

발간등록번호

11-1543000-001105-10

2023

해수침투조사 보고서

Annual report on the Seawater Intrusion
Monitoring Network in Korea

Research Report



요 약 문

1. 해수침투 조사 개요

□ 목 적

- 도서·해안지역 농어촌 지하수에 대한 해수침투 관측망 설치·운영·분석으로, 농작물 염해 피해 예방 및 합리적인 지하수 개발·이용·관리 방안 제시

□ 개 요

- 전체 사업기간 : 1998. 1. ~ 2023. 12.(26년간)
- 금회 사업기간 : 2023. 1. ~ 2023. 12.(26차년도)
- 사업시행근거 : 농어촌정비법 제15조 및 동법 시행령 제24조
- 관련근거 : 지하수법 제17조 및 동법 시행령 제27조
지하수관리기본계획(2017 ~ 2026년)
- 사업 내용
 - 관측공 개발 및 원격 지하수 관측시스템 설치
 - 실시간 지하수위·수질(수온, 전기전도도) 관측
 - 관측공 수리지질특성 현장조사
 - 연차별 정밀수질(양·음이온)조사 및 수질변화 관측 및 분석
 - 연차별, 지역별 해수침투 변화양상 관측 및 분석

□ 추진 경과

- 1998 ~ 2023년 : 육지부 도서·해안지역 267개소 해수침투 관측망 설치
- 행정구역별 : 부산 1개소, 울산 5개소, 인천 12개소, 경기 31개소, 강원 28개소, 충청남 34개소, 전북 18개소, 전남 75개소, 경북 24개소, 경남 39개소
- 해역별 : 서해안 28지자체 132개소, 남해안 20지자체 83개소, 동해안 11지자체 52개소
- 지역별 : 도서지역 7지자체 45개소, 해안지역 52지자체 222개소

<표 1> 해수침투조사 사업 관측공 설치 현황

광역시도	개소수		지자체 시군구
	267	59시군구	시군구(개소수)
부산광역시	1	1	강서구(1)
울산광역시	5	2	북구(4), 울주군(1)
인천광역시	12	2	강화군(10) 옹진군(2)
경기도	31	7	김포시(5) 시흥시(2) 안산 단원구(3) 안산 상록구(2) 파주시(6) 평택시(7) 화성시(6)
강원도	28	6	강릉시(6) 고성군(5) 동해시(2) 삼척시(5) 속초시(4) 양양군(6)
충청남도	34	7	당진시(4) 보령시(6) 서산시(4) 서천군(6) 아산시(4) 태안군(6) 홍성군(4)
전라북도	18	4	고창군(5) 군산시(6) 김제시(2) 부안군(5)
전라남도	75	16	강진군(4) 고흥군(4) 광양시(4) 목포시(2) 무안군(6) 보성군(6) 순천시(4) 신안군(6) 여수시(4) 영광군(4) 영암군(4) 완도군(8) 장흥군(4) 진도군(7) 함평군(2) 해남군(6)
경상북도	24	5	경주시(5) 영덕군(6) 울진군(5) 포항 남구(5) 포항 북구(3)
경상남도	39	9	거제시(5) 고성군(5) 남해군(7) 사천시(5) 창원 마산합포(4) 창원 마산회원(1) 창원 진해(1) 통영시(5) 하동군(6)

※ 제주도 이관 56개소 제외

- 1998~2021년 설치(246개소)
- 2022년 신규설치(11개소), 이설(1개소)

인천·경기권

설치년도	설치개소
'98~'18	27
'19	1
'20	5
'21	4
'22	4
계	41

충남권

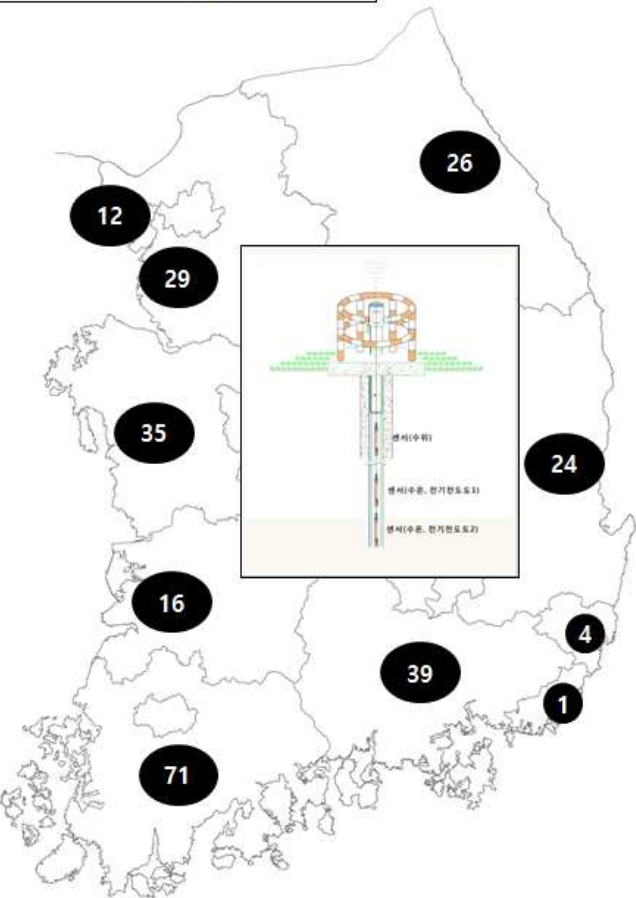
설치년도	설치개소
'02~'18	23
'19	2
'20	4
'21	2
'22	2
계	33

전북권

설치년도	설치개소
'03~'18	9
'19	1
'20	3
'21	3
'22	2
계	18

전남권

설치년도	설치개소
'98~'18	55
'19	3
'20	7
'21	4
'22	2
계	71



강원권

설치년도	설치개소
'06~'18	17
'19	1
'20	4
'21	4
'22	-
계	26

경북권

설치년도	설치개소
'08~'18	13
'19	1
'20	5
'21	5
'22	-
계	24

울산·경남권

설치년도	설치개소
'98~'18	29
'19	3
'20	8
'21	2
'22	2
계	44

<그림 1> 해수침투조사 관측망현황

2. 해수침투 관측망 유지·관리

□ 설치 및 유지·관리

- 해수침투 관측망은 도서·해안지역 농어촌지하수 관측공에 대한 일괄 관리 체계임
- 해수침투 관측망은 해당지역을 대표하는 최적 위치에 설치
 - 해수침투의 공간적인 분포 및 지하수 유동 방향을 고려하여 해안선에 수직 방향으로 상, 하류부에 설치
 - 4가지 인자(총면적 대비 농지면적, 전체용수 이용량 대비 지하수 이용량, 총 인구수 대비 농어업 인구수, 전체관정 개소수 대비 농업용 관정 개소수)를 고려하여 설치
- 표준화된 해수침투 유지·관리 지침을 토대로 관측시설물의 유지·관리 및 취득 자료의 체계적인 관리체계 구축

□ 관측 자료 관리

- 해수침투 관측망은 관측공, 관측센서, 현장제어장치, 전원장치, 보호시설, 안내판 등으로 구성
- 지하수위, 수온, 전기전도도 관측 자료는 서버로 실시간 전송(24회/일)
- 지하수 수질시료 분석 및 검층(수온, 전기전도도) 실시(1회/년)
- 실시간 관측자료를 비롯한 수질 및 검층자료, 그리고 이들이 수록된 연차 보고서는 농어촌지하수관리시스템(<https://www.groundwater.or.kr>)을 통해 제공 중

□ 해수침투 분류 및 유지·관리

○ 해수침투 분류 및 유지·관리는 지하수 수질항목에 기초

- 전기전도도

지하수를 논(수도작) 및 밭작물에 이용(700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하)

지하수를 논(수도작)에만 이용 권고(700 ~ 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

염도가 없는 지표수(저수지, 하천수 등)와 1:1 비율로 혼합하여

논(수도작)에만 이용 권고(1,000 ~ 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

농업용수 이용 금지 권고(3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상)

- 염소이온/중탄산이온(Cl/HCO_3) 몰비

해수영향 없음(0.5 이하)

약간 문제(0.5 ~ 1.3)

약간 영향(1.3 ~ 2.8)

보통(2.8 ~ 6.6)

매우 심각(6.6 이상)

- 파이퍼 다이어그램을 이용한 해수침투의 진화 분석

Ca-HCO_3 유형 → $\text{Ca-Cl}/\text{Na-HCO}_3$ 유형 → Na-Cl 유형

3. 2023년 해수침투 관측망 조사 결과

□ 신규 10개소 및 이설 1개소 설치 및 조사

- 울산 1공(북구 북구4)
- 경기 2공(평택 기산1, 김포 오니산1)
- 강원 2공(삼척 근덕5, 양양 손양1)

- 충남 1공(당진 고대1)
- 전남 4공(보성 득량1, 보성 조성3, 진도 의신1, 영암 시종2)

□ 신규 설치 관측공 수질유형

- 울산 Na-Cl 유형 1개소, 경기도는 Na-Cl 유형 1개소, Na-HCO₃ 유형 1개소, 강원은 Na-HCO₃ 유형 2개, 충남은 Ca-HCO₃ 유형 1개소, 전남은 Ca-HCO₃ 유형 1개소, Na-Cl 유형 3개소으로 나타남
- 이동 설치된 경남 도산1 관측공은 수질유형 분류를 위한 양음이온 분석 중

4. 2023년 장기관측 결과

□ 전기전도도와 식물생육과의 관계 분석 결과

- 기설 관측공 257개소 중 23년도 수질 데이터가 없는 1개소를 제외한 256개소에 대한 전기전도도와 식물생육과의 관계 분석을 실시함
- 지하수를 논(수도작) 및 밭작물에 이용 가능한 85개소(33%)
- 지하수를 논(수도작)에만 이용이 권고되는 11개소(4%)
- 염도가 없는 지표수(저수지, 하천수 등)와 1:1 비율로 혼합하여 논(수도작)에만 이용이 권고되는 31개소(13%)
- 농업용수로 이용 금지가 권고되는 129개소(50%)

□ 해수침투 관측망 추세 분석 결과

- 관측자료가 확보된 256개소 기설 관측공 중 173개소에서 지하수위 저하, 전기전도도 증가가 관찰됨. 광역시·도별로는 인천 8개소, 울산 2개소, 부산 1개소, 경기 19개소, 강원 18개소, 충남 23개소, 전북 14개소, 전남 54개소, 경북 13개소, 경남 21개소로 분류
- 변화 양상으로는 지하수위 저하 추세만 관측되거나 전기전도도 증가 추세만 관측되는 곳은 각각 54개소, 79개소로 나타났으며, 지하수위 저하 추세와 전기전도도 증가 추세가 동시에 관측되는 곳은 40개소로 분석됨
 - 지하수위 저하 : 54개소(31%)
 - 전기전도도 증가 : 79개소(46%)
 - 지하수위 저하 및 전기전도도 증가 : 40개소(23%)

□ 해수침투조사 단계 도입 결과

- 농어촌지하수관리 단계인 ‘관심-주의-경계-심각’ 을 도입하여, 총 256개 관측공 주변 지하수를 구분한 결과, 관심 28개소(14%), 주의 11개소(5%), 경계 23개소(11%) 및 심각 144개소(70%)로 나타나 전기전도도가 높거나, 지하수위 저하, 전기전도도 증가 현상이 관측됨
- ‘주의’ 및 ‘경계’ 지역인 경우, 관측공 주변 지하수 이용 시 양수량은 현재 이용량보다 낮은 수준으로 운용하여 해수침투 확산 방지조치가 필요하며, 답작을 위한 지하수 이용 시에는 주변 하천수·저수지와 1:1로 혼합하여 이용하고, 염분에 예민한 작물에는 활용이 불가능.
- ‘심각’ 지역은, 해안대수층이 대부분 해수로 포화되어 지하수의 전기전도도가 높기 때문에, 지하수를 농어업용 목적으로 이용이 불가능하며, 지하수 수질 악화 및 수량 부족으로 관측공 주변 지하수 이용을 자제하고 타 수자원을 이용하는 방안 수립이 필요함.

<표 2> 해수침투 관측망 전기전도도와 식물생육과의 관계(2023.12.31. 기준)

구분	정상	주의	경계	삼각
전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)
농업용수 이용	정상 이용 (85)	논(수도작)에 만 이용 (11)	지표수와 1:1 비율로 혼합하여 논(수도작)에 이용(31)	농업용수 이용불가, 타수자원 이용 (129)
부산(1)				강서1
인천(12)	승녀3, 영흥2, 흥왕1, 흥왕2		상방1, 상방2, 승녀1	교동1, 길상1, 삼산1, 승녀2, 영흥1
울산(4)	북구1, 북구2, 온산1			북구3
경기(29)	검산1, 대부1, 대부2, 대부4, 서신1, 서신2, 우정2, 율곡1, 율곡2, 장단1, 계부2, 연다산1		문산1, 우정1, 탄현1, 탄현2	대곶1, 상록1, 시흥1 안중1, 오성1, 오성2, 계부1 포승1, 포승2, 포승3, 하상1, 하성1, 상록2
강원(26)	강현1, 강현2, 근덕1, 대포2, 옥계1, 초구1, 토성1 토성2, 토성3, 현남1	포남1	송정1, 연곡2, 주문진1	거진1, 근덕2, 근덕3, 근덕4, 대포1, 대포3, 송전1 연곡1, 조산1, 조양1, 조령1, 토성4
충남(33)	난지1, 남면2, 서부2, 장항1 천북1, 천북2, 팔봉1	대산1, 대산2, 선도1, 선도2, 한산2	남주2, 소성1, 인주2, 팔봉2	근흥1, 근흥2, 남면1, 서부1 서부3, 서부4, 석문1, 소성2, 안면1, 안면2, 인주1, 인주3, 인주4, 주교1, 주교2 한산1, 장항2
전북(18)	송현2, 하입석1, 통정1		금평1, 나포1 옥근1	내흥1, 내흥2, 대창1, 대창2 만들1, 변산1, 변산2, 보안1, 산북1, 서포1, 송현1, 자룡1
전남(71)	갈문1, 나리1, 나리2, 별교2, 별량2, 신기2, 안양2 연산2, 오산2, 자동2, 정도1 진월2, 해룡2	안양1, 평호2	내사1 별교1 삼호1 삼호2 손불2 신기1 화양2	감정1, 감정2, 감정3, 고금1 고금2, 군곡1, 군곡2, 내사2, 당촌1, 마량1, 마량2 망주1, 망주2, 별량1, 소라1, 소라2, 손불1, 신학1, 신학2, 약산1, 연산1 염산1, 염산2, 오산1, 외동1 외동2, 일로1, 일로2, 일로3, 일로4, 자동1, 조성1, 조성2 지산1, 지산2, 진월1, 진월3 진월4, 평호1, 포두1, 포두2 학명1, 학명2, 해룡1, 화양1, 화흥1, 화흥2, 화흥3, 시종1
경북(23)	감포1, 감포2, 강구1, 강구2 구룡1, 구룡2, 근남1, 남정1, 문무1, 병곡1, 평해1, 평해2, 평해3, 하서2, 호미1, 후포1	남정2	곡강2, 연일2, 청하1, 하서1	곡강1, 연일1
경남(39)	가인2, 감천1, 남양1, 덕호1 덕호2, 도산1, 도산2, 도산3 동해1, 사등1, 송지2, 수정1, 수정2, 시방2, 악양2, 원평1, 진북1	갈화2, 서상1	갈화1, 서상2 악양1,	가인1, 감서1, 고전1, 궁항1 내구1, 다평1, 동해2, 목도1 목도2, 배둔1, 보전1, 서정1 송지1, 해운1, 화삼1, 환덕1, 대서1
가뭇시 지하수 활용	활용가능	활용가능	주의요함	불가능(신규개발도 규제)

<표 3> 장기관측 자료의 추세변화가 발견되는 관측공

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
계	173								
인천 (8)	교동1							○	
	길상1	○				○			
	삼산1					○			
	상방1					○			
	상방2							○	
	송뇌2					○			
	영흥1						○		
	홍왕2	○							
울산 (2)	북구1	○							
	북구2	○							
부산 (1)	강서1					○			
경기 (19)	대곶1								○
	대부2			○					
	문산1					○			
	상록1						○		
	서신2	○							
	안중1					○			
	오성1					○			
	오성2					○			
	우정1	○						○	
	우정2					○			
	장단1	○							
	제부1					○			
	탄현1								○
	포승1							○	
	포승2							○	
	하상1					○			
	하성1	○				○			
	상록2	○				○			
	탄현2							○	

<표 3> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
강원 (18)	계	173							
	강현2	○							
	거진1					○			
	근덕1	○							
	근덕2								○
	대포1	○							○
	대포2	○							
	송전1	○							○
	송정1	○							
	연곡1	○							
	연곡2								○
	조산1	○				○			
	조양1	○							
	옥계1	○				○			
	주문진1	○							○
	초구1	○							
	초당1					○			
	토성4	○				○			
포남1		○							
충남 (23)	근흥1					○			
	근흥2							○	
	난지1	○							
	난지2								○
	남면1								○
	남면2	○							
	서부1	○				○			
	서부3					○			
	서부4					○			
	석문1				○	○			
	선도1	○							○
	선도2	○						○	
	소성1	○							

<표 3> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
충남 (23)	계	173							
	안면1								○
	안면2					○			
	인주1	○							
	인주2	○				○			
	인주3	○				○			
	인주4					○			
	주교2					○			
	팔봉2	○							○
	한산1					○			
한산2					○				
전북 (14)	금평1			○					○
	나포1								○
	내흥1	○				○			
	대창1		○			○			
	대창2		○						
	변산1					○			
	변산2	○				○			
	보안1					○			
	산북1					○			
	서포1					○			
	송현1	○							
	옥곤1								○
	자룡1								○
	하임석1	○							
전남 (54)	갈문1	○							
	감정1						○		
	감정2					○			
	감정3	○						○	
	고금1	○							
	고금2	○							

<표 3> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
전남 (54)	계	173							
	군곡1	○					○		
	군곡2								○
	나리1	○							
	내사1	○				○			
	내사2	○							
	당촌1	○				○			
	마량1	○							
	망주1					○			
	망주2						○		
	삼호2	○							
	소라1	○				○			
	소라2	○				○			
	손불1			○		○			
	손불2	○							
	안양1					○			
	약산1					○			
	연산1	○							
	연산2					○			
	염산2					○			
오산1					○				
외동1	○					○			
외동2	○				○				

<표 3> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
전남 (54)	계	173							
	일로1					○			
	일로2	○							
	일로3	○							
	일로4					○			
	자동1	○							○
	자동2	○							
	정도1	○							
	조성1					○			
	조성2					○			
	지산1	○							○
	지산2								○
	진월1	○				○			
	진월2	○							
	진월4					○			
	평호1			○					
	평호2				○	○			
	포두1					○			
	포두2					○			
	학명1					○			
	학명2								○
	해룡2			○					
	화양1								○
	화양2					○			
	화흥1	○							
	화흥2	○				○			
시종1					○				
경북 (13)	감포1	○							
	강구1	○							
	곡강1	○							
	곡강2	○							
	구룡2	○				○			
	근남1	○							○
	문무1		○						
	병곡1		○						
	연일1	○							

<표 3> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
계	173								
경북 (13)	하서1				○				○
	하서2	○							
	호미1	○				○			
	후포1				○				
경남 (21)	가인1	○							
	감천1	○							
	고전1					○			
	공항1					○			
	남양1	○							
	내구1						○		
	덕호1				○				
	동해2								○
	목도1								○
	목도2								○
	배둔1					○			
	보전1					○			
	사등1				○				
	서상1	○				○			
	서상2				○				
	서정1					○			
	송지1	○							○
	수정2	○							
	악양1		○				○		
	해운1					○			
	환덕1					○			

<표 4> 해수침투조사 단계 기준 적용 결과

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
인천 (9)	교동1			전도도증가	염도과다	심각	
	길상1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	삼산1	전도도증가			염도과다	심각	
	상방1	전도도증가		염도과다		경계	
	상방2			염도과다 전도도증가		경계	
	승뇌1			염도과다		경계	
	승뇌2	전도도증가			염도과다	심각	
	영흥1		전도도증가		염도과다	심각	
	홍왕2	염도과다 수위감소				관심	
울산 (3)	북구1	염도과다 수위감소				관심	
	북구2	염도과다 수위감소				관심	
	북구3				염도과다	심각	
경기 (30)	대곶1				염도과다 전도도증가	심각	
	대부2	염도과다		수위감소		경계	
	문산1	전도도증가		염도과다		경계	
	상록1		전도도증가		염도과다	심각	
	서신2	염도과다 수위감소				관심	
	시흥1				염도과다	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
경기 (22)	안중1	전도도증가			염도과다	심각
	오성1	전도도증가			염도과다	심각
	오성2	전도도증가			염도과다	심각
	우정1	수위감소		염도과다 전도도증가		경계
	우정2	염도과다 전도도증가				관심
	장단1	염도과다 수위감소				관심
	제부1	전도도증가			염도과다	심각
	탄현1			염도과다	전도도증가	심각
	포승1			전도도증가	염도과다	심각
	포승2			전도도증가	염도과다	심각
	포승3				염도과다	심각
	하상1	전도도증가			염도과다	심각
	하성1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	상록2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	탄현2		도도증가	염도과다		경계
	강원 (21)	강현2	염도과다 수위감소			
거진1		전도도증가			염도과다	심각
근덕1		염도과다 수위감소				관심
근덕2					염도과다 전도도증가	심각
근덕3					염도과다	심각
근덕4					염도과다	심각
대포1		수위감소			염도과다 전도도증가	심각

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
강원 (21)	대포2	염도과다 수위감소				관심
	대포3				염도과다	심각
	송전1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각
	송정1	수위감소		염도과다		경계
	연곡1	수위감소			염도과다	심각
	연곡2			염도과다	전도도증가	심각
	조산1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	조양1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	옥계1	염도과다 수위감소 전도도증가				관심
	주문진1	수위감소		염도과다	전도도증가	심각
	초구1	염도과다 수위감소				관심
	초당1	전도도증가			염도과다	심각
	토성4	염도과다 수위감소				관심
	포남1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
충남 (28)	근흥1	전도도증가			염도과다	심각
	근흥2		전도도증가		염도과다	심각
	난지1	염도과다 수위감소				관심
	난지2			염도과다	전도도증가	심각
	남면1				염도과다 전도도증가	심각
	남면2	염도과다 수위감소				관심

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
충남 (28)	대산1		염도과다			주의	
	대산2		염도과다			주의	
	서부1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	서부3	전도도증가			염도과다	심각	
	서부4	전도도증가			염도과다	심각	
	석문1	전도도증가		수위감소	염도과다	심각	
	선도1	수위감소	염도과다		전도도증가	심각	
	선도2	수위감소	염도과다			주의	
	소성1	수위감소		염도과다		경계	
	소성2				염도과다	심각	
	안면1				염도과다 전도도증가	심각	
	안면2	전도도증가			염도과다	심각	
	인주1	수위감소			염도과다	심각	
	인주2	전도도증가		염도과다		경계	
	인주3	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	인주4	전도도증가			염도과다	심각	
	주교1				염도과다	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
충남 (28)	주교2	전도도증가			염도과다	심각
	팔봉2			염도과다	전도도증가	심각
	한산1	전도도증가			염도과다	심각
	한산2	전도도증가	염도과다			주의
	장항2				염도과다	심각
전북 (16)	금평1			염도과다 수위감소	전도도증가	심각
	나포1			염도과다	전도도증가	심각
	내흥1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	내흥2			염도과다		심각
	대창1	전도도증가	수위감소		염도과다	심각
	대창2		수위감소		염도과다	심각
	만돌1				염도과다	심각
	변산1	전도도증가			염도과다	심각
	변산2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	보안1	전도도증가			염도과다	심각
	산북1	전도도증가			염도과다	심각
	서포1	전도도증가			염도과다	심각
	송현1	수위감소			염도과다	심각
	옥곤1			염도과다	전도도증가	심각
	자룡1	전도도증가			염도과다 전도도증가	심각
	하임석1	염도과다 수위감소				관심

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (58)	갈문1	염도과다 수위감소				관심	
	감정1		전도도증가		염도과다	심각	
	감정2	전도도증가			염도과다	심각	
	감정3	수위감소		전도도증가	염도과다	심각	
	고금1	수위감소			염도과다	심각	
	고금2	수위감소			염도과다	심각	
	군곡1	수위감소	전도도증가		염도과다	심각	
	군곡2				염도과다 전도도증가	심각	
	나리1	염도과다 수위감소				관심	
	내사1	수위감소 전도도증가			염도과다	경계	
	내사2	수위감소			염도과다	심각	
	당촌1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	마량1	수위감소			염도과다	심각	
	마량2				염도과다	심각	
	망주1	전도도증가			염도과다	심각	
	망주2		전도도증가		염도과다	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	별교1			염도과다		경계	
	별량1				염도과다	심각	
	삼호1			염도과다		경계	
	삼호2	수위감소		염도과다		경계	
	소라1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	소라2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	손불1	전도도증가		수위감소	염도과다	심각	
	손불2	수위감소		염도과다		경계	
	신기1			염도과다		경계	
	신학1				염도과다	심각	
	신학2				염도과다	심각	
	안양1	전도도증가	염도과다			주의	
	약산1	전도도증가			염도과다	심각	
	연산1	수위감소			염도과다	심각	
	연산2	염도과다 전도도증가				관심	
	염산1				염도과다	심각	
	염산2	전도도증가			염도과다	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	오산1	전도도증가			염도과다	심각	
	외동1	수위감소	전도도증가		염도과다	심각	
	외동2	수위감소 전도도증가				염도과다	심각
	일로1	전도도증가			염도과다	심각	
	일로2	수위감소			염도과다	심각	
	일로3	수위감소			염도과다	심각	
	일로4	전도도증가			염도과다	심각	
	자동1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각	
	자동2	염도과다 수위감소				관심	
	정도1	염도과다 수위감소				관심	
	조성1	전도도증가			염도과다	심각	
	조성2	전도도증가			염도과다	심각	
	지산1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각	
	지산2				염도과다 전도도증가	심각	
	진월1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	진월2	염도과다 수위감소				관심	
	진월3				염도과다	심각	
	진월4	전도도증가			염도과다	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu S/cm$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu S/cm$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	평호1			수위감소	염도과다	심각	
	평호2	전도도증가	염도과다		수위감소	심각	
	포두1	전도도증가			염도과다	심각	
	포두2	전도도증가			염도과다	심각	
	학명1	전도도증가			염도과다	심각	
	학명2				염도과다 전도도증가	심각	
	해룡1				염도과다	심각	
	해룡2	염도과다		수위감소		경계	
	화양1				염도과다 전도도증가	심각	
	화양2	전도도증가		염도과다		경계	
	화흥1	수위감소			염도과다	심각	
	화흥2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	화흥3				염도과다	심각	
	시종1	전도도증가			염도과다	심각	
	경북 (16)	감포1	염도과다 수위감소				관심
		강구1	염도과다 수위감소				관심
곡강1		수위감소			염도과다	심각	
곡강2		수위감소		염도과다		경계	
구룡2		염도과다 수위감소 전도도증가				관심	
근남1		염도과다 수위감소			전도도증가	심각	
남정2			염도과다			주의	
문무1		염도과다	수위감소			주의	
병곡1		염도과다	수위감소			주의	
병곡1		염도과다	수위감소			주의	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
경북 (16)	연일1	수위감소			염도과다	심각	
	연일2			염도과다		경계	
	청하1			염도과다		경계	
	하서1			염도과다	수위감소 전도도증가	심각	
	하서2	염도과다 수위감소				관심	
	호미1	염도과다 수위감소 전도도증가				관심	
	후포1	염도과다			수위감소	심각	
경남 (27)	가인1	수위감소			염도과다	심각	
	갈화1			염도과다		경계	
	갈화2		염도과다			주의	
	감서1				염도과다	심각	
	감천1	염도과다 수위감소				관심	
	고전1	전도도증가			염도과다	심각	
	궁항1	전도도증가			염도과다	심각	
	남양1	염도과다 수위감소				관심	
	내구1		전도도증가		염도과다	심각	
	다평1				염도과다	심각	
	덕호1	염도과다			수위감소	심각	

<표 4> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
경남 (27)	동해2				염도과다 전도도증가	심각	
	목도1				염도과다 전도도증가	심각	
	목도2				염도과다 전도도증가	심각	
	배둔1	전도도증가			염도과다	심각	
	보전1	전도도증가			염도과다	심각	
	사등1	염도과다			수위감소	심각	
	서상1	수위감소 전도도증가	염도과다			주의	
	서상2			염도과다	수위감소	심각	
	서정1	전도도증가			염도과다	심각	
	송지1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각	
	수정2	염도과다 수위감소				관심	
	악양1		전도도증가	염도과다 수위감소		경계	
	해운1	전도도증가			염도과다	심각	
	화삼1				염도과다	심각	
	환덕1	전도도증가			염도과다	심각	
대사1				염도과다	심각		

5. 광역시·도 및 시·군지자체 업무 지원

□ 분기별 관측결과를 광·역시도 및 시·군지자체 농정부서에 공문 알림

- 10개 광역시·도, 56개 도서·해안지역 시·군 지자체 대상
- 도서·해안지역에서 해수가 유입된 지하수의 무분별한 사용으로, 안전농작물 생산에 피해가 없도록 예방하기 위함

□ 관측결과 공문 송부

- 1회(2023.01.) : 2021년 12월 결과 ○ 2회(2023.02..) : 2022년 1월 결과
- 3회(2023.03.) : 2022년 2월 결과 ○ 4회(2023.04.) : 2022년 3월 결과
- 5회(2023.05.) : 2022년 4월 결과 ○ 6회(2023.06.) : 2022년 5월 결과
- 7회(2023.07.) : 2022년 6월 결과 ○ 8회(2023.08.) : 2022년 7월 결과
- 9회(2023.09.) : 2022년 8월 결과 ○ 10회(2023.10.) : 2022년 9월 결과
- 11회(2023.11.) : 2022년 10월 결과 ○ 12회(2023.12.) : 2022년 11월 결과

□ 해수침투가 관측된 지역에 대해서는 지하수 이용 규제 제안

- 4개 범주(정상, 주의, 경계, 심각)로 구분하여 지하수 이용 제시

구분	내용	비고 (가늠치)
정 상	○ 지하수를 논(수도작) 및 밭작물에 이용 가능	활용가능
주 의	○ 지하수를 논(수도작)에만 이용 권고	활용가능
경 계	○ 염도가 없는 지표수(저수지, 하천수 등)와 1:1 비율로 혼합하여 논(수도작)에만 이용 권고	주의요함
심 각	○ 농업용수로 이용 금지 권고	활용불가

차 례

2023 해수침투조사 보고서

제1장 해수침투조사 개요	1
1.1 배경 및 필요성	1
1.2 사업 시행 및 목적	2
1.3 사업 시행 근거	3
1.4 사업 추진 경과	7
제2장 해수침투 이론 및 관리	15
2.1 해안지하수	15
2.2 해수침투	17
2.3 해수침투 관리 방법	19
2.4 국내의 해수침투 관리	19
2.5 외국의 해수침투 관리	20
제3장 해수침투 관측망 시설 및 유지·관리	25
3.1 해수침투 관측망	25
3.2 해수침투 관측망 유지·관리	31
3.3 해수침투 관측망 유지·관리 지침	42
제4장 해수침투 분류기준	51
4.1 전기전도도	51
4.2 수온	53
4.3 염소이온 농도	53
4.4 파이퍼 다이어그램(Piper diagram)	54
4.5 염소이온 대비 중탄산이온 몰비	55

제5장 2023년 신규 및 이동 설치 해수침투 관측망	57
5.1 2023년 신규 해수침투 관측망	57
5.2 2023년 이동 설치 해수침투 관측망 및 조사 결과	63
제6장 2023년 해수침투 관측결과	67
6.1 2023년 해수침투 관측 결과	67
6.2 담·염수 경계면 분석	89
6.3 부산광역시	93
6.4 인천광역시	95
6.5 울산광역시	97
6.6 경기도	99
6.7 강원도	101
6.8 충청남도	103
6.9 전라북도	105
6.10 전라남도	107
6.11 경상북도	109
6.12 경상남도	111
제7장 농어촌지하수관리 관측망 관측결과 관리기준	113
7.1 관리기준	113
참 고 문 헌	115
과 업 참 여 자	117
부록 1. 해수침투 관측망 설치내역 (http://www.groundwater.or.kr)	
부록 2. 지구별 관측 (http://www.groundwater.or.kr 업로드)	

표 차례

2023 해수침투조사 보고서

<표 1-1> 해수침투 관측망 사업의 법적 시행근거	5
<표 1-2> 우리나라 지하수 관측망 운영현황	6
<표 1-3> 해수침투조사 사업 관측공 설치 현황	8
<표 1-4> 해역별 관측망 설치 현황	10
<표 1-5> 도서지역 및 해안지역으로 구분된 해수침투 관측망	12
<표 1-6> 해수침투 관측망 심도 및 해안거리	13
<표 3-1> 관측망 유형과 센서 현황	29
<표 3-2> 관측망 유형과 센서의 변천	30
<표 3-3> 각 인자별 가중치 및 자료 출처	33
<표 3-4> 농지면적 등급 기준	33
<표 3-5> 지하수 이용량 등급 기준	33
<표 3-6> 농업인구 수 등급 기준	34
<표 3-7> 농업용 관정 수 등급 기준	34
<표 4-1> 전기전도도에서의 셀상수와 측정범위 관계	52
<표 4-2> TDS를 이용한 물 분류표	53
<표 4-3> 파이퍼 다이어그램 상의 영역별 수질 유형	54
<표 5-1> 2023년도 신규 해수침투 관측망 내역	61
<표 5-2> 2023년도 신규 해수침투 관측망 센서 설치 내역	62
<표 5-3> 2023년도 해수침투관측망 이동 설치 사유	63
<표 5-4> 2023년도 이동 설치 해수침투 관측망 내역	63
<표 5-5> 2023년도 이동 설치 해수침투 관측망 센서 설치 내역	64
<표 5-6> 이동 설치 관측공 지하수 수질 유형	64

<표 5-7> 이동 설치 관측공 Cl/HCO ₃ 몰비	65
<표 5-8> 이동 설치 관측공 Cl/HCO ₃ 몰비에 따른 분류	65
<표 6-1> 해수침투 관측망 전기전도도와 식물생육과의 관계	69
<표 6-2> 장기관측 자료의 추세변화가 발견되는 관측공	71
<표 6-3> 해수침투조사 단계 기준 적용 결과	78

그림 차례

2023 해수침투조사 보고서

<그림 1-1> 해수침투 관측망 현황	9
<그림 2-1> 해안지역의 담수체 및 해수체의 이론적 모형	16
<그림 2-2> 양수에 의한 경계면의 상승추 형성 모식도	18
<그림 3-1> 해수침투 관측망 모식도(보호함 유형 관측시설)	26
<그림 3-2> 해수침투 관측망 안내문	29
<그림 3-3> 다중심도 지하수 모니터링 장치의 구조	41
<그림 4-1> 파이퍼 다이어그램을 이용한 유형분류	55
<그림 6-1> 송내지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)	90
<그림 6-2> 포승지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)	91
<그림 6-3> 서부지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)	91
<그림 6-4> 대창지역(좌) 지하수위 감소 분석(우)	92
<그림 6-5> 부산광역시 관측망 설치현황	93
<그림 6-6> 부산광역시 이온분석 결과	94
<그림 6-7> 인천광역시 관측망 설치현황	95
<그림 6-8> 인천광역시 이온분석 결과	96
<그림 6-9> 울산광역시 관측망 설치현황	97
<그림 6-10> 울산광역시 이온분석 결과	98
<그림 6-11> 경기도 관측망 설치현황	99
<그림 6-12> 경기도 이온분석 결과	100
<그림 6-13> 강원도 관측망 설치현황	101
<그림 6-14> 강원도 이온분석 결과	102
<그림 6-15> 충청남도 관측망 설치현황	103

<그림 6-16> 충청남도 이온분석 결과	104
<그림 6-17> 전라북도 관측망 설치현황	104
<그림 6-18> 전라북도 이온분석 결과	106
<그림 6-19> 전라남도 관측망 설치현황	107
<그림 6-20> 전라남도 이온분석 결과	108
<그림 6-21> 경상북도 관측망 설치현황	109
<그림 6-22> 경상북도 이온분석 결과	110
<그림 6-23> 경상남도 관측망 설치현황	111
<그림 6-24> 경상남도 이온분석 결과	112

2023 해수침투조사 보고서

제1장 해수침투조사 개요

제2장 해수침투 이론 및 관리

제3장 해수침투 관측망 시설 및 유지·관리

제4장 해수침투 분류기준

제5장 2023년 신규 및 이동 설치 해수침투 관측망

제6장 2023년 해수침투 관측결과

제7장 해수침투 관측망 관측결과 관리기준

제1장 해수침투조사 개요

■ 도서·해안지역 해수침투 관측망 운영 및 분석으로 농작물 염해 피해 예방 및 합리적인 지하수 개발·이용·관리 방안 제시

- 전체 사업기간 : 1998. 1. ~ 2023. 12.(26년간)
- 금회 사업기간 : 2023. 1. ~ 2023. 12.(26차년도)
- 사업시행근거 : 농어촌정비법 제15조 및 동법 시행령 제24조
- 관련근거 : 지하수법 제17조 및 동법 시행령 제27조,
지하수관리기본계획(2017 ~ 2026년)

■ 도서·해안지역 257개소 해수침투 관측망 설치

- 행정구역별 : 부산 1개소, 인천 12개소, 울산 5개소, 경기 31개소, 강원 28개소, 충남 34개소, 전북 18개소, 전남 75개소, 경북 24개소, 경남 39개소
- 해역별 : 서해안 28지자체 132개소, 남해안 20지자체 83개소, 동해안 11지자체 52개소
- 지역별 : 도서지역 7지자체 45개소, 해안지역 52 지자체 222개소

1.1 배경 및 필요성

1.1.1. 도서·해안지역 농어업 용수로서 지하수 최적이용 도모

- 하천이 발달되지 않거나 용배수호가 미약한 도서·해안지역은, 농업용수의 대부분을 담수인 지하수 및 소류지에 의존한다.
- 소류지의 경우 강수에 전적으로 의존적이어서 상시 수자원이 아니며, 녹조 및 배설물 등에 의한 부영양화에 취약한 실정이다.
- 지하수의 경우 가용 수량이 풍부하나, 관정에서 적정이용량을 초과하여 양수하는 경우 관정 내부로 염수가 유입되어 영농에 활용이 불가능하게 된다.

- 최근 국내 농업활동이 고부가가치의 시설농업으로 전환됨에 따라, 도서·해안지역에서 지하수의 활용도는 증가 추세에 있다.
- 따라서 도서·해안지역 농작물의 염해 피해 방지와 안전농작물 생산을 위해, 해수침투 관측을 상시 실시하여 가용한 지하수자원을 확보할 필요가 있다.
- 특히 기후변화로 인한 가뭄발생 시 도서·해안지역은 적정취수량 이상의 과도한 지하수 양수로 염해피해를 입는 사례가 빈번하므로, 해수침투를 선제적으로 확인하여 방지할 필요가 있다.

1.1.2. 휴식공간으로서 농어촌 발전 도모

- 최근 도시민의 힐링을 위한 휴양지로서 농어촌 공간, 체험 및 관광레저를 위한 농어촌 시대에 접어들면서, 도서·해안지역에도 주말농장, 농어촌 체험농장, 위탁시설 등이 꾸준한 증가 추세에 있다.
- 농어촌 체험시설 및 휴양시설 설치 운영 시에는 기본적으로 수자원 확보가 요구되며, 가용 수자원이 부족한 도서·해안지역에서는 염수 유입을 방지하면서 활용 가능한 지하수자원의 수량을 사전에 인지하고 확보할 필요가 있다.
- 이러한 사전 수자원 확보를 통해, 농어촌 활성화와 도서·해안지역 주민의 소득증대에 기여할 필요가 있다.

1.2 사업 시행 및 목적

1.2.1. 사업 시행

- 주관 : 농림축산식품부 농업기반과
- 시행 : 한국농어촌공사 환경지질처

1.2.2. 사업 목적

- 도서·해안지역 농어촌 지하수에 대하여 해수침투 원격감시 시스템을 설치하여 지하수위 및 수질에 대한 장기 관측을 실시한다.
- 장기 관측자료 분석을 토대로, 도서·해안지역 지하수에 대한 해수침투 영향을 사전에 분석하여 농작물에 대한 염해 피해를 예방한다.
- 도서·해안지역의 합리적인 지하수 개발·이용·관리 방안을 제시한다.

1.2.3. 사업 기간 및 내용

- 사업 기간
 - 전체 사업기간 : 1998. 1. ~ 2023. 12.(26년간)
 - 금회 사업기간 : 2023. 1. ~ 2023. 12.(26차년도)
- 사업 내용
 - 신규 관측공 개발, 보호시설 설치 및 원격 지하수 관측시설 설치
 - 관측공 GPS 측위, 전기비저항 탐사(시추공 토모그래피)
 - 관측공 검층(지하수위, 수온, 전기전도도) 및 현장조사
 - 실시간 지하수위·수질(수온, 전기전도도) 관측
 - 수질특성(양·음이온) 분석 및 연차별 변화 분석
 - 지역별 해수침투 변화양상 관측 및 분석

1.3 사업 시행 근거

1.3.1. 법적 근거

- 국토 균형발전, 농어촌 생활환경 개선 정책 등으로 농어촌 주민을 위한 안정적인 용수 확보와 양질의 수자원 확보에 대한 국민적인 요구가 증가하고 있다.
- 내륙지방과 달리 도서·해안지역 지하수의 경우 해당 요구에 부응하기 위해 무분별하게 지하수를 개발하는 경우, 과잉양수로 인해 염수가 침입하여 지하수는 청정용수로서의 가치를 잃게 되는 문제가 있다.

- 결과적으로 도서·해안지역의 가용 수자원의 양은 오히려 감소하는 역효과를 초래하기 때문에, 최적 개발·이용을 통해 염수침입을 방지하고 동시에 후손에 이르기까지 청정 지하수자원을 활용할 수 있는 정부(지자체)차원의 보전·관리 체계가 요구되어 왔다.
- 이에 따라 농림축산식품부와 한국농어촌공사에서는 도서·해안지역 지하수의 합리적인 개발·이용 및 보전·관리를 위해, 농어촌정비법 제15조(농어촌용수 이용 합리화 계획) 및 동법 시행령 제24조(농어촌용수구역), 지하수법 제17조(지하수의 관측 및 조사 등) 및 시행령 제27조(지하수위변동실태의 조사)에 근거하여 해수침투조사 사업을 시행 중이다(표 1-1).
- 해수침투조사 사업으로 설치된 해수침투 관측망은 도서·해안지역 지하수위 및 수질에 대한 연중 상시관측을 통하여, 도서·해안지역 농어촌 지하수에 대한 해수침투 영향을 사전에 분석하여 농작물에 대한 염해피해 방지를 위해 운영 중이다.

1.3.2. 국가지하수관리기본계획 근거

- 해수침투 관측망은 국가지하수관리기본계획(2012 ~ 2021년)에 의해 국가의 특수목적 관측망으로 분류되어 있으며, 도서·해안지역 지하수의 합리적 이용·관리 및 해수침투 관측을 위해 운영 중이다(표 1-2).
- 도서·해안지역의 효율적인 지하수 공급체계 구축을 위해, 관측공이 설치된 도서·해안지역의 지하수 수량·수질 문제 및 대책방안을 강구하고 있으며, 홈페이지를 통하여 실시간으로 대농어민 서비스를 제공 중이다(농어촌지하수관리시스템, <https://www.groundwater.or.kr>).
- 향후 기후변화 등 환경변화를 대비한 역할과 기능으로서 활용 가능할 것으로 기대된다.

<표 1-1> 해수침투 관측망 사업의 법적 시행근거

법	조 문	내 용
농어촌 정비법	(법 제15조) 농어촌용수 이용 합리화 계획 등	① 농림축산식품부장관은 농어촌용수의 효율적인 개발·이용 및 보전 등을 위하여 농어촌용수 이용 합리화 계획을 세우고 추진하여야 한다. ② 농림축산식품부장관은 농어촌용수를 체계적으로 개발하고, 합리적으로 이용하며, 수질을 관리·보전하기 위하여 농어촌용수구역을 설정하여 운용할 수 있다.(후략)
	(시행령 제24조) 농어촌용수구역	(전략) ② 농림축산식품부장관 또는 시·도지사는 제1항에 따라 농어촌용수구역을 설정하였을 때에는 다음 각 호의 사항을 고시하여야 한다. (중략) 4. 농어촌용수의 관리와 보전에 관한 사항 (후략)
지하수법	(법 제17조) 지하수의 측정 등	① 환경부장관은 전국적인 지하수관측시설(이하 "국가관측망"이라 한다)을 설치하여 대통령령으로 정하는 바에 따라 지하수의 수위변동실태를 조사하여야 한다.(후략)
	(시행령 제27조) 지하수 변동 실태의 조사	① 환경부장관은 법 제17조제1항에 따른 국가관측망을 전국 지하수의 부존 특성 및 지하수의 이용 실태 등을 고려하여 기본계획에 따라 설치하여야 하며, 국가관측망별로 매일 1회 이상 수위를 측정하여야 한다. 다만, 「농어촌정비법」 제15조에 따른 농어촌용수구역에서 농림축산식품부장관이 지하수위관측망을 설치하여 운영하는 경우에는 국가관측망을 설치하지 아니하고 그 지하수위관측망을 이용할 수 있다.(후략)

<표 1-2> 우리나라 지하수 관측망 운영현황

관리주체	관측망	기 능
농림축산식품부 (한국농어촌공사)	해수침투관측망	<ul style="list-style-type: none"> 2023년 현재 전국 도서·해안지역 267개소 (총 388개소 계획; 1단계 136개소, 2단계 252개소) 지하수위, 수온, 전기전도도(24회/일)
	농촌관리측정망	<ul style="list-style-type: none"> 연1회 지하수 배경수질 측정 및 물리검층 2023년 현재 전국 농어촌용수구역별 778개소(총 1,056개소 계획) 지하수위, 수온, 전기전도도(24회/일) 연1회 지하수 배경수질 측정 및 물리검층
환경부	국가관리측정망 (한국수자원공사)	<ul style="list-style-type: none"> 2022년 기준 전국 700개소(1단계 985개소 계획) 지하수위, 수온, 전기전도도(24회/일) 연2회 지하수 생활용수 기준 수질검사
	국가오염측정망 (한국환경공단)	<ul style="list-style-type: none"> 2022년 현재 172개소(1단계 430개소 계획) 지하수위, 수온, 전기전도도(24회/일) 기본항목(15개), 지하수 수질검사항목(20개):수시~분기별 측정 필요시 오염원별 검사항목을 추가 선정
	국가오염우려 측정망 (환경청)	<ul style="list-style-type: none"> 2022년 현재 786개소 지하수 수질검사항목(20개) : 분기별 측정
	국가장해측정망 (한국수자원공사)	<ul style="list-style-type: none"> 장해(우려) 지역 선정시 설치(5개소) 기본항목(15개), 지하수 수질검사항목(20개):수시~반기별 측정 필요시 장해요인별 검사항목을 추가 선정
시·군·구	보조수위수질 측정망	<ul style="list-style-type: none"> 2022년 기준 광역시·도 및 시군구 지자체에 4,150개소(1단계 14,000개소 계획) 지하수위, 수온, 전기전도도 자동 또는 수동 관측(매월(수동)/매1시간(자동)) 연1~2회 먹는물 또는 수질측정망 기준 지하수 수질검사
민간	먹는샘물측정망, 온천감시정	<ul style="list-style-type: none"> 지하수 장해에 대비하여 지하수위 및 수질 관측

* 지하수관리기본계획 수정(2017~2026년), 국가지하수정보센터(www.gims.go.kr), 토양지하수정보시스템(sgis.nier.go.kr)

1.4 사업 추진 경과

1.4.1. 연차별 추진 경과

- 1998년에 해수침투가 보고되거나 우려가 되는 도서·해안지역에 해수침투 관측망 설치 시작(10개소)
- 2023년 12월까지 10개 광역시·도 59개 시군구에 총 267개 해수침투 관측망 설치 운영 중
- 2023년에 총 10개소 신규 관측공 및 1개소 이설 관측공 설치(표 1-3)(그림 1-1).
 - 울산(1), 경기(2), 강원(2), 충남(1), 전남(4)
- 현재까지 설치 현황 및 향후 계획

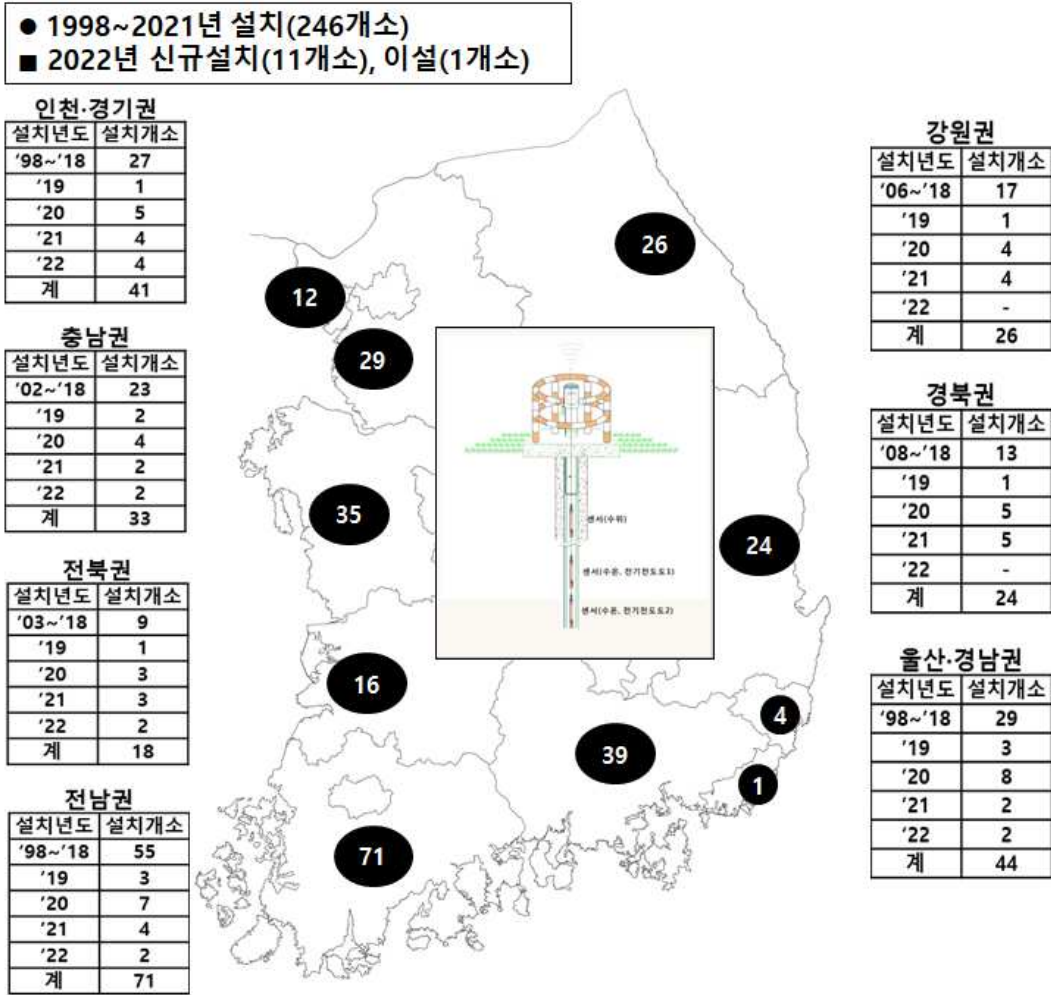
· 1998년	10개소/년	· 1999 ~ 2003년	7개소/년
· 2004 ~ 2008년	10개소/년	· 2009년	2개소/년
· 2010 ~ 2012년	10개소/년	· 2013 ~ 2023년	228개소/년

- 부산 : 1시군구 1개공
- 인천 : 2시군구 12개공
- 울산 : 2시군구 5개공
- 경기 : 7시군구 31개공
- 강원 : 6시군구 28개공
- 충남 : 7시군구 36개공
- 전북 : 4시군구 16개공
- 전남 : 16시군구 75개공
- 경북 : 5시군구 24개공
- 경남 : 9시군구 39개공
- 향후 계획 : 2023년 이후, 육지부 도서·해안지역 121개소 계획 중
(총 388개소 중 2023년 말 현재 267개소(69%) 완료)

<표 1-3> 해수침투조사 사업 관측공 설치 현황

광역시도	개소수		지자체 시군구
	계	267	59시군구 시군구(개소수)
부산광역시	1	1	강서구(1)
인천광역시	12	2	강화군(10) 옹진군(2)
울산광역시	5	2	북구(4), 울주(1)
경기도	31	7	김포시(5) 시흥시(2) 안산 단원구(3) 안산 상록구(2) 파주시(6) 평택시(7) 화성시(6)
강원도	28	6	강릉시(6) 고성군(5) 동해시(2) 삼척시(5) 속초시(4) 양양군(6)
충청남도	34	7	당진시(4) 보령시(6) 서산시(4) 서천군(6) 아산시(4) 태안군(6) 홍성군(4)
전라북도	18	4	고창군(5) 군산시(6) 김제시(2) 부안군(5)
전라남도	75	16	강진군(4) 고흥군(4) 광양시(4) 목포시(2) 무안군(6) 보성군(6) 순천시(4) 신안군(6) 여수시(4) 영광군(4) 영암군(4) 완도군(8) 장흥군(4) 진도군(7) 함평군(2) 해남군(6)
경상북도	24	5	경주시(5) 영덕군(6) 울진군(5) 포항 남구(5) 포항 북구(3)
경상남도	39	9	거제시(5) 고성군(5) 남해군(7) 사천시(5) 창원 마산합포(4) 창원 마산회원(1) 창원 진해(1) 통영시(5) 하동군(6)

※ 제주도 이관 56개소 제외



<그림 1> 해수침투조사 관측망현황

1.4.2. 해역별 추진 경과

- 해역별로는 서해안 132개소, 남해안 83개소, 동해안 52개소가 설치·운영되고 있다. 해안길이가 길고 도서지방이 많은 서·남해안 해역에 상대적으로 많이 설치되어 있다(표 1-4).

<표 1-4> 해역별 관측망 설치 현황

구 분	광역시도	개소수	시군구(개소수)
	계	267	59 시군구
	소계	132	28 시군구
서해안	인천	12	강화군(10) 옹진군(2)
	경기	31	김포시(5) 시흥시(2) 안산 단원(3) 안산 상록(2) 파주시(6) 평택시(7) 화성시(6)
	충남	34	당진시(4) 보령시(6) 서산시(4) 서천군(6) 아산시(4) 태안군(6) 홍성군(4)
	전북	18	고창군(5) 군산시(6) 김제시(2) 부안군(5)
	전남	37	목포시(2) 무안군(6) 신안군(6) 영광군(4) 영암군(4) 진도군(7) 함평군(2) 해남군(6)
	소계	83	20 시군구
남해안	부산	1	강서구(1)
	울산	5	북구(4), 울주(1)
	전남	38	강진군(4) 고흥군(4) 광양시(4) 보성군(6) 순천시(4) 여수시(4) 완도군(8) 장흥군(4)
	경남	39	거제시(5) 고성군(5) 남해군(7) 사천시(5) 창원 마산합포(4) 창원 마산회원(1) 창원 진해(1) 통영시(5) 하동군(6)
	소계	52	11 시군구
동해안	강원	28	강릉시(6) 고성군(5) 동해시(2) 삼척시(5) 속초시(4) 양양군(6)
	경북	24	경주시(5) 영덕군(6) 울진군(5) 포항 남구(5) 포항 북구(3)

- 해역별 분류와 더불어, 해수침투 관측망은 도서지역 및 해안지역 관측공으로 구분할 수 있다. 도서지역 관측공은 7개 시·군·구 지자체에 45개소, 해안지역 관측공은 52개 시·군·구 지자체에 222개소가 설치되어 운영 중이다(표 1-5).

<표 1-5> 도서지역 및 해안지역으로 구분된 해수침투 관측망

구 분	개소수	도서지역		해안지역	
		계	소계	시군구(개소수)	소계
광역시도	267 (59시군구)	44	7 시군구	213	52 시군구
인천	12	12	강화(10), 옹진(2)	-	-
울산	5	-	-	5	북구(4), 울주(1)
부산	1	-	-	1	강서구(1)
경기	31	-	-	31	김포(5), 시흥(2), 안산 단원(3), 안산 상록(2), 파주(6), 평택(7), 화성(6)
강원	28	-	-	28	강릉(6), 고성(5), 동해(2), 삼척(5), 속초(4), 양양(6)
충남	34	-	-	34	당진(4), 보령(6), 서산(4), 서천(6), 아산(4), 태안(6), 홍성(4)
전북	18	-	-	18	고창(5), 군산(6), 김제(2), 부안(5)
전남	75	21	신안(6), 진도(7), 완도(8)	54	강진(4), 고흥(4), 광양(4), 목포(2), 무안(6), 보성(6), 순천(4), 여수(4), 영광(4), 영암(4), 장흥(4), 함평(2), 해남(6)
경북	24	-	-	24	경주(5), 영덕(6), 울진(5), 포항 남구(5), 포항 북구(3)
경남	39	12	남해(7), 거제(5)	27	고성(5), 사천(5), 창원 마산합포(4), 창원 마산회원(1), 창원 진해(1), 통영(5), 하동(6)

1.4.3. 해수침투 관측망 심도 및 해안거리

- 전국 267개 관측공의 개발심도는 평균 약 88 m이다(표 1-6).
- 케이싱 심도는 전국 평균 약 21 m로서, 이는 해수침투 관측망이 설치된 지점의 퇴적층 평균 두께가 평균 약 20 m 내외임을 의미한다.
- 한국농어촌공사 해수침투 관측망은 일반적으로 1개 지구에 2개소로 설치한다. 즉, 해안선 기준 내륙쪽 근거리 1개소, 원거리 1개소를 설치하여 거리에 따른 해수침투 영향을 분석한다. 관측공과 해안의 거리는 전국 최대 12,400 m, 최소 1 m에 위치하며, 전국적으로는 해안으로부터 평균 1,125 m에 위치한다.

<표 1-6> 해수침투 관측망 심도 및 해안거리

광역시도	개발 심도(m)			케이싱 심도(m)			해안까지 거리(m)		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
계									
평균	201	30	88	54	2	21	12,400	1	1,125
부산	60	60	60	40	40	40	19	19	19
인천	137	40	83	48	9	26	1,900	120	843
울산	120	31	83	30	14	23	1,250	70	478
경기	180	43	96	45	6	20	8,222	1	1,350
강원	127	40	90	50	4	20	5,105	30	863
충남	175	60	89	44	6	22	12,400	30	1,731
전북	150	60	89	36	6	21	5,200	70	1,199
전남	150	37	81	54	2	20	5,580	25	889
경북	201	30	92	48	6	19	4,600	100	1,552
경남	200	46	91	45	4	16	4,230	14	430

제2장 해수침투 이론 및 관리

- 도서·해안지역 대수층에는 담수 하부에 염수가 썩기형태로 분포
 - Ghyben-Herzberg 이론 : 해수면 아래 담수체의 깊이(z)는 해수면을 기준으로 지하수위 높이(h_f)의 약 40배에 해당
- 도서·해안지역 지하수의 과잉양수는 관정 내부로 염수침입을 유발하여, 가용한 지하수자원의 감소 초래
 - 최적 지하수 개발 가능량 범위 내에서 해안지하수 개발·이용 필요
 - 지하수 양수 시 발생하는 상승추의 평형고도를 자연상태 담·염수 경계면으로부터 관정바닥까지 거리의 1/3보다 적게 설정하여 양수 필요
- 해수침투 관리를 위한 노력은 국·내외에서 지속적으로 진행 중
 - 국내에서는 해수침투 관리를 위해 산·학·연·관에서 우수한 성과를 도출하고 있으나, 제도적 장치의 미흡으로 해수침투 발생지역에 직접 적용한 사례는 제한적임
 - 해외 선진국의 경우 해수침투에 대한 선제적 대응으로 향후 발생 가능한 해수침투에 대한 사전적 예방체계를 구축하여 시행 중

2.1 해안지하수

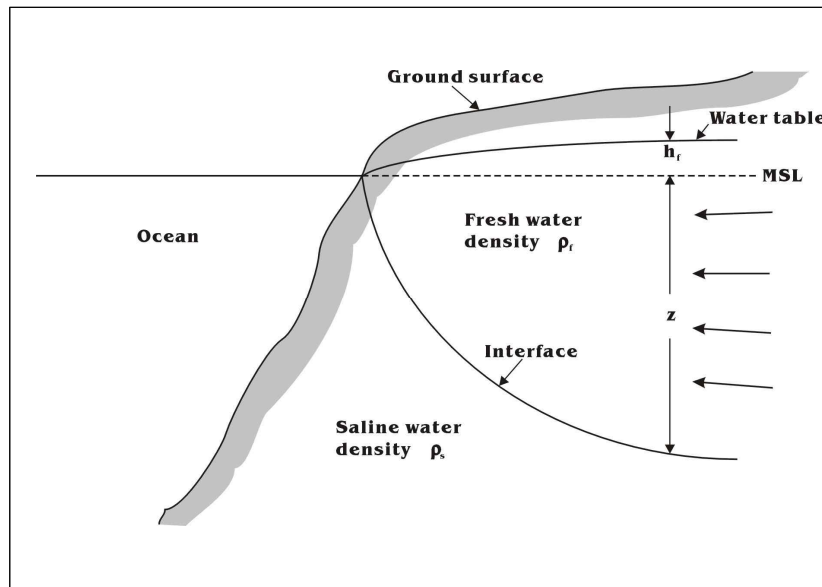
2.1.1. 해안지하수 부존 특성

- 내륙지방에서 함양된 지하수는 내륙과 해안사이의 지하수 수두경사에 의해 해안방향으로 이동하며, 최종적으로 바다로 배출된다.
- 해안지역은 바다의 영향으로 담수인 지하수와 비교하여 상대적으로 밀도가 큰 해수가 해안지역 대수층의 기저부에 썩기형태로 존재하게 된다. 이로써 해안지역 대수층은 담수와 해수가 공존하게 된다.

- 해수와 담수의 경계면은 정수압적 평형(hydrostatic balance)을 이루면서 해안가에서는 낮은 심도인 반면 내륙방향으로는 깊은 심도로 형성되어, 자연상태에서는 전반적으로 아래로 볼록한 형태를 보인다(그림 2-1).
- 이를 정역학적으로 설명한 것이 Ghyben-Herzberg(G-H) 이론이다.

2.1.2. Ghyben-Herzberg 이론

- G-H 이론은 1900년 전후에 Ghyben(1888)과 Herzberg(1901)에 의해 각각 발표된 논문을 기초로 구성되었다.
- 자유면 대수층의 경우, 해수면 아래 담수체의 깊이(z)는 해수면을 기준으로 지하수위 높이(h_f)의 약 40배에 해당되는 것으로 알려져 있다(그림 2-1).



<그림 2-1> 해안지역의 담수체 및 해수체의 이론적 모형

- 정수압적 평형 이론을 근거로 담수체와 해수체의 밀도와 지하수면의 고도를 알면 아래의 (식 2-1)에 의해 담수체까지의 깊이를 구할 수 있다.

$$\rho_s g z = \rho_f g (z + h_f) \quad (2-1)$$

- 이 때 ρ_s 는 해수의 밀도, ρ_f 는 지하수의 밀도, g 는 중력가속도, h_f 는 지하수면의 고도, z 는 해수면 아래 담수체의 깊이이다.
- (식 2-1)을 해수면 아래 담수체의 깊이에 대해 정리하면 (식 2-2)와 같은데, 이를 G-H 관계식이라고 한다.

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (2-2)$$

- 이 때, 해수의 밀도를 1.025 g/cm^3 , 지하수의 밀도를 1.000 g/cm^3 라고 가정하면, 담수체의 깊이 z 는 (식 2-3)과 같이 계산된다.

$$z = 40h_f \quad (2-3)$$

2.2 해수침투

2.2.1. 해수침투 발생

- 해안지역에서 지하수의 양수는 담수와 염수 경계면의 평형을 교란시켜 대수층 내 담수영역으로 염수의 침입을 유발시킨다.
- 자연적인 지하수 배출량을 초과하는 과잉 양수 시에는 수리경사의 역전을 발생시켜, 결과적으로 양수정 내로 염수가 직접 유입된다.
- 염수가 유입된 지하수는 음용수, 농업용수 등의 목적으로 활용 불가능하게 되어 가용 수자원을 감소시키는 결과를 초래한다.
- 해수침투가 발생한 해안지역 대수층을 원래대로 복구하기 위해서는 많은 비용과 시간이 소요되며, 사실상 완전복구는 불가능하다.
- 과잉양수에 의한 관정 내 염수의 침입은 G-H 이론을 토대로 설명 가능하다.

2.2.2. 경계면 상승

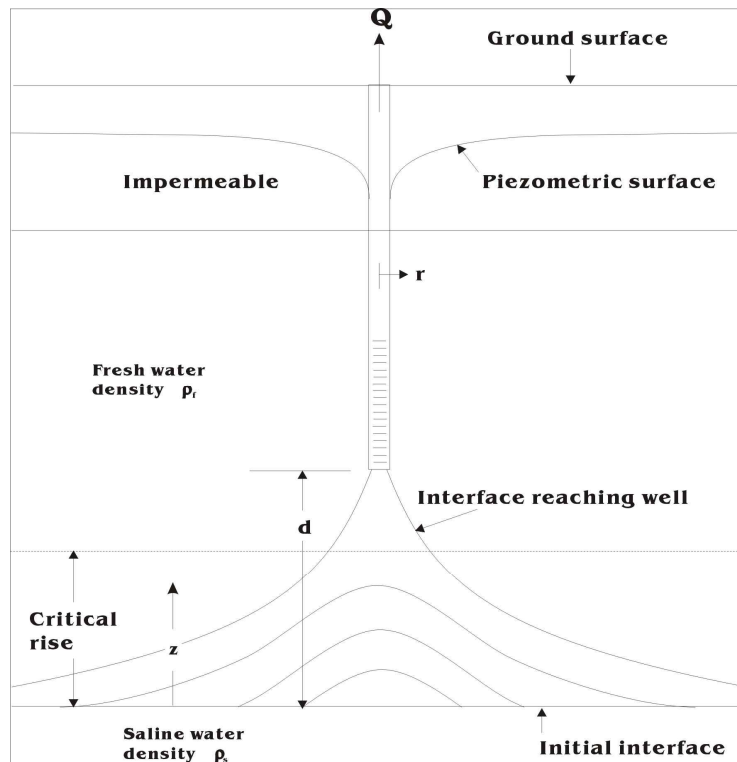
- 해안지역에서 지하수 양수는 지하수위를 하강시키고, 담수와 염수의 경계면을 상승시킨다. 이때 발생하는 경계면의 상승 형태를 상승추(upconing)

라고 하며(그림 2-2), 양수에 의해 새롭게 형성되는 평형고도는 (식 2-4)와 같다(Schmorak and Mercado, 1969).

$$z = \frac{Q\rho_f}{2\pi dK(\rho_s - \rho_f)} \quad (2-4)$$

- 이 때, z 는 새롭게 형성되는 상승추의 평형고도, K 는 수리전도도, Q 는 양수량, d 는 해수체 경계면으로부터 관정바닥까지의 거리이다.
- Dagan and Bear(1968)은 새롭게 형성되는 상승추의 평형고도(z)가 원래의 해수체 경계면으로부터 관정바닥까지 거리(d)의 1/3보다 적은 경우 안정한 것으로 제안하였으며, $z=0.3d$ 인 경우 최대 허용양수량(maximum permitted pumping rate)은 (식 2-5)와 같은 조건을 만족하여야 함을 밝혀낸 바 있다.

$$Q_{\max} \leq 0.6\pi d^2 K \left(\frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \quad (2-5)$$



<그림 2-2> 양수에 의한 경계면의 상승추 형성 모식도

2.3 해수침투 관리 방법

- 지하수 최적 개발 이용 및 규제 : 관정 내부로 염수 유입이 발생하지 않는 적정 양수량 범위 내에서 지하수를 이용하도록 하는 방법이다.
- 담수 인공함양 : 담수를 대수층에 인위적으로 주입시켜서 지하수위를 높이고 수리적으로 해수의 이동을 제어하는 방법이다.
- 해수침투 차단 장벽 설치 운영 : 해안변에 해수침투 차단을 위한 장벽을 설치하여 인위적으로 염수 유입을 차단하는 방법이다.
- 염수 인공배출 : 염수를 대수층으로부터 양수하여 지하수의 수리구배를 인위적으로 크게 하여 담수의 유입을 유도하는 방법이다.

2.4 국내의 해수침투 관리

- 국내에서는 도서·해안지역 해수침투 관리를 위해 지하수 관련 전문연구 기관과 대학·연구소 등에서 활발한 조사·연구가 진행 중이며, 그 성과도 우수한 편이다.
- 농림축산식품부와 한국농어촌공사에서는 도서·해안지역 지하수 관리의 중요성을 인식하고, 1998년부터 현재까지 해수침투 관측망을 확대 설치하여 국내 도서·해안지역 대수층을 통한 해수침투 현상을 관리하고 있다. 또한 매년 연차별로 조사 보고서를 작성하여 관측 자료와 함께 인터넷 웹서비스 (농어촌지하수관리시스템 <https://www.groundwater.or.kr>)를 통해 일반에 공개 중이다.
- 또한 과학기술부 주관 프론티어연구사업단의 「수자원의 지속적 확보기술 개발사업(2001 ~ 2011년)」, 자연재해방재사업단의 「해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발 연구(2000)」, 한국지질자원연구원의 「해수침투 확산저지 및 피해개선기술 개발(2006)」 등을 통하여, 우리나라 대수층의 수리지질학적 특성과 관련된 일련의 체계화된 기술 개발과 함께 도서·해안지역 지하수 최적관리와 해수침투 방지를 위한 여러 노력이 있었다.

- 그러나 상대적으로 우수한 조사·연구 성과에 비하여 정책에 반영할 수 있는 제도적 장치가 미흡하여, 해수침투 발생지역에 대하여 직접적으로 조사·연구 결과가 반영된 사례는 미비한 편이다.

2.5 외국의 해수침투 관리

- 해외 선진국의 경우, 현재 지하수 관련 사안에만 대처하기 보다는, 향후 발생 가능한 문제들에 대한 사전적 예방체계를 구축하여 해수침투 관리를 시행하고 있다.
- 아래 해수침투 관리 사례는 문유리 외(2008)로부터 발췌하여 기술하였다.

2.5.1. 미국

가. 해수침투 보고 사례

- 1854년 : 뉴욕 주 롱아일랜드 지하수에서 해수성분 검출 보고
- 1940년 : 뉴저지 주 케이프메이 카운티에서 120개 관정이 해수침투로 인하여 한꺼번에 폐쇄
- 1939년 : 플로리다 주 포트조지 섬에서 제지공장의 과도한 지하수 개발로 염소농도 급증, 담수습지의 해수화, 습지 해수화에 따른 먹이사슬 파괴 (악어, 조류 수 감소)
- 1960년 : 조지아 주 사바나-힐튼 지역에서 해수침투 보고

나. 해수침투 관리 사례

- 미의회 기술평가국(Office of Technology Assessment, OTA)
 - 1987년 해수침투를 대수층의 오염원으로 분류
- 미국 지질조사소(U.S. Geological Survey)
 - 해수침투 관리에 관한 연구 활성화

- 워싱턴 주
 - 1989년 해수침투관리정책 수립 이후 해수침투에 대한 특별관리 시행
- 플로리다 주
 - 해수침투가 우려되는 경우에 인공수로의 물높이를 상승시켜 대수층 내 담수층의 압력을 증가시켜 해수침투 방지
 - 습지복원으로 대상지역의 물순환에 변화를 주는 방안을 도입하여 해수 침투 방지
 - 신규 관정 개발 시 해당 관정이 해수침투에 미치는 영향이 없음을 증명하여야 함. 만약 그 영향이 작다고 판단될 경우, 관정설치를 허가(5년마다 갱신)하되, 해당 관정을 관찰하기 위한 관측공을 추가로 설치하도록 규정
 - 예상치 못한 해수침투로 인한 대수층의 피해 발생 시, 허가를 축소하거나 관정 폐쇄
- 조지아 주
 - 조지아 주정부(환경부)에서는 해안지역의 카운티가 자체적으로 효율적인 대수층 관리방안과 대체수자원 확보계획을 세우도록 지시
 - 해안지역의 대수층에 대한 연구전담 조직으로 조지아 해협연구위원회 (Coastal Georgia Sound Science Initiative) 설립
 - 2006년 6월 해수침투에 취약한 해안지역 24개 카운티를 해수침투 관리 대상 지역으로 분류하여, 3개 그룹(소지역 1, 2, 3)으로 구분하여 관리
 - 소지역 1 (해수침투 취약지역)
 - 취수량 제한 : 2004년 지하수 취수량을 기준으로 취수량 증가를 제한하고, 2008년까지 취수량을 약 19백만 m^3/day 감소 목표 수립
 - 혼합이용 장려 : 증가하는 물이용량을 충족시키기 위해 지표수와 지하수의 혼합사용 및 하부 플로리다 대수층 등 다른 대수층 개발 장려
 - 소지역 2 (해수침투가 국지적으로 나타나는 지역)
 - 현재 해수침투 경계선이 더 이상 내륙지역으로 이동하지 않도록 관리
 - 해수침투 발생지역과 그 주변에 신규 관정 개발 금지

- 소지역 3 (해수침투가 뚜렷하지 않지만 관리 필요지역)
 - 지속적인 해수침투 관측 시행
- 이 외, 캘리포니아, 플로리다, 워싱턴 주 해수침투 차단 장벽 설치 운영

2.5.2. 유럽연합

가. 해수침투 보고 사례

- 스페인 : 남부 농업용 지하수에서 염소이온 검출로 관개용수로 사용 불가
- 터 키 : 1999년 메르신 지하수에서 염소이온 과다로 해당지역 관정 불용
- 네덜란드 : 1900년대 북서부 해안지역에서 해수침투가 처음 관측
- 각 회원국으로 하여금 해수침투 정밀조사를 수행하여 관련자료와 데이터를 보고하도록 규정하고, 수집된 자료는 GIS 데이터베이스로 구축하여 활용 중
- 해수침투 지역의 대수층을 특별 관리할 필요가 있는 곳은 「주의지역(hot spots)」으로 지정하여 관리

나. 해수침투 관리 사례

- 독일
 - 사전적 예방정책(국립공원 지정, 취수량 제한)으로 해수침투 관리
 - 북해 인접지역에는 유럽의 60%에 해당하는 갯벌이 존재하는데, 갯벌보전이라는 취지하에, 발트해 인접지역 모든 갯벌을 국립공원으로 지정. 이로써 지하수 개발·이용을 전면 금지하여 해수침투 미발생 유도
 - 발트해 도서지역에서는 지하수 취수량을 제한하여 해수침투 관리
- 네덜란드
 - 지하수 인공함양기술 활용 : 운하 및 담수보존장치를 이용하여 담수렌즈를 유지하는 방법
 - 최근 기후변화에 따른 해수면 상승과 해수침투 관련성 연구 활발히 진행

2.5.3. 기타

- 일본, 중국, 멕시코, 인도네시아, 필리핀 등에서는 지하에 인공적인 차수벽 시설을 설치하여 지하수를 저장하는 지하댐을 설치하여 해안변의 담수 지하수자원 저장 및 해수침투 방지 시행
- 지하댐을 이용한 담수의 인공저장 방식은 해수침투 방지를 비롯하여, 수자원의 일시적 지하 저장, 대수층 관리를 위한 지하수위의 유지, 그리고 지하수 축열을 이용한 에너지 절감 효과 등 부차적인 효과 창출

제3장 해수침투 관측망 시설 및 유지·관리

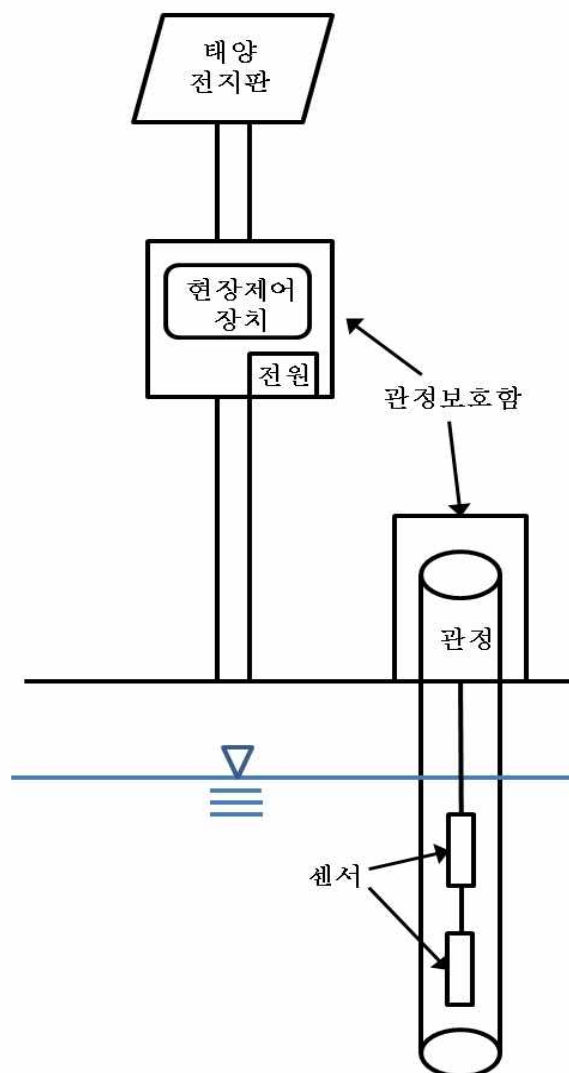
- **해수침투 관측망은 국내 도서·해안지역 지하수 관측공에 대한 일괄 관리 체계임**
 - 2023년 현재 전국 267개소 해수침투 관측망에 대한 일괄 관리 시행 중
 - 해수침투 관측망은 관측공, 관측센서, 현장제어장치, 전원장치, 보호시설, 안내문 등의 구성으로 설치됨
 - 관측자료는 서버로 실시간 전송되며 농어촌지하수관리시스템을 통해 제공 중
- **해수침투 관측망은 해당지역을 대표하는 최적 위치에 설치**
 - 해수침투 관측망은 해수침투의 공간적인 분포 및 지하수 유동 방향을 고려하여 해안선에 수직 방향으로 상, 하류부에 설치
 - 4가지 인자(총면적 대비 농지면적, 전체용수 이용량 대비 지하수 이용량, 총 인구수 대비 농어업 인구수, 전체관정 개소수 대비 농업용 관정 개소수)를 고려하여 설치
- **해수침투 유지·관리 지침을 토대로 체계적인 관리체계 구축**
 - 표준화된 유지·관리 지침을 토대로 관측시설물의 유지·관리, 취득자료의 체계적 관리, 타 관측망 자료와 연계 운영 필요

3.1 해수침투 관측망

3.1.1. 해수침투 관측망 개요

- 해수침투 관측망(Seawater Intrusion Monitoring Network System)은 국내 도서·해안지역에 분산·설치되어 있는 257개(2022.12월 말 기준) 관측공에 대한 일괄 관리체계를 일컫는다.
- 개별 관측공에는 해수침투 관측망이 설치되어 있다. 해수침투 관측망은 관측공, 관측센서, 현장제어장치, 전원장치, 보호시설, 안내판 등으로 구성된다(그림 3-1).

- 각 관측공에서는 원격감시 시스템을 이용하여 매일 1시간 간격으로 지하수위 (m), 전기전도도(EC, $\mu S/cm$) 및 지하수 수온($^{\circ}C$) 자료를 자동으로 수집하여 한국농어촌공사에 소재한 서버로 전송한다.
- 각 관측공에서 서버로 전송된 자료는 실시간으로 관리자가 확인할 수 있으며, 관측자료의 수요자인 농어민, 관련 공무원, 학계, 업계 등에게는 각 관측자료(지하수위, 수온, 전기전도도)가 일평균 값으로 환산되어 농어촌 지하수관리시스템(<https://www.groundwater.or.kr>)을 통해 제공된다.



<그림 3-1> 해수침투 관측망 모식도
(보호함 유형 관측시설)

3.1.2. 해수침투 관측망 세부 구성요소

- 관측공
 - 해당지역을 대표할 수 있는 지점에 지름 125 mm 이상, 심도 60 m 이상인 관측공을 굴착한다. 관측대상 지하수는 암반지하수를 대상으로 하기 때문에 충적층 구간은 케이싱을 설치하여 충적층 지하수 내지 불포화대 지하수의 유입을 방지한다.
- 관측센서
 - 관측센서는 수심 150 m 이상의 압력에도 견딜 수 있는 방수구조의 센서가 설치된다. 관측센서는 지하수위 관측센서(depth; D), 전기전도도·수온 관측센서(conductivity and temperature; CT), 전기전도도·수온·지하수위 관측센서(CTD) 등 3종류로 구분된다.
 - 상기 센서는 2개 이상의 센서가 각 관측소의 관측목적에 부합하도록 다중심도로 설치되어 있다(그림 3-1). 두 개의 다중심도 센서가 설치된 경우, 얇은 심도와 깊은 심도에 각각 D센서와 CT센서를 설치한다.
- 현장제어장치
 - 센서로부터 관측된 자료를 1일 최소 1회부터 최대 24회까지 수집하여 보관하며, 동시에 서버로 자료를 전송하는 장치이다.
 - 자료 전송은 CDMA 전용단말기를 이용하여 서버로 전송한다. 전송 불량 시에는 재전송이 가능할 때까지 자료를 임시 보관하며, 복구 후에는 설정된 내용에 따라 자료를 자동 전송한다.
 - 현장조사 시에는 실시간 측정 데이터를 액정화면으로 보거나, 노트북으로 다운로드 받아볼 수 있다.
- 전원장치
 - 태양전지는 현장의 일조 환경과 시스템 총 소모 전력량을 기준으로 설계한다.
 - 최소 30일 이상 충전이 안 되는 조건에서도 정상작동을 용이하게 하기 위해 소모 전원(축전지, 12 볼트, 40 암페어 이상)과 연동하여 충전 용량 및 충전 용량으로 설계한다.

○ 보호시설

- 관측공 보호함은 관측공 내부 및 현장제어장치에 빗물 내지 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 설치한다.
- 관측공 보호펜스는 관측시설을 쉽게 인지하도록 하고, 외부 충격으로부터 관측시설을 보호하기 위해 설치한다.

○ 안내판

- 안내판은 현장제어장치 보호함 또는 관측공 보호펜스에 설치하며, 부식을 방지하기 위해 스테인리스 스틸로 제작한다. 안내판 규격과 내용은 아래 <그림 3-2>와 같다.

3.1.3. 해수침투 관측망의 변천(표 3-1 ~ 3-2)(그림 3-2)

○ 상부보호공 및 양수장옥 유형

- 설치기간 : 1998 ~ 2004년
- 개 소 수 : 35개소(상부보호공 26개소, 양수장옥 9개소)
- 센서유형 : 일체형 센서 32개소(Minisonde4a 12개소, QuantaG 20개소), 다중심도센서 3개소

○ 보호함 유형

- 설치기간 : 2004 ~ 2012년
- 개 소 수 : 92개소
- 센서유형 : 일체형 센서(Minisonde4a) 4개소, 다중심도센서 88개소

○ 관정내장형 유형

- 설치기간 : 2013년 이후 ~ 현재
- 개 소 수 : 140개소
- 센서유형 : 다중심도센서(S-cap유형)

- 해수침투조사용 관측공 -

- ◎ 지 구 명 : ○○지구
- ◎ 관정심도 : m
- ◎ 설치년도 : 2023년

본 시설물은 해안지역에서 염수에 의한 지하수 오염을 감시하고자, 농림축산식품부와 한국농어촌공사에서 국가예산으로 설치한 관측시설물입니다. 관측장비의 보호를 위하여 주민 여러분의 협조를 부탁드립니다.

문의사항 연락처 : 한국농어촌공사 00지역본부
 전 화 : 000 - 000 - 0000
 홈페이지 : <https://www.groundwater.or.kr>

<그림 3-2> 해수침투 관측망 안내문

<표 3-1> 관측망 유형과 센서 현황

설치년도	유형	계	다중	다중(S)	M	Q
'98~'04	상부보호공	26	1	-	7	18
	양수장옥	9	2	-	5	2
'04~'12	보호함	92	88	-	4	-
'13~현재	관정내장형	140	-	140	-	-
계		267	91	140	16	20

주) 다중, 다중심도센서(국산); 다중(S), 다중심도센서(S-cap유형, 국산); M, Minisonde4a(일체형, 수입산); Q, QuantaG(일체형, 수입산)

<표 3-2> 관측망 유형과 센서의 변천

구 분	유 형		
상부보호공 및 양수장옥	 (상부보호공)	 (지하수 물리검층)	 (일체형 센서; QuantaG)
	 (양수장옥)	 (현장제어장치)	 (일체형 센서; Minisonde4a)
보호함	 (보호함 유형)	 (현장제어장치)	 (다중심도센서)
	 (관정내장형 유형)	 (관정내장형 현장제어장치)	 (다중심도센서; S-cap유형)

3.2 해수침투 관측망 유지·관리

3.2.1. 해수침투 관측망 위치 선정

가. 해수침투 관측망 설치 목적 및 효과

- 일반적으로 지하수 관측망은 지하수 수량 및 수질의 지속적인 관측(분석)을 통해 지하수 최적이용을 도모하고 동시에 오염예방을 수행하는 등 실질적인 지하수 보전관리 업무에 그 목적이 있다.
- 지하수 관측망은 지하수위 및 수질의 장기관측과, 수질검사 및 대수층 시험 등의 정기적인 실시를 통하여, 장래 지하수자원의 수량 및 수질 변화에 적극적으로 대처하기 위한 시설이다.
- 지하수 관측망 설치 시에는 오염물질 유입에 의한 수질 부적합 지역, 수질은 적합하나 과잉양수로 지하수위가 계속 하강하는 지역, 지금까지는 지하수의 함양과 양수량이 균형을 이루고 있으나 주변여건 변화로 지속적인 관리가 요구되는 지역 등 지역별 관리대상을 고려하고 주변 여건 및 수문환경 등을 고려하여 그 규모 및 범위 등을 결정해야 한다. 또한, 경제성을 감안하여 관측공의 설치 개소수를 최소화하도록 설계되어야 한다.
- 해수침투 관측망의 경우에는 지하수의 의존성이 큰 도서·해안지역에 대하여 공간적으로 해수침투 현상을 관측할 수 있는 지점에 설치하는 것이 중요하다.
- 이에 따라 지하수 관측을 위한 지하수 관측망 설치 세부목적으로는
 - 1) 지하수위 변화 파악을 통한 지하수 수문 분석
 - 2) 지하수 과잉양수에 의한 지반침하 및 오염 가속화 등 재해 예측 및 방지
 - 3) 지하수자원의 항구적인 보존 및 관리
 - 4) 하천, 저수지, 해안변 해수침투 등 대수층 내 수문요소에 따른 영향 감시
 - 5) 수질변화 및 특성변화 예측을 위한 지하수 수질 장기 관측

- 6) 오염원 및 잠재오염원 부존 지역의 특정오염원에 대한 오염 확산 감시
- 7) 오염 대수층 지역에 있어 정화처리 효과 감시 등이 대표적이다.
- 해수침투 관측망은 1), 2), 3), 4), 5)를 목적으로 하여 해안지역 지하수 보전을 위한 대수층의 수문분석 및 장기관측을 실시한다. 측정주기는 1시간 단위이다. 대수층 내 지하수량 변화를 파악하기 위하여 장기적인 지하수위 및 수온 변화를 주 관측대상으로 하며 수위 외에 오염 지시인자인 전기 전도도를 관측한다.
- 1), 2), 3), 5)는 일반적인 대수층 전체에 대한 장기 관측망에 해당하며, 측정주기를 1일, 5일, 10일, 15일 및 1개월 등 목적에 맞추어 수년에서 수십 년간 관측하여 월변화, 년변화를 분석하는 것이 주목적이다.
- 4), 6), 7)은 저수지, 하천, 해수침투, 쓰레기 매립장, 축산단지, 공장 등 특정 대상을 목적으로 하는 일시적인 관측망으로서 측정주기도 목적에 따라 좀 더 조밀하게 관측하여 일변화, 월변화를 분석한다.

나. 관측망 위치 선정 기준

- 관측망 위치선정 기준은 지하수 기초조사 자료 및 각종 통계자료를 기초로 타당한 인자 도출 및 등급화로 객관적인 방안이 필요하다.
- 해수침투 관측망 위치 선정의 경우 4가지의 인자를 추출하여 각 인자들에 대한 가중치를 부여하여 우선순위를 결정하는 방법을 채택한다(표 3-3). 그러나 이들 4가지 인자 중에서 가중치가 높은 지하수 이용량의 경우는 지하수 관정의 신고 당시의 양수량을 기초로 작성되었기 때문에, 향후 이용량에 대한 정확한 결과가 도출되는 경우 가중치를 조정할 여지가 있다.
- <표 3-4 ~ 3-7>은 각 인자들의 등급별로 계산된 지수를 정리한 결과로, 4가지 인자들의 최대값은 35, 최소값은 7이다.

<표 3-3> 각 인자별 가중치 및 자료 출처

인 자 (읍, 면)	가중치	자료출처
농지면적/총 면적	2	시·군 홈페이지
농업용 지하수 이용량/총 지하수 이용량	1	국가지하수정보센터
농업인구 수/총 인구 수	1	시·군 홈페이지
농업용 관정 수/전체 관정 수	3	지하수조사연보
가중치 계	7	

※ 참조사항 : 해안까지의 길이

<표 3-4> 농지면적 등급 기준

인 자	가중치	구 분	등 급	지 수
농지면적/총 면적	2	0.00 ~ 0.15	1	2
		0.16 ~ 0.30	2	4
		0.31 ~ 0.45	3	6
		0.46 ~ 1.00	4	8

<표 3-5> 지하수 이용량 등급 기준

인 자	가중치	구 분	등 급	지 수
농업용 지하수 이용량/ 총지하수 이용량	1	0.0 ~ 0.6	1	1
		0.6 ~ 0.7	2	2
		0.7 ~ 0.8	3	3
		0.8 ~ 0.9	4	4
		0.9 ~ 1.0	5	5

<표 3-6> 농업인구 수 등급 기준

인 자	가중치	구 분	등 급	지 수
농업인구 수/ 총 인구 수	1	0.00 ~ 0.15	1	1
		0.16 ~ 0.30	2	2
		0.31 ~ 0.45	3	3
		0.46 ~ 0.60	4	4
		0.61 ~ 1.00	5	5

<표 3-7> 농업용 관정 수 등급 기준

인 자	가중치	구 분	등 급	지 수
농업용 관정 수/ 전체 관정 수	3	0.0 ~ 0.2	1	3
		0.2 ~ 0.4	2	6
		0.4 ~ 0.6	3	9
		0.6 ~ 0.8	4	12
		0.8 ~ 1.0	5	15

3.2.2. 해수침투 관측망 운영

가. 운영관리인 선정

- 해수침투 관측망은 정기적인 기기 점검 등 설치 이후 지속적인 사후 관리가 이루어져야 한다.
- 해수침투 관측망을 운영·관리하기 위해서는 별도의 예산이 필요하며, 이를 바탕으로 관측공 설치 이후 정기적인 점검, 자동관측기기의 보정, 장기 관측 자료의 수집 및 자료관리, 연간 측정자료 보고서 작성, DB 구축 등이 가능하다.

- 이러한 운영 및 관리를 위하여 선정된 담당자에게는 전문교육을 통해 시설물의 보호 상태 및 취득 자료의 기록과 보관 방법을 교육하여야 한다.
- 관측망 운영 관리인은 관측망 시설물과 장비의 유지·관리는 물론 장기적인 관측자료 등 연간 취득 자료를 체계적으로 관리하여 지하수자원의 효율적인 이용과 관리의 기초자료로 활용되도록 하며, 타 관측망 자료와 연계 운영할 수 있도록 관측공의 위치와 취득자료를 표준화된 자료체계로 보관 관리하여야 한다.

1) 해수침투 관측망 운영자의 수행 업무

- 관측자료 취득
- 관측시설 보호 관리
- 정기적인 실측 및 센서 보정
- 전원 점검 및 배터리 교체
- 정기 수질시료 채취 및 분석 의뢰
- 자료의 기록 유지 및 보고
- 관측공 시설의 유지, 관리 업무 이행

2) 해수침투 관측망 운영자의 소요 장비

- 수동 수위측정기: 정기적인 수동측정 및 자동관측센서의 보정작업 수행
- 휴대용 EC측정기: 정기적인 수동측정 및 자동관측센서의 보정작업 수행
- 수온 측정기: 정기적인 수동측정 및 자동 관측센서의 보정작업 수행
- 수소이온농도 측정기: 정기적인 수동측정 및 자동 관측센서의 보정작업 수행
- 표준 버퍼용액: 휴대용 EC 측정기 보정
- 관정 수질시료 채취기: 전기전도도, 수온 확인점검 및 수질분석용 시료채취
- 노트북 컴퓨터: 자동 관측기 센서의 영점 보정작업

3) 해수침투 관측망 운영자 지정

- 장기관측망 운영자는 수질시료 채취 및 분석의뢰 업무와 휴대용 수동측정 장비에 의한 자동관측 센서의 영점보정 업무를 원활히 수행하기 위하여

전문적인 지식을 갖춘 전문가이거나 비전문가일 경우는 상당수준의 교육을 받아야 한다.

4) 관측시설의 유지·관리 업무

- 관측시설, 자동관측 장치, 노트북 컴퓨터, 수동 점검 장비류 및 배터리, 버퍼용액, 수질 채취기, 수질시료 용기 등 제반 장비류에 대한 유지·관리를 청결히 하고 보호장치를 철저히 유지시킨다.
- 또한 관측 자료는 매월 정기 점검일을 기준으로 기록 보존할 수 있도록 표준화된 기록대장 양식에 작성한다.
- 관측업무 담당자는 다음과 같은 추가업무를 수행토록 한다.
 - 가장 가까운 기상관측소로부터 일별 강수량 자료를 확보하여 대장에 기록한다.
 - 취득자료는 상용 프로그램을 이용하여 D/B화하여 보관한다.
 - 타 관측망 자료와의 연계를 위해 자료공유가 될 수 있도록 공개한다.

나. 관측자료의 취득 및 정기점검

- 관측망에서 자료취득은 다음과 같은 내용을 포함한다.
 - 자동관측장비를 설치하지 않고 수동식측정기(지하수위, 수온, EC)를 가지고 주기적으로 직접 현장방문 측정
 - 자동관측장비 설치 시 주기적인 자료 취득
 - 수질분석을 위한 시료채취
 - 또한 정기 점검 시 관측장비는 분기별로 1회 영점 보정하고, 매 3년에 1회의 관측공 공내 청소가 바람직하다.

1) 수동식 관측

- 관측공에 자동관측 장치가 설치되지 않은 경우는 tape형 수위측정기로 측정하며, 측정위치는 케이싱부분에 표시를 하여두어 항상 동일지점에서 측정토록 한다. 이때 수온, EC 항목은 측정목적에 따라 10일, 혹은 15일, 30일 주기로 정기적으로 측정하며, 관측공 내에서 지하수를 채수할 수 있는 수질시료 채취기가 필요하다.

- 수질시료 채취기는 관측공 별로 별도로 설치 사용하여 채취기의 이동과정 또는 다른 공의 수질에 의해 오염위험을 대처하는 것이 바람직하며 항시 증류수로 세척 후 사용하도록 한다. 한 개의 시료 채취기를 여러 공에서 사용할 경우는 채취기 세척에 더욱 신경을 써 수차례 세척을 하여 반복 사용하도록 한다.

2) 자동관측장비 자료 취득

- 자동관측장비 설치 시 측정주기를 설정하고, 필요 시 측정주기를 변경하여 사용한다.
- 직접 노트북 컴퓨터를 가지고 현장에서 수집하는 방법이 있지만 해수침투 관측망은 무선통신망을 이용하여 1시간 간격으로 자료를 취득한다.

3) 관측장비의 보정

- 관측장비의 보정은 수동수위측정기와 온도계를 제외한 모든 수동 또는 자동관측기기를 포함한다. 즉 수동식 EC 측정기와 자동관측기기의 수위 센서, EC 센서를 정기적으로 보정해야 한다.
- 자동관측기 확인 및 보정은 장비 형태에 따라 다르나 전체적으로 점검 (1회/분기)을 하여야 한다.
- 압력식 수위계는 제작사마다 차이는 있으나 양호한 제품일 경우 설치 초기에는 2 ~ 3개월 정도는 안정되어 측정자료의 신뢰도가 있으나, 1년정도 경과 이후부터는 매 3개월 단위로 보정하는 것이 필요하다.

4) 자동수위센서 확인 및 보정

- 자동수위센서의 확인 및 보정은 매월 현장에서 할 수 있는 영점 보정과 측정값이 진동 또는 발산하는 경우 실내에서 하는 초기치 설정 보정 (linearity, scale 및 offset)이 있다.
- 영점보정은 현장에서 수동수위측정기로 현재수위를 확인하여 자동 측정값과 오차가 있을 경우 수동측정값으로 보정해주는 작업으로 자동관측기 별 사용 프로그램 매뉴얼에 따라 쉽게 보정해 줄 수 있지만 실내 보정은 보정 장비와 많은 센서에 대한 지식이 필요하다.

- 자동수위센서의 확인은 수동수위계를 이용하여 매 3개월에 1회 측정을 실시하여 확인 및 보정을 해준다. 자동수위계는 장비 형태별 차이는 있으나 가장 많이 사용하는 압력식일 경우 측정값에 문제가 발생할 요인이 많다.
- 압력식 수위계의 경우 지하수위값은 대기압의 변화를 보정해주는 기능이 부실하거나, 너무 깊은 곳에 설치되어 항상 높은 수압에 노출되어 strain gauge의 민감도가 약해지는 경우 등은 측정 정확도가 많은 문제점이 있다.
- 영점 보정 방법으로는 수동수위계의 경우 tape형 수위계를 사용하여 최초 기준점을 표시해 둔 곳에서(대체로 케이싱 상단에 측정위치 표시) 2 ~ 3회 반복 측정한다. 자동수위센서의 경우는 현재 수위를 확인하기 위해서 별도의 측정장치 또는 노트북 컴퓨터를 이용하여 현재의 수위를 확인한다. 이때 수동 측정값과 자동 측정값이 서로 차이가 날 경우는 센서의 현재 수위를 새로 측정한 값으로 변경해 주어야 한다.

5) 전기전도도센서 확인 및 보정

- 전기전도도는 용액에 담겨져 있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해 그 때 발생하는 전류의 세기를 측정하는 것이다. 따라서 전기전도도 센서의 전극주위는 지하수 내에 포함되어 있는 이온들이 결합되어 있다.
- 이 이온들의 결합이 전극의 전류흐름을 방해할 경우 센서의 기능이 저하된다. 따라서 전기전도도의 전극주위가 항상 청결한 상태로 유지해야 한다. 일반적으로 최소한 6개월 간격으로 청소 및 보정이 필요하다.
- 장기관측장비의 오차 교정방법은 수위센서와 마찬가지로 간단하게 할 수 있어야 한다. 표준시약을 이용하여 센서가 정확한 값을 읽는지 확인하고 그렇지 않을 경우 보정해야 한다.
- 장기관측장비의 오차 교정을 위해서는 휴대용 전기전도도 측정기가 필요하며 어느 값이 정확한지를 확인하기 위하여 동 휴대용 전기전도도계 오차 보정을 하여야 한다.
- 현장점검 시 전기전도도와 수온 확인을 위해서는 관정의 지하수를 채취할 수 있는 지하수 수질시료 채취장비가 필요하다. 휴대용 전기전도도계 자체도 측정하기 전에 KCl 용액을 이용하여 측정오차를 점검해보아야 한다.

휴대용 전기전도도 측정치가 약 5% 이내의 오차가 나타나면 관정에서 수질 시료채취기로 지하수를 채취 후 측정하고 이 측정값을 자동관측기에서의 값과 비교한다.

6) 수온센서 확인 및 보정

- 대부분 수온센서는 크게 문제가 없으나 수질시료 채취기로 채취한 지하수에 휴대용 온도계로 온도를 측정하고 자동 관측자료와 비교한다. 두 측정값의 차이가 큰 경우는 센서를 수리 혹은 교환한다.

7) 수질시료 채취

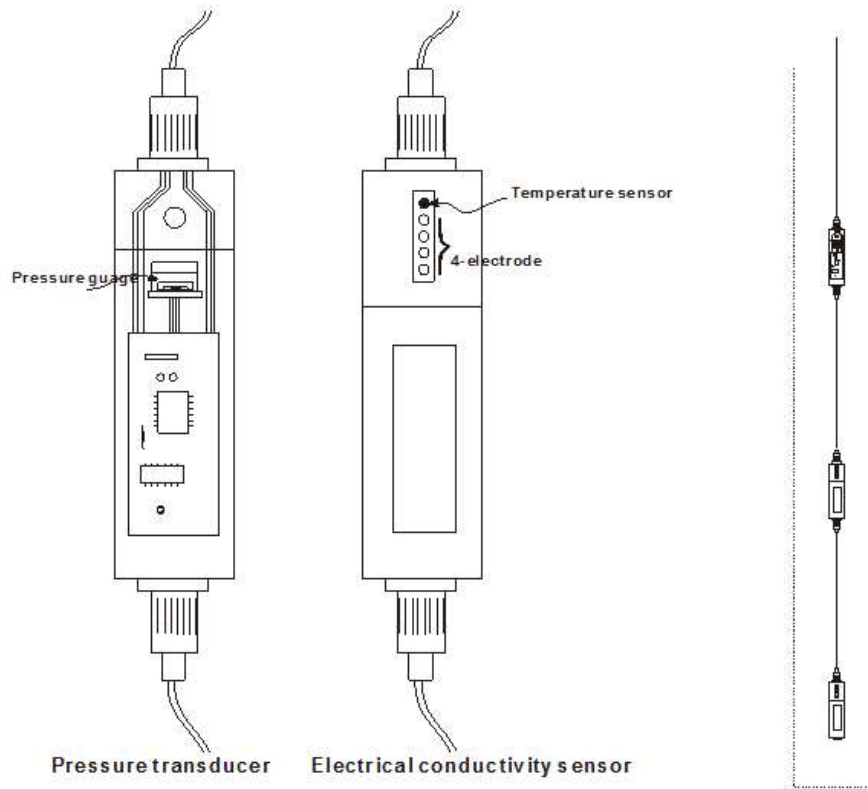
- 주기별 수질검사는 일정 시점을 기준으로 하는 것이 바람직하며 1년에 2회 시는 건·우기 기준으로 4월 말과 10월 말 기준으로 하는 것이 바람직하고, 년 4회 경우에는 1월, 4월, 7월, 10월 말 기준으로 시행하는 것이 적절하다.
- 그러나 조사 목적과 현장 여건에 따라 변경이 가능하며 매년 같은 일자에 시행하는 것이 년변화를 관찰하는데 용이하다.
- 장기시료 채취는 시료채취기가 있어야 하며 주상도를 이용하여 대수층 구조를 파악하여 지하수 유동이 있는 파쇄대 구간에서 시료를 채취해야 한다. 자연수위 부근의 지하수는 오랫동안 정체된 관계로 지하수가 오염되어 있을 수 있다.

8) 관측공 청소

- 관측공에 대하여 정기정비는 관정의 보호와 유지를 위해서 반드시 필요하다. 특히 관측공은 사용치 않는 이유로 지하수위 하부 구간 중 지하수 유동이 없는 구간 즉, 파쇄대가 없어 대수층이 아닌 구간은 물이 정체되어 오염되기 쉽다. 따라서 정기적으로 에어써징 등의 방법을 이용하여 청소를 해주어야 한다.

다. 해수침투 전용 다중심도 관측센서

- 기존의 해수침투 전용 자동관측센서는 지하수위 센서와 전기전도도 센서의 일체형으로, 자동센서의 위치는 대수층내의 담수체와 해수체의 경계면에 설치한다.
- 그러나 경계면은 대개의 경우 지하수면 아래 약 30 ~ 70 m 깊이(지하수위 변화를 측정할 수 있는 분해능은 10 cm 이상)에 설치하므로, 조석의 영향을 받는 수 ~ 수십 cm 범위의 지하수위 변화는 측정이 불가능하다.
- 따라서 지하수위 센서와 전기전도도 센서를 직렬방식으로 분리할 수 있는 다중심도 지하수 모니터링 장치를 한국농어촌공사 농어촌연구원에서 자체 개발하여 2004년 이후 활용하고 있다(그림 3-3).
- 본 측정 장치는 심도별 전기전도도 변화가 시계열의 함수로 연속적으로 변화하는 해안변의 지하수 관정에 적합한 시스템으로, RS-485 통신 방식을 이용하여 하나의 측정 시스템에서 32개의 전기전도도 측정 센서를 동시에 직렬연결이 가능함에 따라 암반 대수층과 같이 담수체와 해수체의 경계면이 여러 심도에서 나타나는 경우 유용하게 사용될 수 있다.
- 특히 지하수위를 측정하는 압력식 수위계는 조석변화에 따른 미세 변화 감지가 매우 중요하지만, 기존의 일체형인 경우 깊이 설치함에 따른 불필요한 장력범위를 사용함에 따라 미세 변화 감지가 불가능한 반면, 본 시스템의 경우는 분리 설치가 가능하므로 지하수위 센서를 지하수면 직하부에 설치가 용이하다.
- 센서 외부는 각 측정 센서의 상하 양단에 탈, 부착이 가능하도록 케이블 커넥터를 부착하였으며, 특히 전기전도도 측정 센서는 4전극 방식을, 압력식 수위 센서는 strain gauge 방식을 이용하였다.



<그림 3-3> 다중심도 지하수 모니터링 장치의 구조

라. 관측공 및 보호시설 설치

○ 관측공 설치

- 해수침투를 감시하기 위한 관측시스템은 관측자료의 정확성과 신뢰성이 매우 중요하다. 따라서 관측공은 조사 및 시공과 관련한 각종 이력사항이 기록되어 있어야 하므로 신규로 설치하는 것이 바람직하다.
- 관측전용 관측공의 구경은 관측기기 설치, 지하수 시료 채취 및 다양한 수리지질 조사가 가능하도록 설치되어야 하므로, 구경은 최소한 $\phi 5''$ (125 mm) 이상이어야 한다.
- 관측공의 심도는 현장 여건에 따라 정하되 충적층 관측공은 지하수면 변화의 최저심도 이상으로 설치하도록 하며, 암반층의 경우에는 기반암의

대수층 이하의 심도에 설치되어야 한다. 이 때, 지하수법에 의거한 지하수 오염 방지시설을 설치하여야 한다.

- 또한, 각 관측공에 대하여 지하수위 및 기준점의 정확한 측량을 실시하여 위치 및 표고를 대장에 기록하여야 한다. 이때 최초 지하수위를 측정할 시설물 또는 케이싱의 위치를 정확하게 표시해 두어야 한다.

○ 관정보호 시설 설치

- 해수침투 관측망은 신규굴착이 원칙으로 관측공의 보호시설은 내부에 있는 관측공을 충분히 보호할 수 있는 재질이어야 한다. 또한 자동관측 장비를 설치하는 경우에는 데이터 로거, 전원장치 및 통신시설이 보호 시설 내에 설치되어야 한다.
- 보호시설 설치가 완료되면 시설 전면에 해수침투 관측망에 대한 안내 판을 부착하여 유사시에 대비하여야 한다.

3.3 해수침투 관측망 유지·관리 지침

3.3.1. 개요

- 해수침투 조사사업 전담인력, 관련 지방자치단체 농정부서 및 지하수부서 담당 공무원이 활용 가능하도록, 해수침투 관측망의 설치 및 운영 시 필요한 지침을 제시한다.
- 본 지침은 해수침투 관측망의 효율적인 유지·관리를 위한 상세한 업무체계 정립으로, 도서·해안지역 지하수의 지속가능한 상시 관측을 그 목적으로 한다.
- 본 지침은 해수침투 관측망에 대한 일반적인 설명, 관측망 운영과 관련된 각종 세부사항, 관측망 유지·관리 지침 등으로 구성되어 있다.
- 본 지침은 현재 지하수관리기본계획(2012-2021)에 의거 농림축산식품부에서 설치·운영 중인 해수침투 관측망에 대하여 관측망의 위치 선정, 관측기기의 설치 및 운영, 관측에 대한 일반 업무, 관측시스템의 유지 및 관리 등에 적용한다.

3.3.2. 관측공 대장의 작성

- 관측망 운영관리 업무를 위임받은 부서의 장(이하 “관리자”)은 관측공을 설치한 이후 반드시 관측공 대장을 작성하고, 현장과 사무실에 각각 비치하여 관측공 현황을 즉시 파악할 수 있도록 한다.
- 관측망 사업의 효율성과 자료공유를 위해 관리자는 사무실내에 지도를 이용하여 장기관측망의 관측공 위치 현황표를 작성하여 비치한다.
- 관측공을 폐기하였을 때는 관리자가 관측공 대장에 소정의 사유와 사후 처리를 기입한 후 대장을 영구 보존한다.
- 관측공 대장은 다음과 같이 구성하고, 그 양식과 내용은 다음과 같다(별지 서식 참조).
 - 관측공의 위치
 - 관측공의 설계
 - 관측공의 유지·보수
 - 관측기기 및 설치
- 관리자는 관측공 및 관측기기의 변동사항 발생 시는 기존자료와 변동 자료를 기존의 대장에 동시에 기록·보존한다.
- 관리자는 장기관측망이 자연재해로 인한 파손 등 피해가 발생되었을 때에는 즉각적인 조치를 강구하고 관측망 관리 위임자에게 이를 보고한다.

3.3.3. 관측공의 표시

- 관리자는 본 관측공이 해수침투 관측을 위한 자료취득에 중요한 시설물임을 알 수 있도록 반드시 안내판을 설치한다.
- 안내판에는 시설물의 대표사항을 기록한다.
 - 지구명
 - 관측공 심도(m)
 - 설치년도
 - 연락처

3.3.4. 관측자료의 수집 보고

- 장기관측망의 자료 취득은 관측기기 설치시를 기준으로 한다.
- 관리자는 관측기기 설치일로부터 30일 경과 전·후로 취득한 자료를 수집한다.
- 수집한 자료는 일별로 관측주기(24회/일)에 따라 대장에 기록한다.
 - 일별 강수량 자료(인접 기상관측소 자료, mm)
 - 지하수위(m)
 - 수온(°C)
 - 전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- 관리자는 수집한 자료를 장기관측망 운영을 위임한 자에게 보고한다.
- 이때, 수집한 데이터를 기록표와 파일로 제출하도록 한다.
- 노트북 컴퓨터를 이용하여 매월 현장에서 자료를 수집 할 때는 반드시 수동측정을 실시하여 대장에 기록한다.
 - 수동 수위계를 이용한 지하수위 측정
 - 시료 채취기를 이용하여 심도별로 3구간으로 나누어 시료 채취
 - 현장에서 수온, 전기전도도를 측정
- 관리자는 현장 실측자료와 오차에 대한 사후처리를 대장에 기록 보고한다.
- 수집한 관측자료는 매년 장기관측 자료집을 발간하고 디스켓 등에 보관한다.

3.3.5. 자동관측기기

- 관리자는 자동관측기기 설치 시 반드시 자동관측기기 제작자 혹은 납품자에게 연락하여 설치하고 시험운영을 실시한 후 장기관측을 한다.
- 관리자는 관측기기의 사양과 취급설명서를 숙지토록 한다.
- 특히 관측기기의 보정시기와 보정방법을 숙지하여 자료의 신뢰도를 확보한다.
- 현장 보정이 불가능하거나 기기의 고장은 즉시 제작자 혹은 납품자에게 연락하여 수리하도록 하여 자료취득에 최선을 기한다.
- 기기의 수리가 장기간이 소요될 때는 7일을 주기로 지하수위 자료를, 30일을 주기로 수온 및 전기전도도를 수동으로 측정한다.
- 전원공급 장치
 - 배터리 또는 일반 상용 전원을 이용
 - 상용 전원 : 정전 시 전원 공급 중단 방지용 무정전 장치 설치
 - 배터리 : 충전·교체시기를 기록하여 완전히 방전되지 않도록 유의
- 자동관측기기의 측정주기
 - 관측기기마다 최대 측정간격이 있으나, 기준은 1일 1회 내지 2회 측정으로 12시간 혹은 24시간 주기를 원칙으로 한다.
- 자동관측기기의 점검
 - 전원장치
 - 자료의 신뢰도
 - 모델

3.3.6. 수위, 수질 관측방법

- 지하수위 및 수질의 관측방법으로는 자동관측장비를 이용하여 일정주기에 의한 지속적인 관측과 정기적인 점검에 의한 관측이 있다. 이때 자동관측 장비는 앞서 언급된 지하수위 센서와 전기전도도 센서가 분리된 다중심도 지하수 모니터링 장치를 사용한다.

가. 지하수위

- 자동 수위계 또는 휴대용 수동 수위계를 이용하여 지하수위를 측정한다. 장기적인 수위관측으로는 자동 수위계의 설치가 바람직하지만, 정기적인 점검을 통한 수위 보정을 위하여 반드시 수동 수위계를 이용한 측정이 필수적이다. 또한 정기적으로 수위를 측정하여 일지에 기록·보전하여 지하수위를 보정한다.
- 측정장비
 - 장비 : 현재 해수침투 관측망에서 활용 중인 센서를 이용한다. 이때 본 센서를 이용하여 측정된 자료와 실제 지하수위 측정자료를 동시에 제시할 수 있는 검증된 장비를 이용한다. 또한 검증한 일시가 기록되어 장비의 신뢰를 확보할 수 있으며, 3년 혹은 5년마다 장비의 성능에 따라 정기적인 검증을 실시하여야 한다.
 - 설치 위치 : 해당지역의 지하수위 변동 패턴을 고려하여 설치하는데, 이때 반드시 관측기기의 측정범위를 고려하여 설치한다.
 - 기준점을 케이싱 상부(TOC, top of casing) 또는 지표면으로 정한다.
 - 기준 수위(reference) 기록
 - 반드시 기준수위를 기록한다.
 - 기준점으로부터 자연수위를 입력한다.
 - 기준수위는 0으로 설정 하고, 자연수위를 수동 측정한 후 보정한다.
- 측정주기
 - 양수시험 시는 로그 간격으로 측정시간을 입력하나, 장기 수위관측은 일정 간격으로 측정한다.
 - 기기의 용량 및 측정자료의 활용도에 따라 측정주기를 선택한다.
 - 해수침투 관측망 운영에는 1시간 간격이 적당하며, 필요 시 간격을 조정한다.
- 정기 점검 :
 - 매년 4회 씩 수동 수위계를 이용하여 수위를 기록·보관하여 보정자료로 이용하며, 자체 보정을 실시한 후 일시를 기록·보관 한다.

- 휴대용 수동 수위계
 - 필요장비 : 휴대용 수동 수위계 (부저식, 점등식, 복합식)
 - 지하수면에 센서가 닿으면 소리 또는 불이 켜지는 장비를 선택한다.
 - 센서를 상·하로 여러 차례 움직여 소리나 빛을 내기 시작하는 지하수면을 정확하게 잡는다.
 - 측정점 : 매 측정시마다 같은 위치에서 측정하도록 수위 측정점을 표시한다.
 - 측정점 기준 : TOC 또는 지표면을 기준한다.
 - 기준이 되는 점은 반드시 측량하여 절대표고(Z)를 산출한다.
 - 정확한 측정을 위하여 GPS를 이용할 수 있도록 유도한다.
 - 기준점 측량시 X, Y, Z 좌표를 기록한다.
 - 측정 : 정확한 측정을 위하여 3회 정도 측정한다.
 - 기록 : 기록표에 일시와 일기를 기록한 후 자연수위(Z)를 기록한다.
 - 수위 분포표 : 자연수위를 해수면 기준으로 기록 보관한다.

나. 지하수 수온

- 관측공 내 설치된 자기 수온계 또는 휴대용 수온계를 이용한다.
- 자동관측 장비에 의한 지하수온은 기기의 설치 위치에 의한 일정심도에서의 수온을 반영한다.
- 따라서 심도별 수질채취에 의한 지하수온의 측정 및 수질자료가 필요하다.
- 지하수온의 변화 원인
 - 주 대수층의 변화
 - 관정 내 이물질의 유입
 - 수온의 변화는 또 다른 화학반응을 유도한다.
- 수온기록표 작성
 - 반드시 관측기기의 설치심도 기록한다.
 - 수온을 기록한다.

○ 휴대용 수온계

- 시료 채취

- 양수 시와 관측공 내 수온은 다르므로, 관측공 내 수온을 측정한다.
- 깨끗한 시료 채취기를 이용하여 심도별 수질을 채취한 후, 휴대용 수온측정계를 이용하여 수질과 수온을 측정한다.
- 수온측정계의 센서가 충분히 잠길 수 있는 측정용 용기를 준비한다.
- 이때 시료 채취기 내의 지하수를 잘 채취할 수 있도록 깔때기를 준비한다.
- 수온은 채취 즉시 측정하고, 직사광선에 장기간 방치 또는 용기에 오래두지 않도록 한다.
- 시료 채취기에 의한 2차적인 오염이 발생할 수 있으므로 관리에도 유의한다.

- 심도별 수질자료

- 현장에서 심도별 수온을 기록·보관한다.
- 지질 및 지리적인 요인에 의한 공간적인 수온 변화를 관측한다.
- 항온층의 심도 및 심도의 증가에 따른 증온율을 파악한다.

다. 전기전도도

○ 전기전도도의 측정으로 총용존고형물(TDS, total dissolved solids)을 산출한다. 이때 전기전도도의 값으로 오염물질 및 염수의 침입 여부를 간단한 측정으로 알 수 있다. 그러나 더 상세한 오염물질의 성분은 수질검사를 실시함으로써 알 수 있다.

○ 휴대용 전기전도도 측정기

- 전기전도도 측정기는 실험실에서 보정을 한 후 현장에서 측정한다.
- 보정은 측정기기의 표준용액을 이용하여 실시한다. 이때 실험실에서 만든 시약을 이용하거나 시중에서 판매하는 완충용액을 이용한다.
- 전기전도도는 온도 변화에 민감하다.
- 1 °C 증가에 따라 전기전도도는 2% 증가한다.
- 전기전도도는 25 °C로 보정하여 기록·보관한다.

- 전기전도도 측정 시 반드시 온도를 기록하며, 기기별로 25 ℃로 보정된 비전도도(specific conductivity)로 표시된 값을 기록한다.
- 기록표에는 전기전도도와 환산한 TDS를 같이 기록한다.

3.3.7. 지하수의 수질 분석

○ 시료의 채취 방법

- 시료 채취기 또는 채수기를 사용하여 심도별로 지하수를 채수하고, 채수 용기는 시료를 채우기 전에 시료로 3회 이상 세척 후 사용한다.
- 유류 또는 부유물질 등이 함유된 시료는 시료의 균질성이 유지될 수 있도록 채취해야 하며, 침전물 등이 부상하여 혼입되지 않도록 한다.
- 용존가스, 환원성 물질, 휘발성 유기물질, 유류 및 수소이온농도 등을 측정하기 위한 시료는 운반 중 공기와 접촉이 없도록 가득 채워져야 한다.
- 시료 채취용기에 시료를 채울 때에는 시료의 교란이 최소화되도록 노력하며, 가능한 한 공기와의 접촉하는 시간이 짧게 하여 채취한다.
- 채취된 시료는 즉시 시험하여야 하며, 그렇지 못할 경우에는 시료의 보존 방법에 따라 보존하여 규정된 시간 내에 시험하여야 한다.
- 시료채취량은 시험항목 및 시험회수에 따라 차이가 있으나 보통 3 ~ 5 L 정도이어야 한다. 다만 시료를 즉시 시험할 수 없어 보존하여야 할 경우 또는 시험항목에 따라 각각 다른 채취용기를 사용하여야 할 경우에는 시료채취량을 적당하게 증감하여야 한다.

○ 시료의 보존방법

- 채취된 시료를 즉시 시험할 수 없을 때에는 따로 규정이 없는 한 수질 오염공정시험방법의 보존방법에 따라 보존하고, 어떠한 경우에도 보존 기간 이내에 시험을 끝내야 한다.

○ 수질 분석 방법 : 따로 규정이 없는 한 수질오염공정시험방법에 의한다.

제4장 해수침투 분류기준

■ 해수침투 분류기준은 지하수 수질분석 항목에 기초

- 개별항목 범위 : 전기전도도, 수온, 염소이온 농도
- 항목 간 조합 : 파이퍼 다이어그램, 염소이온/중탄산이온 몰비

■ 해수침투 분류기준을 토대로 안전한 지하수 공급 도모

- 전기전도도 : 담수(1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하), 기수(1,000 ~ 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 염수(10,000 ~ 100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 고염수(100,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상)
- 파이퍼 다이어그램을 이용한 해수침투의 진화 분석
CaHCO₃ 유형 → CaCl 유형 → NaCl 유형
- 염소이온/중탄산이온 몰비 : 해수영향 없음(0.5 이하), 약간 문제(0.5 ~ 1.3), 약간 영향(1.3 ~ 2.8), 보통(2.8 ~ 6.6), 매우 심각(6.6 이상)

4.1 전기전도도

4.1.1. 전기전도도의 정의

- 전기전도도는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액 중 이온 세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로 전기비저항의 역수로 표현된다 (단위 : $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- 전기전도도 측정원리는 용액에 담겨져 있는 2개의 전극에 일정한 전압을 가해주면 전압이 전류를 흐르게 하며, 이때 흐르는 전류의 크기는 이온의 세기에 비례하므로 이때의 저항을 측정하여 전기전도도로 환산한다.
- 전기전도도는 온도 차이에 의한 영향이 크기 때문에 측정 결과의 통일을 기하기 위하여 25 °C의 비전도도(specific conductivity)값으로 환산하여 기록한다. 전기전도도는 이온농도에 대한 함수이므로, 물속에 전하를 띤 이온이 많을수록 물의 전기전도도는 증가하기 때문에 이온 농도의 지시 인자로 이용된다.

- 전기전도도는 온도가 1 °C 증가되면 약 2% 증가하는 것으로 알려져 있어, 아래 (식 4-1)을 이용하여 25 °C에서의 전도도 값으로 환산하여 사용된다. 이 때 셀상수와 측정범위는 <표 4-1>과 같다.

$$L = C \times Lx \quad (4-1)$$

L : 25 °C에서의 시료의 전기전도도값($\mu S/cm$)

C : 셀상수(cm^{-1})

Lx : 측정된 전기전도도값(μS)

<표 4-1> 전기전도도에서의 셀상수와 측정범위 관계

셀상수(cm^{-1})	측정범위($\mu S/cm$)
0.01	20 이하
0.10	1 ~ 20
1	10 ~ 2,000
10	100 ~ 20,000
50	1,000 ~ 200,000

4.1.2. 전기전도도와 총용존고용물질의 관계

- 물의 종류에 따른 전기전도도의 범위는 다양한 방법에 의해 구분되지만, Freeze and Cherry(1979)가 제안한 TDS(total dissolved solids)에 의한 구분법이 일반적이다(표 4-2).
- 일반적으로 현장에서 이용되는 계측기의 경우는 주로 전기전도도 항목을 측정하므로, 앞에서 제시된 TDS를 이용한 분류를 이용하는 계산은 전기전도도로 환산하여 이용하여야 한다.

<표 4-2> TDS를 이용한 물 분류표

구 분	Total Dissolved Solids(mg/l, g/m ³)
Fresh water	0 ~ 1,000
Brackish water	1,000 ~ 10,000
Saline water	10,000 ~ 100,000
Brine water	> 100,000

- 따라서 현장에서 측정한 전기전도도 값은 Hem(1989)이 제시한 아래 (식 4-2)에 적용하여 TDS로 환산하여 이용된다.

$$TDS \approx (0.59 \times EC) \pm 100 \quad : TDS \quad (4-2)$$

4.2 수온

- 수온은 앞서 언급한 대로 전기전도도의 변화를 정확하게 측정하기 위하여 필수적인 항목으로, 특히 센서에 의한 온도 측정 시에는 압력, 전기장 및 자기장 등의 외부적인 요인에 독립적이어야 한다.

4.3 염소이온 농도

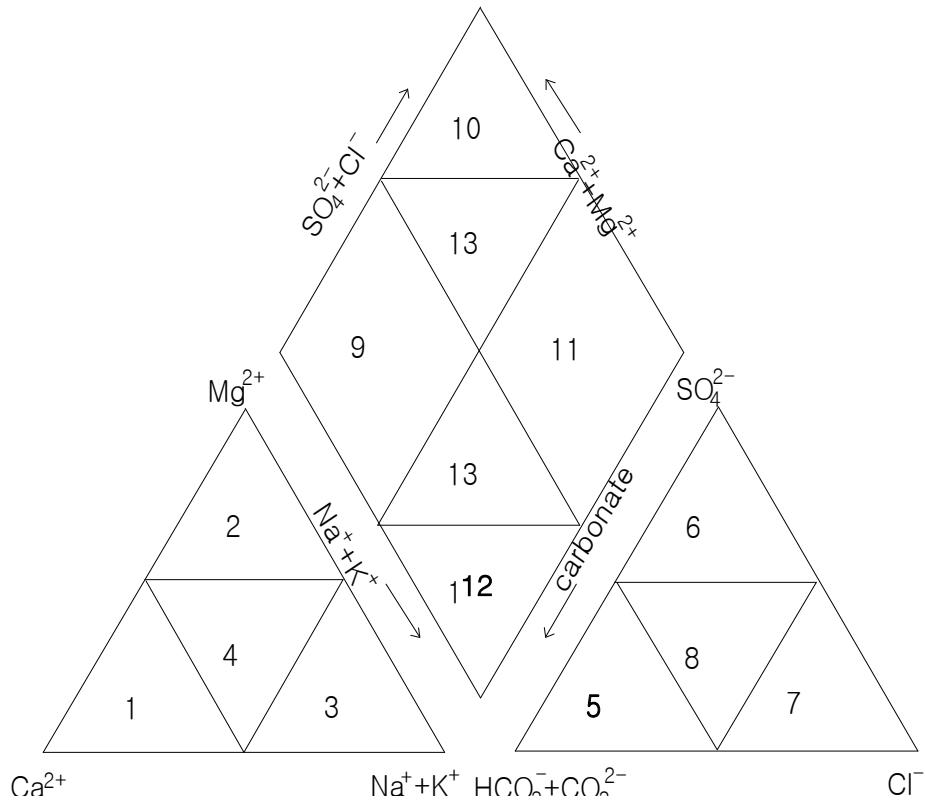
- 해수의 대표적인 성분인 염소이온의 해수에서의 평균 농도는 19,000 mg/L인 반면, 담수의 염소이온(Cl) 농도는 10 ~ 100 mg/L이다.
- 염소이온의 먹는물 수질기준은 250 mg/L 이므로, 대수층으로 침투된 해수를 그대로 인간생활에 사용하기에는 부적합하다.
- 따라서 염소이온 농도를 기준으로 해수침투 여부를 판단할 수 있다.

4.4 파이퍼 다이어그램(Piper diagram)

- 파이퍼 다이어그램은 용존 성분 중 양이온인 Ca-Mg-(Na+K) 간의 상대적 당량비를 백분율로 계산하여 하나의 삼각 다이어그램에 표시하고, 음이온인 (CO₃+ HCO₃)-SO₄-Cl 간의 당량비를 백분율로 계산하여 다른 삼각 다이어그램에 표시한 후, 이 두 삼각 다이어그램을 나란히 놓아 공통으로 도시되는 다이아몬드 모양의 다이어그램으로 지하수의 수질을 표시하는 그림이다(Piper, 1944)(그림 4-1).
- 파이퍼 다이어그램에 의한 지하수질 분류는 지하수의 조성이 이 파이퍼 다이어그램 상의 도시영역에 따라 구분된다. 아래 <표 4-3>은 파이퍼 다이어그램 상에 그려진 여러 영역에 대한 지하수 유형을 정리한 것이다. 파이퍼 다이어그램은 힐-파이퍼 다이어그램(Hill-Piper diagram)이라고도 불리며, 후에 여기에 염도 그림을 붙인 변형된 파이퍼 다이어그램도 이용된다.

<표 4-3> 파이퍼 다이어그램 상의 영역별 수질 유형

영역	지하수 유형	영역	지하수 유형
1	Ca type	2	Mg type
3	Na-K type	4	우세한 양이온 없음
5	CO ₃ type	6	SO ₄ type
7	Cl type	8	우세한 음이온 없음
9	탄산경도(carbonate hardness) > 50% 알칼리 토금속 및 약산 우세	10	비탄산경도(noncarbonate hardness) > 50%
11	비탄산염기도(noncarbonate alkalinity) > 50% 알칼리 금속 및 강산 우세	12	탄산염기도 (carbonate alkalinity) > 50%
13	우세한 양이온-음이온 없음		



<그림 4-1> 파이버 다이어그램을 이용한 유형분류

- 해수침투가 발생하지 않은 담수의 경우, 9번 영역(CaHCO_3 유형)에 도시되나, 해수침투가 진행될수록 10번 영역(Ca-Cl 유형)으로 수질은 진화하게 되고, 완전한 해수침투가 발생하였을 경우 11번 영역($(\text{Na+K})\text{-Cl}$ 유형)으로 수질이 진화하게 된다.

4.5 염소이온 대비 중탄산이온 몰비

- 지하수 시료 내 염소이온(Cl)/중탄산이온(HCO_3) 몰비 역시 대수층을 통한 해수 유입의 영향을 판단할 수 있는 효과적인 지시자로 활용되어 왔다.
- 염소이온은 식물체와 토양간의 삼투압기작에 변화를 일으켜 수분흡수를 방해하기 때문에, 식물체에 치명적인 영향을 주고 토양의 화학성분을 변화시켜 주변 생태계에 악영향을 미치게 된다.

- Revelle(1941)는 그 몰비가 0.5 이하이면 해수 영향이 전혀 없고, 0.5 ~ 1.3 인 경우 약간 문제가 되며, 1.3 ~ 2.8 인 경우 약간의 영향을 2.8 ~ 6.6 인 경우 보통 정도의 오염을, 6.6 이상인 경우 매우 심한 정도의 해수 영향을 받은 것으로 제시한 바 있다.

※ 해수침투 영향 분류기준(Revelle, 1941)

Cl/HCO ₃ ratio	해수침투 영향
0.5 이하	영향 없음
0.5 ~ 1.3	조금 문제
1.3 ~ 2.8	약간 영향
2.8 ~ 6.6	심각한 영향
6.6 이상	매우 심각한 영향

제5장 2023년 신규 및 이동 설치 해수침투 관측망

■ 신규 10개소 및 이설 1개소 해수침투 관측망 설치

- 울산 1공(북구 북구4)
- 경기 2공(김포 오니산1, 평택 기산1)
- 강원 2공(삼척 근덕5, 양양 손양1)
- 충남 1공(당진 고대1)
- 전남 4공(보성 조성3, 득량1, 영암 시종2, 진도 의신1)
- 경남 이설 1공(통영 도산1)

⇒ 대수층 균열면, 전이대, 물리검층 결과를 토대로 다중심도센서 설치

■ 신규 관측공 수질특성

- 울산 Na-Cl 유형 1개소, 경기는 Na-Cl 유형 1개소, Na-HCO₃ 유형 1개소, 강원은 Na-HCO₃ 유형 2개, 충남은 Ca-HCO₃ 유형 1개소, 전남은 Ca-HCO₃ 유형 1개소, Na-Cl 유형 3개소으로 나타남
- 이동 설치된 경남 도산1 관측공은 수질유형 분류를 위한 양음이온 분석 중

5.1 2023년 신규 해수침투 관측망

- 1998년부터 제주도를 제외한 육지부에 설치된 해수침투 관측망은 2023년 12월 31일 현재 전국 10개 광역시·도에 267개소가 설치 운영 중이다.
- 2023년에는 10개소가 신규 설치되었으며, 광역시·도별로 울산광역시 1개소, 경기도 2개소, 강원도 2개소, 충청남도 1개소, 전라남도 4개소, 경상남도 1개소 (이설)를 설치하였다.

5.1.1. 관측공 설치 위치

가. 울산광역시 (신규 1공)

○ 울산광역시 북구 북구4 관측공

- 이 지역 일대는 농경지가 넓지 않은 섬으로, 해수침투 시 염수피해가 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지 내 염수피해를 사전에 예측·대비 할 수 있도록 관측공을 설치하였다.

나. 경기도 (신규 2공)

○ 김포시 오니산1 관측공

- 이 지역 일대는 논농사 중심의 농경지가 분포하고 있으며, 김고지구 농촌지 하수관리보고서에서 수량관리 필요지역으로 선정되었다. 한강 인근 농경지에 대한 해수침투 영향을 예측·대비하고자 관측공을 설치하였다.

○ 평택시 기산1 관측공

- 농경지가 넓게 분포하고 있으며, 해안과 인접하여 염해피해를 방지하고자 장기적인 지하수 수질변화를 관측하고자 관측공을 설치하였다.

나. 강원도 (신규 2공)

○ 삼척시 근덕5 관측공

- 이 지역 일대는 동해안과 인접한 농경지역으로 해수침투 시 염수피해가 우려되어, 지속적인 모니터링을 통하여 염수피해를 사전에 예측·대비하고자 관측공을 설치하였다.

○ 평택시 기산1 관측공

- 이 지역 일대는 해안가와 인접해 있으며, 부지를 중심으로 답작지가 다수 분포하여 해수침투 시 염수피해가 우려되는 지역이다. 이에 지속적인 모니터링을 통하여 염수피해를 사전에 예측·대비하고자 관측공을 설치하였다.

다. 충청남도 (신규 1공)

○ 당진군 고대1 관측공

- 이 지역 일대는 석문국가산업단지 배후에 인접한 농경지역으로 해수침투 시 염수피해가 우려되어 당진시에서 해수침투 대상지로 신청한 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지에 대한 염수피해를 사전에 예측·대비 할 수 있도록 관측공을 설치하였다.

라. 전라남도 (신규 4공)

○ 보성군 조성3 관측공

- 이 지역 일대는 논농사 중심의 농경지가 넓게 분포하고 있으며 주변에 농공단지, 바다와 인접하여 수량부족 및 수질오염이 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지에 대한 수량부족 및 수질오염 문제를 관측하고자 관측공을 설치하였다.

○ 보성군 득량1 관측공

- 이 지역 일대는 논농사 중심의 농경지가 넓게 분포하고 있으며 바다와 인접하여 수량부족 및 해수침투가 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지에 대한 수량부족 및 수질오염 문제를 관측하고자 관측공을 설치하였다.

○ 영암군 시종2 관측공

- 이 지역 일대는 논농사 중심의 농경지가 넓게 분포하고 있으며 주변에 바다와 인접하여 수량부족 및 해수침투가 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지에 대한 수량부족 및 수질오염 문제를 관측하고자 관측공을 설치하였다.

○ 진도군 의신1 관측공

- 이 지역 일대는 바다와 인접하여 해수침투가 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지에 대한 수질오염 문제를 관측하고자 관측공을 설치하였다.

마. 경상남도 (이설 1공)

○ 통영군 도산1 관측공

- 이 지역 일대는 농경지가 넓지 않은 섬으로, 해수침투 시 염수피해가 우려되는 지역이다. 지속적인 모니터링을 통해 농경지 내 염수피해를 사전에 예측·대비 할 수 있도록 관측공을 설치하였다.

5.1.2. 관측공 내역

- 2023년 신규 관측공 10개소에 대한 내역은 다음과 같다(표 5-1).
- 2023년 신규 관측공의 개발심도는 92 ~ 127 m 범위(평균 103.3 m)이다.
- 2022년 신규 관측공의 케이싱 심도는 12 ~ 54 m 범위(평균 28.8 m)이며, 해안에 인접한 관측공일수록 층적층의 깊이가 두꺼워서 케이싱 심도가 깊게 나타난다.
- 관측공 개발 당시, 지하수위 심도는 0.77 ~ 6.78 m로 나타났다.

<표 5-1> 2023년도 신규 해수침투 관측망 내역

도별	관정 개소수	관측공명	시·군	읍·면·동·리	심도(m)			
					관정	케이싱	지하수위	
계	10				103.3	28.8	3.1	
울산광역시	1	북구4	울산 북구	상안동	1268-3	100	28	3.8
경기도	2	기산1	평택시	현덕면 기산리	774	104	42	2.2
		오니산1	김포시	대곶면 오니산리	1-5	104	16	1.65
강원도	2	근덕5	삼척시	근덕면 교곡리	774-3	100	12	5.54
		손양1	양양군	손양면 가평리	223-45	127	12	0.77
충청남도	1	고대1	당진시	고대면 장항리	672-1	100	24	3.87
전라남도	4	득량1	보성군	득량면 송곡리	148-4	102	32	6.78
		시종2	영암군	시종면 봉소리	1686	102	46	0.6
		의신1	진도군	의신면 만길리	1730	92	22	1.9
		조성3	보성군	조성면 용전리	2467-17	102	54	4.06

5.1.3. 센서 설치 심도 결정

- 해수침투 관측망에 설치되는 센서는 (i) 수위센서, (ii) 전기전도도-수온 동시 측정 센서, (iii) 수위-전기전도도-수온 센서로 구분된다.
- 압력식 수위 센서는 30 psig로서 약 27 m 의 지하수위 변화를 측정할 수 있는 장비로 $\pm 0.05\%$ FSR의 정확도를 가진다. 수위-전기전도도-수온 센서 설치 위치는 케이싱 지표 노출부를 기준으로 15~70 m 심도에 설치하였다.
- 전기전도도 및 온도 센서는 지하수 검층 시 전이대, 물리검층 시 이상대, 시추 주상도의 파쇄대 등을 종합적으로 검토 후 설치하여 시계열에 따른 전기전도도 및 온도 변화를 관측할 예정이다.

<표 5-2> 2023년도 신규 해수침투 관측망 센서 설치 내역

시군 관측공명	심도(m)				
	지하수위	균열 구간	센서설치		
			수위	EC1	EC2
울산 북구 북구4	3.8	30~40m	30	30	50
평택 기산1	2.2	60m	50	50	70
김포 오니산1	1.65	25m	20	20	30
삼척 근덕5	5.54	10~15m	10	10	32
양양 손양1	0.77	35~40m	35	35	45
당진 고대1	3.87	40m	40	40	60
보성 득량1	6.78	45~50m	45	45	60
영암 시종2	0.6	50~60m	50	50	65
진도 의신1	1.9	40~60m	40	40	60
보성 조성3	4.06	60~70m	60	60	75

5.2 2023년 이동 설치 해수침투 관측망 및 조사 결과

5.2.1. 이동 설치 관측공 설치

- 2023년에는 총 1개소의 관측공을 이동·설치하였으며, 경상남도 통영시 도산1 관측공 1개소가 이동·설치되었다(표 5-3).
- 경상남도 1개소(도산1) 관측공은 기존부지에 대한 민원으로 인해 현 위치(통영시 도산면 저산리)로 이동·설치하였다.

<표 5-3> 2023년도 해수침투 관측망 이동 설치 사유

관측공명		위 치			사 유
구	이동 설치	도	시,군	읍,면	
도산1	도산1	경상남도	통영시	도산면 저산리	기존부지에 대한 민원

5.2.2. 이동 설치 관측공 내역

- 2023년 이동 설치 관측공 1개소에 대한 내역은 (표 5-4)과 같다.
- 2023년 이동 설치 관측공의 개발심도는 100 m 이다.
- 2022년 이동 설치 관측공의 케이싱 심도는 18 m 이고, 관측공 개발 당시 지하수 심도는 11.77 m 이다.

<표 5-4> 2023년도 이동 설치 해수침투 관측망 내역

도별	관정 개소수	시·군	면·리	관측공명	심도(m)		
					관정	케이싱	지하수위
경남	1	통영	도산면 저산리	도산1	100	18	11.77

5.2.3. 센서 설치 심도 결정

- 압력식 수위 센서는 30 psig로서 약 27 m 의 지하수위 변화를 측정할 수 있는 장비로 $\pm 0.05\%$ FSR의 정확도를 가진다. 수위-전기전도도-수온 센서 설치 위치는 케이싱 지표 노출부를 기준으로 20 ~ 65 m 심도에 설치하였다.
- 전기전도도 및 온도 센서는 지하수 검층 시 전이대, 물리검층 시 이상대, 시추 주상도의 파쇄대 등을 종합적으로 검토 후 설치하여 시계열에 따른 전기전도도 및 온도 변화를 관측할 예정이다.

<표 5-5> 2023년도 이동 설치 해수침투 관측망 센서 설치 내역

시군	관측공명	심도(m)		센서설치 심도(m)		
		지하수위	균열구간	수위	EC1	EC2
통영시	도산1	11.77	20, 49m	40	40	70

5.2.4. 이동 설치 관측공 조사 결과

가. 이동 설치 관측공 수질유형 분석

- 도산1 관측공의 수질유형 분석을 위한 양음이온 분석 중이며 매년 수질유형 분석을 실시할 계획이다..

<표 5-6> 이동 설치 관측공 지하수 수질 유형

관측공	수질유형
도산1	-

나. 염소이온 대비 중탄산이온 몰비 분석

- 도산1 관측공의 염소이온 대비 중탄산이온 몰비 분석을 위한 양음이온 분석 중이며 매년 분석을 실시할 계획이다..

<표 5-7> 이동 설치 관측공 Cl/HCO₃ 몰비

관측공	도산1
몰비	
Cl/HCO ₃	-

<표 5-8> 이동 설치 관측공 Cl/HCO₃ 몰비에 따른 분류

Cl/HCO ₃ 몰비	관측공명	해 석
0.5 이하		해수 영향이 전혀 없음
0.5 ~ 1.3		약간 문제 있음
1.3 ~ 2.8		약간의 해수영향을 받음
2.8 ~ 6.6		해수에 의한 보통 정도의 오염
6.6 이상	오성2	매우 심한 정도의 해수 영향을 받음

제6장 2023년 해수침투 관측결과

■ 전기전도도와 식물생육과의 관계 분석 결과

- 2023년까지 설치한 관측공 267개소에 대한 전기전도도와 식물생육과의 관계 분석 결과(2023년 신규 설치 10개소 및 23년도 수질자료가 없는 1개소 제외)
 - 지하수 활용 가능하지만 과잉양수를 자제가 필요한 85개소
 - 물부족 기간에 소량 이용 11개소
 - 지표수와 1:1~3:1 비율로 혼합이용 31개소
 - 대부분의 작물에 활용 불가능하며 타 수자원 공급 모색이 필요한 129개소로 분류

■ 해수침투 관측결과

- 2023년까지 설치한 관측공 267개 중 23년도 수위 및 수질자료가 없는 1개소를 제외한 266개소 중에서 173개소에서 지하수위 저하 또는 전기전도도가 증가하는 변화 양상을 보이는 것으로 나타남
- 전기전도도 증가와 지하수위 저하를 단계별로 구분해보면 관심 28개소, 주의 11개소, 경계 23개소, 심각 144개소로 나타남
- ‘주의’ 지역은 지하수 개발 가능량 이하, 염분상승 모의에 따른 최적 개발량 수준으로 지하수를 개발 이용 필요
- ‘경계’ 및 ‘심각’ 지역은 해수침투의 내륙확산을 예방하고, 청정 농산물 생산을 위해서 지하수 개발 이용 규제 필요

6.1 2023년 해수침투 관측 결과

- 도서·해안지역 농업용수 관리의 선진기틀을 마련하고자 2023년 12월 31일 현재 전국 10개 광역시·도(제주특별자치도 제외)에 해수침투 관측망 267개소를 설치하여 연중 상시 운영 중이다.
- 이러한 해수침투 관측망은 수자원 조건 불리지역인 도서·해안지역의 안전농산물 생산을 위해, 해당 지역의 지하수를 농업에 활용할 수 있는지 여부를 판단하기 위한 지표로 활용 중이다.

- 또한 가뭄 등 재난 발생 시 해당 지역 지하수 활용 가능여부 등 수자원의 최적 개발 이용을 도모하기 위해 설치·운영 중이다.

6.1.1. 전기전도도와 식물생육과의 관계 분석

- (표 6-1)은 2023년까지 전국 267개소에 대한 해수침투 관측 자료를 분석한 결과(2023년 신규 설치한 10개소 및 23년도 수질자료가 없는 1개소 제외)이다. 해안 지하수를 농작물에 활용 가능하지만 과잉양수를 자제해야 하는 85개소, 물부족 기간에 소량 이용 11개소, 지표수와 1:1~3:1 비율로 혼합이용 31개소, 대부분의 작물에 활용 불가능하며 타 수자원 공급 모색이 필요한 129개소로 나타났다.
- 농경을 비롯하여 가뭄 발생 시에도 활용이 불가능하고, 주변지역에 신규개발도 지양해야 하는 ‘심각’ 지역은 전남이 49개소로 가장 많았으며, 경남·충남 17개소, 경기 13개소, 전북·강원 12개소, 인천 5개소, 경북 2개소, 울산·부산 1개소 순으로 나타났다(표 6-1).
- 이러한 원인으로는 농업용수 수요가 높아 과거로부터 지하수 이용량이 상대적으로 높은 경우, 간척지 내에 위치한 지역의 경우 및 주변 수계 발달이 미약하여 지하수 의존도가 높은 경우 등에 해당되는 지역으로 해수침투 확산 가능성이 높기 때문으로 분석된다. 따라서 광역시·도의 해당 시군 지자체에서는 해수침투의 내륙으로의 확산을 방지하고, 청정농산물 생산을 위해서 해당 관측공의 지하수 개발·이용을 규제할 필요가 있다.
- 또한 해수침투가 미약한 지역에서는 현재까지 지하수를 농경에 직접 활용할 수 있는 경우라도 과잉양수로 인한 해수침투 확산의 우려가 있으므로, 지하수 개발 가능량 이하 및 염분상승 모의에 따른 최적 개발량 수준으로 지하수를 개발 이용하여 도서·해안지역 청정 지하수자원을 보전할 수 있어야 한다.
- 6.3 ~ 6.11절에서는 2023년까지의 해수침투 관측공에 대한 관측결과를 광역시·도별로 정리하였으며, 관측공별 상세 내용은 <부록>에 수록하였다.

<표 6-1> 해수침투 관측망 전기전도도와 식물생육과의 관계(2023.12.31. 기준)

구분	정상	주의	경계	삼각
전기전도도 ($\mu\text{S/cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)
농업용수 이용	정상 이용 (85)	논(수도작)에 만 이용 (11)	지표수와 1:1 비율로 혼합하여 논(수도작)에 이용(31)	농업용수 이용불가, 타수자원 이용 (129)
인천(12)	승녀3, 영흥2, 흥왕1, 흥왕2		상방1, 상방2, 승녀1	교동1, 길상1, 삼산1, 승녀2, 영흥1
울산(4)	북구1, 북구2, 온산1			북구3
경기(29)	검산1, 대부1, 대부2, 대부4, 서신1, 서신2, 우정2, 월곶1, , 월곶2, 장단1, 제부2, 연다산1		문산1, 우정1, 탄현1, 탄현2	대곶1, 상록1, 시흥1 안중1, 오성1, 오성2, 제부1 포승1, 포승2, 포승3, 하상1, 하성1, 상록2
강원(26)	강현1, 강현2, 근덕1, 대포2, 옥계1, 초구1, 토성1 토성2, 토성3, 현남1	포남1	송정1, 연곡2, 주문진1	거진1, 근덕2, 근덕3, 근덕4, 대포1, 대포3, 송진1 연곡1, 조산1, 조양1, 조당1, 토성4
충남(33)	난지1, 남면2, 서부2, 장항1 천북1, 천북2, 팔봉1	대산1, 대산2, 선도1, 선도2, 한산2	난주2, 소성1, 인주2, 팔봉2	근흥1, 근흥2, 남면1, 서부1 서부3, 서부4, 석문1, 소성2, 안면1, 안면2, 인주1, 인주3, 인주4, 주교1, 주교2 한산1, 장항2
전북(18)	송현2, 하입석1, 통정1		금평1, 나포1 옥근1	내흥1, 내흥2, 대창1, 대창2 만돌1, 변산1, 변산2, 보안1, 산북1, 서포1, 송현1, 자룡1
전남(71)	갈문1, 나리1, 나리2, 별교2, 별량2, 신기2, 안양2 연산2, 오산2, 자동2, 정도1 진월2, 해룡2	안양1, 평호2	내사1 별교1 삼호1 삼호2 손불2 신기1 화양2	감정1, 감정2, 감정3, 고금1 고금2, 군곡1, 군곡2, 내사2, 당촌1, 마량1, 마량2 망주1, 망주2, 별량1, 소라1, 소라2, 손불1, 신학1, 신학2, 약산1, 연산1 염산1, 염산2, 오산1, 외동1 외동2, 일로1, 일로2, 일로3, 일로4, 자동1, 조성1, 조성2 지산1, 지산2, 진월1, 진월3 진월4, 평호1, 포두1, 포두2 학명1, 학명2, 해룡1, 화양1, 화흥1, 화흥2, 화흥3, 시종1
경북(23)	감포1, 감포2, 강구1, 강구2 구룡1, 구룡2, 근남1, 남정1, 문무1, 병곡1, 평해1, 평해2, 평해3, 하서2, 호미1, 후포1	남정2	곡강2, 연일2, 청하1, 하서1	곡강1, 연일1
경남(39)	가인2, 감천1, 남양1, 덕호1 덕호2, 도산1, 도산2, 도산3 동해1, 사등1, 송지2, 수정1, 수정2, 시방2, 악양2, 원평1, 진북1	갈화2, 서상1	갈화1, 서상2 악양1,	가인1, 감서1, 고전1, 궁항1 내구1, 다평1, 동해2, 목도1 목도2, 배둔1, 보전1, 서정1 송지1, 해운1, 화삼1, 환덕1, 대사1
가뭇시 지하수 활용	활용가능	활용가능	주의요함	불가능(신규개발도 규제)

6.1.2. 추세 분석 결과

- 도서·해안지역 해안지하수의 건전하고 지속가능한 개발·이용을 위해서는 수량 감소와 수질 악화가 없어야 한다. 관측자료 중 지하수위 저하는 육지 대수층에서 해안 대수층으로 담지하수 배출량의 감소 추세를, 전기전도도 증가는 해수침투 확산에 따른 수질 악화 추세를 각각 지시한다.
- (표 6-2)에는 전국 해수침투 관측망의 장기관측 자료의 추세를 분석하여 지하수위 저하, 전기전도도 상승을 나타낸 관정을 기록하였다. 각 관측공 설치 시점부터 전년도까지 평균 지하수위, 전기전도도를 기준으로 2023년 지하수위, 전기전도도 변화를 구분하였다. 전기전도도를 2지점 관측하는 관측소는 담수/해수 전이대에 위치하는 EC1 센서를 기준으로 구분하였다. 전기전도도 변화는 설치년도부터 해당년도까지 평균 전기전도도가 발작물에 관계가 불가능한 3,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상인 관측소에서 해당년도까지 평균값에서 2023년 관측값의 변화량이 각각 10%, 10~17.5%, 17.5~25%, 25% 이상의 네 구간으로 나누어 (표 6-2)와 같이 판정하였다. 지하수위가 증가하거나, 전기전도도가 감소하는 관측공은 추세변화에서 제외하였다.
- 관측자료가 확보된 266개소 기설 관측공 중 173개소에서 지하수위 저하, 전기전도도 증가가 관찰되었다. 광역시·도별로는 인천 8개소, 울산 2개소, 부산 1개소, 경기 19개소, 강원 18개소, 충남 23개소, 전북 14개소, 전남 54개소, 경북 13개소, 경남 21개소로 분류된다.
- 변화 양상으로는 지하수위 저하 추세만 관측되거나 전기전도도 증가 추세만 관측되는 곳은 각각 54개소, 79개소로 나타났으며, 지하수위 저하 추세와 전기전도도 증가 추세가 동시에 관측되는 곳은 40개소로 분석 되었다.
 - 지하수위 저하 : 54개소(31%)
 - 전기전도도 증가 : 79개소(46%)
 - 지하수위 저하 및 전기전도도 증가 : 40개소(23%)

<표 6-2> 장기관측 자료의 추세변화가 발견되는 관측공

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
계	173								
인천 (8)	교동1							○	
	길상1	○				○			
	삼산1					○			
	상방1					○			
	상방2							○	
	송뇌2					○			
	영흥1						○		
	홍왕2	○							
울산 (2)	북구1	○							
	북구2	○							
부산 (1)	강서1					○			
경기 (19)	대곶1								○
	대부2			○					
	문산1					○			
	상록1						○		
	서신2	○							
	안중1					○			
	오성1					○			
	오성2					○			
	우정1	○						○	
	우정2					○			
	장단1	○							
	제부1					○			
	탄현1								○
	포승1							○	
	포승2							○	
	하상1					○			
	하성1	○				○			
	상록2	○				○			
	탄현2							○	

<표 6-2> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
강원 (18)	계	173							
	강현2	○							
	거진1					○			
	근덕1	○							
	근덕2								○
	대포1	○							○
	대포2	○							
	송전1	○							○
	송정1	○							
	연곡1	○							
	연곡2								○
	조산1	○				○			
	조양1	○							
	옥계1	○				○			
	주문진1	○							○
	초구1	○							
	초당1					○			
	토성4	○				○			
포남1		○							
충남 (23)	근흥1					○			
	근흥2							○	
	난지1	○							
	난지2								○
	남면1								○
	남면2	○							
	서부1	○				○			
	서부3					○			
	서부4					○			
	석문1				○	○			
	선도1	○							○
	선도2	○						○	
	소성1	○							

<표 6-2> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}/\text{year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
충남 (23)	안면1								○
	안면2					○			
	인주1	○							
	인주2	○				○			
	인주3	○				○			
	인주4					○			
	주교2					○			
	팔봉2	○							○
	한산1					○			
	한산2					○			
전북 (14)	금평1			○					○
	나포1								○
	내흥1	○				○			
	대창1		○			○			
	대창2		○						
	변산1					○			
	변산2	○				○			
	보안1					○			
	산북1					○			
	서포1					○			
	송현1	○							
	옥곤1								○
	자룡1								○
	하입석1	○							
전남 (54)	갈문1	○							
	감정1						○		
	감정2					○			
	감정3	○						○	
	고금1	○							
	고금2	○							

<표 6-2> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
전남 (54)	계	173							
	군곡1	○					○		
	군곡2								○
	나리1	○							
	내사1	○				○			
	내사2	○							
	당촌1	○				○			
	마량1	○							
	망주1					○			
	망주2						○		
	삼호2	○							
	소라1	○				○			
	소라2	○				○			
	손불1			○		○			
	손불2	○							
	안양1					○			
	약산1					○			
	연산1	○							
	연산2					○			
	염산2					○			
오산1					○				
외동1	○					○			
외동2	○				○				

<표 6-2> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)				
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
전남 (54)	계	173								
	일로1					○				
	일로2	○								
	일로3	○								
	일로4					○				
	자동1	○							○	
	자동2	○								
	정도1	○								
	조성1					○				
	조성2					○				
	지산1	○							○	
	지산2								○	
	진월1	○				○				
	진월2	○								
	진월4					○				
	평호1			○						
	평호2					○				
	포두1					○				
	포두2					○				
	학명1					○				
	학명2								○	
	해룡2			○						
	화양1								○	
	화양2					○				
	화흥1	○								
	화흥2	○				○				
	시종1					○				
	경북 (13)	감포1	○							
		강구1	○							
곡강1		○								
곡강2		○								
구룡2		○				○				
근남1		○							○	
문무1			○							
병곡1			○							
연일1		○								

<표 6-2> 계속

시도 (개소)	관측공	지하수위 저하(m)				전기전도도 증가($\mu\text{S/cm/year}$) (구간 < 1,000, 1000~3,000, > 3,000)			
		> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <
계	173								
경북 (13)	하서1				○				○
	하서2	○							
	호미1	○				○			
	후포1				○				
경남 (21)	가인1	○							
	감천1	○							
	고전1					○			
	공항1					○			
	남양1	○							
	내구1						○		
	덕호1				○				
	동해2								○
	목도1								○
	목도2								○
	배둔1					○			
	보전1					○			
	사등1				○				
	서상1	○				○			
	서상2				○				
	서정1					○			
	송지1	○							○
	수정2	○							
	악양1		○				○		
	해운1					○			
	환덕1					○			

6.1.3. 농어촌지하수관리 단계 도입 결과

- 농어촌지하수관리 단계인 ‘관심-주의-경계-심각’ 을 도입하여, 총 266개 관측공 주변 지하수를 구분한 결과, 206개 관측공에서 전기전도도가 높거나, 지하수위 저하, 전기전도 증가 현상이 관측되었다. 이 중 관심 28개소(14%), 주의 11개소(5%), 경계 23개소(11%) 및 심각 144개소(70%)로 나타났다(표 6-3).
- 지역별로는 경계 및 심각 단계는 전남이 58개소로 가장 많으며, 충남·경남 22개소, 경기 18개소, 강원·전북 15개소, 경북·인천 8개소, 울산 1개소 순이다.

구분	계	관심	주의	경계	심각
계	176	26	20	23	107
부산	0	0	0	0	0
인천	9	1	0	3	5
울산	3	2	0	0	1
경기	21	3	0	4	14
강원	21	5	1	1	14
충남	28	2	4	2	20
전북	16	1	0	0	15
전남	65	6	1	8	50
경북	16	5	3	3	5
경남	27	3	2	2	20

- ‘관심’ 지역인 경우, 관측공 주변 염도가 낮은 지하수의 전기전도도가 증가 추세에 있거나 수위저하가 관측되는 관측공으로 일시적인 현상인지, 주기적인 현상인지에 대한 꾸준한 관측이 필요하다.
- ‘주의’ 및 ‘경계’ 지역인 경우, 관측공 주변 지하수 이용 시 양수량은 현재 이용량보다 낮은 수준으로 운용해서 해수침투 확산 방지 필요가 있다. 담작을 위한 지하수 이용 시에는 주변 하천수·저수지와 1:1로 혼합하여 이용하여야 한다. 그러나 염분에 예민한 작물에는 활용이 불가능하다.
- ‘심각’ 지역은, 해안대수층이 대부분 해수로 포화되어 지하수의 전기전도도가 높기 때문에, 지하수를 농어업용 목적으로 이용이 불가능하다. 이에 따라 지하수 수질 악화 및 수량 부족으로 관측공 주변 지하수 이용을 자제하고 타 수자원을 이용하는 방안을 수립할 필요가 있다.

<표 6-3> 해수침투조사 단계 기준 적용 결과

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
인천 (9)	교동1			전도도증가	염도과다	심각
	길상1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	삼산1	전도도증가			염도과다	심각
	상방1	전도도증가		염도과다		경계
	상방2			염도과다 전도도증가		경계
	승뇌1			염도과다		경계
	승뇌2	전도도증가			염도과다	심각
	영흥1		전도도증가		염도과다	심각
	홍왕2	염도과다 수위감소				관심
울산 (3)	북구1	염도과다 수위감소				관심
	북구2	염도과다 수위감소				관심
	북구3				염도과다	심각
경기 (21)	대곶1				염도과다 전도도증가	심각
	대부2	염도과다		수위감소		경계
	문산1	전도도증가		염도과다		경계
	상록1		전도도증가		염도과다	심각
	서신2	염도과다 수위감소				관심
	시흥1				염도과다	심각

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S/cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S/cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
경기 (21)	안중1	전도도증가			염도과다	심각
	오성1	전도도증가			염도과다	심각
	오성2	전도도증가			염도과다	심각
	우정1	수위감소		염도과다 전도도증가		경계
	우정2	염도과다 전도도증가				관심
	장단1	염도과다 수위감소				관심
	제부1	전도도증가			염도과다	심각
	탄현1			염도과다	전도도증가	심각
	포승1			전도도증가	염도과다	심각
	포승2			전도도증가	염도과다	심각
	포승3				염도과다	심각
	하상1	전도도증가			염도과다	심각
	하성1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	상록2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	탄현2			도도증가	염도과다	경계
	강원 (21)	강현2	염도과다 수위감소			
거진1		전도도증가			염도과다	심각
근덕1		염도과다 수위감소				관심
근덕2					염도과다 전도도증가	심각
근덕3					염도과다	심각
근덕4					염도과다	심각
대포1		수위감소			염도과다 전도도증가	심각

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
계	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계		206개소				
강원 (21)	대포2	염도과다 수위감소				관심
	대포3				염도과다	심각
	송전1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각
	송정1	수위감소		염도과다		경계
	연곡1	수위감소			염도과다	심각
	연곡2			염도과다	전도도증가	심각
	조산1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	조양1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
	옥계1	염도과다 수위감소 전도도증가				관심
	주문진1	수위감소		염도과다	전도도증가	심각
	초구1	염도과다 수위감소				관심
	초당1	전도도증가			염도과다	심각
	토성4	염도과다 수위감소				관심
	포남1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각
충남 (28)	근흥1	전도도증가			염도과다	심각
	근흥2		전도도증가		염도과다	심각
	난지1	염도과다 수위감소				관심
	난지2			염도과다	전도도증가	심각
	남면1				염도과다 전도도증가	심각
	남면2	염도과다 수위감소				관심

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S/cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S/cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
충남 (28)	대산1		염도과다			주의	
	대산2		염도과다			주의	
	서부1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	서부3	전도도증가			염도과다	심각	
	서부4	전도도증가			염도과다	심각	
	석문1	전도도증가		수위감소	염도과다	심각	
	선도1	수위감소	염도과다		전도도증가	심각	
	선도2	수위감소	염도과다			주의	
	소성1	수위감소		염도과다		경계	
	소성2				염도과다	심각	
	안면1				염도과다 전도도증가	심각	
	안면2	전도도증가			염도과다	심각	
	인주1	수위감소			염도과다	심각	
	인주2	전도도증가		염도과다		경계	
	인주3	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	인주4	전도도증가			염도과다	심각	
	주교1				염도과다	심각	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정		
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)			
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >			
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <			
계	206개소							
충남 (28)	주교2	전도도증가			염도과다	심각		
	팔봉2				염도과다 전도도증가	심각		
	한산1	전도도증가			염도과다	심각		
	한산2	전도도증가	염도과다			주의		
	장항2				염도과다	심각		
전북 (16)	금평1				염도과다 수위감소	전도도증가	심각	
	나포1				염도과다	전도도증가	심각	
	내흥1	수위감소 전도도증가				염도과다	심각	
	내흥2				염도과다		심각	
	대창1	전도도증가	수위감소			염도과다	심각	
	대창2					수위감소	염도과다	심각
	만돌1					염도과다	심각	
	변산1	전도도증가				염도과다	심각	
	변산2	수위감소 전도도증가				염도과다	심각	
	보안1	전도도증가				염도과다	심각	
	산북1	전도도증가				염도과다	심각	
	서포1	전도도증가				염도과다	심각	
	송현1	수위감소				염도과다	심각	
	옥곤1				염도과다	전도도증가	심각	
	자룡1	전도도증가				염도과다 전도도증가	심각	
	하입석1	염도과다 수위감소					관심	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	관정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	갈문1	염도과다 수위감소				관심	
	감정1		전도도증가		염도과다	심각	
	감정2	전도도증가			염도과다	심각	
	감정3	수위감소		전도도증가	염도과다	심각	
	고금1	수위감소			염도과다	심각	
	고금2	수위감소			염도과다	심각	
	군곡1	수위감소	전도도증가		염도과다	심각	
	군곡2				염도과다 전도도증가	심각	
	나리1	염도과다 수위감소				관심	
	내사1	수위감소 전도도증가		염도과다		경계	
	내사2	수위감소			염도과다	심각	
	당촌1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	마량1	수위감소			염도과다	심각	
	마량2				염도과다	심각	
	망주1	전도도증가			염도과다	심각	
	망주2		전도도증가		염도과다	심각	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	별교1			염도과다		경계	
	별량1				염도과다	심각	
	삼호1			염도과다		경계	
	삼호2	수위감소		염도과다		경계	
	소라1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	소라2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	손불1	전도도증가		수위감소	염도과다	심각	
	손불2	수위감소		염도과다		경계	
	신기1			염도과다		경계	
	신학1				염도과다	심각	
	신학2				염도과다	심각	
	안양1	전도도증가	염도과다			주의	
	약산1	전도도증가			염도과다	심각	
	연산1	수위감소			염도과다	심각	
	연산2	염도과다 전도도증가				관심	
	염산1				염도과다	심각	
	염산2	전도도증가			염도과다	심각	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	오산1	전도도증가			염도과다	심각	
	외동1	수위감소	전도도증가		염도과다	심각	
	외동2	수위감소 전도도증가				염도과다	심각
	일로1	전도도증가			염도과다	심각	
	일로2	수위감소			염도과다	심각	
	일로3	수위감소			염도과다	심각	
	일로4	전도도증가			염도과다	심각	
	자동1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각	
	자동2	염도과다 수위감소				관심	
	정도1	염도과다 수위감소				관심	
	조성1	전도도증가			염도과다	심각	
	조성2	전도도증가			염도과다	심각	
	지산1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각	
	지산2				염도과다 전도도증가	심각	
	진월1	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	진월2	염도과다 수위감소				관심	
	진월3				염도과다	심각	
	진월4	전도도증가			염도과다	심각	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu S/cm$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu S/cm$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
전남 (65)	평호1			수위감소	염도과다	심각	
	평호2	전도도증가	염도과다		수위감소	심각	
	포두1	전도도증가			염도과다	심각	
	포두2	전도도증가			염도과다	심각	
	학명1	전도도증가			염도과다	심각	
	학명2				염도과다 전도도증가	심각	
	해룡1				염도과다	심각	
	해룡2	염도과다		수위감소		경계	
	화양1				염도과다 전도도증가	심각	
	화양2	전도도증가		염도과다		경계	
	화흥1	수위감소			염도과다	심각	
	화흥2	수위감소 전도도증가			염도과다	심각	
	화흥3				염도과다	심각	
	시종1	전도도증가			염도과다	심각	
	경북 (16)	감포1	염도과다 수위감소				관심
강구1		염도과다 수위감소				관심	
곡강1		수위감소			염도과다	심각	
곡강2		수위감소		염도과다		경계	
구룡2		염도과다 수위감소 전도도증가				관심	
근남1		염도과다 수위감소			전도도증가	심각	
남정2			염도과다			주의	
문무1		염도과다	수위감소			주의	
병곡1		염도과다	수위감소			주의	
병곡1	염도과다	수위감소			주의		

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정	
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)		
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >		
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <		
계	206개소						
경북 (16)	연일1	수위감소			염도과다	심각	
	연일2			염도과다		경계	
	청하1			염도과다		경계	
	하서1			염도과다	수위감소 전도도증가	심각	
	하서2	염도과다 수위감소				관심	
	호미1	염도과다 수위감소 전도도증가				관심	
	후포1	염도과다			수위감소	심각	
경남 (27)	가인1	수위감소			염도과다	심각	
	갈화1			염도과다		경계	
	갈화2		염도과다			주의	
	감서1				염도과다	심각	
	감천1	염도과다 수위감소				관심	
	고전1	전도도증가			염도과다	심각	
	공항1	전도도증가			염도과다	심각	
	남양1	염도과다 수위감소				관심	
	내구1		전도도증가		염도과다	심각	
	다평1				염도과다	심각	
	덕호1	염도과다			수위감소	심각	

<표 6-3> 계속

시도 (개소)	구분	관심	주의	경계	심각	판정
	전기전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$) (염도, %)	0~700 (0~0.045)	700~1,000 (0.045~0.064)	1,000~3,000 (0.064~0.192)	3,000 이상 (0.192 이상)	
	지하수위 저하(m)	> -1.0	-2.0~-1.0	-4.0~-2.0	-4.0 >	
	전기전도도 증가($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10~17.5%	17.5~25%	25% <	
계	206개소					
경남 (27)	동해2				염도과다 전도도증가	심각
	목도1				염도과다 전도도증가	심각
	목도2				염도과다 전도도증가	심각
	배둔1	전도도증가			염도과다	심각
	보전1	전도도증가			염도과다	심각
	사등1	염도과다			수위감소	심각
	서상1	수위감소 전도도증가	염도과다			주의
	서상2			염도과다	수위감소	심각
	서정1	전도도증가			염도과다	심각
	송지1	수위감소			염도과다 전도도증가	심각
	수정2	염도과다 수위감소				관심
	악양1		전도도증가	염도과다 수위감소		경계
	해운1	전도도증가			염도과다	심각
	화삼1				염도과다	심각
	환덕1	전도도증가			염도과다	심각
	대사1				염도과다	심각

6.2 담·염수 경계면 분석

6.2.1. 분석 필요성

가. 해안 지하수의 수질 취약성

- 도서·해안지역은 적정 양수량을 초과하는 지하수 개발·이용 시, 대수층 내 담·염수 경계면 심도 이하의 염지하수 상승으로 가용 지하수자원 감소
- 가용 지하수자원 감소는 농작물 생산의 감소를 유발하며, 결과적으로 농가소득 감소의 주요원인 초래

나. 염해피해 방지를 위한 사전조사 필요

- 소유역을 대표하는 관측공 개발 시, 공내 검층으로 관측공 수리물리 특성(전기 전도도, 수온 등) 확인
- 수리물리 특성값을 이용한 담·염수 경계면 심도 확인
- 대수성 시험 자료 확보 또는 시행으로 수리전도도, 산출율, 담수 및 염수 밀도 등을 실험적으로 확인
- 해당 지역에서 필요로 하는 지하수 이용량을 결정하여, 최종적으로 관정 개발·이용 심도를 보수적으로 선택 : 일차적으로 염지하수 상승 예방

6.2.2. 분석 방법

가. 해수침투 관측망을 이용한 담·염수 경계면 심도 분석

- 해안거리에 따른 담·염수 경계면 심도가 전형적인 지역
- 함양지에 인접하여 담·염수 경계면 심도가 함양의 직접 영향 지역
- 해안유출 지하수의 영향으로 담·염수 경계면 심도가 깊어지는 지역

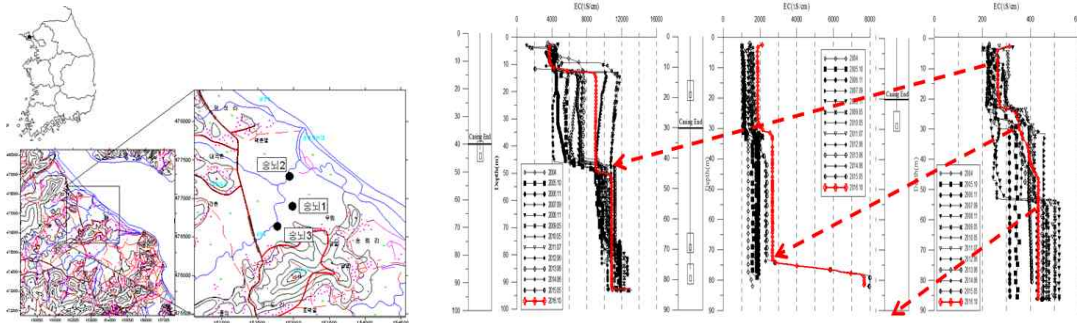
나. 관측자료를 이용한 담·염수 경계면 이동 분석

- 관측공 주변 지하수의 농작물 공급 시 위해 여부 분석

6.2.3. 분석 결과

가. 해안거리에 따른 담·염수 경계면의 전형적 심도 변화

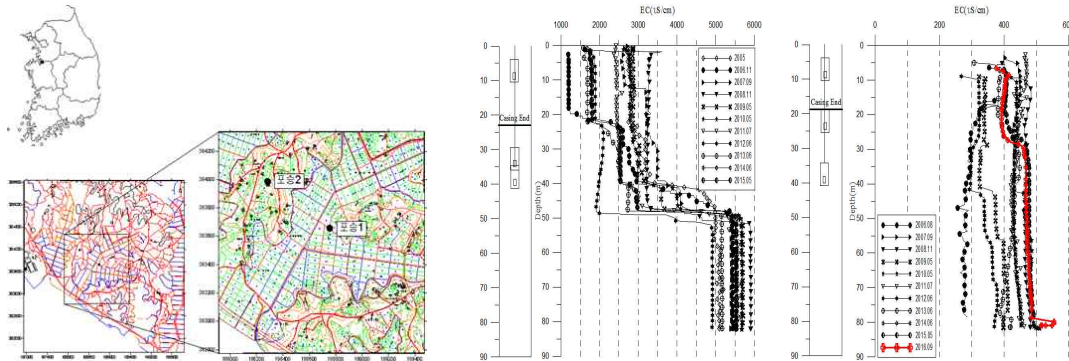
- 강화 승뇌 분석 사례
 - 해안거리 : 550 m(승뇌2), 830 m(승뇌1), 1,180 m(승뇌3)
 - 해안에서 멀어질 수록 담염수 경계면 심도가 비례적으로 깊어지는 전형적인 도서해안 대수층 : 3개 순차적 전이대 생성
 - 해안으로부터 약 1.2 km 내륙에서는 50 m 이내 천부지하수를 답작에 이용가능 (원예작 등 이용불가)
- 유사지역 : (아산)인주, (태안)근흥, (군산)내흥, (영광)지산, (남해)가인, (하동)하동, (진도)신기, (해남)평호, (경남고성)동해



<그림 6-1> 승뇌지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)

나. 함양지에 인접하여 경계면이 함양의 직접영향

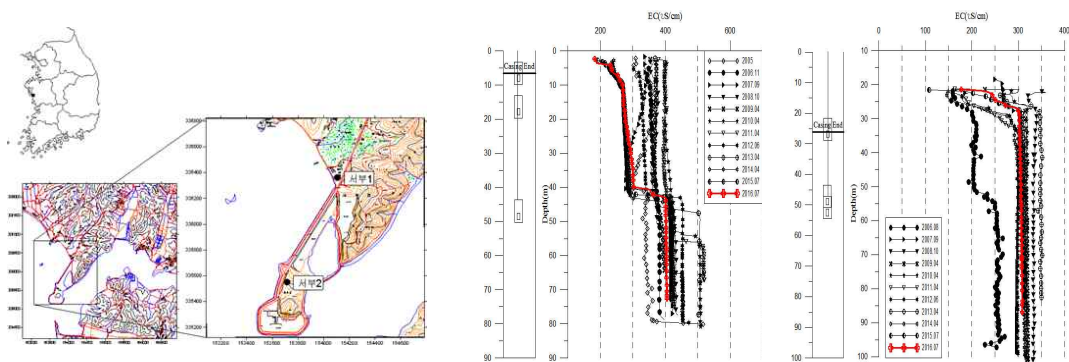
- 평택 포승 분석 사례
 - 해안거리 : 970 m(포승1), 1,010 m(포승2)
 - 두 관측공은 해안거리가 유사하나, 함양지 관측공(포승2)은 담수 수질로 나타남 (400 μ S/cm 내외)
 - 포승2 관측공은 함양 지하수의 직접 영향으로 담·염수 경계면 심도 깊어짐
 - 포승2 관측공 주변 지하수는 전답에 직접 이용 가능
- 유사지역 : (안산)영흥, (광양)진월, (여수)화양



<그림 6-2> 포승지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)

다. 해안유출 지하수의 영향으로 심도 증가

- 홍성 서부 분석 사례
 - 해안거리 : 40 m(서부1), 70 m(서부2)
 - 두 관측공은 해안거리가 100 m 이내로, 해수침투 관측망 중 해안에 최인접 관측공 중 하나이나, 전기전도도는 담수 영역(300 ~ 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 내외)
 - 서해안 해안유출 지하수의 영향으로 추정
 - 서부지역 지하수는 전답에 직접이용 가능
- 유사지역 : (서산)팔봉, (서천)선도, (거제)덕호, (창원)남양

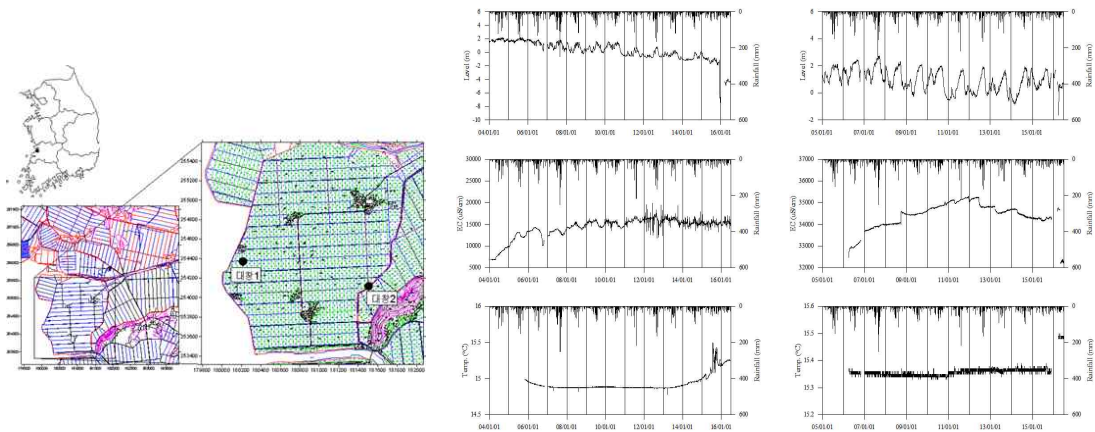


<그림 6-3> 서부지역(좌) 담염수 경계면 분석사례(우)

라. 기타 : 간척에 의해 지하수위 감소

○ 김제 대창 분석 사례

- 김제 대창지역은 새만금 방조제 내륙측에 위치
- 방조제 건설 후 내수위면 조절로 인해 지하수위 감소가 관측됨
- 간척지 완공까지 꾸준히 지하수위 감소 전망



<그림 6-4> 대창지역(좌) 지하수위 감소 분석(우)

6.3 부산광역시



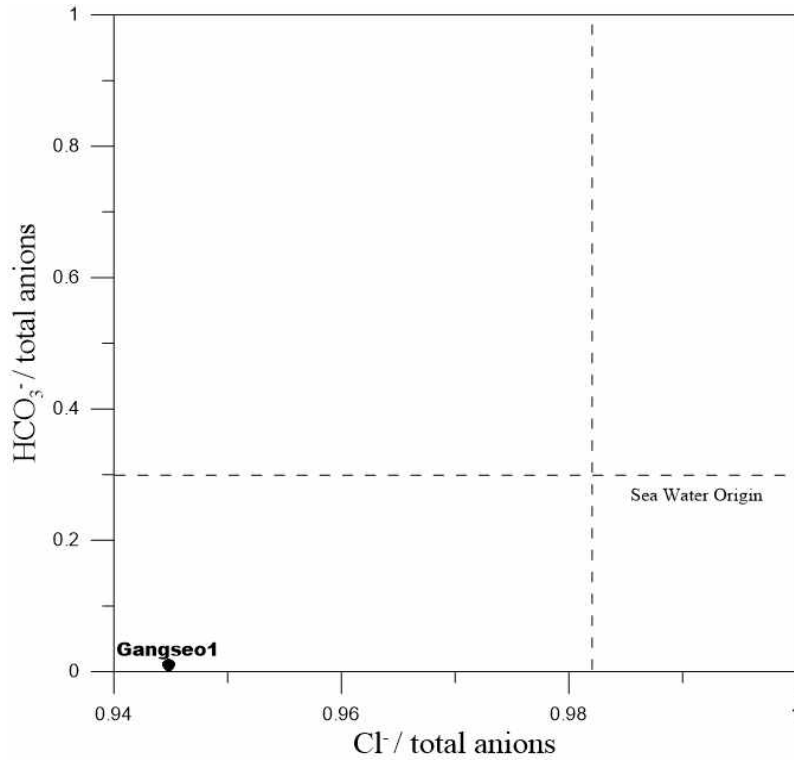
<그림 6-5> 부산광역시 관측망 설치현황

6.3.1. 설치운영 현황 : 1개 시군구에 총 1개소 관측공 설치 운영 중

6.3.2. 시·군 별 관측공 수

개소	강서구
1	강서1

6.3.3. 관측결과



<그림 6-6> 부산광역시 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적인 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO_3) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 중탄산(HCO_3) 이온과 염소(Cl) 이온의 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-6).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 부산광역시의 경우, 1개소 관측공(강서1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타나, 해수침투의 영향을 직접적으로 받는 것으로 추정된다.

6.4 인천광역시



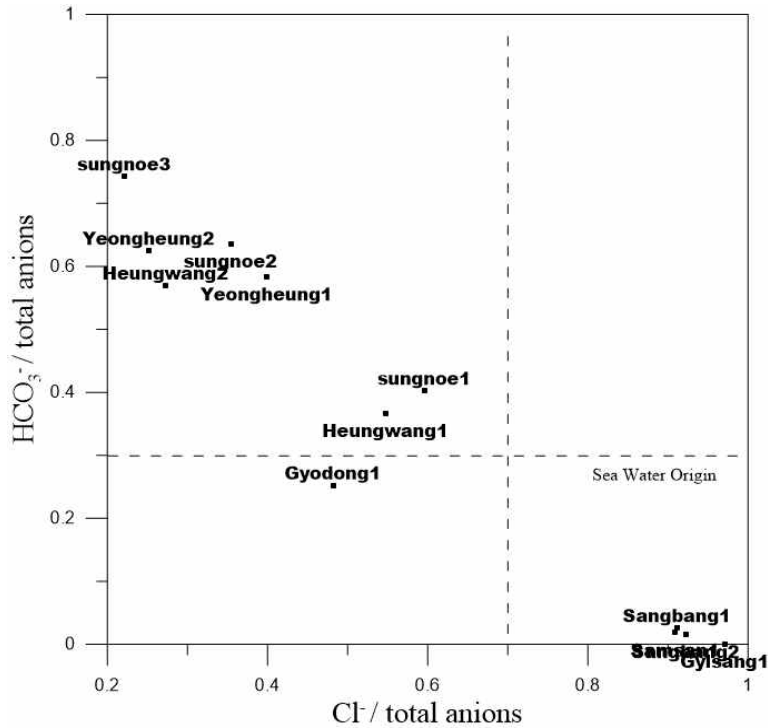
<그림 6-7> 인천광역시 관측망 설치현황

6.4.1. 설치운영 현황 : 2 시군구 내 12개소의 관측공 설치 운영 중

6.4.2. 시·군 별 관측공 수

개소	강화	용진
12	교동1, 길상1, 삼산1, 상방1, 상방2 송뇌1, 송뇌2, 송뇌3, 흥왕1, 흥왕2	영흥1 영흥2

6.4.3. 관측결과



<그림 6-8> 인천광역시 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 중탄산(HCO₃) 이온과 염소(Cl) 이온의 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-8).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 인천광역시의 경우, 4개소 관측공(길상1, 상방1, 상방2, 삼산1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타나 해수침투에 직접 영향을 받은 것으로 정리할 수 있으며, 또한 농업에 직접 활용이 불가능한 것으로 판단된다.

6.5 울산광역시



<그림 6-9> 울산광역시 관측망 설치현황

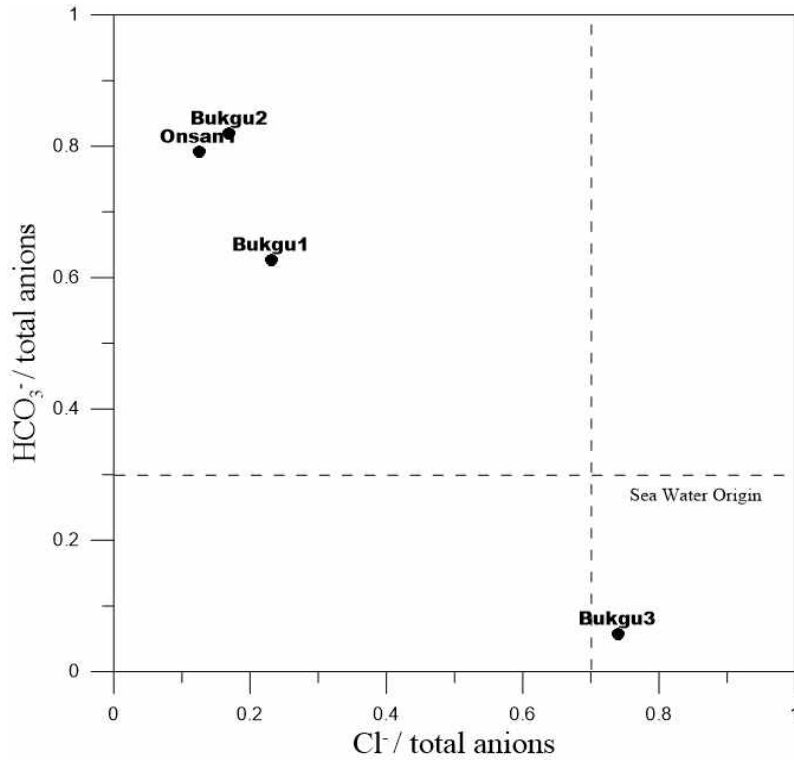
6.5.1. 설치운영 현황 : 2개 시군구에 총 5개소 관측공 설치 운영 중

6.5.2. 시·군 별 관측공 수

개소	북구
5	북구1, 북구2, 북구3, 북구4, 온산1

* 2023년 설치한 북구4은 분석에서 제외

6.5.3. 관측결과



<그림 6-10> 울산광역시 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적인 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 중탄산(HCO₃) 이온과 염소(Cl) 이온의 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-10).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 울산광역시의 경우, 1개소 관측공(북구3) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타나, 해수침투에 영향을 받는 것으로 추정된다.

6.6 경기도



<그림 6-11> 경기도 관측망 설치현황

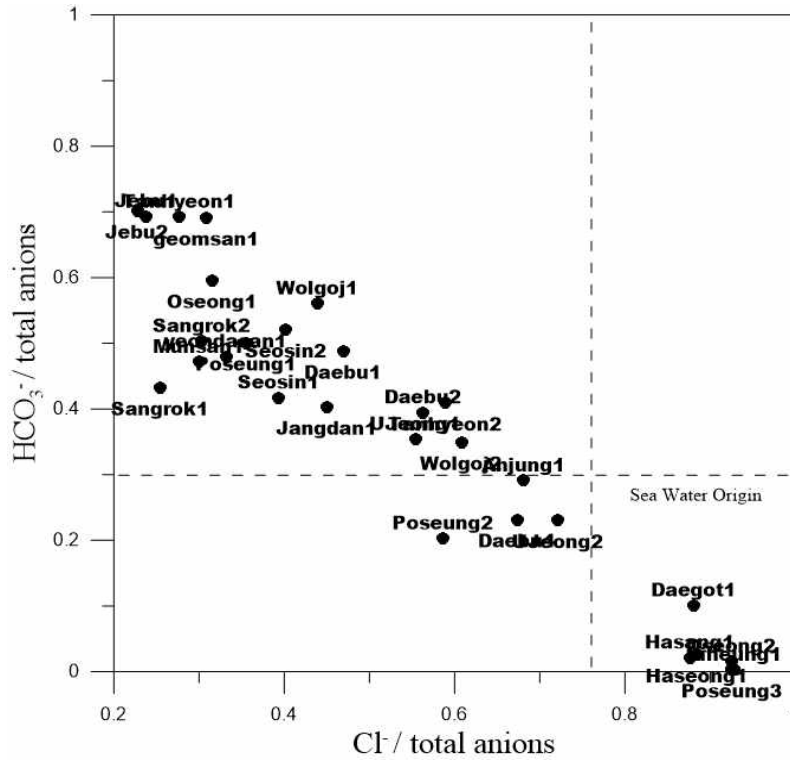
6.6.1. 설치운영 현황 : 총 7 시군구 내 31개소의 관측공 설치 운영 중

6.6.2. 시·군·구 별 관측공 수

개소	안산 상록	화성	평택	시흥	김포	파주	안산 단원
31	상록1 상록2	서신1 서신2	제부1 제부2	우정1 우정2	포승1 포승2 포승3	오성1 오성2	안중1 기산1
				시흥1 하상1	월곶1 월곶2 대곶1 하성1 오니산	장단1 문산1 검산1 탄현1 탄현2 연다산	대부1 대부2 대부4

* 기산1, 오니산1 관측공은 2023년 신규 설치

6.6.3. 관측결과



<그림 6-12> 경기도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 중탄산(HCO₃) 이온과 염소(Cl) 이온의 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-12).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 경기도의 경우, 7개소 관측공(시흥1, 오성2, 포승3, 우정2, 하상1, 하성1, 대곶1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타났다.

6.7 강원도



<그림 6-13> 강원도 관측망 설치현황

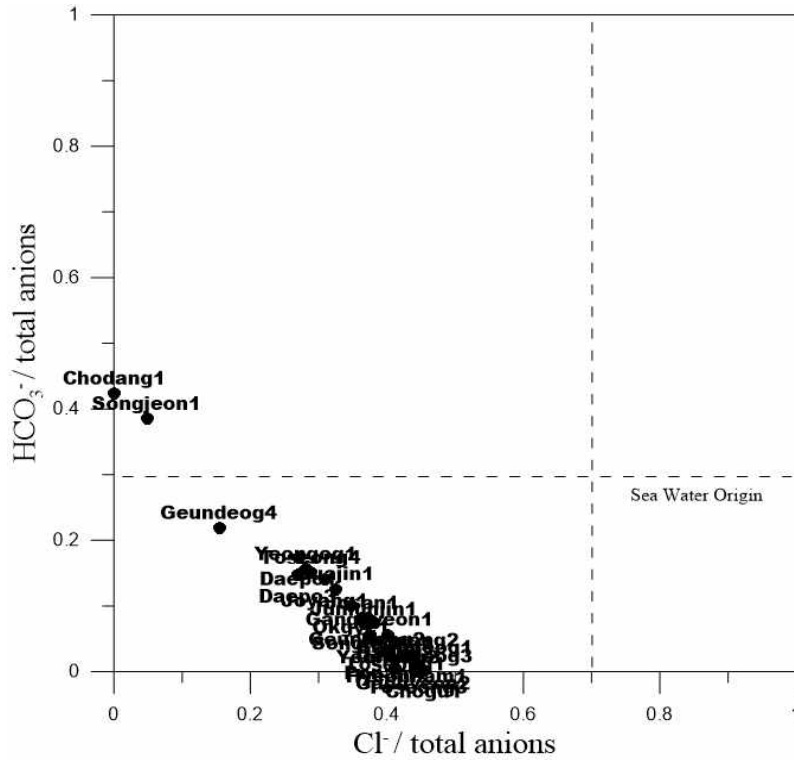
6.7.1. 설치운영 현황 : 총 6시군 내 28개소의 관측공 설치 운영 중

6.7.2. 시·군 별 관측공 수

개소	강릉		고성		삼척
28	연곡1	초당1	주문진1	토성1, 토성2	근덕1
	연곡2	포남1	옥계1	토성3, 거진1	근덕2
				토성4	근덕3
	속초	동해		양양	
	조양1	대포1	초구1	송정1	강현1
		대포2			조산1
		대포3			송전1
					현남1
					손양1

* 근덕5, 손양1 관측공은 2023년 신규 설치

6.7.3. 관측결과



<그림 6-14> 강원도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 중탄산(HCO₃) 이온과 염소(Cl) 이온의 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-14).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 강원도의 경우, 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이하, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이상로 나타나, 해수침투의 영향은 없는 것으로 분석된다.

6.8 충청남도



<그림 6-15> 충청남도 관측망 설치현황

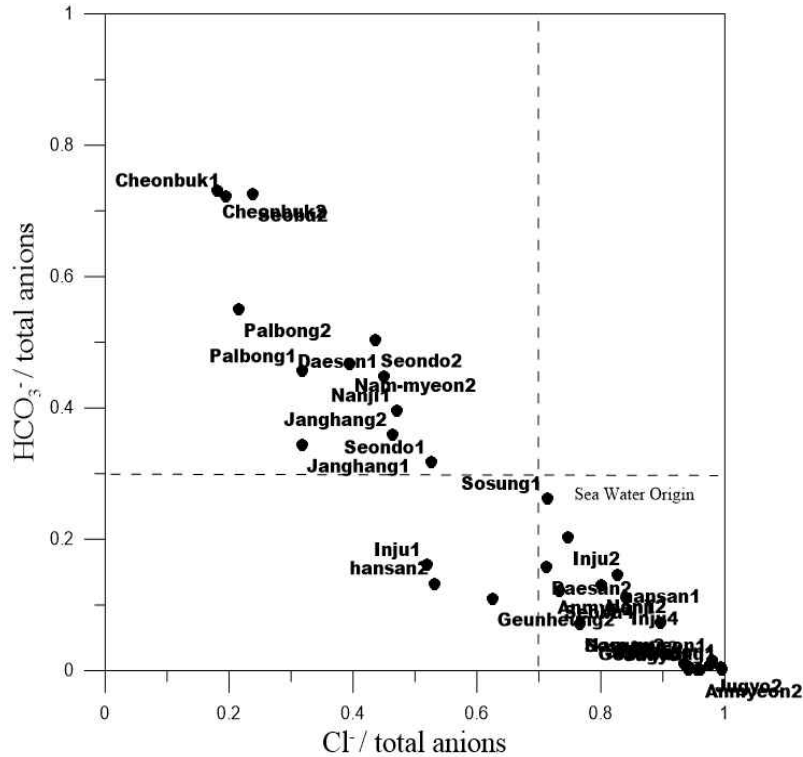
6.8.1. 설치운영 현황 : 총 7시군 내 34개소의 관측공이 설치 운영 중

6.8.2. 시·군 별 관측공 수

계	당진		서산		보령		
34	난지1	석문1	팔봉1	대산1	주교1	소성1	천북1
	난지2	고대1	팔봉2	대산2	주교2	소성2	천북2
	홍성	서천	아산	태안			
	서부1	선도1	인주1	근흥1 근흥2	남면1 남면2	안면1 안면2	
	서부2	선도2	인주2				
	서부3	장항1	인주3				
	서부4	장항2	인주4				
		한산1					
		한산2					

* 고대1 관측공은 2023년 신규 설치

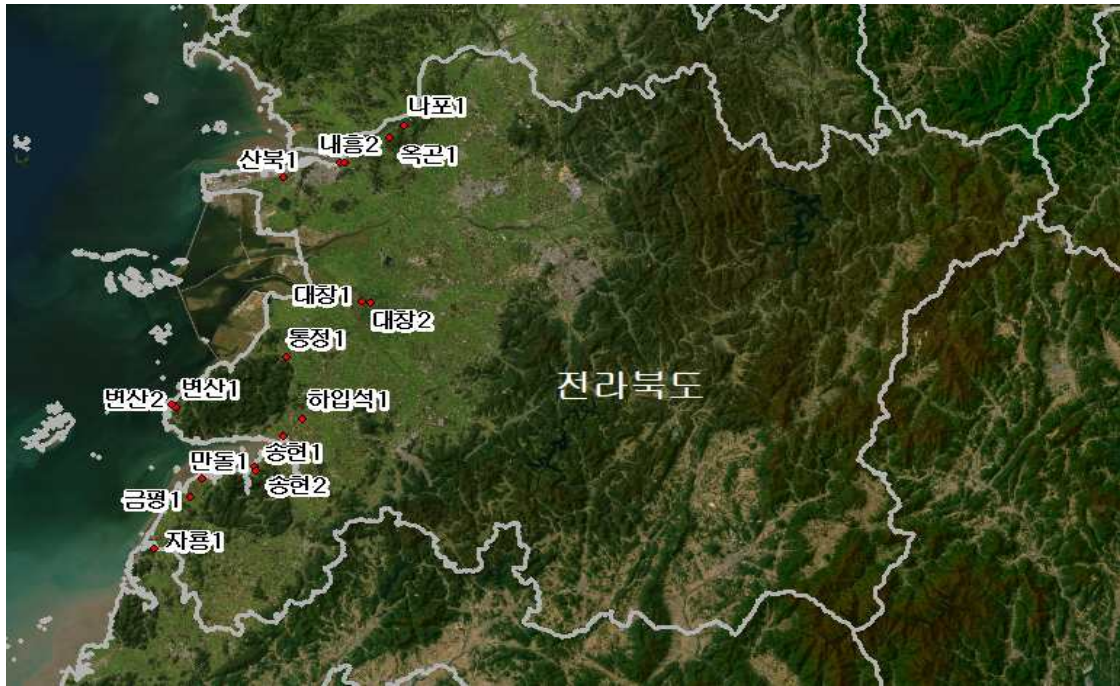
6.8.3. 관측결과



<그림 6-16> 충청남도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 따라서 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-16).
- 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 물비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 물비는 0.3 이하로 나타난다.
- 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 충청남도의 경우, 18개소 관측공(근흥1,남면1,안면1,안면2,소성1,소성2,난지2,대산2,서부1,서부3,서부4,주교1,주교2,인주2,인주3,인주4,석문1,한산1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 물비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 물비는 0.3 이하로 나타났다.

6.9 전라북도



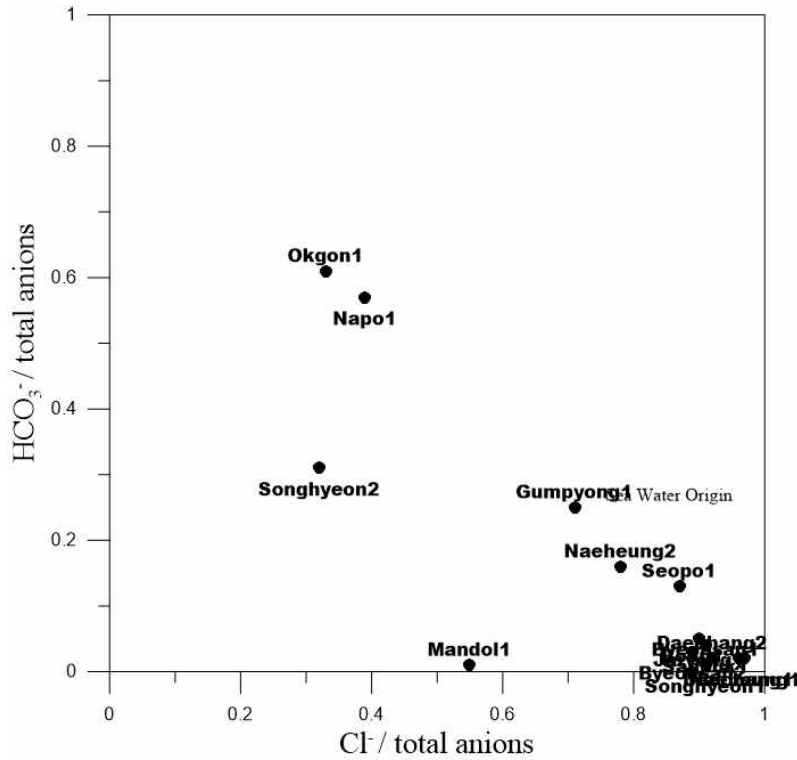
<그림 6-17> 전라북도 관측망 설치현황

6.9.1. 설치운영 현황 : 총 4시군 18개소 관측공 설치 운영 중

6.9.2. 시·군 별 관측공 수

개소	김제	부안			고창	군산	
18	대창1 대창2	변산1 변산2	보안1 통정1	송현1 송현2 하입석1	자룡1 만돌1 금평1	내흥1 내흥2 나포1	산북1 옥곶1 나포1

6.9.3. 관측결과



<그림 6-18> 전라북도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적인 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 따라서 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수 침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-16).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 전라북도의 경우, 13개소 관측공(변산1,변산2,보안1,대창1,대창2,내흥1,내흥2,송현1,금평1,자룡1,만돌1,서포1,산북1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타나, 해수침투가 발생한 것으로 추정된다.

6.10 전라남도



<그림 6-19> 전라남도 관측망 설치현황

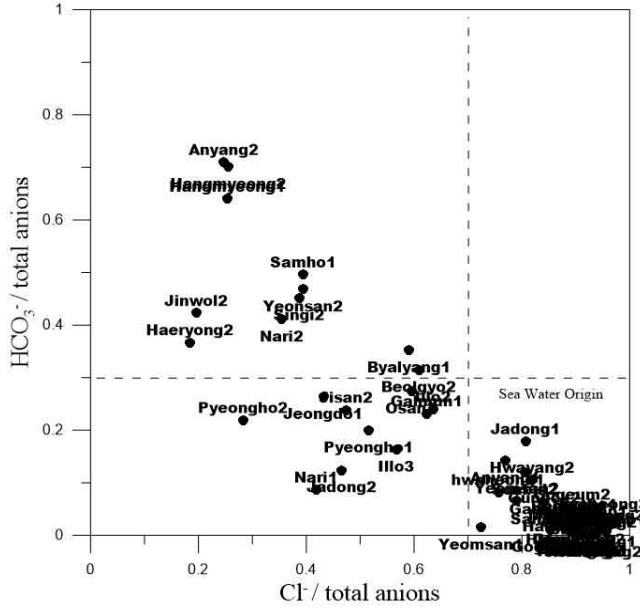
6.10.1. 설치운영 현황 : 총 16시군 내 75개소 관측공 설치 운영 중

6.10.2. 시·군 별 관측공 수

계	합평	신안			진도			목포	해남			완도			
	손불1 손불2	당촌1	자동1 자동2	감정1 감정2 감정3	나리1 나리2	신기1 신기2	지역 오산 의신	연산1 연산2	내사1 내사2	군곡 군곡2	평호1 평호2	화흥1 화흥2 화흥3	정도1	고금1 고금2	갈문1 약산1
	장흥	영암	광양	순천	여수	영광	무안	강진	고흥	보성					
75	안양1 안양2	외동1 외동2	삼호1 삼호2 시중1 시중2	진월1 진월2 진월3 진월4	해룡1 해룡2	화양1 화양2	소라1 소라2	지산1 지산2	염산1 염산2	일로1 일로2 일로3 일로4	마량1 마량2 학명1 학명2	포두1 포두2	남양1 남양2	별교1 별교2	조성1 조성2 조성3

* 득량1, 조성3, 의신1, 시중2 관측공은 2023년 신규 설치

6.10.3. 관측결과



<그림 6-20> 전라남도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적인 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산 (HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 따라서 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-20).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 전라남도의 경우, 신기1 등 50개소 관측공 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타났다.
 - 신기1,오산1,손불1,손불2,별교1,조성1,조성2,감정1,감정2,감정3,당촌1,자동1,마량1,마량2,연산1,삼호2,고금1,고금2,화흥1,화흥2,화흥3,진월1,진월2,진월3,진월4,소라1,소라2,화양1,화양2,염산1,염산2,지산1,군곡1,군곡2,내사1,내사2,안양1,신학1,신학2,해령1,망주1,망주2,포두1,포두2,외동1,외동2,일로1,이로4,약산1,별량1,시종1

6.11 경상북도



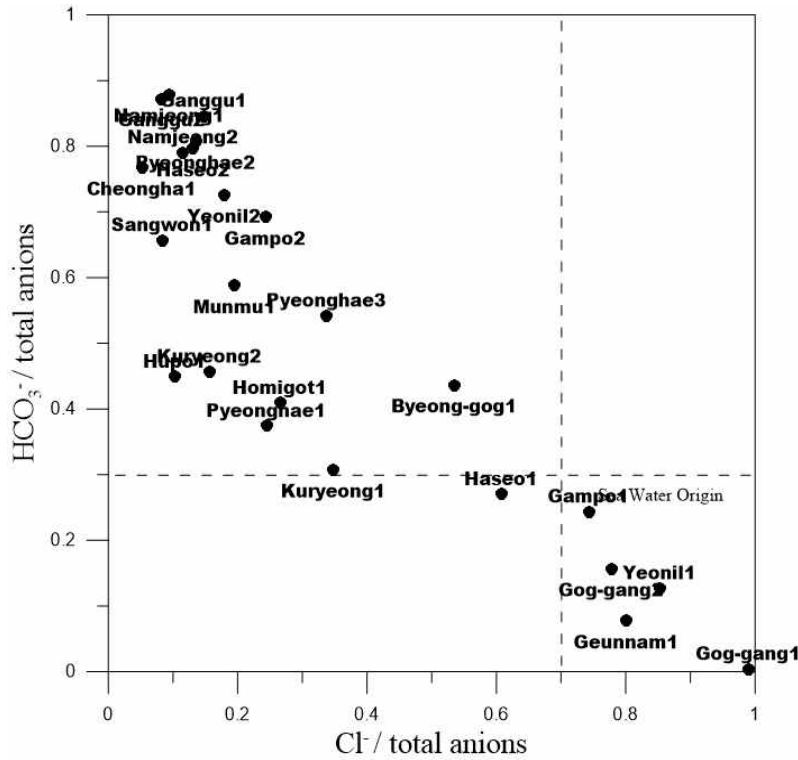
<그림 6-21> 경상북도 관측망 설치현황

6.11.1. 설치운영 현황 : 총 5시군에 24개소의 관측공 설치 운영 중

6.11.2. 시·군 별 관측공 수

개소	울진	포항 남구	포항 북구	영덕	경주					
24	평해1 평해2 평해3	근남1	후포1	구룡1 구룡2 연일1 연일2 호미1	곡강1 곡강2 청하1	강구1 강구2	상원1 남정1 남정2	병곡1	하서1 하서2	김포1 김포2 문무1

6.11.3. 관측결과



<그림 6-22> 경상북도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적인 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 따라서 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-22).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 경상북도의 경우, 5개소 관측공(연일1, 곡강1, 곡강2, 감포1, 근남1) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타나, 해수침투가 발생한 것으로 추정된다.

6.12 경상남도



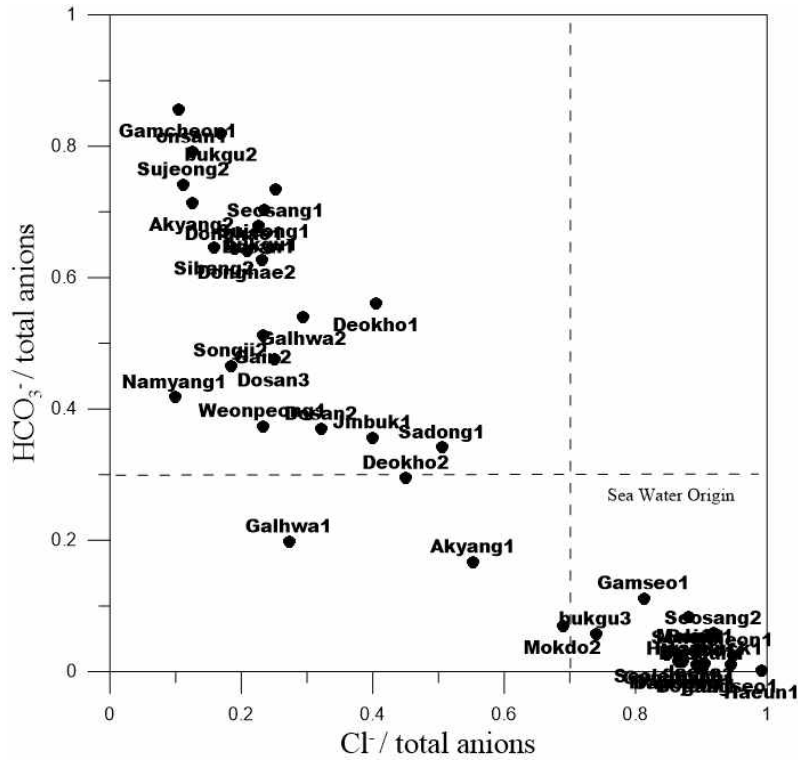
<그림 6-23> 경상남도 관측망 설치현황

6.12.1. 설치운영 현황 : 총 7개 시군에 39개소 관측공 설치 운영 중

6.12.2. 시·군 별 관측공 수

개소	하동				남해			사천	통영
39	목도1	약양1	고전1	궁항1	갈화1	서상1	가인1	송지1	도산1
	목도2	약양2		갈화2	서상2	가인2	송지2	도산2	
						대사1	내구1	도산3	
							다평1	원평1	
							환덕1	화삼1	
	거제		고성		창원				
	덕호1	사등1	시방2	동해1	감서1	해운1	감천1		
	덕호2	서정1		동해2		수정1	남양1		
			배둔1		수정2	진북1			
			보전1						

6.12.3. 관측결과



<그림 6-24> 경상남도 이온분석 결과

- 지하수의 수리화학적 측면에서 일반적으로 육지부의 담지하수에는 중탄산(HCO₃) 이온이 풍부하고, 해안가의 염지하수에는 염소(Cl) 이온이 풍부하다.
- 따라서 두 가지 이온 함량의 간단한 비율만으로도, 도서·해안지역 지하수의 해수침투 발생여부를 확인할 수 있다(그림 6-24).
 - 해안지역 지하수 대수층에서 대부분의 염지하수와 기수(담지하수와 해수가 혼합되는 지역의 지하수)는 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타난다.
 - 염소이온/총음이온 함량이 높고, 중탄산이온/총음이온 함량이 낮을수록 해수 침투가 발생한 것으로 추정된다.
- 경상남도의 경우, 18개소 관측공(가인1 등) 주변 지하수에서 염소이온/총음이온의 몰비가 0.7 이상, 중탄산이온/총음이온 몰비는 0.3 이하로 나타났다.
 - 가인, 감제, 고전, 궁형, 목도, 서상, 송재, 해원, 서전, 배둔, 보전, 환덕, 다령, 내귀, 화산, 강서, 북귀, 대서

제7장 농어촌지하수관리 관측망 관측결과 관리기준

■ 관리기준

- 관리기준은 '농업용수 이용', '추세 분석' 및 '연평균 대비 현재값'으로 분류
- '농업용수 이용'은 농작물에 끼치는 영향 고려 및 새로운 기준을 적용하여, 모든 작물에 이용, 논(수도작)에만 이용, 지표수와 1:1로 혼합후 논(수도작)에만 이용, 이용불가로 분류
- '추세 분석' 및 '연평균 대비 현재값'은 지하수자원관리 기준을 적용하여 정상(normal), 주의(watch), 경계(warning), 심각(serious)으로 분류
- 나트륨 흡착율은 토양의 염류화를 방지하기 위하여 관개용수로서의 수질 평가에 이용되고, 내륙의 밭 관개용수로 사용 시 지표로도 활용되므로 지하수 관리사업에서 참고자료로 제시

7.1 관리기준

7.1.1. 개요

- 관리기준은 '농업용수 이용', '추세 분석' 및 '연평균 대비 현재값'으로 분류
- '농업용수 이용'은 농작물에 끼치는 영향을 고려하여, 모든 작물에 이용, 논(수도작)에만 이용, 지표수와 1:1로 혼합후 논(수도작)에만 이용, 이용불가로 분류
- 해수침투조사 및 농촌지하수관리 관측공은 대부분 논 주변에 위치하므로 '농업용수 이용'은 동일 기준의 전기전도도값을 적용
- '추세 분석'은 지하수위 및 전기전도도의 장기적인 경향을 분석하고, '연평균 대비 현재값'은 연평균값과 비교한 현재 상황을 분석
- 또한 '추세 분석' 및 '연평균 대비 현재값'은 지하수자원관리 기준을 적용하여 정상(normal), 주의(watch), 경계(warning), 심각(serious)으로 분류

- 나트륨 흡착율은 토양의 염류화를 방지하기 위하여 관개용수로서의 수질 평가에 이용되고, 내륙의 밭 관개용수로 사용 시 지표로도 활용되므로 지하수 관리사업에서 참고자료로 제시
- 수온변화는 대수층 환경변화를 지시하지만, 대부분 변화가 거의 없으므로 참고 자료로만 활용

7.1.2. 관리 기준

가. 작물생육과의 관계

농업용수 이용	모든 작물에 이용	논(수도작)에만 이용	지표수와 1:1 비율로 혼합하여 논(수도작)에 이용	이용불가
전기전도도 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 700	700 ~ 1,000	1,000 ~ 3,000	> 3,000

나. 추세 분석

구 분	정상 (normal)	주의 (watch)	경계 (warning)	심각 (serious)
지하수위 저하 (m)	< 1.0	1.0~-2.0	2.0~4.0	> 4.0
전기전도도 증가 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 10%	10%~-17.5%	17.5%~25%	> 25%

- 지하수위 변화
 - 설치이후 전년도까지 지하수위 평균을 계산하여, 당해연도 평균수위와의 차이
- 전기전도도 변화
 - 설치이후 전년도까지 전기전도도 평균을 계산하여, 당해연도 평균전기전도도와 차이를 전년도까지 평균의 백분율 범위로 산정

참 고 문 헌

1. 국토교통부, 2012, 지하수관리기본계획 2012-2021
2. 김진호, 송성호, 용환호, 정형재, 우명하, 2003, 해수침투 우려지역에서 단일 시추공을 이용한 전기비저항탐사 적용, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회 논문집
3. 김진호, 송성호, 이규상, 설민구, 2003, 도서지역 지하수 장기관측자료를 이용한 해수침투 사례분석, 한국지하수토양환경학회 춘계학술발표회 논문집
4. 김진호, 송성호, 이규상, 우명하, 2003, 우리나라 서남해 도서지역의 암반대수층을 통한 해수침투 사례, 한국수자원학회
5. 농어촌진흥공사, 1997, '97 제주도 장기관측망 설치 및 조사 실적보고서
6. 농어촌진흥공사, 1998, 지하수 장기관측망 유지관리방안
7. 문유리, 이정호, 윤정호, 김훈미, 2008, 해안지역 지하수 수자원 통합관리방안 연구 II, 환경정책평가연구원, 119p.
8. 송성호, 2007, 해수침투지역에서 단일 시추공을 이용한 전기비저항 토모그래피 탐사의 적용성, 물리탐사, 10(4), pp. 369-376.
9. 송성호, 이진용, 이명재, 2007, 변동유형 분석법을 이용한 해수침투 관측망 자료 평가, 한국지구과학회지, 28(4), pp. 478-490.
10. 이봉주, 조병욱, 문상호, 임무택, 2001, 부산 동래지역 암반 대수층으로의 해수 유입, 지질학회지 37(3), pp. 407-420.
11. 자연재해방재기술개발사업단, 2003, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발 보고서
12. 정찬덕, 이병선, 이규상, 김준겸, 2021, 장기 지하수위 관측자료를 활용한 농업가뭄 재평가 방안 제언, 한국지하수토양환경학회지, V.26(4), pp.27-43.
13. 한국농어촌공사, 2011, 해수침투조사사업 보고서
14. Babon Ghyben, 1889, W. Nota in verband met de voorgenomen put boring rtabij Amsterdam. *K. Inst. Ingen. Tijdschr.*, 1888-89: 8-22, 2 pl. The Hague
15. Dagan, G., and J. Bear, 1968, Solving the problem of local interface

- upconing in a coastal aquifer by the method of small perturbations. J. Hydrol. Res., 6, pp. 15-44.
16. Domenico P.A. and Schwartz F.W., 1998, Physical and Chemical Hydrogeology 2nd ED. John Wiley & Sons.
 17. Freeze, R.A., and J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc. Englewood cliffs, N.J., 604p.
 18. Hem, J.D., 1989, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S geological survey water-supply paper 2254, 263p.
 19. Herzberg, Baurat, 1901. *Die wasserversorgung einiger Nordseebader. Jour. Gasbeleuchtung und IVttsserversorgung*, Jahrg. 44. Munich
 20. Hounslow, A.W., 1995, Water Quality Data, Analysis and interpretation.
 21. Lee, J.Y., Yi, M.J., Song, S.H., and Lee, G.S., 2008, Evaluation of seawater intrusion on the groundwater data obtained from the monitoring network in Korea, Water International, 33, pp. 127-146.
 - 22 Piper, A.M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, pp. 914-923.
 23. Revelle, R., 1941, Criteria for recognition of seawater in groundwaters, Tras. Amer. Geophysical union, 22, pp. 593-597.
 24. Schmorak, S., and A. Mercado, 1969, Upconing of freshwater-seawater interface below pumping wells, Water Resources Res., 5, pp. 1290-1311.
 25. Song, S.H., Lee, G.S., Kim, J.S., Seong, B., Kim, Y.G., Woo, M.H. and Park, N., 2006, Electrical Resistivity Survey for Delineating Seawater Intrusion in a Coastal Aquifer, 19th Salt Water Intrusion Meeting(SWIM), pp. 289-293.
 - 26 Song, S.H., Lee, J.Y., and Park, N., 2007, Use of vertical electrical soundings to delineate seawater intrusion in Byunsan, Korea, Environmental Geology, 52, pp. 1207-1219.
 27. Todd D.K., 1976, Groundwater Hydrology 2nd ED. John Wiley & Sons

과업참여자

■ 사업총괄책임자

박영규(환경지질처 물순환지하수부장, 이학사, 응용지질기사)

■ 사업책임자

송양권(환경지질처, 차장, 이학석사, 지질및지반기술사)

김대화(환경지질처, 차장, 공학석사, 응용지질기사)

■ 과업참여자

이규상(농어촌연구원, 스마트기반연구부장, 공학박사, 토양환경기사)

용환호(농어촌연구원, 수석연구원, 이학박사, 응용지질기사)

명우호(농어촌연구원, 책임연구원, 이학석사, 응용지질기사)

서상진(농어촌연구원, 선임연구원, 이학사, 응용지질기사)

■ 과업검토자

서상기(농어촌연구원, 연구원장, 이학박사, 응용지질기사)

송성호(농어촌연구원, 미래농어촌연구소장, 교육학박사, 지질 및 지반기술사)

