5	30.5	8.4	13.8	205	15.5	2.5	3.73
	저층			24.3	31.0	8.1	6.8	97	9.8	2.4	2.71
H1	표층	25.0	2.3	24.6	31.7	8.0	7.9	113	19.5	2.0	1.58
	저층			23.7	31.3	8.1	7.8	110	4.8	2.3	5.71
H2	표층	21.0	2.7	21.8	31.7	8.1	7.6	104	19.9	2.3	4.97
	저층			21.8	31.7	8.0	7.6	104	24.0	3.0	3.45
H3	표층	5.0	0.6	29.3	23.0	7.8	4.9	72	21.2	2.5	3.39
	저층			27.6	27.7	7.8	4.5	67	26.5	3.4	1.19
표층		최소	0.3	21.4	12.7	7.8	4.9	72	10.6	1.5	0.02
		최대	4.0	29.6	31.9	8.4	13.8	205	32.0	4.6	14.08
		평균	1.6	26.2	29.2	8.0	7.5	110	18.3	2.9	4.20
저층		최소	-	19.8	27.6	7.6	4.5	67	4.8	1.8	0.04
		최대	-	28.7	31.9	8.1	7.9	111	66.9	5.1	9.11
		평균	-	24.7	30.9	8.0	6.8	97	21.5	2.9	2.97
전체		최소	0.3	19.8	12.7	7.6	4.5	67	4.8	1.5	0.02
		최대	4.0	29.6	31.9	8.4	13.8	205	66.9	5.1	14.08
		평균	1.6	25.5	30.1	8.0	7.1	104	19.9	2.9	3.59

<표 3.3-9> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 하계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N1	표층	1762.1	140.1	135.3	1253.0	1528.3	79.7	77.0	1466.6
	저층	456.1	114.3	21.4	219.3	355.0	52.1	50.4	941.2
N2	표층	345.1	52.8	17.0	122.9	192.7	24.0	21.9	498.7
	저층	245.2	66.7	12.0	117.1	195.8	35.3	31.9	562.5
N3	표층	180.7	32.9	7.2	72.2	112.3	21.4	19.5	344.8
	저층	209.9	27.2	6.2	43.1	76.5	18.3	15.2	214.9
N4	표층	230.5	40.5	8.2	90.0	138.7	24.1	22.8	431.3
	저층	295.5	44.5	8.4	93.6	146.5	25.3	23.8	459.1
N5	표층	202.4	28.2	5.1	74.0	107.3	23.6	20.8	405.5
	저층	158.3	25.4	5.3	26.3	56.9	14.6	8.8	162.6
N6	표층	175.8	18.5	4.4	22.6	45.6	14.6	10.2	232.9
	저층	218.5	32.8	5.9	47.7	86.4	19.3	18.6	398.1
N7	표층	94.0	2.2	2.1	10.7	15.0	7.6	5.9	72.1
	저층	181.7	3.8	2.8	20.0	26.7	10.4	6.1	80.2
N8	표층	110.5	3.4	1.4	14.4	19.2	7.7	5.0	88.0
	저층	104.5	2.4	1.1	10.5	14.0	9.7	5.3	69.6
N9	표층	134.1	4.7	0.6	9.0	14.4	11.5	7.2	122.0
	저층	103.5	4.1	0.8	7.0	11.9	10.1	5.9	103.2
N10	표층	168.5	3.6	1.7	2.5	7.8	12.1	6.2	239.1
	저층	166.2	3.2	1.5	8.5	13.2	11.4	4.0	107.4
N11	표층	156.2	5.8	1.2	3.8	10.8	12.2	5.0	199.0
	저층	111.9	4.6	0.9	4.2	9.6	10.8	6.9	171.7
N12	표층	143.5	19.5	1.4	4.3	25.2	18.1	15.3	251.9
	저층	73.3	3.7	1.5	3.9	9.1	11.3	8.9	208.2
N13	표층	133.9	8.7	0.7	5.3	14.7	16.6	13.4	285.6
	저층	125.4	11.2	1.0	5.7	17.9	14.3	11.2	285.9
N14	표층	143.2	3.5	0.9	4.1	8.5	14.9	9.6	188.3
	저층	83.5	7.6	0.8	5.2	13.5	11.2	10.0	268.5
N15	표층	117.3	33.4	2.0	11.9	47.3	17.1	15.2	337.3
	저층	115.6	23.5	1.8	11.3	36.7	15.7	13.8	325.3
N16	표층	441.9	23.1	100.6	133.5	257.2	32.1	30.2	571.6
	저층	233.7	94.2	2.7	13.0	109.9	36.1	35.3	522.1
N17	표층	190.3	0.7	1.4	2.5	4.6	26.0	10.0	109.3
	저층	194.7	33.4	2.7	11.9	48.1	25.2	12.6	211.9

<표 3.3-9> 계 속(2019년 하계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N18	표층	511.0	40.6	6.2	64.4	111.3	20.1	12.4	411.5
	저층	218.6	106.2	2.4	22.6	131.1	58.5	56.8	837.2
N19	표층	178.7	32.7	2.4	17.7	52.8	20.3	17.8	333.9
	저층	142.2	26.0	2.0	17.7	45.6	21.6	19.0	361.4
N20	표층	225.5	44.0	2.7	13.2	59.9	22.8	16.2	308.9
	저층	162.4	41.2	2.8	11.8	55.8	17.0	12.3	223.7
N21	표층	138.5	26.7	1.9	11.1	39.7	15.5	13.1	334.1
	저층	186.4	22.3	1.7	12.7	36.6	17.4	11.3	260.7
N22	표층	131.6	31.5	2.5	16.5	50.6	25.8	24.1	477.2
	저층	166.2	39.6	2.1	18.6	60.3	24.7	23.1	507.4
N23	표층	413.8	102.7	8.2	77.8	188.7	72.3	69.1	1443.2
	저층	324.9	124.6	9.5	55.6	189.7	55.3	53.8	1158.2
N24	표층	146.2	22.2	1.0	7.7	30.9	16.2	14.4	286.5
	저층	166.8	17.4	0.9	3.8	22.0	16.0	6.0	130.1
N25	표층	603.6	284.2	50.6	255.9	590.8	72.6	70.3	1327.7
	저층	219.1	70.2	6.4	44.2	120.8	28.1	27.2	431.2
N26	표층	132.3	8.6	3.9	23.3	35.9	10.8	7.5	109.0
	저층	194.6	18.0	6.5	77.4	101.8	21.8	19.0	323.9
N27	표층	157.4	6.3	1.2	4.4	11.9	11.6	6.7	48.1
	저층	203.8	41.3	7.5	84.5	133.3	24.6	23.1	419.1
H1	표층	148.4	5.5	2.2	43.0	50.7	13.0	11.9	264.4
	저층	123.6	10.8	2.8	22.4	35.9	10.6	9.0	169.9
H2	표층	87.6	4.4	0.9	9.8	15.1	7.4	5.3	92.3
	저층	96.0	3.4	0.8	9.0	13.3	7.8	6.0	106.8
H3	표층	759.7	273.5	55.4	284.2	613.1	67.6	65.3	1111.3
	저층	387.2	180.1	27.2	167.8	375.0	60.6	58.8	920.9
표층	최소	87.6	0.7	0.6	2.5	4.6	7.4	5.0	48.1
	최대	1762.1	284.2	135.3	1253.0	1528.3	79.7	77.0	1466.6
	평균	278.8	43.5	14.3	88.9	146.7	24.6	21.0	413.1
저층	최소	73.3	2.4	0.8	3.8	9.1	7.8	4.0	69.6
	최대	456.1	180.1	27.2	219.3	375.0	60.6	58.8	1158.2
	평균	189.0	40.1	5.0	39.9	85.0	23.2	19.8	364.8
전체	최소	73.3	0.7	0.6	2.5	4.6	7.4	4.0	48.1
	최대	1762.1	284.2	135.3	1253.0	1528.3	79.7	77.0	1466.6
	평균	233.9	41.8	9.7	64.4	115.8	23.9	20.4	388.9

<표 3.3-10> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 하계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N1	표층	0.03	0.08	1.70	0.07	2.19	1.99	1.51	0.0006	ND	-
N2		0.06	0.15	1.39	0.12	1.99	1.27	1.86	0.0006	ND	-
N3		0.06	0.12	0.84	0.08	1.64	0.74	1.37	0.0004	ND	-
N4		0.07	0.08	0.89	0.12	1.14	0.94	1.49	0.0004	ND	-
N5		0.05	0.04	0.73	0.08	1.33	0.52	1.19	0.0004	ND	-
N6		0.06	0.14	0.87	0.16	1.74	0.91	1.45	0.0004	ND	-
N7		0.06	0.10	0.97	0.09	1.54	0.76	1.16	0.0003	ND	-
N8		0.07	0.16	0.99	0.12	0.85	0.92	1.09	0.0004	ND	0.02
N9		0.06	0.10	0.66	0.12	0.88	0.55	1.06	0.0005	ND	-
N10		0.05	0.08	0.67	0.10	0.62	0.51	1.32	0.0004	ND	-
N11		0.05	0.13	0.74	0.13	0.68	0.52	1.49	0.0005	ND	-
N12		0.06	0.08	0.95	0.09	1.11	0.51	1.29	0.0004	ND	-
N13		0.06	0.14	0.71	0.09	0.72	0.60	1.47	0.0005	ND	-
N14		0.04	0.06	0.66	0.05	0.70	0.44	1.24	0.0004	ND	-
N15		0.05	0.06	0.65	0.06	0.51	0.50	1.56	0.0005	ND	-
N16		0.04	0.10	1.08	0.10	1.55	1.33	1.98	0.0008	ND	-
N17		0.04	0.08	0.78	0.04	0.78	0.47	1.52	0.0004	ND	-

* N.D : not determined

<표 3.3-10> 계 속(2019년 하계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N18	표층	0.03	0.08	1.70	0.07	2.19	1.99	1.51	0.0006	ND	-
N19		0.06	0.15	1.39	0.12	1.99	1.27	1.86	0.0006	ND	-
N20		0.06	0.12	0.84	0.08	1.64	0.74	1.37	0.0004	ND	-
N21		0.07	0.08	0.89	0.12	1.14	0.94	1.49	0.0004	ND	0.03
N22		0.05	0.04	0.73	0.08	1.33	0.52	1.19	0.0004	ND	-
N23		0.06	0.14	0.87	0.16	1.74	0.91	1.45	0.0004	ND	-
N24		0.06	0.10	0.97	0.09	1.54	0.76	1.16	0.0003	ND	-
N25		0.07	0.16	0.99	0.12	0.85	0.92	1.09	0.0004	ND	-
N26		0.06	0.10	0.66	0.12	0.88	0.55	1.06	0.0005	ND	-
N27		0.05	0.08	0.67	0.10	0.62	0.51	1.32	0.0004	ND	-
H1		0.05	0.13	0.74	0.13	0.68	0.52	1.49	0.0005	ND	0.05
H2		0.06	0.08	0.95	0.09	1.11	0.51	1.29	0.0004	ND	0.08
H3		0.06	0.14	0.71	0.09	0.72	0.60	1.47	0.0005	ND	0.03
최소		0.04	0.06	0.66	0.05	0.70	0.44	1.24	0.0004	-	0.02
최대		0.05	0.06	0.65	0.06	0.51	0.50	1.56	0.0005	-	0.08
평균		0.04	0.10	1.08	0.10	1.55	1.33	1.98	0.0008	-	0.04

* N.D : not determined

<표 3.3-11> 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 결과(2019년 추계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N1	표층	6.0	0.2	11.7	10.5	8.5	7.8	77	36.0	4.8	6.87
	저층			10.7	26.4	8.3	7.5	79	35.5	2.8	3.47
N2	표층	11.0	1.3	12.7	29.0	8.4	7.5	85	68.6	2.4	0.62
	저층			12.5	29.1	8.4	7.4	83	10.1	3.2	4.19
N3	표층	37.0	2.8	18.4	30.5	8.3	7.3	93	5.9	1.8	0.84
	저층			17.4	30.6	8.3	7.0	88	6.4	2.6	0.72
N4	표층	9.6	2.2	17.0	30.7	8.3	7.1	88	6.6	1.8	0.53
	저층			16.9	30.8	8.3	7.1	88	7.7	3.0	0.82
N5	표층	7.3	1.6	17.2	30.8	8.3	7.8	98	5.9	2.4	0.64
	저층			17.0	30.8	8.3	7.3	91	6.5	2.3	0.79
N6	표층	10.0	2.2	17.1	30.8	8.3	7.8	98	6.6	1.9	1.13
	저층			16.4	30.9	8.3	7.6	93	7.3	1.9	0.82
N7	표층	21.0	2.7	18.5	30.6	8.3	7.2	93	6.1	2.2	0.78
	저층			18.2	30.6	8.3	7.2	92	5.9	2.1	0.71
N8	표층	23.0	2.5	15.2	31.0	8.4	7.1	85	9.9	1.9	0.82
	저층			14.7	31.3	8.4	6.7	80	10.8	1.9	0.40
N9	표층	10.0	2.7	15.3	31.0	8.4	6.9	84	6.9	2.3	0.52
	저층			14.7	31.3	8.4	6.7	80	8.0	2.3	0.44
N10	표층	10.0	2.2	14.7	31.1	8.4	7.2	86	7.2	1.0	0.63
	저층			14.3	31.5	8.4	6.7	79	8.2	2.4	0.39
N11	표층	10.0	1.1	14.0	31.1	8.2	7.1	83	6.3	1.2	0.82
	저층			13.9	31.1	8.3	7.0	83	7.4	1.5	0.77
N12	표층	12.5	1.2	13.2	31.1	8.4	8.1	94	8.9	1.7	1.19
	저층			12.9	31.1	8.4	8.1	93	10.2	1.8	1.16
N13	표층	14.0	1.5	13.2	31.0	8.4	8.9	103	8.8	1.3	1.17
	저층			13.2	31.1	8.4	8.6	99	9.4	1.6	0.68
N14	표층	14.0	1.5	12.7	31.1	8.2	10.9	125	7.7	1.4	0.76
	저층			12.6	31.2	8.3	10.1	115	9.4	1.6	0.84
N15	표층	10.0	0.8	13.5	31.2	8.4	7.1	83	15.1	2.1	1.19
	저층			13.0	31.2	8.4	6.8	79	39.5	2.6	2.26
N16	표층	16.0	2.9	13.0	31.0	8.4	9.1	105	5.4	2.2	1.53
	저층			12.9	31.0	8.4	7.5	86	6.4	2.0	1.97
N17	표층	18.0	3.1	13.0	30.9	8.4	7.6	88	5.6	1.8	1.18
	저층			13.0	30.9	8.4	7.4	85	8.9	1.7	0.83

<표 3.3-11> 계 속(2019년 추계)

정점	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	DO 포화도	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(%)	(㎎/L)		(㎍/L)
N18	표층	10.0	3.5	12.8	31.0	8.4	7.5	86	7.2	1.8	1.53
	저층			12.6	31.2	8.3	7.2	82	8.3	2.1	0.67
N19	표층	16.0	1.3	14.2	30.8	8.4	7.0	83	12.3	2.0	0.84
	저층			14.0	31.0	8.4	6.9	82	22.4	2.4	1.21
N20	표층	21.0	1.8	14.1	30.9	8.4	6.9	82	11.0	2.3	0.56
	저층			13.7	31.2	8.4	6.7	79	16.8	2.1	1.13
N21	표층	8.0	1.1	13.8	30.9	8.2	7.2	84	13.4	2.4	0.76
	저층			13.6	31.2	8.1	7.0	82	20.0	2.3	1.15
N22	표층	15.6	0.3	15.4	30.7	8.3	9.2	111	28.1	2.7	2.32
	저층			15.4	30.8	8.3	8.8	107	63.1	3.9	4.19
N23	표층	8.0	0.3	14.7	29.1	8.3	8.3	98	40.2	3.0	6.84
	저층			14.6	29.2	8.3	8.2	96	188.2	7.8	14.48
N24	표층	13.0	0.6	16.1	30.8	8.3	7.3	90	25.0	2.7	1.53
	저층			16.0	30.9	8.3	6.9	84	30.9	2.2	1.49
N25	표층	14.0	0.4	15.7	29.7	8.3	7.2	87	29.5	2.9	2.88
	저층			15.7	29.8	8.3	7.2	86	52.1	3.4	3.39
N26	표층	28.0	2.9	13.4	30.0	8.4	8.3	95	9.4	2.2	0.88
	저층			13.1	30.3	8.4	7.4	85	12.4	2.5	0.76
N27	표층	13.0	1.9	12.9	29.5	8.4	7.5	86	6.9	2.2	0.45
	저층			12.6	29.6	8.4	7.3	83	27.5	2.3	1.92
H1	표층	18.0	2.0	13.6	30.4	8.3	7.3	85	10.8	2.8	0.86
	저층			13.6	30.9	8.1	7.2	83	12.8	2.4	0.75
H2	표층	23.0	2.7	19.8	30.4	8.0	7.2	95	10.4	2.5	0.82
	저층			18.7	30.7	8.1	7.5	96	8.1	2.9	0.44
H3	표층	7.0	0.4	15.0	28.3	8.3	7.6	89	31.2	3.2	3.45
	저층			14.9	28.3	8.3	7.0	83	106.4	5.2	5.69
표층		최소	0.2	11.7	10.5	8.0	6.9	77	5.4	1.0	0.45
		최대	3.5	19.8	31.2	8.5	10.9	125	68.6	4.8	6.87
		평균	1.7	14.7	29.9	8.3	7.7	91	15.1	2.2	1.50
저층		최소	-	10.7	26.4	8.1	6.7	79	5.9	1.5	0.39
		최대	-	18.7	31.5	8.4	10.1	115	188.2	7.8	14.48
		평균	-	14.4	30.5	8.3	7.4	88	25.5	2.6	1.95
전체		최소	0.2	10.7	10.5	8.0	6.7	77	5.4	1.0	0.39
		최대	3.5	19.8	31.5	8.5	10.9	125	188.2	7.8	14.48
		평균	1.7	14.6	30.2	8.3	7.6	89	20.3	2.4	1.72

<표 3.3-12> 해양 수질의 영양염류 및 TN, TP 결과(2019년 추계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N1	표층	1772.3	252.7	32.7	1186.8	1472.2	106.9	92.6	1229.9
	저층	574.8	103.8	12.2	295.1	411.0	52.2	40.6	309.3
N2	표층	351.2	54.3	8.9	142.3	205.5	40.1	30.3	223.2
	저층	311.3	48.0	8.0	147.4	203.4	31.9	26.6	193.1
N3	표층	219.6	2.3	6.7	84.9	93.9	24.5	20.0	243.5
	저층	213.7	2.3	6.2	85.3	93.7	25.8	20.2	244.4
N4	표층	206.3	5.6	8.2	63.2	77.0	27.7	21.3	323.1
	저층	188.2	6.1	7.6	53.5	67.2	27.5	20.8	302.4
N5	표층	178.0	6.6	7.3	58.2	72.1	23.0	18.2	256.2
	저층	165.7	4.0	5.5	44.9	54.3	22.0	16.1	206.4
N6	표층	200.6	4.2	9.0	71.2	84.5	27.1	21.6	345.1
	저층	213.3	7.3	8.5	60.3	76.2	23.3	19.7	374.8
N7	표층	173.8	1.4	3.5	78.4	83.2	23.9	18.7	256.9
	저층	140.9	1.4	1.3	49.0	51.8	20.1	12.2	135.3
N8	표층	138.9	1.4	1.5	64.1	67.0	17.4	12.5	174.7
	저층	162.6	0.9	1.5	58.4	60.8	21.8	14.0	188.5
N9	표층	167.9	1.4	2.6	73.4	77.5	19.6	15.1	226.0
	저층	187.8	1.3	3.1	74.9	79.4	22.6	15.0	236.7
N10	표층	113.5	0.8	1.8	49.7	52.2	14.0	11.5	152.0
	저층	60.2	0.7	0.6	30.4	31.7	7.7	6.4	84.3
N11	표층	128.4	1.0	2.6	49.0	52.6	16.5	10.8	149.6
	저층	127.8	0.7	2.6	46.7	50.0	15.5	11.2	155.0
N12	표층	177.7	2.2	8.5	71.7	82.4	16.6	14.4	318.1
	저층	102.1	1.8	4.6	46.6	52.9	12.3	11.8	184.9
N13	표층	159.3	4.6	5.0	52.3	61.8	17.7	11.6	219.5
	저층	142.8	5.9	5.3	52.1	63.3	14.9	11.9	225.4
N14	표층	131.5	3.8	4.5	40.9	49.2	13.9	10.6	179.6
	저층	171.6	5.9	6.7	54.0	66.6	20.7	12.8	257.1
N15	표층	190.8	16.1	10.8	53.1	80.0	24.3	18.3	298.9
	저층	163.1	18.0	8.9	46.4	73.2	18.5	18.3	302.0
N16	표층	183.0	73.3	4.4	28.7	106.4	34.4	32.3	459.4
	저층	241.8	74.8	3.8	27.1	105.7	39.5	30.0	420.1
N17	표층	191.3	47.7	5.0	34.2	86.9	22.2	20.3	282.9
	저층	243.7	55.7	6.2	40.6	102.5	31.6	23.8	350.8

<표 3.3-12> 계 속(2019년 추계)

정점	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎍/L)							
N18	표층	278.5	89.5	3.5	24.3	117.4	39.3	31.5	490.8
	저층	212.8	76.1	3.6	24.4	104.1	37.5	36.7	478.9
N19	표층	181.7	18.6	10.1	49.2	77.8	21.0	17.4	267.7
	저층	213.6	19.9	11.1	47.7	78.6	26.4	17.6	299.5
N20	표층	134.7	16.3	10.6	47.1	73.9	17.2	16.8	277.2
	저층	179.8	13.5	9.7	44.2	67.5	23.0	15.5	247.7
N21	표층	173.9	16.3	8.1	43.9	68.3	24.9	15.3	224.4
	저층	202.6	18.6	11.5	56.3	86.3	29.3	18.0	303.2
N22	표층	214.9	49.9	2.5	21.5	74.0	26.3	20.9	328.3
	저층	145.3	24.2	1.5	13.1	38.8	19.2	14.4	236.5
N23	표층	236.5	47.7	4.9	71.3	123.9	23.7	23.4	470.6
	저층	359.3	60.8	6.9	90.9	158.6	41.1	32.6	600.3
N24	표층	115.4	23.3	4.3	25.2	52.9	18.2	17.1	268.6
	저층	116.7	21.4	4.4	22.2	48.1	16.1	15.4	245.5
N25	표층	341.9	62.7	4.5	77.5	144.7	38.8	22.7	409.0
	저층	325.5	64.9	3.9	60.3	129.1	37.6	20.3	379.9
N26	표층	203.9	17.6	5.9	70.4	93.9	25.9	16.7	122.5
	저층	221.7	14.1	6.4	65.4	85.9	27.1	16.6	129.2
N27	표층	250.1	26.9	5.6	83.5	115.9	30.8	15.6	125.1
	저층	235.9	25.9	6.8	88.3	121.0	29.3	17.9	134.8
H1	표층	203.3	14.0	6.0	68.0	88.0	24.0	15.9	131.9
	저층	216.4	12.6	7.2	83.2	102.9	27.5	19.0	168.9
H2	표층	192.9	2.4	2.1	73.2	77.8	89.9	68.9	197.3
	저층	188.6	1.6	2.4	75.5	79.5	26.6	18.6	210.5
H3	표층	438.5	109.0	7.6	123.4	240.1	49.6	28.8	426.6
	저층	504.0	112.0	8.7	121.3	242.0	64.2	33.3	527.6
표층	최소	114	0.8	1.5	21.5	49.2	13.9	10.6	122.5
	최대	1772	252.7	32.7	1186.8	1472.2	106.9	92.6	1229.9
	평균	255	32.5	6.6	99.4	138.4	30.0	23.0	302.6
저층	최소	60	0.7	0.6	13.1	31.7	7.7	6.4	84.3
	최대	575	112.0	12.2	295.1	411.0	64.2	40.6	600.3
	평균	218	26.8	5.9	66.8	99.5	27.1	19.6	271.1
전체	최소	60	0.7	0.6	13.1	31.7	7.7	6.4	84.3
	최대	1772	252.7	32.7	1186.8	1472.2	106.9	92.6	1229.9
	평균	236	29.6	6.3	83.1	119.0	28.5	21.3	286.9

<표 3.3-13> 해양 수질의 미량금속류, 시안 및 용매추출유분 결과(2019년 추계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N1	표층	0.01	0.09	1.10	0.03	2.28	1.03	0.74	0.0008	ND	-
N2		0.03	0.08	0.60	0.03	1.04	0.53	1.23	0.0004	ND	-
N3		0.02	0.13	0.31	0.05	1.40	0.45	0.97	0.0004	ND	-
N4		0.02	0.11	0.35	0.03	1.04	0.32	0.72	0.0004	ND	-
N5		0.02	0.09	0.28	0.03	0.98	0.23	0.73	0.0003	ND	-
N6		0.02	0.07	0.22	0.03	1.75	0.22	0.56	0.0003	ND	-
N7		0.03	0.13	0.39	0.07	1.11	0.30	0.93	0.0004	ND	-
N8		0.01	0.04	0.15	0.02	0.84	0.11	0.33	0.0003	ND	0.05
N9		0.01	0.03	0.11	0.02	0.97	0.11	0.35	0.0003	ND	-
N10		0.02	0.11	0.23	0.04	0.82	0.20	0.65	0.0003	ND	-
N11		0.01	0.05	0.17	0.03	0.48	0.12	0.39	0.0003	ND	-
N12		0.02	0.11	0.35	0.08	0.74	0.23	0.73	0.0004	ND	-
N13		0.03	0.12	0.43	0.12	0.59	0.29	1.05	0.0005	ND	-
N14		0.01	0.10	0.32	0.09	0.86	0.16	0.51	0.0004	ND	-
N15		0.01	0.05	0.14	0.02	0.50	0.11	0.33	0.0004	ND	-
N16		0.01	0.02	0.19	0.02	1.25	0.14	0.43	0.0004	ND	-
N17		0.01	0.04	0.15	0.01	0.42	0.11	0.44	0.0004	ND	-

* N.D : not determined

<표 3.3-13> 계 속(2019년 추계)

정점	수층	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg	CN	유분
		(㎍/L)								(㎎/L)	(㎍/L)
N18	표층	0.01	0.05	0.16	0.02	0.75	0.19	0.49	0.0003	ND	-
N19		0.01	0.08	0.22	0.02	0.37	0.17	0.54	0.0004	ND	-
N20		0.02	0.04	0.24	0.02	0.23	0.21	0.70	0.0003	ND	-
N21		0.03	0.09	0.37	0.05	0.84	0.31	0.94	0.0005	ND	0.02
N22		0.03	0.11	0.45	0.09	1.92	0.36	1.32	0.0005	ND	-
N23		0.02	0.07	0.30	0.03	0.44	0.24	0.75	0.0005	ND	-
N24		0.01	0.11	0.18	0.02	0.18	0.18	0.54	0.0005	ND	-
N25		0.02	0.08	0.27	0.03	0.53	0.26	0.78	0.0001	ND	-
N26		0.03	0.14	0.52	0.03	1.06	0.57	1.61	0.0001	ND	-
N27		0.01	0.07	0.17	0.02	0.54	0.22	0.43	0.0001	ND	-
H1		0.02	0.10	0.35	0.06	1.20	0.39	0.97	0.0001	ND	0.08
H2		0.03	0.15	0.44	0.16	2.08	0.47	1.26	0.0002	ND	0.04
H3		0.01	0.04	0.21	0.04	0.55	0.23	0.62	0.0001	ND	0.05
최소		0.01	0.02	0.11	0.01	0.18	0.11	0.33	0.0001	-	0.02
최대		0.03	0.15	1.10	0.16	2.28	1.03	1.61	0.0008	-	0.08
평균		0.02	0.08	0.31	0.04	0.93	0.28	0.73	0.0003	-	0.05

* N.D : not determined

<표 3.3-14> 해양환경기준-해양수산부고시 제 2018-10호

(생활기준)

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

(사람의 건강보호 기준)

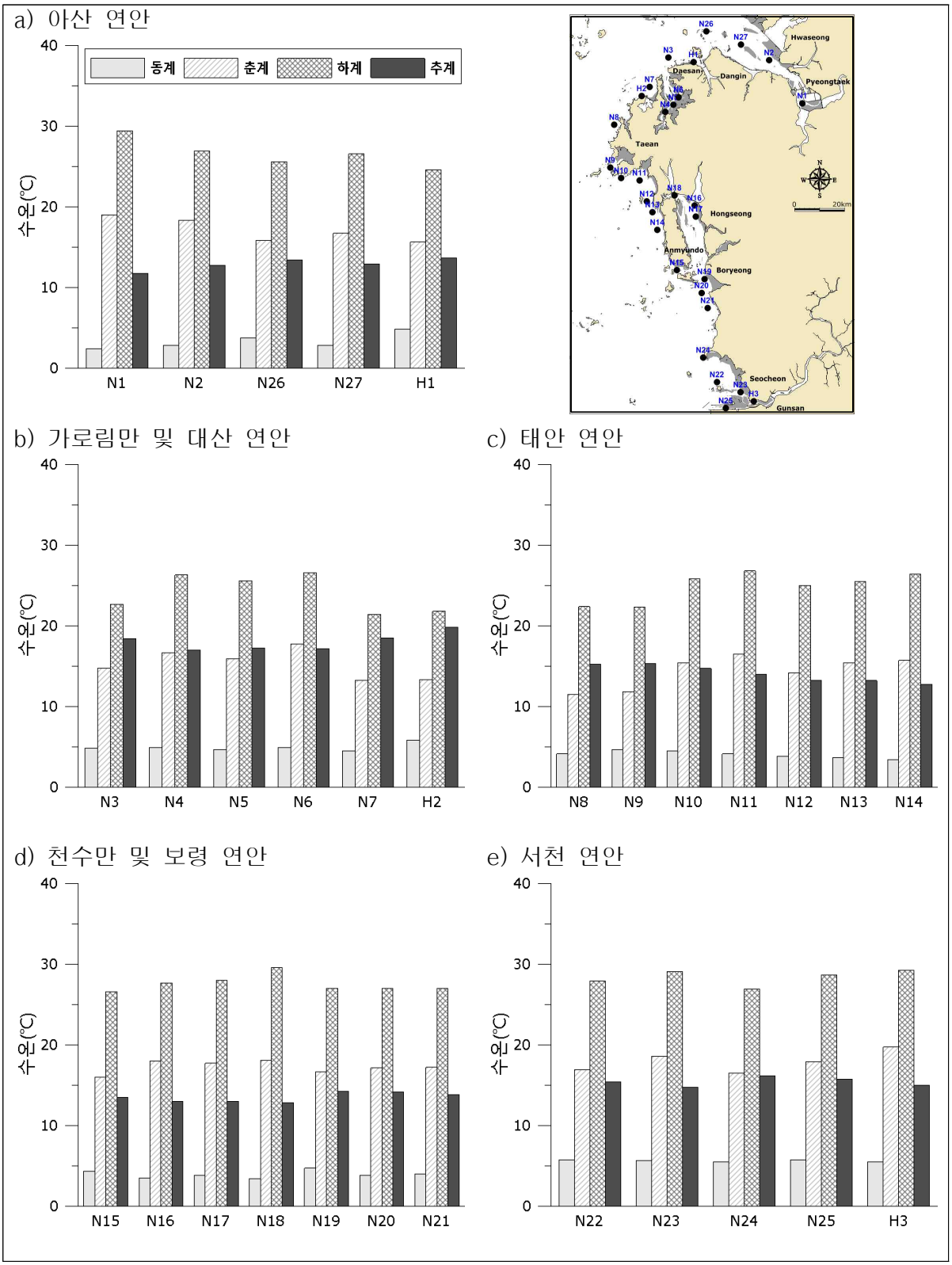
등 급	항 목		기준 (㎍/L)
전 수 역	6가크롬 (Cr^{6+})		50
	비소 (As)		50
	카드뮴 (Cd)		10
	납 (Pb)		50
	아연 (Zn)		100
	구리 (Cu)		20
	시안 (CN)		10
	수은 (Hg)		0.5
	폴리염화비페닐 (PCB)		0.5
	유기인계 농약	다이아지논	20
		파라티온	60
		말라티온	250
	휘발성 저급 염소화 탄화수소류	1.1.1-트리클로로에탄	100
		테트라클로로에틸렌	10
		트리클로로에틸렌	30
		디클로로메탄	20
	벤젠		10
	페놀		5
	음이온계면활성제 (ABS)		500

(해양생태계 보호 기준)

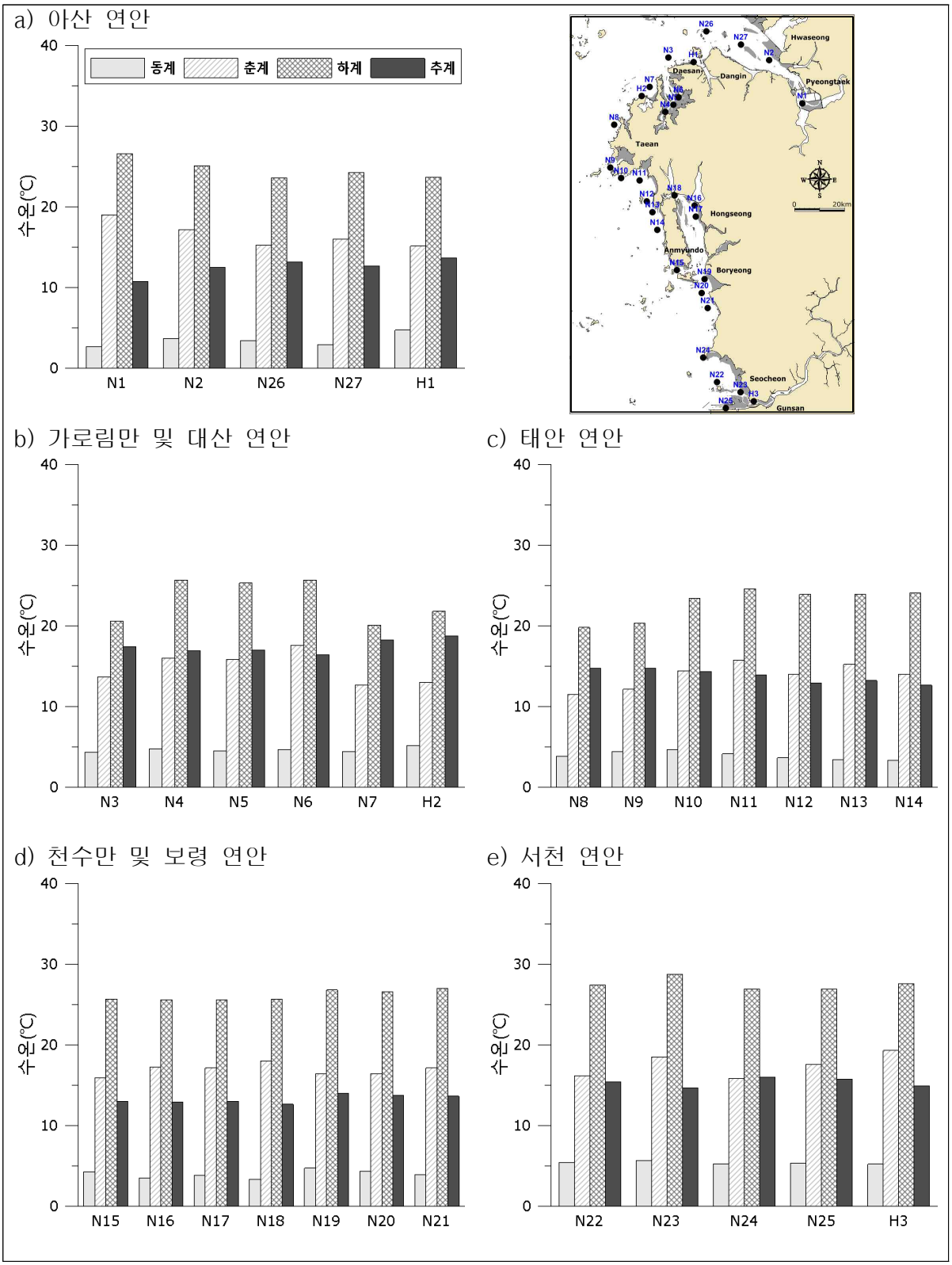
(단위 : ㎍/L)

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

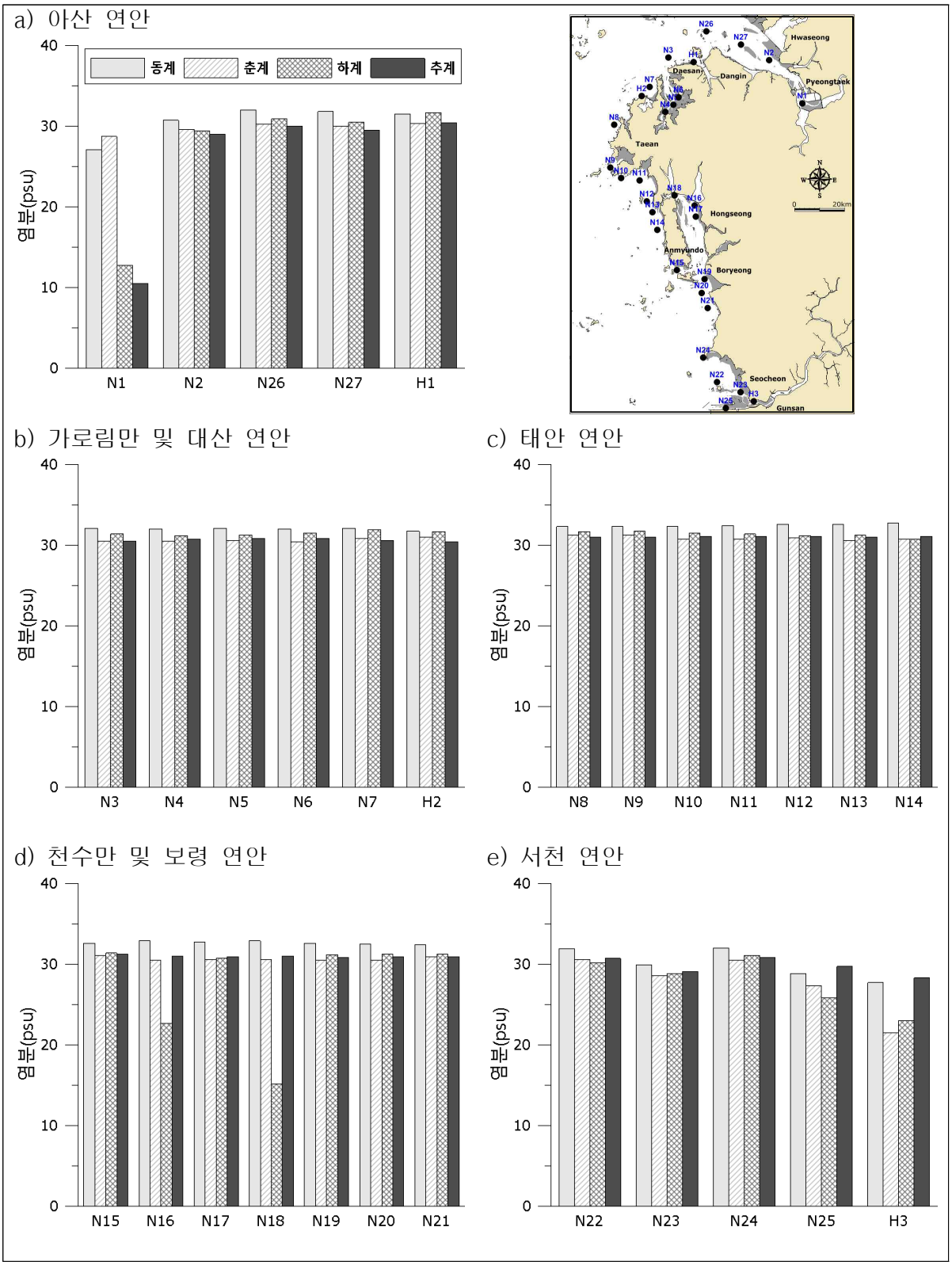
* : 단기기준 : 1회성 관측값과 비교 적용
** : 연간평균값 (최소 사계절 조사 자료)과 비교 적용



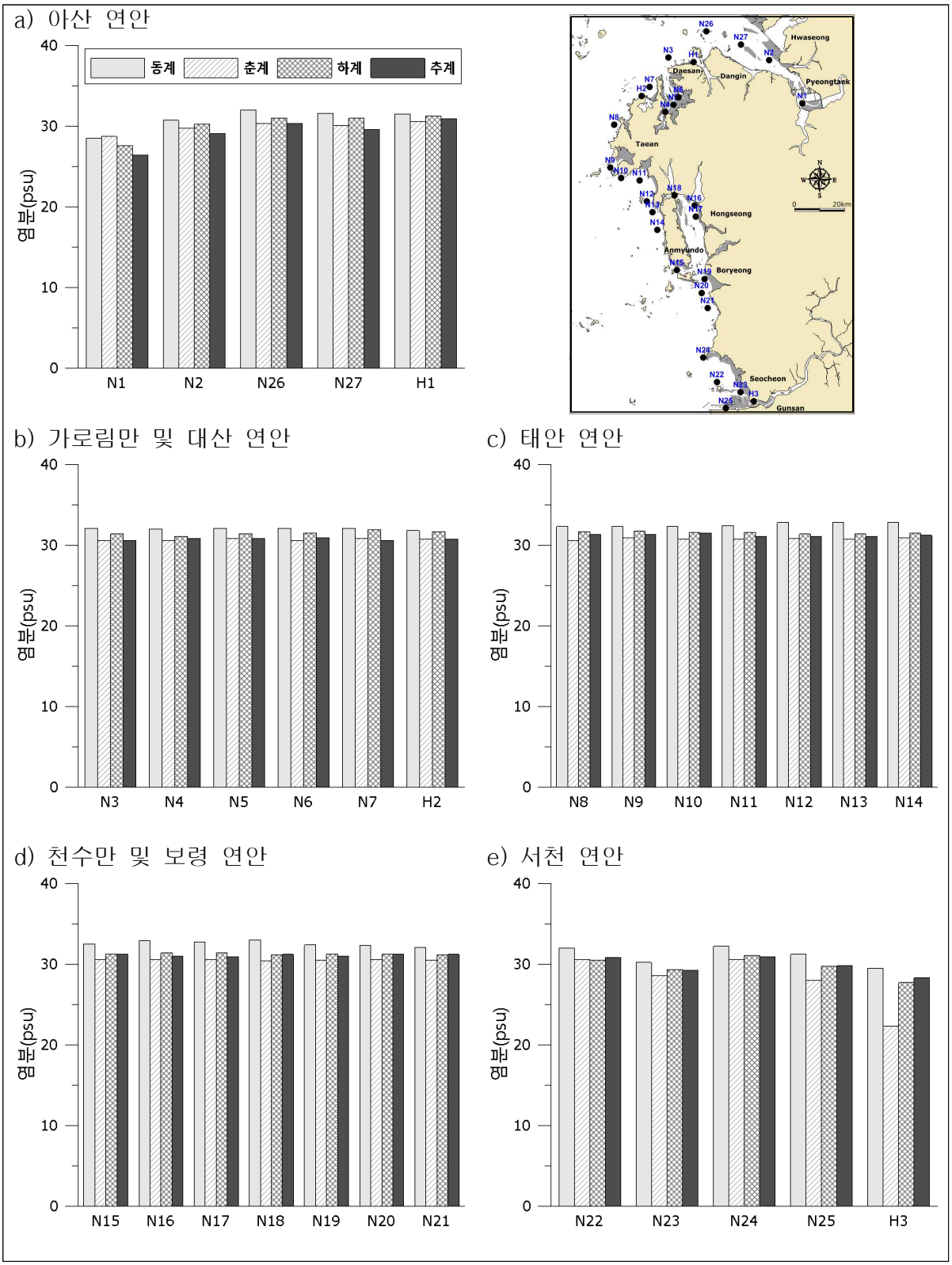
<그림 3.3-1> 조사해역에서 수온의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
수온(℃)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

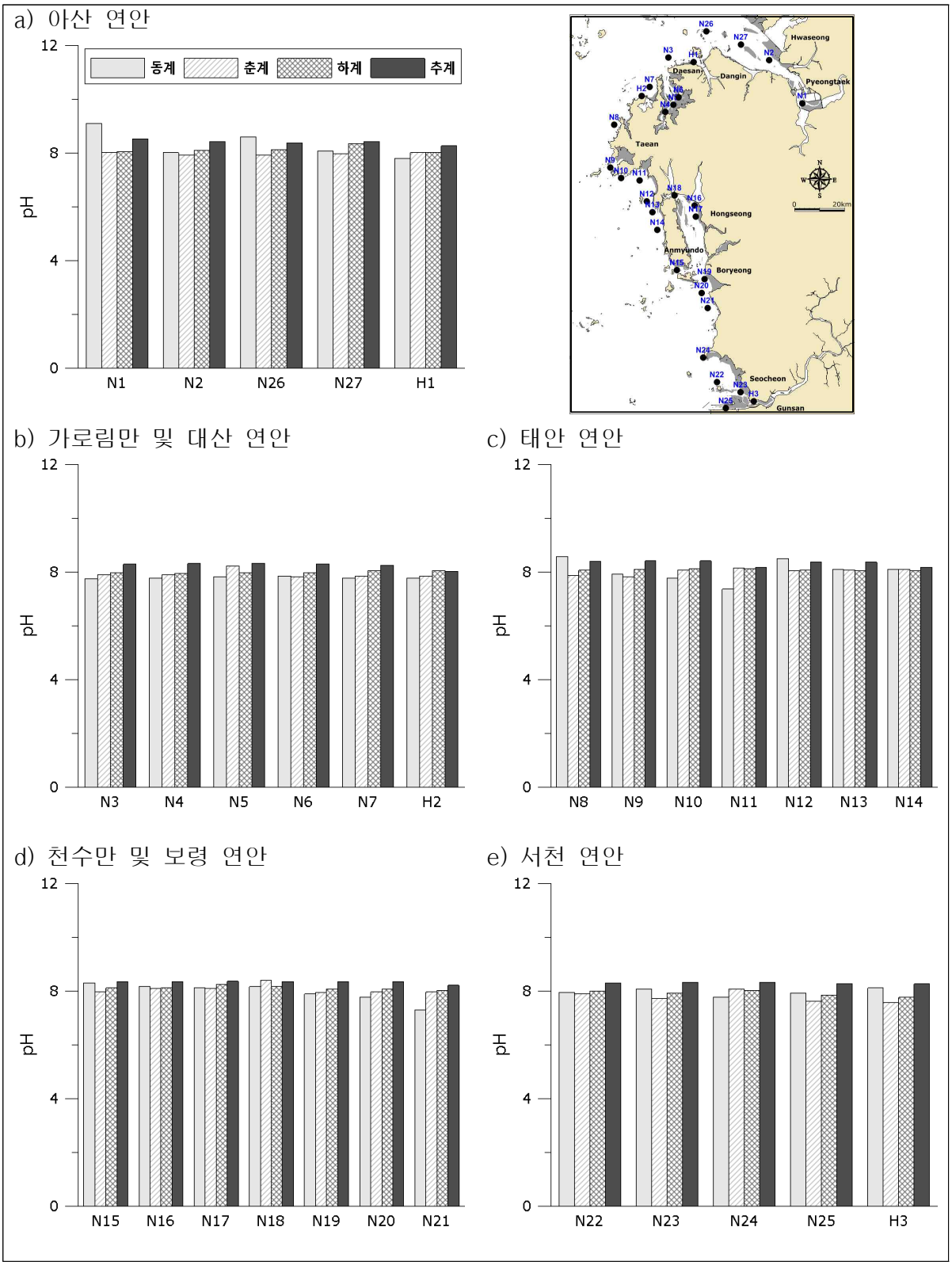
<그림 3.3-1> 계 속(저층)



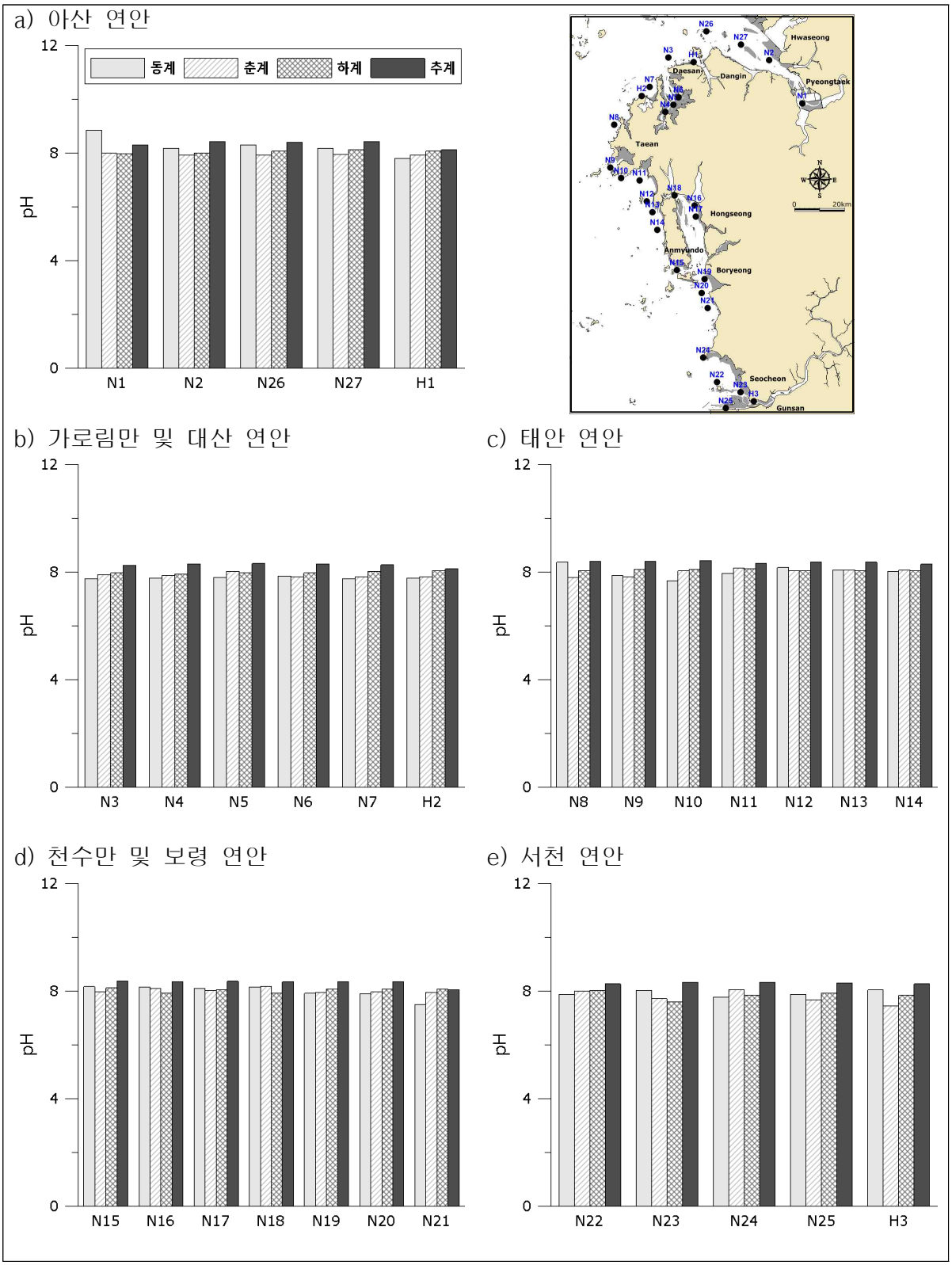
<그림 3.3-2> 조사해역에서 염분의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
염분(psu)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

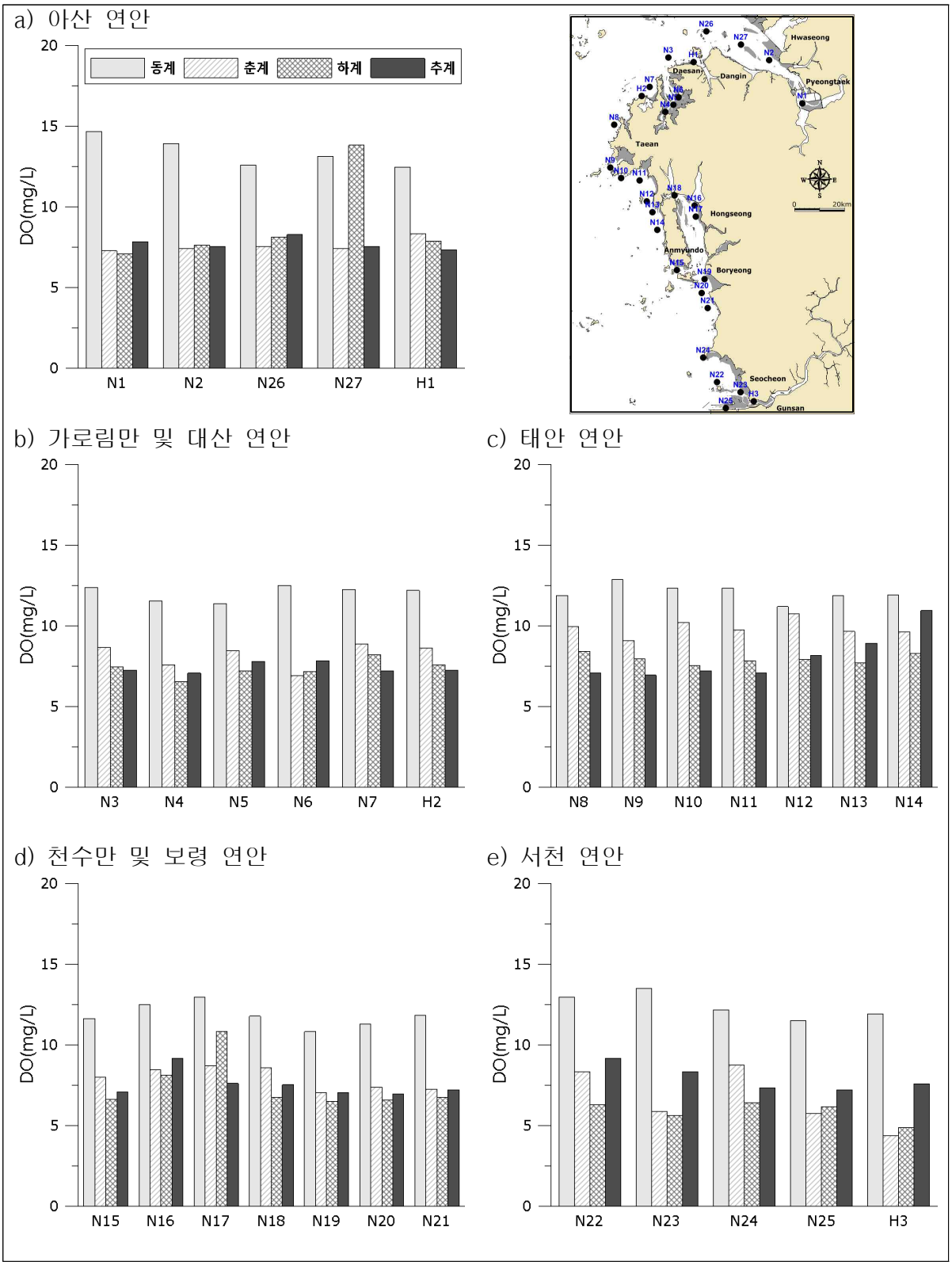
<그림 3.3-2> 계 속(저층)



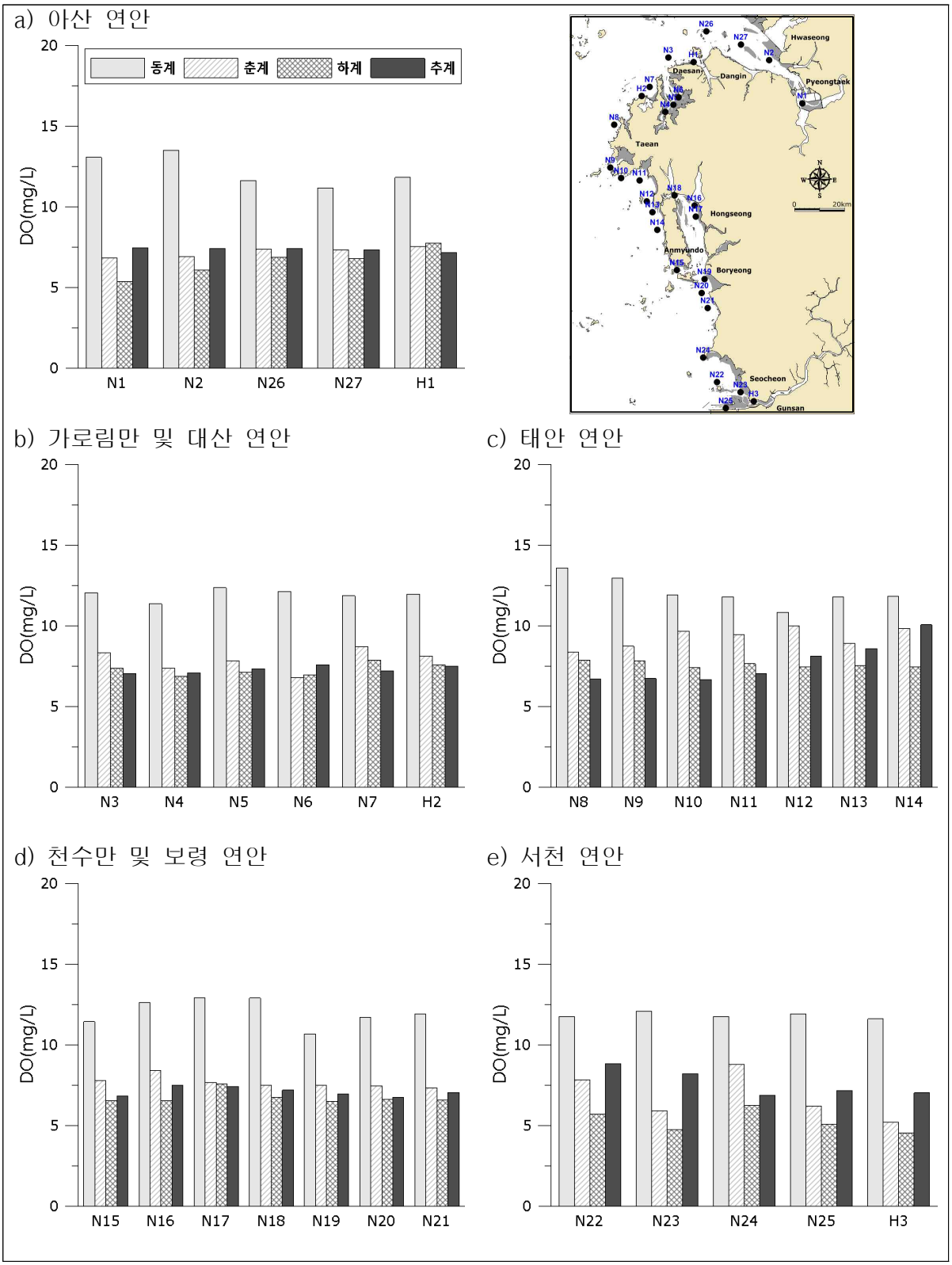
<그림 3.3-3> 조사해역에서 수소이온농도(pH)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
pH
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

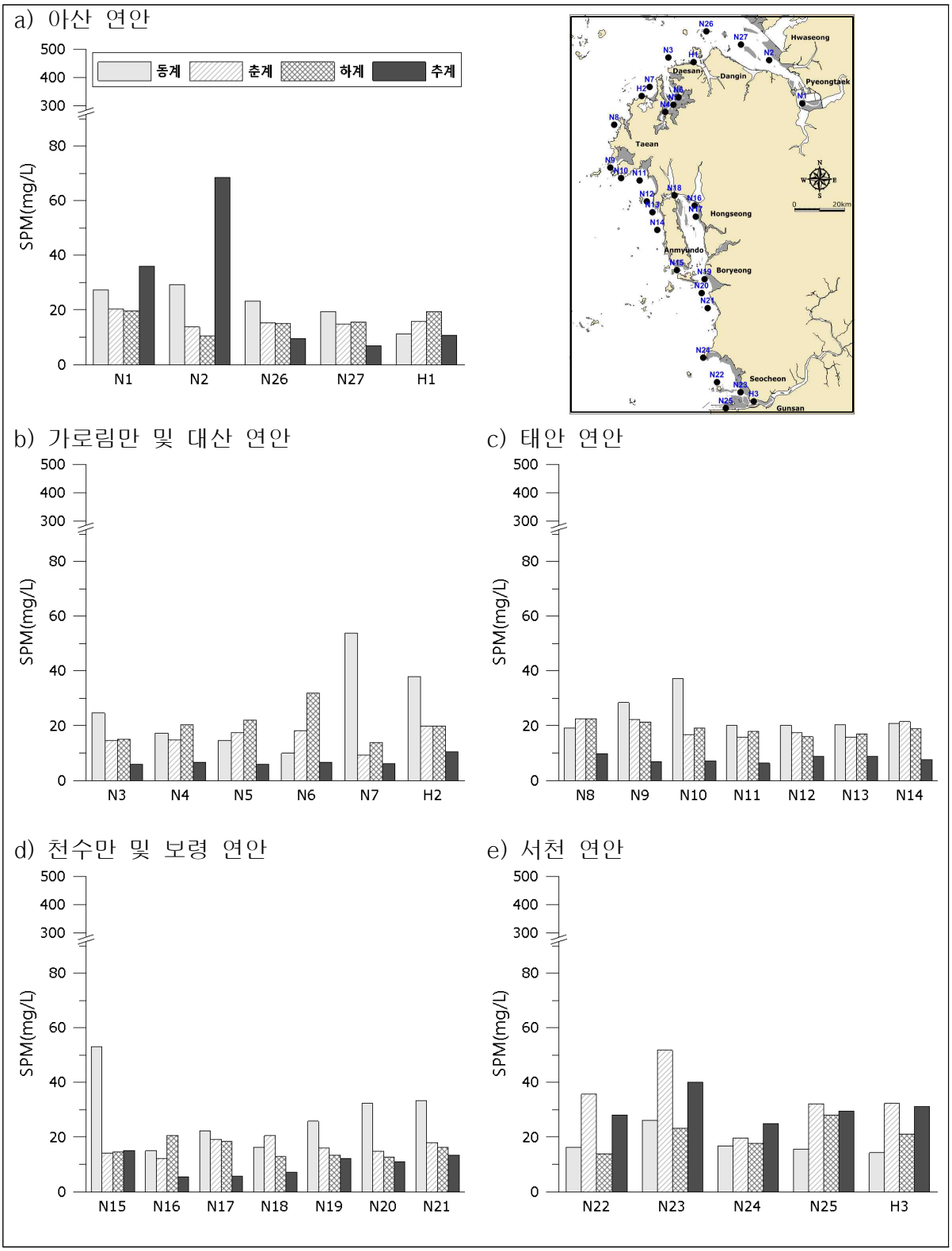
<그림 3.3-3> 계 속(저층)



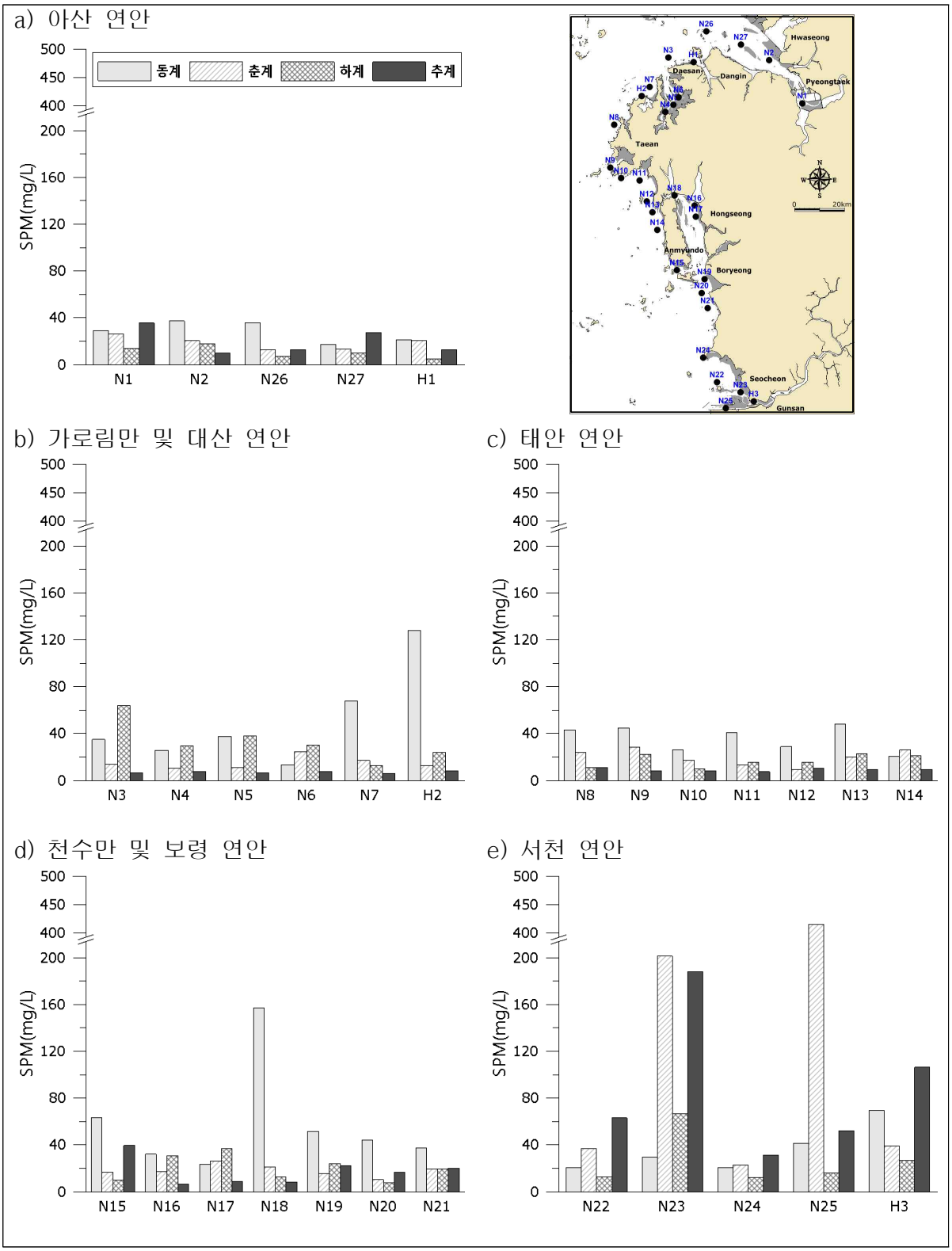
<그림 3.3-4> 조사해역에서 용존산소(DO)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
DO(mg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

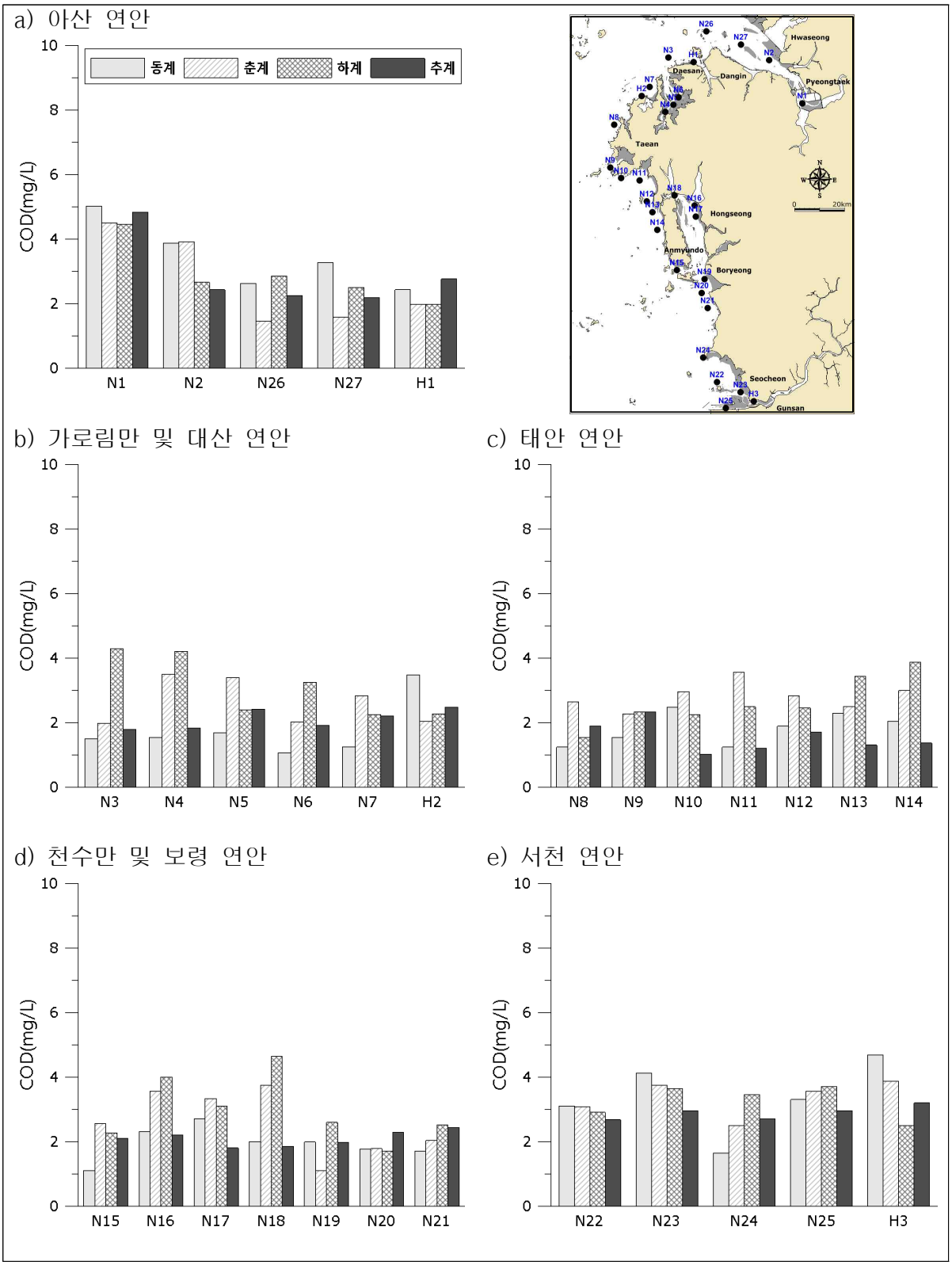
<그림 3.3-4> 계 속(저층)



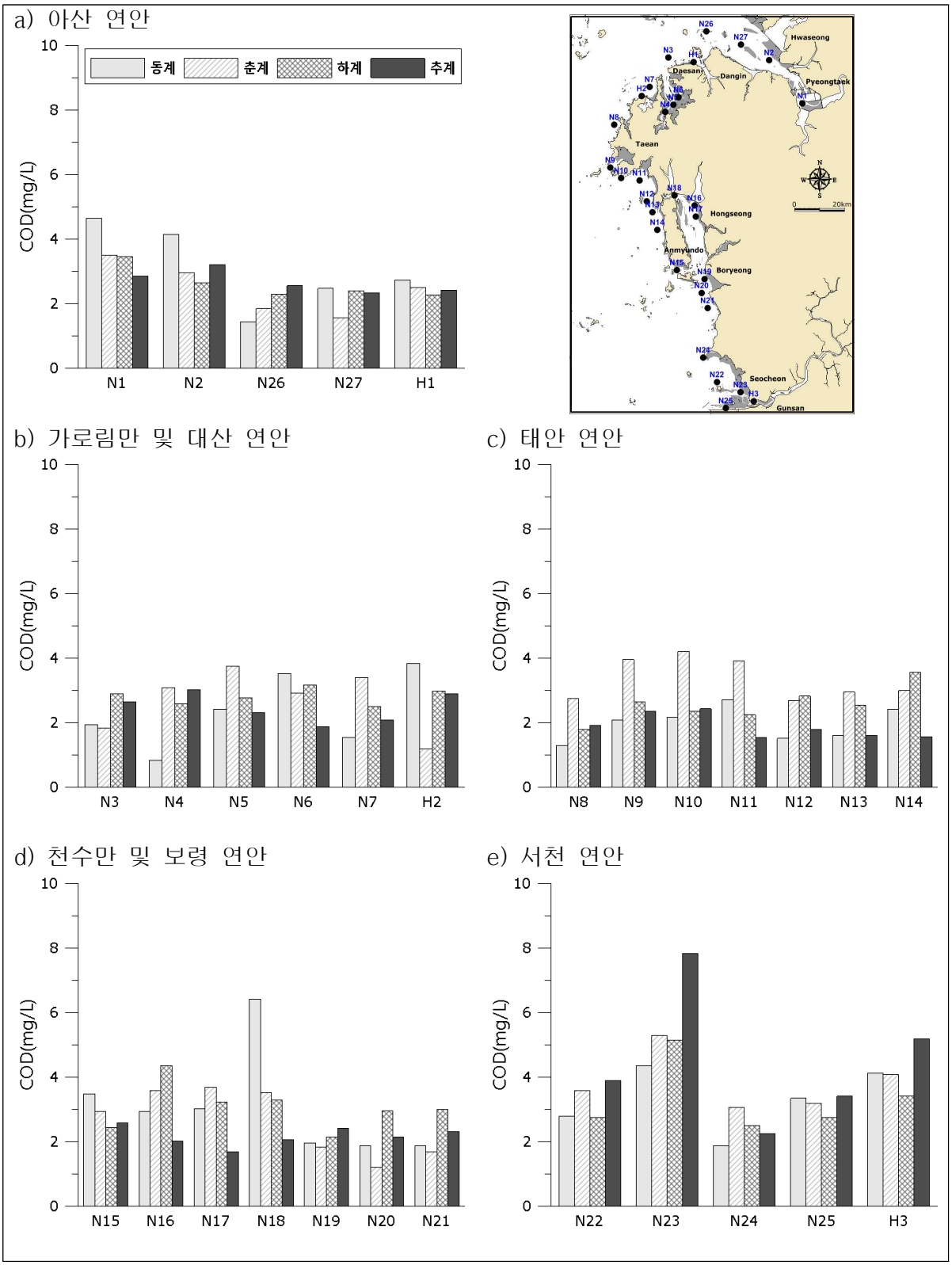
<그림 3.3-5> 조사해역에서 부유입자물질(SPM)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
SPM(mg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

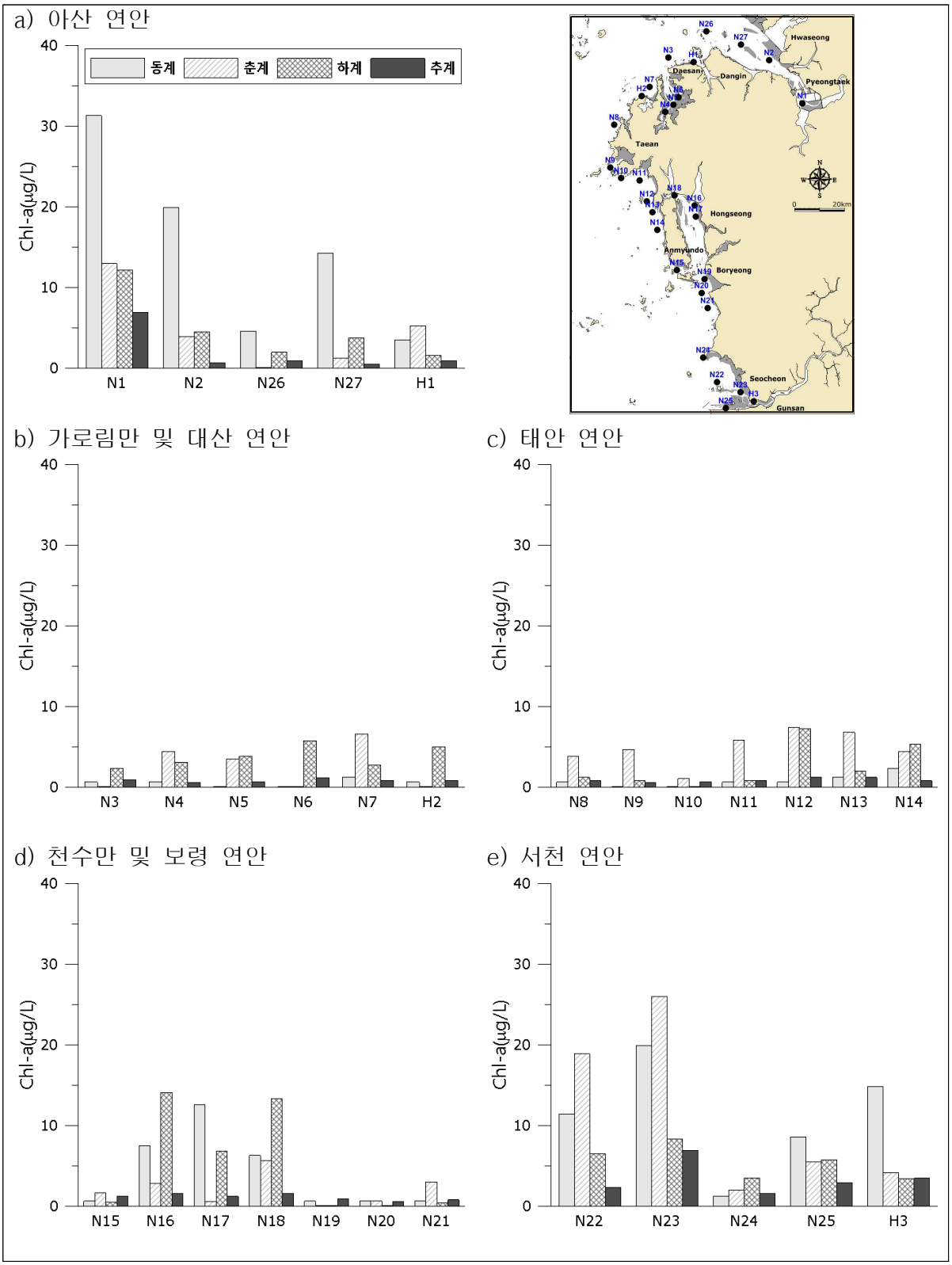
<그림 3.3-5>계 속(저층)



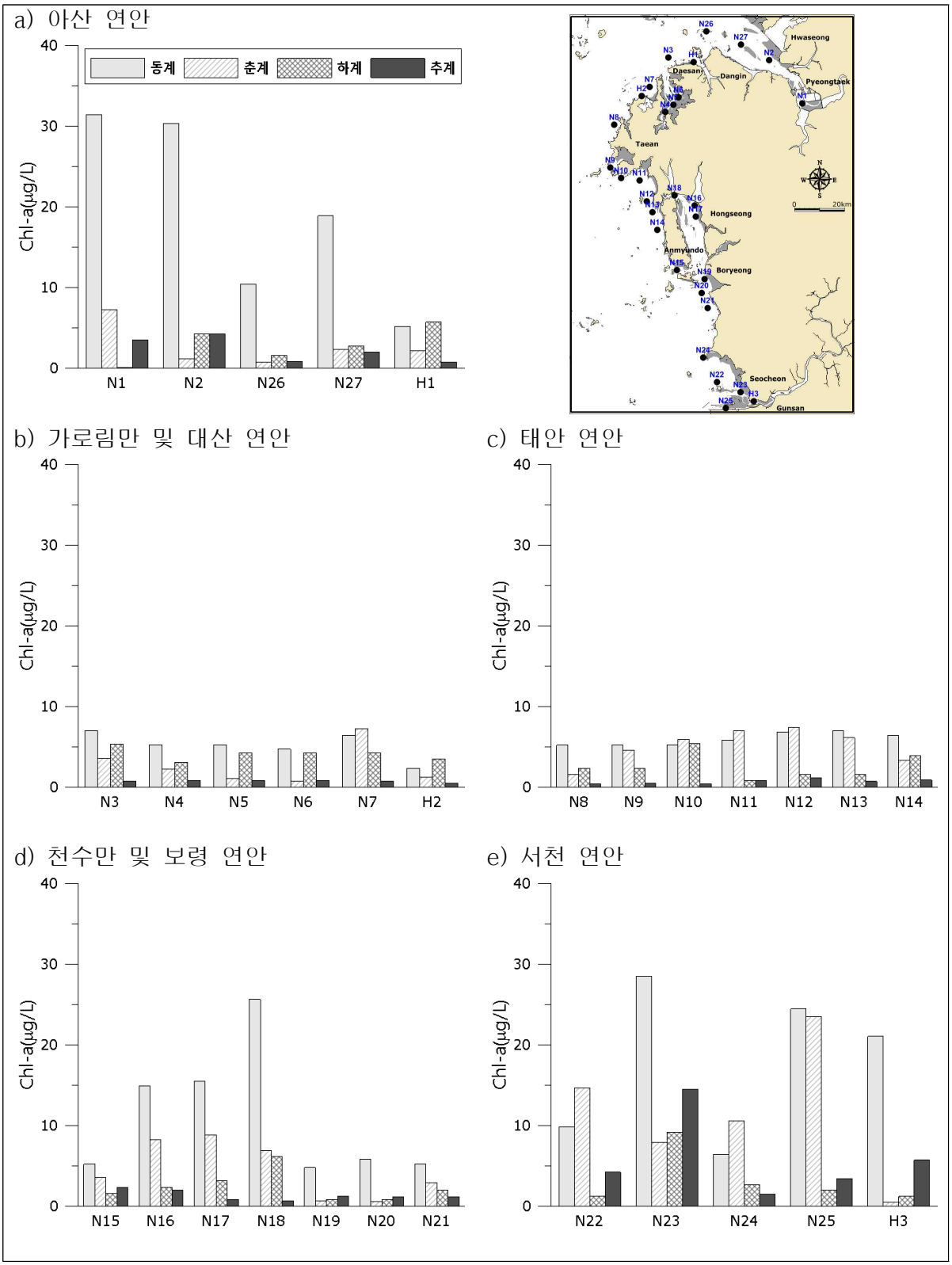
<그림 3.3-6> 조사해역에서 화학적산소요구량(COD)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
COD(mg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

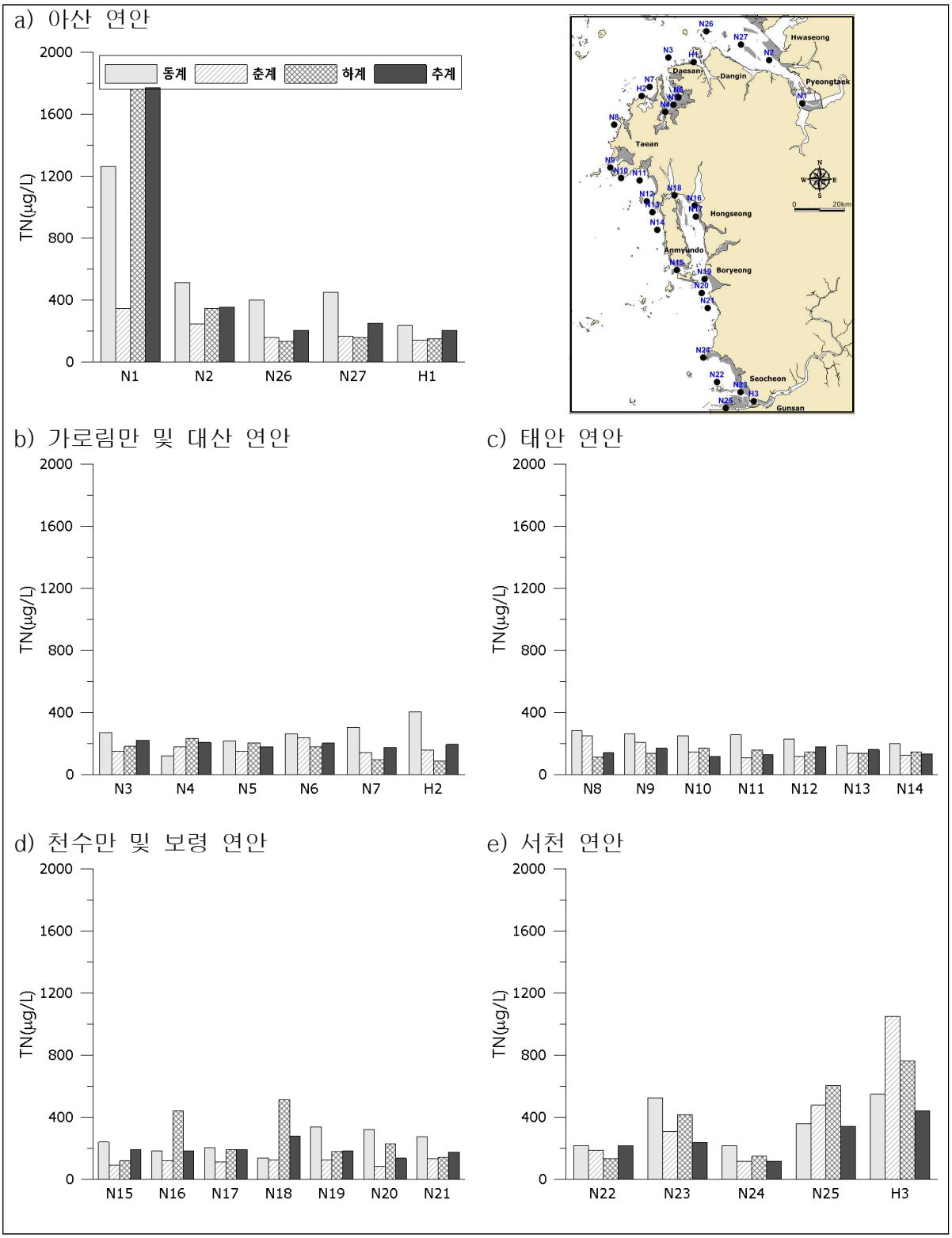
<그림 3.3-6> 계 속(저층)



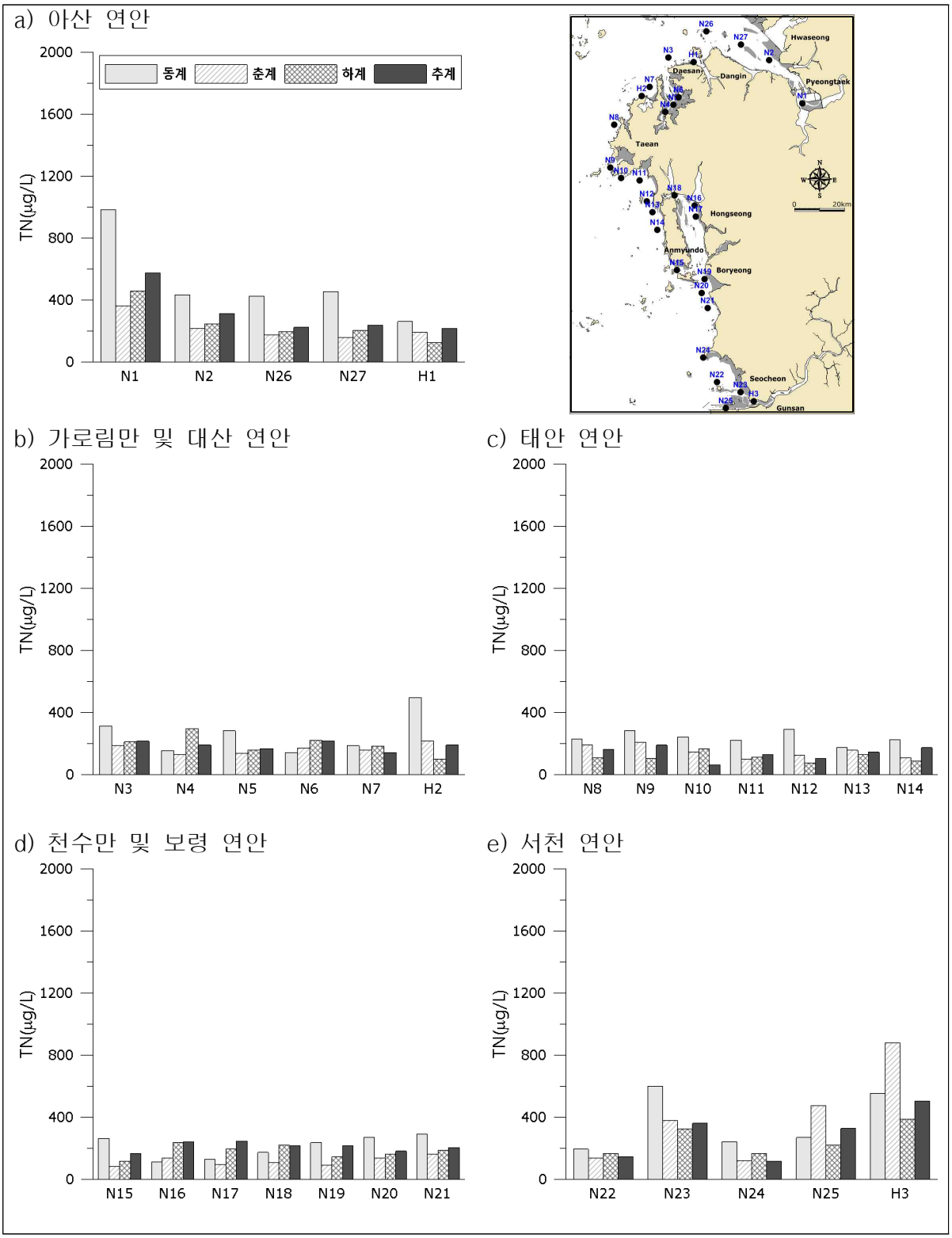
<그림 3.3-7> 조사해역에서 엽록소-a(Chl-a)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Chl-a(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

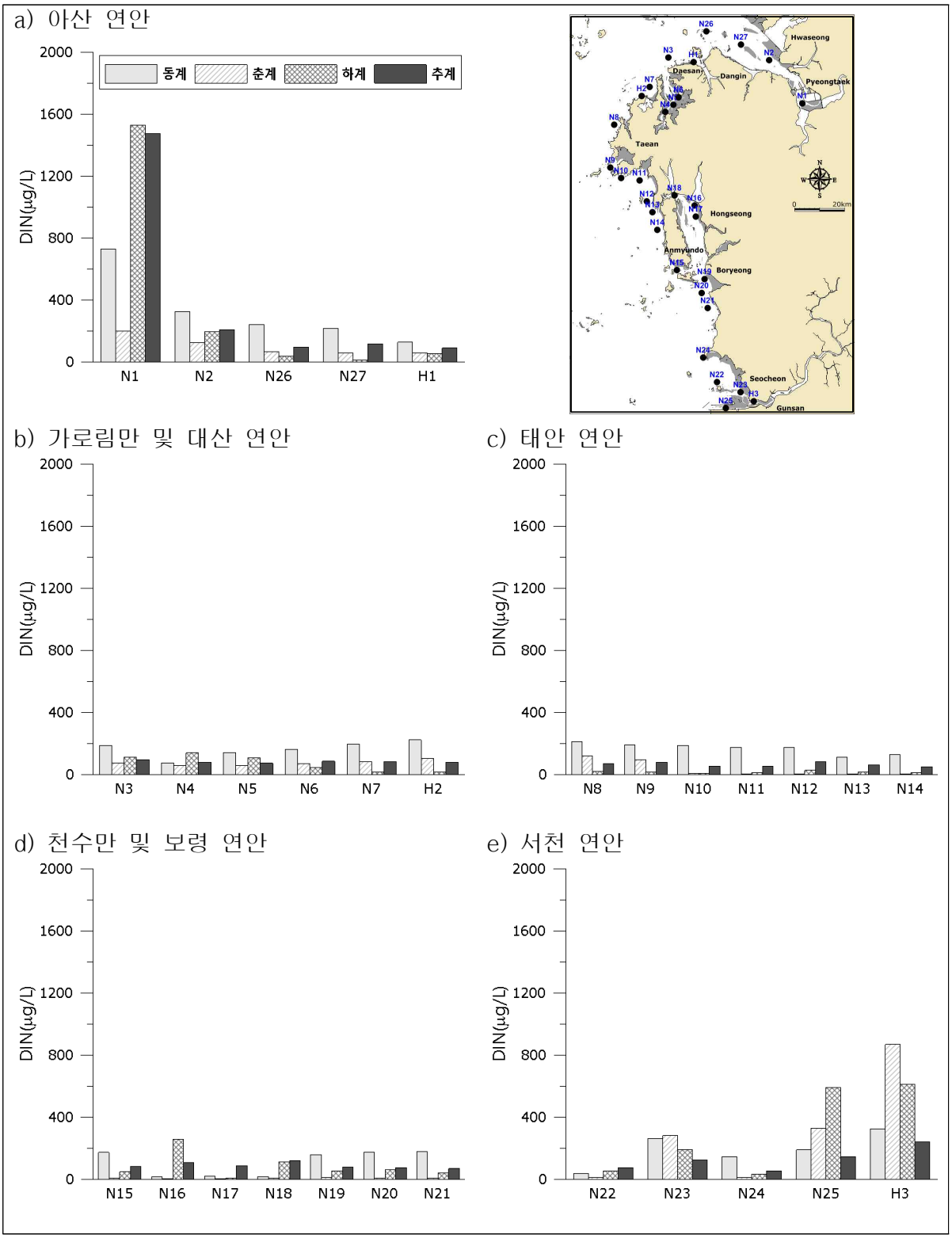
<그림 3.3-7> 계 속(저층)



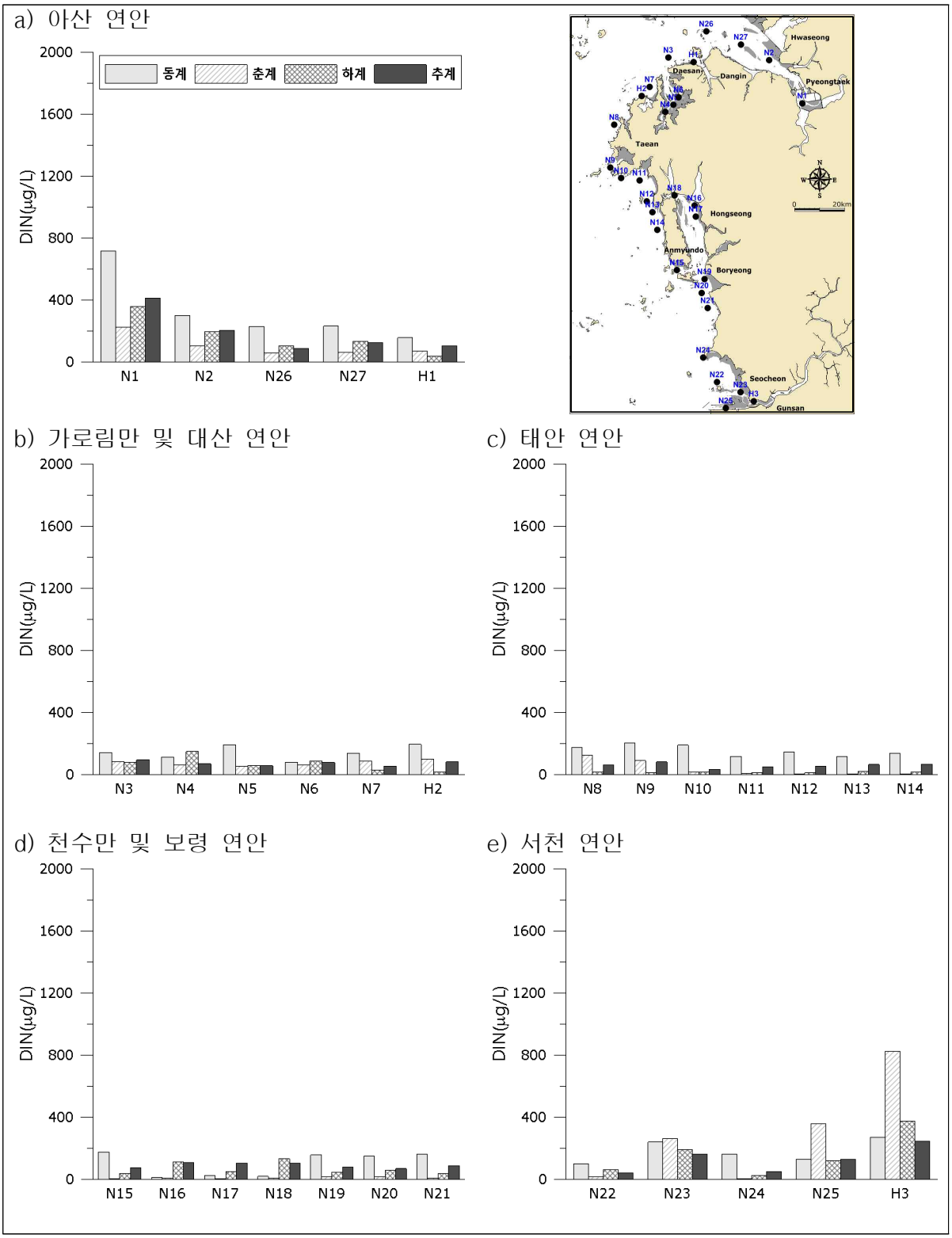
<그림 3.3-8> 조사해역에서 총질소(TN)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
TN(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

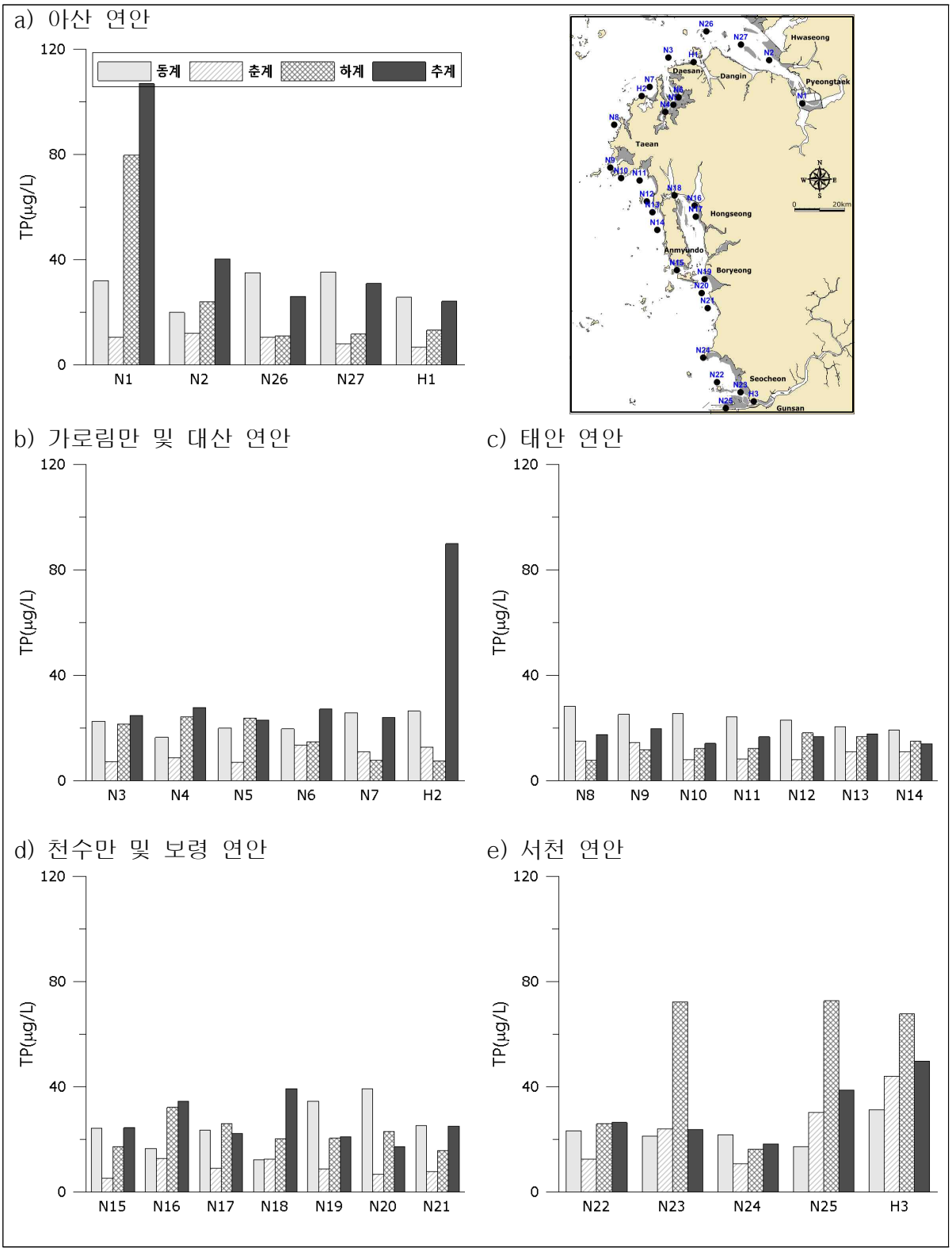
<그림 3.3-8> 계 속(저층)



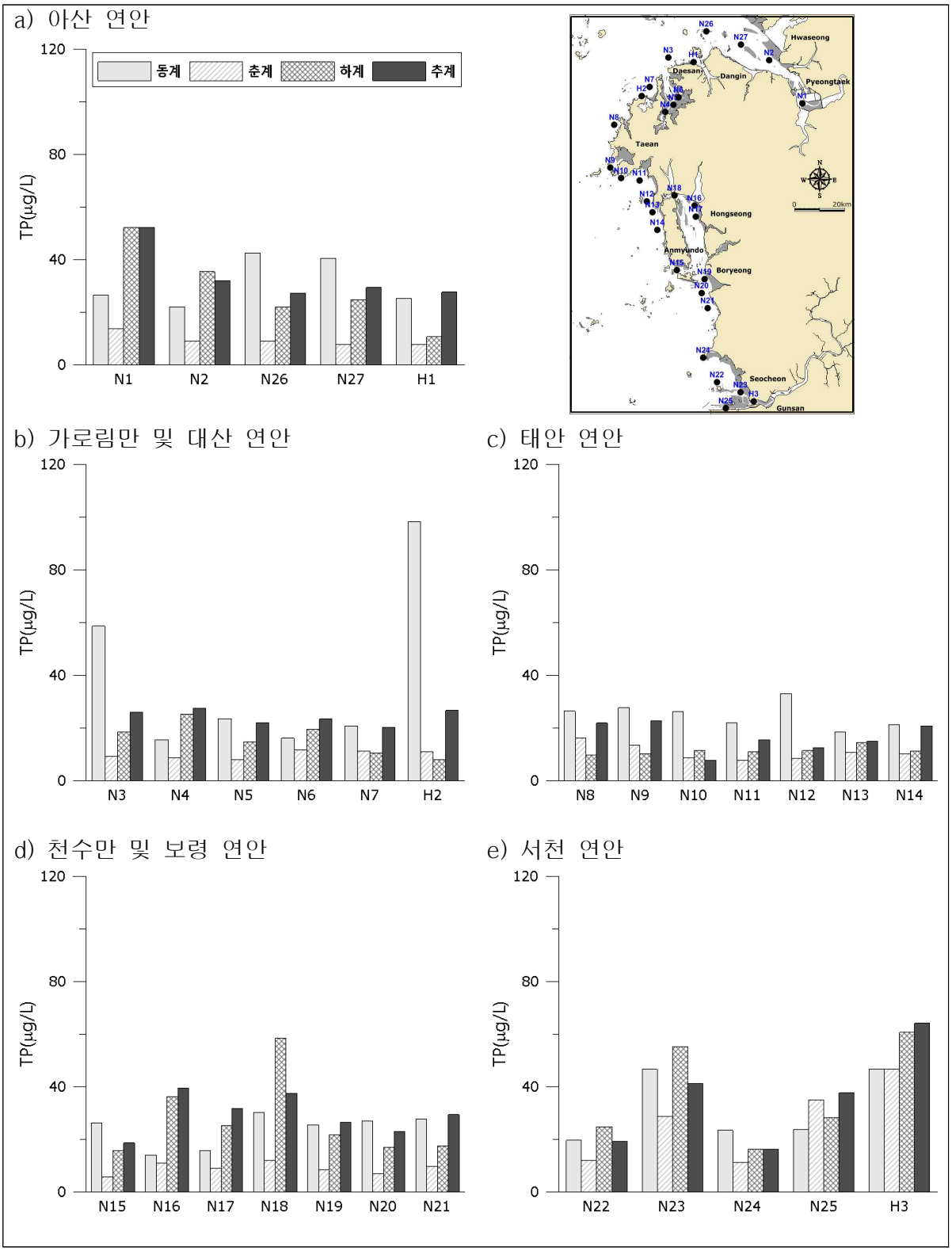
<그림 3.3-9> 조사해역에서 용존무기질소(DIN)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
DIN(μg/L)
2000
1600
1200
800
400
0
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

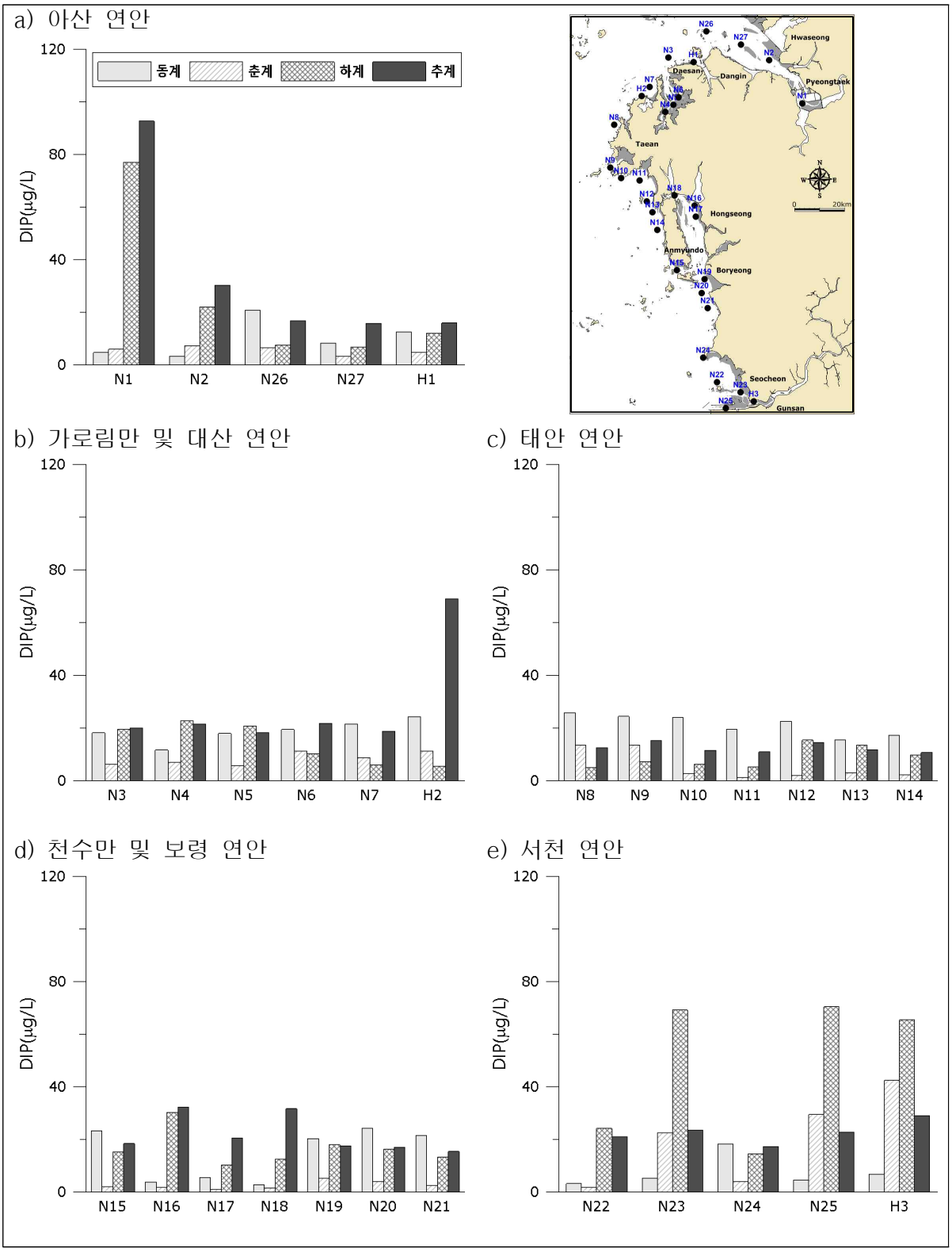
<그림 3.3-9> 계 속(저층)



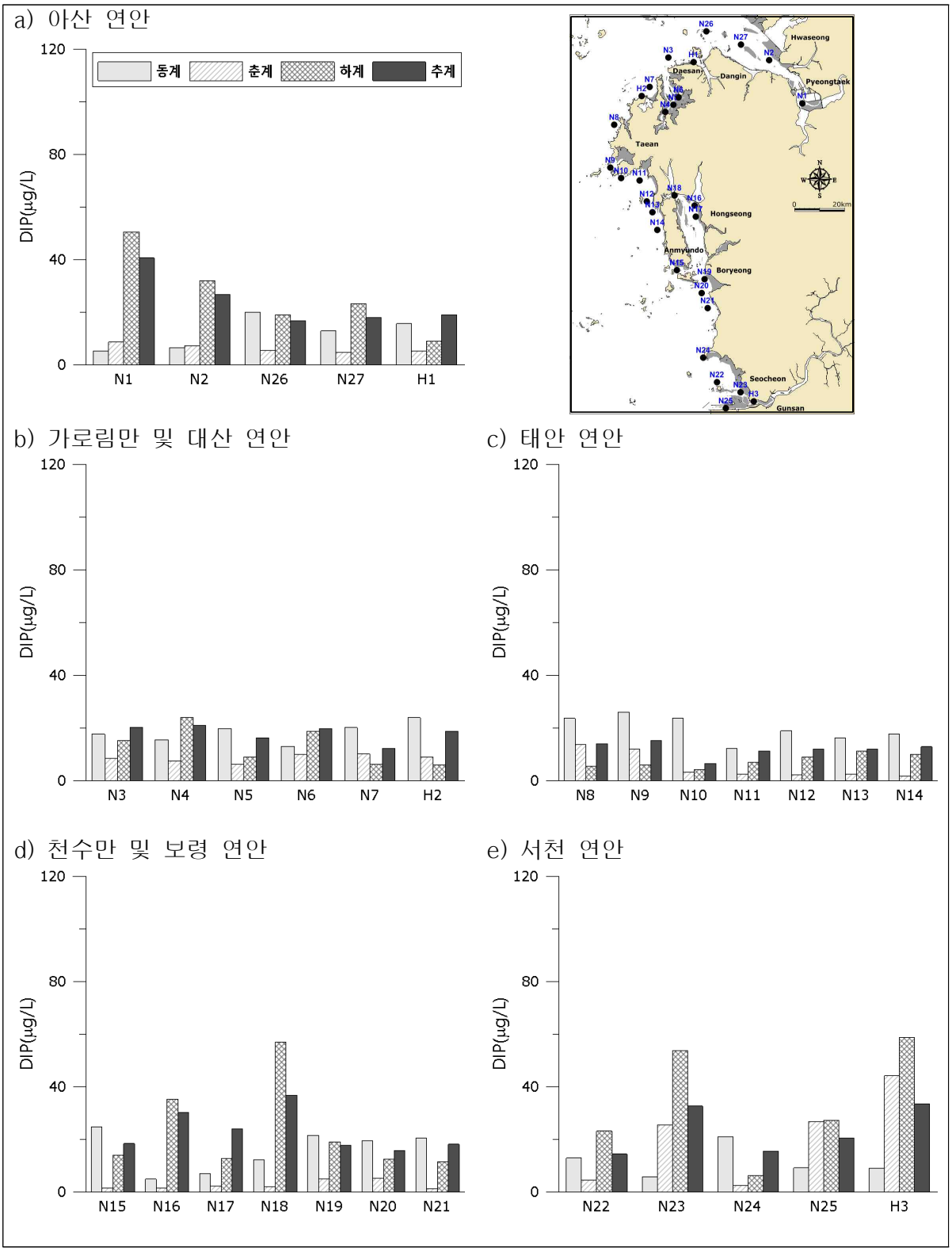
<그림 3.3-10> 조사해역에서 총인(TP)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
TP(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

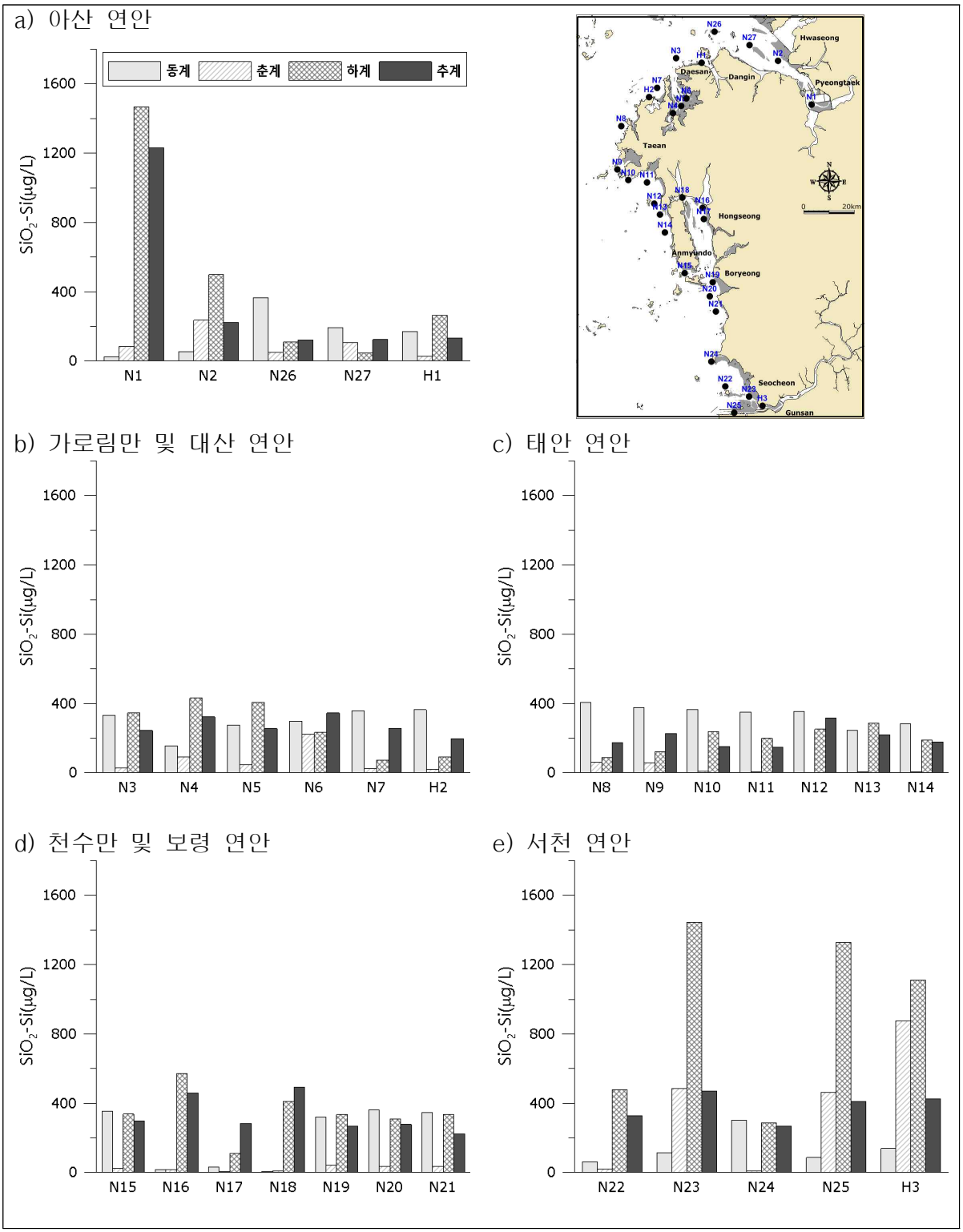
<그림 3.3-10> 계 속(저층)



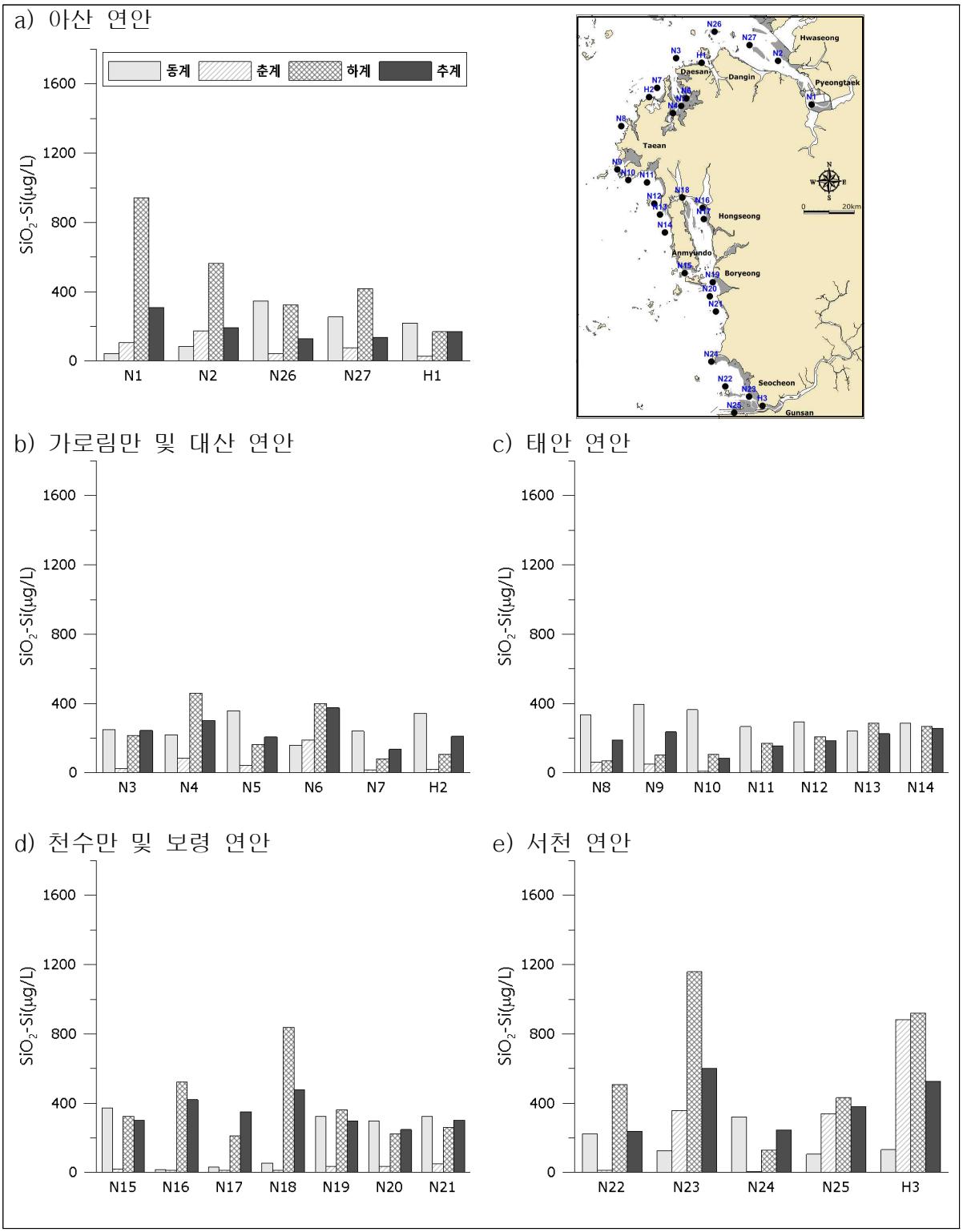
<그림 3.3-11> 조사해역에서 용존무기인(DIP)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
DIP(μg/L)
120
80
40
0
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

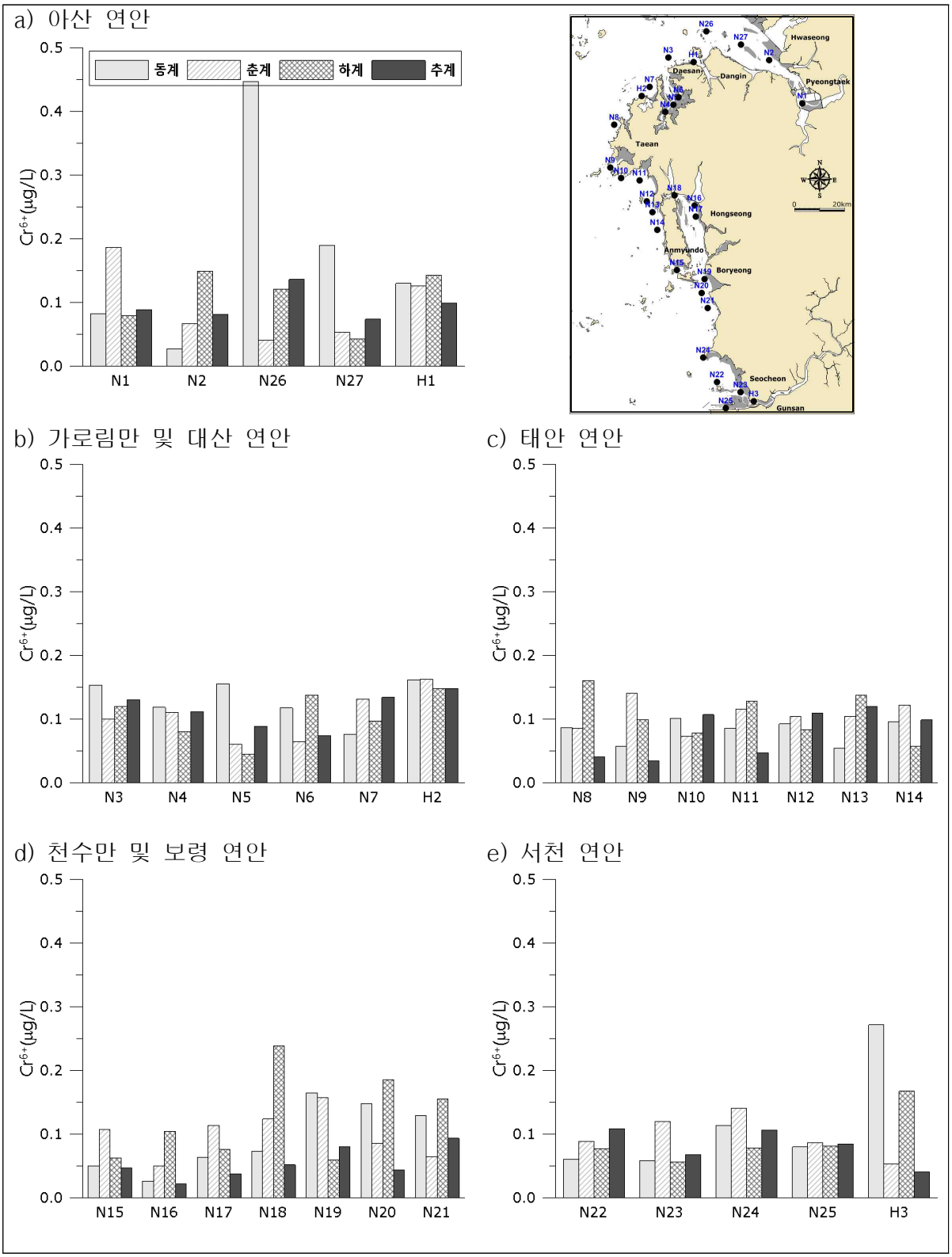
<그림 3.3-11> 계 속(저층)



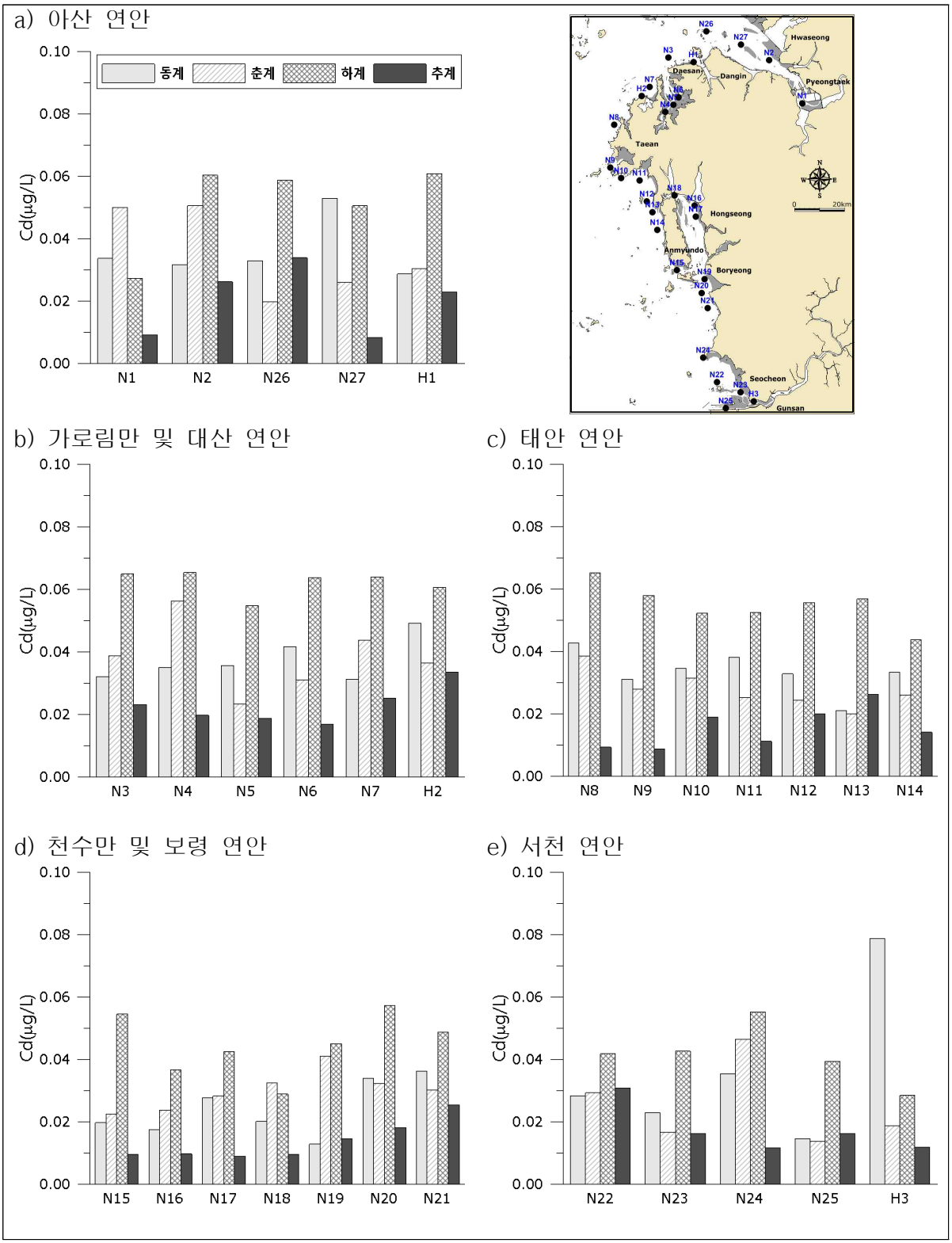
<그림 3.3-12> 조사해역에서 규산염 규소(SiO_2)의 계절 및 정점별 분포(표층)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
SiO2-Si(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

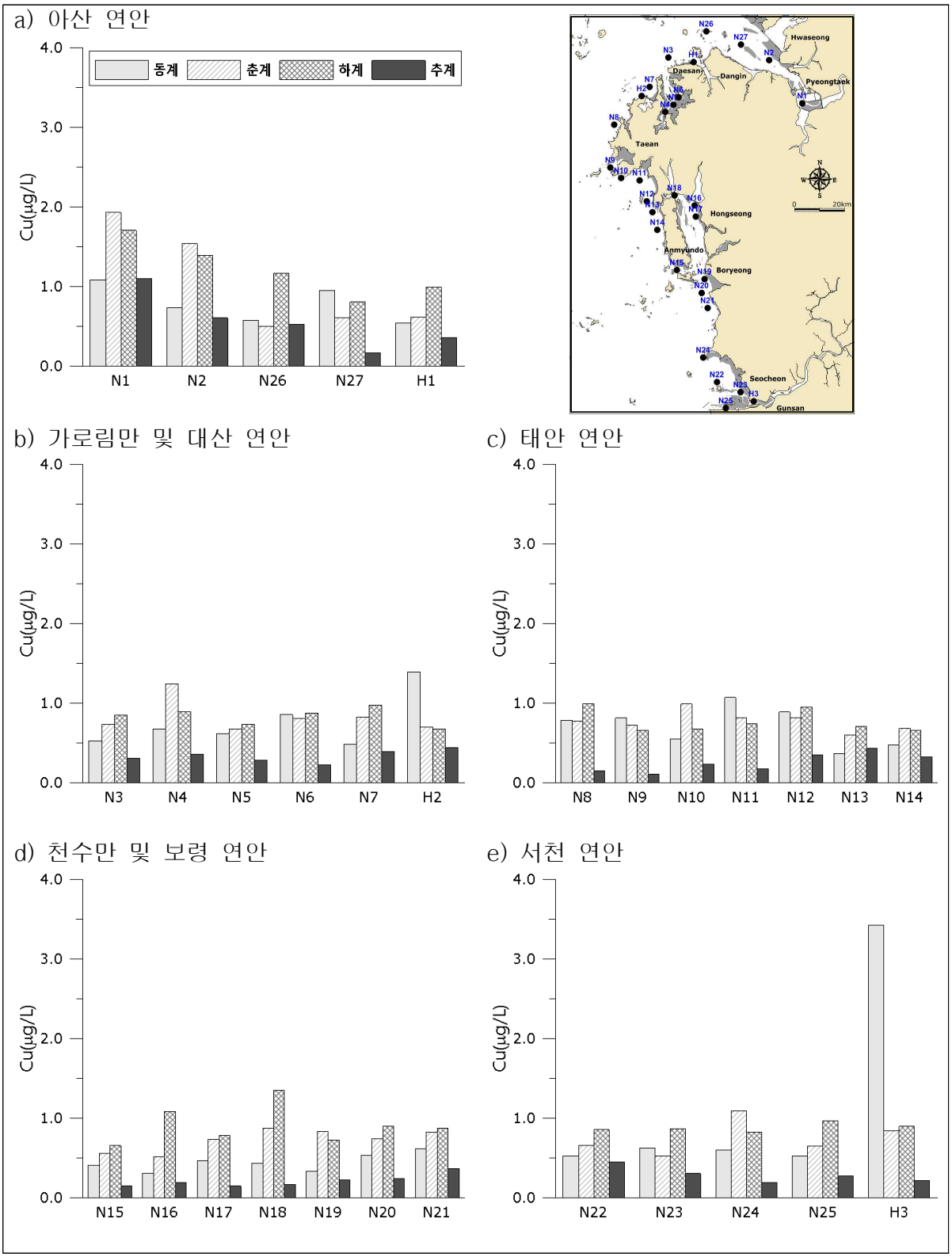
<그림 3.3-12> 계 속(저층)



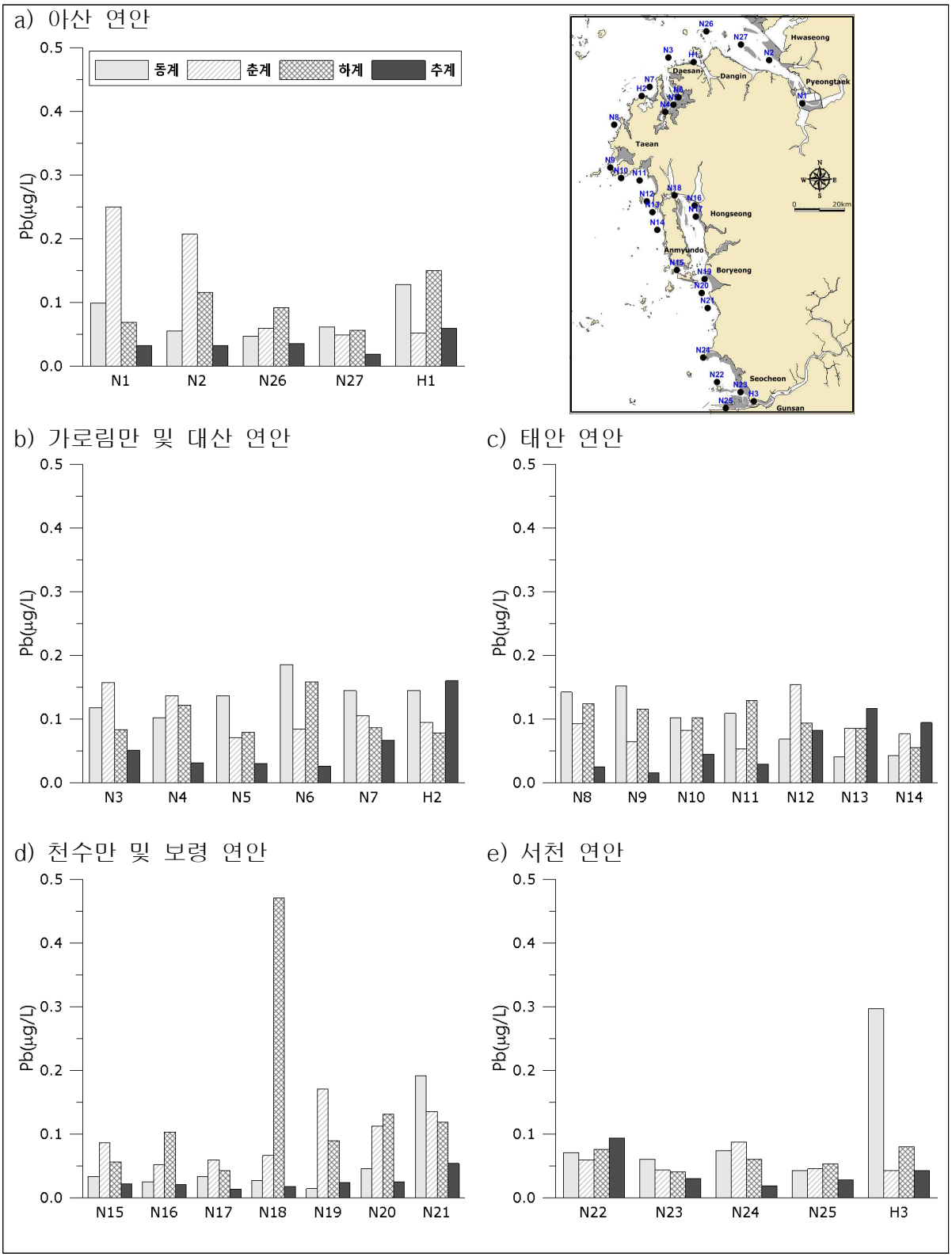
<그림 3.3-13> 조사해역에서 중금속(Cr^{6+})의 계절 및 정점별 분포


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Cd(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

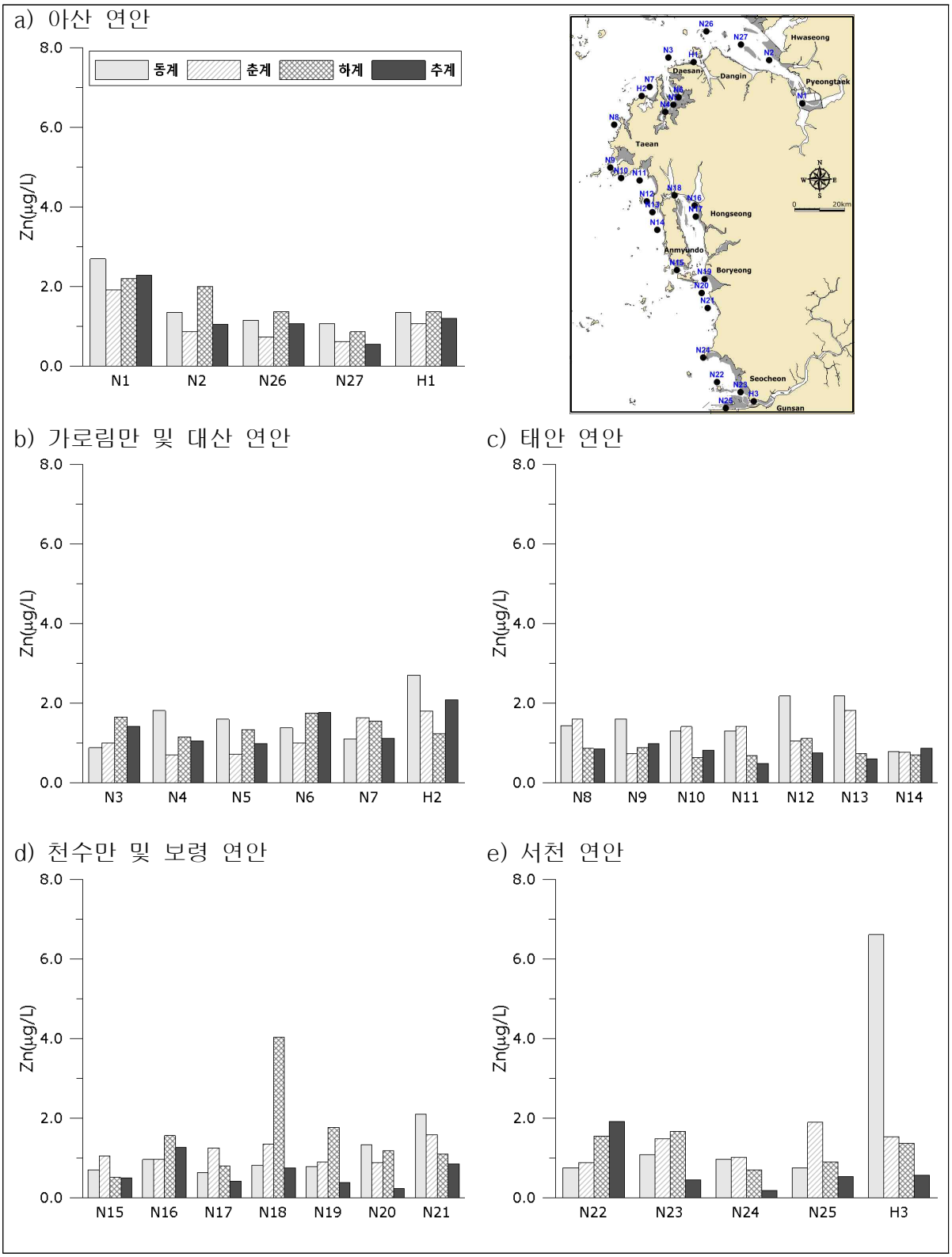
<그림 3.3-13> 계 속(Cd)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Cu(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

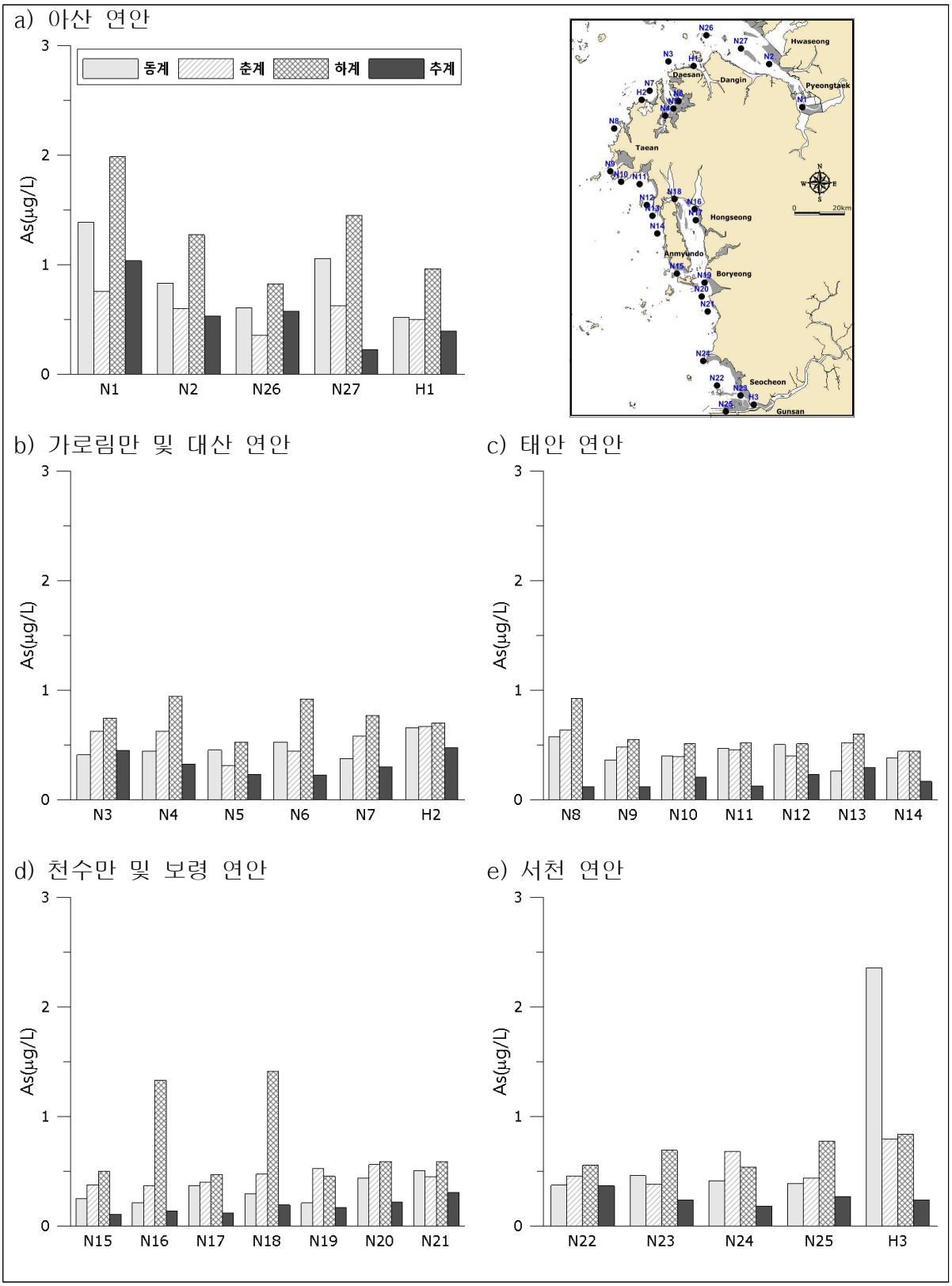
<그림 3.3-13> 계 속(Cu)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Pb(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

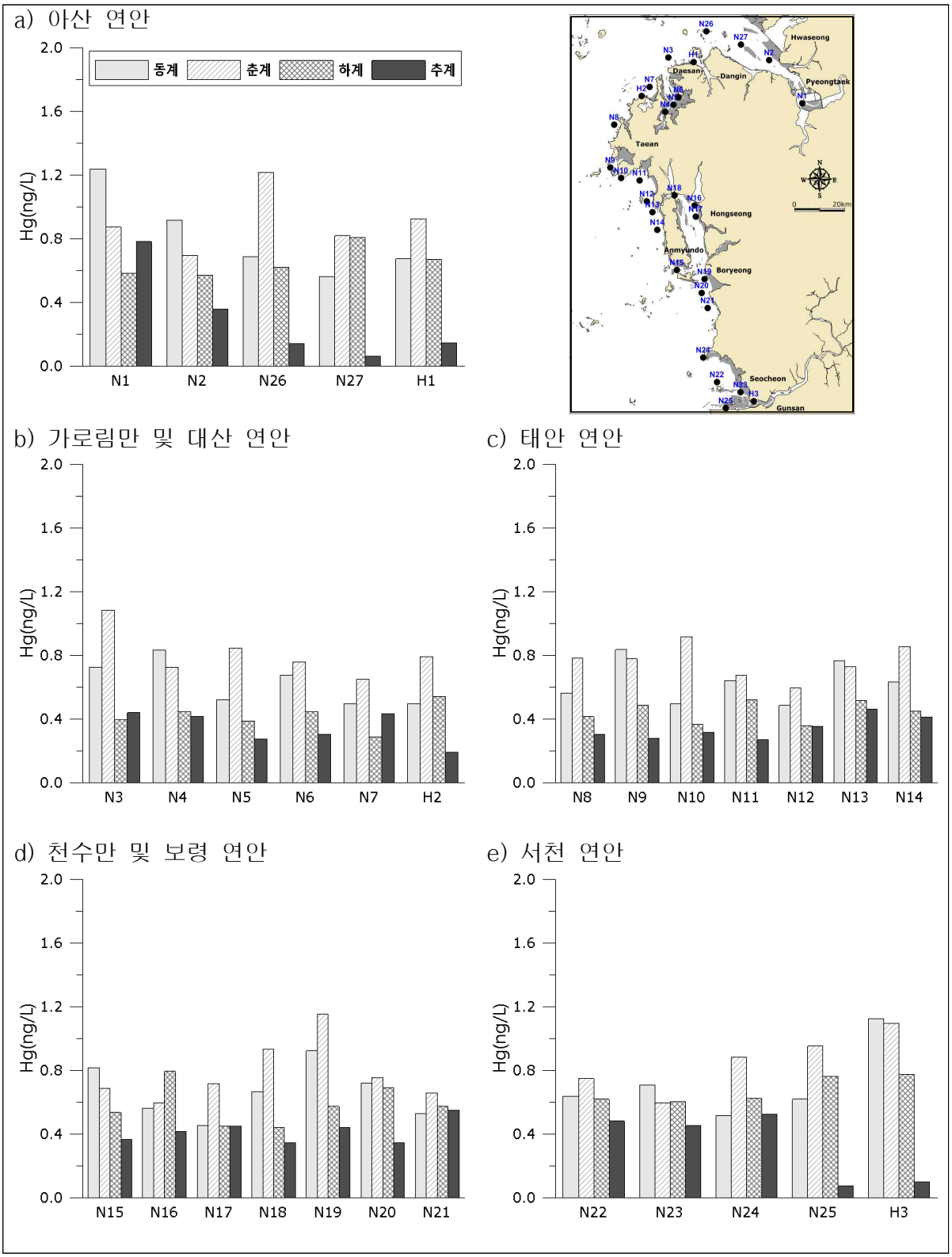
<그림 3.3-13> 계 속(Pb)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Zn(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

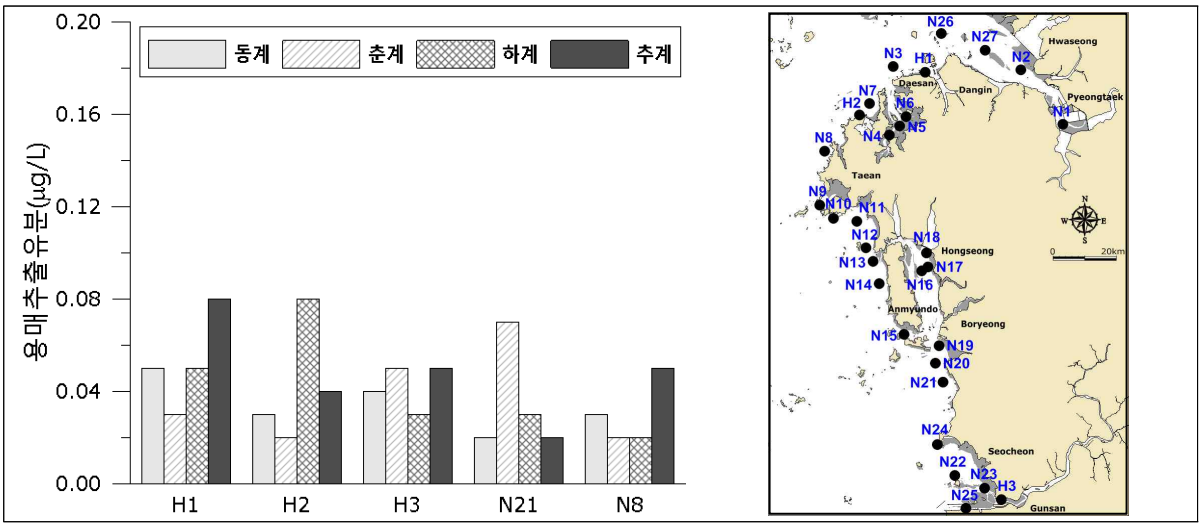
<그림 3.3-13> 계 속(Zn)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
As(μg/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Pyeongtaek
Dangin
Daesan
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

<그림 3.3-13> 계 속(As)


a) 아산 연안
동계
춘계
하계
추계
Hg(ng/L)
N1
N2
N26
N27
H1
Hwaseong
Daesan
Dangin
Pyeongtaek
Taean
Hongseong
Anmyundo
Boryeong
Seocheon
Gunsan
b) 가로림만 및 대산 연안
N3
N4
N5
N6
N7
H2
c) 태안 연안
N8
N9
N10
N11
N12
N13
N14
d) 천수만 및 보령 연안
N15
N16
N17
N18
N19
N20
N21
e) 서천 연안
N22
N23
N24
N25
H3

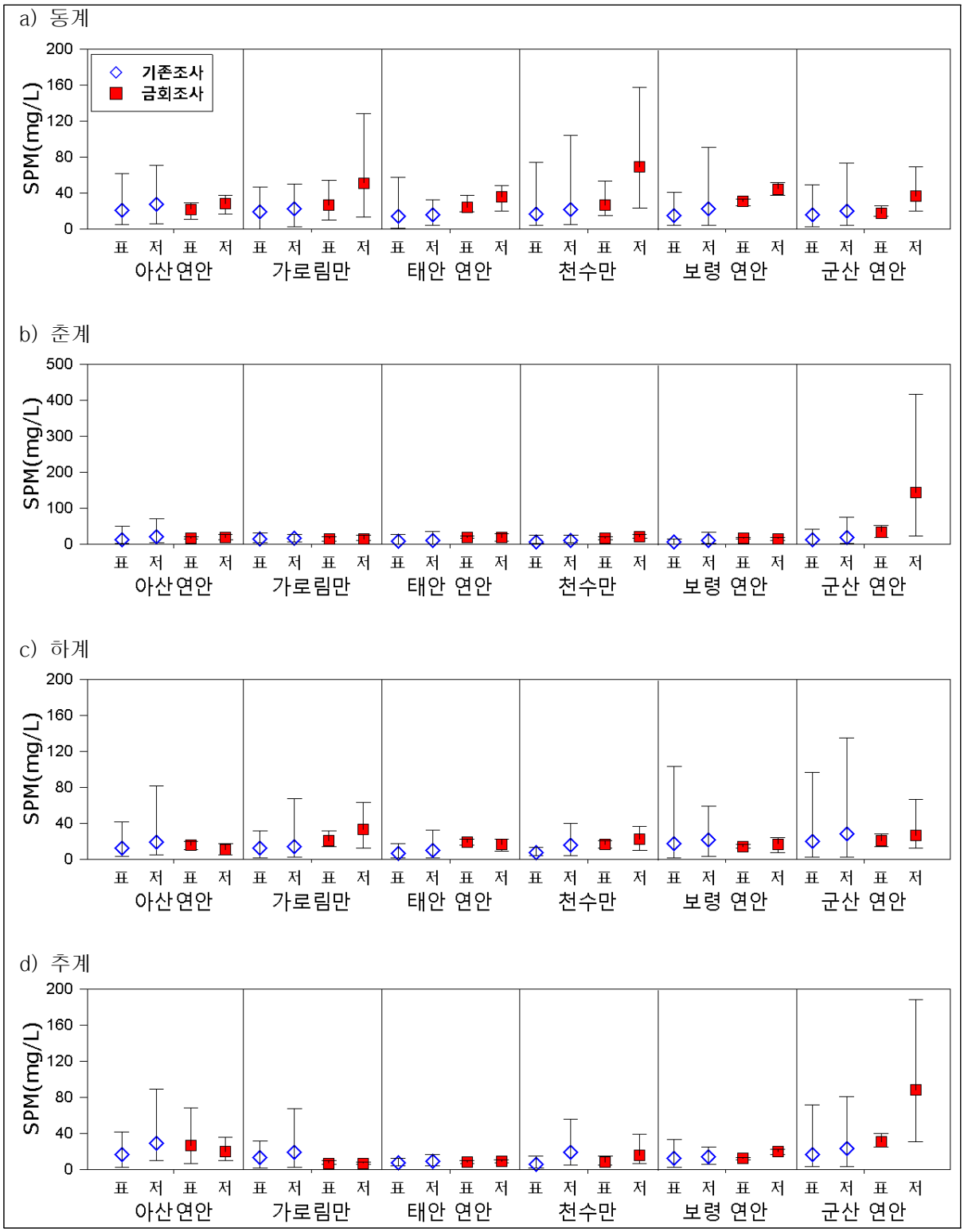
<그림 3.3-13> 계 속(Hg)



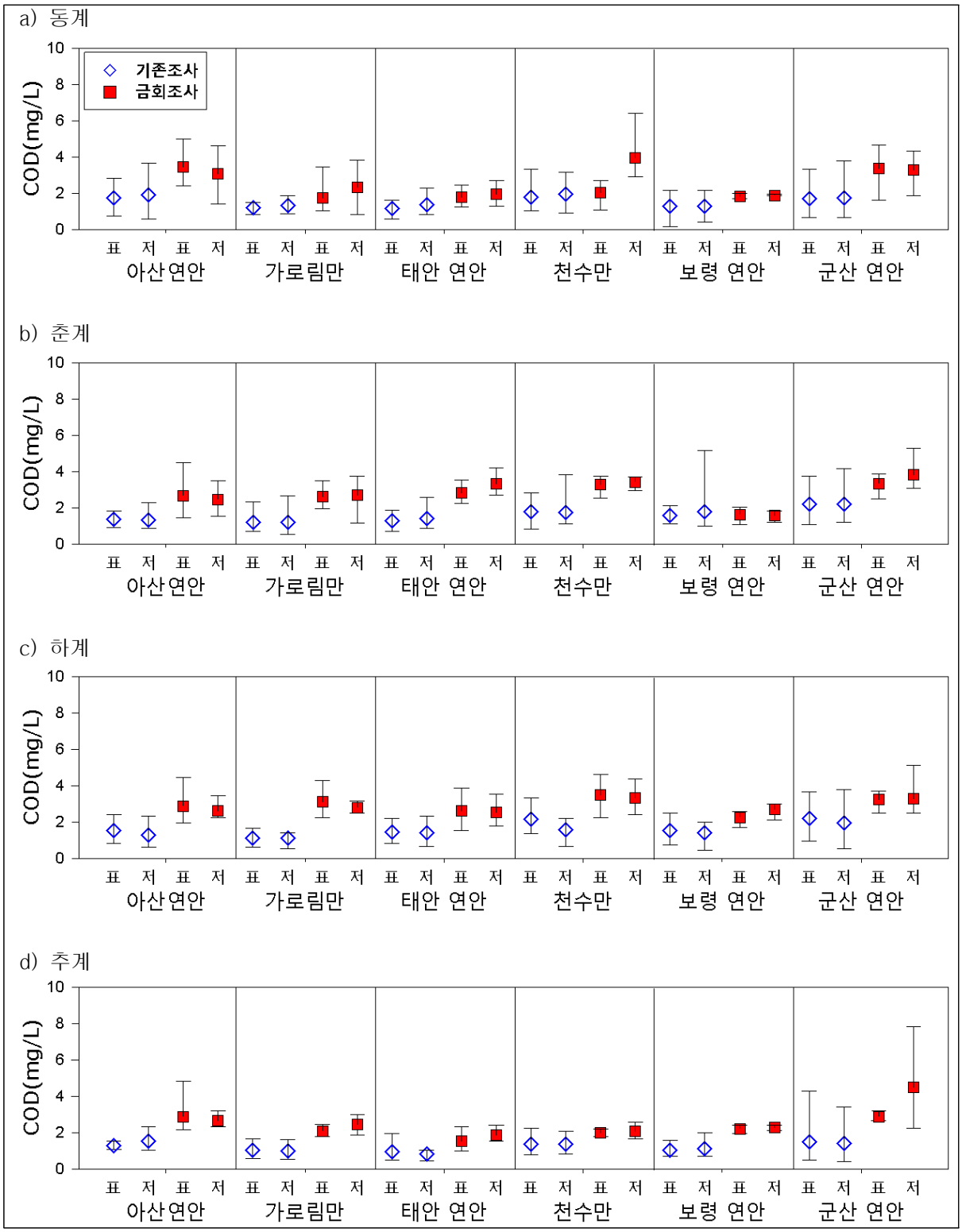
<그림 3.3-14> 조사해역에서 용매추출유분의 계절 및 정점별 분포

타. 기존조사(해양환경측정망 결과)와의 비교

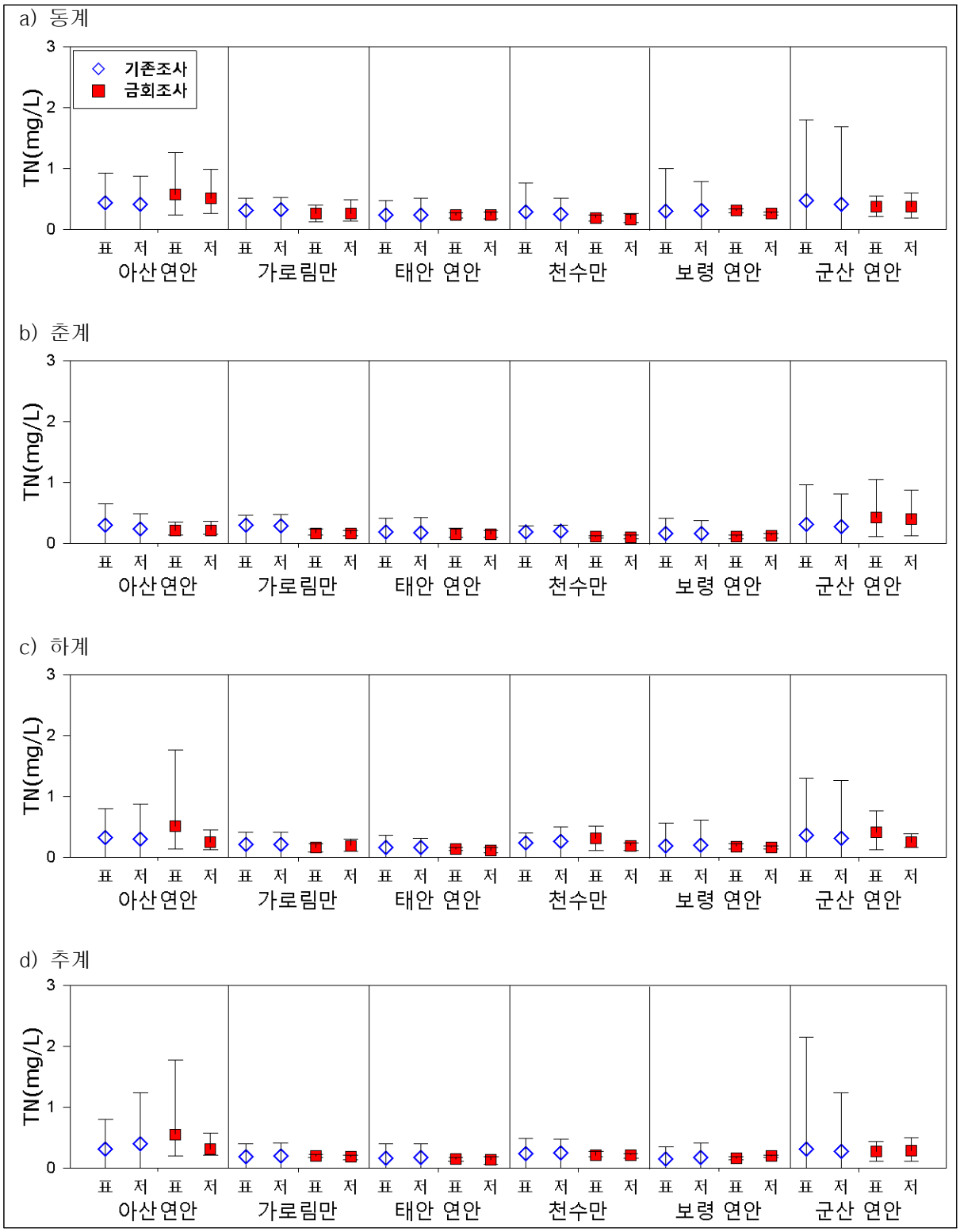
- 금회조사 결과와 인근해역에서 수행된 해양환경측정망 자료(해양환경관리공단)를 비교하였으며, 해양환경측정망(2011~2018년)과 금회조사 결과(2019년)의 계절별 평균 및 최대, 최소값으로 나타낸 결과를 <그림 3.3-15>에 제시하였다.
- 부유입자물질은 기존조사와 금회 조사 모두 동계 저층에서 높은 경향을 보였다. 금회조사의 경우 춘계와 추계 조사시 군산 연안의 저층에서 부유입자물질의 농도가 크게 증가하여 기존보다 높게 나타났으며, 그 외에는 유사한 분포를 보였다.
- 화학적산소요구량은 전반적으로 기존조사에 비해 금회조사 농도가 다소 높은 것으로 조사되었고, 동계 조사시 천수만과 추계 군산 연안에서는 수층간 농도 차이가 기존조사에 비해 크게 나타났다. 금회조사에서 기존조사에 비해 화학적산소요구량의 농도가 높은 정점은 대부분 담수 유입의 영향을 받는 해역으로 조사되었다.
- 총질소는 금회조사시 동계와 하계, 추계에 아산 연안의 표층에서만 기존조사에 비해 다소 높았고, 그 외에는 기존조사와 유사하거나 낮은 수준을 나타냈고, 수층간 농도 차이가 작은 것으로 조사되었다.
- 용존무기질소는 아산 및 군산 연안을 제외하면 기존조사와 금회조사 모두 유사한 농도 범위를 보였다. 금회조사에서는 춘계와 하계 조사시 군산 연안과 추계 조사시 아산 연안의 표층에서 기존조사보다 높은 농도를 나타냈다. 동계에는 군산 연안에서 기존조사의 농도 범위가 금회조사보다 높게 나타났으나, 평균 농도는 금회조사와 유사한 수준으로 조사되었다.
- 총인은 모든 해역에서 조사시기에 상관없이 기존과 금회 조사간 유사한 평균값을 보였다.
- 용존무기인은 춘계와 하계 조사시 군산 연안, 추계 조사시 가로림만 표층에서 기존조사 다소 높은 평균 농도를 보였고, 그 외에는 기존과 금회조사의 평균 농도가 유사한 수준을 보였다. 하계에는 천수만에서 기존과 금회조사 모두 저층에서 높은 경향을 나타냈다.
- 조사해역은 일부 연안을 제외하면 금회조사와 기존조사의 평균 농도가 유사하였으며, 아산 연안과 군산 연안에서는 금회조사 결과가 상대적으로 높은 경향을 보였는데, 이는 해양환경측정망 조사 정점보다 금회조사 정점이 연안에 더 인접해 있기 때문으로 판단된다.



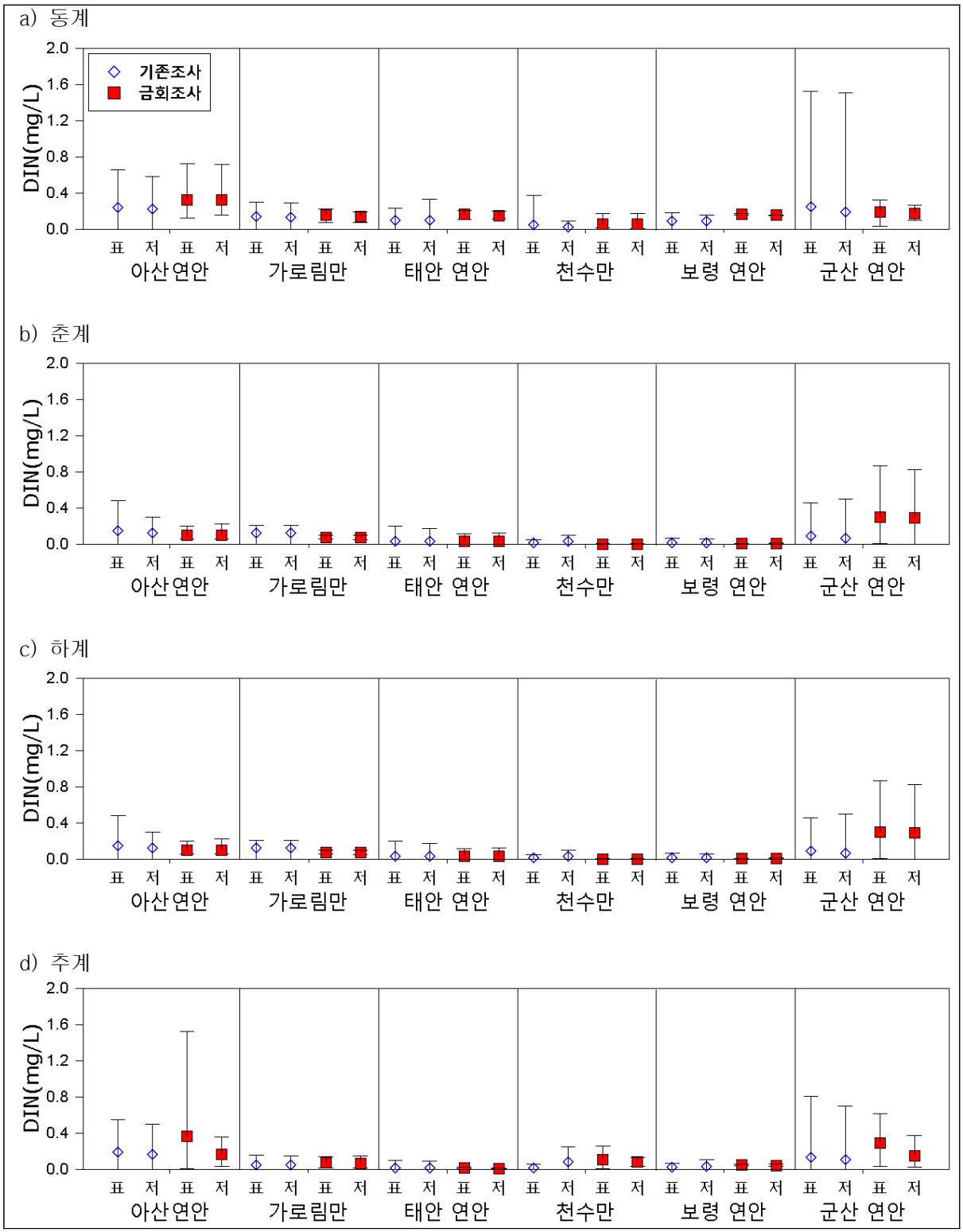
<그림 3.3-15> 기존조사(해양환경측정망)와 금회조사 결과 비교(부유입자물질)



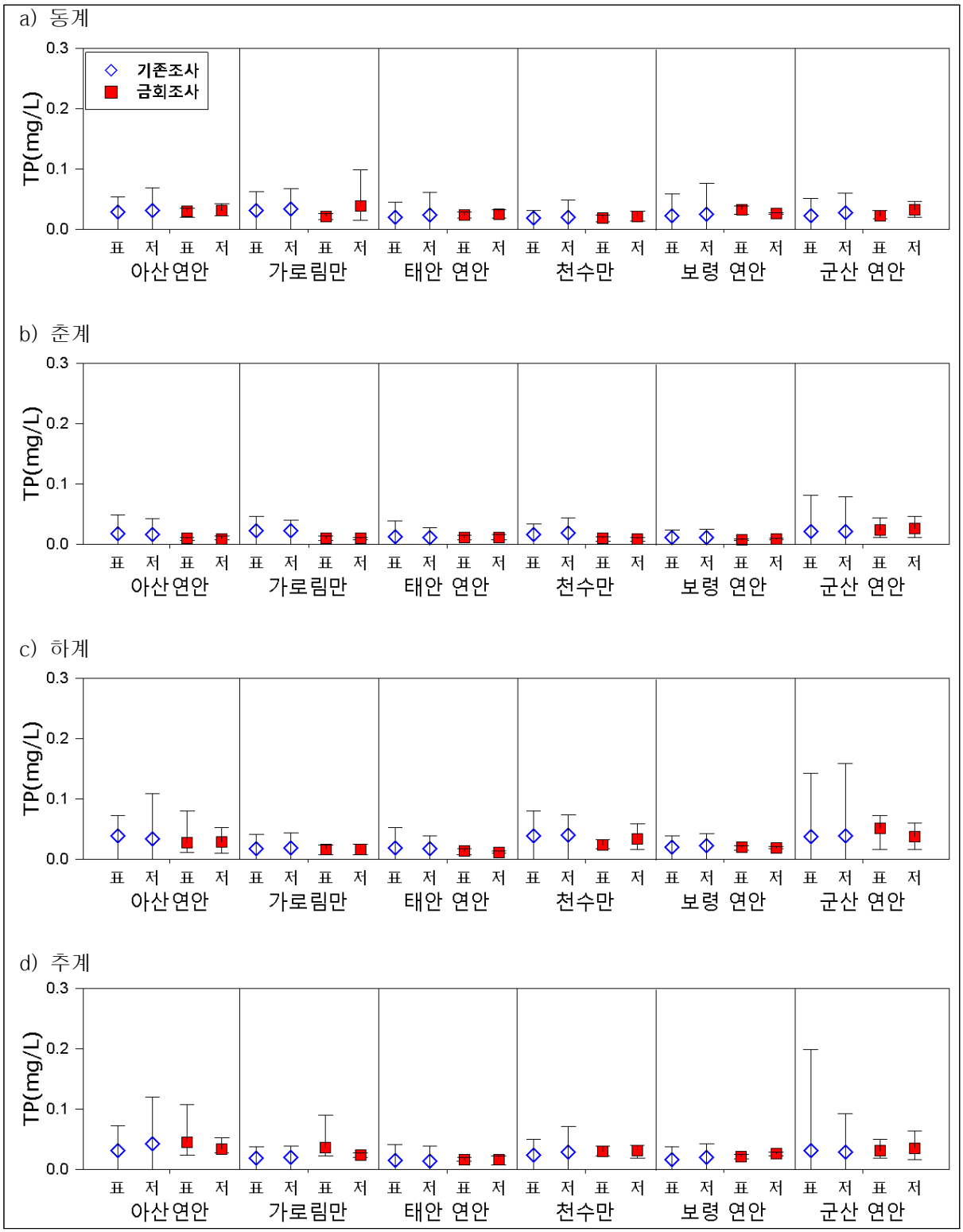
<그림 3.3-15> 계 속(화학적산소요구량)



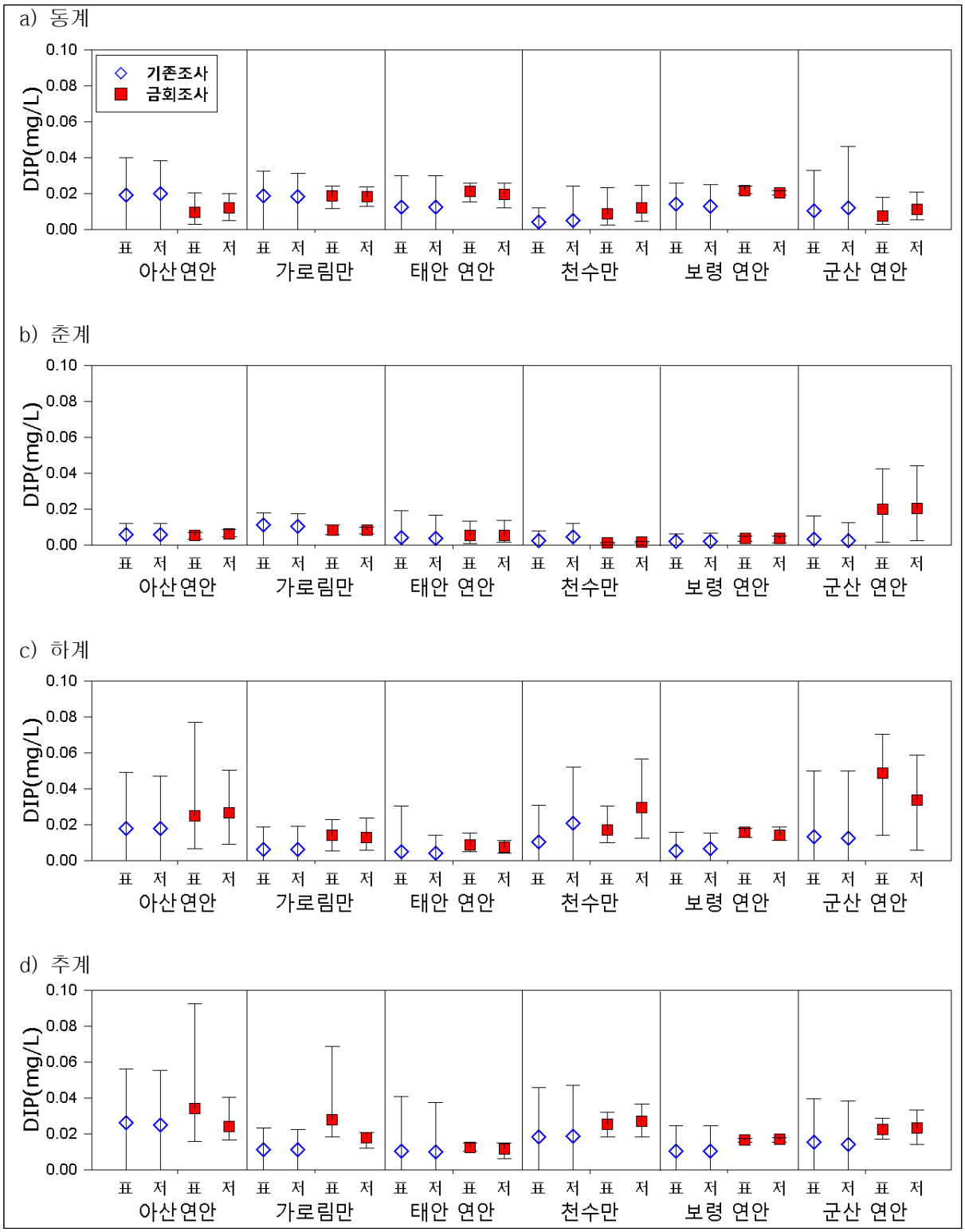
<그림 3.3-15> 계 속(총질소)



<그림 3.3-15> 계 속(용존무기질소)


a) 동계
b) 춘계
c) 하계
d) 추계
기존조사
금회조사
TP(mg/L)
0.0
0.1
0.2
0.3
표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저 표 저
아산연안
가로림만
태안 연안
천수만
보령 연안
군산 연안

<그림 3.3-15> 계 속(총인)



<그림 3.3-15> 계 속(용존무기인)

파. 생태기반 해수수질 기준

- 조사 시기 및 정점별 생태기반 해수수질 기준 결과를 <표 3.3-15>~<표 3.3-18>와 <그림 3.3-16>에 제시하였다. 현지조사의 생태기반 해수수질 기준을 산정하기 위해 서해중부생태구<그림 3.3-17>의 기준값을 적용하여 수질평가 지수값(Water Quality Index)을 산정하였다(<표 3.3-19>).
- 동계의 수질평가 지수는 20~49점으로 Ⅰ(매우좋음)~Ⅳ(나쁨)등급, 춘계에는 20~88점으로 Ⅰ(매우좋음)~Ⅴ(아주나쁨)등급, 하계에는 20~85점으로 Ⅰ(매우좋음)~Ⅴ(아주나쁨)등급, 추계에는 20~72점으로 Ⅰ(매우좋음)~Ⅴ(아주나쁨)등급으로 조사되었다.
- 동계 조사시 정점 N1은 표층의 투명도, 클로로필-a, 용존무기질소(DIN)로 인해 Ⅳ등급(나쁨)을 나타냈고, 춘계 조사시 정점 N23, N25, H3은 저층 용존산소 포화도와 표층 투명도, 클로로필-a로 인해 Ⅴ(아주나쁨)등급을 보였다. 하계에는 정점 N1, N23, N25, H3, 추계에는 정점 N1에서 Ⅴ(아주나쁨)등급을 나타냈으며, 주요 원인은 저층 용존산소 포화도와 표층 투명도, 클로로필-a, 용존무기인(DIP)으로 조사되었다.

<표 3.3-15> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 동계)

정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	4	1	5	5	1	49	4
N2	1	1	5	1	1	32	2
N3	1	1	1	1	1	20	1
N4	1	1	1	1	1	20	1
N5	4	1	1	1	1	29	2
N6	1	1	1	1	1	20	1
N7	5	1	1	1	1	32	2
N8	5	1	1	1	1	32	2
N9	3	1	1	1	1	26	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	1	1	1	20	1
N14	1	1	2	1	1	23	1
N15	5	1	1	1	1	32	2
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	4	1	1	1	1	29	2
N20	1	1	1	1	1	20	1
N21	4	1	1	1	1	29	2
N22	1	1	5	1	1	32	2
N23	5	1	5	1	1	44	3
N24	1	1	1	1	1	20	1
N25	1	1	5	1	1	32	2
N26	1	1	5	1	1	32	2
N27	1	1	5	1	1	32	2
H1	1	1	5	1	1	32	2
H2	5	1	1	1	1	32	2
H3	4	1	5	1	1	41	3

<표 3.3-16> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 춘계)

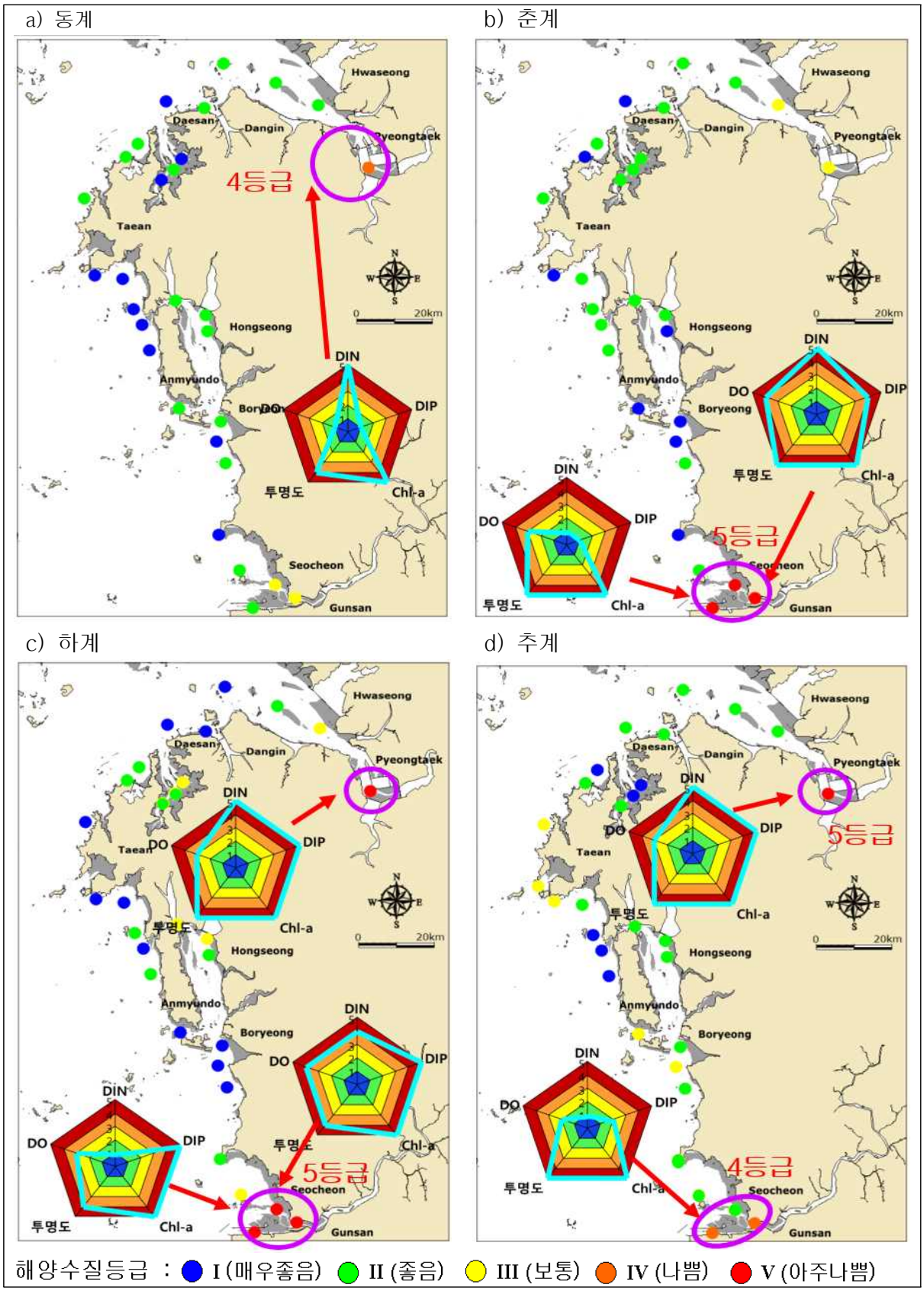
정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	1	2	5	1	1	42	3
N2	1	2	5	1	1	42	3
N3	1	1	1	1	1	20	1
N4	1	1	5	1	1	32	2
N5	1	1	5	1	1	32	2
N6	1	2	1	1	1	30	2
N7	1	1	5	1	1	32	2
N8	1	1	5	1	1	32	2
N9	1	1	5	1	1	32	2
N10	1	1	1	1	1	20	1
N11	1	1	5	1	1	32	2
N12	1	1	5	1	1	32	2
N13	1	1	5	1	1	32	2
N14	1	1	5	1	1	32	2
N15	1	1	1	1	1	20	1
N16	1	1	4	1	1	29	2
N17	1	1	1	1	1	20	1
N18	1	1	5	1	1	32	2
N19	1	1	1	1	1	20	1
N20	1	1	1	1	1	20	1
N21	1	1	4	1	1	29	2
N22	1	1	5	1	1	32	2
N23	4	3	5	1	1	61	5
N24	1	1	1	1	1	20	1
N25	5	3	5	1	1	64	5
N26	1	2	1	1	1	30	2
N27	1	2	1	1	1	30	2
H1	1	1	5	1	1	32	2
H2	1	1	1	1	1	20	1
H3	5	4	5	5	4	88	5

<표 3.3-17> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 하계)

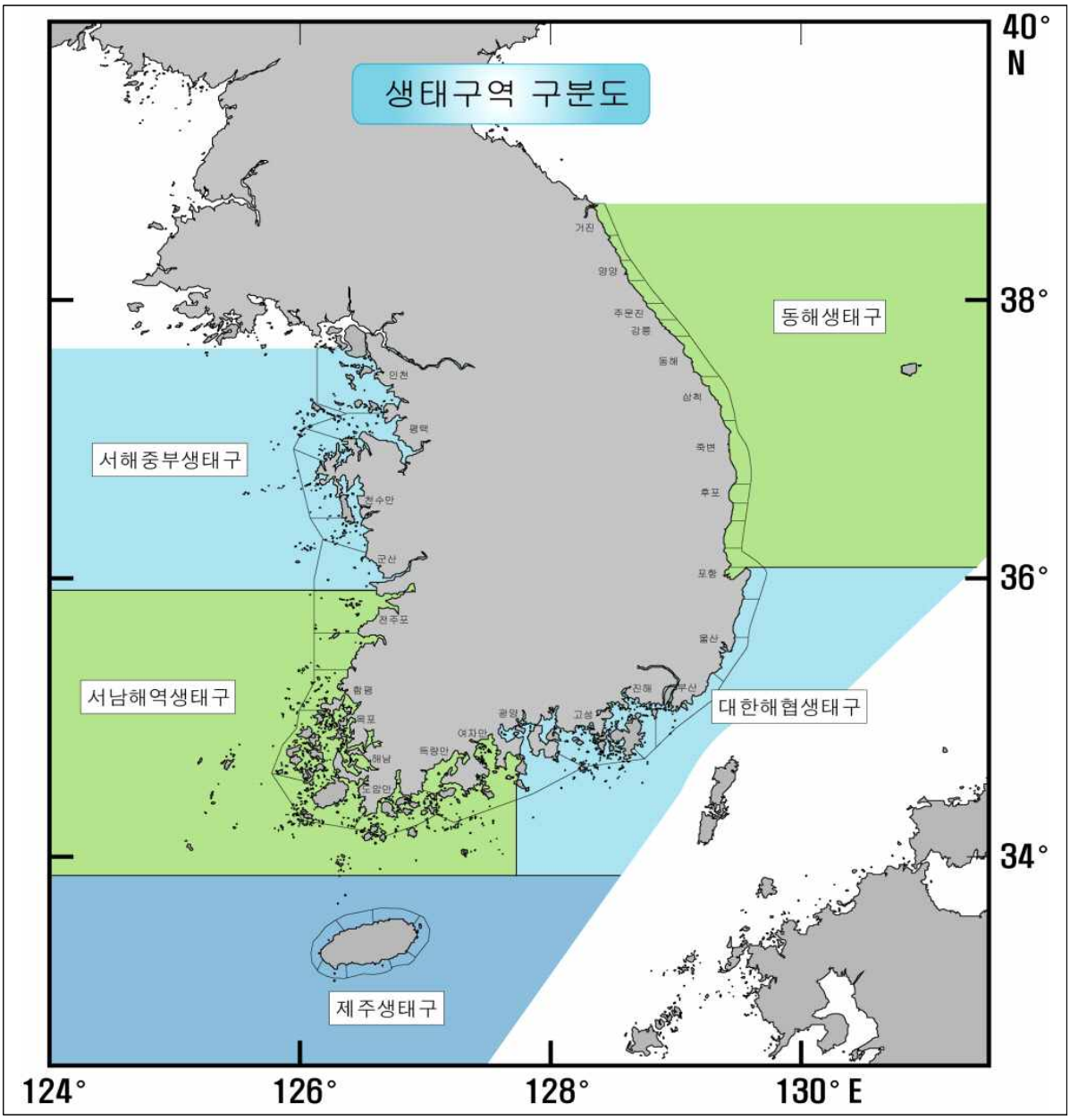
정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	5	3	5	5	5	80	5
N2	1	2	5	1	1	42	3
N3	1	1	2	1	1	23	1
N4	4	1	4	1	1	38	3
N5	4	1	5	1	1	41	3
N6	5	1	5	1	1	44	3
N7	1	1	3	1	1	26	2
N8	1	1	1	1	1	20	1
N9	1	1	1	1	1	20	1
N10	1	1	1	1	1	20	1
N11	1	1	1	1	1	20	1
N12	1	1	5	1	1	32	2
N13	1	1	1	1	1	20	1
N14	1	1	5	1	1	32	2
N15	1	1	1	1	1	20	1
N16	5	1	5	1	1	44	3
N17	1	1	5	1	1	32	2
N18	3	1	5	1	1	38	3
N19	1	1	1	1	1	20	1
N20	1	1	1	1	1	20	1
N21	1	1	1	1	1	20	1
N22	1	2	5	1	1	42	3
N23	4	3	5	1	5	69	5
N24	1	1	5	1	1	32	2
N25	4	3	5	4	5	75	5
N26	1	1	1	1	1	20	1
N27	1	1	5	1	1	32	2
H1	1	1	1	1	1	20	1
H2	1	1	5	1	1	32	2
H3	4	4	5	4	5	85	5

<표 3.3-18> 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 추계)

정점	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
N1	5	3	5	1	5	72	5
N2	1	2	1	1	1	30	2
N3	1	2	1	1	1	30	2
N4	1	2	1	1	1	30	2
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	3	1	1	1	40	3
N9	1	3	1	1	1	40	3
N10	1	3	1	1	1	40	3
N11	1	2	1	1	1	30	2
N12	1	1	1	1	1	20	1
N13	1	1	1	1	1	20	1
N14	1	1	1	1	1	20	1
N15	3	3	1	1	1	46	3
N16	1	2	1	1	2	32	2
N17	1	2	1	1	1	30	2
N18	1	2	1	1	2	32	2
N19	1	2	1	1	1	30	2
N20	1	3	1	1	1	40	3
N21	1	2	1	1	1	30	2
N22	5	1	2	1	1	35	3
N23	5	1	5	1	1	44	3
N24	4	2	1	1	1	39	3
N25	5	2	4	1	1	51	4
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	5	28	2
H3	5	2	5	1	1	54	4



<그림 3.3-16> 조사해역의 생태기반 해수수질 기준



<그림 3.3-17> 생태구역 구분도

<표 3.3-19> 해양환경기준(생태기분 해수수질 기준) - 해양수산부고시 제2018-10호

(생태기반 해수수질 기준)

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

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

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

- 수질평가지수 항목별 점수

항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(㎍/L), DIN(㎍/L), DIP(㎍/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

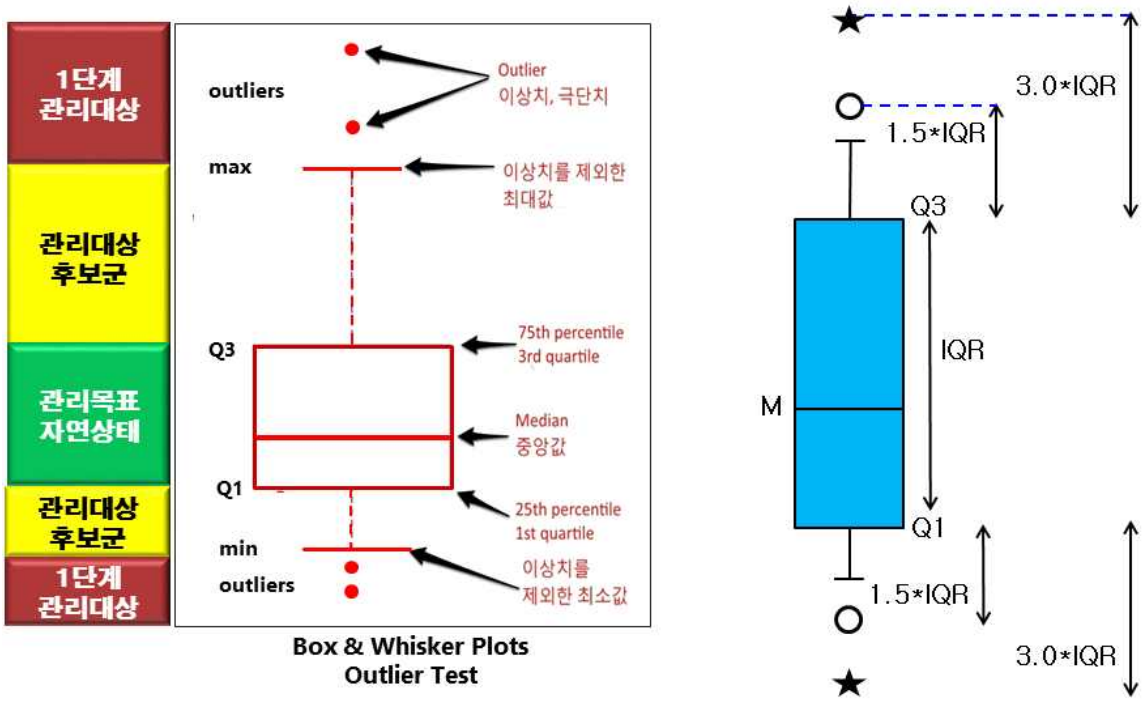
대상항목 / 생태구역	Chl-a (㎍/L)	저층 DO (포화도,%)	표층DIN (㎍/L)	표층DIP (㎍/L)	투명도 (m)
동해	2.1	90	140	20	8.5
대한해협	6.3		220	35	2.5
서남해역	3.7		230	25	0.5
서해중부	2.2		425	30	1.0
제주	1.6		165	15	8.0

* 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1m 이내의 수층

3.3.2 관리대상 해역 구분

가. Box Plot을 통한 해역 관리항목 및 관리 목표 설정

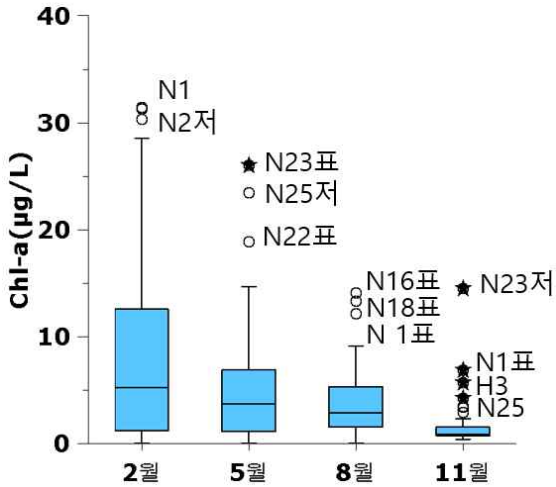
- 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구에서의 해역별 수질 정기조사 자료를 Box Plot을 이용하여 분석하였다.
- Box Plot을 이용한 분석은 이상치 등 범위를 벗어난 데이터에 대한 분석을 용이하게 하고, 이 값이 가지는 의미를 분석하는데 활용이 가능하다.
- 이를 활용하면 평균 범위(25%~75%)를 벗어난 관리대상 후보군을 탐색할 수 있고, 이상치 또는 극단치로 구분되는 관리대상 지점에 대한 자료 분석이 가능하다.
- 특히 충남 연안해역의 관리항목 도출과 함께, 항목별 기저데이터 범위(baseline) 및 관리목표 도출과 계절적인 장기변동 특성을 파악할 수 있다(그림 3.3-18).



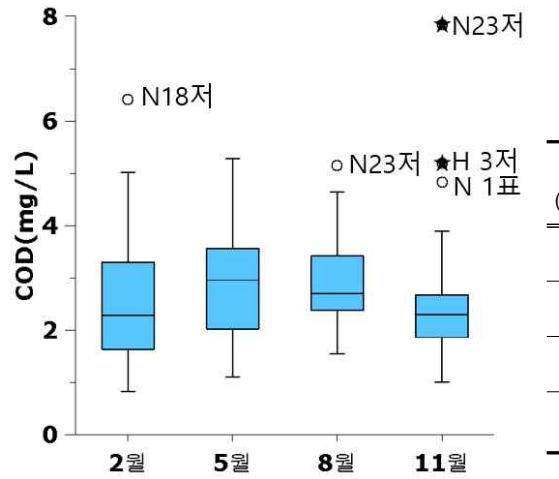
<그림 3.3-18> Box Plot의 의미

- 상기의 도표에서 Q1과 Q3는 관리목표 및 자연상태의 범위를 나타내주는 상한치와 하한치를 나타낸다.
- Outliers는 이상치(극단치)를 나타내는 값의 개수를 나타내는데, 관리대상 해역에 포함된다고 볼 수 있다.
- Q3~최대값(이상치를 제외한 최대) 범위에 분포하는 지점은 관리대상 후보군에 포함되는 것이다.

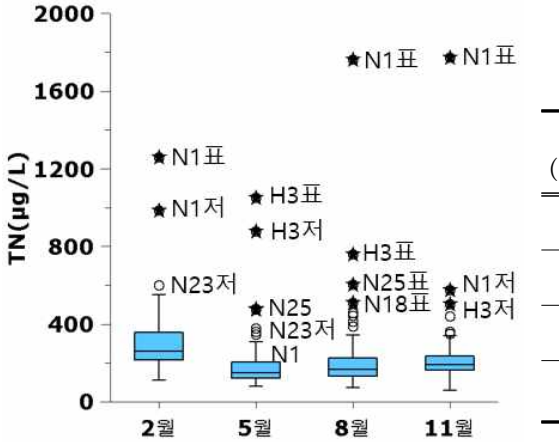
나. 해수 수질의 계절별 특성



Chl-a (μg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	7.2	5.2	0.02~28.5	1.2	12.3	3
□5월	4.0	3.6	0.02~14.7	1.1	6.8	3
□8월	3.1	2.7	0.02~9.1	1.5	5.2	3
11월	1.0	0.8	0.4~2.3	0.7	1.5	10

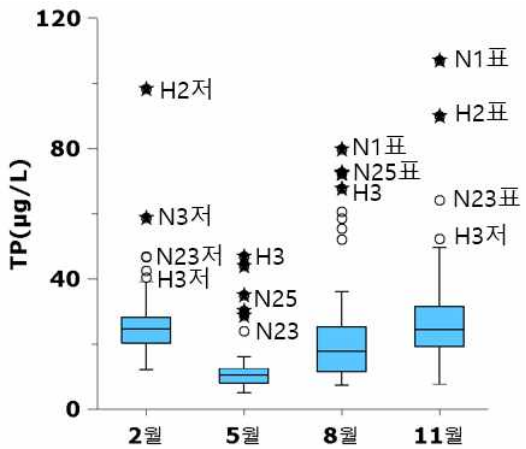


COD (mg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	2.5	2.3	0.8~5.0	1.6	3.3	1
□5월	2.9	3.0	1.1~5.3	2.0	3.6	0
□8월	2.9	2.7	1.5~4.6	2.4	3.4	1
11월	2.2	2.2	1.0~3.4	1.9	2.7	3

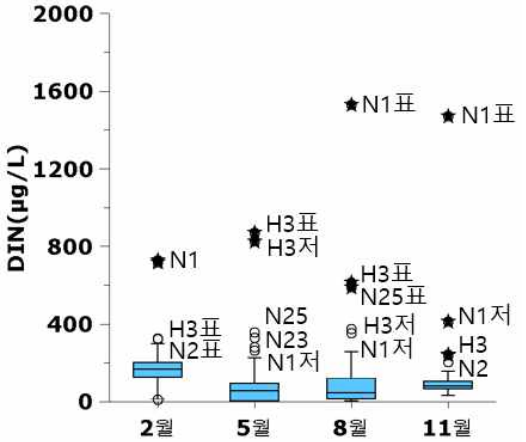


TN (μg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	279	259	112~554	215	352	3
□5월	150	139	80~308	122	202	7
□8월	167	160	73~345	133	224	8
11월	186	188	60~326	163	232	7

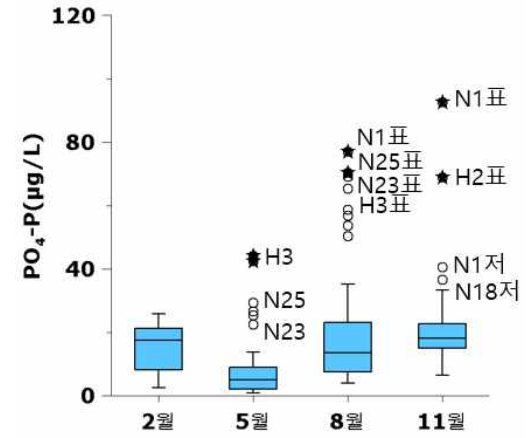
<그림 3.3-19> 해수 수질의 계절별 특성



TP (μg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	24	24	12~39	20	28	6
□5월	10	9	5~16	8	12	6
□8월	18	16	7~36	12	25	8
11월	25	24	8~41	19	31	5



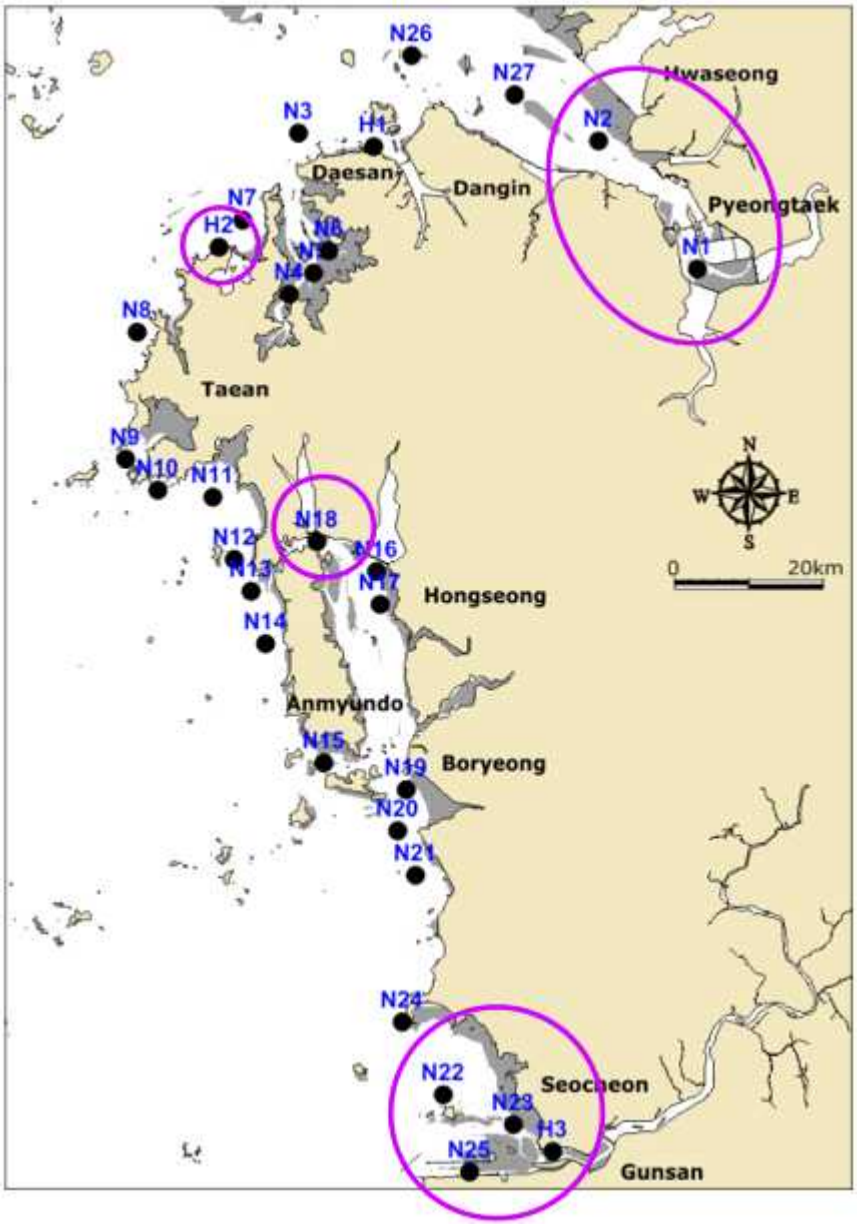
DIN (μg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	152	160	10~300	127	200	4
□5월	42	14	2~196	5	93	7
□8월	63	46	5~257	15	119	5
11월	81	78	32~159	67	105	6



DIP (μg/L)	평균	중앙값	범위	Q1	Q3	Outliers
□2월	15	18	3~26	8	21	0
□5월	5	5	1~14	2	9	6
□8월	14	12	4~35	8	23	8
11월	19	18	6~33	15	22	4

<그림 3.3-20> 해수 수질의 계절별 특성

- 해수 수질조사에 대한 Box Plot 결과를 살펴보면, Q1~Q3 범위에서는 관리목표 및 자연상태, Outliers(이상치)는 관리대상 해역, Q3~범위(최대값)에는 관리대상 후보군이 포함된 것을 알 수 있다.
- 그림 3.3-19~21을 살펴보면, 충남 해역에서는 아산만 해역, 천수만 내측해역과 금강하구 해역에서 수질에 대한 이상치 자료가 발견되는데, 다른 해역에 비해 수질지수의 악화가 지속되고 있는 것을 나타내주고 있다.
- TN, T-P 경우, 저층의 이상치 농도는 대부분 저층 재부유 현상에 의한 것으로 판단된다(SPM 값도 높음).



<그림 3.3-21> 충남해역 수질 관리 대상 후보군 지점

3.3.2 연차별 수질 결과 분석

가. 지역별, 연차별 수질 분석 결과

- 최근 4년간(‘16~ ‘19년) 120개소 정점에서 충청남도 연안의 수질등급(WQI)를 살펴보면 Ⅰ등급(매우 좋음)~Ⅱ등급(좋음)은 2018년에 비해 79.2%→75.0%로 소폭 하락하였으며, Ⅳ등급(나쁨)~Ⅴ등급(매우 나쁨)은 9.2%로 동일하게 유지되었다(표 3.3-20).
- 현재 해양(연안)의 수질등급을 판단할 때에는 해양수질평가지수(WQI)를 사용하지만 WQI지수가 시행되기 전에 화학적산소요구량(COD)기준을 사용되었으며, COD기준은 Ⅰ등급~Ⅲ등급으로 구분된다(표 3.3-21).
- 충청남도 연안의 수질등급(WQI)을 살펴보면 대부분의 지역이 Ⅰ등급(매우 좋음)~Ⅲ(보통)을 나타내고 있으며, 아산시(아산만), 홍성군(천수만), 서천군(금강하구) 지역에서 부분적으로 Ⅳ(나쁨)등급을 나타내었다(그림 3.3-22~23).
- 충청남도 연안을 화학적산소요구량(COD) 기준으로 볼 때, 대부분이 Ⅰ등급~Ⅱ등급의 분포를 보이지만, 아산시(아산만), 홍성군(천수만), 서천군(금강유역) 같은 반폐쇄성 만과 큰 하구를 접하고 있는 지형적인 면과 육상에서 유입되는 오염원의 영향이 주변 수질에 영향을 미쳐 상대적으로 높은 등급(Ⅲ등급)으로 나타났다고 판단된다(그림 3.3-22).
- 현재 수질 등급(WQI) 기준으로 연차별 변화 특성을 보면 홍성군과 서천군 수질평가지수가 소폭 상승(수질 악화)하는 특징을 보여주고 있는 반면 그 외 지역에서의 수질평가지수는 변화가 거의 없거나 2018년도에 비해 소폭 감소(수질 개선)하는 특성을 보이고 있다.
- 특히, 2018~2019년도 아산만(아산시)에서 WQI 지수가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다(그림 3.3-42). 그 원인으로 높은 클로로필과 DIP, 낮은 저층 DO 포화도인데 이러한 인자는 대부분 유기물 및 영양염류와 관련이 있기 때문에 향후 이 부분에 대해서 지속적인 관심과 조사가 필요하다고 판단된다.

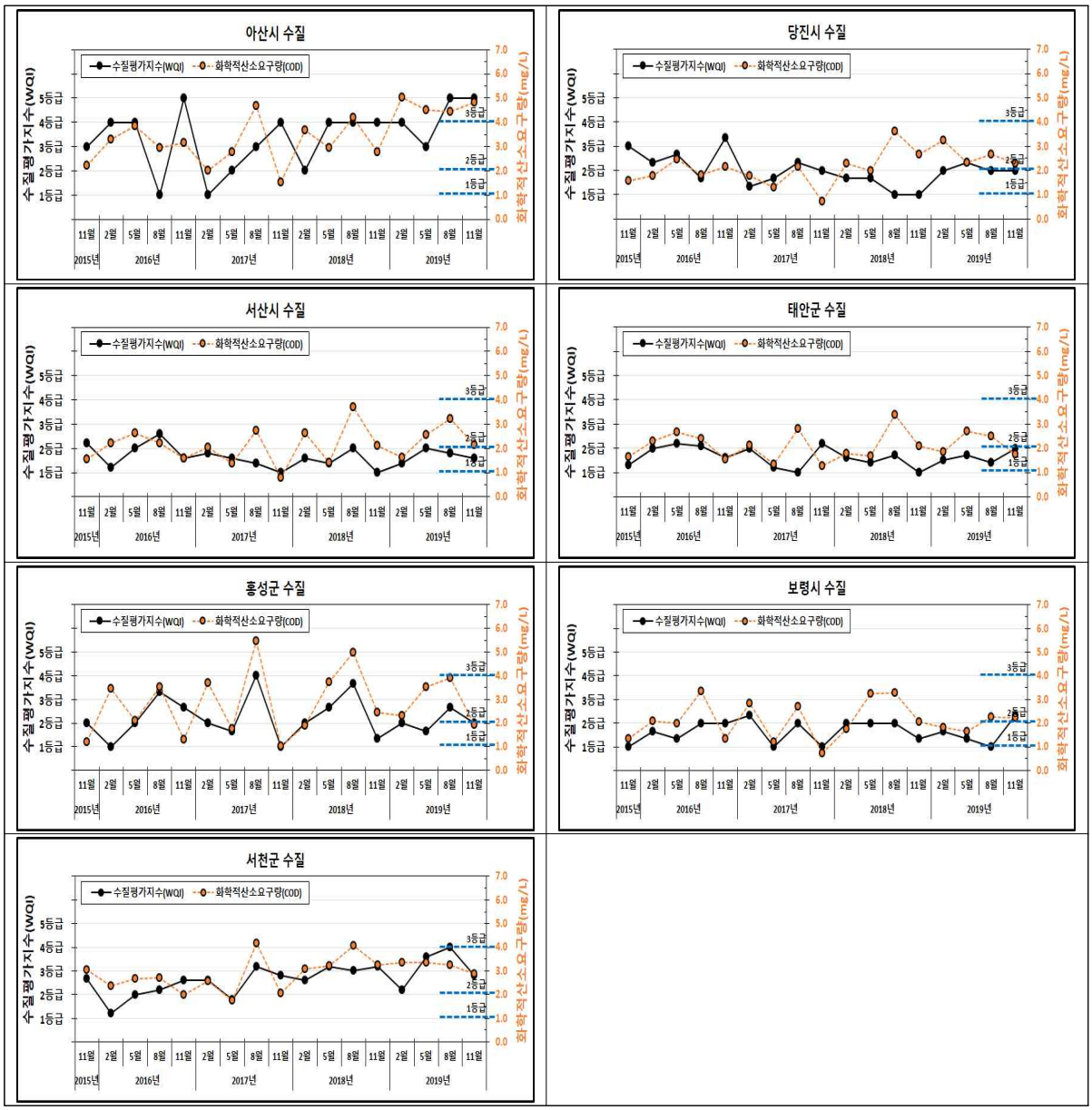
<표 3.3-20> 충청남도 연차별 수질등급(WQI) 비율

	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
총 정점수 (동+춘+하+추)	26	120	120	120	120
Ⅰ등급(매우 좋음)	11(42.3%)	27(22.5%)	54(45.0%)	50(41.7%)	36(30.0%)
Ⅱ등급(좋음)	10(38.5%)	67(55.8%)	41(34.2%)	45(37.5%)	54(45.0%)
Ⅲ등급(보통)	4(15.4%)	18(15.0%)	16(13.3%)	14(11.7%)	19(15.8%)
Ⅳ등급(나쁨)	1(3.8%)	7(5.8%)	7(5.8%)	9(7.5%)	3(2.5%)
Ⅴ등급(매우 나쁨)	0(0.0%)	1(0.8%)	2(1.7%)	2(1.7%)	8(6.7%)

- ‘18년 대비 ‘19년 수질은 다소 나빠진 것(1～2등급 비율 ‘18년 79.2% → ‘19년 75.0%)으로 나타났다. 수질등급 1～2등급 비율은 충청남도 지속가능발전지표(충남형 SDGs 2030)의 하나로 선정(목표 14, 전략 14-1)되었는데, 향후 지속적인 지표 관리가 필요할 것으로 보인다.
- 다만 18년 대비 ‘19년의 수질 4～5등급 비율은 ‘18~19년 모두 9.2%로 동일하여 나쁨 등급을 보이는 지점이 늘어나지는 않았다.
- 수질지수 1～2등급 비율이 다소 낮아진 원인은 3등급(보통)에 해당하는 지점들이 늘어났기 때문인데, 일시적인 현상으로 판단되나 이러한 추세의 지속여부는 계속 모니터링 할 필요가 있다.

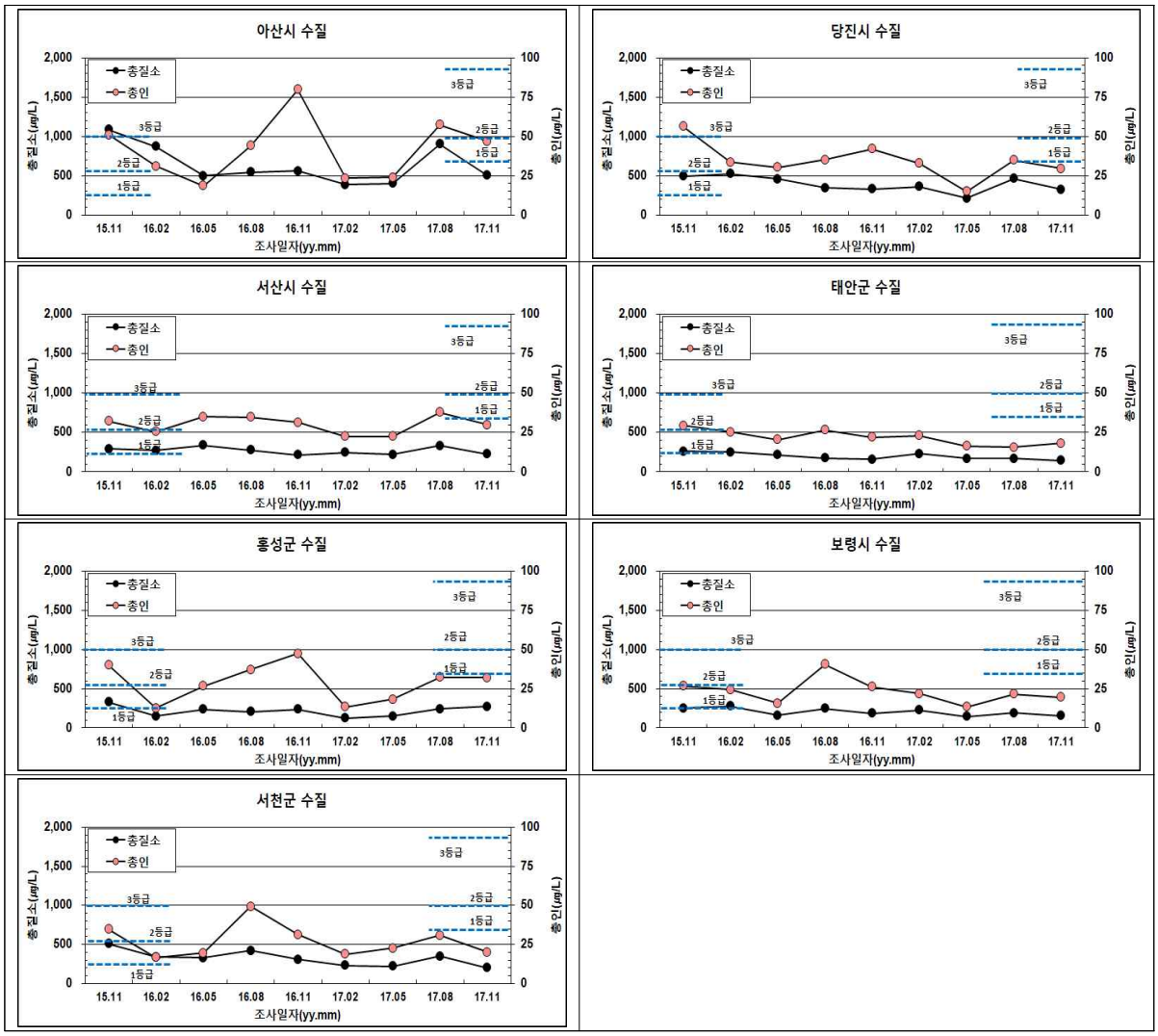
<표 3.3-21> 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08)

등급	기준			
	화학적산소 요구량 (COD) (㎎/L)	총질소 (㎎/L)	총인 (㎎/L)	비고
Ⅰ	1 이하	0.3 이하	0.03 이하	수산생물(참돔,방어,미역)의 서식 및 해수욕에 적합
Ⅱ	2 이하	0.6 이하	0.05 이하	수산생물(Ⅰ등급 외)의 서식・양식에 적합
Ⅲ	4 이하	1.0 이하	0.09 이하	공업용 냉각수 등 기타용도로 이용



<그림 3.3-22> 지역별(평균) 해양수질 시계열 분석 결과

- 또한, 총질소(TN)과 총인(TP)도 수질등급(WQI)가 시행되기 전 해수오염정도를 나타내는 척도로 사용되어 그 기준을 사용하여 지역별 수질오염도를 <그림 3.3-23>에 나타내었다.
- 총질소(TN)는 대부분 지역에서 Ⅰ등급~Ⅱ등급을 유지하고 있으며, 아산시(아산만) 일부시기에 Ⅲ등급을 초과하는 것으로 나타났다.
- 총인(TP)의 경우 아산시(아산만), 당진시 일부시기를 제외하면 대체로 Ⅰ등급~Ⅱ등급을 유지하는 것으로 나타났다.

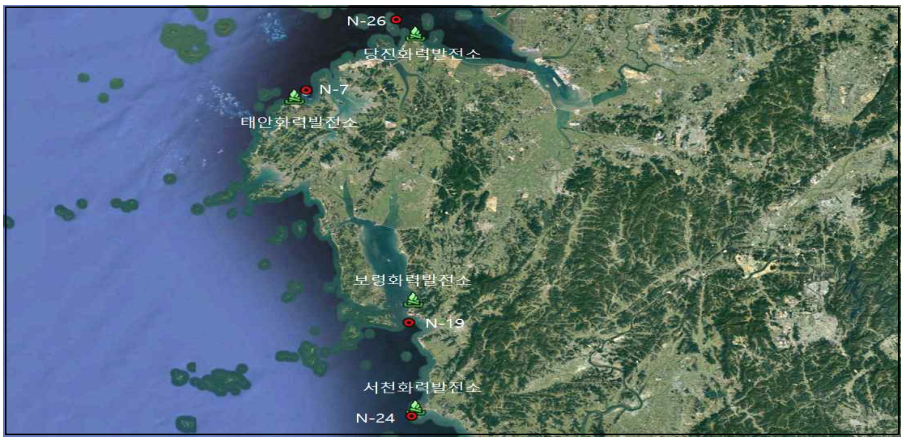


<그림 3.3-23> 지역별(평균) 해양수질 시계열 분석 결과(TN-TP)

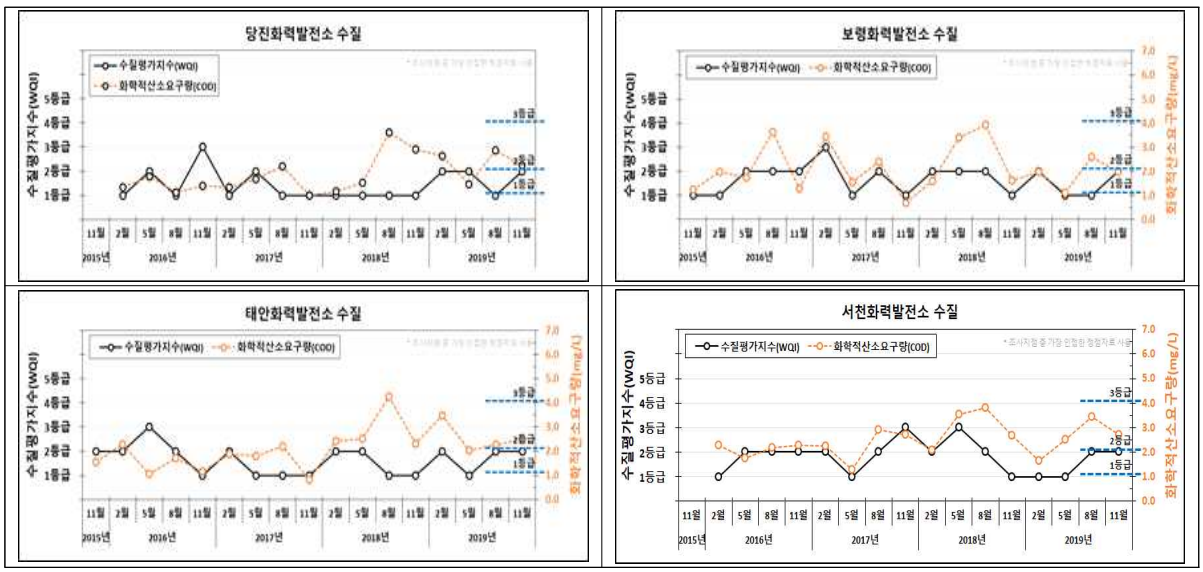
나. 화력발전소 주변 수질 분석 결과

- 충청남도 연안에는 전국 화력발전소의 53% 정도(발전량 기준)가 밀집되어 있으며, 충청남도 내 화력발전소 위치는 <그림3.3-24>와 같다.

- 최근 화력발전소와 미세먼지 사이의 문제가 화두가 되고 있으며, 이와 더불어 화력발전소 시설이 주변 해양생태계에 영향을 끼친다는 판단 하에 본 과업에서 수행했던 정점 중 화력발전소 인근 정점을 대상으로 수질등급(WQI)과 화학적산소요구량(COD)을 분석하였다.
- 충청남도 화력발전소 주변지역의 수질등급(WQI)을 살펴보면 Ⅰ등급(매우 좋음)~Ⅲ등급(보통)으로 나타났으며, 대부분 지역의 수질이 양호한 상태로 분석되었다. COD기준에서도 Ⅰ등급~Ⅱ등급 사이로 기준치를 하회하는 것으로 나타났다(그림 3.3-25).
- '19년도 당진, 보령, 태안, 서천 화력발전소 주변 수질(COD)에서 하계에 다소 높아진(악화된) 결과를 보였으나, 추계에 다시 수질이 회복되는 추세가 예년과 같이 반복되어 나타났다(그림 3.3-25).
- 현재 별도 용역으로 수행되고 있는 화력발전소에서 직접 배출되는 다양한 환경영향 조사 자료와 비교 검토가 필요해 보인다.



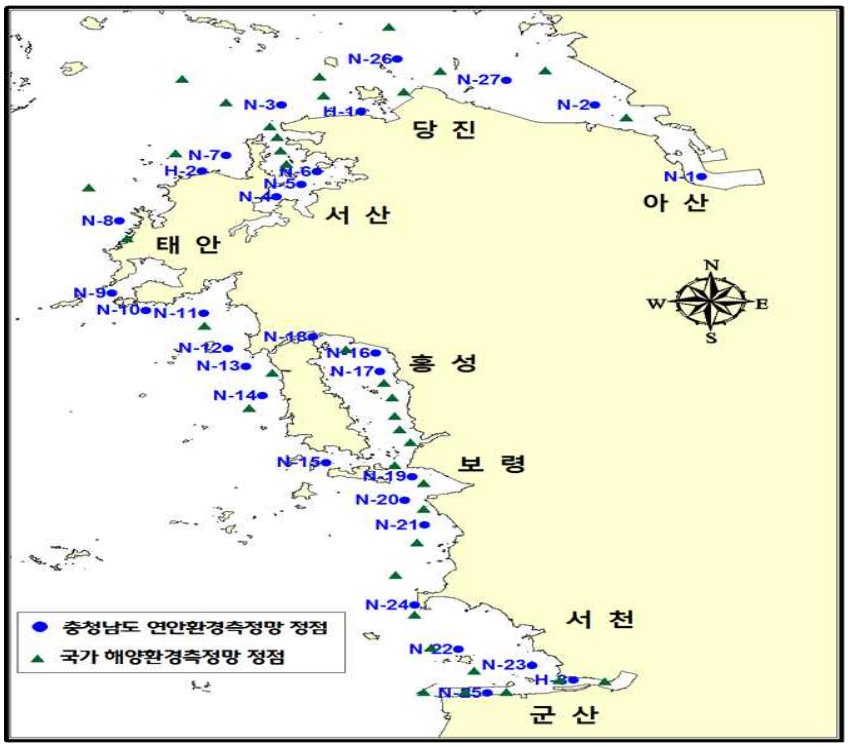
<그림 3.3-24> 화력발전소 주변 조사정점



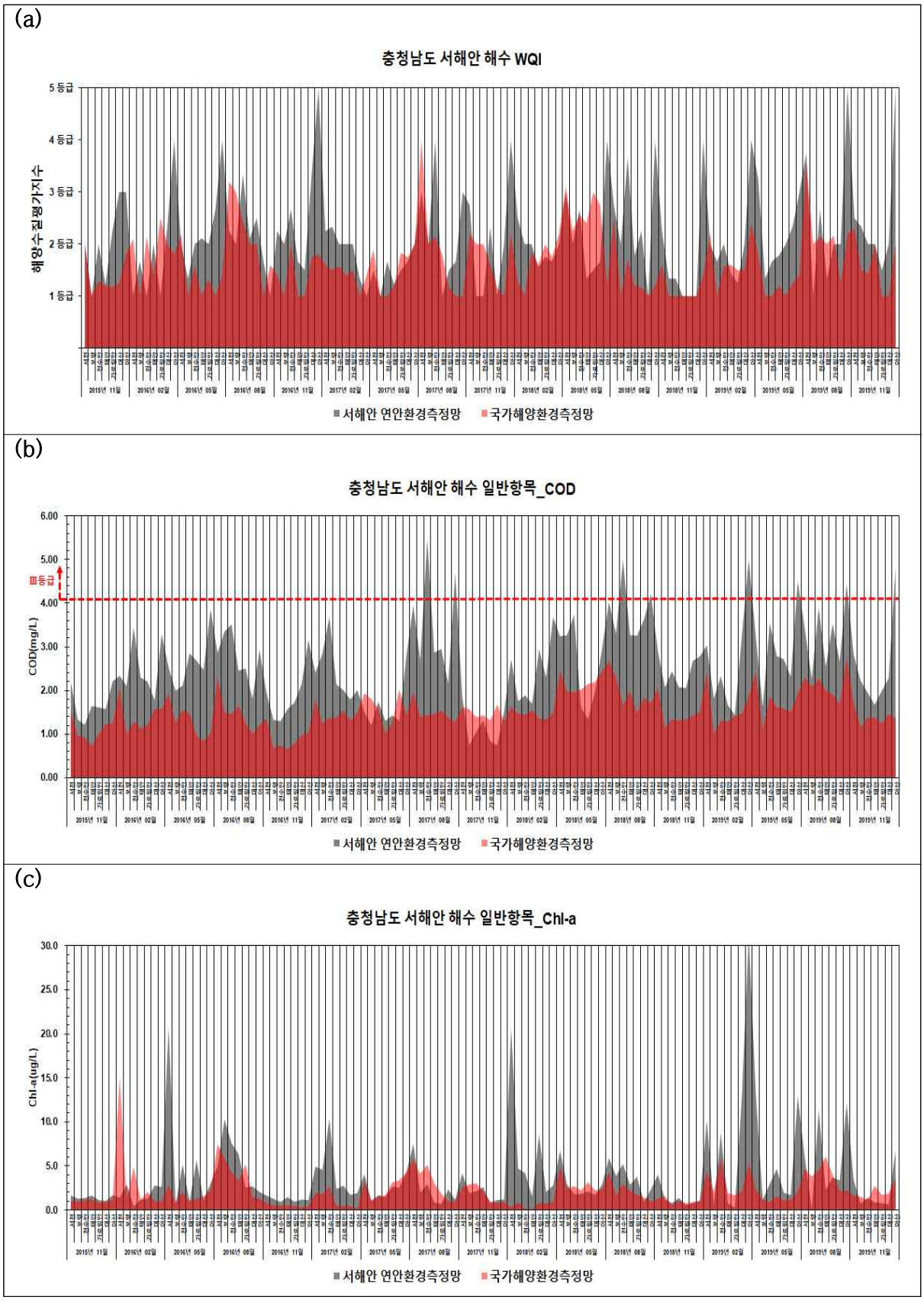
<그림 3.3-25> 화력발전소 주변 해양수질 시계열 분석 결과

다. 국가해양환경측정망과의 수질 비교 분석 결과

- 본 과업인 서해안 연안환경모니터링 조사와 서해연안을 조사하는 다른 기관에서의 조사 결과와의 비교검증을 위하여 상호간의 자료를 비교 분석하였다.
- 이를 위해, 각 측정망의 위치가 비슷한 정점들 간 분석결과를 비교하였으며, 특히 조사 시기 및 항목이 비슷한 해양환경공단 주관의 국가해양환경측정망 자료와 비교하였다.
- 서해안연안환경측정망과 해양환경공단 주관의 국가해양환경측정망의 정점도는 다음과 같다(그림 3.3-26).
- 국가해양환경측정망과 본 과업의 조사 지역(아산, 당진, 가로림만, 태안, 천수만, 보령) 및 조사시점(2, 5, 8, 11월)은 유사하나 정점위치에서 차이가 나타난다.
- 본 과업의 결과와 해양환경공단 결과를 비교해 보면, 서해안 연안환경측정망 WQI(해양수질평가지수)와 COD(화학적산소요구량) 조사 값은 국가해양환경측정망보다 다소 높게 나타내고 있다(그림 3.3-27(a)~(b)).
- 한편 나머지 Chl-a(엽록소a), TN(총질소), TP(총인)인 수질항목들 경우에는 유사한 농도 결과 값을 보여주고 있다(그림 3.3-27(c)~(d)).
- 일부 결과 값이 양 기관에서 차이를 보이는 이유로는 본 과업의 조사정점과 국가해양환경측정망 조사 정점 위치 차이에 따른 것으로, 본 과업의 조사정점이 국가해양환경측정망보다 연안 쪽에 가깝게 위치해 있어 육상으로부터의 영향이 커 전체적으로 농도가 높거나 비슷한 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다.

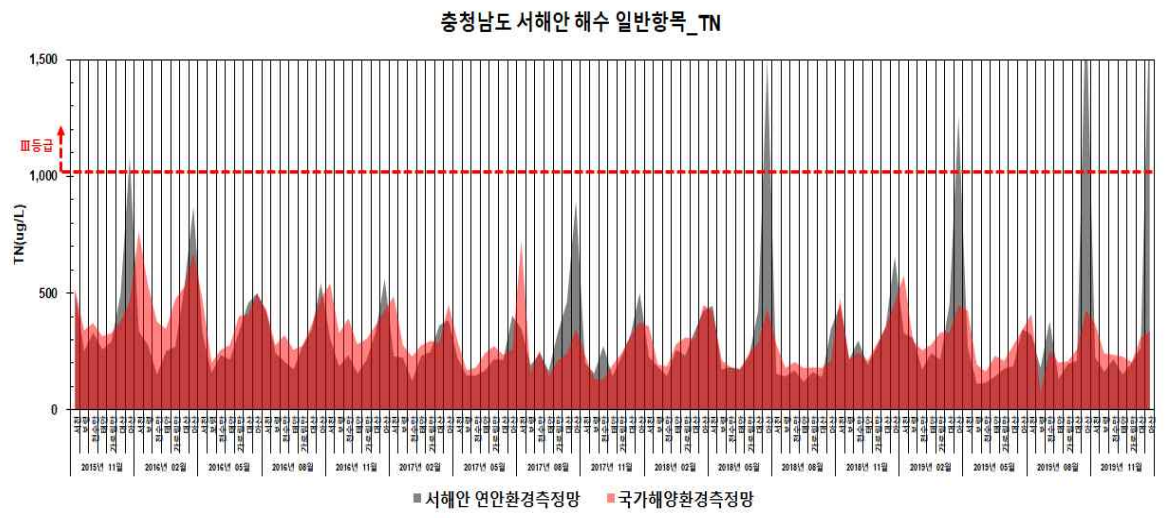


<그림 3.3-26> 충남 서해안 조사정점 비교

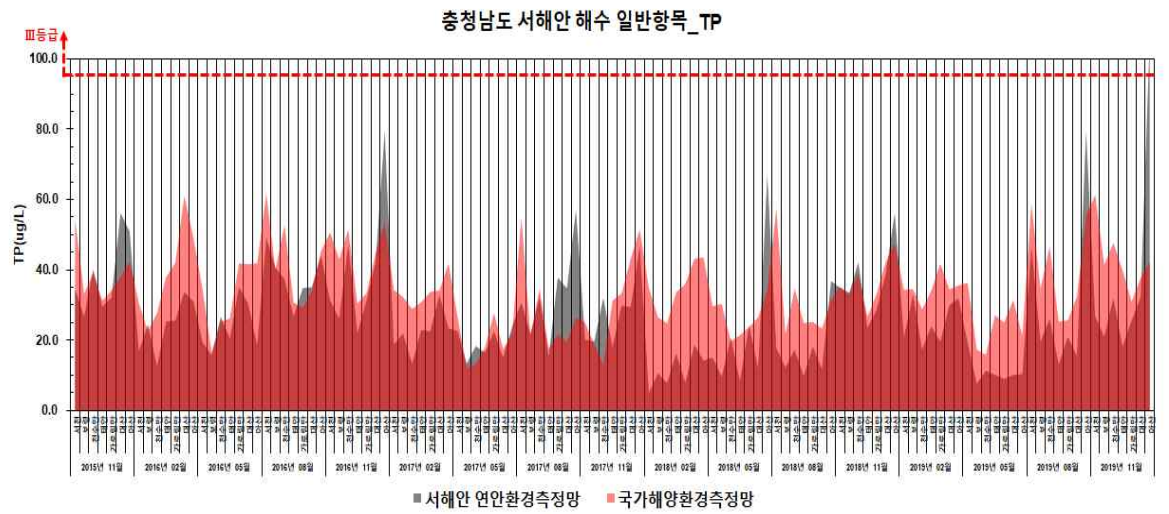


<그림 3.3-27> 충청남도 서해안 해수 조사항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균)

(d)



(e)



<그림 3.3-27> 충청남도 서해안 해수 조사항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균), 계속

3.3.3 해양 퇴적물

- 해양 퇴적물 조사 결과를 <표 3.3-22>~<표 3.3-24>과 <그림 3.3-48>에 제시하였다.

가. 입도

1)조성 및 퇴적상

- 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.0~25.0%, 모래 8.7~98.4%, 실트 1.4~78.4%, 점토 0.2~15.7%로 조사되었고, 퇴적상은 실트질사(zS), 역니질사(gmS), 역질사(gS), 약역니질사((g)sM), 모래(S), 사질실트(sZ), 약역니질사((g)mS), 실트(Z)로 나타났다.

2) 조직 변수

- 평균 입경은 0.65~6.38Φ(평균 3.77Φ)의 범위로 조사되었다. 분급도는 0.57~3.08Φ의 범위로 Moderately well sorted에서 very poorly sorted한 분포를 보였고, 왜도는 -0.29~0.74의 범위로 Coarse-skewed에서 Strongly fine-skewed한 분포를 나타냈으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.81~2.60으로 platykurtic에서 Very leptokurtic한 분포를 보였다.

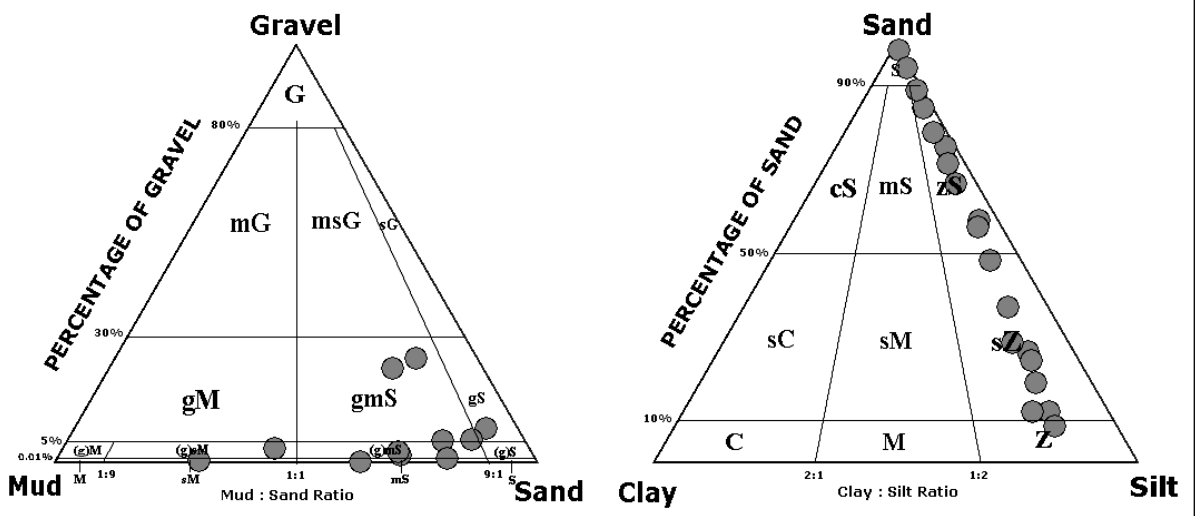
<표 3.3-22> 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2019년 동계)

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
N1	0.0	18.9	69.4	11.6	5.89	1.99	-0.14	1.08	sZ
N2	0.0	12.2	75.5	12.3	6.07	1.77	-0.01	1.09	sZ
N3	0.0	98.4	1.4	0.2	1.43	0.57	-0.04	1.37	S
N4	22.5	58.7	16.3	2.5	1.44	3.08	0.16	1.08	gmS
N5	0.0	37.1	54.7	8.2	5.02	2.16	0.01	0.99	sZ
N6	0.0	26.6	63.9	9.5	5.46	1.87	0.11	0.85	sZ
N7	3.5	43.7	45.7	7.1	4.60	2.68	-0.07	0.86	(g)sM
N8	8.2	85.3	5.7	0.8	0.68	1.87	0.47	0.99	gS
N9	0.0	84.6	13.5	1.9	2.75	1.40	0.39	2.16	zS
N10	0.0	94.3	5.2	0.5	2.61	0.79	0.18	1.58	S
N11	0.0	57.9	38.2	3.9	4.32	1.63	0.46	1.07	zS
N12	0.0	89.0	9.7	1.3	2.19	1.19	0.27	1.81	zS
N13	0.0	75.3	22.7	2.1	3.39	1.65	0.55	1.33	zS
N14	0.0	56.1	38.8	5.1	4.52	1.70	0.53	0.95	zS
N15	0.0	24.4	65.8	9.9	5.61	1.87	0.03	0.85	sZ
N16	0.5	29.7	59.8	10.0	5.20	2.62	-0.29	1.02	(g)sM
N17	0.0	8.7	78.4	12.9	6.17	1.69	0.06	1.19	Z

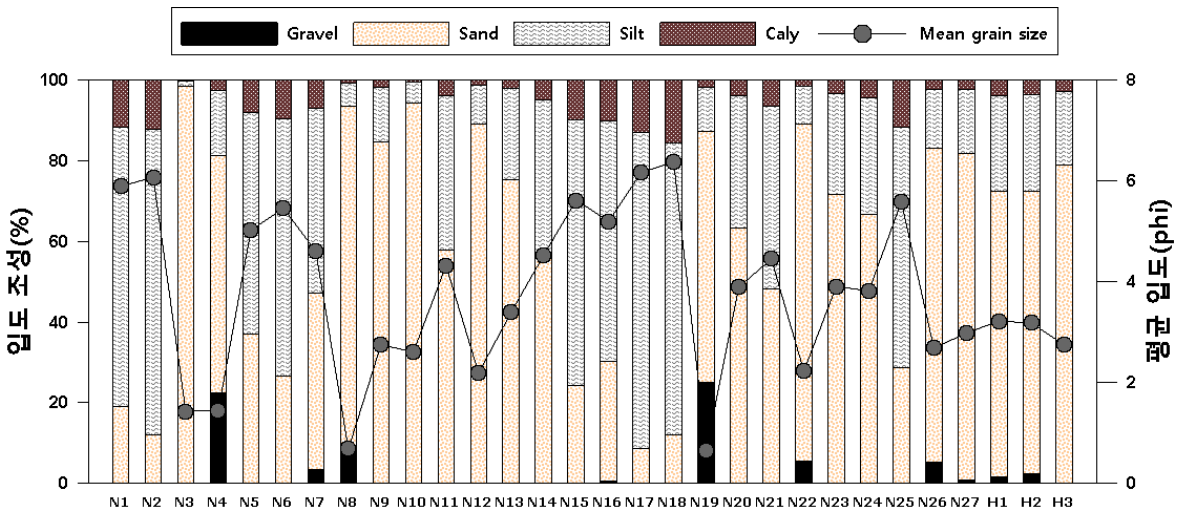
<표 3.3-22> 계 속(2019년 동계)

정점	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
N18	0.0	12.1	72.2	15.7	6.38	1.77	-0.05	1.20	sZ
N19	25.0	62.2	11.0	1.8	0.65	2.54	0.50	0.99	gmS
N20	0.2	63.2	32.6	4.0	3.89	1.97	0.46	0.91	(g)mS
N21	0.0	48.2	45.4	6.4	4.45	2.21	0.18	0.81	sZ
N22	5.7	83.5	9.4	1.5	2.23	1.74	0.06	2.15	gmS
N23	0.0	71.5	25.1	3.4	3.91	1.74	0.53	1.10	zS
N24	0.0	66.6	29.0	4.4	3.82	1.98	0.61	0.88	zS
N25	0.0	28.6	59.6	11.7	5.58	2.01	0.05	0.81	sZ
N26	5.4	77.7	14.4	2.4	2.68	2.02	0.16	2.60	gmS
N27	0.9	80.9	16.0	2.2	2.98	1.65	0.41	1.57	(g)mS
H1	1.7	70.7	23.8	3.8	3.22	2.43	0.25	1.11	(g)mS
H2	2.5	70.0	23.7	3.8	3.18	2.41	0.37	1.12	(g)mS
H3	0.0	78.8	18.4	2.8	2.74	2.06	0.74	1.90	zS
최소	0.0	8.7	1.4	0.2	0.65	0.57	-0.29	0.81	-
최대	25.0	98.4	78.4	15.7	6.38	3.08	0.74	2.60	-
평균	2.5	57.2	34.8	5.5	3.77	1.90	0.23	1.25	-

a) 삼각다이아그램



b) 입도 조성 및 평균입도 분포



<그림 3.3-28> 삼각다이아그램(a), 입도 조성 및 평균 입도 분포(b)

나. 함수율

- 함수율은 15.0~47.9%(평균 30.0%)의 범위를 보였다. 조사해역에서 퇴적물의 함수율은 전반적으로 태안 연안에서 낮고 천수만 내측 정점에서 상대적으로 높은 경향을 보였다. 함수율은 일반적으로 조립한 퇴적상을 가진 해역에서 낮으며, 세립한 퇴적상을 가진 해역에서 높은 것으로 알려져 있다.

다. 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량 및 화학적산소요구량은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표성분으로, 강열감량은 1.5~6.8%(평균 3.9%)의 범위를 보였으며, 화학적산소요구량은 0.2~21.8㎎/g(평균 8.1㎎/g)의 범위로 조사되었다.
- 강열감량과 화학적산소요구량은 천수만 내측 정점에서 상대적으로 높은 경향을 보였고, 주로 모래의 퇴적상을 나타낸 가로림만 외측 정점 N3과 태안 연안에 위치한 정점에서 낮은 함량을 나타냈다.
- 강열감량과 화학적산소요구량은 퇴적물의 평균 입도와 양호한 상관성을 보여, 퇴적물 내 유기물 항목은 퇴적물 입자 크기에 따라 조절되는 것으로 조사되었다.

라. 산휘발성황화물(AVS)

- 퇴적물 중의 유기물은 분해되는 과정을 거치면서 산소를 소비해 저산소상태에 이르면 황산염 환원세균 증식에 의해 황화가스가 발행된다. 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산휘발성황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경 악화지표 항목으로 이용되고 있다(Lee, 2010). 산휘발성황화물(AVS)이 0.2㎎/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로 산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경임을 지시하고 있다(Yokoyama, 2000).
- 산휘발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01㎎/g으로, 정점 N1~N10, N19, N24, H1, H3에서 불검출 되었으며, 그 외 정점에서는 0.01~0.27㎎/g(평균 0.05㎎/g)의 범위를 보였다.
- 천수만 내측에 위치한 정점 N16에서 0.27㎎/g로 높게 나타났고, 그 외 정점에서는 0.2㎎/g 이하로 조사되었다.

<표 3.3-23> 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2019년 동계)

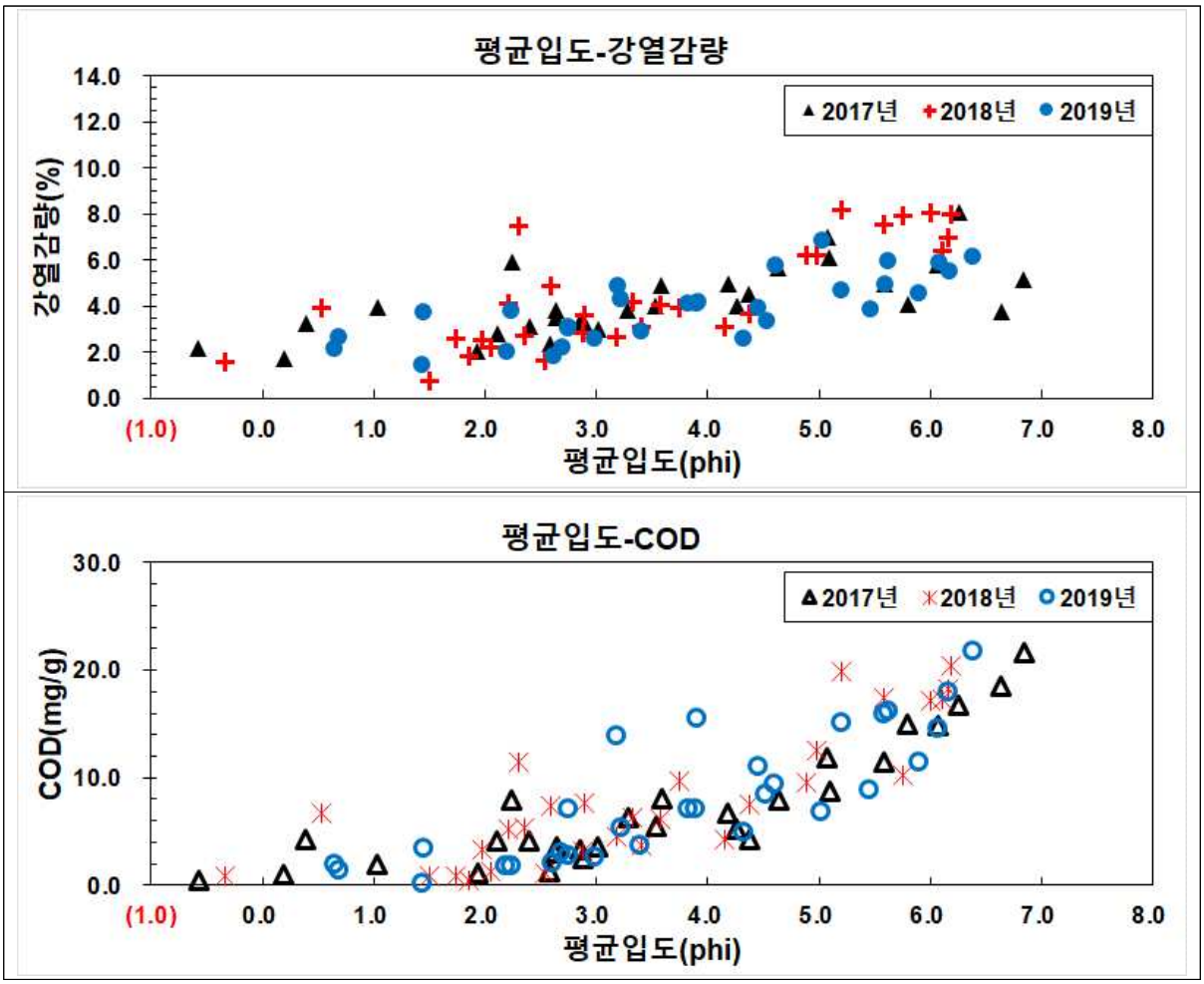
정점	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)
N1	36.1	4.6	11.4	ND	0.59	500
N2	47.9	5.9	14.6	ND	0.82	800
N3	23.0	1.5	0.2	ND	0.02	ND
N4	19.0	3.7	3.5	ND	0.19	200
N5	31.0	6.8	6.8	ND	0.51	400
N6	31.4	3.9	8.9	ND	0.43	400
N7	32.0	5.8	9.4	ND	0.60	600
N8	15.0	2.7	1.5	ND	0.09	100
N9	23.6	3.1	2.8	ND	0.19	200
N10	21.8	1.9	2.1	ND	0.10	ND
N11	25.3	2.6	4.9	0.01	0.31	200
N12	23.2	2.1	1.8	0.04	0.16	100
N13	26.2	3.0	3.7	0.01	0.23	100
N14	29.5	3.3	8.5	0.05	0.41	500
N15	47.1	6.0	16.3	0.02	0.88	800
N16	39.4	4.7	15.1	0.27	0.70	800
N17	43.4	5.5	17.9	0.02	0.92	1000

* N/D : not detected

<표 3.3-23> 계 속(2019년 동계)

정점	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN
	(%)		(mg/g)		(%)	(mg/kg)
N18	44.5	6.2	21.8	0.04	1.06	900
N19	16.2	2.2	2.0	ND	0.14	ND
N20	27.7	4.1	7.1	0.01	0.53	300
N21	33.2	3.9	11.0	0.02	0.57	700
N22	21.9	3.8	1.8	0.01	0.17	300
N23	37.1	4.2	15.5	0.10	0.64	800
N24	29.3	4.1	7.1	ND	0.40	500
N25	35.5	5.0	15.9	0.03	0.78	900
N26	20.3	2.2	3.0	0.02	0.18	200
N27	23.9	2.6	2.6	0.01	0.16	200
H1	27.2	4.4	5.3	ND	0.24	400
H2	41.1	4.9	13.9	0.10	0.69	900
H3	27.5	3.1	7.1	ND	0.35	400
최소	15.0	1.5	0.2	0.01	0.02	100
최대	47.9	6.8	21.8	0.27	1.06	1000
평균	30.0	3.9	8.1	0.05	0.44	489

* N/D : not detected



<그림 3.3-29> 평균입도와 강열감량, COD간의 상관성 분석
(2017년 4계절 조사 및 2018년 동계 자료 비교)

마. 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

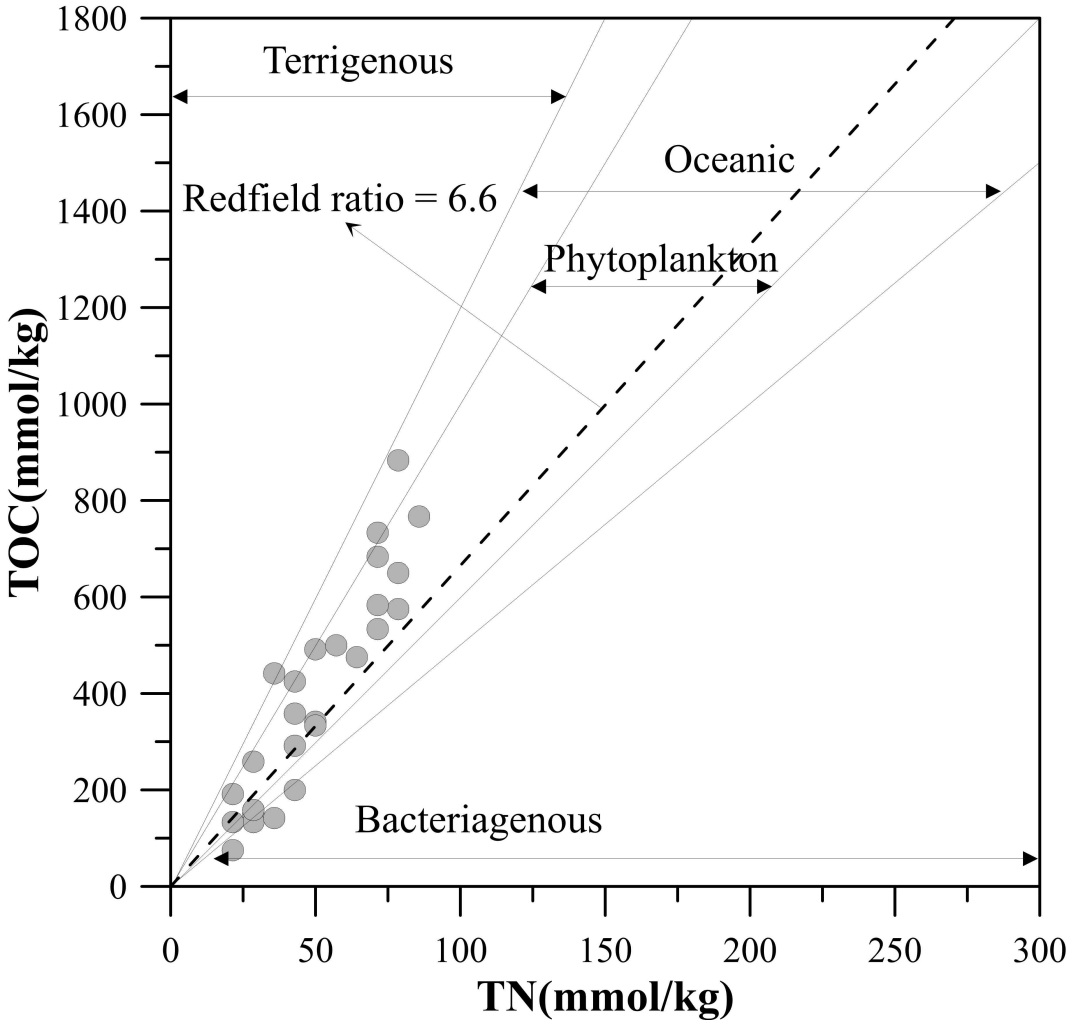
- 총유기탄소는 0.02~1.06%(평균 0.44%)의 범위를 보였고, 가로림만 외측의 정점 N3과 천수만 내측의 정점 N18에서 각각 최소값과 최대값을 나타냈다.
- 총질소의 검출 한계는 원소 분석기를 사용하여 분석 시 100㎎/㎏ 이하로, 금회 조사에서는 정점 N3, N10, N19에서 불검출 되었으며, 그 외 정점에서 100~1000㎎/㎏(평균 500 ㎎/㎏)로 범위로 조사되었다.

바. C/N비

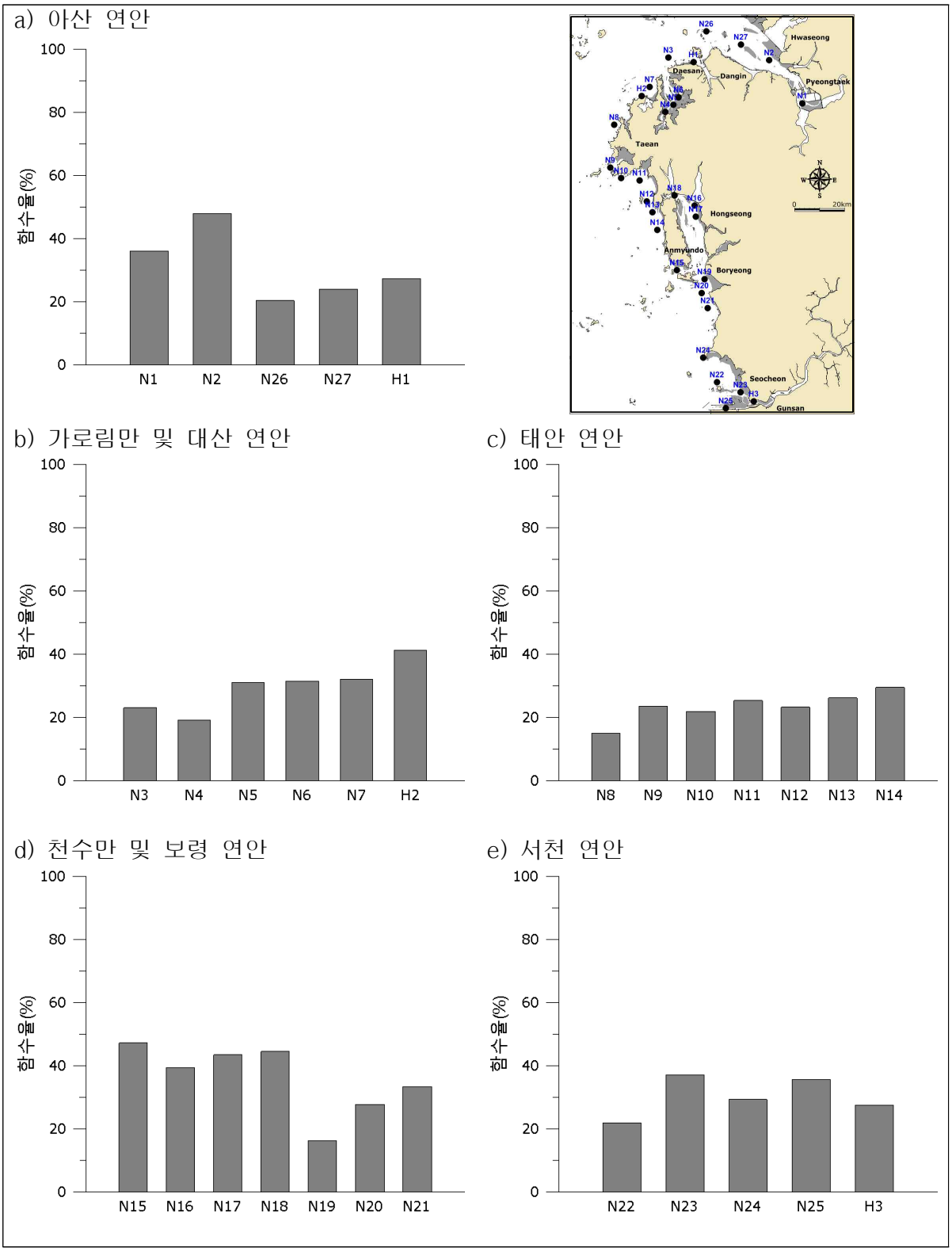
- 해양 퇴적물 내 총유기탄소와 총질소는 R^2 > 0.8의 높은 상관관계를 보였다. 이러한 높은 상관성은 퇴적물 내 총유기탄소와 총질소가 퇴적 후 동일한 속성작용(diagenesis)이나 재광물화작용(remineralization)을 받은 것으로 알려져 있다(김 등., 2007). 이는

총유기탄소와 총질소의 기원이 동일 하다하는 것을 의미하며 일반적으로 C/N비는 퇴적물에 포함된 유기물의 기원을 규명하는데 많이 사용되고 있다.

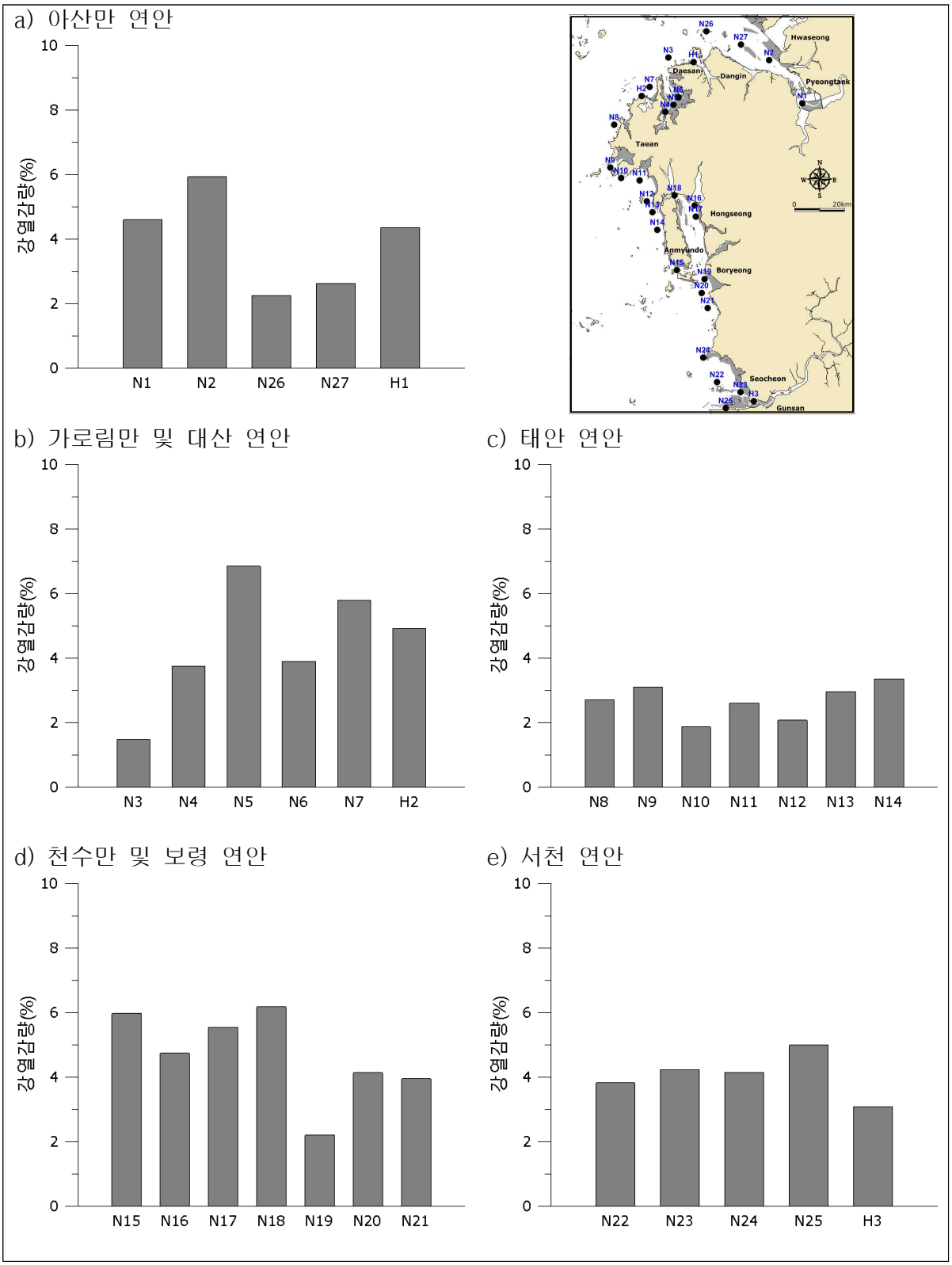
- C/N 비가 12 이상인 유기물은 육상 기원 유기물을 나타내고(Lignin C/N atomic ratio 1500; Greaves와 Schwartz, 1952), 6~9는 식물플랑크톤의 범위이며(Holligan 등, 1984), 5~12의 C/N 비를 가질 경우 해양 기원 유기물을 의미한다(Stein, 1991). 한편 2.6~4.3의 낮은 C/N 비는 질소가 풍부한 박테리아에서 흔히 나타나는 값으로 5 이하에 해당하는 낮은 C/N비는 퇴적유기물 중 박테리아 기원을 나타내는 지표로 이용된다(Lee와 Fuhrman, 1987).
- 금회조사에서 C/N 비는 6.6~26.8로 조사되었다. C/N 비는 대부분 5~12 사이로 해양 기원 유기물로 나타났으며, 12 이상으로 나타난 정점에서는 육상 유기물의 유입 가능성이 있는 것으로 조사되었다(<그림 3.3-30>).



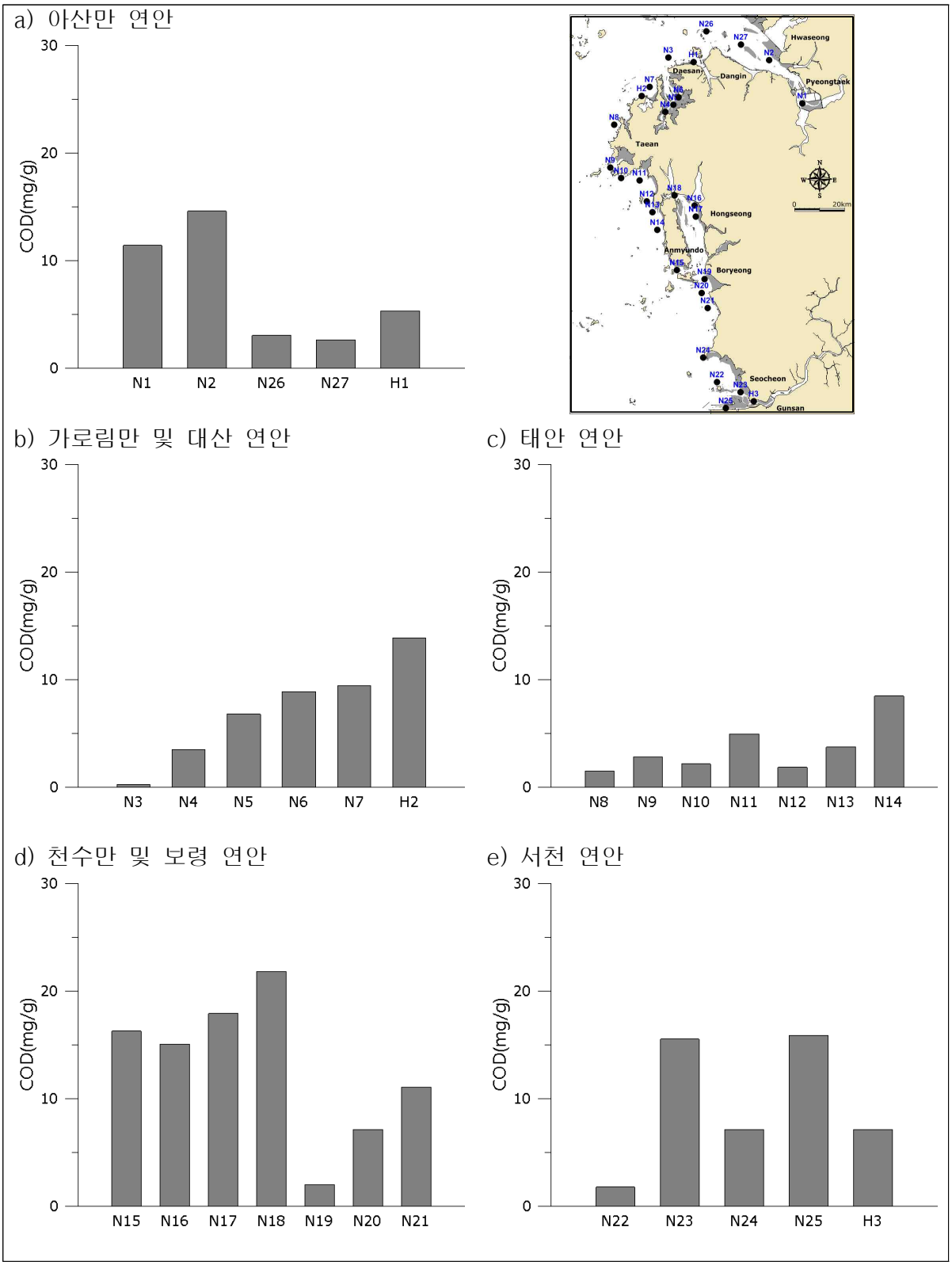
<그림 3.3-30> 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비



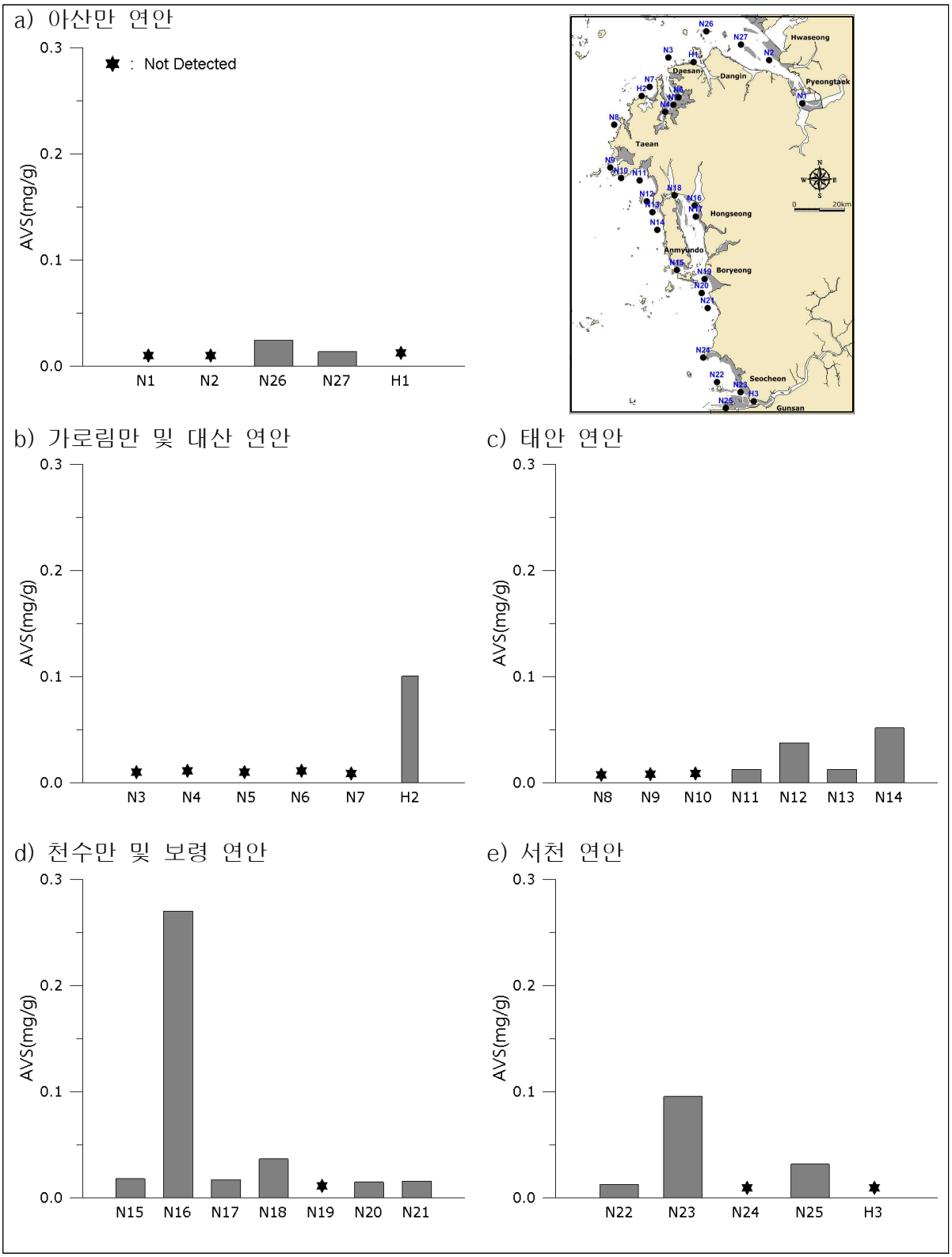
<그림 3.3-31> 해양 퇴적물의 함수율 분포 특성



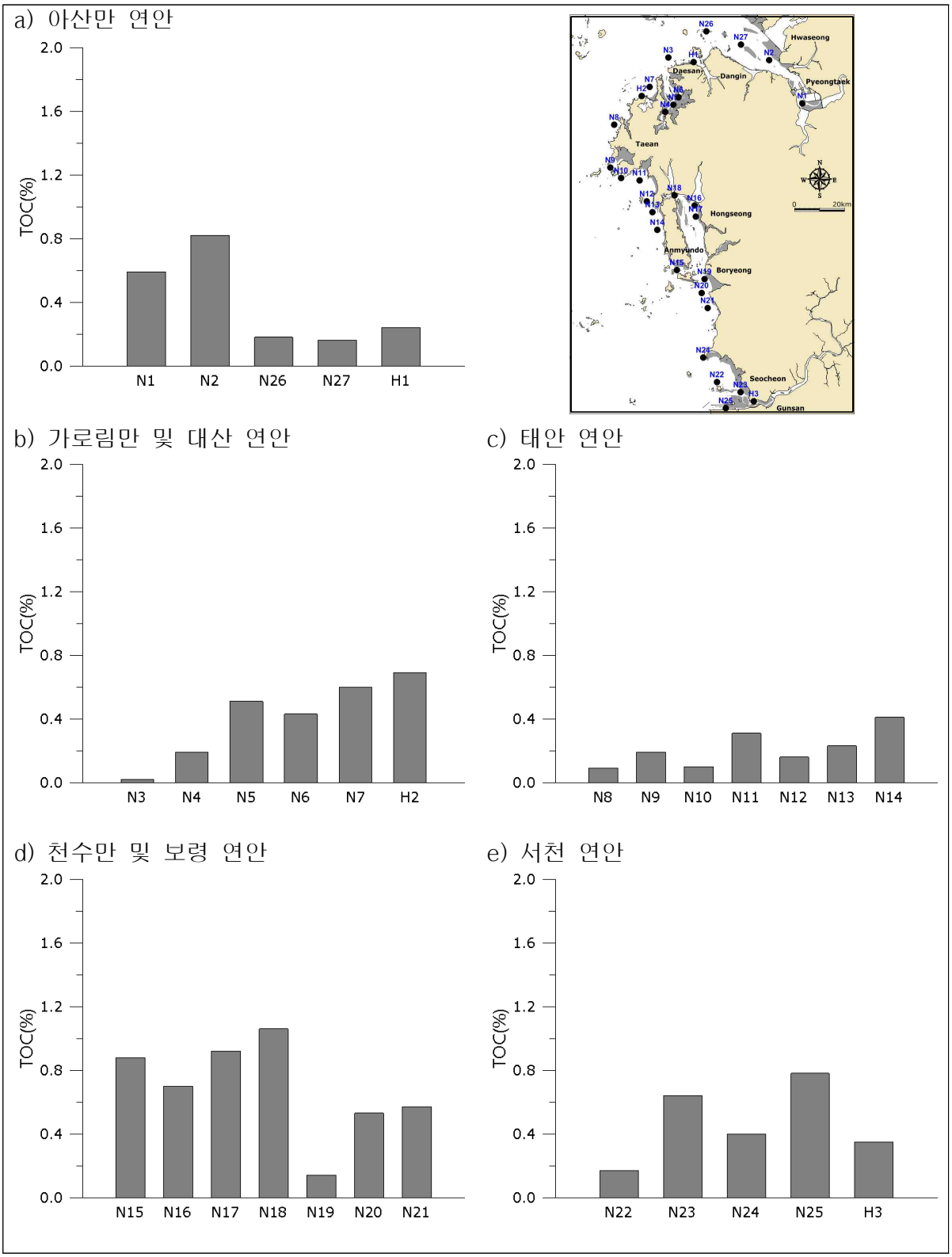
<그림 3.3-32> 해양 퇴적물의 강열감량 분포 특성



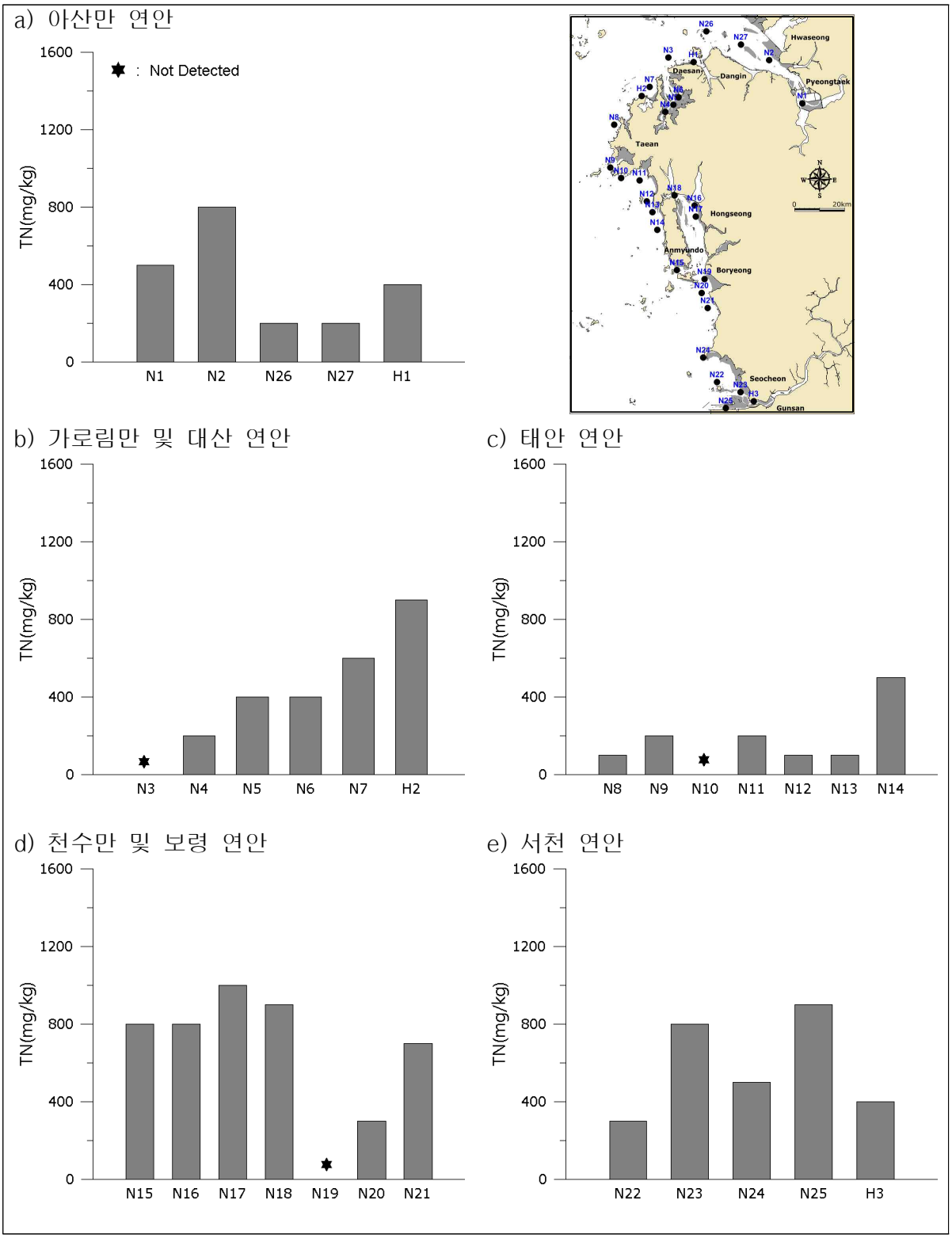
<그림 3.3-33> 해양 퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 분포 특성



<그림 3.3-34> 해양 퇴적물의 산휘발성황화물(AVS) 분포 특성



<그림 3.3-35> 해양 퇴적물의 총유기탄소(TOC) 분포 특성



<그림 3.3-36> 해양 퇴적물의 총질소(TN) 분포 특성

사. 중금속류

- 퇴적물 내의 중금속은 일반적으로 수계(aquatic system)에 유입된 중금속 원소가 수중에 용해되어 이온 상태로 존재하기보다는 대부분 고체상(solid phase)으로 변환되어 퇴적물이나 부유물에 흡착되어 존재하게 된다. 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 환경 변화를 이해하는데 매우 유용한 것으로 알려져 있다(Forstner, 1981).
- 퇴적물 내 중금속은 카드뮴(Cd) 0.03~0.24㎎/㎏(평균 0.11㎎/㎏), 크롬(Cr) 12.0~94.2㎎/㎏(평균 56.0㎎/㎏), 구리(Cu) 2.1~33.9㎎/㎏(평균 12.9㎎/㎏), 납(Pb) 19.4~33.7㎎/㎏(평균 26.2㎎/㎏), 아연(Zn) 16.8~130.9㎎/㎏(평균 73.8㎎/㎏), 니켈(Ni) 3.9~36.5㎎/㎏(평균 18.5㎎/㎏), 망간(Mn) 194~1163㎎/㎏(평균 600㎎/㎏), 코발트(Co) 3.1~16.2㎎/㎏(평균 9.8㎎/㎏), 리튬(Li) 10.4~88.4㎎/㎏(평균 42.1㎎/㎏), 비소(As) 1.5~4.3㎎/㎏(평균 2.8㎎/㎏), 수은(Hg) 1.6~33.9㎍/㎏(평균 15.2㎍/㎏), 알루미늄(Al) 3.0~7.5%(평균 5.2%), 철(Fe) 0.6~3.4%(평균 2.0%)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 퇴적물의 중금속의 농도는 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 아연(Zn), 니켈(Ni), 망간(Mn), 코발트(Co), 리튬(Li), 수은(Hg), 알루미늄(Al), 철(Fe) 등 대부분의 원소들이 상대적으로 입도가 세립한 해역(아산 연안의 N1, N2와 천수만 내측의 정점 N16, N17, N18, 서천 연안의 정점 N23과 N25)에서 높은 경향을 보였다. 납(Pb)의 경우 보령 연안의 정점 N19에서 상대적으로 낮았고, 그 외에는 정점간 유사한 분포를 보였으며, 비소(As)는 정점 N3과 N19를 제외하면 정점간 농도 차이가 작은 것으로 조사되었다.

<표 3.3-24> 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2019년 동계)

주의기준	0.75	116.0	-	20.6	44.0	-	68.4	47.2
	Cd	Cr	Cu	Cu-Li	Pb	Zn	Zn-Li	Ni
정점	(mg/kg)							
N1	0.13	79.7	23.3	9.2	31.0	108.2	51.0	28.8
N2	0.13	83.4	22.2	8.7	29.8	116.9	52.4	31.2
N3	0.03	12.0	2.1	2.1	23.9	16.8	16.8	3.9
N4	0.10	30.7	7.1	7.1	25.5	52.4	52.4	8.9
N5	0.11	57.6	12.2	8.2	23.6	76.3	53.2	18.1
N6	0.12	81.2	16.2	7.6	29.8	100.9	50.8	26.8
N7	0.11	73.2	15.8	8.3	27.2	89.0	51.4	24.5
N8	0.03	17.6	3.8	3.8	22.4	23.1	23.1	5.2
N9	0.07	44.2	6.5	6.5	22.8	48.3	48.3	13.8
N10	0.05	37.5	4.2	4.2	23.5	39.9	39.9	10.1
N11	0.13	54.5	9.7	9.7	22.3	65.2	65.2	14.2
N12	0.04	24.3	4.5	4.5	19.4	32.2	32.2	6.4
N13	0.07	39.4	6.8	6.8	21.5	51.8	51.8	11.5
N14	0.13	61.1	10.9	8.2	23.4	72.5	55.7	19.6
N15	0.13	76.2	18.4	8.4	26.6	101.1	51.4	26.2
N16	0.17	70.2	19.0	8.5	28.9	100.0	50.9	25.7
N17	0.14	87.1	24.6	8.7	29.3	122.5	50.9	33.0

* Cu-Li, Zn-Li : Li값을 사용하여 보정된 중금속 농도

<표 3.3-24> 계 속(2019년 동계)

주의기준	0.75	116.0	-	20.6	44.0	-	68.4	47.2
	Cd	Cr	Cu	Cu-Li	Pb	Zn	Zn-Li	Ni
정점	(mg/kg)							
N18	0.24	94.2	33.9	9.4	30.7	130.9	48.2	36.5
N19	0.04	24.2	3.8	3.8	19.5	26.1	26.1	6.3
N20	0.12	66.6	13.1	8.9	25.3	88.8	61.6	20.5
N21	0.13	67.1	15.6	8.5	27.0	90.3	53.0	23.2
N22	0.05	42.0	5.4	5.4	21.5	44.5	44.5	9.5
N23	0.15	66.9	14.1	8.5	28.8	91.8	57.7	21.0
N24	0.10	64.8	12.2	9.2	31.9	72.5	56.8	19.9
N25	0.22	80.5	24.6	9.7	33.5	121.0	55.3	29.7
N26	0.07	40.8	7.2	7.2	26.1	49.1	49.1	11.5
N27	0.06	38.5	7.4	7.4	25.3	51.1	51.1	12.1
H1	0.07	46.6	11.0	11.0	24.6	57.4	57.4	16.9
H2	0.12	78.6	20.1	9.2	27.7	99.9	52.4	26.6
H3	0.12	40.6	12.8	12.0	33.7	72.7	68.5	14.4
최소	0.03	12.0	2.1	2.1	19.4	16.8	16.8	3.9
최대	0.24	94.2	33.9	12.0	33.7	130.9	68.5	36.5
평균	0.11	56.0	12.9	7.7	26.2	73.8	49.3	18.5

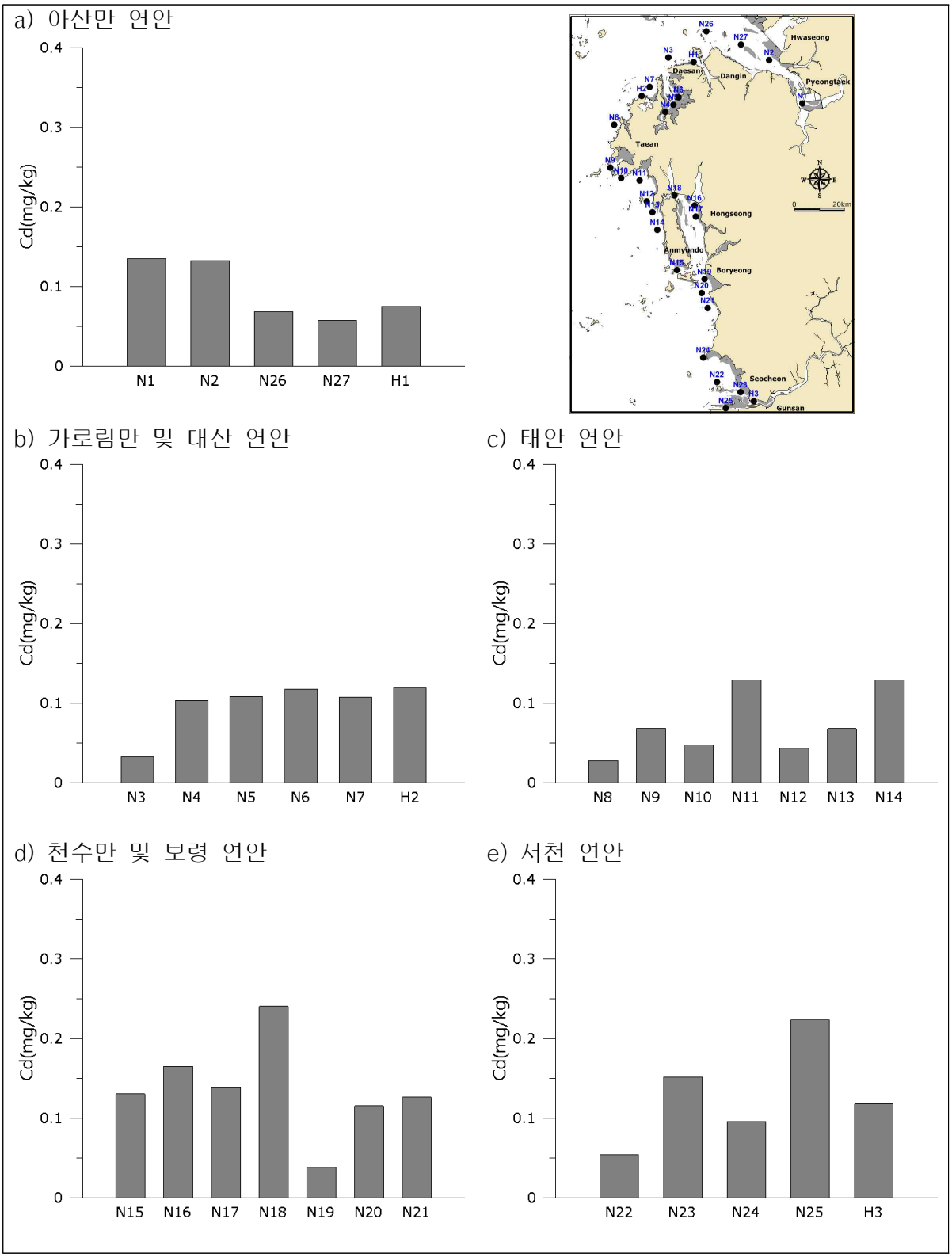
* Cu-Li, Zn-Li : Li값을 사용하여 보정된 중금속 농도

<표 3.3-24> 계 속(2019년 동계)

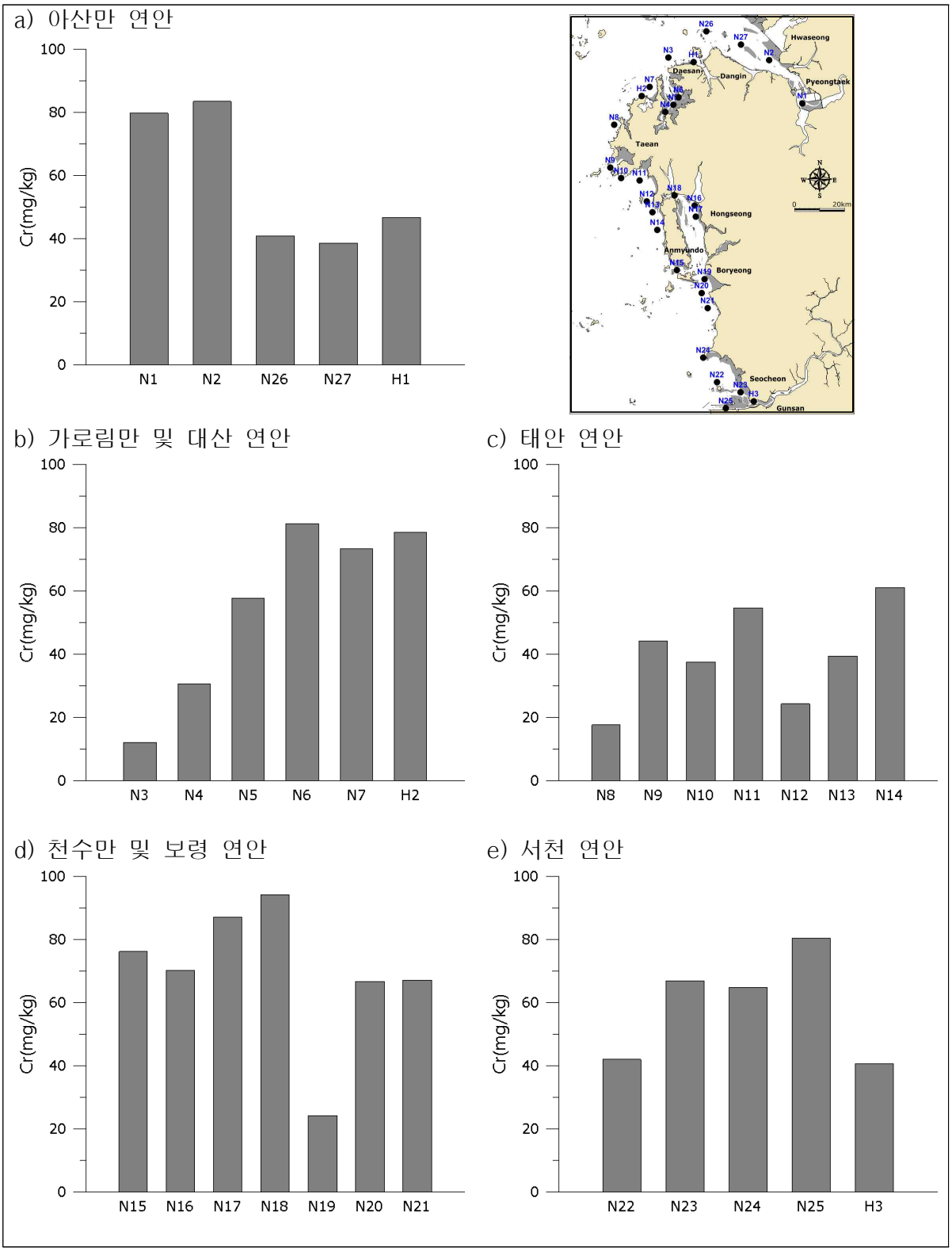
주의기준	-	-	-	14.5	110.0	-	-
	Co	Mn	Li	As	Hg	Al	Fe
정점	(㎎/㎏)				(㎍/㎏)	(%)	
N1	14.1	941.1	66.1	2.9	26.1	6.7	2.8
N2	15.4	1108.5	68.1	3.5	29.2	6.7	2.9
N3	3.1	1162.5	10.4	1.7	1.6	3.3	0.6
N4	5.2	477.9	30.3	2.3	7.2	4.0	1.1
N5	9.8	602.1	45.1	3.1	14.5	4.4	1.8
N6	13.4	443.2	62.3	3.4	20.1	6.2	2.5
N7	12.3	621.4	54.5	2.8	18.1	5.0	2.1
N8	3.5	453.0	13.0	2.5	3.8	3.0	0.7
N9	7.5	375.3	26.2	3.1	7.5	4.2	1.4
N10	7.3	272.8	20.8	2.2	4.5	3.9	1.5
N11	8.2	373.0	31.6	2.7	11.5	5.8	2.0
N12	5.7	193.6	18.1	2.3	6.5	3.2	1.3
N13	8.5	356.9	27.9	2.5	10.1	4.0	2.2
N14	10.0	410.0	41.0	2.8	15.7	5.5	2.1
N15	12.8	598.8	61.2	2.5	26.6	6.1	2.5
N16	12.3	459.2	61.5	2.3	23.4	5.9	2.4
N17	15.2	877.6	74.6	3.1	27.5	6.7	3.1

<표 3.3-24> 계 속(2019년 동계)

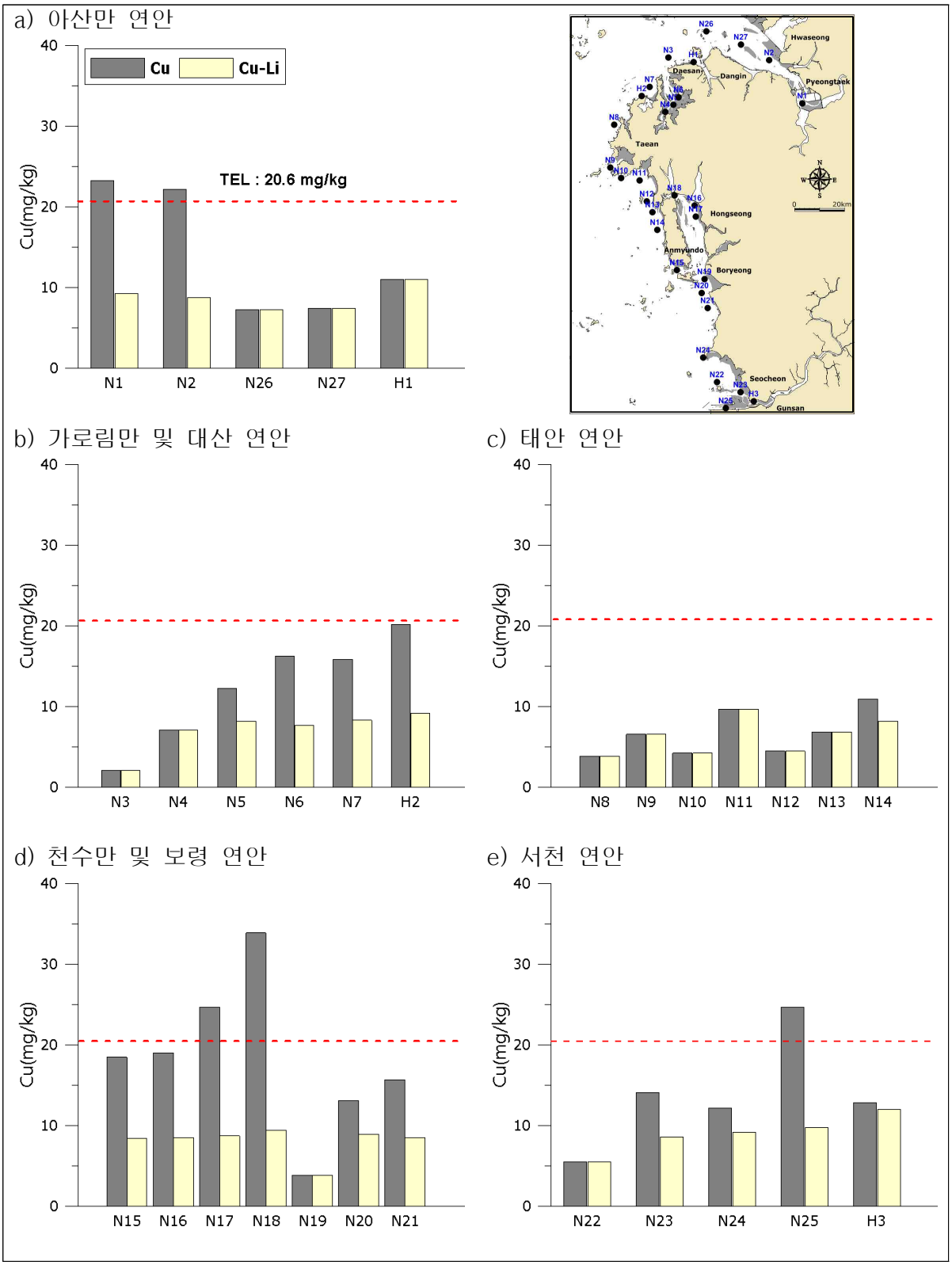
주의기준	-	-	-	14.5	110.0	-	-
	Co	Mn	Li	As	Hg	Al	Fe
정점	(㎎/kg)				(㎍/kg)	(%)	
N18	16.2	692.0	88.4	2.9	30.1	7.5	3.4
N19	3.6	198.6	15.5	1.5	4.8	3.4	0.8
N20	10.6	516.3	43.5	2.2	13.7	5.4	2.1
N21	12.7	510.2	52.7	2.7	20.5	7.2	3.0
N22	7.7	411.5	21.3	2.6	6.4	4.4	1.8
N23	11.2	901.5	48.0	2.9	14.9	6.2	2.6
N24	9.4	419.7	40.2	2.6	12.1	4.8	2.0
N25	14.0	705.4	64.5	4.3	33.9	6.1	2.5
N26	7.1	999.0	25.3	3.7	7.8	4.2	1.4
N27	7.5	1050.7	26.7	3.2	9.9	4.7	1.4
H1	9.2	510.9	30.8	2.6	11.3	4.5	1.7
H2	13.1	540.2	58.7	3.5	23.4	6.4	2.5
H3	8.9	827.6	34.4	3.9	14.7	5.1	1.9
최소	3.1	193.6	10.4	1.5	1.6	3.0	0.6
최대	16.2	1162.5	88.4	4.3	33.9	7.5	3.4
평균	9.8	600.4	42.1	2.8	15.2	5.2	2.0



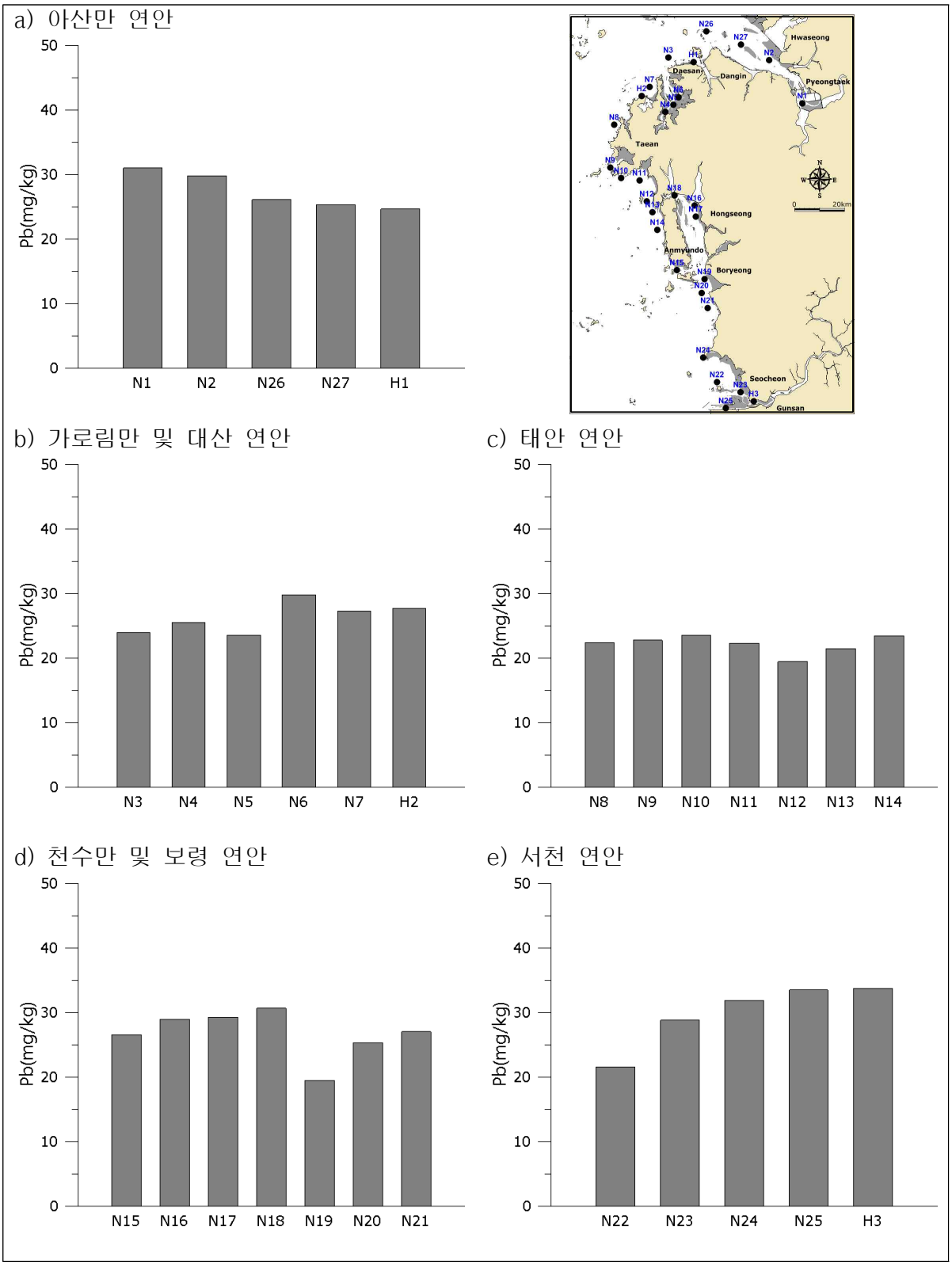
<그림 3.3-37> 해양 퇴적물의 카드뮴(Cd) 분포 특성



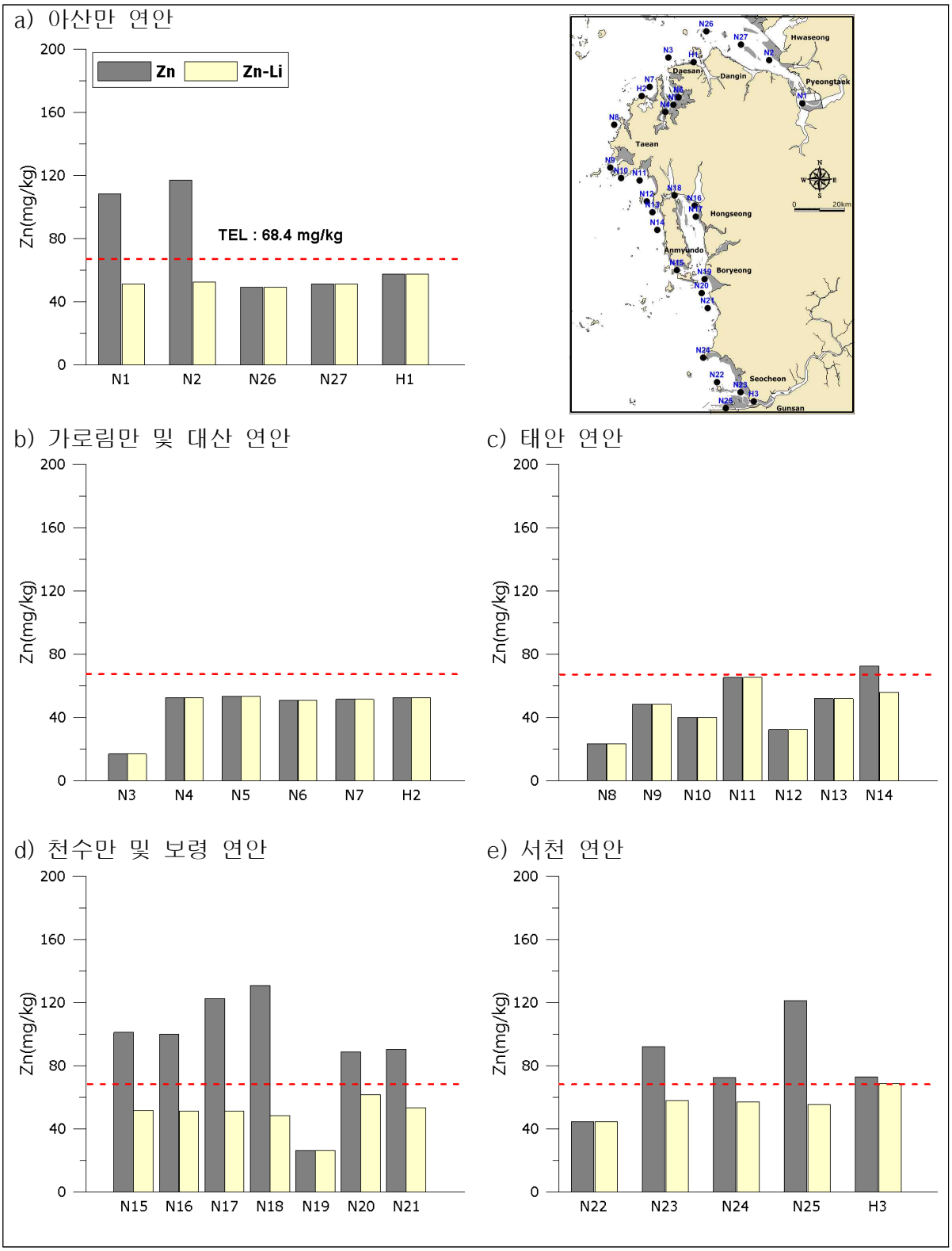
<그림 3.3-38> 해양 퇴적물의 크롬(Cr) 분포 특성



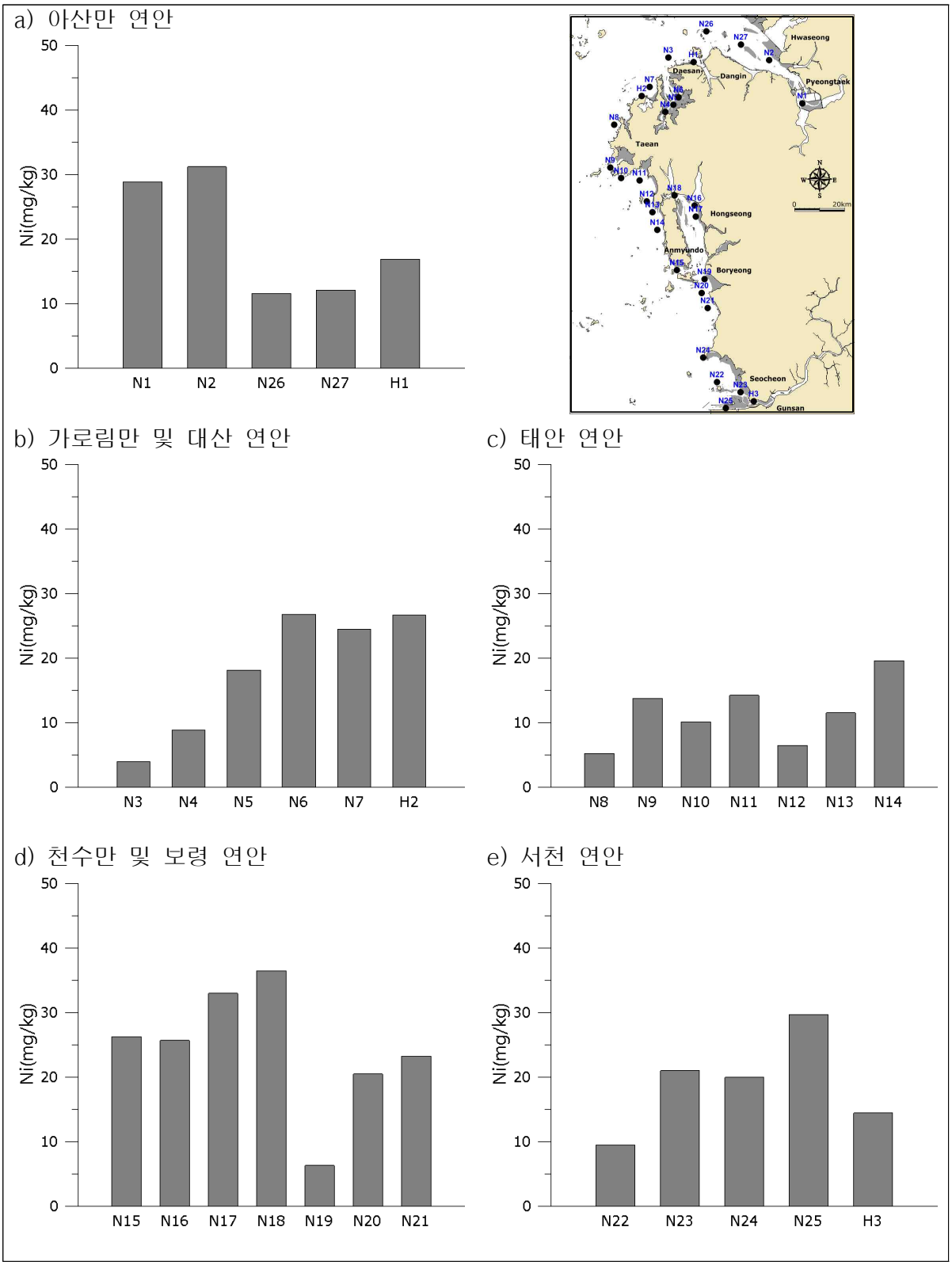
<그림 3.3-39> 해양 퇴적물의 구리(Cu) 분포 특성



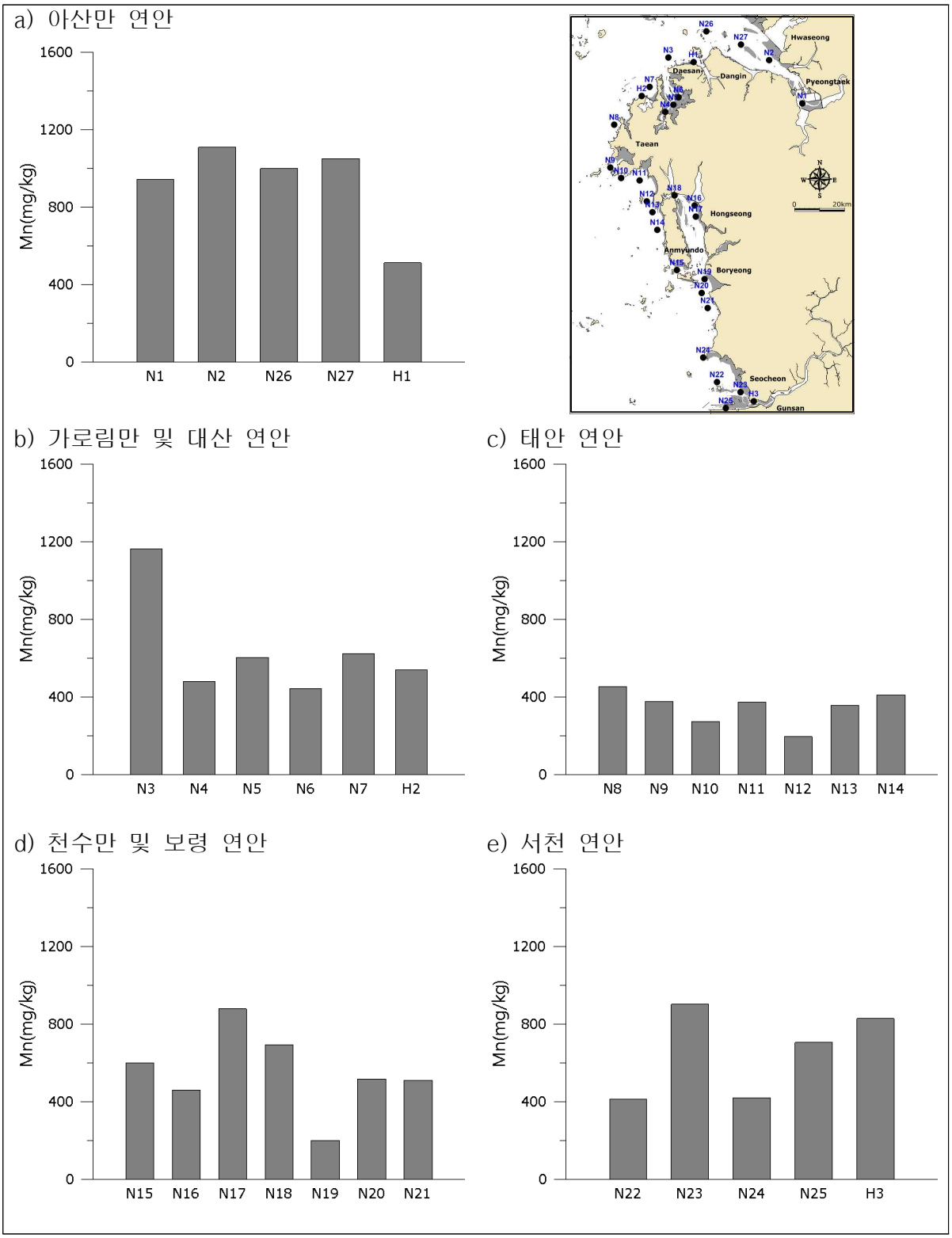
<그림 3.3-40> 해양 퇴적물의 납(Pb) 분포 특성



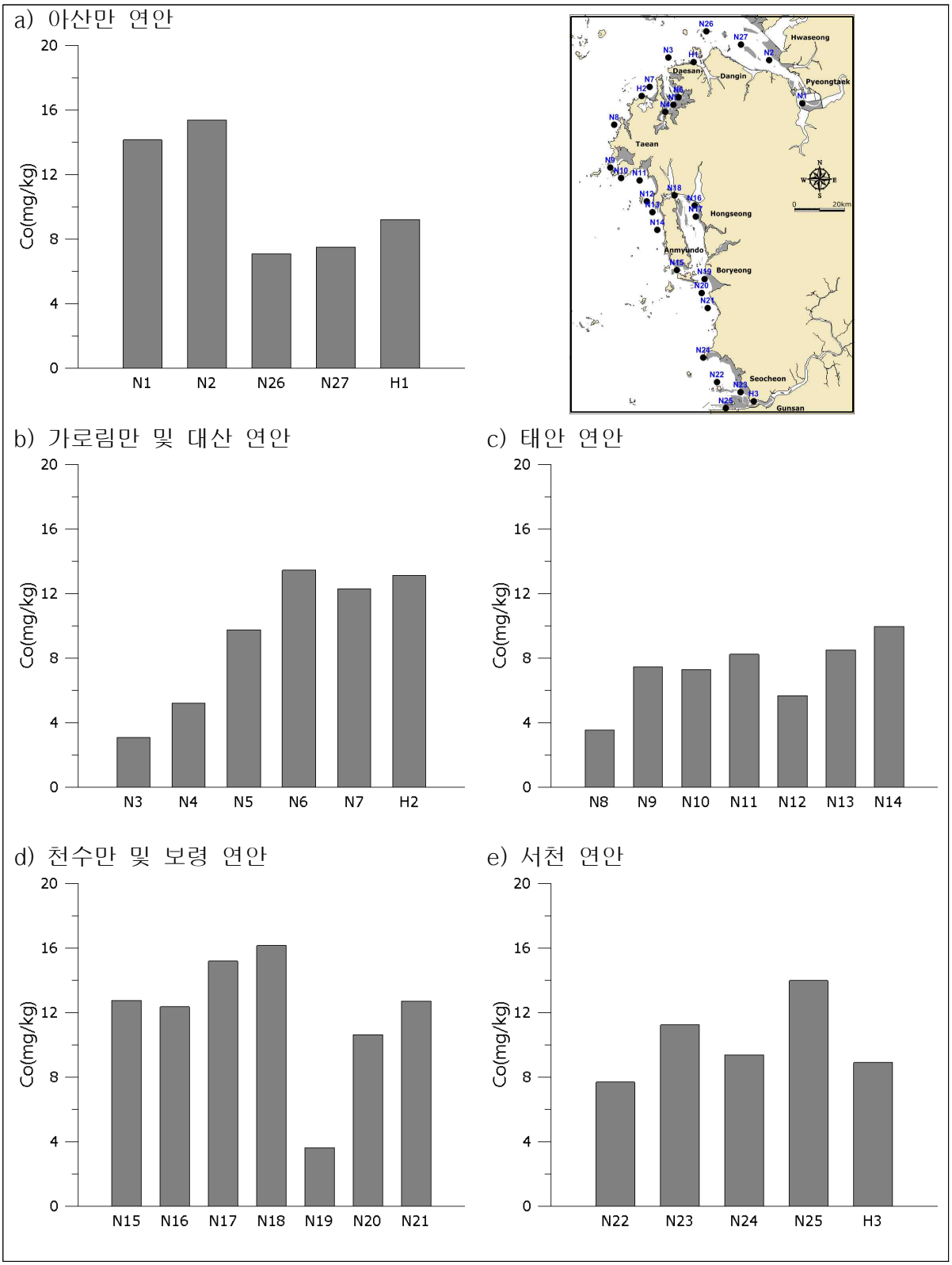
<그림 3.3-41> 해양 퇴적물의 아연(Zn) 분포 특성



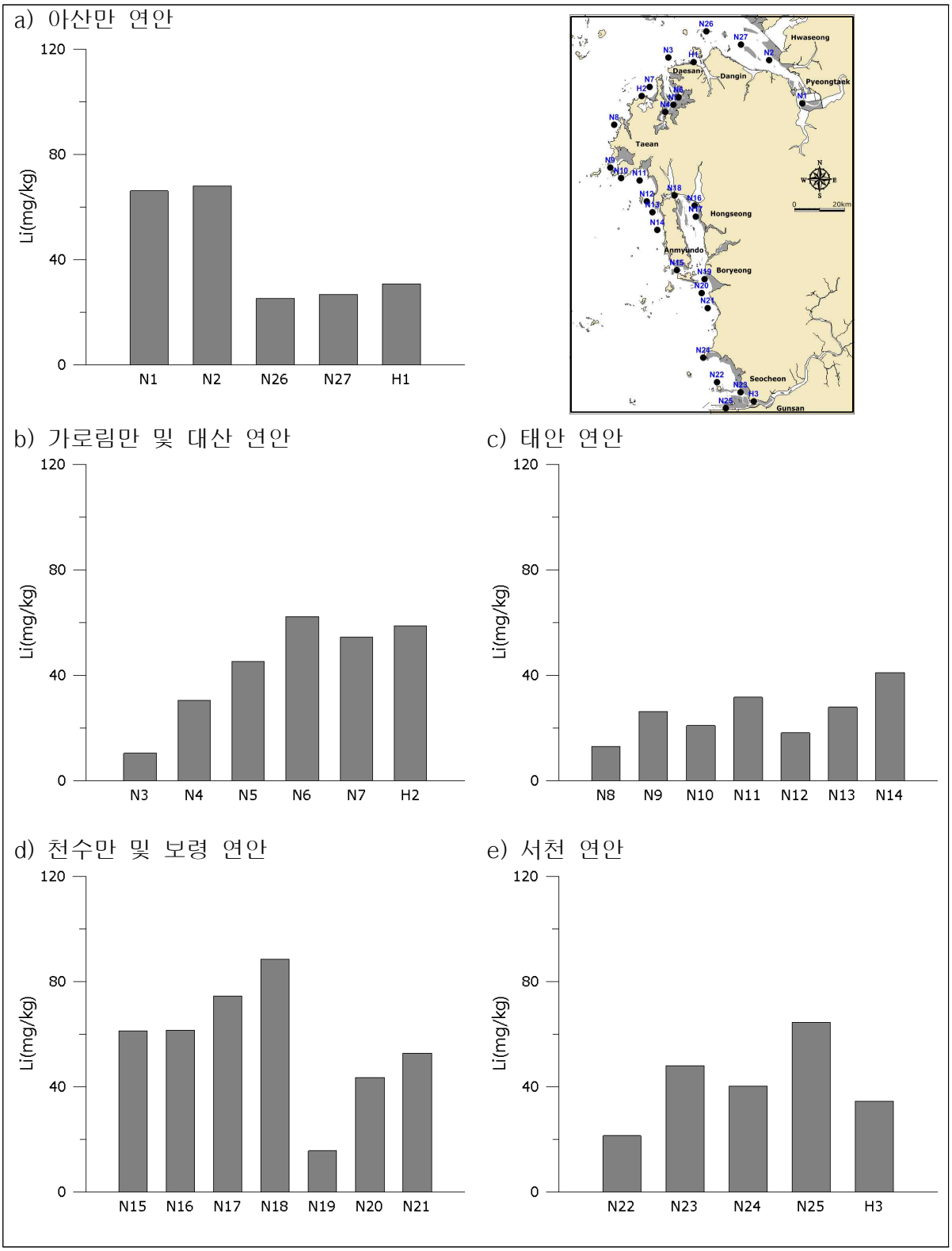
<그림 3.3-42> 해양 퇴적물의 니켈(Ni) 분포 특성



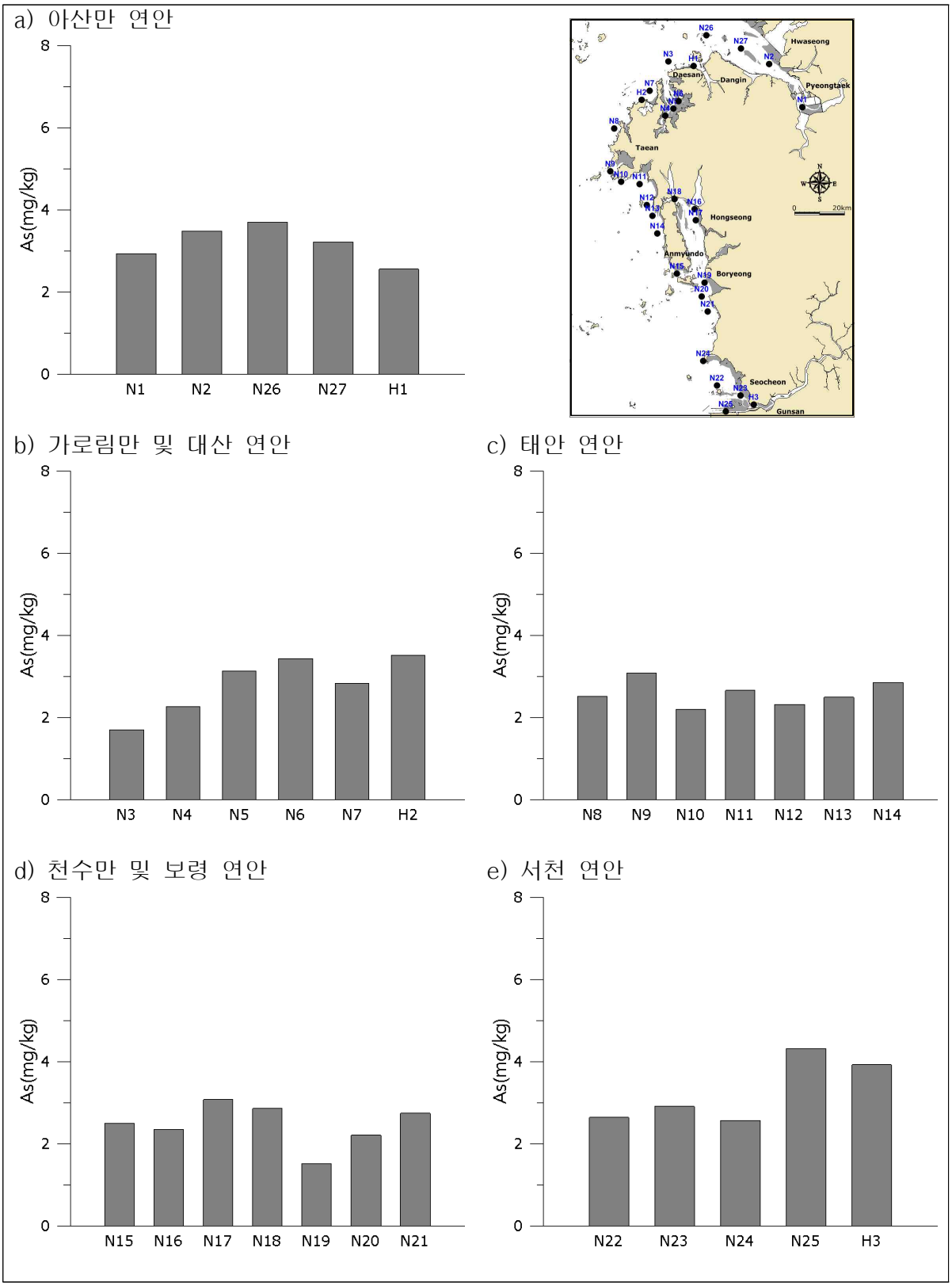
<그림 3.3-43> 해양 퇴적물의 망간(Mn) 분포 특성



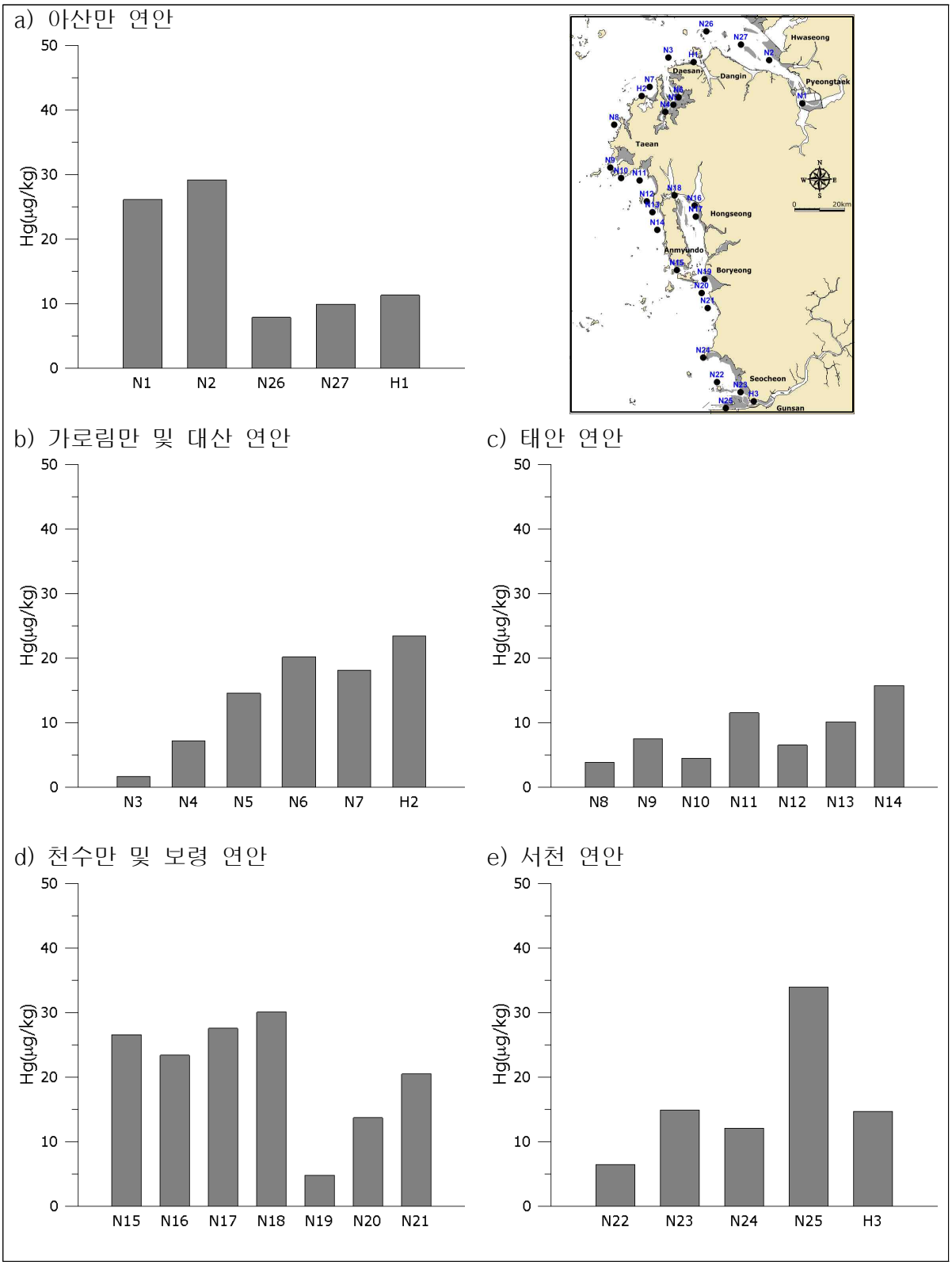
<그림 3.3-44> 해양 퇴적물의 코발트(Co) 분포 특성



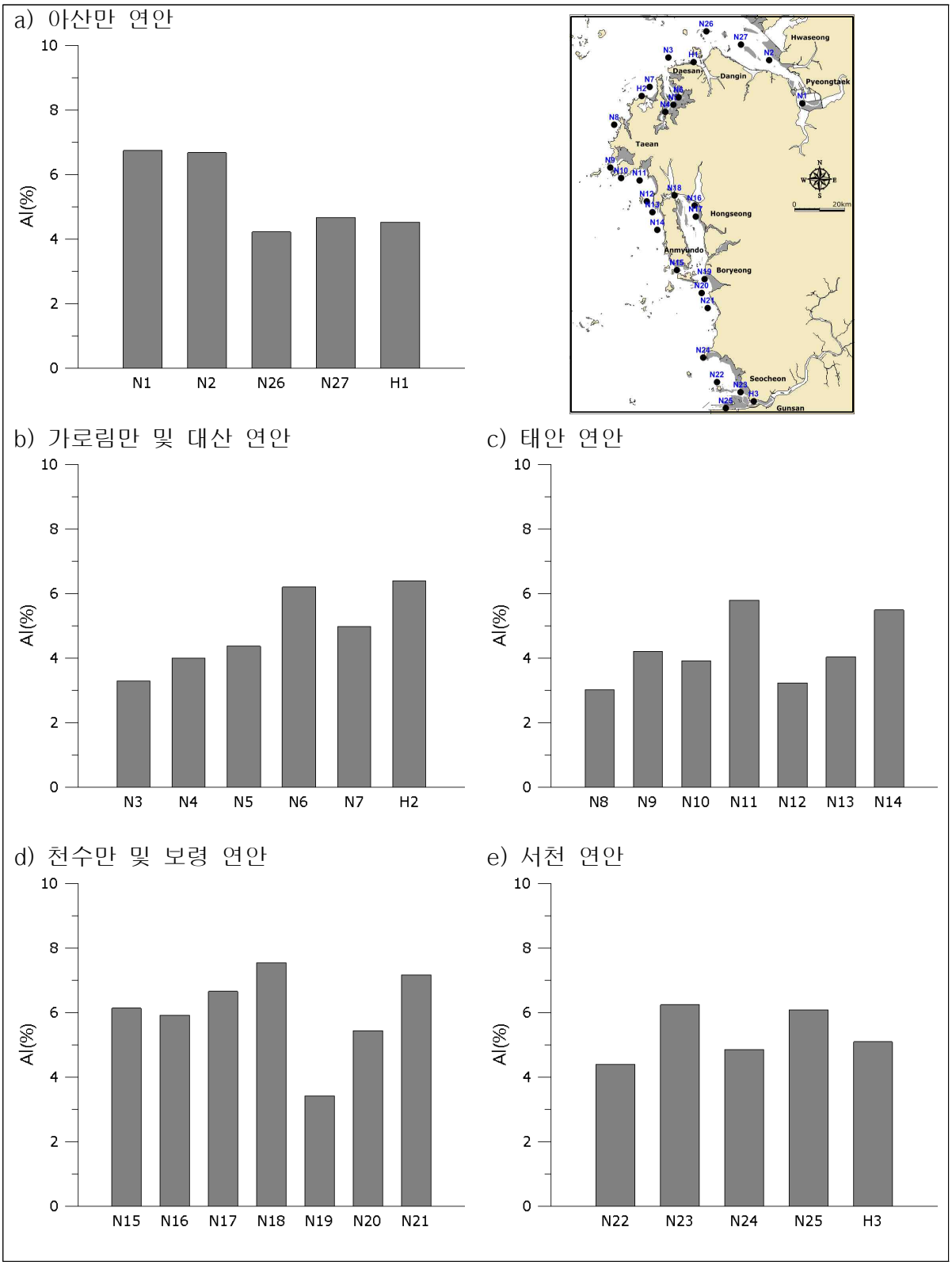
<그림 3.3-45> 해양 퇴적물의 리튬(Li) 분포 특성



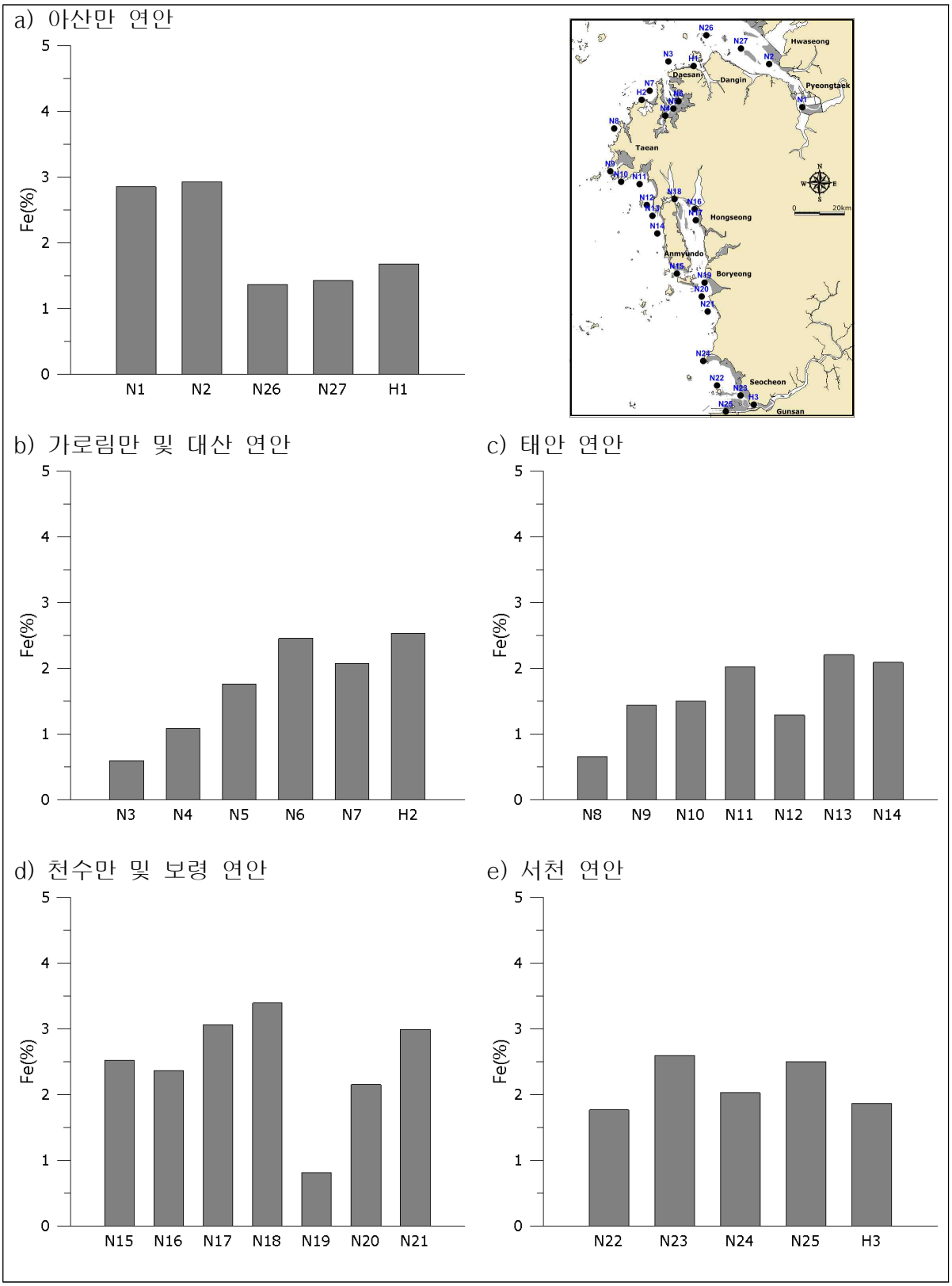
<그림 3.3-46> 해양 퇴적물의 비소(As) 분포 특성



<그림 3.3-47> 해양 퇴적물의 수은(Hg) 분포 특성



<그림 3.3-48> 해양 퇴적물의 알루미늄(Al) 분포 특성



<그림 3.3-49> 해양 퇴적물의 철(Fe) 분포 특성

아. 상관성 분석 및 국내·외 환경 기준과의 비교

- 조사해역의 퇴적물내 미량금속의 공간적 분포를 조절하는 요인을 파악하기 위해 평균 입경과 중금속의 상관 분석을 파악하였고, 그 결과를 <표 3.3-25>와 <그림 3.3-50>에 제시하였으며, 해양 퇴적물의 국내 환경 기준을 <표 3.3-26>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). 상관분석 결과 5단계로 구분되며 0~0.2는 매우 낮은 상관성, 0.2~0.4는 낮은 상관성, 0.4~0.7은 양호한 상관성, 0.7~0.9는 높은 상관성, 0.9~1.0은 매우 높은 상관성으로 알려져 있다.
- 금회 조사에서 평균 입도와 유기물 항목, 중금속 원소의 상관성을 살펴 본 결과, 납(Pb)과 비소(As)를 제외하면 대부분의 중금속이 평균 입도와 좋은 상관성 보여, 조사 해역의 중금속은 퇴적물 입도와 유기물의 함량이 주된 영향인 것으로 조사되었다.
- 퇴적물 내 중금속의 오염도를 살펴보기 위해 해양환경기준(해양수산부, 2018)과 비교하였다. 국내 해양환경기준은 총 6개의 중금속에 대하여 연안퇴적물의 배경농도 및 생물영향 등을 고려하여 퇴적물 오염기준인 주의기준과 관리기준을 설정하였다. 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)은 측정된 퇴적물 내 중금속 원소의 농도를 직접 비교하지만, 구리(Cu)와 아연(Zn)은 입도보정을 위하여 리튬(Li)으로 입도에 의한 영향을 보정한 뒤 평가하도록 되어 있다.
- 금회 조사에서 대부분의 항목이 해양환경기준의 주의기준(부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위) 이하로 조사되었다. 아연(Zn)의 경우 정점 H3에서 주의기준을 초과하였으며, 관리기준 보다는 낮은 것으로 조사되었다.

<표 3.3-25> 해양 퇴적물 항목의 상관분석 결과(2019년 동계)

	Mz	IL	COD	TOC	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Li	As	Hg
Mz	1.0											
IL	0.8	1.0										
COD	0.8	0.8	1.0									
TOC	0.9	0.9	1.0	1.0								
Cd	0.8	0.7	0.9	0.9	1.0							
Cr	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	1.0						
Cu	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0					
Pb	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0				
Zn	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0			
Li	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.7	1.0	1.0		
As	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	1.0	
Hg	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.7	1.0	1.0	0.5	1.0

<표 3.3-26> 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2018-10)

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	(㎎/㎏)							
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

(1) 주의기준 (Threshold Effects Level, TEL): 부정적인 생태 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도

(2) 관리기준 (Probable Effects Level, PEL): 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도

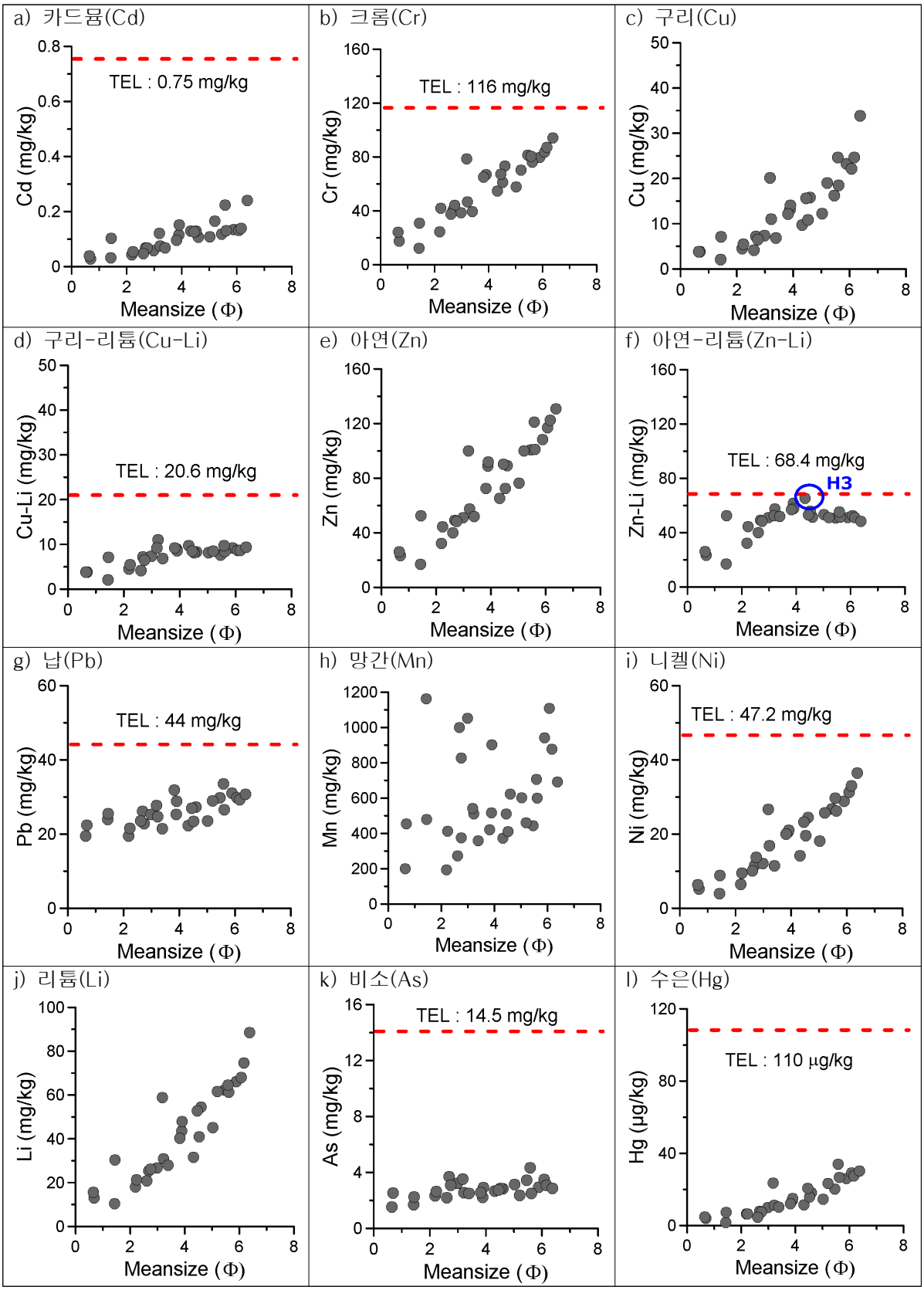
(3) 적용 방법 : 금속 농도가 입자 크기에 따라 변화하므로 입자 크기의 변화를 나타낼 수 있는 금속 (Li)을 사용하여 보정된 금속 농도를 사용

- As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb는 시료와 각 기준 농도를 직접 비교
- Cu, Zn은 시료의 Li으로 측정 농도를 입도 보정하여 기준 농도와 비교

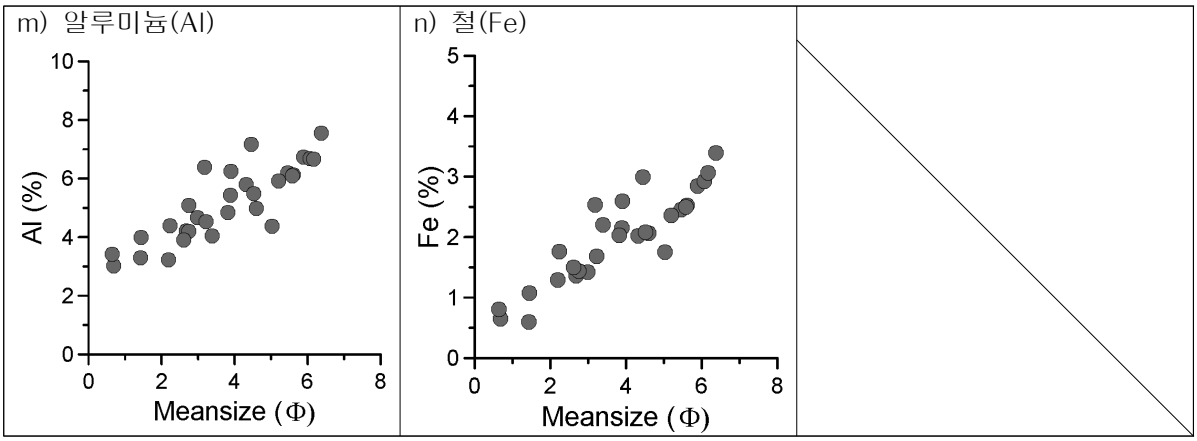
$$\text{입도보정한 } Cu \text{ 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 } Cu \text{ 농도} - 4.10}{\text{시료의 } Li \text{ 농도} - 21.2}\right) \times 11.9\right) + 4.10$$

$$\text{입도보정한 } Zn \text{ 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 } Zn \text{ 농도} - 30.4}{\text{시료의 } Li \text{ 농도} - 21.2}\right) \times 11.9\right) + 30.4$$

- 만일 시료의 Li이 33.1 ppm 이하이거나 입도보정 농도가 음의 값을 보일 경우 별도의 입도보정 없이 주의기준과 관리기준에 직접 비교



<그림 3.3-50> 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교



<그림 3.3-50> 계 속

자. 오염도 평가

1) 농축계수(enrichment factor : EF)

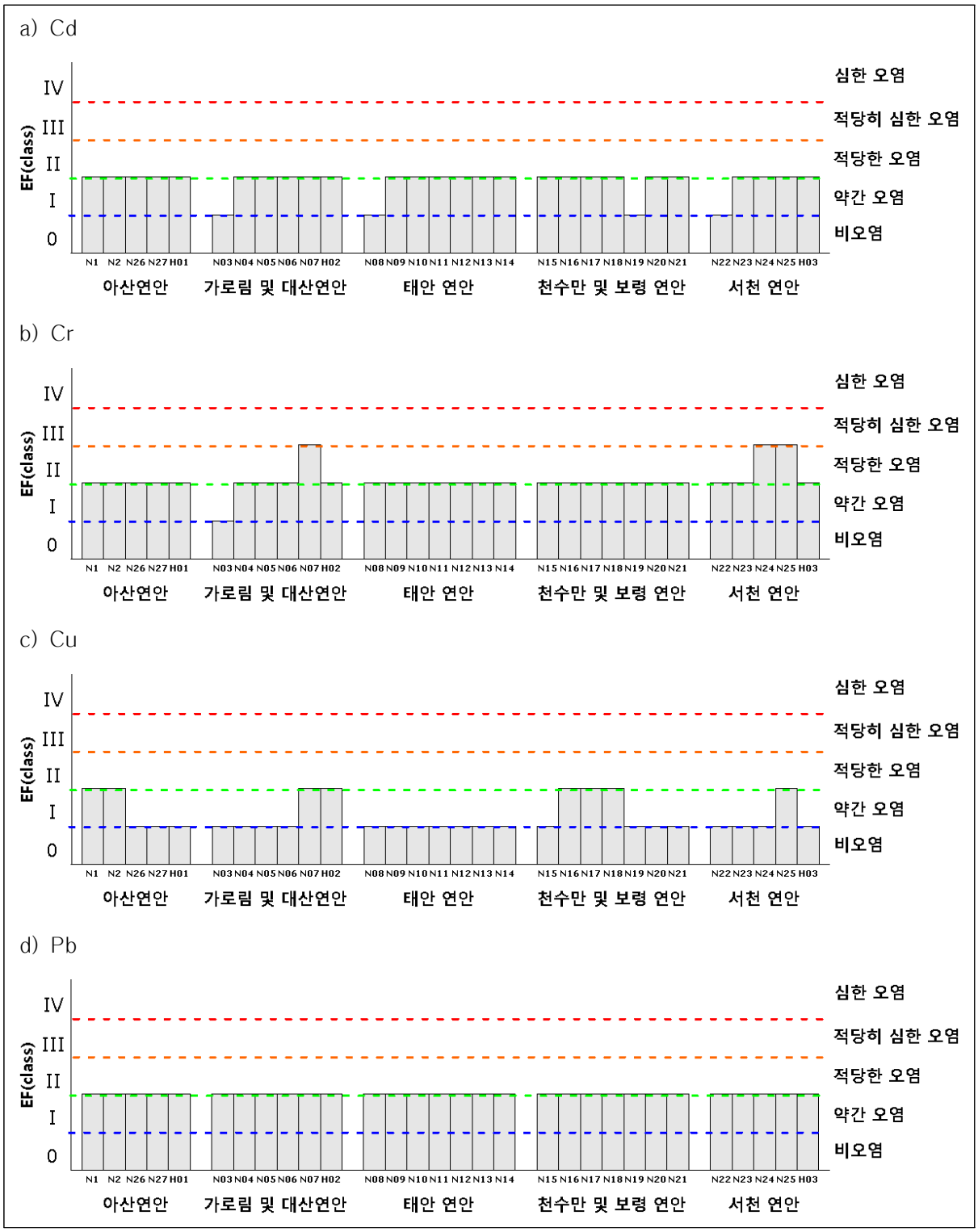
- 일반적으로 오염은 환경 내 매질 중 구성성분의 농도가 자연 상태에 존재하는 농도보다 높아져 있거나 생물에 악영향을 미치는 상태를 의미한다. 농축계수는 지각물질 중에 풍부하고 보전적인 성질을 가진 원소인 Al 혹은 Fe을 표준화 성분으로 사용하여 점토광물의 구성비율과 연구지역내 미량금속의 구성비를 이용하여 각 중금속의 농축 정도를 평가하는 방법이다(Choi *et al.*, 2010, Hwang and Kim. 2011).
-
- $$EF = \frac{(Metal/Al)_{sample}}{(Metal/Al)_{background}}$$
-
- 여기서 $(Metal/Al)_{sample}$는 연구 지역 내 퇴적물 중 Al에 대한 각 미량금속의 농도비, $(Metal/Al)_{background}$는 지각 내 알루미늄(Al)에 대한 각 미량금속의 농도비를 의미한다. 금회 조사에서는 Background 값을 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995)이 보고한 전 세계 연안 대륙붕지역의 퇴적물 내 중금속의 농도를 이용했다.
- 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 Lui, 2002). 최근에는 농축계수의 값을 세분화 하여 오염을 평가 하였으며, 평가 기준은 <표 3.3-27>에 제시하였다(Birth, 2003; Chen *et al.*, 2007).
- 금회 조사에서 농축계수는 오염되지 않은 상태(no enrichment)에서 적당한 오염 상태(moderately enrichment)로 나타났다(<표 3.3-28>).
- 농축계수로 퇴적물 내 중금속의 오염도를 평가 한 결과 크롬(Cr)은 3개 정점, 비소(As)는 13개 정점에서 적당한 오염 상태로 나타났으나, 대부분의 정점에서 약간 오염 및 오염되지 않은 상태를 보여, 조사 해역에서 퇴적물 내 중금속에 대한 오염도는 일부 항목을 제외하면 낮은 것으로 조사되었다(<그림 3.3-51>, <그림 3.3-52>).

<표 3.3-27> 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

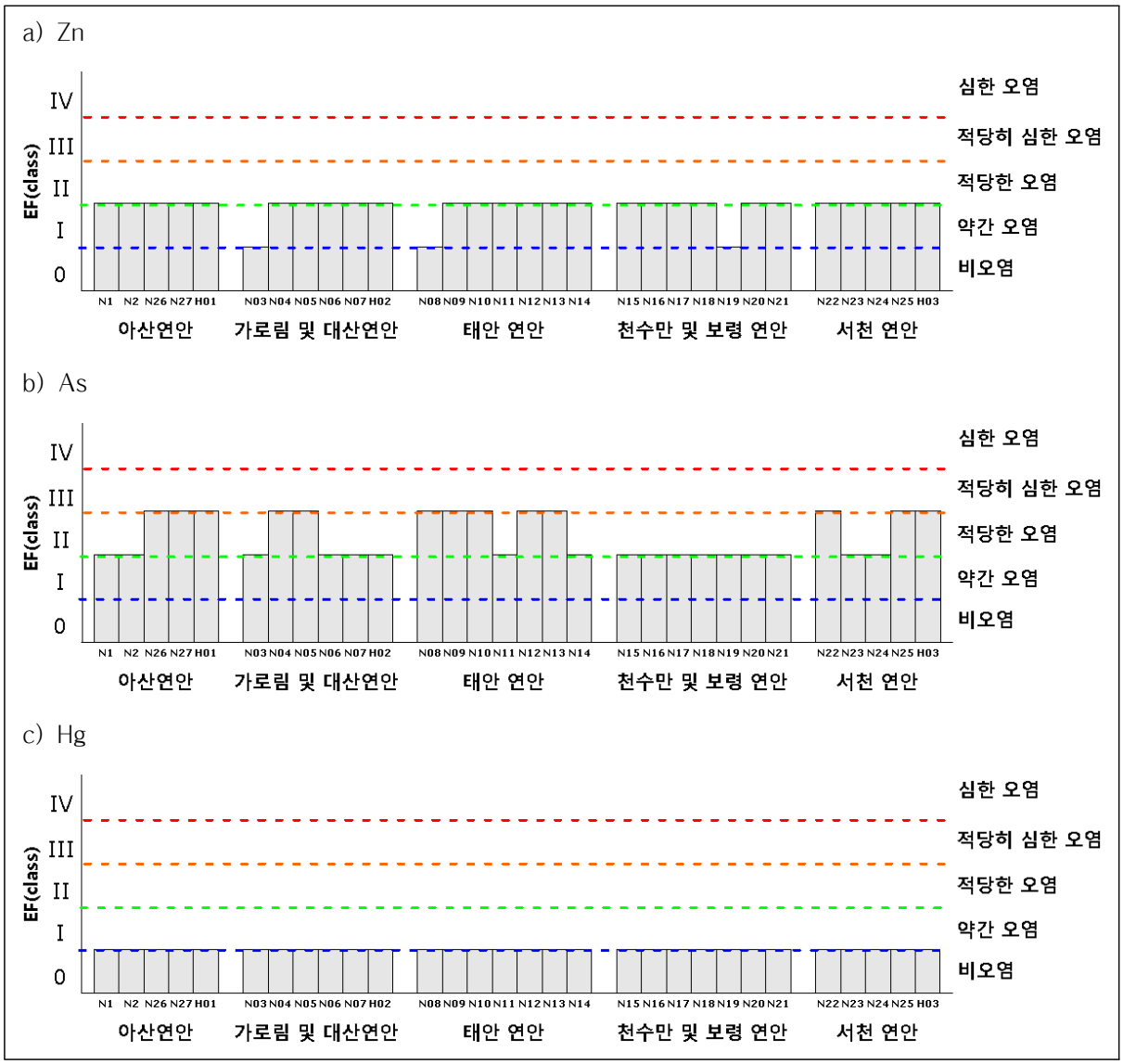
EF	Class	등급
> 50	6	극히 심한 오염 상태 (Extremely severe enrichment)
25-50	5	매우 심한 오염 상태 (Very severe enrichment)
10-25	4	심한 오염 상태 (Severe enrichment)
5-10	3	적당히 심한 오염 상태 (moderately severe enrichment)
3-5	2	적당한 오염 상태 (moderate enrichment)
1-3	1	약간 오염 상태 (minor enrichment)
< 1	0	오염되지 않은 상태 (no enrichment)

<표 3.3-28> 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2019년 동계)

EF	Class	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
> 50	6	0	0	0	0	0	0	0
25-50	5	0	0	0	0	0	0	0
10-25	4	0	0	0	0	0	0	0
5-10	3	0	0	0	0	0	0	0
3-5	2	0	3	0	0	0	13	0
1-3	1	26	26	8	30	27	17	0
< 1	0	4	1	22	0	3	0	30



<그림 3.3-51> 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb)의 정점별 농축계수(EF)



<그림 3.3-52> 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.

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

-

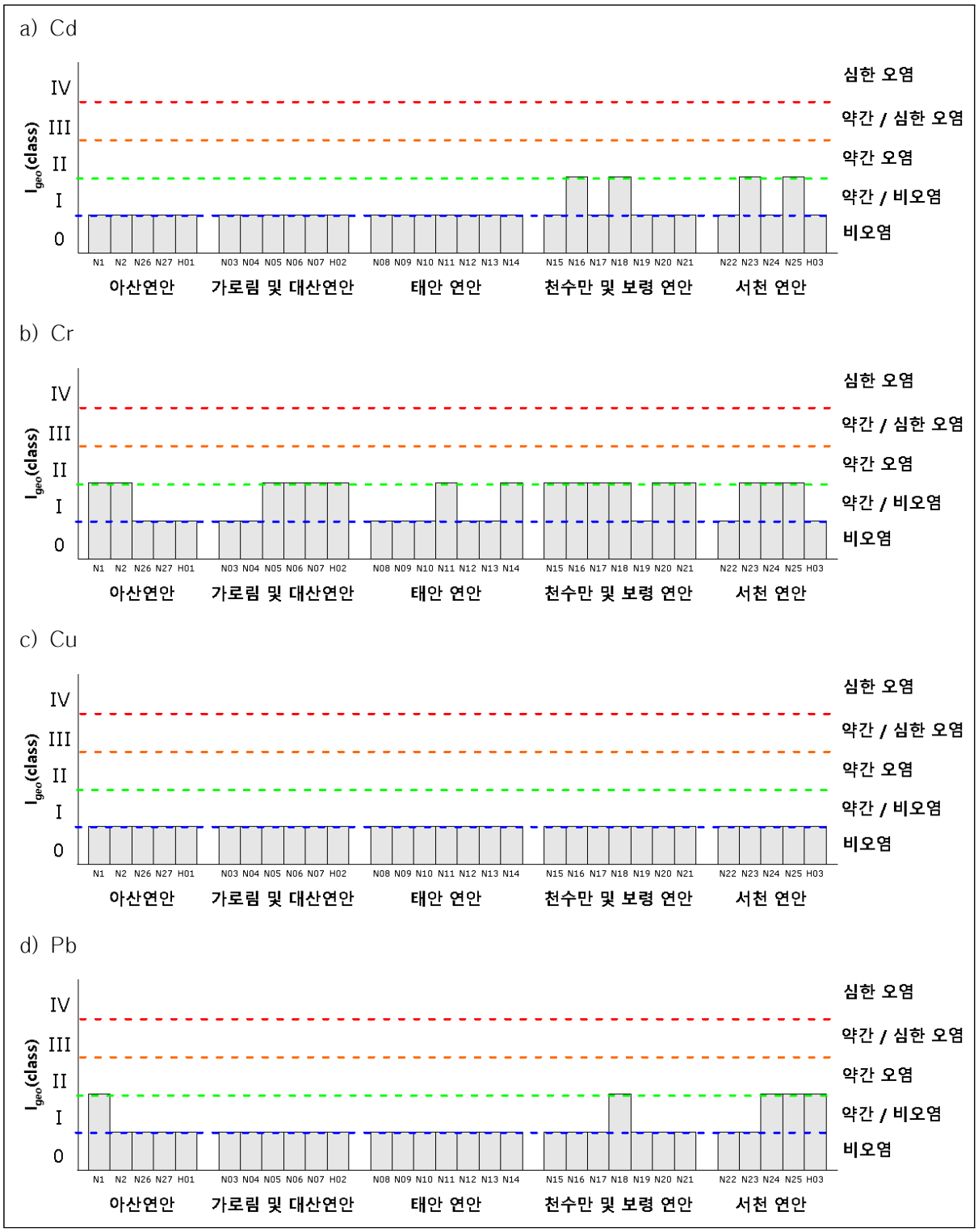
- 여기서 C_n은 측정된 퇴적물 내 중금속의 농도이며, 지수 1.5는 지각 기원에 의한 영향을 보정하기 위해 사용되었고, B_n은 미량 금속의 바탕농도(background)이다. 금회 조사에서는 Background 값을 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995)이 보고한 전 세계 연안 대륙붕 지역의 퇴적물 내 중금속의 농도를 이용했다. 농집지수는 각 중금속 원소에 대하여 총 7개의 class로 구분하여 오염여부를 세분화 하고 있으며, <표 3.3-29>에 제시하였다.
- 금회 조사에서는 비오염(Practically unpolluted) 수준에서 약간 오염/비오염(Practically unpolluted/moderately polluted) 수준으로 조사되었다. 카드뮴(Cd)은 4개 정점, 크롬(Cr)은 17개 정점, 납(Pb)과 아연(Zn)은 5개 정점, 비소(As)는 26개 정점에서 약간 오염/비오염 수준을 보였으며, 나머지 항목들은 비오염 수준으로 나타났다(<표 3.3-30>). 금회 조사에서 대부분의 항목이 비오염 수준으로 나타나 조사 해역의 오염도는 일부 항목을 제외하면 낮은 것으로 조사되었다(<그림 3.3-53>, <그림 3.3-54>).

<표 3.3-29> 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

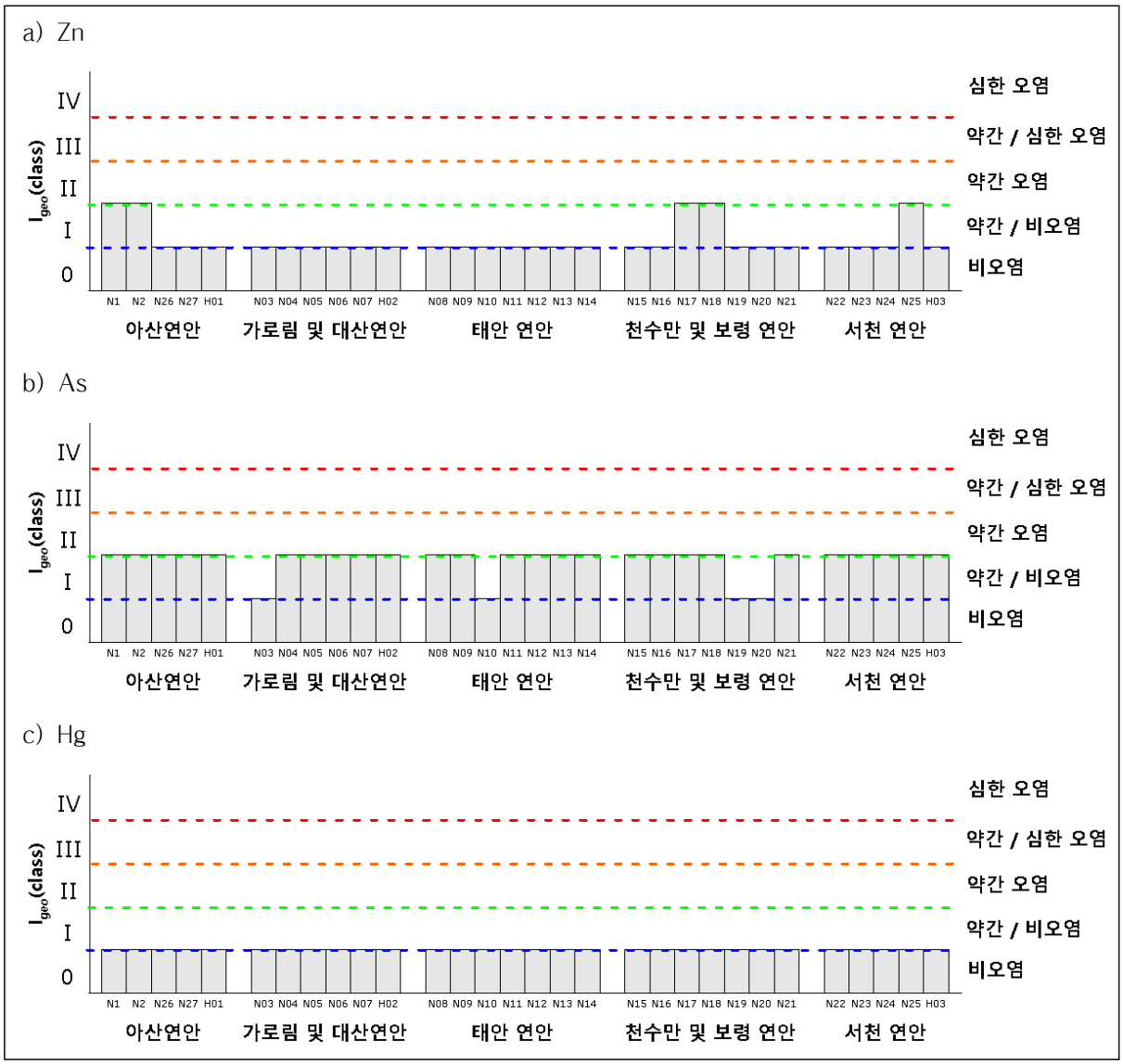
I_{geo}	Class	등급
>5	7	매우 심한 오염 (Very Strong polluted)
4-5	6	심한 오염/매우 심한 오염 (Strong/Very strong polluted)
3-4	5	심한 오염 수준 (Strong polluted)
2-3	4	약간 오염/심한 오염 수준 (Moderately/strongly polluted)
1-2	3	약간 오염 수준 (Moderately polluted)
0-1	2	약간 오염/비오염 수준 (Practically unpolluted/moderately polluted)
0	1	비오염 수준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

<표 3.3-30> 해양퇴적물 내 농집지수(2019년 동계)

I_{geo}	Class	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
>5	6	0	0	0	0	0	0	0
4-5	5	0	0	0	0	0	0	0
3-4	4	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	0	0	0	0	0
0-1	1	4	17	0	5	5	26	0
0	0	26	13	30	25	25	4	30



<그림 3.3-53> 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb)의 정점별 농집지수(I_{geo})

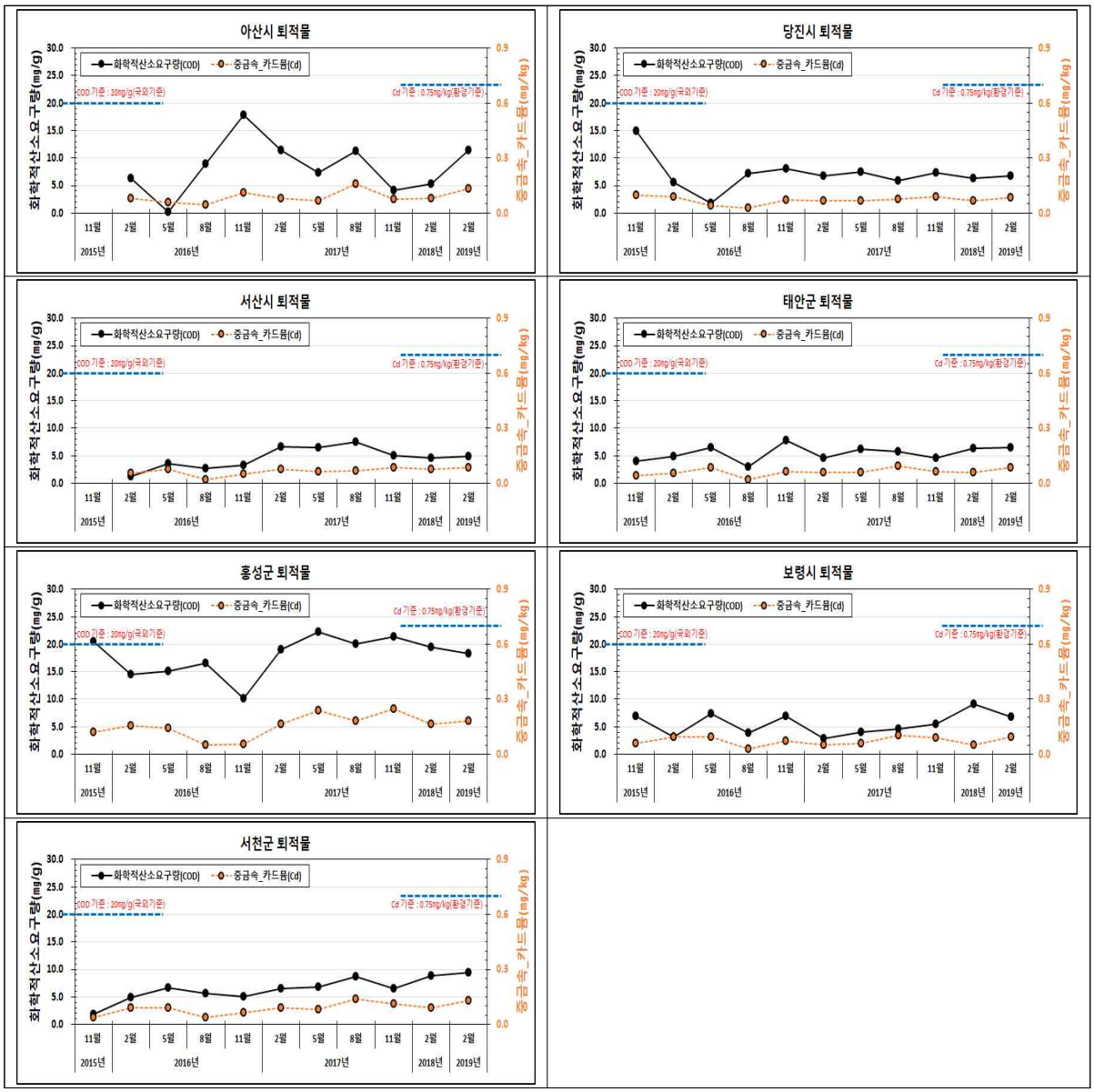


<그림 3.3-54> 아연(Zn), 비소(As), 크롬(Cr)의 정점별 농집지수(I_{geo})

3.3.4 지역별, 연차별 퇴적물 결과 분석

가. 서해안 연안모니터링 퇴적물 분석 결과

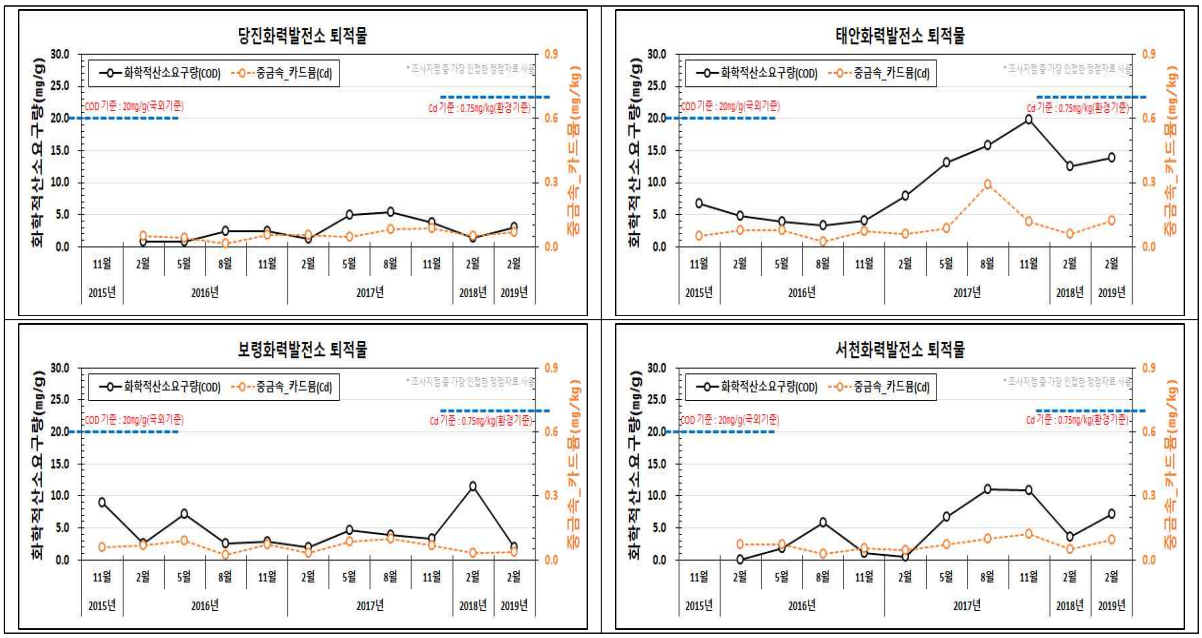
- 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 유기물오염정도를 나타내는 척도로서 국내 기준이 제시되어 있지 않아, 일본 수산자원협회에서 설정한 기준(환경기준: 20㎎/g)을 사용하였다.
- 충청남도 서해안 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)를 지역별로 살펴보면 아산시(아산만), 홍성군(천수만)같은 반폐쇄성 만에서 환경기준을 상회하는 것으로 분석되었으며, 대부분 지역은 환경기준을 하회하는 것으로 나타났다(그림 3.3-55).
- 해양퇴적물의 중금속 중 카드뮴(Cd)을 대표적으로 나타냈으며, 해양환경관리법의 퇴적물 내 카드뮴의 해양환경기준은 0.75㎎/㎏이다.
- 특히, 홍성군(천수만 지역)의 연차별 화학적산소요구량과 카드뮴(Cd)농도 변화를 보면 화학적산소요구량은 2017년부터 기준치와 비슷하거나 그 이상을 초과하는 특성을 보이고 있고 유기물 농도가 상승함에 따라 중금속(카드뮴)의 농도 또한 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 중금속 카드뮴(Cd) 농도는 기준치에 한참 하회하는 수준이었다(그림 3.3-55).
- 이러한 특성을 미루어 보아 천수만 내측(홍성군) 지역에서는 유기물이 지속적으로 유입되고 있으면 유입된 유기물은 확산되면서 농도가 희석되는 것보다 해저로 침전한 후 퇴적되어 퇴적물 내 유기물 농도를 증가시키고 있는 것으로 판단된다.
- 아산만 해역에서의 저층퇴적물 유기오염물질 농도가 타지역에 비해 높게 나타났으며, 2016년 이래로 상승하는 추세가 보인다. 그러나 기준치를 초과하는 수준은 아니어서 지속적인 모니터링이 필요하다.



<그림 3.3-55> 지역별, 연차별 해양퇴적물 시계열 분석 결과

나. 화력발전소 주변 퇴적물 분석 결과

- 화력발전소 주변 퇴적물 분석결과는 본 과업에서 수행한 정기조사 정점 중 화력발전소에 가장 인접한 정점을 분석하였다(그림 3.3-56).
- 각 분석 항목은 지역별 퇴적물 분석항목과 동일하며, 환경기준도 동일하게 설정하였다.
- 화력발전소 주변 지역의 화학적산소요구량(COD) 농도는 태안화력발전소 주변에서 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났으나, 환경기준(20㎎/g)에는 하회하는 수준으로 나타났다.
- 또한, 중금속의 카드뮴(Cd)농도도 기준치를 하회하는 것으로 나타났다.



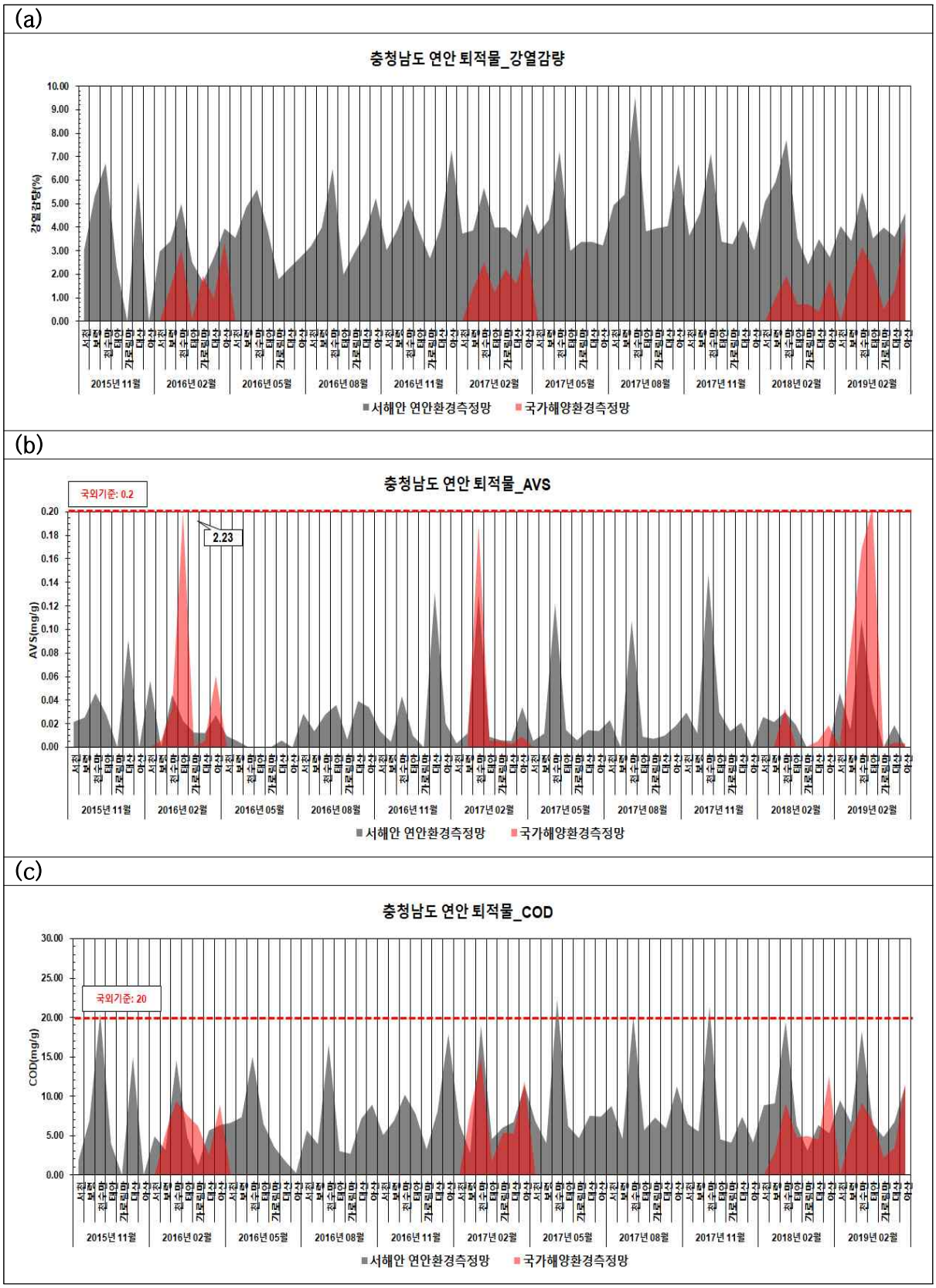
<그림 3.3-56> 화력발전소 주변 퇴적물 시계열 분석 결과

다. 국가해양환경측정망과의 퇴적물 비교 분석 결과

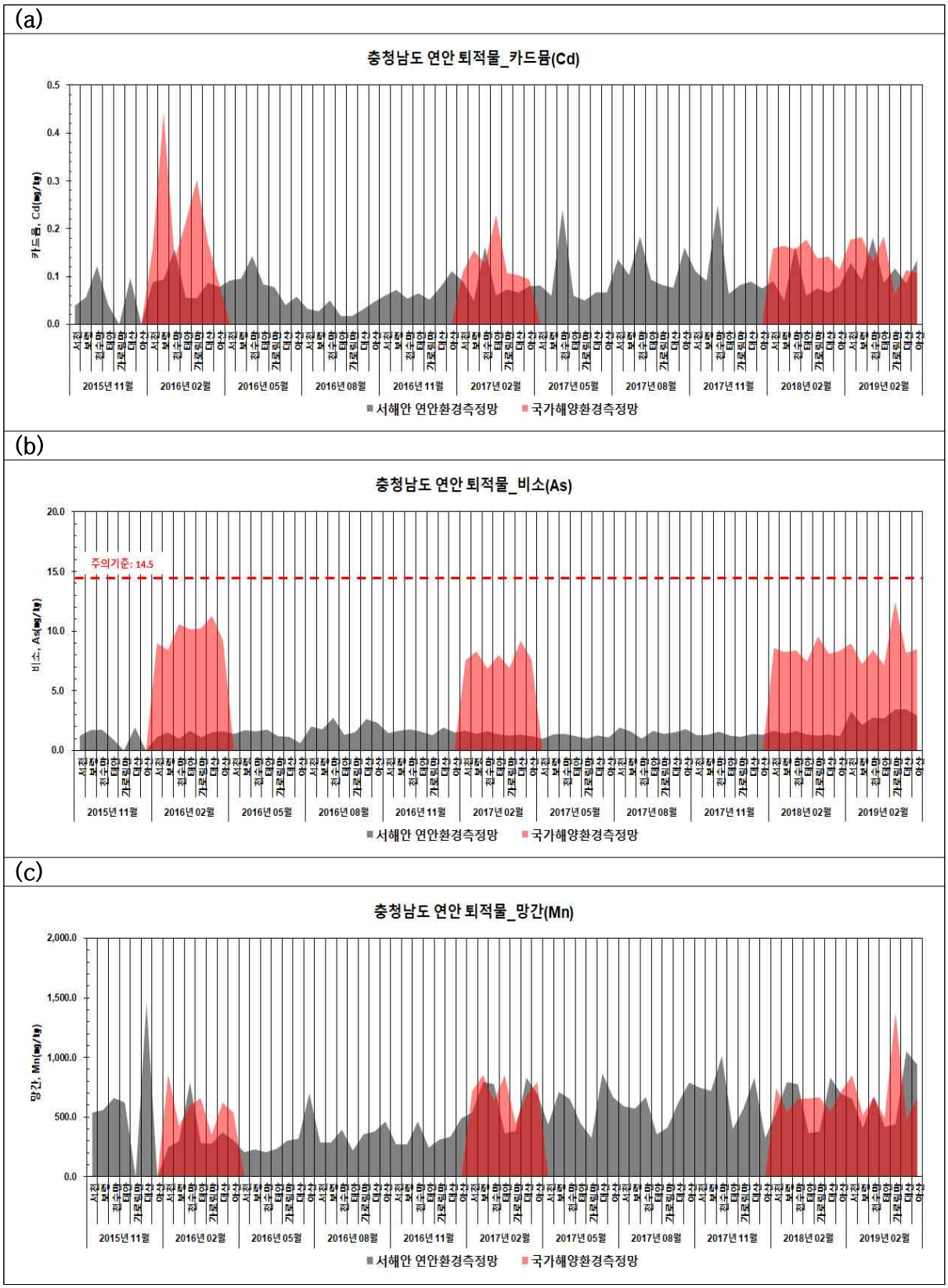
- 앞에서 분석한 수질 조사 결과와 같이 퇴적물 조사 결과를 해양환경공단 주관 국가해양환경측정망 결과와 비교 · 검토 하였다.
- 해양퇴적물 오염지표인 IL(강열감량)은 본 과업의 결과 값이 국가해양환경측정망 결과 값보다 다소 높게 나타났다(그림 3.3-57(a)).
- 그리고 각 조사 지역의 계절 변화를 보면 천수만 등 일부지역에서 2015년부터 2018년으로 진행될수록 그 오염농도가 증가 추세를 보이고 있다.
- 황화물이 황화수소형태로 바꾸는 과정에서 발생하는 황화수소 수치를 나타내는 AVS(산휘발성황화물)는 아산연안의 일부 시기를 제외하면 기준치 이하(0.2mg/g)인 0.1mg/g로 낮은 값을 보여주고 있다(<그림 3.3-77(b)>). 만일 해저 퇴적물 내 AVS가

높으면 퇴적물 내 산소의 고갈 및 결핍을 의미하며, 이는 저층수질 및 저서 생태계에 나쁜 영향을 줄뿐 아니라 환경을 평가하는데 있어서 중요한 의미를 가진다.

- 유기물 오염지표인 COD(화학적산소요구량)는 비슷하거나 국가해양환경측정망 값이 다소 높은 값을 보이고 있지만 기준치 이하(20㎎/g이하)로 나타내고 있다. 특히 아산연안과 천수만 지역이 그 외 지역보다 COD가 높은 농도를 보이고 있다(그림 3.3-57(c)).
- 같은 시기인데도 서해안 연안환경측정망이 국가해양환경측정망보다 다소 높은 결과 값들을 보이는 이유로는 서해안 연안환경측정망 조사정점 위치가 연안쪽으로 더 가깝게 위치해 있기 때문에 육상으로부터 쉽고 큰 영향을 받을 수 있는 지역적인 특성을 반영하고 있다고 판단된다.
- 또한 아산만 연안과 천수만이 타 연안지역(개방적 특성)과 달리 오염도가 높게 나타나는 이유로는 아산연안과 천수만은 반폐쇄성 특성을 보여주고 있어 오염물 유입시 쉽게 퇴적 및 축적이 되는 물리환경특성을 보여주고 있다. 또한 지속적으로 주변으로부터 오염물질이 유입되고 있다(그림 3.3-59).
- 해양퇴적물 오염지표인 중금속 농도는 각 조사 지역에 있어서 서해안 연안환경측정망보다 국가해양환경측정망 농도가 다소 높게 나타나거나 비슷한 값을 보여주고 있다(그림 3.3-58).
- 서해안 연안환경측정망의 각 조사 지역에 있어 종류별(카드뮴, 비소, 망간, 크롬, 니켈) 중금속 농도는 기준치 이하로 조사되었다. 퇴적물 내 중금속 주의기준치(카드뮴:0.75mg/kg, 비소:14.5mg/kg, 망간:기준치 없음, 크롬:116mg/kg, 니켈:47.2mg/kg)보다 낮은 농도를 보여주고 있다(그림 3.3-60).
- 중금속은 난분해성 물질로 한번 퇴적물 또는 수계에 유입되면 분해가 거의 되지 않아 장기간 보존 및 축적되면서 주변 수 환경 및 생물 농축현상에 의해 생태계에 악영향을 줄 수 있어 장기간 지속적인 모니터링을 통하여 변동 추세를 살펴볼 필요가 있다.

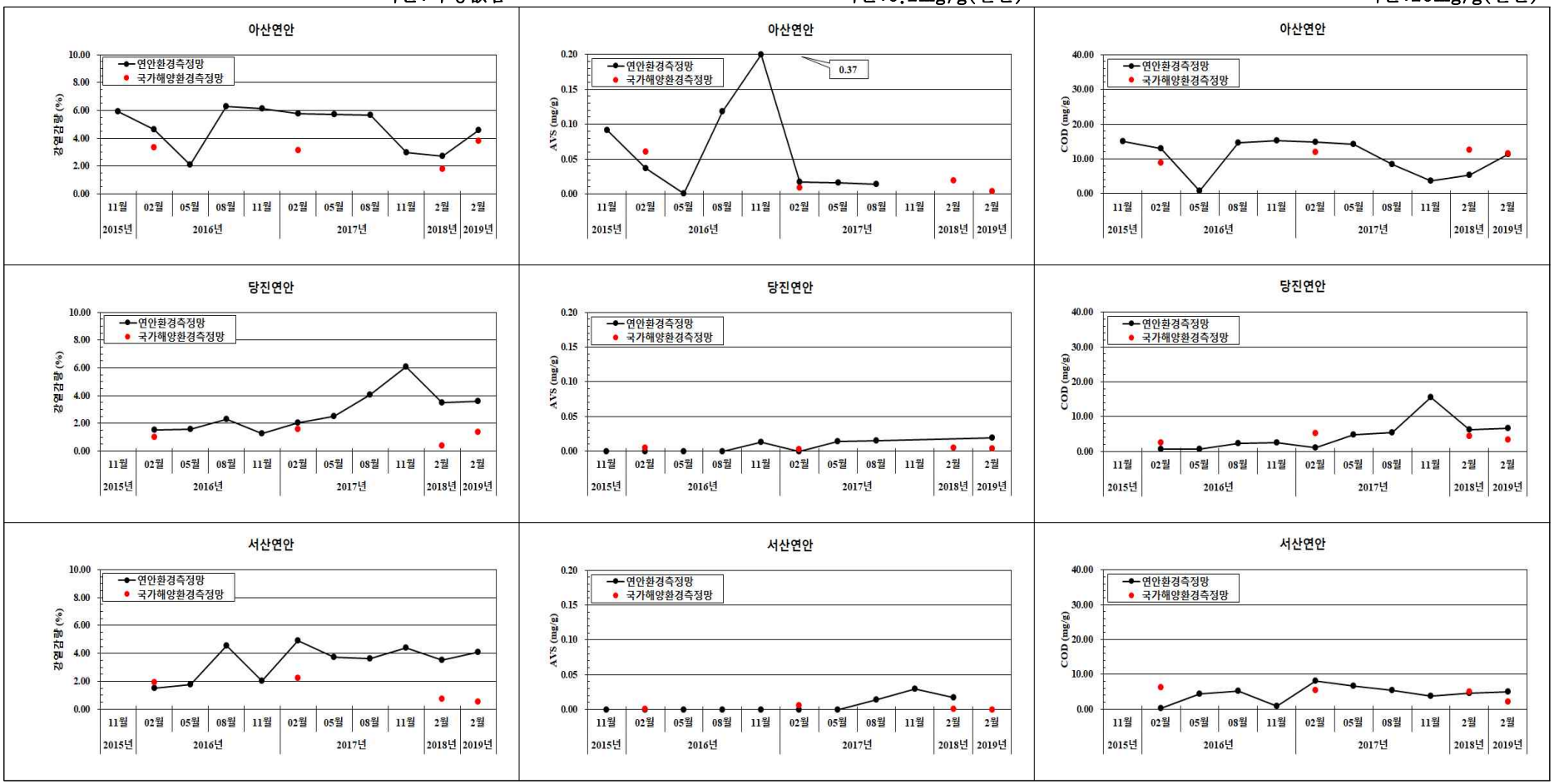


<그림 3.3-57> 충청남도 서해연안 퇴적물 일반항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균)



<그림 3.3-58> 충청남도 서해연안 퇴적물 중금속항목 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균)

a) 강열감량 기준:특정없음 | b) AVS 기준:0.2mg/g(일본) | C) COD 기준:20mg/g(일본)



<그림 3.3-59> 충청남도 연안 퇴적물 일반항목 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균)

a) 강열감량 기준:특정없음

b) AVS 기준:0.2mg/g(일본)

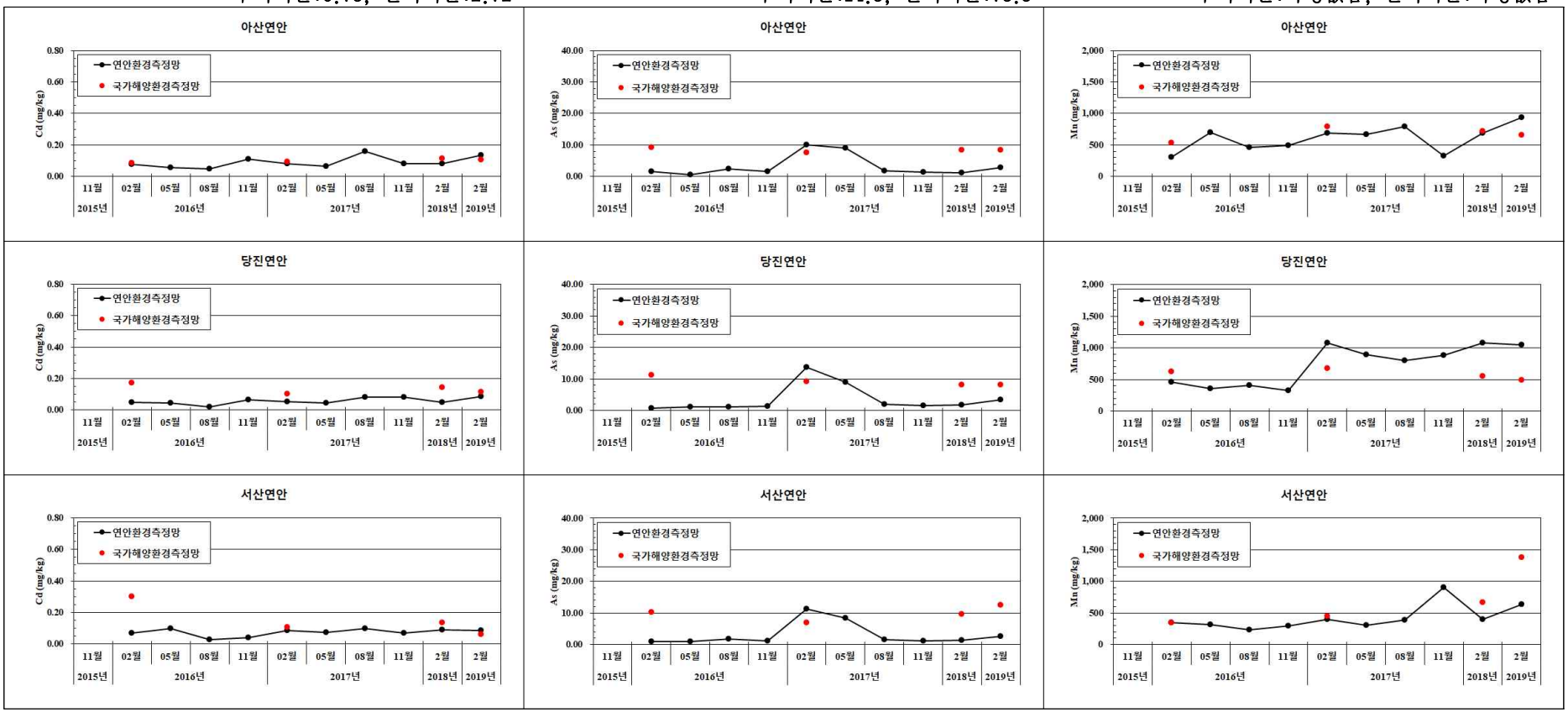
C) COD 기준:20mg/g(일본)

<그림 3.3-59> 충청남도 연안 퇴적물 일반항목 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균, 계속)

a) Cd(카드뮴)
주의기준:0.75, 관리기준:2.72

b) As(비소)
주의기준:14.5, 관리기준:75.5

C) Mn(망간)
주의기준:특정없음, 관리기준:특정없음



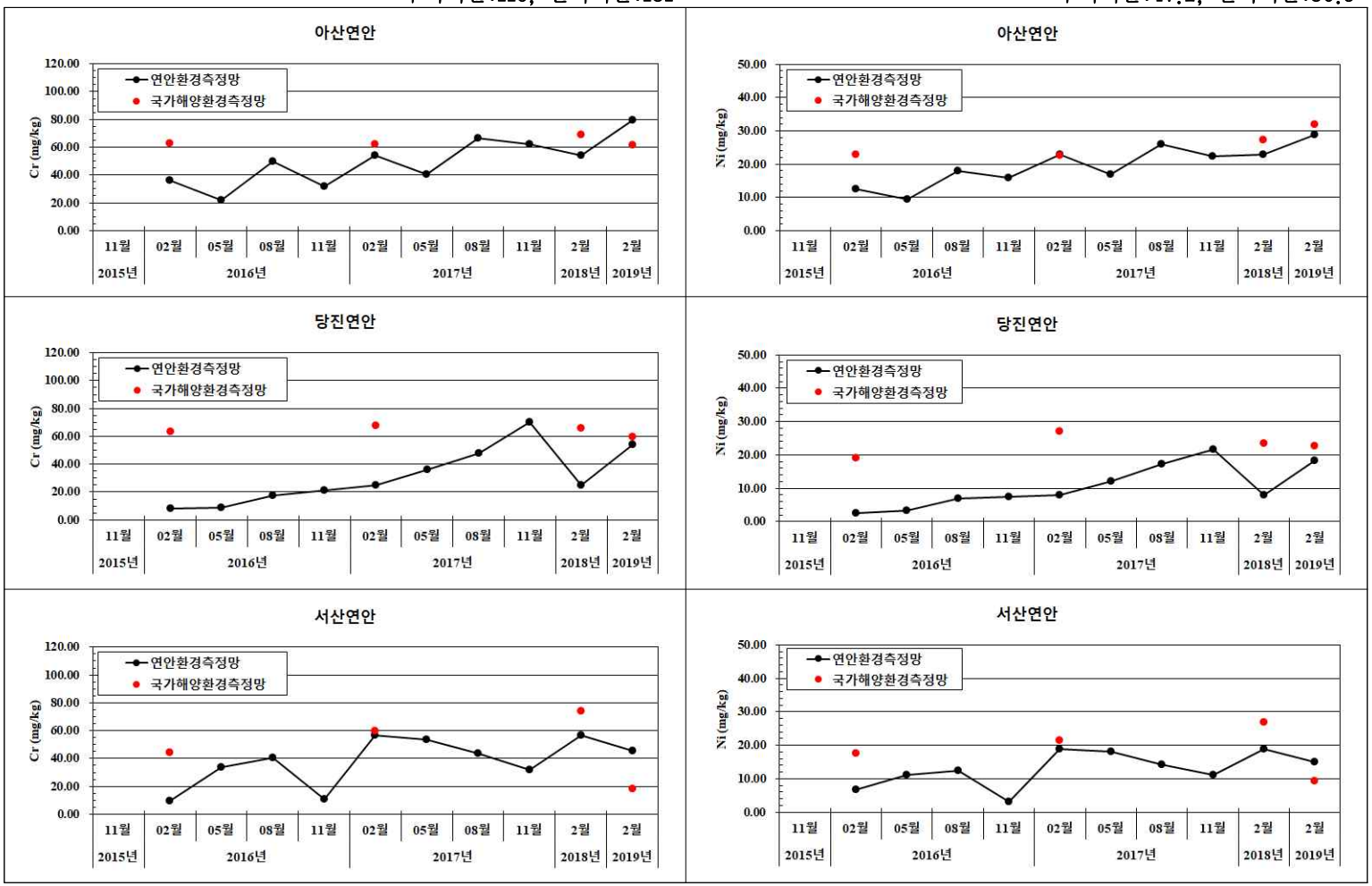
<그림 3.3-60> 충청남도 연안 해양 퇴적물(미량금속) 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균)

d) Cr(크롬)

주의기준:116, 관리기준:181

e) Ni(니켈)

주의기준:47.2, 관리기준:80.5

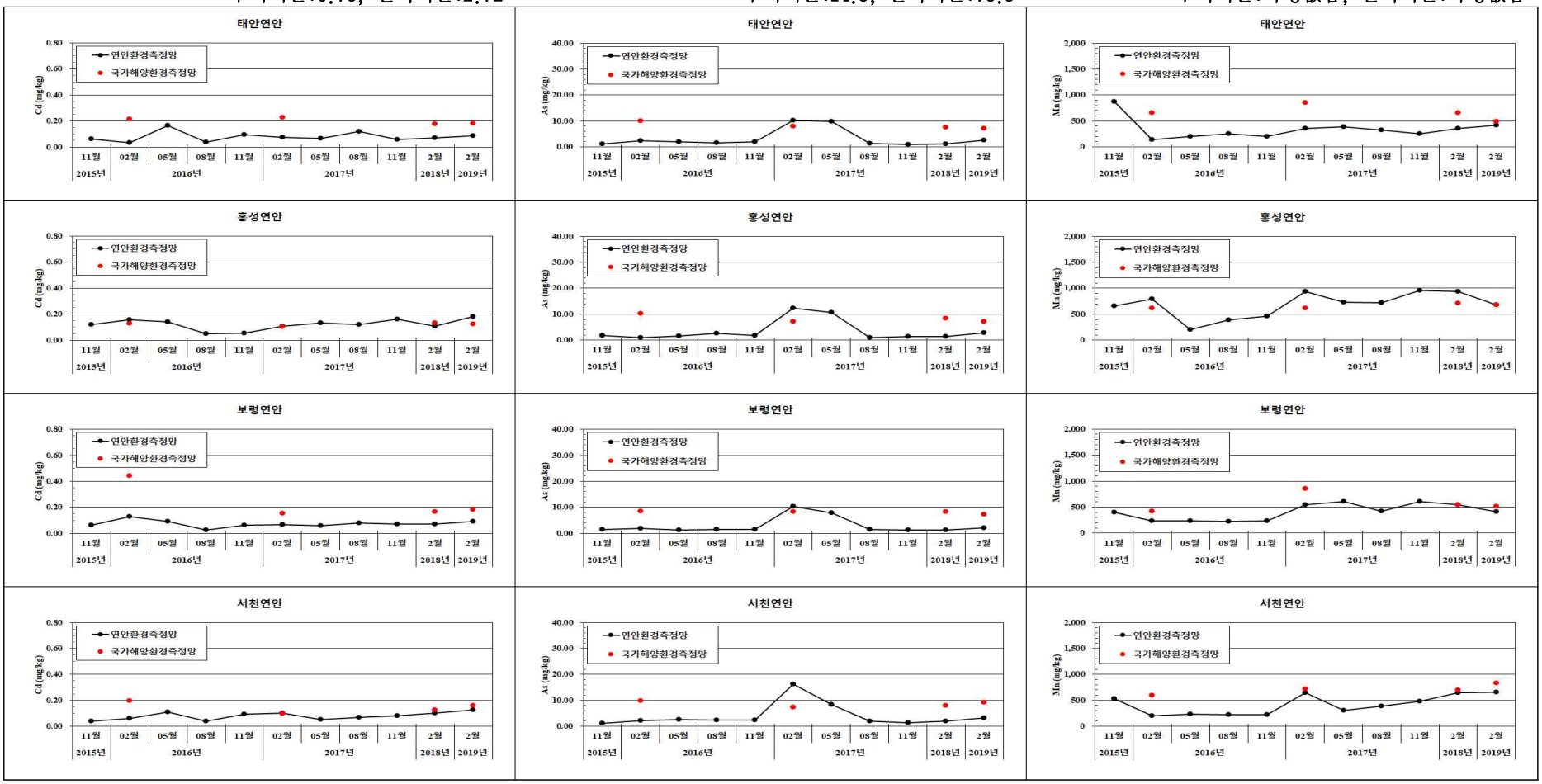


<그림 3.3-60> 충청남도 연안 해양 퇴적물(미량금속) 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균, 계속)

a) Cd(카드뮴) 주의기준:0.75, 관리기준:2.72

b) As(비소) 주의기준:14.5, 관리기준:75.5

C) Mn(망간) 주의기준:특정없음, 관리기준:특정없음



<그림 3.3-60> 충청남도 연안 해양 퇴적물(미량금속) 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균, 계속)

d) Cr(크롬)

주의기준:116, 관리기준:181

e) Ni(니켈)

주의기준:47.2, 관리기준:80.5

<그림 3.3-60> 충청남도 연안 해양 퇴적물(미량금속) 정점간 비교(국가측정망-서해안 측정망, 해역 평균, 계속)

3.3.5 해양 생물 내 중금속

- 해양으로 유입된 중금속은 수중에서 흡착되어 퇴적물로 이동하거나 생물체 내 흡수되어 제거된다. 특히 생물체내 흡수된 중금속은 유기염화물이나 탄화수소 등의 기타 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 가지며(Phillips and Segar, 1986), 모든 조직에 축적되어 생리적인 장해를 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). 이매패류와 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 홍합 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).
- 금회 조사에서는 굴(Oyster : *Crassostrea giagas*)의 체내 중금속 농도를 파악하기 위해 충남 연안의 4지점을 선정하여 분석하였다. 굴 체내 중금속은 함량을 측정하여 생물중량(Wet base)으로 나타내었다(<표 3.3-31>, <그림 3.3-61>).
- 동계의 굴 체내 중금속 함량은 카드뮴(Cd) 0.68~1.11㎎/㎏(평균 0.82㎎/㎏), 크롬(Cr)은 0.04~0.13㎎/㎏(평균 0.08㎎/㎏), 구리(Cu)는 32.9~78.7㎎/㎏(평균 53.9㎎/㎏), 납(Pb) 0.08~0.13㎎/㎏(0.10㎎/㎏), 아연(Zn) 135.3~390.9㎎/㎏(평균 215.5㎎/㎏), 비소(As) 0.51~1.75㎎/㎏(평균 0.96㎎/㎏), 수은(Hg) 0.009~0.029㎎/㎏(평균 0.018㎎/㎏)로 조사되었다.
- 춘계의 굴 체내 중금속 함량은 카드뮴(Cd) 0.50~1.31㎎/㎏(평균 0.75㎎/㎏), 크롬(Cr)은 0.07~0.12㎎/㎏(평균 0.09㎎/㎏), 구리(Cu)는 24.7~57.2㎎/㎏(평균 37.5㎎/㎏), 납(Pb) 0.08~0.12㎎/㎏(0.10㎎/㎏), 아연(Zn) 115.9~291.3㎎/㎏(평균 171.3㎎/㎏),

비소(As) 0.74~2.74㎎/㎏(평균 1.31㎎/㎏), 수은(Hg) 0.008~0.025㎎/㎏(평균 0.017㎎/㎏)로 조사되었다.

- 하계의 굴 체내 중금속 함량은 카드뮴(Cd) 0.70~1.21㎎/㎏(평균 0.87㎎/㎏), 크롬(Cr)은 0.10~0.23㎎/㎏(평균 0.16㎎/㎏), 구리(Cu)는 53.9~66.1㎎/㎏(평균 59.6㎎/㎏), 납(Pb) 0.06~0.11㎎/㎏(0.09㎎/㎏), 아연(Zn) 166.4~271.5㎎/㎏(평균 216.7㎎/㎏), 비소(As) 1.03~2.19 ㎎/㎏(평균 1.56㎎/㎏), 수은(Hg) 0.005~0.028㎎/㎏(평균 0.018㎎/㎏)로 조사되었다.
- 추계의 굴 체내 중금속 함량은 카드뮴(Cd) 0.54~0.90㎎/㎏(평균 0.67㎎/㎏), 크롬(Cr)은 0.08~0.15㎎/㎏(평균 0.10㎎/㎏), 구리(Cu)는 21.1~61.4㎎/㎏(평균 40.4㎎/㎏), 납(Pb) 0.10~0.14㎎/㎏(0.11㎎/㎏), 아연(Zn) 71.6~215.9㎎/㎏(평균 134.4㎎/㎏), 비소(As) 0.74~1.05 ㎎/㎏(평균 0.90㎎/㎏), 수은(Hg) 0.005~0.022㎎/㎏(평균 0.015㎎/㎏)로 조사되었다.
- 국내 수산물 중 패류 및 연체류의 기준과 기존 연구된 국내 연안의 굴 체내 중금속 농도를 <표 3.3-32>에 제시하였다. 금회 연구 결과 국내 식품의약청안정처의 수산물 중 패류 기준인카드뮴(Cd) 및 납(Pb) 2㎎/㎏와 수은(Hg) 0.5㎎/㎏ 이하로 조사되었으며, 미국 식품의약국 수산물 기준 크롬(Cr) 13㎎/㎏ 이하로 조사되었다.
- 현재 서해 연안 해역에서 생물체내 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 조사에서는 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 비소(As), 수은(Hg)은 추계 조사시 농도가 다른 시기와 유사하거나 상대적으로 낮은 특성을 보였고, 크롬(Cr)은 하계 조사시 다소 높고 그 외 시기에는 유사한 평균 농도를 나타냈다. 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 수은(Hg)은 계절에 상관없이 정점 N8에서 상대적으로 높은 경향을 보였고, 그 외 원소는 대체로 정점간 유사한 분포를 나타냈다.
- <그림 3.3-62>에는 서해안 연안환경측정망 모니터링이 수행된 2015년 11월 이후로 연차별 해양생물 체내 중금속(납, 수은) 농도 변화를 일괄 제시하였는데, 해양생물체(굴) 내 중금속 농도는 기준치를 하회하는 안전한 수준으로 지속 유지되고 있는 것으로 나타났다.

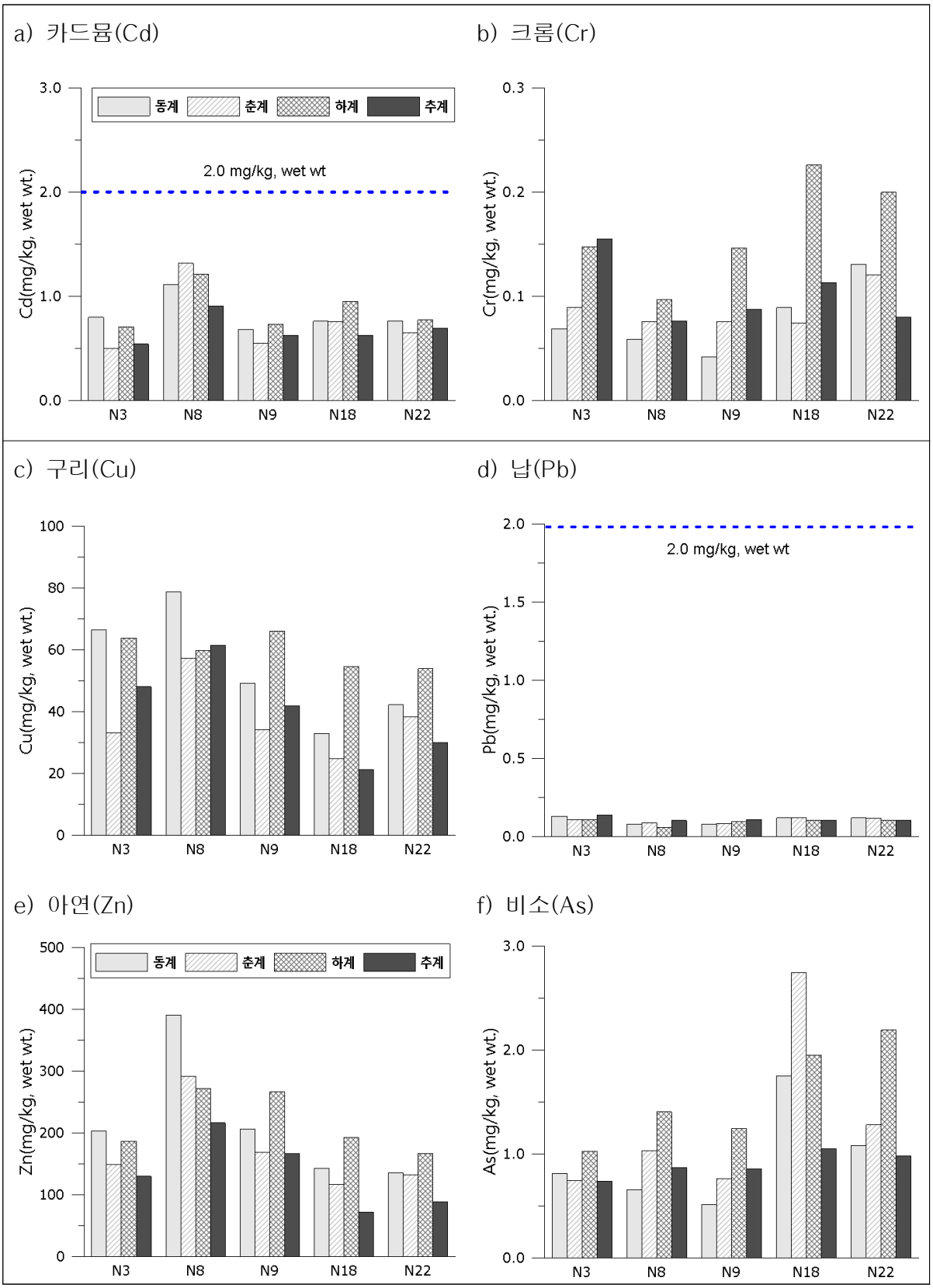
<표 3.3-31> 해양 생물 중금속 분석 결과(2019년도)

정점		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	As	Hg
		(mg/kg wet wt.)						
동계	N3	0.80	0.07	66.5	0.13	203.0	0.81	0.019
	N8	1.11	0.06	78.7	0.08	390.9	0.65	0.029
	N9	0.68	0.04	49.1	0.08	206.3	0.51	0.021
	N18	0.76	0.09	32.9	0.12	142.0	1.75	0.009
	N22	0.76	0.13	42.2	0.12	135.3	1.08	0.013
춘계	N3	0.50	0.09	33.1	0.11	148.2	0.74	0.018
	N8	1.31	0.08	57.2	0.09	291.3	1.03	0.025
	N9	0.55	0.08	34.2	0.08	168.9	0.76	0.022
	N18	0.75	0.07	24.7	0.12	115.9	2.74	0.008
	N22	0.65	0.12	38.3	0.11	132.4	1.28	0.015
하계	N3	0.70	0.15	63.7	0.11	186.5	1.03	0.019
	N8	1.21	0.10	59.7	0.06	271.5	1.40	0.028
	N9	0.73	0.15	66.1	0.10	266.1	1.24	0.025
	N18	0.95	0.23	54.6	0.10	192.8	1.95	0.005
	N22	0.77	0.20	53.9	0.10	166.4	2.19	0.015
추계	N3	0.54	0.15	48.0	0.14	129.3	0.74	0.016
	N8	0.90	0.08	61.4	0.10	215.9	0.87	0.022
	N9	0.62	0.09	41.7	0.11	166.3	0.85	0.021
	N18	0.62	0.11	21.1	0.10	71.6	1.05	0.005
	N22	0.69	0.08	29.9	0.10	88.6	0.98	0.013
최소		0.50	0.04	21.1	0.06	71.6	0.51	0.005
최대		1.31	0.23	78.7	0.14	390.9	2.74	0.029
평균		0.78	0.11	47.8	0.10	184.5	1.18	0.017

<표 3.3-32> 국내·외 식품 중 패류의 중금속 기준 및 굴 체내 중금속의 기존 연구 결과

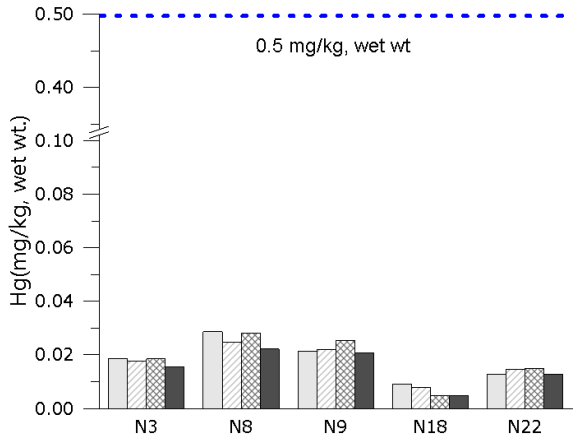
지역	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Hg
	(mg/kg wet wt.)					
기준[1)]	2.0			2.0		0.5
기준[2)]		13				
가막만[3)]	0.29			0.31		0.006
남해연안[4)]	0.48					0.02
서해연안[5)]	0.57			3.78		0.58
진해만[6)]	2.5			1.1		
Mazatlan bay[7)]	2.3	0.99		2.3		
남해연안[8)]	0.37~0.79	0.09~0.25		0.04~0.32		0.006~0.011
통영연안[9)]	0.49	0.73		0.7		0.078
국내연안[10)]	0.713	0.16	22.6	0.20	48.0	
금회조사[11)]	0.50~1.31 (평균 0.78)	0.04~0.23 (평균 0.11)	21.1~78.7 (평균 47.8)	0.06~0.14 (평균 0.10)	71.6~390.9 (평균 184.5)	0.005~0.029 (평균 0.017)

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

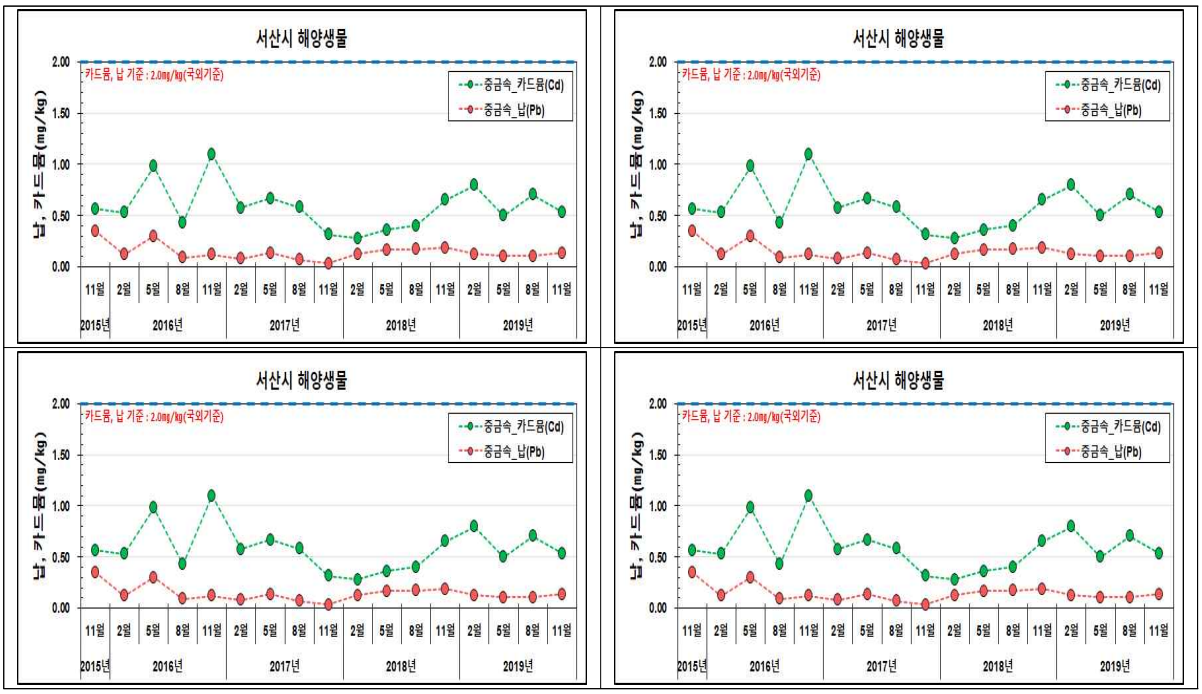


<그림 3.3-61> 정점별 생물 체내 중금속 농도

g) 수은(Hg)



<그림 3.3-61> 계 속



<그림 3.3-62> 연차별 해양생물 채내 중금속(납, 수은) 농도 변화

제4장

연안환경측정망 특별 조사

1. 조 사 개 요
2. 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원 조사
3. 가 로 림 만 담 수 호 조 사

제 4 장 연안환경측정망 특별 조사

4.1 조사 개요

4.1.1 공간적 범위

- ㅇ 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원(특별조사Ⅰ)
  - 천수만 주변 하구호 (부남호, 간월호, 홍성호) 및 가두리 양식장 일대
- ㅇ 가로림만 담수호 내측 조사(특별조사Ⅱ)
  - 가로림만 내 솔감저수지(어은천 하구)

4.1.2 시간적 범위

- ㅇ 조사시기
  - 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원 조사(특별조사Ⅰ)
    : 2019년 8월
  - 가로림만 내 솔감저수지(어은천 하구) 수질 및 퇴적물 조사(특별조사 Ⅱ)
    : 2019년 5월

4.1.3 내용적 범위

- ㅇ 천수만 하구호 수질, 퇴적물 조사(부남호, 간월호, 홍성호, 3 정점)
- ㅇ 천수만 창리/영목항 가두리양식장 수질, 퇴적물 조사
- ㅇ 천수만 해역 내 오염퇴적물 기원 분석
- ㅇ 천수만 하구호 내측 수질 변화 분석
- ㅇ 가로림만 내 하구호(솔감저수지)의 수질 및 퇴적물 오염현황 조사·분석

4.1.4 조사 목적

- ㅇ 연안모니터링 결과를 토대로 가장 오염이 의심되는 천수만 내측 가두리양식장 주변 저서 퇴적물 오염기원 조사·분석(특별조사 Ⅰ)
- ㅇ 천수만 내 주요 담수호의 수질 오염 조사(특별조사 Ⅰ)
- ㅇ 가로림만 내 담수호(솔감저수지)의 수질/퇴적물 오염도 조사(특별조사 Ⅱ)
- ㅇ 천수만 하구호의 과거 자료 비교를 통해 경년 변화를 분석
- ㅇ 가로림만의 경우, 솔감저수지 등 가로림만 유입하천 및 하구호에 대한 정기 조사가 이루어지지 않아, 시범조사 수행 후 향후 조사망 확대 검토

4.1.5 조사 정점 및 조사 항목

- 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원 조사(특별조사Ⅰ)의 정점선정은 천수만 상부를 기준으로 가장 오염이 있는 3개 담수호(부남호, 간월호, 홍성호)와 창리/영목항 양식장에 정점을 구성하였다(그림 4.1-1).

<그림 4.1-1> 특별조사Ⅰ정점도(천수만)

<그림 4.1-2> 특별조사Ⅱ정점도(가로림만)

<표 4.1-1> 연안환경측정망 특별조사 개요

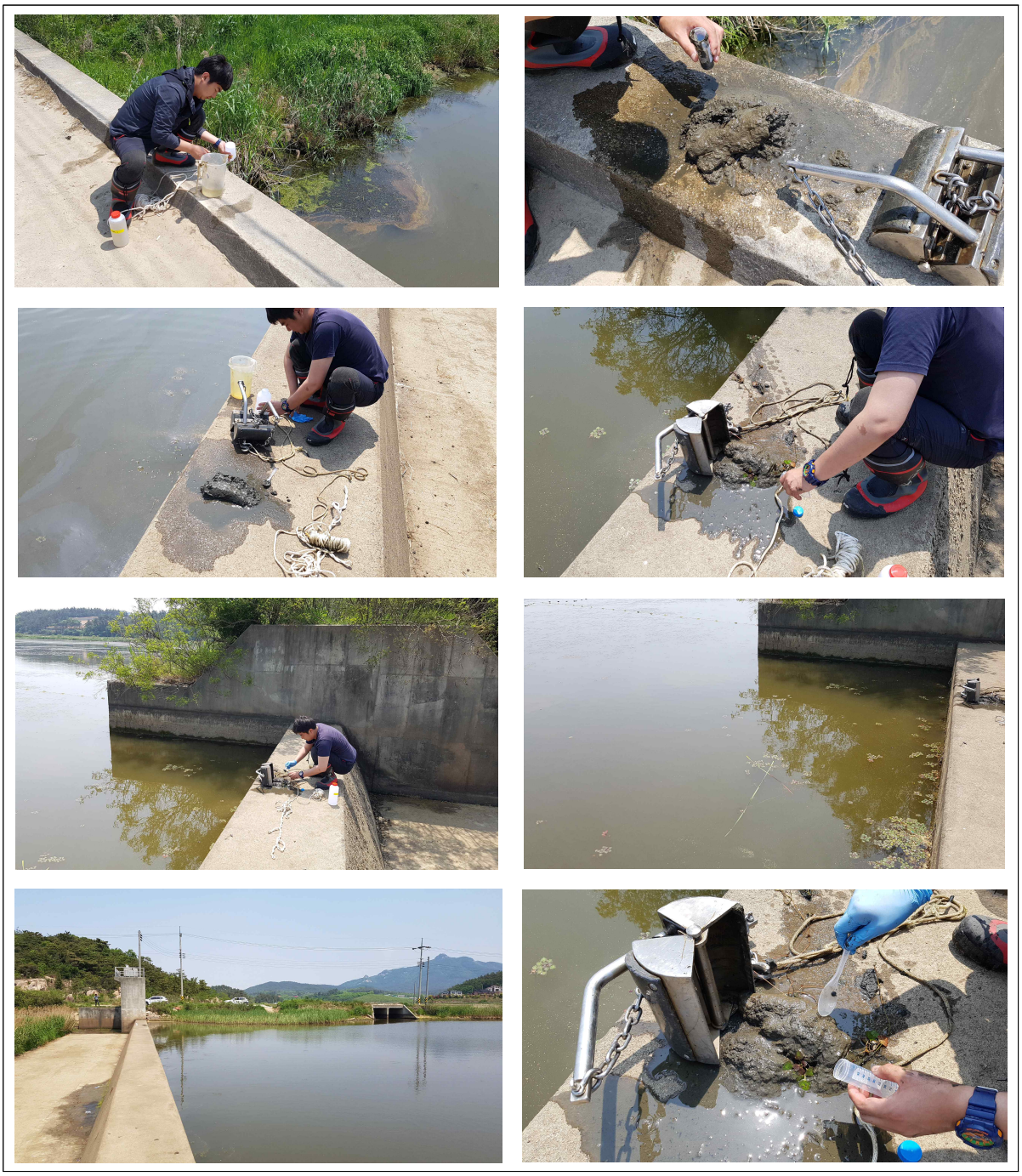
구분		조사항목	조사정점
수질 (천수만)	일반항목	수온, 염분, pH, 투명도, TN, DIN(NO2-N, NH4-N, NO3-N), TP, DIP(PO4-P), SIO2-SI, TOC	6개
퇴적물 (천수만)	일반항목	탄소 및 질소 안정동위원소	6개
수질 (가로림만)	일반항목	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO_2-N, NH_4-N, NO_3-N), TP, DIP(PO_4-P), SIO_2-SI, SPM, 투명도, Chlorophyll-a	2개
	미량금속	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr^{6+}, 총수은, As, CN	2개
퇴적물 (가로림만)	일반항목	함수율, 입도, COD, AVS, 강열감량, 총인, 원소분석(TOC, TN)	2개
	중금속	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, Ni, Al, Fe, Mn	2개

4.1.6 시료 채취 방법 및 분석

- 시료의 채취 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다(<그림 4.1-3>~<그림 4.1-5>).
- 제3장 2절과 동일한 방법으로 측정하였다.

<그림 4.1-3> 천수만 특별 조사 현장사진(특별조사Ⅰ)

<그림 4.1-4> 천수만 특별 조사(특별조사 I)



<그림 4.1-5> 가로림만 특별 조사(특별조사Ⅱ)

4.2 천수만 호소 및 해역 오염퇴적물 기원 조사(특별조사Ⅰ)

4.2.1 천수만 특별조사

가. 조사 목적

- 본 조사는 국립수산과학원 어장환경 조사팀과 공동으로 수행하였으며, 충남연구원은 해양환경조사, 국립수산과학원은 시료분석 업무를 분담하였다.
- 국립수산과학원 어장환경 조사결과, 하계 강우기 천수만 담수 방류시, 해수 내 화학적 산소요구량, 총질소, 용존무기질소, 인산염인이 증가하였고, 방류 종료 2주 후, 해수는 안정화되나, 퇴적물 오염도가 증가되는 것으로 나타났다.
- 특히 하구호 방류시 유출된 세립한 실트나 니질이 해류가 약한 곳에 퇴적하는 특성이 나타남에 따라 바다로 유입된 육상유기물의 이동 경로에 대한 조사필요성이 나타났다.
- 본 조사에서는 안정동위원소를 활용하여 천수만의 유기물 기원을 분석해보고, 하구호와 가두리양식장, 해역 퇴적물 오염과의 상관관계를 살펴보고자 하였다.

<그림 4.2-1> 천수만 부남호 전면에 위치한 가두리 양식장 전경

나. 연구방법

1) 천수만 담수 방류에 따른 해수 및 퇴적물 환경 조사

- 조사 정점

  : 천수만 내 양식장 3개 정점, 부남호 1정점, 간월호 1정점, 홍성호 1정점, 서산 A 방조제 1정점

○ 조사 방법

: 표·저층 해수, 표층 퇴적물 채취, 측정 장비를 이용한 수온, 염분, pH, 용존산소 측정

○ 분석 방법

: 해양환경·환경공정시험법에 의거, 해수·담수 영양염 및 유기물 (TOC) 분석

2) 해수 및 퇴적물의 탄소 및 질소 안정동위원소비 분석을 통한 기여율 평가

○ 조사 방법

: 해수·담수와 퇴적물의 탄소·질소 안정동위원소 분석, 천수만 양식장 유기물의 기원분석

○ 분석 시료

: 천수만 내 양식장 3개 정점, 부남호 1정점, 간월호 1정점, 홍성호 1정점, 서산 A 방조제 앞(궁리항) 1정점의 물과 퇴적물, 양식장 사료

○ 분석 방법

: TOC/IR MASS와 EA/IR MASS 를 이용한 탄소와 질소 안정동위원소 분석

다. 현장조사 결과

1) 간월호

○ 2019년 8월 26일 간월호의 표층 수온은 28.40℃, 염분은 1.50 psu, 용존산소는 8.50 mg/L, 저층 수온은 25.40℃, 염분은 2.50 psu, 용존산소는 3.10 mg/L 로 조사되었다.

2) 부남호

○ 2019년 8월 27일 부남호 방조제 입구의 표층 수온은 29.10℃, 염분은 4.30 psu, 용존산소는 6.70 mg/L, 저층 수온은 27.40℃, 염분은 5.80 psu, 용존산소는 2.30 mg/L로 조사되었다.

○ 8월 26일 부남호 내측의 표층 수온은 28.70℃, 염분은 0.42 psu, 용존산소는 8.05 mg/L로 조사되었는데, 부남호 방조제 입구는 해수가 침투되는 것으로 나타났다.

3) 홍성호

○ 2019년 8월 26일 홍성호 입구의 표층 수온은 29.10℃, 염분은 2.00 psu, 용존산소는 9.45 mg/L, 저층 수온은 27.70℃, 염분은 2.00 psu, 용존산소는 6.75 mg/L로 조사되었다.

4) 서산 창리 양식장 환경

○ 2019년 8월 20일 서산 창리(부남호 앞) 양식장의 표층 수온은 29.15℃, 염분은 28.65 psu, 용존산소는 4.94 mg/L, 저층 수온은 27.91℃, 염분은 30.14 psu, 용존산소는 3.57 mg/L 로 조사되었다.

○ 간월호 담수 방류로, 8월 19일 표층 염분은 25.07 psu 까지 하강하였다. 서산 창리 양

식장은 부남호와 간월호 인근 양식장으로, 조피볼락과 숭어를 양식되고 있다.

5) 태안 영목항 양식장 환경

- 2019년 8월 21일 태안 영목항 양식장의 표층 수온은 26.85℃, 염분은 31.08 psu, 용존산소는 4.42 mg/L, 저층 수온은 26.68℃, 염분은 31.06 psu, 용존산소는 4.27 mg/L로 조사되었다.

라. 호소 내 수질 분석 결과

- 2019년 8월 하순에 수행한 간월호, 부남호, 홍성호 수질 조사 결과, 세 담수호 모두 환경부 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준 가장 높은 등급인인 Ⅵ등급(매우나쁨) 수준의 수질상태인 것으로 분석되었다(표 4.2-1).
- 영양염류에 대한 분석을 주로 실시하였는데, 특히 총질소(TN)에서는 세 담수호 모두 표층/저층에서 Ⅵ등급(매우나쁨) 기준인 1.5㎎/L를 넘는 결과가 나왔으며, 특히 간월호와 부남호 저층에서는 매우 악화된 상태의 수질오염도(TN, TP 기준)가 나타났다.
- 간월호 수문 외측에 위치한 궁리항 해역에서의 수질은 해역환경기준으로 매우 높은(나쁜) 수준의 오염도가 나타났는데, 간월호 방류에 따른 담수호 수괴가 해양에 넓게 분포하여 나타난 특성을 보여주고 있었다.
- 즉 오염된 담수호가 해역의 수질에 직접적인 영향을 주는 것이라고 할 수 있다.

<표 4.2-1> 천수만 특별조사 수질 분석결과

구 분	NH4-N	NO3-N	NO2-N	DIN	T N	PO4-P	T P	SiO2-Si	비고
	(㎎/L)								
궁리 표층	0.059	0.008	-0.002	0.065	1.802	0.046	0.128	1.447	방류영향있음
간월호 표층	0.194	0.004	0.000	0.198	1.958	0.022	0.110	1.185	총인/총질소 기준 호소수질 '매우나쁨' 특히, 간월·부남호 수질이 매우 나쁨
간월호 저층	7.620	0.011	0.015	7.646	8.705	1.016	1.146	2.959	
홍성호 표층	0.032	0.007	-0.001	0.038	2.227	0.120	0.316	1.593	
홍성호 저층	0.056	0.001	-0.001	0.056	1.936	0.079	0.276	1.701	
부남호 표층	0.049	0.004	-0.001	0.053	1.670	0.013	0.072	0.419	
부남호 저층	1.478	0.010	0.003	1.490	2.618	0.016	0.070	0.364	

바. 담수호 내 퇴적물, 주요 양식장 저층퇴적물 간의 안정동위원소 분석 결과

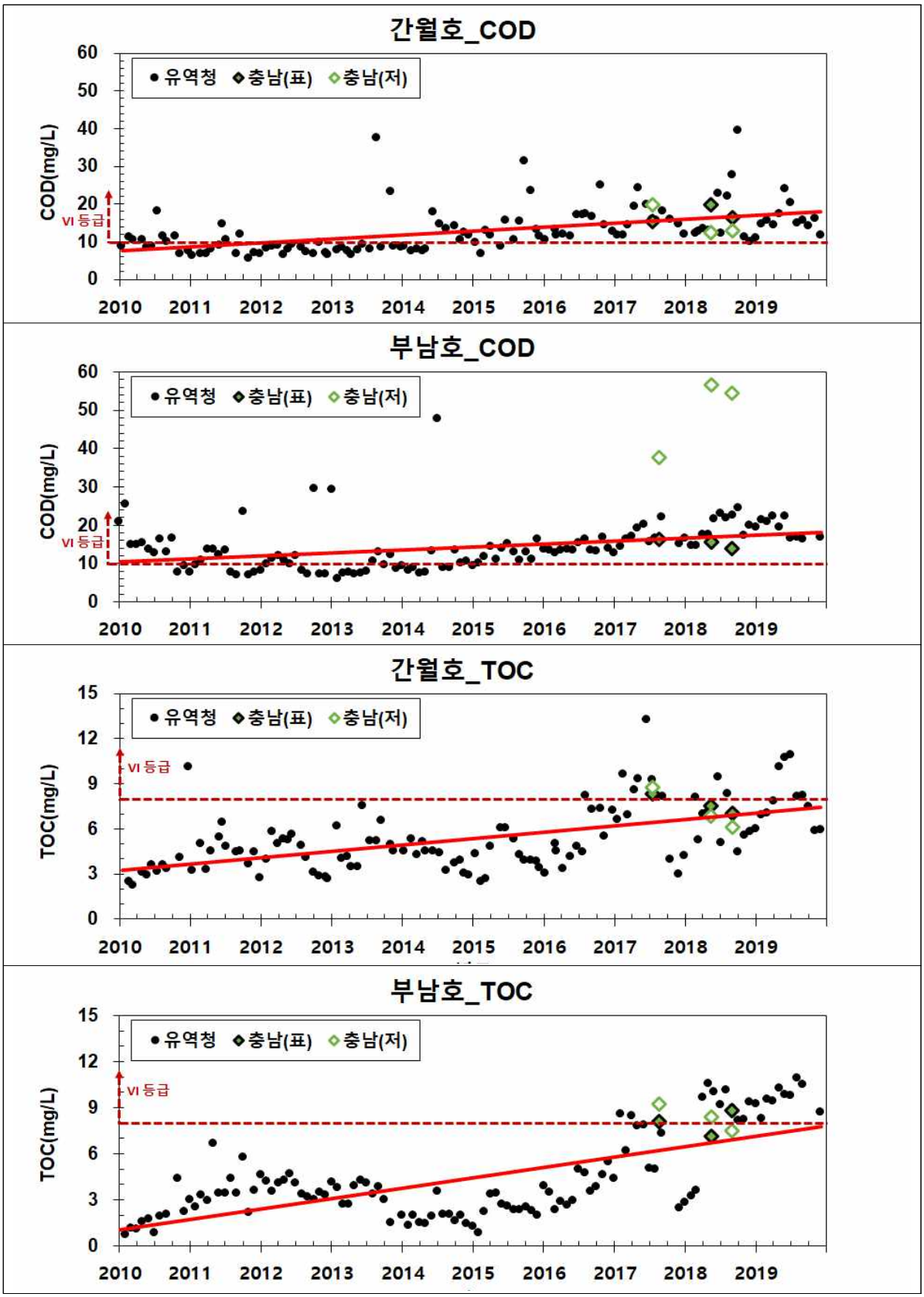
- 천수만 내 담수호(부남호, 간월호, 홍성호) 퇴적물과 창리/영목항 주변 양식장 퇴적물, 양식장에서 사용되는 배합사료의 탄소와 질소의 안정동위원소를 분석하였다.
- 분석 결과, 홍성호/간월호/부남호 등 담수호는 질소, 탄소 안정동위원소 조성이 유사

하게 나타났는데, 육상기원의 유기물 유입특성이 잘 반영되어 있는 공통적인 특징이 보였다.

- 특히 창리 양식장 주변의 퇴적물과 창리 양식장에서 사용하는 배합사료와의 원소 조성이 유사하고, 태안 영목항 퇴적물은 영목항 배합사료와 그 조성이 매우 유사한 것으로 분석되었다.
- 이는 주요 양식장 주변 저층 퇴적물은 양식장에서 배출되는 배합사료 찌꺼기가 지속적으로 퇴적물에 침적되어 퇴적물 오염의 원인으로 작용하고 있음을 보여준다.
- 담수호 방류의 직접 영향을 받는 궁리 선착장 해역에서는 안정동위원소 조성이 담수호 퇴적물과 양식장 배합사료의 중간에 위치하여, 육상기원/해상기원 두 가지 영향을 모두 받는 것으로 분석되었다.
- 보다 정밀한 해역측 퇴적물 내 오염원인 기여도 분석을 위해서는 더 넓은 범위의 공간조사가 이루어질 필요가 있다.

4.2.2 천수만 주변 담수호 내측 수질 변화 비교

- <그림 4.2-2>에서는 금강 유역청 및 충청남도 자료를 바탕으로 시간에 따른 간월호와 부남호의 수질 내 유기물 오염정도를 나타내는 오염지표인 COD 및 TOC 농도를 보여주고 있다.
  - TOC와 COD는 수질 내 유기물농도 지표로서 수질 내 유기물의 많고 적음을 나타냄
- 간월호와 부남호 내 COD인 경우 2010년도부터 환경기준 Ⅵ등급(10mg/L)초과를 나타내고 있으며, 시간이 갈수록 오염정도는 증가추세를 나타내고 있다.
- 특히 2017년도 이후에는 이전보다 급격하게 오염농도가 한층 더 높아지고 있어 그 이유에 대한 정확한 원인을 규명할 필요가 있다. 또한 충청남도 자료에 의하면 표층과 저층에서 높은 오염현상을 보여주고 있다.
- TOC 기준으로도 2016년 이후 급격히 나빠지고 있으며, 2017년 이후부터는 Ⅵ등급(8mg/L초과: 매우 나쁨)을 초과한 상태로 진행되고 있다(농업용수로 사용 불가 수준).
- 이러한 이유로는 외부로부터 지속적으로 오염원이 호소 내로 유입되고 있거나 또는 호소 내에 쌓여 있는 유기물과 영양염류(질소, 인)등이 분해와 내부생산(식물플랑크톤)을 반복하면서 자체적으로 오염농도가 높아지고 있을 가능성이 있다.



<그림 4.2-2> 간월, 부남호 호소내 시계열 오염지수 변동

4.2.3 천수만 내 주요 담수호 오염도 조사 현황

- 충청남도 호소에 대한 오염도 조사는 총 5개 기관에 의해서 실시되고 있으며, 호소의 수질 조사는 수질(일반)측정망에 의해 조사되고 있다.(표 4.2-2)
- 천수만 가장 안쪽에 위치한 부남호와 간월호를 조사하는 기관은 금강유역환경청과 농어촌 공사이며, 시료채취 장소는 호소 가장자리(금강유역환경층)와 외부 비공개(농어촌공사)다.
- 가장자리 조사가 해당 호소를 대표하는 값으로 사용되기에는 신뢰도가 부족하므로 본 과업에서는 해당 호소 중앙을 기준으로 조사하였으며, 이를 타 기관 자료와 비교하였다(그림 4.2-3).

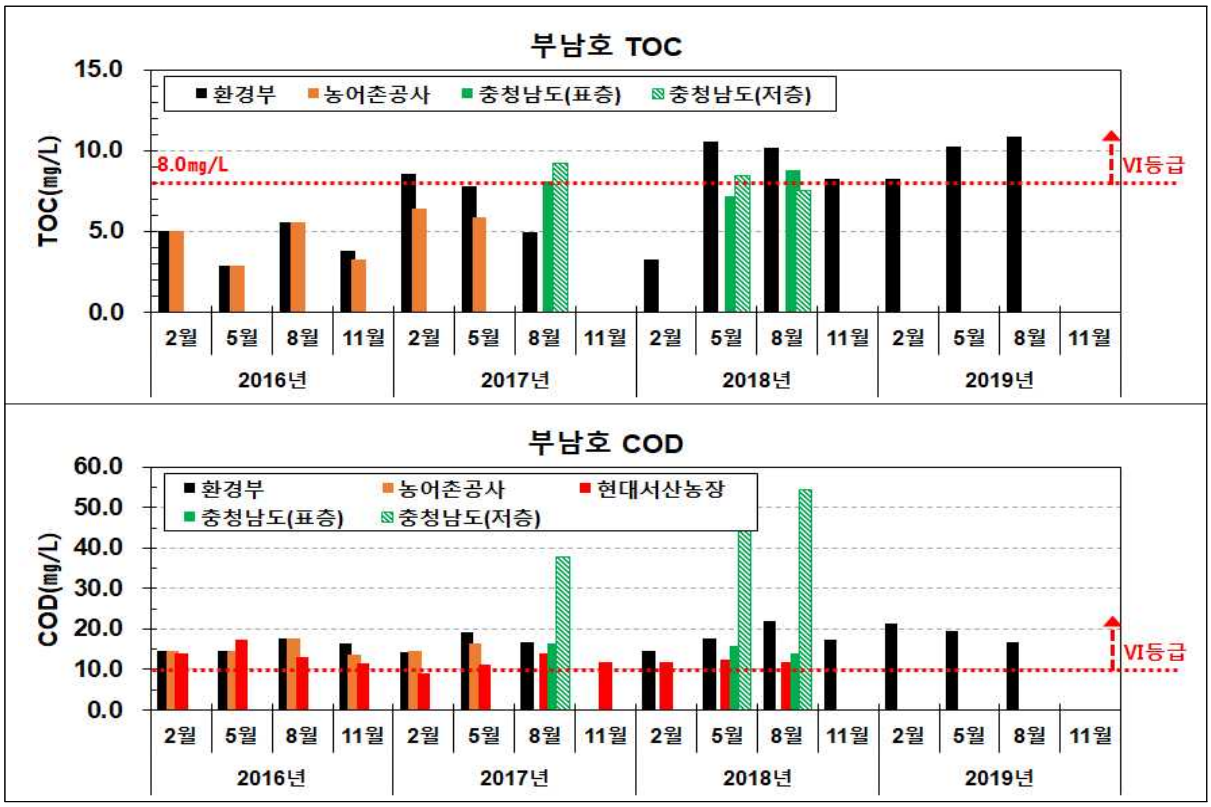
<표 4.2-2> 충청남도 담수호 오염도 조사 기관 현황

조사기관	일반측정망 (호소)	총량측정망 (일반병행)	퇴적물측정망 (호소)	방사성측정망 (호소)	생물측정망 (호소)
금강유역환경청	20	-	-	-	13
금강물환경연구소	1	58 (17)	32	3	-
시 · 도	-	-	-	-	25
한국수자원공사	비공개				
한국농어촌공사	수질에 한해 분기별 1회 실시				

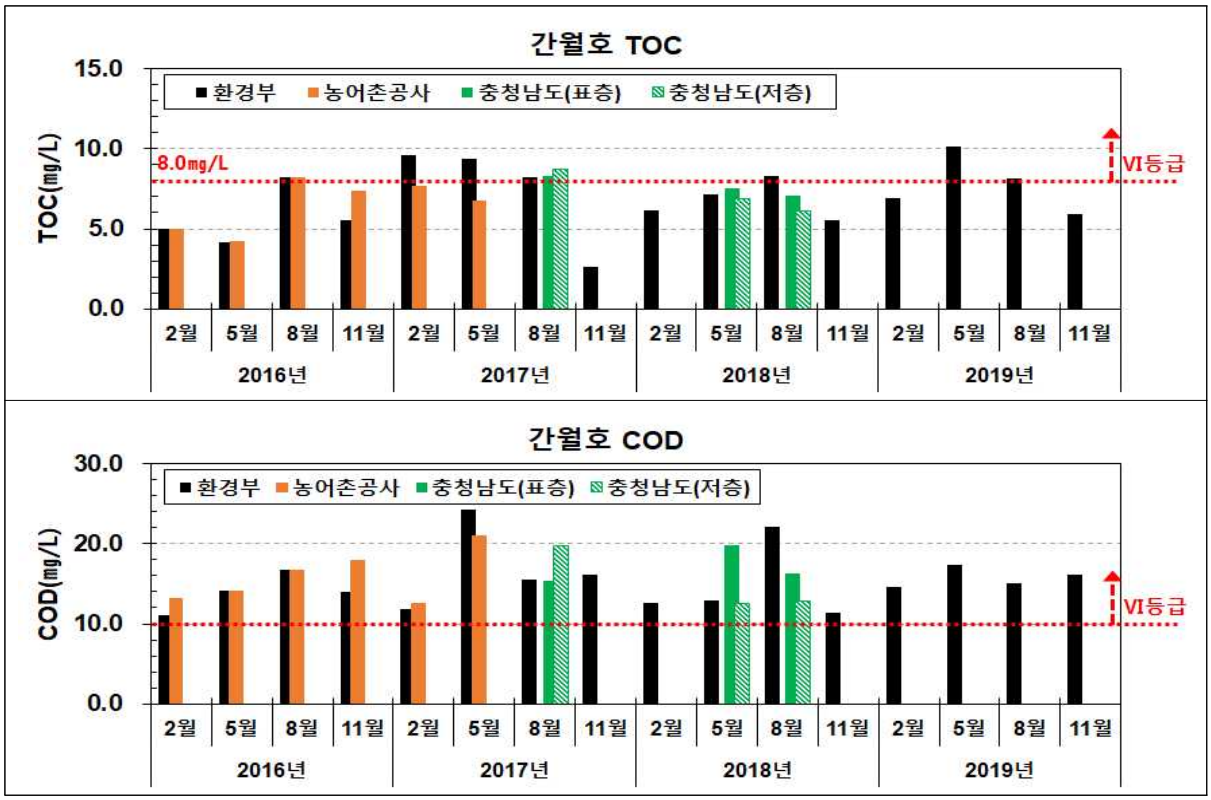
- <그림 4.2-4>~<그림 4.2-7>에는 각 기관에서 조사된 호소 내 수질 TOC 및 COD 농도의 변동추세를 비교하였으며, 대부분 호소에서 2017년도 이후 매우나쁨 수준(Ⅳ등급) 오염지수가 지속되는 패턴을 보이고 있다.
  - TOC(총유기탄소)와 COD(화학적산소요구량) 항목은 수질 내 유기물농도 지표로서 수질 내 유기물의 많고 적음을 나타낸다(표 4.2-5).
- 타 기관에서 조사된 부남호, 간월호, 홍성호 및 보령호 수질 내 TOC 및 COD 농도는 시간이 지남에 따라 증가 추세를 보여 양 호소 내 수질 악화 진행이 지속적으로 진행되고 있음을 보여준다(표 4.2-6~7, 그림 4.2-4~7).
- 또한, 부남호와 간월호 내 COD 값은 2016년 2월부터 10mg/L 초과하고 있어 이 또한 생활환경기준 Ⅵ(매우 나쁨)등급에 해당하는 수준이며, 부남호는 수질이 지속적으로 악화되는 추세가 명확히 나타나고 있다.
- 특히 2017년도 이후에는 이전보다 급격하게 오염농도가 한층 더 높아지고 있어 그 이유에 대한 정확한 원인을 규명할 필요가 있다.

- TOC 기준으로도 2016년 이후 수질이 급격히 나빠지고 있으며, 2017년 이후부터는 최고 등급인 Ⅵ등급(8mg/L 초과, 매우 나쁨)을 초과한 상태로 진행되고 있어 향후 지속적인 정밀조사 및 환경개선사업 추진이 필요할 것으로 판단된다.
- 이러한 수질이 악화되는 이유로는 외부 육상기인 오염원이 지속적으로 호소 내로 유입되고 호소 내에 쌓여 있는 유기물과 영양염류(질소, 인) 등이 분해와 내부생산(식물플랑크톤)을 반복하면서 자체적으로 오염농도가 높아지고 있을 가능성이 있다.
- 본 과업에서는 타 기관의 조사와 달리 호소 내 수질 측정을 층별(표 · 저층) 구분하여 실시하였는데, 기존 기관의 조사에서는 표층 채수만을 실시하여 호소 수질의 대표성을 확보하는데는 한계가 있었다.
- 담수호의 수질오염 원인은 저층에 퇴적물의 유기물질이 부패된 상태로 축적되어 산소를 고갈시키고, 인의 재용출/녹조류 등 식물성플랑크톤 사체의 축적 등이 반복되기 때문이다.
- 따라서 호소의 수질을 정확하기 측정하기 위해서는 수심이 깊어 성층이 일어날 수 있는 수역에서는 표층과 저층 채수를 동시에 실시하여야 한다.
- 본 과업에서 수행한 2018년 5월과 8월의 부남호 채수 분석결과와 2017년 8월의 홍성호 · 보령호 채수 분석결과를 살펴보면, 표층 및 저층의 TOC와 COD농도 차이가 확연하게 나타나며 저층의 수질악화가 심각함을 바로 확인할 수 있다(그림 4.2-4~7).
- 본 과업과 타 조사기관간의 호소 내 수질 특별조사 방법의 또 다른 차이점은 시료채취 위치의 차이이다.
- <그림 4.2-3>에 제시된 바와 같이 호소 수질 조사지점의 채수지점 위치에 따라 수질분석 결과 값이 큰 차이가 날 수 있다.
- 즉, 호소 가장자리(환경청 조사지점: 수질측정망 정점도)보다 호소 중간 지점(충청남도 조사지점: 수질측정망 정점도)에서 수질이 호소 내 수질특성을 대표할 수 있으므로 정밀한 조사를 위해서는 호소 중간지점에서 층별 조사(표층 · 저층 구분)를 실시할 필요가 있다.
- 또한, 타 기관에서는 부남호와 간월호에 대한 오염퇴적물 조사는 현재 수행되고 있지 않아 퇴적물에 대한 자료 비교는 어려운 상태이다.

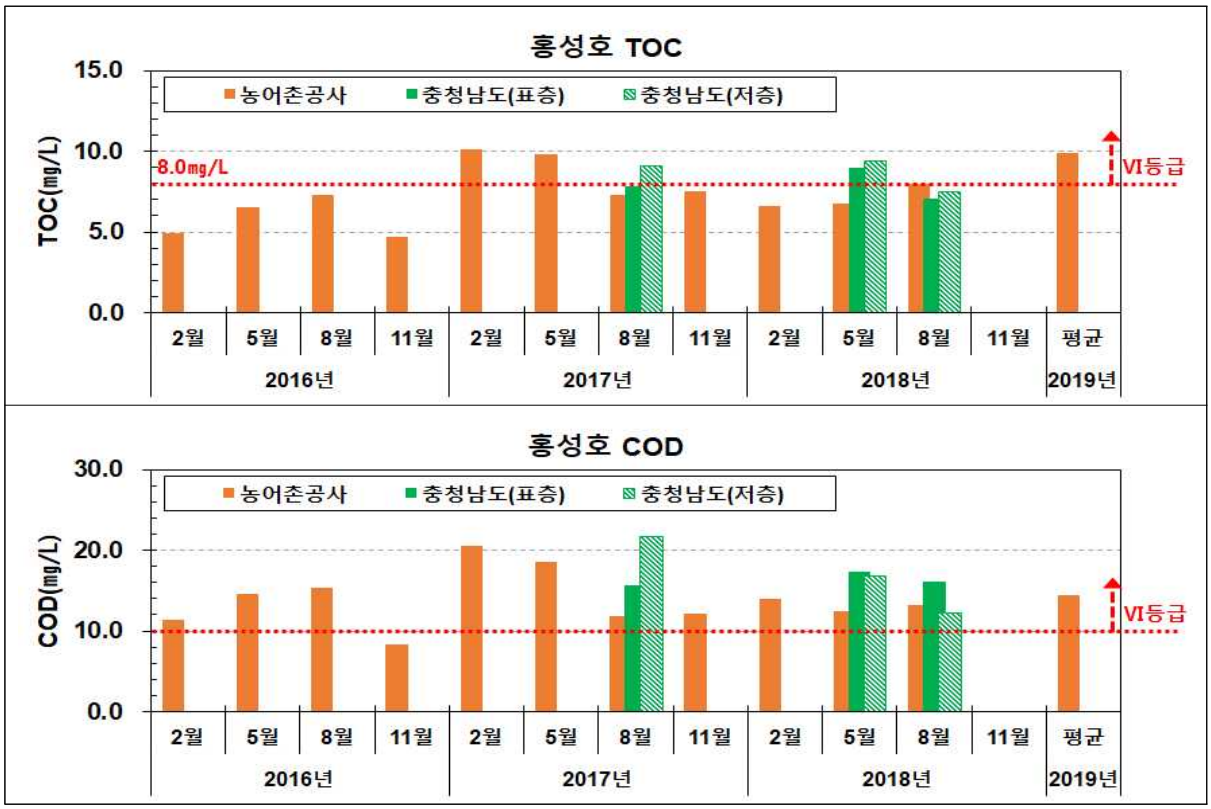
<그림 4.2-3> 수질측정망 조사 정점도(부남호, 간월호)



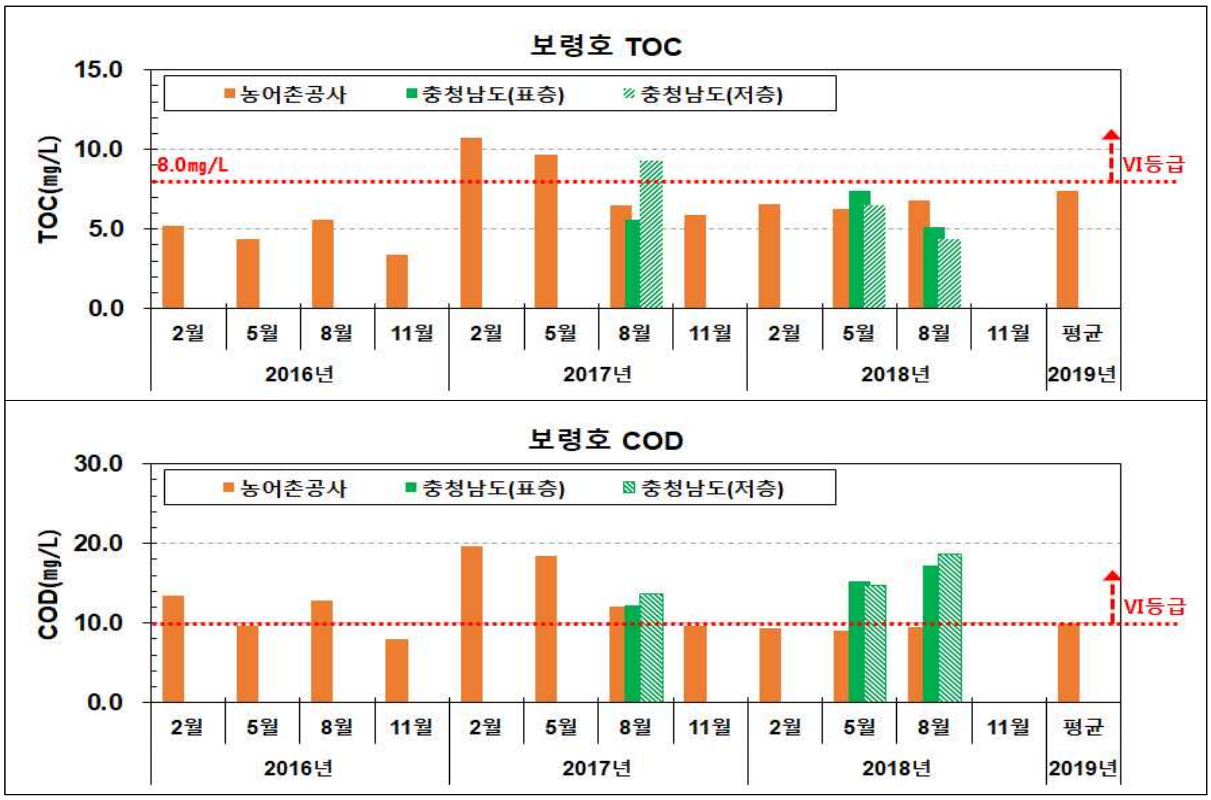
<그림 4.2-4> 부남호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교



<그림 4.2-5> 간월호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교



<그림 4.2-6> 홍성호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교



<그림 4.2-7> 보령호 조사기관별 수질 지수(TOC 및 COD) 비교

4.3 가로림만 담수호 조사(특별조사Ⅱ)

4.3.1 가로림만 특별조사

가. 조사 목적

- 가로림만은 ‘국가해양정원 조성’ 사업이 추진되고, 해양보호구역(해양생물보호구역)으로 지정되는 등 해양환경 보전 및 해양생태자원을 바탕으로 가로림만 이용을 활성화하기 위한 계획이 집중되고 있다.
- 그러나 가로림만으로 유입되는 하천하구는 방길천을 제외하고는 모두 방조제로 갇혀있어, 각 담수호의 수질 및 퇴적물의 오염도는 지속 악화되고 있다.
- 농림축산식품부(한국농어촌공사)에서 수행중인 저수지측정망에서 수질이 모니터링 되고 있는 지점은 가로림만 내에서 사창저수지, 도내저수지, 중왕저수지, 지곡저수지 등 4곳이 있다.
- 이외에도 크고 작은 80여개의 소규모 방조제가 가로림만 전역에 걸쳐 분포한다.
- 본 조사에서는 가로림만 국가해양정원에서 추진중인 사업대상지로 검토되고 있는 솔감저수지(어은천 하구)에 대한 관리현황 분석을 위해, 솔감저수지 및 어은천의 수질과 퇴적물을 조사하여 오염현황을 분석하였다.

나. 가로림만 내 하구호 수질 현황

1) 가로림만 내 하구호(저수지) 수질측정 현황

- 매 분기별 년 4회, 저수지 내 수질에 한해서 조사중이다.
- 가로림만 내에는 4개 저수지 측정망이 운영되고 있다.(사창, 도내, 중왕, 지곡 저수지)
- 수질조사 주관기관은 한국농어촌공사이다.

2) 자료 출처

- 충청남도 물통합관리정보시스템(http://water.chungnam.go.kr)
- 물통합정보서비스 - 수질자료 - 저수지
- 자료분석 기간 : 2011~2018

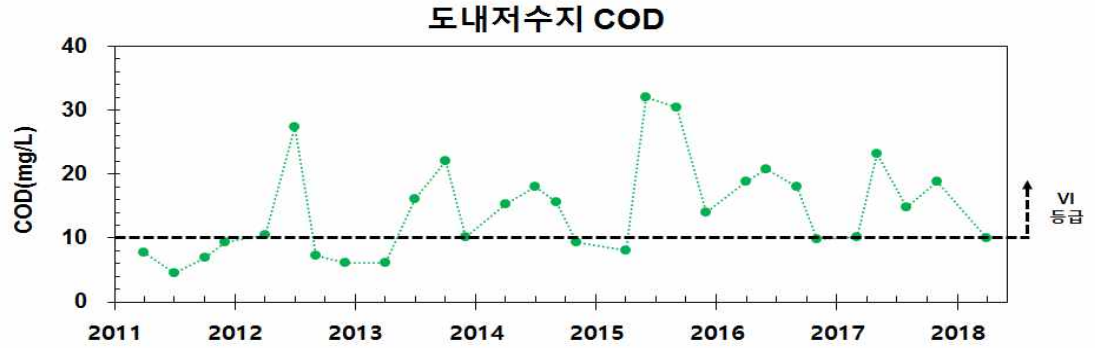
3) 가로림만 내 호소(저수지) 내 수질 분석 종합결과

- 도내저수지 등 수질조사가 수행중인 4개 저수지 모두, COD(화학적 산소요구량) 기준, Ⅴ(나쁨)~Ⅵ(매우 나쁨) 수준이며 완만한 수질악화 진행이다.
- TOC(총유기탄소량) 기준으로도 Ⅳ(약간 나쁨)~Ⅵ(매우 나쁨) 수준이며, 완만한 수질악화 진행 중이다.
- 수질등급 상으로는 Ⅳ등급(매우 나쁨) 수준으로 농업용수 사용이 불가한 수준이나, 대

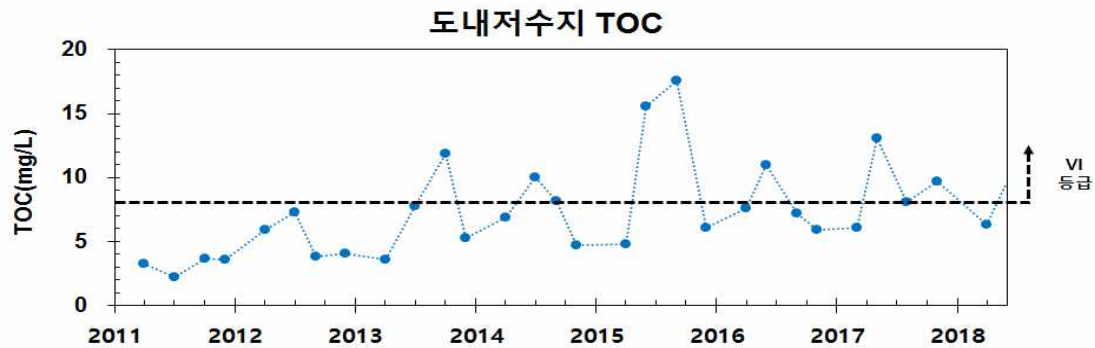
부분 저수지 주변이 농업부지로서 물대기를 통한 농업용수로 활발히 사용중에 있다.

- 부남호, 간월호의 사례를 볼 때, 수질의 악화추세가 급격히 가속화 될 수 있는데 이는 저층 퇴적물의 오염수준과 상관이 있기 때문에 퇴적물의 오염정도도 함께 조사될 필요가 있다.

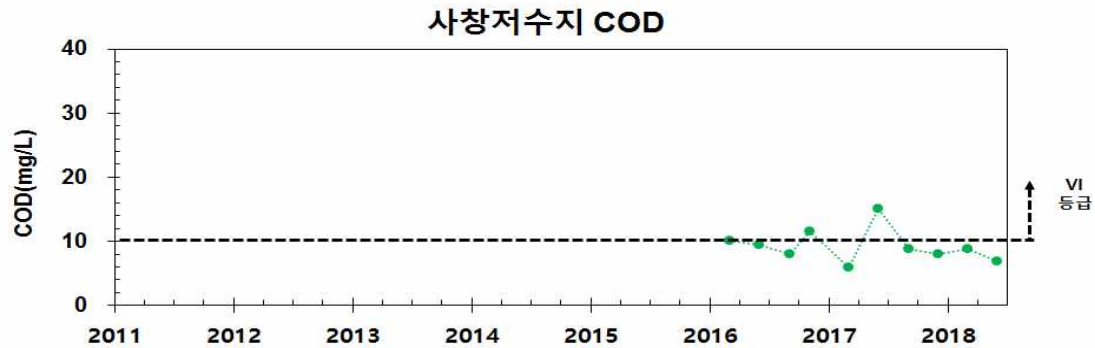
<그림 4.3-1> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 현황



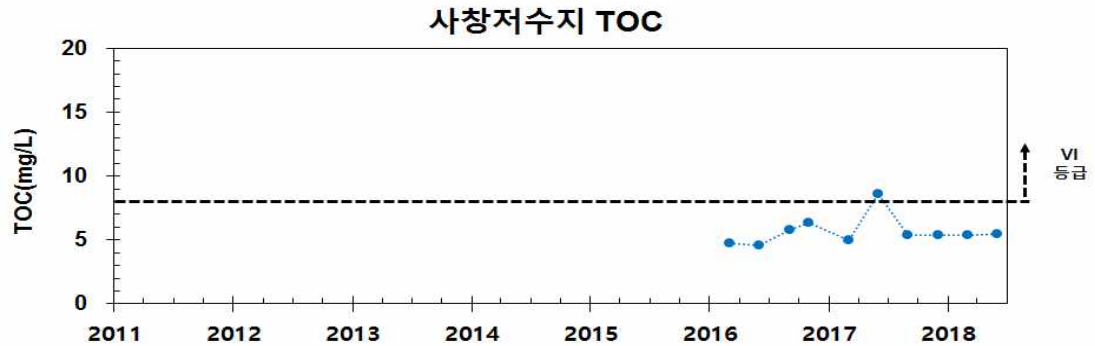
☞ 2015년 이후 호소 내 수질 생활환경 COD(화학적산소요구량) 기준 VI등급(매우 나쁨) 초과



☞ 2015년 이후 호소 내 수질 생활환경 TOC(총유기탄소량) 기준 V등급(나쁨) 초과

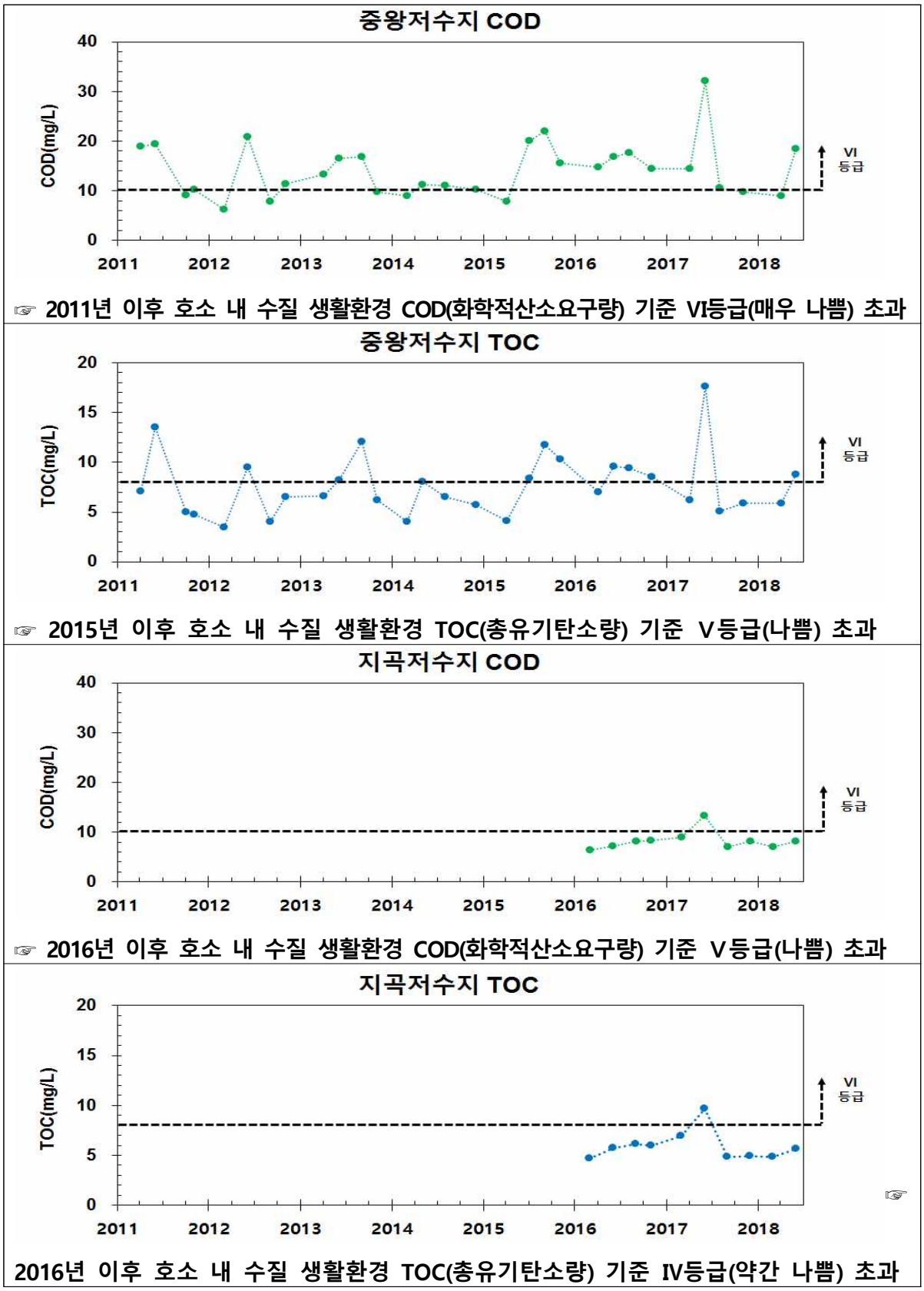


☞ 2016년 이후 호소 내 수질 생활환경 COD(화학적산소요구량) 기준 V등급(나쁨) 초과



☞ 2016년 이후 호소 내 수질 생활환경 기준 IV등급(약간 나쁨) 초과

<그림 4.3-2> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 수질 변화(도내, 사창저수지)



<그림 4.3-3> 가로림만 내 하구호(저수지) 측정망 수질 변화(중왕, 지곡저수지)

다. 연구방법

- 충남 서산시 팔봉면 어송리에 위치한 솔감저수지 및 어은천의 3개 정점에 대한 수질, 퇴적물 조사 수행(‘19. 5월 1회)
- 현장조사 결과 분석을 통한 솔감저수지와 어은천의 수질 및 퇴적물 오염 환경특성 분석
- 조사 정점

  : 가로림만 내 솔감저수지 및 어은천 2개소

<그림 4.3-4> 솔감저수지 및 어은천 조사 정점 및 공간 구분

4.3.2 솔감저수지 · 어은천의 수질조사결과

- 유기물 오염상태를 나타내는 지표인 COD(화학적산소요구량)와 TOC(화학적산소요구량) 기준, 모든 정점에서 Ⅵ등급의 매우 나쁨 수준을 보였다.
- 영양염류인 총질소(TN)와 총인(TP)결과를 보면 어은천에서는 모두 Ⅵ등급(매우 나쁨)으로 조사된 반면 솔감저수지에서는 Ⅴ등급(나쁨)의 수질을 보여 어은천보다 솔감저수지 수질이 다소 양호한 것으로 나타났다.

- 어은천의 수질에서 유기물(COD, TOC)과 영양염류(TN, TP) 농도가 높게 나타나고 있는 것은 주변 환경으로부터 하천으로 오염물질이 유입되고 있는 것으로 판단된다.
- 이러한 어은천 내 높은 오염물질(유기물과 영양염류)이 솔감저수지로 유입되어 솔감저수지에서도 수질악화를 초래하고 있다고 판단된다.

<표 4.3-1> 솔감저수지・어은천 항목별 수질 등급

구분	화학적 산소요구량 (COD)	총유기탄소량 (TOC)	총인 (T-P)	총질소 (T-N)
	(mg/L)			
어은천-1	28.5 (Ⅵ)	16.0 (Ⅵ)	0.312 (Ⅵ)	4.17 (Ⅵ)
어은천-2	25.2 (Ⅵ)	14.4 (Ⅵ)	0.189 (Ⅵ)	2.07 (Ⅵ)
솔감저수지-1	18.2 (Ⅵ)	9.7 (Ⅵ)	0.128 (Ⅴ)	1.11 (Ⅴ)

4.3.3 솔감저수지 · 어은천의 퇴적물 조사결과

가. 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 항목별(입도, 유기물 및 영양염류) 특성

- 어은천-1, 2에서 퇴적물 내 실트-펄 함량은 각각 23.00%(어은천-1), 19.76%(어은천-2)로 솔감저수지-1(40.01%) 보다 낮은 함량을 보였다.
- 즉, 입자가 작은 실트-펄 입자들이 어은천으로부터 유입되어 솔감저수지에 퇴적되고 있는 것으로 판단된다.
- 어은천-1, 2에서 퇴적물 내 유기물 지표인 강열감량은 각각 5.6%, 5.0%였으며 솔감저수지 내 강열감량은 6.4%로 나타났다. 이 농도는 호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준과 비교해 낮은 오염특성을 보인다.
  - 〔참고〕 유기물 기준: 강열감량(IL) 13% 초과(Ⅳ등급)시 심각하고 명백한 오염
- 솔감저수지(558.3mg/kg)의 총인(TP) 농도는 어은천-1(625.5mg/kg), 어은천-2(407.3mg/kg)에서 조사된 결과와 비교하면 중간적인 농도 특성을 보였다.
- 총질소(TN)의 경우에는 어은천-1(700mg/kg), 어은천-2(500mg/kg)보다 솔감저수지(800mg/kg)내 퇴적물에서 가장 높은 농도특성을 보였다.
- 어은천과 솔감저수지 내 퇴적물에서 조사된 영양염류(TN, TP)의 오염은 기준치 보다 낮은 농도를 보이고 있어 퇴적물 오염은 양호한 것으로 판단된다.
  - 〔참고〕 영양염류 기준: TN(5,600mg/kg초과), TP(1,600mg/kg초과)기준 초과시 심각하고 명백한 오염

<표 4.3-2> 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 항목별(입도, 유기물 및 영양염류) 결과

구분	입도 (%)				강열감량 (IL)	총인 (T-P)	총질소 (T-N)
	자갈	모래	실트	펄	(%)	(㎎/L)	
어은천-1	3.46	73.55	19.73	3.27	5.6	625.5	700
어은천-2	11.33	68.90	16.84	2.92	5.0	407.3	500
솔감저수지-1	0.58	59.40	34.32	5.69	6.4	558.3	800

나. 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 중금속 분포 특성

○ 어은천과 솔감 저수지 퇴적물 내 대부분의 중금속 항목에서 기준치보다 낮은 농도 분포를 보였지만 니켈(Ni)인 경우 솔감저수지에서 Ⅱ등급 농도를 보였다.

- 〔참고〕 금속류 Ⅱ등급 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 있음

<표 4.3-3> 솔감저수지・어은천 퇴적물 내 중금속 분포 결과

구분 (단위: mg/kg)	구리 (Cu)	납 (Pb)	니켈 (Ni)	비소 (As)	아연 (Zn)	카드뮴 (Cd)	크롬 (Cr)	수은 (Hg)
어은천-1	20.19	36.49	40.91	5.32	103.89	0.20	38.39	0.016
어은천-2	19.74	37.12	38.84	4.49	99.15	0.19	40.33	0.019
솔감저수지-1	21.27	41.47	74.09	8.42	125.37	0.23	46.08	0.023

다. 솔감저수지 · 어은천의 오염현황 종합평가

○ 솔감저수지의 수질과 퇴적물 내 오염은 어은천으로부터 유입된 오염물질로부터 영향을 받고 있다고 판단된다

○ 특히 수계를 통해 어은천으로부터 유기물과 영양염류가 솔감저수지로 유입되고 있는 것으로 파악이 되었고 이는 솔감저수지의 수질 오염에 영향을 미치고 있음. 또한 일부는 퇴적물에도 영향을 주고 있는 것으로 판단된다

○ 한편, 긴 시간동안 솔감저수지의 내부생산에 의해 자체적으로 유기물과 영양염류의 농도도 증가하고 있을 것으로 판단된다

○ 중금속 오염에 대해서는 어은천과 솔감 저수지 주변에 공장 및 산업단지 등이 없어 중금속에 의한 수질 및 퇴적물의 오염현상은 매우 미미한 것으로 보인다.

라. 하천 · 호소 수질 및 퇴적물 기준

1) 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준[환경부, 2012.11]

<표 4.3-4> 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준[환경부, 2012.11]

구분 (단위: ㎎/L)		화학적 산소요구량 (COD)	총유기탄소량 (TOC)	총인 (T-P)	총질소 (T-N)
매우 좋음	Ia	2 이하	2 이하	0.01 이하	0.2 이하
좋음	Ib	3 이하	3 이하	0.02 이하	0.3 이하
약간 좋음	II	4 이하	4 이하	0.03 이하	0.4 이하
보통	III	5 이하	5 이하	0.05 이하	0.6 이하
약간 나쁨	IV	8 이하	6 이하	0.10 이하	1.0 이하
나쁨	V	10 이하	8 이하	0.15 이하	1.5 이하
매우 나쁨	VI	10 초과	8 초과	0.15 초과	1.5 초과

2) 하천 · 호소 퇴적물 오염평가 기준[환경부, 2015.12]

<표 4.3-5> 하천 · 호소 퇴적물 오염평가 기준[환경부, 2015.12]

구분		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
유기물 및 영양염류	강열감량(IL,%)				13초과
	총질소(TN, mg/kg)				5,600초과
	총인(TP,mg/kg)				1,600초과
	구리(Cu, mg/kg)	60이하	228이하	1,890이하	1,890초과
	납(Pb, mg/kg)	65이하	154이하	459이하	459초과
	니켈(Ni, mg/kg)	53이하	87.5이하	330이하	330초과
	비소(As, mg/kg)	29이하	44.7이하	92.1이하	92.1초과
	수은(Hg, mg/kg)	0.1이하	0.67이하	2.14이하	2.14초과
	아연(Zn, mg/kg)	363이하	1,170이하	13,000이하	13,000초과
	카드뮴(Cd, mg/kg)	0.6이하	1.87이하	6.09이하	6.09초과
	크롬(Cr, mg/kg)	112이하	224이하	991이하	991초과

비고 :
1. 등급별 퇴적물의 상태
 가. 금속류
  -Ⅰ등급: 저서생물에 독성이 나타날 가능성 거의 없음
  -Ⅱ등급: 저서생물에 독성이 나타날 가능성 있음
  -Ⅲ등급: 저서생물에 독성이 나타날 가능성 비교적 높음
  -Ⅳ등급: 저서생물에 독성이 나타날 가능성 매우 높음
 나. 유기물, 영양염류
  - Ⅳ등급: 심각하고 명백한 오염

제5장

차년도 연안환경측정망 운영계획 개선안

1. 정 기 조 사 실 시 의 성 과
2. 특 별 조 사 실 시 의 성 과
3. 차년도 서해안 연안환경측정망 모니터링 수행
4. 2020년도 특별조사 및 향후 추진 계획

제 5 장 차년도 연안환경측정망 운영계획 개선안

5.1 정기조사 실시의 성과

5.1.1 해수 수질

가. 해수수질

- ㅇ 수질평가 지수값(WQI) 분석결과, 전반적으로 1(매우좋음)~3(보통)등급으로 조사되어 전반적으로 양호하였다.
  - 금강하구, 아산만 내측에서 4(나쁨)~5(아주나쁨)등급 조사되었으나, 춘하계 수온상승, 녹조류 번성 등으로 나타나는 현상으로 분석됨

나. 해수내 미량금속

- ㅇ 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

- ㅇ 1(매우좋음)~3(보통)등급으로 오염지수가 낮게 나타났다.

5.1.2 해저 퇴적물

가. 부영양화

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

나. 중금속

- ㅇ 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)

5.1.3 해양 생물(굴)

- ㅇ 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.

5.1.4 기타

- ㅇ 충남도 해역에는 천수만 뿐 아니라 삽교호와 아산호가 위치한 아산만과 함께 금강하구역의 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 추가로 기획할 필요가 있다.
- 정기조사에서 수행된 자료는 해양환경정보포털(www.meis.go.kr)을 통해 공개가 되고 있으며, 2016년 이후 자료부터 찾아볼 수 있도록 시스템이 구성되어 있다.

5.2 특별조사 실시의 성과

5.2.1 천수만 특별조사

- 2017~2018년도는 서해안 연안환경모니터링의 정기 조사와 함께 천수만 특별조사가 기획되어, 2년 동안 수행되었으며, 2019년도에는 천수만 내 3개 담수호와 주요 가두리 양식장 주변해역에서의 오염상관도 분석을 실시하였다.
- 천수만은 대표적인 반폐쇄성 내만의 형태를 가진 해역으로 외해로부터의 파력이 차폐된 천혜의 수산자원보호구역이자 조업 및 해양생태 관광자원으로서의 가치가 매우 높은 지역이다.
- 그러나 천수만 내 4개 하구호에서 비정기적으로 방류되는 오염수 및 퇴적물은 지속적인 점오염원의 형태로 천수만 해양환경에 위협요소가 되고 있다.
- 본 연구에서의 천수만 특별조사의 성과를 바탕으로 천수만 내측 해역에서의 퇴적물 오염은 육상기인 영향과 해상가두리양식장 등 인간의 활동에 기인한 것이 복합적으로 작용하는 것을 확인하였다.
- 담수호 수질 분석결과, 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 있었다.
- 특히 부남호, 간월호, 홍성호 수질의 악화추세가 뚜렷하였다.(완만한 악화추세)
- 간월호, 부남호 인접 해역에서의 퇴적물 오염은 장기간 지속되어온 담수호의 배출에 따른 영향이 상대적으로 크게 나타나고 있으며, 간척으로 인한 천수만 북측해역에서의 유속이 감소한 원인으로 퇴적물 입도가 세립해진 원인도 함께 작용한다.
- 가두리 양식장이 밀집한 해역에서는 양식장에서 배출되는 복합사료의 해저침적으로 인한 해양퇴적물의 유기오염도 상승이 나타나고 있었다.
- 안정동위원소 비교 결과 가두리양식장 인근해역의 퇴적물 유기물과 양식장 배합사료 간에 일치하는 성분조성 결과가 나타났는데, 친환경 사료 등으로의 전환이 필요할 것으로 판단된다.
- 부남호 전면해역의 경우 장기적인 해양환경 개선 대책으로 가두리 양식장 및 해상낚시터의 이전이 반드시 필요하다고 할 수 있다.

5.2.2 가로림만 특별조사

- 솔감저수지는 가로림만으로의 유입하천 중 가장 큰 저수량을 가지며, 어은천이 가로림만으로 합류되는 하구호임인데, 현재 농업용수 공급지로의 역할 수행하고 있다.
- 솔감저수지의 수질을 상류부, 하류부로 구분하여 조사 결과, TOC기준 최고등급인 Ⅵ등급(매우 나쁨, TOC 8mg/L 초과)으로 농업용수로 부적합한 수준(농업용수로는 사용중)으로 나타났다.
- 호소 내 유기퇴적물의 오염도는 명백한 오염수준에는 미치지 않으나, 유기물질이 축적된 퇴적물 오염특성이 명확히 나타나며, 지속적으로 유기오염물질이 축적되고 산화가 진행중에 있는 것으로 분석되었다.
- 다만 호소 내 수질 및 퇴적물에서의 중금속 영향은 거의 나타나지 않았다.
- 솔감저수지 수질악화 원인은 오염된 퇴적층에서 수질오염원인 물질이 용출되고 있기 때문이며, 장기적으로 퇴적층 오염도는 지속적으로 심화될 것이며 이에 따른 수질악화도 진행될 것으로 보여 정기적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

5.3 차년도 서해안 연안환경측정망 모니터링 수행

- 조사지점 간 중복을 피하고, 해양퇴적물 조사의 공간적 범위를 확보하기 위한 현재의 정기조사망 운영에 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.
- ‘20년도부터는 충청남도 연안환경 모니터링 조사 횟수를 ‘19년과 같이 동일한 형태로 정기조사를 수행하면 될 것으로 판단된다.
  - 해양수질 조사는 계절적 변화 추적 및 사전예방적 기본조사 측면에서 30개 정점에 대한 년 4회 실시 유지
  - 해수30개 정점 해저 퇴적물 조사 년 1회 실시
    - ➡ 해저 퇴적물 결과에서는 계절적(년 4회) 패턴 변화가 상대적으로 작게 나타나 국가측정망과 같이 년 1회 조사로 수행
  - 해양생물은 천수만 내 1개소가 추가된 총 5개소로 진행
    - ➡ 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
- 5년차(‘20년) 조사 후, 정밀 자료검토를 통한 조사정점, 항목 · 횟수 등 재조정 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5.4 2020년도 특별조사 및 향후 추진 계획

- 닫힌 하구 내외측에 대한 육상기인 오염물에 대한 영향분석을 위해서는 하구둑으로 구분된 하구호 내측과 외측의 수질 및 퇴적물에 대한 시료 분석이 면밀하게 이루어져야한다.
- 이를 위하여 2017~2018년 천수만 특별 조사에 이어 추가적인 도내 주요 하구호 내측에 대한 수질 및 퇴적물 시료를 취득 및 분석을 통한 지속적인 DB 확보가 필요하다.
- 2020년에는 천수만 내 4개 담수호 수질 및 퇴적물 오염도 조사(4년차 실시)를 추가 실시하고, 담수호 조사결과를 근거로 관리청(농어촌공사, 현대건설, 천수만사업단)과 수질 및 퇴적물에 대한 오염 저감 방안에 대하여 지속 협의하도록 한다.

<그림 5.3-1> 천수만 내 담수호 오염도 조사

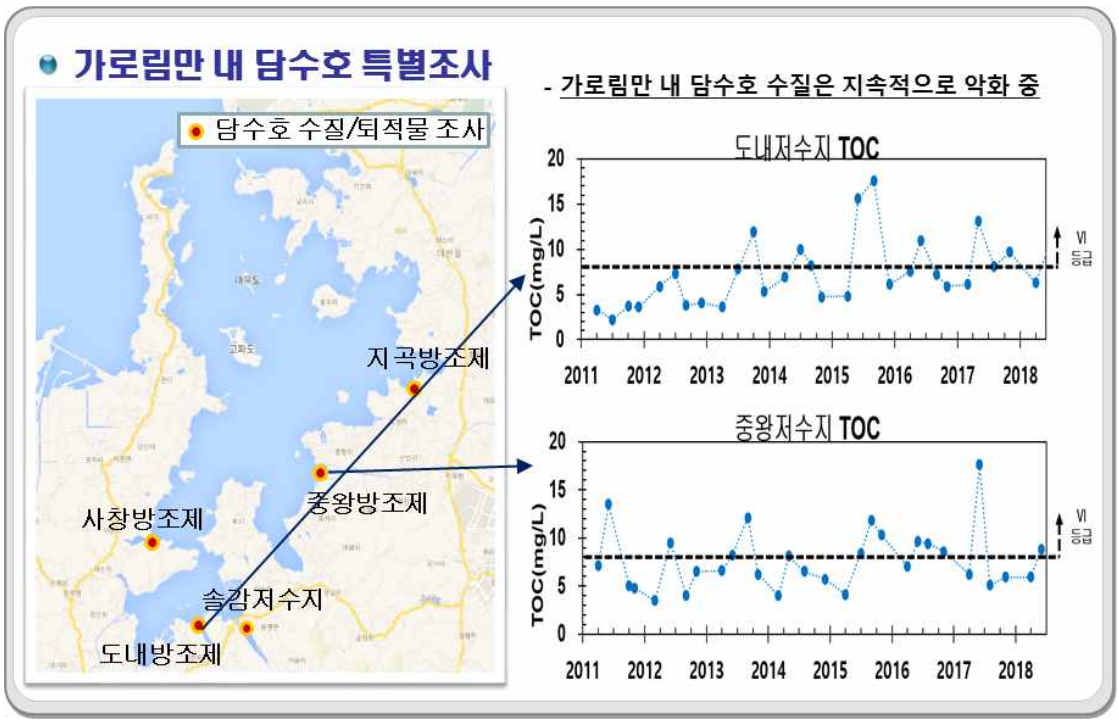
- 또한 부남호 전면해역 오염퇴적물 깊이조사 실시(가두리양식장 주변 포함)하고, 안정동위원소 분석을 통하여 해역에서의 오염퇴적물 발생기원 및 분포량을 면밀히 파악하도록 한다.

<그림 5.3-2> 천수만 주상퇴적물 조사 계획

○ 추가로, 부남호로 유입되는 소하천에 대한 수질오염도를 조사하여 부남호 수질 악화의 원인 분석에 활용하도록 한다.

<그림 5.3-3> 부남호 유입하천 수질조사 계획

- 천수만 이외에 충청남도의 현안사업이 집중될 예정인 가로림만에 대한 해양생태환경 기본자료 축적이 매우 중요하다.
- 이를 위해서 솔감저수지, 중왕저수지 등 유입하천 및 담수호에 대한 수질/퇴적물 조사를 시범적으로 실시한다.
- 가로림만의 닫힌 하구 내 주요 호소의 오염현황 규명이 필요한데, 현재 가로림만 관련 자료는 매우 부족한 실정이다.
- 환경부 및 농림축산식품부에서는 하천수 및 호소수에 대한 정기 모니터링을 실시하고 있는데, 가로림만 내에는 4개의 저수지 측정망만이 위치하며, 분기별로 수온, 용존산소량, BOD, COD, TN, TP 등 수질 일반항목에 대한 측정을 수행하고 있으며, 퇴적물에 대한 별도의 시료 조사분석은 수행하지 않고 있다.



<그림 5.3-4> 가로림만 내 담수호 특별조사 계획

- 본 연구에서는 충청남도 대표해역인 천수만에 대한 체계적인 관리를 위해 호소 내 오염 현황 조사를 통하여 하구호 내의 육상기인 오염에 대한 대책을 마련하고, 아울러 천수만 해역의 저층 오염퇴적토에 대한 환경정화사업 추진을 지원하였다.
- 이러한 특별조사 수행을 통하여 하구역에 위치한 방조제의 수문개폐 현황에 대한 정기적인 조사와 함께 육상기인 오염원에 대한 해양방류영향의 분석을 위하여 하구언 수문 내외측 동시 조사를 통하여 육상의 오염원 배출 영향을 장기적으로 분석하고 있다.

- ㅇ 2020년도 천수만 특별조사에서 수행될 부남호 전면의 오염우심해역에 대한 오염물 깊이 측정(주상퇴적물 조사) 결과를 통하여 오염퇴적물의 공간분포 및 분포량에 대한 심화된 분석이 가능할 것으로 보인다.
- ㅇ 또한 천수만과 가로림만 외, 도내 주요 하구호 주변 수질오염 우려지역에 대한 특별조사 확대 실시를 위한 사전 연구를 병행하여, 천수만 이외의 주요 닫힌 하구에 대한 수질 · 퇴적물 오염도 및 유입하천로부터의 오염물질 유입영향 등을 기초 연구할 수 있는 DB 축적을 기획할 예정이다.
  - 대호, 석문호, 삽교호, 아산호, 부사호, 금강하구, 가로림만 등 대상
- ㅇ 이를 통하여 2021년부터 시행될 '서해안 연안환경측정망 모니터링' 2단계 연구에서는, 충남도 내 닫힌 하구에 대한 생태복원 방안을 모색하도록 하며, 하구호 개방 여건 및 오염도에 따른 하구복원 우선순위 등을 정량적으로 제시할 수 있을 것으로 기대한다.
- ㅇ 또한 충청남도 지속가능발전지표(SDGs) 2030의 열린하구 비율 지표를 현재 9.6%에서 2030년까지 20% 이상으로 복원목표를 지원하도록 한다.
- ㅇ 다만 닫힌 하구 복원 및 관리랄 위한 정기조사에는 많은 시간과 비용이 소요되는 사업이므로, 별도의 사업예산이 필요할 것으로 보여 2단계 사업진행 시에는 전문가 검토를 통한 예산 및 과업의 중장기 시행계획을 수정 · 보완하여 수립하여야 할 것이다.

참고문헌

참 고 문 헌

국가통계포털(http://kosis.kr).

국가해양환경정보통합시스템 (http://www.meis.go.kr/).

국립수산과학원 실시간어장정보(http://www.nifs.go.kr/).

국토해양부, 20007. 해양생태계 기본조사 -35.5° 곰소만 입구~37° 아산만-.

김숙양 등, 2012. 2010년 진해만 빈산소수괴 발생시 환경변화 특성, 한국자연보호학회지, 6(2), 115-129.

김지회, 임치원, 김평중, 박정흠, 2003. 우리나라 남해안산 패류의 중금속 함량. J.Fd Hyg. Safety. 18(3), 125-132.

목종수, 이가정, 심길보, 이태식, 송기철, 김지회, 2010. 한국 연안산 해산 무척추동물의 중금속 함량. J Korean Soc Food Sci Nutr. 39(6), 894-901.

물환경정보시스템(http://water.nier.go.kr/)

박준건, 김은수, 조성록, 김경태, 박용철, 2003. 시화호 수질의 연변화 양상에 대한 연구, Ocean and Polar Research, 25(4): 459-468.

농림축산식품부, 방조제관리법(2013.03.23. 시행).

식품의약품안정처, 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.

이용화, 김영숙, 심정민, 권기영, 2010. 빈산소 수괴해역 용존산소 환경개선장치 개발과 현장 적용, 해양환경안전학회지, 16, 339-344.

이인숙, 김은정, 2000. 진해만의 퇴적물, 해수 및 참굴 내의 중금속 분포. Korean J. Ecol. 23(1), 59-64.

정광영, 2015. 천수만의 여름철 해수유동과 물성 및 용존산소 변동 특성, 충남대학교 박사논문.

조상만, 김영환, 정우건. 2009. 통영연안 해역의 양식 참굴의 중금속 농축에 관한 연구. 한국패류학회지. v23 no.1 pp.59-64

조현서, 박청길, 변종률, 1998. 온산연안해역의 중금속 오염에 관한 연구. 수질보전학회지 4: 31-40.

최희구, 박주석, 이필용. 한국연안 진주담치와 굴의 중금속 농도에 관한 연구. 한국수산학

회지. v25 no.6 pp.485-494
충남연구원 충남기후정보브리핑, 2016. 폐쇄성 해역의 빈산소 수괴 발생 및 저질 환경개선 방안(천수만을 중심으로).
충남연구원, 2016. 대호호 수질관리를 위한 기초조사 연구 최종발표자료
충남녹색환경지원센터, 2015. 석문호 수질개선방안 연구 최종보고서
충청남도, 2016. 천수만 고수온 피해어가 복구 현황.
충청남도, 2016. 충남 연안 및 하구 생태복원방안 연구 용역 최종보고서
충청남도, 2015. 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구 용역 최종보고서
충청남도, 2016. 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구 용역 최종보고서
충청남도, 2017. 서해안 연안환경측정망 모니터링 연구 용역 최종보고서
하강자, 송주영, 하대식. 2004. 경상남도 연안지역 어패류 중의 중금속 함량에 관한 연구, J.Fe Hyg. Safety 19(3), 132-139.
한두희, 2010. 서산부남호 수문을 통한 오염물질 확산 모델링, 한국산학기술학회논문지, 11(3), 1006-1015.
한수정, 이인숙. 2000. 생물지표종을 이용한 온산만의 중금속 오염도 평가. 한국생태학회지 23(1) : 51~57.
한국해양수산개발원, 2012. 육상오염원 관리체계 선진화방안.
한국해양연구소, 1982. 생태계 내에 있어서 오염물질의 이동체계에 대한 연구. BSPE 00032-60-40. p77 .
해양수산부, 2013. 해양환경공정시험기준.
해양수산부, 2013. “해양환경관리법” 제 8조에 따른 해양환경기준 : 해양수산부고시 제 2013-186호(2013.6.28. 일부 개정).
해양수산부, 2018. “해양환경관리법” 제 8조에 따른 해양환경기준 : 해양수산부고시 제 2018-10호.
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.
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.
Buchman MF. 2008. NOAA screening quick reference tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of response and restoration division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34.

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.

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.

Calvert SE (1976) Mineralogy and geochemistry of nearshore sediments. In: Riley JP and Chester R (eds) Chemical Oceanography, Vol. 6, 2nd ed. Academic Press, London. pp 187-280.

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 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.

Hyun S, Lee T, Choi JS, Choi DL and Woo HJ. 2003. Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, south coast of Korea. J Kor Soc Oceanogr 8, 380-391.

Hwang DW, Ryu SO, Kim SG, Choi OI, 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, Park SE, Kim PJ and Choi HG. 2011. Assessment of the pollution levels of organic matter and metallic elements in the intertidal surface sediments of Aphae Island. Kor J Fish Aquat Sci 44, 759-771.

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 DW, Kim PJ, Jung RH and Yoon SP. 2013. Distributions of organic matter and trace metals in intertidal surface sediment from the Mokpo-Haenam coast. Kor J Fish Aquat Sci 46, 454-466.

Jeon SG and Cho YG. 2002. Some heavy metal concentration of surface sediments from the southwestern coast of Korea. J Environ Sci 11, 1299-1305.

Jung RH, Hwang DW, Kim YG, Koh BS, Song JH and Choi HG. 2010. Temporal variations in the sedimentation rate and benthic environment of intertidal surface sediments around Byeonsan Peninsula, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 43, 723-734.

Kim, B. C. Jung, S. M. Jang, C. W. Kim, J. K., 2007, Comparison of BOD, COD and TOC as the indicator of organic matter pollution in streams and reservoirs of Korea, J. Korean Society of Environmental Engineers, 28(6), 640-643

Kim JG, You SJ, CHo EI and Ahn WS. 2003. Distribution characteristics of heavy metals for tidal flat sediments in the Sae-mankeum area. J Kor Fish Soc 36, 55-61.

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.

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.

Lim et al. 2006, Hypoxia and benthic community recovery in Korean coastal waters, Mar. Pollut. Bull., 52, 1517-1526,

Lee, M.Y., 2010, Characteristics of organic matters and trace metal distribution in the surface sediments of Gwangyang bay, Korea, Graduate school of Education Pukyoung National University.

Lee, S. H., Fuhrman, J. A., 1987, Relationship between biovolume and biomass of

naturally derived marine bacterioplankton, Appl. Environ. Microbiol, 53, 1298 - 1303.

Martin JM and Whitfield M. 1983. The significance of river input of chemical elements to the ocean. In: Trace Metals in Sea Water .Wang CS, Boyle E, Burton JD and Goldberg ED, ed. Plenum, New York, U.S.A., 265-298.

Müller G, 1977. C/N ratio in pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. Geochim. Cosmochin Acta, 41, 765-776.

Müller G (1979) Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veranderungen seitt 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.

Sahu KC and Bhosale U. 1991. Heavy metal pollution around the island city of Bombay, India. Part I: quantification of heavy metal pollution of aquatic sediments and recognition of environmental discriminants. Chem Geol 91, 263-283.

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.

Stein, R., 1991, Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Springer Verlag, Berlin, 1-217.

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.

S. W. Kweon, 1979. Studies on the distribution of dissolved oxygen on Jinhae Bay in Summer. Bull. Nat' l. Fish. Res., 22, 7-20.

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.

부록

1. 충청남도 내 호소 조사 현황
2. 환경부 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준
3. 하천· 호소 퇴적물 오염평가 기준
4. 해양환경 기준
5. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 규정
6. 충청남도 지속가능발전목표 2030 내 관련 지표

부록 1 충청남도 내 호소 조사 현황

□ 충청남도 호소조사 현황

조사기관	일반측정망 (호소)	총량측정망 (일반병행)	퇴적물측정망 (호소)	방사성측정망 (호소)	생물측정망 (호소)
금강유역환경청	20	-	-	-	13
금강물환경연구소	1	58 (17)	32	3	-
시・도	-	-	-	-	25
한국수자원공사	-	-	-	-	-
한국농어촌공사	수질에 한해 분기별 1회 실시				

□ 충청남도 호소조사 항목

1 수질(일반)측정망

측정소명	조사기관	조사기간	조사항목	
			일반항목	미량금속 및 유해화학물질
부남호 간월호 대호 금강하구언 삽교호 예당지 탑정지	금강유역환경청	월 1회	수온, pH, DO, BOD, COD, SS, TN, TP, TOC, 페놀, 전기전도도, 총대장균군수, 분원성대장균군수, 용존총질소, 용존총인, Chl-a, 투명도, NH_4-, NO_3-, PO_4-P	Cd, CN, Cr+6, Pb, As, Hg, 음이온계면활성제, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 사염화탄소, 디클로로메탄, 벤젠, 폴리크로리네이티트비페닐 안티몬, 클로로포름,다이옥세인
보령댐	한국수자원공사			

2 총량측정망

측정소명	조사기관	조사기간	조사항목	
			일반항목	미량금속 및 유해화학물질
금본 길산천 논산 미호 석성천 유등	금강물환경연구소	주 1회	수온, pH ,전기전도도, DO, BOD COD,SS,TN,TP,TOC,유량	-

3 퇴적물측정망

측정소명	조사기관	조사기간	조사항목	
			일반항목	미량금속 및 유해화학물질
보령댐	금강물환경연구소	2015년도 2회 (상·하반기)	수온(표・저), pH(표・저), 전기전도도(표・저), DO(표・저) 투명도,입도,완전연소가능량,COD,TOC,TN,TP,SRP	Pb, Zn, Cu, Cr, Ni, As, Cd, Hg, Al, Li, Chlorobiphenyl, Dichlorobiphenyl, Trichlorobiphenyl, Tetrachlorobiphenyl,Pentachlorobiphenyl,Hexachlorobiphenyl,Heptachlorobiphenyl, Octachlorobiphenyl,Nonachlorobiphenyl,Decachlorobiphenyl,TotalPCBs,TotalPAHs, Naphthalene,Acenaphthylene,Acenaphthene,Fluorene,Phenanthrene,Anthracene,Fluoranthene,Pyrene,Benzo[a]anthracene,Chrysene,Benzo[b]fluoranthene,Benzo[k]fluoranthene,Benzo[a]pyrene,Indeno[1,2,3-cd]pyrene,Dibenzo[a,h]anthracene,Benzo[g,h,i]perylene,o,p'-DDE,p,p'-DDE,o,p'-DDD,p,p'-DDD,o,p'-DDT,p,p'-DD,TotalDDTs
예당지				
탑정지				

4 방사성측정망

측정소명	조사기관	조사기간	조사항목
보령댐	금강물환경연구소	2017년 1회 (3월)	Cs-134, Cs-137, I-131

부록 2 환경부 수질 및 수생태계(호소) 생활환경 기준
(환경부, 2012.11)

등급		상태 (캐릭터)	기준									
			수소이온 농도 (pH)	화학적 산소 요구량 (COD) (mg/L)	총유기 탄소량 (TOC) (mg/L)	부유 물질량 (SS) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총인 (T-P) (mg/L)	총질소 (T-N) (mg/L)	클로로 필-a (Chl-a) (mg/m³)	대장균군 (군수/100mL) 총 대장균군	대장균군 (군수/100mL) 분원성 대장균군
매우 좋음	Ia		6.5~8.5	2 이하	2 이하	1 이하	7.5 이상	0.01 이하	0.2 이하	5 이하	50 이하	10 이하
좋음	Ib		6.5~8.5	3 이하	3 이하	5 이하	5.0 이상	0.02 이하	0.3 이하	9 이하	500 이하	100 이하
약간 좋음	II		6.5~8.5	4 이하	4 이하	5 이하	5.0 이상	0.03 이하	0.4 이하	14 이하	1,000 이하	200 이하
보통	III		6.5~8.5	5 이하	5 이하	15 이하	5.0 이상	0.05 이하	0.6 이하	20 이하	5,000 이하	1,000 이하
약간 나쁨	IV		6.0~8.5	8 이하	6 이하	15 이하	2.0 이상	0.10 이하	1.0 이하	35 이하		
나쁨	V		6.0~8.5	10 이하	8 이하	쓰레기 등이 떠 있지 않을 것	2.0 이상	0.15 이하	1.5 이하	70 이하		
매우 나쁨	VI			10 초과	8 초과		2.0 미만	0.15 초과	1.5 초과	70 초과		

비고

1. 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7 미만일 경우에는 총인의 기준을 적용하지 않으며, 그 비율이 16 이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 않는다.
2. 등급별 수질 및 수생태계 상태는 가목2) 비고 제1호와 같다.
3. 상태(캐릭터) 도안 모형 및 도안 요령은 가목2) 비고 제2호와 같다.
4. 화학적 산소요구량(COD) 기준은 2015년 12월 31일까지 적용한다.

부록 3 하천 · 호소 퇴적물 오염평가 기준(환경부, 2015.12)

1 호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준

< 호소 퇴적물 항목별 오염평가 기준 >

항 목 \ 등 급		I	II	III	IV
유기물 및 영양염류	완전연소가능량(강열감량, %)				13 초과
	총질소(mg/kg)				5,600 초과
	총인(mg/kg)				1,600 초과
금속류	구리(mg/kg)	60 이하	228 이하	1,890 이하	1,890 초과
	납(mg/kg)	65 이하	154 이하	459 이하	459 초과
	니켈(mg/kg)	53 이하	87.5 이하	330 이하	330 초과
	비소(mg/kg)	29 이하	44.7 이하	92.1 이하	92.1 초과
	수은(mg/kg)	0.1 이하	0.67 이하	2.14 이하	2.14 초과
	아연(mg/kg)	363 이하	1,170 이하	13,000 이하	13,000 초과
	카드뮴(mg/kg)	0.6 이하	1.87 이하	6.09 이하	6.09 초과
	크롬(mg/kg)	112 이하	224 이하	991 이하	991 초과

비고 :

1. 등급별 퇴적물의 상태

가. 금속류

- Ⅰ 등급 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 거의 없음
- Ⅱ 등급 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 있음
- Ⅲ 등급 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 비교적 높음
- Ⅳ 등급 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 매우 높음

나. 유기물, 영양염류

- Ⅳ 등급 : 심각하고 명백한 오염

2 호소 퇴적물 지점별 오염평가 기준

단 계	조 건
보통	금속류 8 항목 모두 'I' 등급
약간 나쁨	금속류 8 항목 중 'II' 등급 또는 'III' 등급 항목 1개 이상
나쁨	"금속류 'II' 등급 기준 지수" 0.34 이상
매우 나쁨	'IV' 등급인 항목 1개 이상

비고 :

1. 단계별 퇴적물 지점의 상태 및 조치

가. 보통 : 지질이나 대기의 영향을 일반적인 정도로 받는 곳에서 나타나는 상태

나. 약간 나쁨 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 있으며, 독성시험을 통해 악영향 확인 필요

다. 나쁨 : 저서생물에 독성이 나타날 가능성 높으며, 조사 범위를 상하류로 확대하여 오염 규모 확인 필요

라. 매우 나쁨 : 심각하고 명백하게 오염되었으며, 중장기적으로 배출시설 및 공공수역 관리 필요

2. 한 지점이 여러 조건에 중복 해당될 경우 오염도 높은 단계 쪽으로 판정

☞ 준설은 오염된 퇴적물을 처리하는 여러 방법 중 하나로, 퇴적물 관리 선진국에서는 기준 초과뿐만 아니라 위해성 평가를 통해 실제 허용하기 어려운 악영향이 있는지 조사하여 결정(환경부 하천· 호소 퇴적물 오염평가 기준' 예규, 2015.12)

☞ 퇴적물 오염평가 기준 중에서 '매우 나쁨' 기준은 준설 등 정화가 필요한 퇴적물을 일차 선별하는 기준으로 활용이 가능

부록 4 해양환경 기준

1 해양환경 기준(해양환경관리법 제8조, 2011.12)

□ 해수수질

● 생활환경 기준

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

● 생태기반 해수수질 기준

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

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

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

● 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

□ 해저퇴적물

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
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

(1) 주의기준 (Threshold Effects Level, TEL): 부정적인 생태 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도

(2) 관리기준 (Probable Effects Level, PEL): 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도

2 환경부 해역 생활환경 수질 기준(환경부, 2000.8)

(1) 생활환경

등급	기준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적산소요구량 (COD) (㎎/L)	용존산소량 (DO) (㎎/L)	총대장균군 (총대장균군 수/100mL)	용매추출유분 (㎎/L)	총질소 (㎎/L)	총인 (㎎/L)
Ⅰ	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
Ⅱ	6.5-8.5	2 이하	5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
Ⅲ	6.5-8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

비고

1. 등급Ⅰ은 참돔·방어 및 미역 등 수산생물의 서식·양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.
2. 등급Ⅱ는 해양에서의 관광 및 여가선용과 숭어 및 김 등 등급Ⅰ의 해역에서 서식·양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급Ⅲ은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

부록 5 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 규정

【해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정(해양수산부 2013-206)】

- 제9조(부영양화 관련 정화·복원 범위)

① 해저퇴적물에 유기물이 축적되어 수질저하, 적조, 빈산소 수괴 및 악취 등이 빈번하게 나타나는 해역은 부영양화에 의한 영향을 평가한다.

② 부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수는 상기의 표와 같으며 부영양화 정화·복원지수는 산출된 평가항목들의 평가점수들을 합산한 값으로 한다.

③ **정화.복원 범위는 부영양화 정화.복원지수(CI_{ET})가 6 이상인 구역**으로 한다.

부영양화 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수(제9조제2항 관련)

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량 (IL)	% (건중량)	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6
화학적산소요구량 (COD)	mg/g (건중량)	13 미만	0
		20 미만	1
		30 미만	2
		40 미만	4
		40 이상	6
산휘발성황화물 (AVS)	mg/g (건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6
<비고> 부영양화 관련 항목들에 대한 각각의 평가점수는 해저퇴적물시료에서 구한 항목들의 분석치로부터 기준농도 구간별 설정된 수치로 한다.			

- 제8조(유해화학물질 관련 정화·복원 범위)

① 해저퇴적물에 존재하는 유해화학물질이 해양생물에 축적되어 해양생물의 성장을 저해하거나, 먹이사슬을 통하여 수산물의 가치를 저하시키거나, 해수나 해저면과 접촉하여 국민 건강에 위해를 끼칠 우려가 있는 해역에 대하여 유해화학물질로 인한 영향을 평가한다.

② 유해화학물질 관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수는 별표 2와 같으며 유해화학물질 정화・복원지수는 산출된 평가항목들의 평가점수들을 합산한 값으로 한다.

③ **정화.복원 범위는 유해화학물질 정화.복원지수(CI_{HC})가 2 이상인 구역**으로 한다.

유해화학물질 관련 평가항목, 기준농도 및 산출방식 (제8조제2항 관련)

항 목	단 위	기준1	기준2	비고
비소(As)	ppm(건중량)	9.0	41.6	공통
카드뮴(Cd)	〃	0.68	4.21	〃
크롬(Cr)	〃	80	370	〃
구리(Cu)	〃	24	108	〃
수은(Hg)	〃	0.15	1.0	〃
니켈(Ni)	〃	23	52	〃
납(Pb)	〃	50	220	〃
아연(Zn)	〃	200	410	〃
폴리클로리네이티드비페닐(PCBs)	ppb(건중량)	21.6	189	〃
다환방향족탄화수소(PAHs)	〃	4,000	45,000	〃
클로로데인(Chlordane)	〃	0.5	6.0	선택
다이엘드린(Dieldrin)	〃	0.02	8.0	〃
디디티(DDT)	〃	1.6	46	〃
유기주석화합물(TBT)	〃	5.0	105	〃

부록 6 충청남도 지속가능발전목표 2030 내 관련 지표

Goal 14. 해양자원의 보전

전략 14-1

● 육지 활동으로 인한 연안지역의 오염을 예방한다.

□ 지표명 : 연안오염도 2등급 이상 비율

○ 지표설명

- 충남도 연안해역의 연안오염도* 2등급 이상 측정 비율

* 연안오염도 : 연안 해양 생태계에 유입되는 오염물질의 농도

○ 필 요 성

- 서해안 연안환경에 대한 환경관리 및 보전정책 마련 필요
- 지속적인 연안환경 개선으로 생태계 적응력 향상 및 살기 좋은 어촌환경 조성

○ 산출방법

- (해양수질지수(WQI) 1~2 등급 정점/전체 조사정점) × 100(%)

○ 자료출처

- 충청남도 서해안 연안환경 측정망 모니터링(30개 정점)
- 국가 연안 해역 환경 측정망 모니터링(417개 정점)

○ 현 황

지표(단위)	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
연안오염도 1~2등급 비율(%)	-	-	-	-	-	-	-	78.3

※ 1-2등급 정점 : 23.5개소, 3~5등급 정점 : 6.5개소(충남 30개소 중, '16~'17)

○ 목 표

OECD	한국	2017	2020년	2025년	2030년
-	77.3('17)	78.3	80.5	85.0	90.0

※ 목표 산정근거 : 아산만, 천수만, 금강하구 등 육상기인 오염원과 인접해 있는 지역의 오염도 개선여건을 감안 2030년까지 20.9% 목표 산정

전략 14-2

● 산업화 시기 개발로 물 순환이 차단되어 있는 하구생태계의 건강성을 회복한다.

□ 지표명 : 열린 하구비율

○ 지표설명

- 충남도내 위치한 하구* 중 열려있는 하구의 비율

* 하구 : 강물이 바다나 호수, 다른 강으로 흘러들어가는 어귀

○ 필 요 성

- 우리 도는 조석의 영향 등으로 닫힌 하구가 많아 연안 생태계의 영양염류 공급이 원활하지 못하여 생물량이 감소하는 실정임
- 담수호의 수질 악화로 인한 해양오염의 증가가 우려됨

○ 산출방법

- (열린하구 수 / 총 하구 수) × 100

○ 자료출처

- 충남 연안 및 하구 생태복원방안 연구용역('16)

※ 열린하구(6) : 교성천(보령 오천), 당정천(서천 종천), 대천천(보령 대천), 방길천(서산 팔봉), 비인천(서천 비인), 송천천(홍성 서부)

○ 현 황

지표(단위)	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
열린하구 비율(%)	-	-	-	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6

○ 목 표

OECD	한국	2013~2017년	2020년	2025년	2030년
-	51 ('13)	9.6 (6개소)	11.2 (7개소)	14.5 (9개소)	20.9 (13개소)

※ 목표 산정근거 : 닫힌하구를 열기 위해서는 상당한 시일과 많은 예산이 소요 되므로 30년 까지 전국평균 수준은 불가하므로 20.9%로 설정

전략 14-3

● 해양생물의 서식지를 체계적으로 보호하고 관리한다.

□ 지표명 : 해양보호구역 면적

○ 지표설명

- 해양생물을 보호하기 위해 포획이 제한된 해역의 비율

○ 필 요 성

- 각종 개발·이용행위의 증가로 해양생물 서식지 파괴 등 해양생태지역 훼손이 급격히 진행되어 보전가치가 있는 지역을 보호구역으로 지정하여 훼손행위 예방
- 해양보호구역 지정으로 개발보다는 자연경관을 유지하는 정책 필요

○ 산출방법

- 해양보호구역 지정 면적(㎢)

○ 자료출처

- 해양수산부 「해양보호구역 현황」

※ 태안 신두리 사구(0.639㎢), 서천 갯벌(15.3㎢), 가로림만 해역(91.237㎢)

○ 현 황

지표(단위)	2002년	2008년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
해양보호구역 면적 (㎢)	0.639	15.939	15.939	15.939	15.939	15.939	107.176	107.176

○ 목 표

OECD	한국	2017년	2020년	2025년	2030년
-	581.3('17)	107.1	137.1	165.9	222.1

※ 목표 산정근거 : 해양보호구역 신규 지정이 가능한 근소만(30㎢), 천수만(80㎢), 대천천 하류(5㎢) 등의 면적 반영

전략 14-4

● 해양자원의 가치를 적절하게 이용하여 어민 삶의 질 향상을 꾀한다.

□ 지표명 : 어업생산액

○ 지표설명

- 어업생산에 따른 생산액의 합계

○ 필 요 성

- 어업생산량액은 어업생산성, 어가소득, 어족자원의 지속가능성과 밀접한 연관성을 지니는 대표 지표

○ 산출방법

- 일반해면어업생산액 + 천해양식어업생산액 + 내수면어업생산액

○ 자료출처

- 통계청 「어업생산동향조사」

○ 현 황

지표(단위)	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년
어업생산액(억) = 도내 어업 총생산액	4,710	4,860	4,700	4,550	5,210	4,670	4,420	-

○ 목 표

OECD	한국	2015년	2020년	2025년	2030년
-	7,257('15)	4,670	5,600	-	-

※ 목표 산정근거 : 국내·외 수산물의 수요증가에 따라 가격이 지속적으로 상승하는 Fishflation이 심화될 것으로 2020년 어로수산물 가격이 23%로 상승할 것으로 전망(FAO)하고 있어 충남도는 그보다 낮은 20%로 산정