

2011년

지하해수조사 보고서

통영시 통산1지구

농림수산식품부

KF

한국농어촌공사

발간등록번호

11-1541000-001159-01



2011년 지하해수조사 보고서

통영시 통산1지구



2011.12

농림수산식품부 **KF** 한국농어촌공사
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries

▶ 지하해수에 관한 상담 및 문의

- 농림수산식품부 양식산업과 TEL : 02)500-2371
- 한국농어촌공사 환경지질처 TEL : 031)420-3717~3719

농림수산식품부 **KF** 한국농어촌공사
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries

통영시 통산1지구 2011년 지하해수조사 보고서

2011. 12.



농림수산식품부



한국농어촌공사



요 약 문

▣ 사업개요

- 사업명 : 2011년 지하해수 조사사업
- 목적 : 해안·도서지역 지하해수 개발가능적지 조사 및 개발 방안 제시
- 사업기간 : 2011. 1. ~ 2011. 12. (총 기간 : 2010. 1. ~ 2014. 12.)
- 연도별 추진계획

구분	총계획	2010년까지	2011년	2011년 이후
사업량(지구)	50	10	8	32
사업비(백만원)	5,000	882	800	3,318

- 시군별 사업계획

구분	계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
대상지구 (%)	126 (100)	1 (0.8)	2 (1.6)	8 (6.3)	1 (0.8)	64 (50.8)	13 (10.3)	37 (29.4)
2010년	10	1	-	2	1	6	-	-
2011년	8	-	-	1	-	4	1	2

- 사업내용

- 실태조사

- 기존자료 수집 및 분석 : 육상양식어가 현황, 지하수 이용현황, 관측망 등
- 육상양식장 실태조사 : DB/GIS 자료 웹사이트 자료 수록

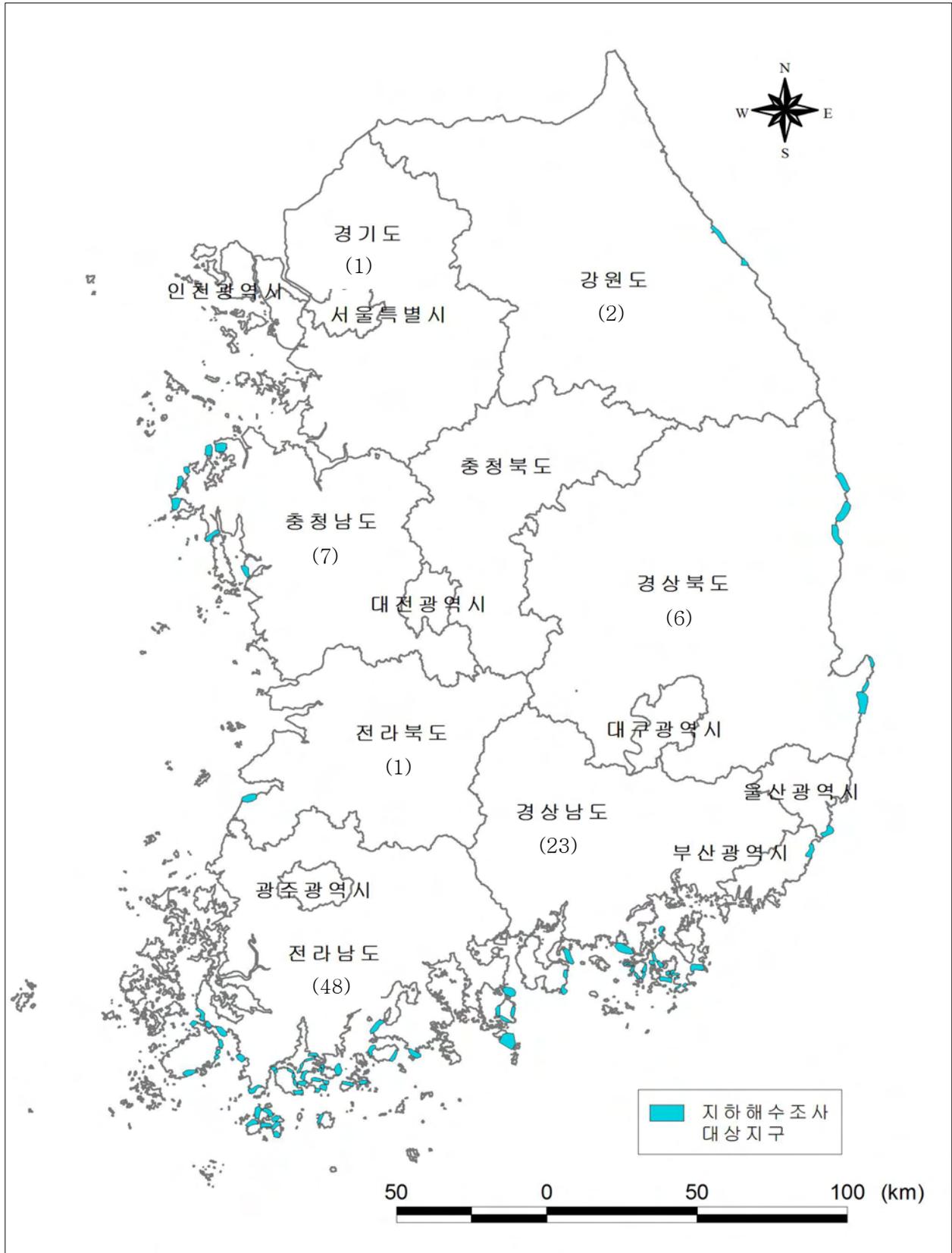
- 개발타당성조사(8지구)

- 기초조사 : 지표지질, 원격탐사, 물리탐사, 지하수 현황조사 등
- 시추조사 : 암반시추(150mm×100m, 150m×250m), 충적시추(100mm×40m)
- 영향조사 : 양수시험, 물리검층(온도, 전기전도도, 전기검층), 수질검사 등

- 보고서 작성 및 성과품 작성

- 지구별 지하해수 개발가능지점 및 개발가능량 도면 제시 등

▣ 지하해수조사 대상지구



▣ 『통영시 통산1지구 지하해수조사』 는

1. 본 보고서는 통영시 통산1지구 대하여 2011년 1월부터 2011년 11월까지 『지하해수조사』 결과를 종합하여 작성하였습니다.
2. 『지하해수조사사업』 은 제3차 수산진흥종합대책(2010~2014, 농림수산식품부, 2010)의 중점과제인 저탄소 녹색 수산업 중 양식산업의 에너지 절감을 위한 정책 사업입니다.
3. 육상수조식 양식장의 에너지 절감을 목표로 2014년까지 300개소의 지하해수를 보급하기 위한 개발가능 적지를 조사하는 사업으로 농림수산식품부에서 주관하고 한국농어촌공사에서 시행합니다.
4. 2011년부터 서해안 및 남해안, 동해안 남부 지역을 대상으로 탐사 및 시추조사를 통한 지하해수 부존여부 및 개발가능 적지를 조사하였습니다.
5. 조사결과는 농어촌지하수넷(<http://www.groundwater.or.kr>)에서 조회가 가능합니다.

목 차

제 I 장. 지하해수조사 개요	1
1.1 사업목적 및 배경	3
1.2 사업대상 및 규모	4
1.2.1 사업대상	4
1.2.2 지구선정기준	4
1.3 과업수행체계	5
1.3.1 조사공정별 흐름도	5
1.3.2 공정별 조사내용	6
제2장. 일반현황	9
2.1 육상양식장 현황 및 실태조사	11
2.1.1 양식장 현황	11
2.1.2 어종별 현황	12
2.1.3 지역별 양식장 현황	13
2.2 대상지 선정	17
2.2.1 대상지 선정 요약	17
2.2.2 조사지구 선정 기준	17
2.2.3 조사지구 내역	19
2.3 지형 및 지질	22
2.3.1 지형특성	22
2.3.2 지질 및 지질구조	24
2.4 기초사 현황	26
2.4.1 수맥조사	26
2.4.2 해수침투조사	27
2.4.3 지하수기초조사	29

제3장. 지하수 개발·이용 방안	31
3.1 지하수 개발 현황	33
3.2 지하수 이용 현황	34
3.3 지하수 개발·이용 추이	35
3.3.1 개발·이용 추이	35
3.3.2 추세분석	37
제4장. 수리지질조사	39
4.1 지구물리탐사	41
4.1.1 탐사개요	41
4.1.2 탐사이론	43
4.1.3 조사방법	45
4.1.4 현장조사	45
4.1.5 탐사결과	48
4.2 시추조사	51
4.2.1 시추조사 개요	51
4.2.2 시추조사 결과	53
4.3 물리검층	55
4.3.1 물리검층 개요	55
4.3.2 물리검층 결과	55
4.4 양수시험	60
4.4.1 개요	60
4.4.2 이론	60
4.4.3 양수시험 결과	62
4.4.4 양수에 따른 영향예측 및 분석	71
4.4.5 잠재오염원에 의한 영향범위	74
4.5 지하해수 수질특성	80
4.5.1 시료채취 및 이화학 분석 방법	80
4.5.2 지하수 수질유형	81
4.5.3 지하해수 수질분석 결과 및 해석	82

4.6 지하해수 모니터링	92
4.6.1 지하해수 모니터링 개요	92
4.6.2 수위관측 결과	92
4.6.3 온도관측 결과	95
4.6.4 염도관측 결과	97
4.6.5 지하해수 관측 토의	99
제5장. 지하해수 개발·이용 방안	101
5.1 지하해수 조사 결과	103
5.1.1 대상 어가별 용수 소요수량	103
5.1.2 지하해수 산출 특성	104
5.2 개발·이용 계획	106
5.2.1 지하해수 개발 형태 분류	106
5.2.2 조사지역의 개발가능지점	114
5.2.3 개발·이용방안	114
5.3 지하해수 자원 현황	128
제6장. 농어촌지하수관리시스템	131
제7장. 종합결론	137
[용어설명]	143
[참고문헌]	151
[과업참여자]	159
[부 록]	163
지하해수 자원도, 어가현황, 물리탐사 위치도 및 해석도, 시추주상도, 양수 시험결과(해석도), 수질성적서/결과, 모니터링 자료	

표 목 차

<표 1-2-1> 전국 육상양식(종묘)장 현황	4
<표 1-2-2> 지하해수조사 대상지 현황	4
<표 1-2-3> 지하해수조사 지구 선정 기준	4
<표 2-1-1> 전국 시·도별 육상양식장 현황	11
<표 2-1-2> 어업종류별 어종현황	12
<표 2-1-3> 충청남도 소재 양식장 현황	13
<표 2-1-4> 전라남도 소재 양식장 현황	14
<표 2-1-5> 경상북도 소재 양식장 현황	15
<표 2-1-6> 경상남도 소재 양식장 현황	16
<표 2-2-1> 전국 조사 대상지구	17
<표 2-2-2> 지하해수 조사지구 선정 세부 기준 및 배점표	18
<표 2-2-3> 2010년 시행 10지구 현황	19
<표 2-2-4> 통산1지구 양식장 현황	20
<표 2-3-1> 통산1지구 선형구조의 방향별 연장선과 개수	24
<표 2-4-1> 국내 수맥조사 내역	26
<표 2-4-2> 통산1지구 수맥조사 현황	27
<표 2-4-3> 국내 해수침투조사 내역	28
<표 3-1-1> 통산1지구 지하수 개발·이용현황	33
<표 3-2-1> 통산1지구 공당·단위면적당 지하수 이용량 및 개발 밀도	34
<표 3-3-1> 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이	35
<표 3-3-2> 통산1지구의 지하수 시설수 및 이용량 추정	37
<표 4-1-1> 암석의 전기비저항	42
<표 4-1-2> 전기비저항탐사 내역	47

<표 4-1-3> 솔림버저 전기비저항탐사 내역	48
<표 4-1-4> 조사지구의 축선별 전기비저항 이상대 분포	49
<표 4-1-5> 전기비저항 수직탐사 결과표	50
<표 4-2-1> 통산1지구 시추조사 내역	51
<표 4-2-2> 조사공별 지층내역	52
<표 4-2-3> 통산1지구 시추조사 결과 요약	54
<표 4-3-1> 물리검층 결과표	56
<표 4-4-1> 조사공의 양수시험 결과	63
<표 4-4-2> 조사공의 수리상수 산출 결과	65
<표 4-4-3> 조사공의 영향반경 산출 결과	73
<표 4-4-4> 조사공의 포획구간 산출 입력 인자	74
<표 4-4-5> 포획구간 산출 결과 총괄	79
<표 4-5-1> 파이프 다이어그램 상의 영역별 수질 유형	82
<표 4-5-2> 통산1지구 기설관정 간이수질 조사 결과	83
<표 4-5-3> 통산1지구 지하수 및 지하해수 조사공 수질분석 결과	85
<표 4-5-4> 물비에 따른 지하수 및 지하해수 분류	88
<표 4-5-5> 통산1지구 시추조사공 수질분석 현황	89
<표 4-6-1> 통산1지구 시추조사공 월별 관측 결과	99
<표 5-1-1> 통산1지구 현황	103
<표 5-1-2> 통산1지구 내 양식장 현황	104
<표 5-1-3> 통산1지구 구역별 지하해수 산출특성	104
<표 5-2-1> 지하해수 신규 개발 규격 및 개략단가	108
<표 5-2-2> 지하해수 조사공 개발 규격 및 개략단가	110
<표 5-2-3> 통산1지구 시추조사공별 지층내역	111
<표 5-2-4> 방사상 집수정 개발 규격 및 개략단가	113

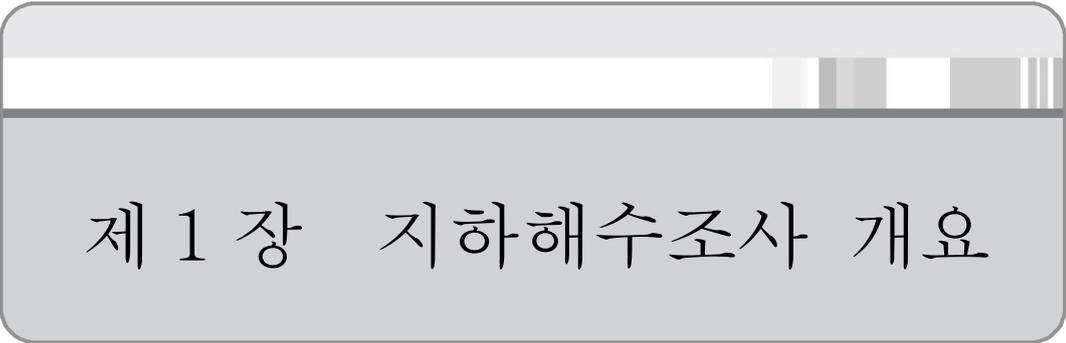
<표 5-2-5> 통산1지구 지하해수 개발 가능지점	114
<표 5-2-6> 지하해수 산출특성에 따른 이용방안	115
<표 5-2-7> 동절기 해수 가온 비용 및 지하해수 사용 시 필요 공수 예측	117
<표 5-2-8> 혼합 사용에 따른 온도와 염도 변화 비교	118
<표 5-2-9> 지중순환회로 형식에 따른 지열펌프 시스템의 분류	121
<표 5-2-10> 지열형식 비교	126
<표 5-2-11> 통산1지구 지하해수 오각도표 매점 기준	128

그 립 목 차

<그림 2-1-1> 전국 시·도별 육상양식장 현황	11
<그림 2-1-2> 어업종류별 어종 현황	12
<그림 2-1-3> 충청남도 소재 양식장 현황	13
<그림 2-1-4> 전라남도 소재 양식장 현황	14
<그림 2-1-5> 경상북도 소재 양식장 현황	15
<그림 2-1-6> 경상남도 소재 양식장 현황	16
<그림 2-2-1> 통산1지구 양식장 현황	21
<그림 2-3-1> 통산1지구 지형고도	22
<그림 2-3-2> 통산1지구 지형경사	23
<그림 2-3-3> 통산1지구 선형구조의 방향별 특성	24
<그림 2-3-4> 통산1지구 선형구조의 분포도	25
<그림 2-4-1> 통영시 산양읍의 지하수 기초사 현황도	29
<그림 3-1-1> 통산1지구 지하수 개소수 및 이용량 비율	34
<그림 3-3-1> 산양읍 전체 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이	36
<그림 3-3-2> 통산1지구 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이	36
<그림 3-3-3> 통산1지구 연도별 지하수 시설수 및 이용량 추정	37
<그림 4-1-1> 솔림버저배열 전기비저항 수직탐사 축선도	45
<그림 4-1-2> 통산1지구 물리탐사 축선 위치도	46
<그림 4-2-1> 시추조사 위치도	52
<그림 4-3-1> 물리검층 및 전기비저항 토모그래피 조사공 위치도	56
<그림 4-3-2> TSBH-01호공의 물리검층 결과	57
<그림 4-3-3> TSBH-04호공의 물리검층 결과	58
<그림 4-3-4> TSBH-05호공의 물리검층 결과	59

<그림 4-4-1> 통산1지구 양수시험 위치도	64
<그림 4-4-2> TSBH-01호공 양수시험 해석 결과도	66
<그림 4-4-3> TSBH-02호공 양수시험 해석 결과도	67
<그림 4-4-4> TSBH-03호공 양수시험 해석 결과도	68
<그림 4-4-5> TSBH-04호공 포획구간	69
<그림 4-4-6> TSBH-05호공 포획구간	70
<그림 4-4-7> TSBH-01호공 포획구간	75
<그림 4-4-8> TSBH-02호공 포획구간	75
<그림 4-4-9> TSBH-03호공 포획구간	76
<그림 4-4-10> TSBH-04호공 포획구간	76
<그림 4-4-11> TSBH-05호공 포획구간	77
<그림 4-4-12> TSBH-01, 02호공 포획구간(GPTRAC방법)	77
<그림 4-4-13> 조사공별 포획구간 현황도	78
<그림 4-5-1> 파이퍼 다이어그램을 이용한 유형분류	81
<그림 4-5-2> 통산1지구 기설관정 및 시추조사공 간이수질 측정위치도	84
<그림 4-5-3> 통산1지구 지하수의 Piper diagram	86
<그림 4-5-4> 통산1지구 지하수의 Stiff diagram	87
<그림 4-5-5> Ca/Cl, Na/Cl 몰비와 Cl이온 간의 상관관계	88
<그림 4-6-1> 조사공의 월별 수위 관측 결과	94
<그림 4-6-2> 조사공의 월별 온도 관측 결과	96
<그림 4-6-3> 조사공의 월별 염도 관측 결과	98
<그림 5-2-1> 개발 가능한 지하해수 관정 사진	107
<그림 5-2-2> 지하해수 개발·이용 표준도	109
<그림 5-2-3> 방사상 집수정의 개발 모식도	112
<그림 5-2-4> 지하해수 부존 및 개발이용 모식도	115

<그림 5-2-5> 기존 육상양식장 용수 공급 모식도	120
<그림 5-2-6> 히트펌프를 이용한 육상양식장 용수 공급 모식도	120
<그림 5-2-7> 개방형 1관정 시스템(Open loop 1 well system) 모식도	123
<그림 5-2-8> 수직밀폐형 시스템(Vertical Closed loop system)	124
<그림 5-2-9> 통산1지구 지하해수 조사분석도	130
<그림 5-2-10> 통산1지구 지하해수 자원도	130



제 1 장 지하해수조사 개요

제1장 지하해수조사 개요

지하해수조사사업은 해안·도서지역에서 지표지질, 지하수 및 시추조사를 통해 지하해수 개발가능적지를 조사하여 육상양식(종묘)어가에 지하해수 개발·이용방안을 제시하는 사업으로 농림수산식품부 주관으로 2010년 신규로 수행하는 사업이다. 향후 2014년까지 연차별 계획에 의거 총 50지구에 대한 지하해수 조사를 시행할 계획(제3차 수산진흥종합대책, 농식품부 추진과제)이다.

국내 연안마다 각각의 특징이 있는데 서·남해안은 조수 간만의 차가 크고 넓은 농업지역의 분포로 지하수 이용량이 많으며 동해안은 해안선이 단조롭고 수심이 깊으며 온도변화가 적다.

본 보고서는 2011년 조사 결과로서 서·남해안 및 동해안 남부 연안 충남, 전남, 경북, 경남지역 대상지구의 지하해수 부존성을 파악하고 개발가능적지를 조사하여 육상양식장에 적용 가능한 개발 계획 및 이용방안을 제시할 것이다.

1.1 사업목적 및 배경

우리나라 해안면 육상 해수양식(종묘)장은 해수를 직접 취수하여 운영하고 있어 적조, 이상해류 발생 및 사고 선박의 기름유출 등으로 매년 피해¹⁾가 빈발할 뿐만 아니라 동·하절기 온도 유지를 위한 가온·냉온에 필요한 유류비, 전기료 등의 막대한 유지비용²⁾이 필요하다. 즉 어종별, 치어와 성어에 따라 다르지만 대부분 겨울철 낮은 온도의 해수를 15℃ 전후로 가온하여 공급하고 여름철은 해수 원수를 사용하거나 때로는 높은 온도의 해수를 냉방기를 이용하여 온도를 낮춘다. 그 이유는 양식 어류는 적정 수온 범위에 들게 되면 성장이 촉진되어 체중 증가로 출하시기를 앞당길 수 있기 때문이다.

최근 고유가로 생산원가 상승 및 저가의 수입수산물의 국내시장 잠식확산 등의 위기상황을 맞아 수온과 수질이 일정한 지하해수의 개발가능성을 조사하여 생산원가절감을 통한 경쟁력 확보로 농어가 소득증대와 녹색양식어업의 활성화³⁾를 도모하기 위하여 지하해수조사사업을 시행하게 되었다.

1) '07년 적조피해액 : 28.3억원(넙치 26억원, 전복 1.5억원, 강도다리 76백만원)

2) 해수 직접 취수(종묘용수 4,000톤/일) 시 온도조절 비용 최대 2억원/월 사용

3) 제주도의 경우 육상양식장 대부분(65%)이 지하해수 개발로 원가절감 및 타지역 대비 성장기간 6개월 단축

지하해수조사사업 보고서

1.2 사업대상 및 규모

1.2.1 사업대상

전국 육상양식(종묘)어가 2,034개소(양식 782개소, 종묘 1,252개소) 중 전국 읍면단위 양식 또는 종묘시설 50지구(5년간)를 선정하였다. 지구선정은 해안선을 따라 2~3km 이내에 육상양식(종묘)어가 밀집지역 중 지하해수 수요가 있는 지역을 조사지구로 선정하였다.

<표 1-2-1> 전국 육상양식(종묘)장 현황

구분	계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
합계	2,034	20	49	109	29	1,212	114	501
종묘	1,252	19	37	104	14	703	45	330
양식	782	1	12	5	15	509	69	171

※ 자료출처('09.11) : 지자체 및 국립수산물과학원(제주도 및 축제식 제외)

<표 1-2-2> 지하해수조사 대상지 현황

구분	계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
대상지구 (%)	126 (100)	1 (0.8)	2 (1.6)	8 (6.3)	1 (0.8)	64 (50.8)	13 (10.3)	37 (29.4)
2010년	10	1	-	2	1	6	-	-
2011년	8	-	-	1	-	4	1	2

1.2.2 지구선정 기준

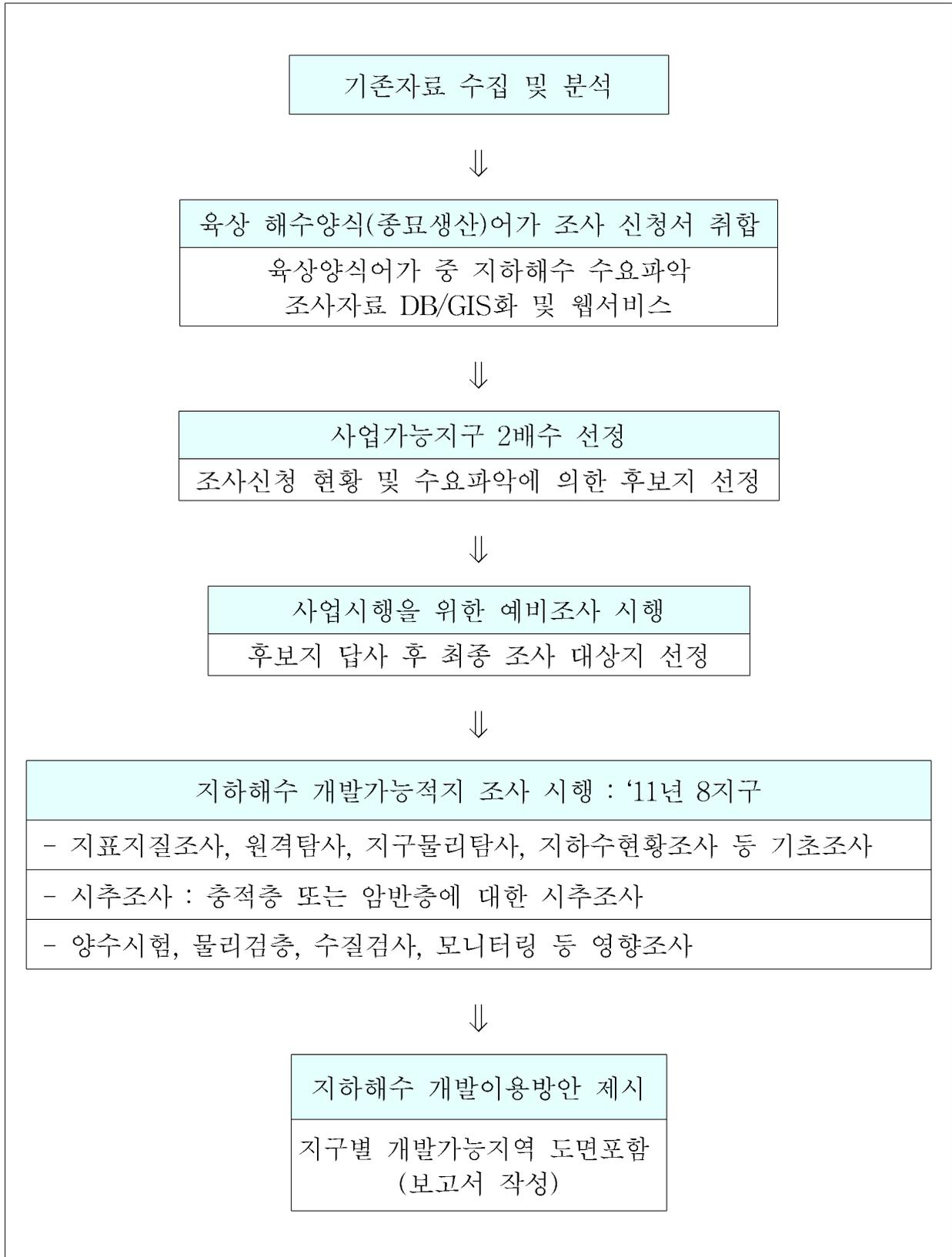
지하해수 개발타당성에 대한 조사지구 설정을 위하여 읍면별 지구특성, 지질 특성, 사업여건 등의 계량평가와 지자체별 양식장 분포수에 대한 가중치, 답사를 통한 비계량 평가를 종합하여 지구를 선정하였다.

<표 1-2-3> 지하해수조사 지구 선정 기준

평가항목	배점(점)	세부항목	비고	
계량	지구특성	50	용수확보, 어업종류, 신청서 회수율	양식장DB
	지질특성	25	대표지질, 층적층심도, 선구조발달, 지하수 산출량	지질도, 개발DB, 위성영상
	사업여건	25	지구접근 용이성, 기존조사자료 유무	위성자료, 개발실적자료
	양식장 분포	10	지자체별 양식장 분포 수	가점
비계량	답사평가	100	해당지자체 및 양식어가 호응도, 해안과의 거리 등	답사자료

1.3 과업수행 체계

1.3.1 조사공정별 흐름도



지하해수조사사업 보고서

1.3.2 공정별 조사내용

■ 실태조사

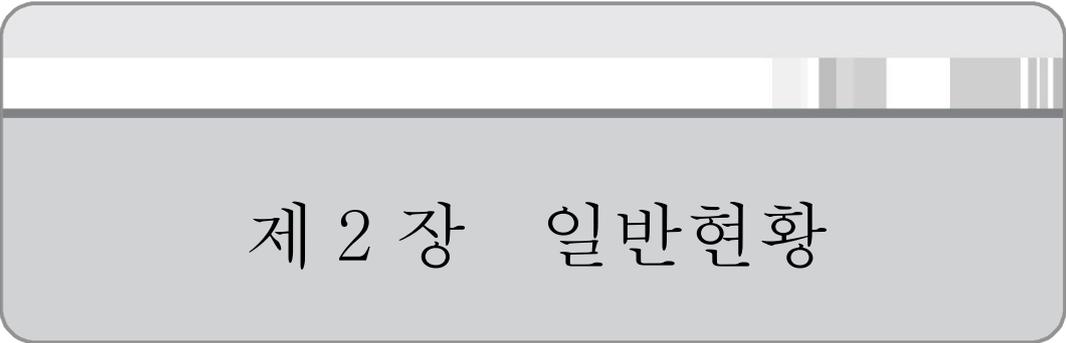
공 종	조 사 내 용
관련기관 협의	·사업대상 예정지(2배수) 답사 및 협의 ·조사대상지의 행정기관(시·군)을 방문하여 사업설명 및 업무협의
기존자료 수집분석	·육상양식어가 현황, 해안지하수 개발 이용 현황, 지하수 및 지하 해수 이용현황, 해수침투 관측망 현황, 지하해수 수요조사 등
육상양식장 실태조사 및 지하해수 활용 효과분석(용역)	·2년간 2,034개소('10 : 1,000, '11 : 1,034) 실태조사 ·실태조사를 근거로 지하해수조사 대상지구 선정 ·지하해수 활용에 따른 에너지절감 등 효과분석 ·조사완료 후 DB/GIS화하여 웹사이트 자료등록

■ 개발타당성조사(기초조사)

공 종	조 사 내 용
지표지질조사	·기 발간된 지질도를 기초로 분포지질 및 지질의 연속성, 지질구조, 기반암 및 미고결층의 분포 및 규모를 파악
원격탐사	·인공위성 영상자료를 이용하여 지하수의 유동에 관련된 지질 구조를 조사·추출
GPS정밀측위조사	·시추공 및 주요기준점에 대해 GPS정밀측위로 공간적Data Base 자료(GIS)로 구축
지구물리탐사	·단층, 지질경계 등의 지질구조대와 선구조 추출결과의 확인방법 으로 지하해수 개발가능성 판단 ·해안가의 높은 전기전도도를 고려하여 단극배열방식을 사용 ·지형적 제한요소 파악 후 쌍극자탐사 및 수직탐사의 격자망 시행 ·지점별, 심도별 이상대 구간의 입체적 분석
지하수현황조사	·지자체 지하수 인·허가 자료 중 염도에 의한 원상복구 실적파악 및 자료수집→지구물리탐사 시 활용 ·조사대상지구 인근에 기개발된 지하수관정에 대한 현황 파악 및 지하수위 및 현장수질(pH, EC, 온도)측정

■ 개발타당성조사(시추조사 및 영향조사)

공 종	조 사 내 용
시추조사	<ul style="list-style-type: none"> ·기 실시한 지표지질조사, 지하수현황조사 및 물리탐사 등을 근거로 시추조사 위치 결정 ·충적층 시추조사는 200mm구경, 40m심도를 기본 ·암반층 시추조사는 200mm구경, 100m 심도를 기본으로 지구별1공은 250m심도 추진 ·여건 허용시 공유수면 내 시추추진 <ul style="list-style-type: none"> - 개발을 위한 선행 부존성 조사 목적에 따라 검토 ·일정량 이상 산출 시 스테인레스 보호함을 설치하여 관리
양수시험	<ul style="list-style-type: none"> ·조사지역의 대수층 수리상수(투수량계수, 저류계수) 산정 ·개발시 적정이용량 산출 및 용출온도 및 수질측정
물리검층	<ul style="list-style-type: none"> ·암반시추공을 대상으로 시추공 내의 심도에 따른 대수층 및 온도, 수질 등을 파악
수질검사	<ul style="list-style-type: none"> ·먹는 물 수질검사 항목
양음이온분석	<ul style="list-style-type: none"> ·지하해수 수질유형 파악 및 정밀수질특성 파악
주변영향조사	<ul style="list-style-type: none"> ·해당지구 지하해수 개발에 따른 주변 지하수오염, 지반침하 등에 대한 영향조사(양수시험 및 제반 사항 파악)
모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ·개발가능공을 대상으로 자동 수위 및 수질(온도, EC)측정장치 설치 ·조수간만의 차, 계절적인 변화 등에 따른 수위 및 수질, 온도변화를 장기적으로 관측



제 2 장 일반현황

제2장 일반현황

2.1 육상양식장 현황 및 실태조사

2.1.1 양식장 현황

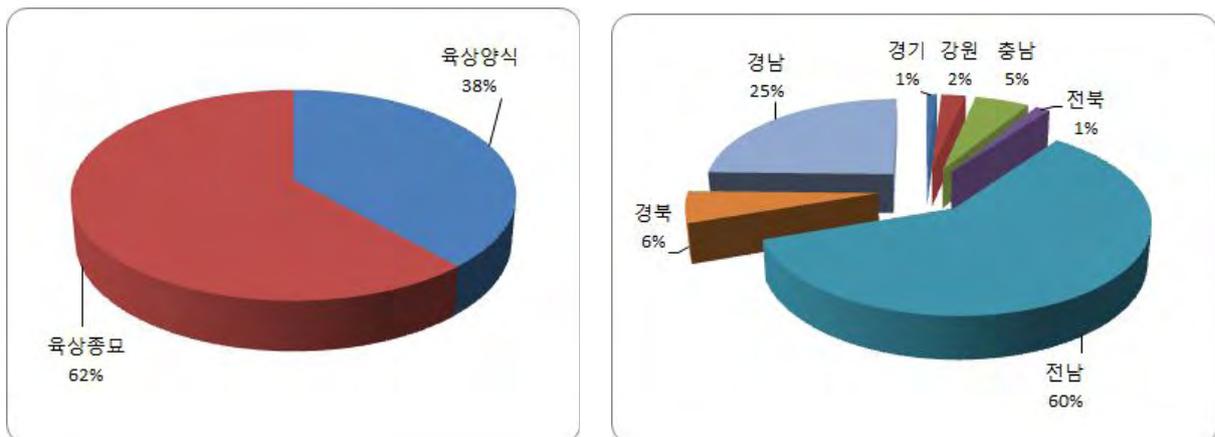
2009년 11월 말 현재 전국의 육상양식장은 제주 417개소 및 축제식 523개소를 제외하고 총 2,034개소(양식 782개소, 종묘 1,252개소)로서 해안 및 도서지역에 있으며 그중 육상종묘 양식장이 62%의 비중을 차지하고 있다.

전국 양식장 중 전남에 60%가 밀집해 있으며, 경남 25%, 경북 6%, 충남 5% 순으로 분포하고 그 외 지역은 분포도가 낮다.

<표 2-1-1> 전국 시·도별 육상양식장 현황

구분	계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
소계	2,034	20	49	109	29	1,212	114	501
육상양식	782	1	12	5	15	509	69	171
육상종묘	1,252	19	37	104	14	703	45	330

※ 자료출처 : 지자체 및 국립수산과학원('09.11)



<그림 2-1-1> 전국 시·도별 육상양식장 현황

지하해수조사사업 보고서

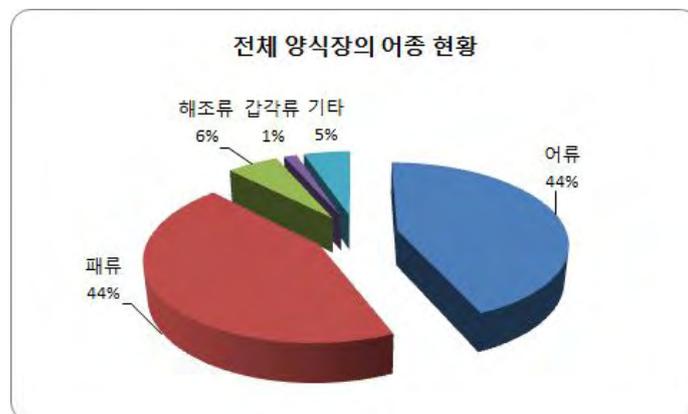
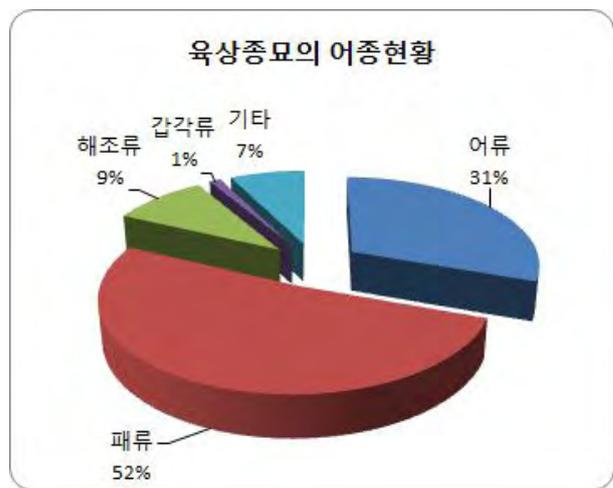
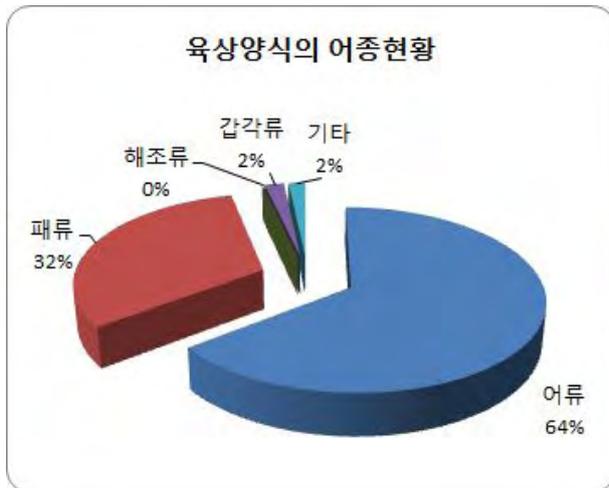
2.1.2 어종별 현황

양식장 내 어종은 그 종류가 매우 다양하여 크게 5가지로 분류하였다. 어류(넙치, 우럭, 돔, 조피볼락 등), 패류(전복, 굴, 조개류 등), 갑각류(새우, 꽃게 등), 해조류(김, 미역, 다시마 등), 기타(해삼, 멍게, 낙지, 갯지렁이 등)이다.

전체 양식장에서 양식하고 있는 대표 어종은 각각 44%로 나타나는 어류와 패류이고, 어업종류에 따라 육상양식장에서는 어류, 육상종묘장에서는 패류가 대표 어종으로 나타난다.

<표 2-1-2> 어업종류별 어종 현황

구분	계	어류	패류	해조류	갑각류	기타
소계	2,034	886	895	118	29	106
육상양식	782	505	249	0	15	13
육상종묘	1,252	381	646	118	14	93



<그림 2-1-2> 어업종류별 어종 현황

2.1.3 지역별 양식장 현황

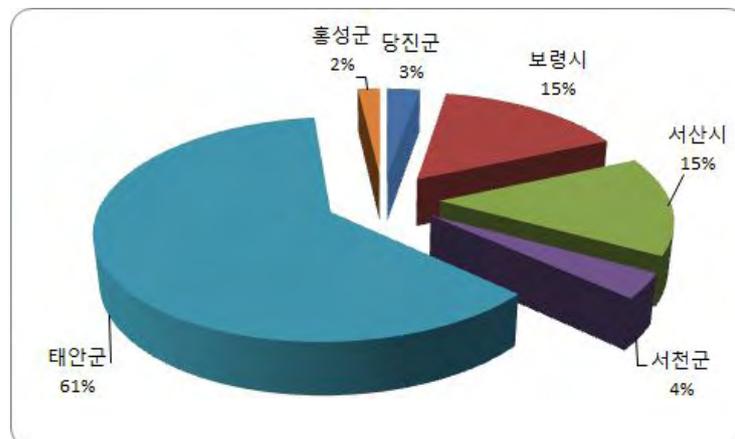
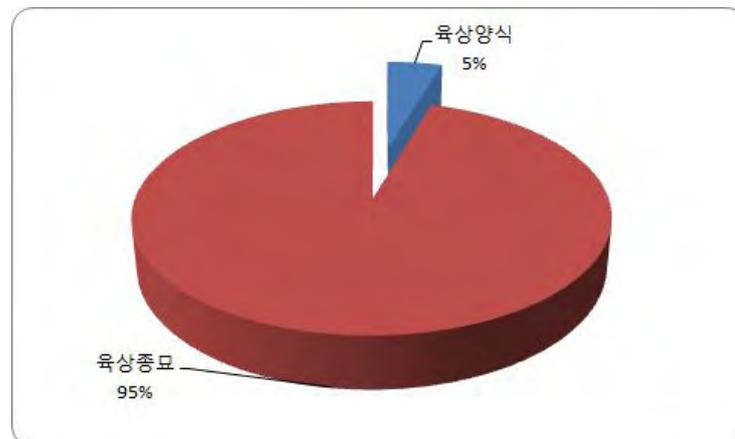
전국 양식장 현황을 기준으로 충청남도, 전라남도, 경상북도, 경상남도 지역에 대하여 어업종류, 양식장 규모양식 그리고 어종을 분류하여 지구선정에 활용하였다.

1) 충청남도

충청남도 소재 양식장 중 95%가 육상종묘장이며, 세부 지역별로는 태안군, 보령시, 서산시가 상대적으로 많은 양식장이 소재해 있다.

<표 2-1-3> 충청남도 소재 양식장 현황

구분	계	당진군	보령시	서산시	서천군	태안군	홍성군
소계	109	3	17	16	4	67	2
육상양식	5	0	1	1	0	2	1
육상종묘	104	3	16	15	4	65	1



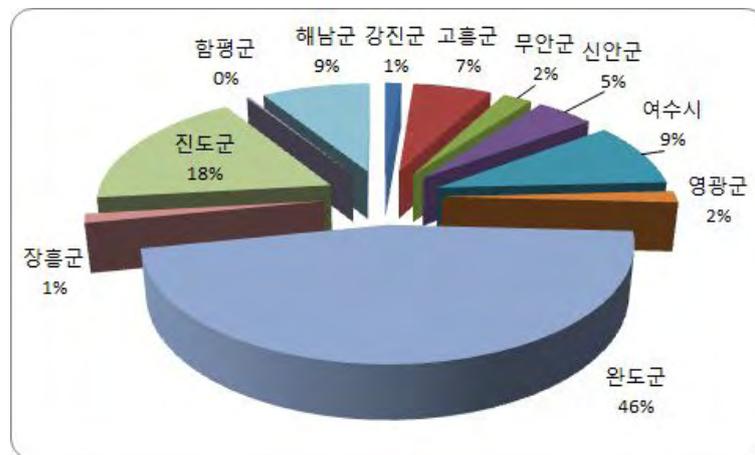
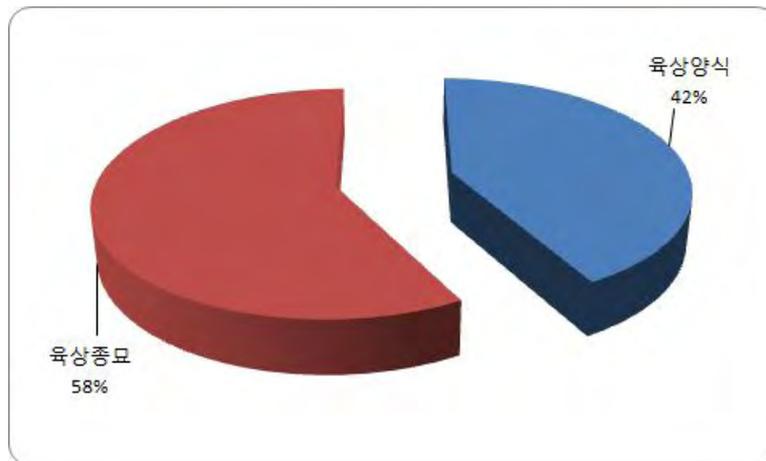
<그림 2-1-3> 충청남도 소재 양식장 현황

2) 전라남도

전라남도 지역은 국내 양식장의 60%가 밀집해 있고 여러 시·군 지역에서 양식업이 성행하고 있으며, 그 중 완도군에 전남지역의 절반에 가까운 양식장이 밀집해 있다. 어업종류로는 절반 이상이 육상종묘를 하고 있는 것으로 나타났다.

<표 2-1-4> 전라남도 소재 양식장 현황

구분	계	강진군	고흥군	무안군	신안군	여수시	영광군	완도군	장흥군	진도군	함평군	해남군
소계	1,212	16	78	29	57	113	20	558	16	215	3	107
육상양식	509	3	33	4	13	54	0	334	13	30	0	25
육상종묘	703	13	45	25	44	59	20	224	3	185	3	82



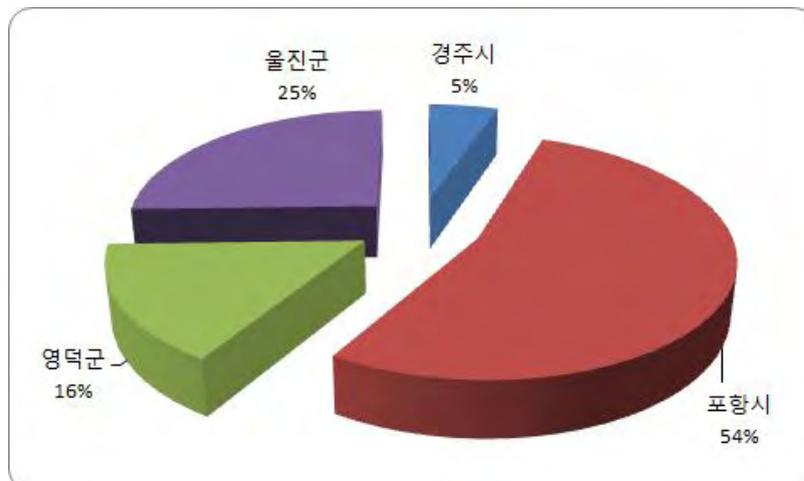
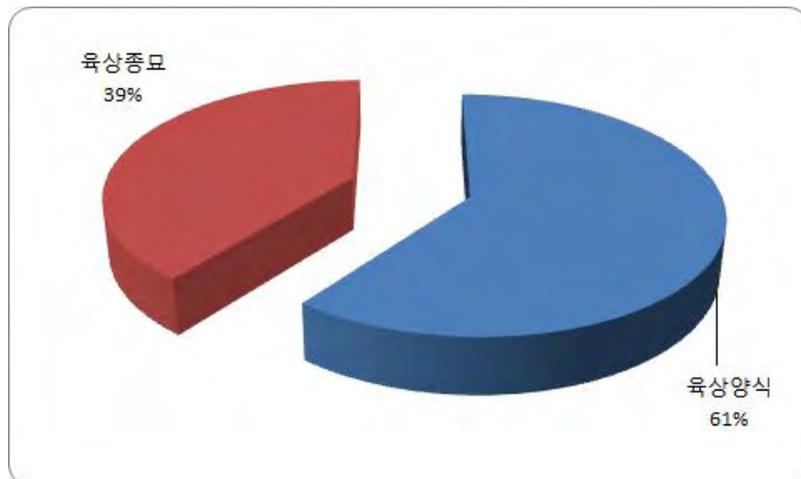
<그림 2-1-4> 전라남도 소재 양식장 현황

3) 경상북도

경상북도 지역은 114개소의 양식장 중 육상종묘가 45개소, 육상양식이 69개소가 있으며, 포항시가 가장 많은 양식장이 분포하고 있다.

<표 2-1-5> 경상북도 소재 양식장 현황

구분	계	경주시	포항시	영덕군	울진군
소계	114	6	61	18	29
육상양식	69	3	50	16	-
육상종묘	45	3	11	2	29



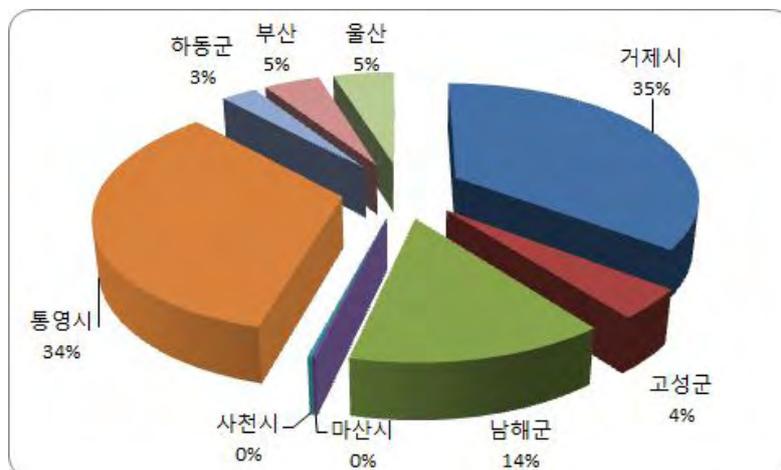
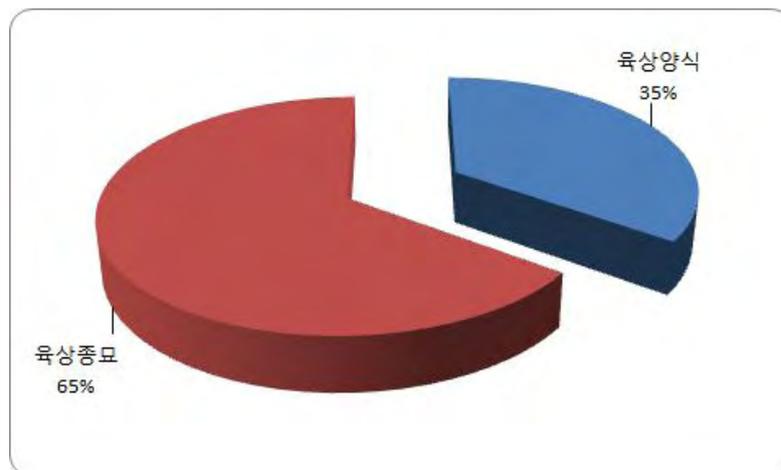
<그림 2-1-5> 경상북도 소재 양식장 현황

4) 경상남도

경상남도 지역은 국내 양식장의 25%가 밀집해 있고 여러 시·군 지역에서 양식업이 성행하고 있으며, 그 중 거제시와 통영시에 경남지역의 69% 이상이 밀집해 있다. 어업종류로는 65% 이상이 육상종묘를 하고 있는 것으로 나타났다.

<표 2-1-6> 경상남도 소재 양식장 현황

구분	계	거제시	고성군	남해군	마산시	사천시	통영시	하동군	부산	울산
소계	501	177	21	71	1	1	170	14	22	24
육상양식	175	55	12	34	1	-	39	3	19	12
육상종묘	326	122	9	37	-	1	131	11	3	12



<그림 2-1-6> 경상남도 소재 양식장 현황

2.2 대상지 선정

2.2.1 대상지 선정 요약

조사 대상 지구는 전국의 허가·신고된 양식장이 위치하는 182개 읍면 중 읍면별 평균 양식어가수 11개소 이상을 갖는 50개 읍면을 선정하였다. 이는 양식장 밀집도, 지구접근 용이성 등을 판단하여 선정하였다. 한편, 50개 읍면에 포함되지 않는 지역 중에서 인접한 읍면을 묶어 대상지로 포함시키거나, 평균보다 적은 양식어가수를 갖는 지역이더라도 부존성 확보를 통해 잠재적 양식어가 지원 및 양식업 육성 가능지역도 대상지에 포함하였다. 그리고 대상 읍면 면적이 넓고 대상어가가 30개소 이상인 경우에는 개소수가 밀집한 지역끼리 나누어 지구를 분할하여 총 126개의 대상지를 선정하였다.

대상지 선정결과 지역 소재지 양식장 수에 비례하여 전남과 경남지역에서 전국 조사 대상지구 중 80% 이상을 차지할 정도로 높은 분포를 보인다.

<표 2-2-1> 전국 조사 대상지구

구분	계	경기	강원	충남	전북	전남	경북	경남
대상지구	126	1	2	8	1	64	13	37
(%)	(100)	(0.8)	(1.6)	(6.3)	(0.8)	(50.8)	(10.3)	(29.4)

※ 선정된 대상지 중 인천광역시는 경기도, 부산광역시와 울산광역시는 경남에 편입하였음.

2.2.2 조사지구 선정기준

조사지구 선정을 위한 배점(200점) 항목은 계량평가(100점)와 비계량평가(100점)로 구분하였다. 계량평가 항목인 지구특성(50점), 사업여건(25점), 지질특성(25점)으로 구분하였으며 가점사항으로는 지자체별 양식장 분포수에 대하여 가중치를 부여하여 사업의 형평성을 높이하고자 하였다. 비계량평가는 계량평가에 의하여 선정된 지역별 우선순위에 입각하여 3배수의 후보지를 선정하고, 지자체 및 어가 호응도, 해안과의 거리 등 지구별 답사를 통한 점수를 부여하였다. 최종적으로는 계량평가와 비계량평가의 합산 점수 중 지역별 우선순위에 따라 최종 조사지구를 선정하였으며, 조사대상지 선정 기준은 <표 2-2-2>와 같다.

지하해수조사사업 보고서

<표 2-2-2> 지하해수 조사지구 선정 세부 기준 및 배점 표

구분	배점	범위	점수	범위	점수	범위	점수	비고	
계	200								
계량	지구특성	50							
	용수확보 시급성	25	서해·서남해안	25	남해안	10	동해안	5	
	어업종료 비율 (양식/종묘)	10	종묘 67%이상 양식 33%미만	10	종묘 66~34% 양식 34~66%	7	종묘 33%미만 양식 67%이상	5	
	시설규모(수조면적)	5	500~2,000m ²	5	2,000m ² 이상	3	500m ² 미만	1	실질적 양식어가
	양식단지 또는 연구시설 계획 여부	5	현재 추진 및 계획 수립	5			없음	0	
	조사신청 회수비율	5	67%이상	5	66~34%	3	66~34%	1	
	사업여건	25							
	지구접근용이성	15	내륙	15	도서(도로연결)	5	도서	-10	장비이동 제한사항
	기존조사자료 유무	10							
	수백조사지구수	3	5지구 이상	3	1-5 지구	2	미조사	1	
	농촌지하수관리 등	4	조사	4			미조사	1	
	해수침투조사 등	3	조사	3			미조사	1	
	지질특성	25							
	대표 지질	5	화성암 및 퇴적암계열	5			변성암계열	1	
	지질여건	20							
	층적층두께	10	20m이상	10	10-20m	5	0-10m	1	층적개발
	지하수산출량	10	150m ³ /일 이상	10	100-150m ³ /일	5	100m ³ /일 미만	1	
지자체별 양식장 분포	10	300개 이상	10	100-300개	5	100개 미만	0	가점	
비계량	답사 평가	100							
	해당어가 호응도	20	좋음	20	보통	10	나쁨	0	개발여건
	지자체 호응도	20	좋음	20	보통	10	나쁨	0	"
	해안과의 거리	30	500m 이상	30	100~500m	20	100m 미만	10	설편물 시
장비투입 용이성	30	투입 양호	30	보통	15	투입불량	0		

2.2.3 조사지구 내역

금번 조사지구는 선정기준에 따른 배점이 높은 지구를 우선 선정하였으나 양식장이 상대적으로 많이 모여 있는 일부 지역으로의 집중되는 것을 우려, 지역별 형평성을 고려하여 시·군별 한 지구씩으로 제한하여 조사지구를 선정하였으며 선정된 조사지구는 <표 2-2-3>과 같다.

<표 2-2-3> 2011년 시행 10지구 현황

시도	시군	읍면	지구명	점수 합계 (100점 기준)	양식 장수	어업 종류	해안 까지 거리 (m)	접근 용이성	기초조사			대표 지질	총적층 두께(m)	지하수 산출량 (m ³ /일)
									수맥조사 지구수	지하수 조사여부	해수침투 조사여부			
충남	태안군	남면	태남	74.5	19	종묘	400	내륙	3	미조사	미조사	변성 암류	14	110
전남	영광군	백수읍	영백	82.5	7	종묘	2,000	내륙	7	조사	조사	화성 암류	12	133
	무안군	해제면	무해	76.2	6	종묘 양식	2,500	내륙	10	조사	미조사	화성 암류	3	100
	완도군	군외면	완군2	75.2	13	종묘 양식	500	연륙도	9	미조사	조사	화성 암류	6	151
	강진군	마량면	강마	74.3	18	종묘 양식	80	내륙	2	미조사	미조사	화성 암류	4	155
경북	영덕군	병곡면	영병	65.1	9	종묘 양식	70	내륙	8	미조사	미조사	화성 암류, 퇴 암류	37	288
경남	거제시	둔덕면	거둔1	74.3	10	종묘 양식	80	연륙도	8	조사	미조사	화성 암류	23	196
	통영시	산양읍	통산1	73.4	11	종묘 양식	80	연륙도	6	미조사	미조사	화성 암류	12	134

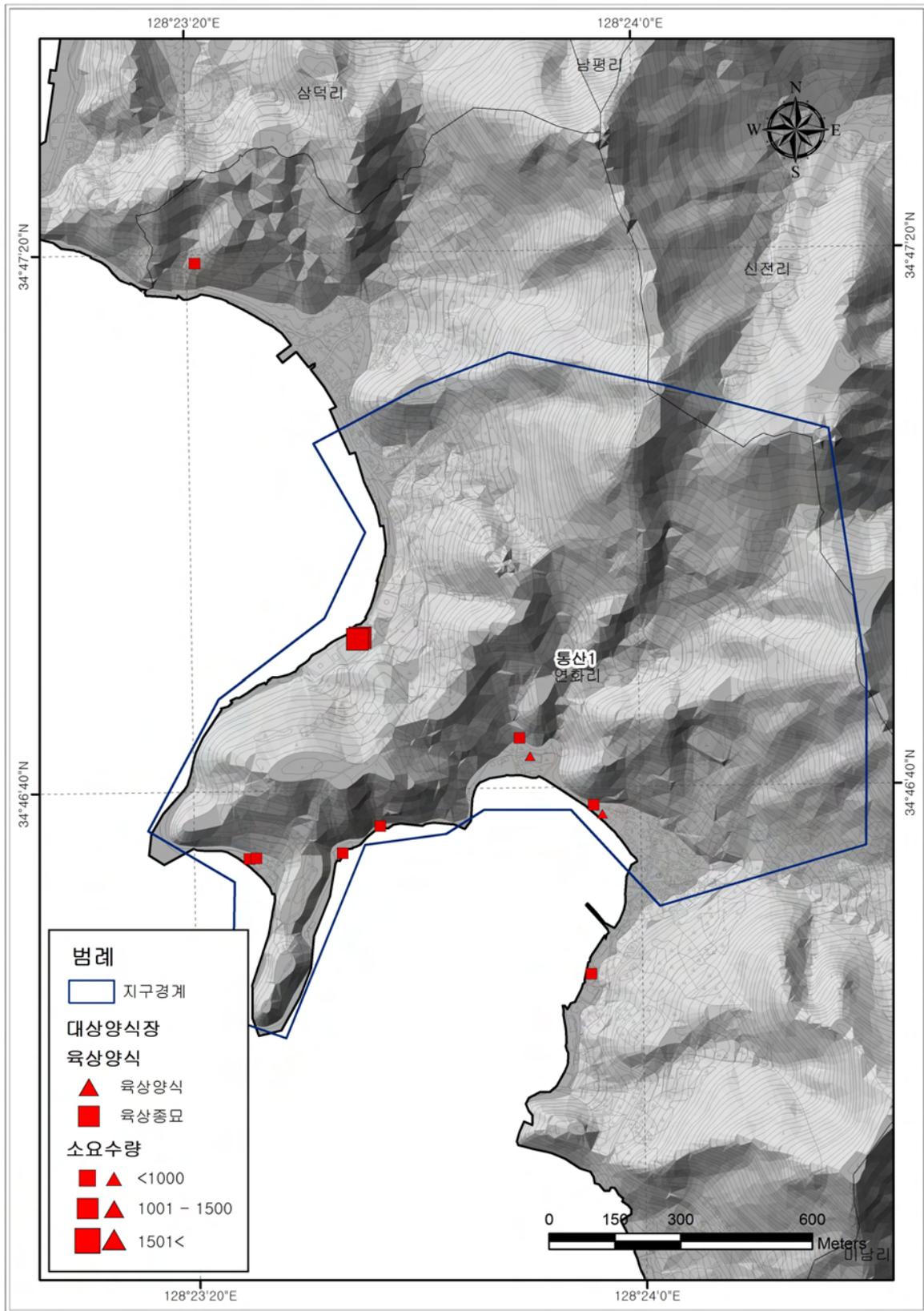
※ 양식장 수 및 어업종류는 허가 및 신고 내역(2009년말 기준 자료)을 참고하였음

지하해수조사사업 보고서

통산1지구는 경상남도 통영시 산양읍에 위치하고 있고 지구 내 양식장은 11 개소가 있으며, 모두 개인 운영 양식장이다. 어업 종류로는 양식과 종묘생산을 하고 있고 대표 어종으로는 어류, 전복 등이다.

<표 2-2-4> 통산1지구 양식장 현황

ID	주 소	부지면적 (m ²)	수조면적 (m ²)	소요수량 (m ³ /일)	어업종류	대표어종
GSW0365	산양면 연화리 1079	3,340	2,100	2000	육상종묘	어류,해삼
GSW0366	산양면 연화리 1079	3,225	2,628	2000	육상종묘	어류,해삼
GSW0380	산양면 연화리 1196	213	120	400	육상종묘	어류
GSW0387	산양면 연화리 426-4	114	71	300	육상종묘	멍게
GSW0388	산양면 연화리 1191	554	331	600	육상종묘	전복
GSW0394	산양면 연화리 432	608	400	800	육상종묘	전복
GSW0406	산양면 연화리 1153	66	59	100	육상종묘	멍게
GSW0410	산양면 연화리 203	182	96	300	육상종묘	전복
GSW0415	산양면 연화리 1170	239	160	400	육상종묘	멍게,전복
GSW0428	산양면 연화리 632	509	190	600	육상종묘	어류,해삼
GSW0437	산양면 연화리 433-3	569	236	600	육상양식	어류
GSW0440	산양면 연화리 422-11	180	120	300	육상양식	전복



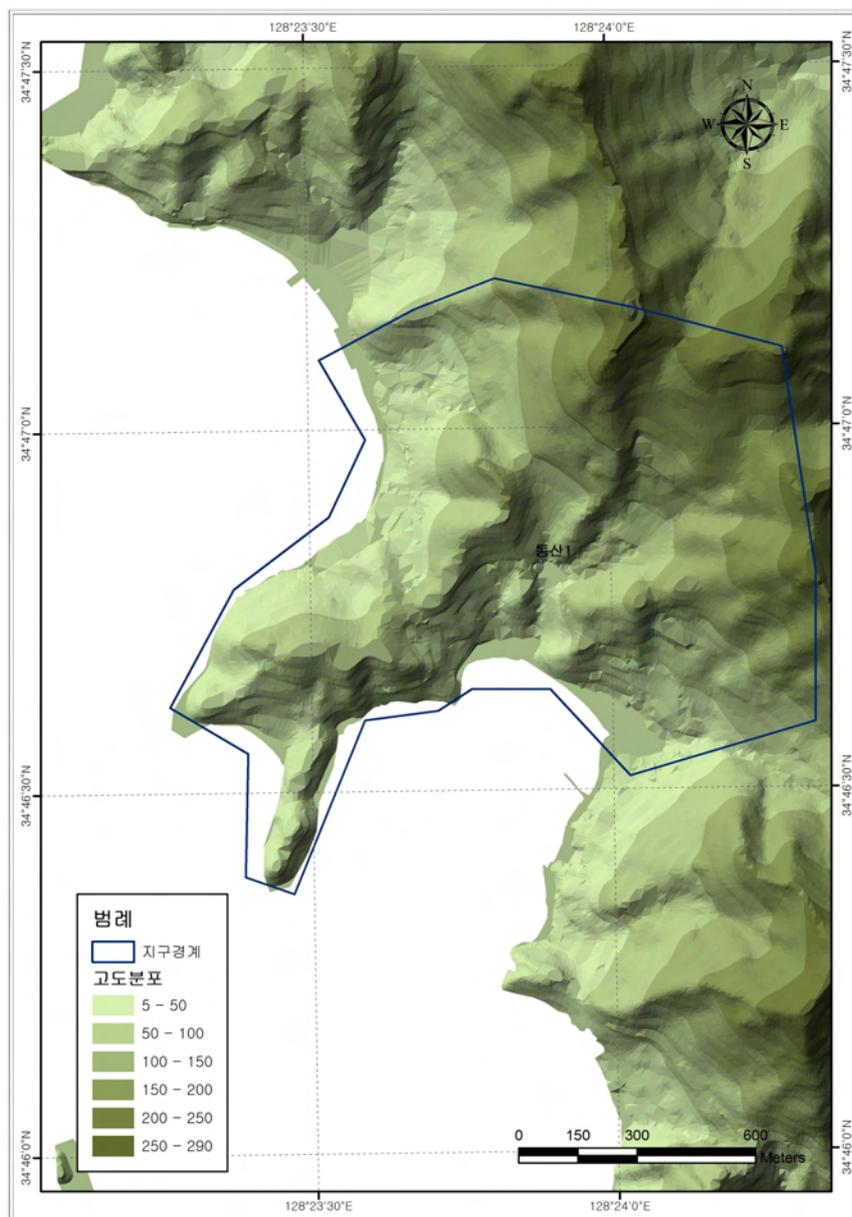
<그림 2-2-1> 통산1지구 양식장 현황

2.3 지형 및 지질

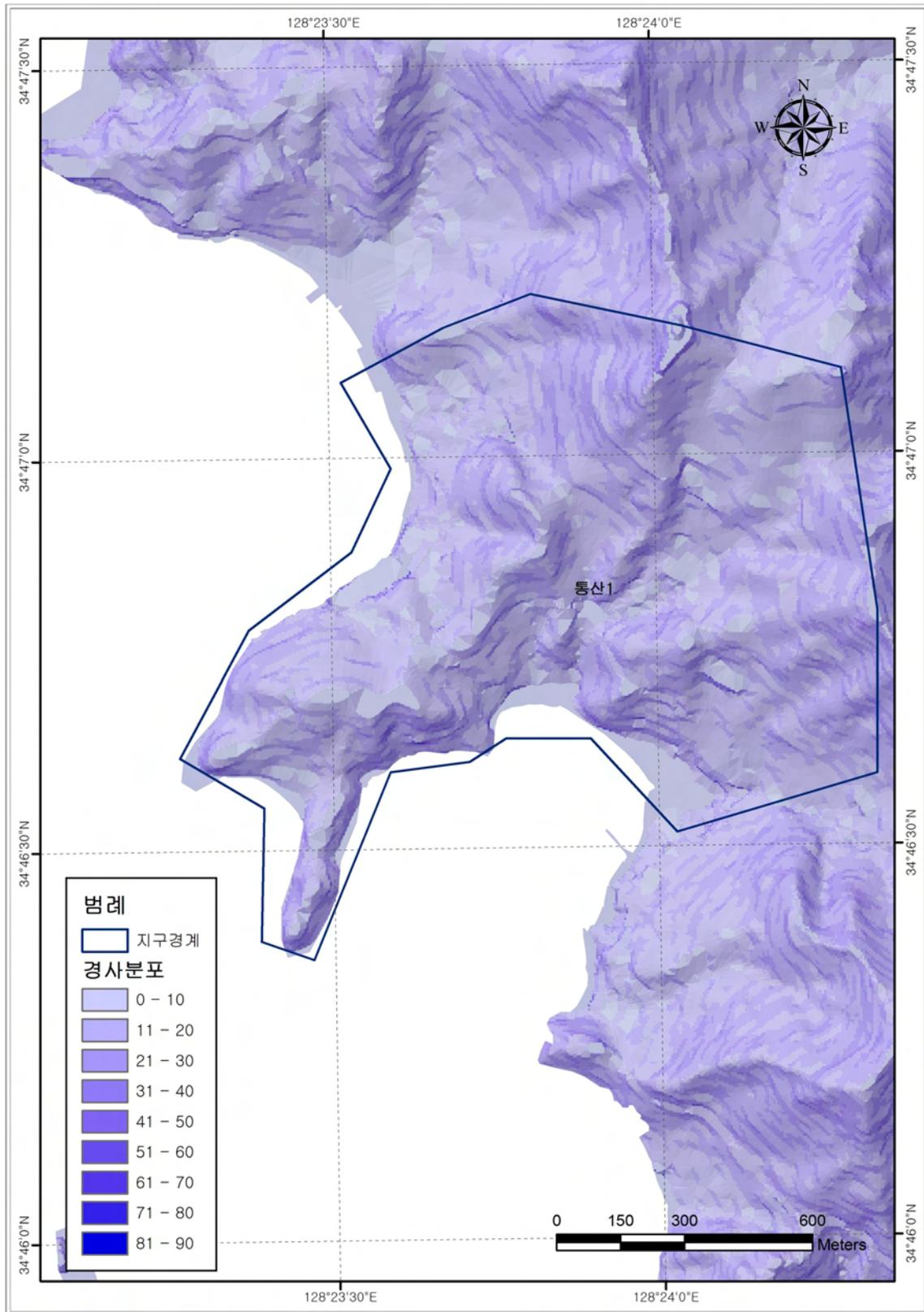
2.3.1 지형특성

지형은 남동쪽에 망산(△254.9m)이 위치하고 있으며 리아스식 해안가의 일부를 제외하고는 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 산지지형의 특성을 보인다. 그리고 북동쪽 방향의 좁고 긴 지형의 농경지가 서쪽에 발달하고 있다.

지형고도는 대체로 EL. 200m 미만의 산지가 많이 나타나며, EL. 200m이하의 고도가 85.6%로 거의 대부분을 차지하고 있다.



<그림 2-3-1> 통산1지구 지형고도



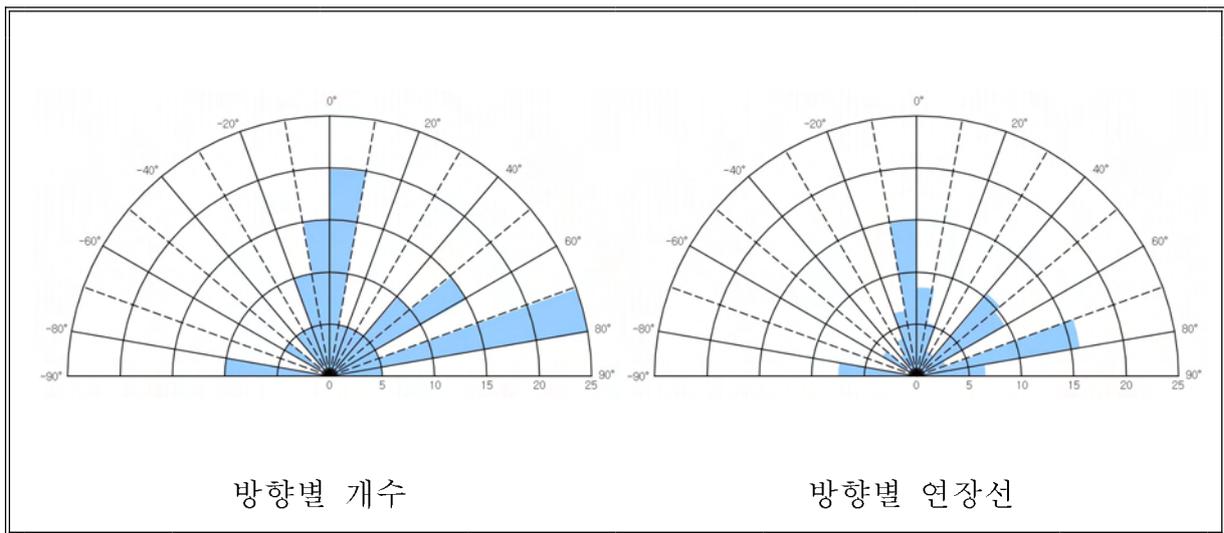
<그림 2-3-2> 통산1지구 지형경사

2.3.2 지질구조

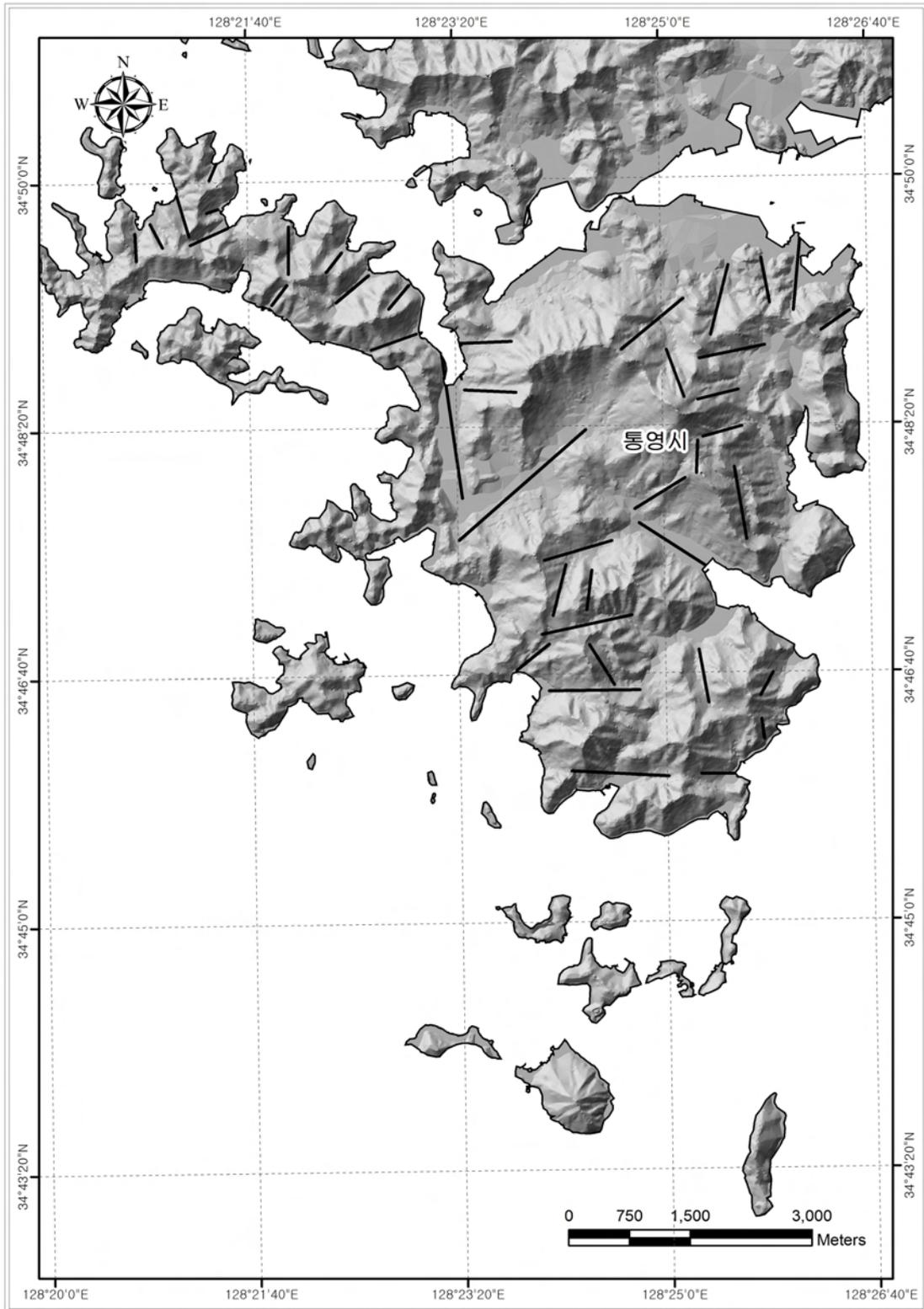
조사지구 내 선형구조 개수는 총 41개, 총 연장은 28.7km 이며, 선형구조의 최소연장은 0.5km, 최대연장은 4.6km, 평균연장은 2.0km 이다. 빈도분석 결과 선형구조의 개수와 연장성 모두 N70~80E가 가장 우세한 것으로 나타났다.

<표 2-3-1> 통산1지구 선형구조의 방향별 연장선과 개수

방향(°)	-90~80	-80~70	-70~60	-60~50	-50~40	-40~30	-30~20	-20~10	-10~0	계
길이(km)	2.4	0.0	0.0	1.0	0.0	0.6	1.0	1.8	4.3	28.7 km
개수	3	0	0	1	0	1	2	3	4	
방향(°)	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	41개
길이(km)	2.4	1.5	0.6	0.6	3.0	2.7	0.5	4.6	1.8	
개	4	2	2	2	3	4	1	7	2	



<그림 2-3-3> 통산1지구 선형구조의 방향별 특성



<그림 2-3-4> 통산1지구 선형구조(lineament) 분포도

2.4 기초조사 현황

기존 지하수 조사 현황은 지하수법 제정 이전인 '93년까지는 수맥조사 자료가 대부분이며, 지하수법이 제정된 '94년 이후부터 지하수기초조사, 지하수영향조사 등에 의한 지하수조사가 시행되었다. 조사지역에 대한 지하수 조사 현황은 다음과 같다.

2.4.1 수맥조사

수맥조사는 지표수 개발이 불리한 농어촌 지역에 대한 지대별 지하수 부존량을 파악하여 향후 지하수개발계획 수립 및 지하수자원의 효율적인 보전·관리에 필요한 제반 자료를 제시함으로써 농어촌지역에 필요한 생활, 환경용수, 농어업용수 및 산업용수의 효율적인 개발을 도모하고자 시행하였다.

특히, 평시에 가뭄상습지역 등의 지역에 대한 지하수 부존상태, 개발가능량 등을 미리 조사하고 수맥도를 작성하여 향후 가뭄발생시 긴급 지하수개발 추진 등 지하수개발 예정지 판단의 기초자료로 활용하고 지하수개발이 주변지역 환경에 미치는 영향을 사전에 조사함으로써 농어촌지역 지하수 장애 예방과 합리적인 지하수 개발을 추진하는데 그 목적을 갖고 1982년도에 착수한 이래 2006년 말 현재까지 총 7,763지구 119,212ha에 걸쳐 조사가 완료되었다.

<표 2-4-1> 국내 수맥조사 내역

(단위 : ha)

도별	총 계획	'06년까지 조사실적			잔여 조사면적
		지구	면적	계획대비 실적(%)	
계	140,212	7,763	119,212	85.0	21,000
경 기	16,617	624	13,996	84.2	2,621
강 원	11,209	572	9,559	85.3	1,650
충 북	10,860	705	9,212	84.8	1,648
충 남	18,172	940	15,416	84.8	2,756
전 북	18,992	1,452	16,224	85.4	2,768
전 남	23,782	1,205	20,064	84.4	3,718
경 북	20,469	1,259	17,585	85.9	2,884
경 남	20,111	1,006	17,156	85.3	2,955

통산1지구가 포함되는 경상남도 통영시 산양읍의 수맥조사는 총 3개 지구 5개 지역에서 시행되었으며, 조사면적 64ha에 대하여 3공의 시추조사를 실시하였다. 본 조사지역 내에 해당되는 지구는 없었으나 인접하여 3지구가 조사되었으며 그 내역은 <표 2-4-2> 및 <그림 2-4-1>과 같다.

<표 2-4-2> 통산1지구 수맥조사 현황

읍면	동리	지구명	조사년도	조사면적 (ha)	물리탐사 (점)	시추공번	산출량 (m ³ /일)
산양읍	명진	남송	1999	20	10	B-1	113
	내간	내간	2003	18	17	B-1	173
	옥산	귀목정	1986	12	8	B-1	20
			1986	12	11	B-2	100
	외간	도름들	1988	6	4	B-1	288
	방하	방하	1996	15	10	B-1	200
	산방	산방	1995	25	10	B-1	250
	시목	시목	2004	25	10	B-1	80
시목	시목	1988	6	4	B-1	253	

2.4.2 해수침투조사

해수침투조사는 해안 및 도서지역 지하수에 대한 장기관측을 실시, 지하수개발 이용으로 인한 해수침투 영향을 사전에 조사하여 염해를 예방하고 합리적인 지하수이용 관리 계획 수립에 필요한 기초자료를 수집하고 관측함이 목적이다. 농림수산식품부에서는 제주도지역 지하수 수질관리를 위하여 1991년부터 해수침투에 대하여 조사를 해 왔으며, 1998년부터 육지부로 확대하여 실시하고 있다.

해수침투조사는 2011년까지 총 52개 지구 116개 관측정이 설치되었고, 장기관측 결과는 2011년 신규로 설치한 10개 관측정을 제외하고 총 106개 관측정에 대한 자료를 제공하고 있다<표 2-4-3>.

해수침투조사 장기 관측자료에 따른 전기전도도 및 수위변화, 양음이온분석 결과를 분석하여 지하해수 개발가능성 여부를 판단하는데 기초자료로 활용하였다.

본 조사지역인 통산1지구를 포함하는 경상남도 통영시 산양읍 소재 해수침투 관측공은 없다.

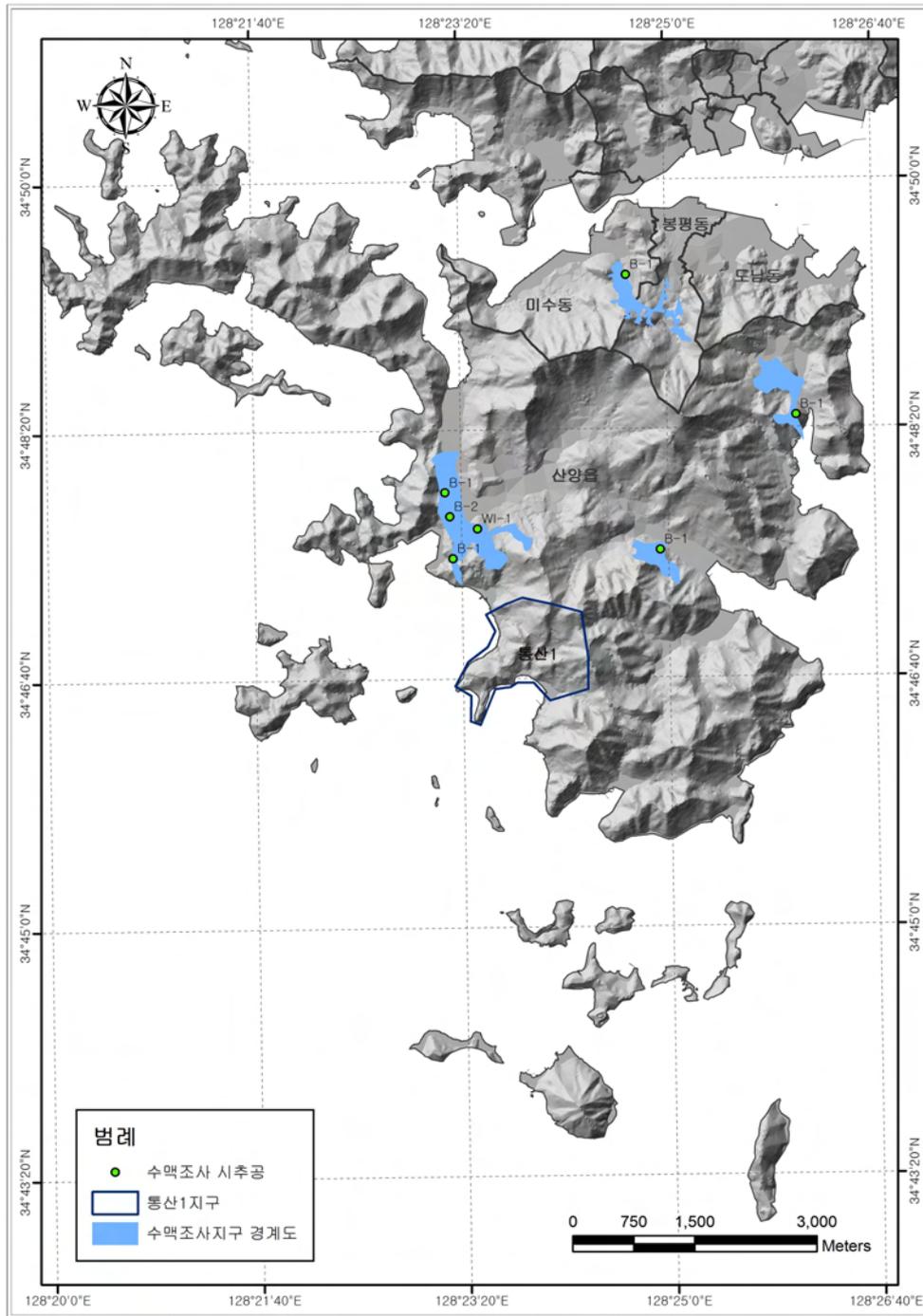
지하해수조사사업 보고서

<표 2-4-3> 국내 해수침투조사 내역

(단위 : 공)

도별	총 계획	조사량	실적 (%)	잔여량	조사 시·군 ()는 개소 수
계	136	116	85.3	20	
경 기	20	20	100.0	0	강화(6), 화성(7), 평택(2) 시흥(1), 김포(2), 용진(2)
강 원	12	10	83.3	2	강릉(2), 고성(2), 속초(2) 동해(1), 양양(2), 삼척(1)
충 남	14	14	100.0	-	당진(2), 서산(2), 홍성(2) 보령(2), 서천(2), 아산(2) 태안(2)
전 북	8	6	75.0	2	김제(2), 부안(2), 고창(2)
전 남	46	38	71.7	8	함평(2), 신안(6), 진도(6) 해남(2), 완도(7), 장흥(2) 보성(2), 광양(2), 순천(2) 여수(2), 영광(2), 무안(2) 강진(1)
경 북	8	4	50.0	4	울진(2), 포항(2)
경 남	28	24	85.7	4	하동(2), 남해(6), 사천(2) 고성(2), 통영(2), 거제(4) 마산(1), 울산(2), 창원(3)

※ 제주도 기설치 지구 56개소 제외

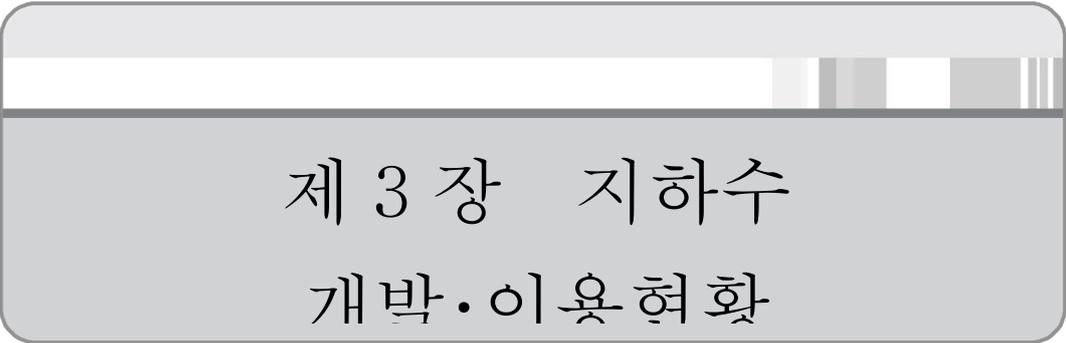


<그림 2-4-1> 통영시 산양읍의 지하수 기초조사 현황도

2.4.3 지하수기초조사

지하수기초조사는 국토해양부에서 추진하는 사업으로 한국수자원공사가 시행하고 있으며, 2004년~2010년까지 경상남도에 대한 조사가 이루어졌다.

이 조사서에 통영시에 대한 조사내용이 포함되어 있으며 이는 국가지하수정보센터(www.gims.go.kr)에서 확인 가능하다.



제 3 장 지하수
개발·이용현황

제3장 지하수 개발·이용현황

3.1 지하수 개발현황

조사지역에 대한 지하수 개발 및 이용현황을 파악하기 위하여 통영시 지하수 행정자료를 기초로 하여 현황조사를 실시하였다. 통영시의 관정수는 총 2,752개소이고, 이용량은 7,994.6천m³/년이며, 조사지구에 해당하는 산양읍은 관정수가 372개소, 이용량은 763.9천m³/년이다.

통산1지구에 해당하는 산양읍 연화리는 관정수 46개소, 이용량 94.0천m³/년으로 통영시 전체 지하수 개소수의 1.7%(46개소) 이용량의 1.2%(94.0천m³/년)이고, 통산1지구의 용도별 관정 개소수는 생활용이 78.3%, 농어업용이 21.7%를 차지하고 이용량은 각각 65%와 35%로 조사되었다<표 3-1-1>.

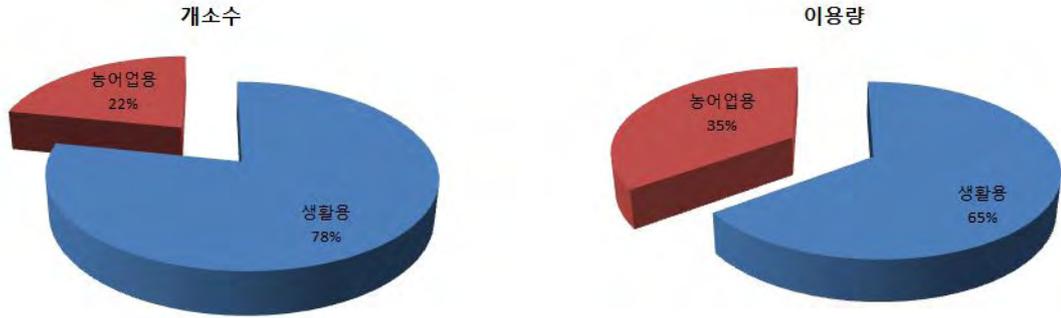
<표 3-1-1> 통산1지구 지하수 개발·이용현황

(단위: 공, 천m³/년)

구분	총 계		생활용		공업용		농어업용		기타	
	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량	개소수	이용량
통영시	2,752	7,994.6	1,647	3,406.6	19	79.0	1,085	4,508.2	1	0.9
산양읍	372	763.9	293	496.1	1	0.9	78	266.9	0	0.0
- 연화리	46	94.0	36	61.1	0	0	10	32.9	0	0

※ 출처 : 2010 지하수조사연보, 국토해양부

행정자료를 기초로 조사지구의 관정현황조사 및 청문조사 결과 자체적으로 관정개발을 시도하였으나 물량이 확보가 되지 않아 바닷물을 사용하고 있는 실정이며 지하수도 비상시에만 사용하고 있는 것으로 조사되었다.



<그림 3-1-1> 통산1지구 지하수 개소수 및 이용량 비율

3.2 지하수 이용현황

통영시 지하수 행정자료 분석 결과 통산1지구의 공당 지하수 이용량은 2.04천m³/년이며, 이는 통영시 전체 공당 지하수 이용량인 2.91m³/년과 산양읍의 공당 지하수 이용량인 2.05천m³/년보다는 적게 사용하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 단위면적당 이용량은 34.81천m³/년/km²으로 통영시 33.48천m³/년/km², 산양읍 19.32천m³/년/km² 보다는 많음을 알 수 있다.

개발 밀도는 17.04공/km²로 통영시의 개발밀도 11.52공/km², 산양읍 10.5공/km² 보다는 높았다<표 3-2-1>.

<표 3-2-1> 통산1지구 공당·단위면적당 지하수 이용량 및 개발밀도

구분	면적 (km ²)	가구수	인구 (명)	개소수 (공)	이용량 (천m ³ /년)	공당 이용량 (천m ³ /년/공)	단위면적당 이용량 (천m ³ /년/km ²)	개발밀도 (공/km ²)
통영시	238.8	54,917	140,569	2,752	7,994.6	2.91	33.48	11.52
산양읍	39.54	2,607	6,077	372	763.9	2.05	19.32	9.41
- 연화리	2.7	265	594	46	94	2.04	34.81	17.04

3.3 지하수 개발·이용 추이

3.3.1 개발·이용 추이

매년 발간되는 지하수조사연보를 기초로 2005년(2004년말 자료)부터 2010년(2009년말 자료)까지 6년간 산양읍과 통산1지구에 대한 지하수 개발·이용 추이를 분석한 결과 산양읍 전체 지하수 시설수는 451개소, 연간 이용량이 1,086.7천m³/년에서 2010년 372개소, 763.9천m³/년으로 시설수는 79개소로 감소하였고 이용량은 322.8천m³/년로 감소하였다.

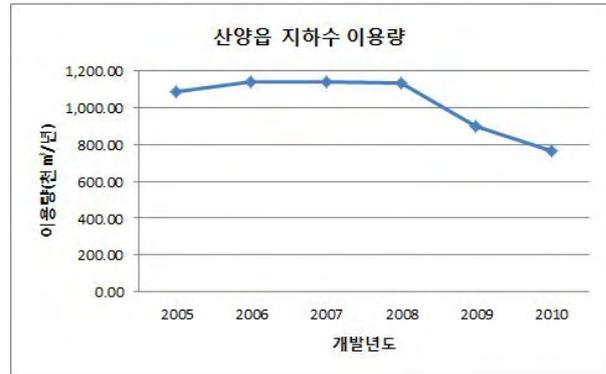
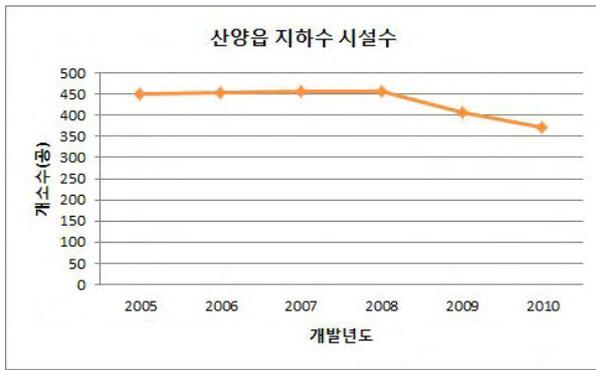
그리고 통산1지구는 지하수 시설수는 2005년 55개소, 연간 이용량이 133.7천m³/년에서 2010년 46개소, 94.0천m³/년으로 시설수는 9개소로 감소하였고 이용량은 39.7천m³/년로 감소하였다<표3-3-1 및 그림3-3-1~3>.

<표 3-3-1> 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이

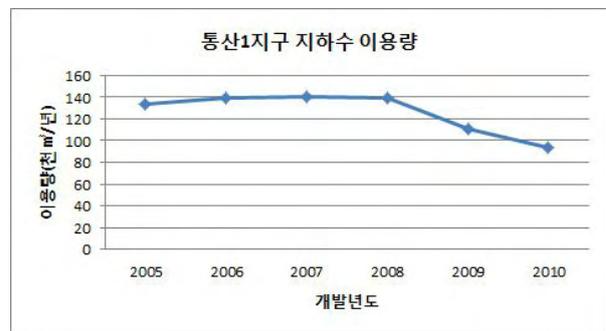
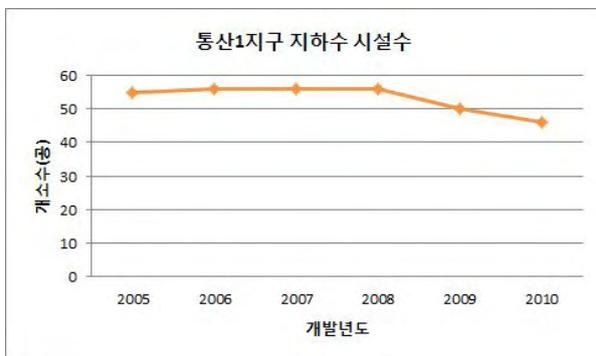
구 분	시설수(개소)		이용량(천m ³ /년)	
	산양읍	통산1지구	산양읍	통산1지구
2005	451	55	1,086.7	133.7
2006	454	56	1,137.7	139.9
2007	457	56	1,138.7	140.1
2008	456	56	1,136.1	139.7
2009	407	50	896.5	110.3
2010	372	46	763.9	94.0

※ 출처 : 지하수조사연보(2006~2010), 국토해양부

지하해수조사사업 보고서



<그림 3-3-1> 산양읍 전체 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이



<그림 3-3-2> 통산1지구 연도별 지하수 시설수 및 이용량 변화 추이

3.3.2 추세분석

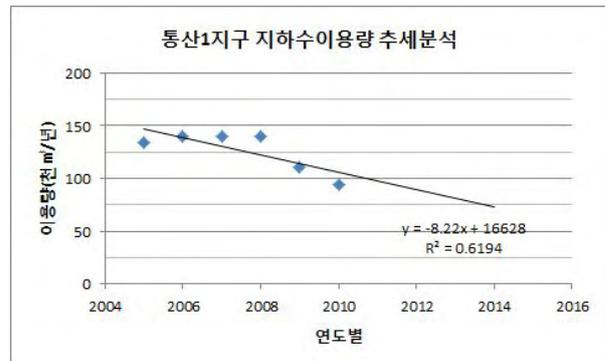
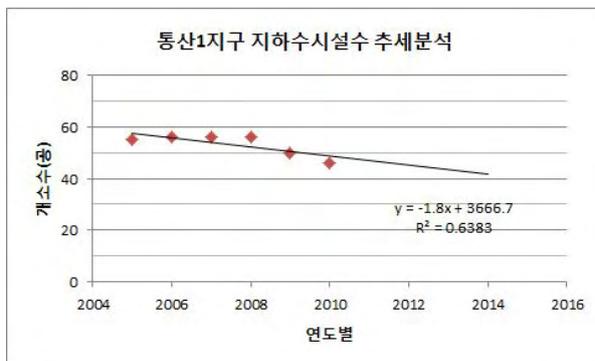
2005년 이후 최근 6년간 지하수 개발·이용 추이를 반영하여 회귀분석을 실시, 아래의 회귀방정식을 산출하여 향후 통산1지구의 지하수 시설수 및 이용량을 추정하였다. 그 결과 <표 3-3-2> 및 <그림 3-3-3>와 같이 2009년 말 기준 46개소, 94.0천m³/년에서 2015년 40개소, 64.7천m³/년으로 점차 소폭 감소할 것으로 전망되었다.

① 지하수 시설 수 $Y=-1.8X-3666.7$, $R^2=0.6383$

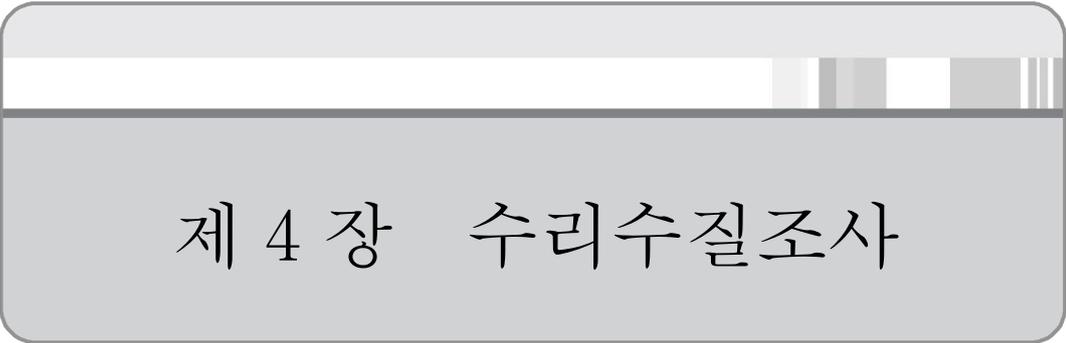
② 지하수 이용량 $Y=-8.22X-16628$, $R^2=0.6194$

<표 3-3-2> 통산1지구의 지하수 시설수 및 이용량 추정 (단위 : 공, 천m³/년)

구분	연도별 지하수 시설수 및 이용량										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
시설수	55	56	56	56	50	46	47	45	43	41	39.7
이용량	133.7	139.9	140.1	139.7	110.3	94.0	97.6	89.4	81.1	72.9	64.7



<그림 3-3-3> 통산1지구 연도별 지하수 시설수 및 이용량 추정



제 4 장 수리수질조사

제4장 수리수질조사

4.1 지구물리탐사

4.1.1 탐사개요

물리탐사는 일차적으로 지질, 토양 및 인공위성 영상자료 분석을 통하여 지질구조선, 암상 변이대, 충적층 및 기반암 분포, 식생, 토양 등을 사전 파악하고, 이들 자료를 기초로 관심지역 선정 및 지구물리탐사 수행을 통하여 충적층 분포심도, 범위, 지하지층분포 및 대수층을 이루는 암반과쇄대의 발달상태 등 이상대에 대한 지하정보를 얻고, 이를 검증하기 위한 실제적인 조사방법인 조사공 및 관측공의 시추위치를 선정하는데 그 목적이 있다.

지구물리탐사의 시행과정은 순차적으로 자료취득(Data acquisition), 자료 처리(Data processing) 및 자료 해석(Data interpretation)으로 구분된다.

일반적으로 탐사자료의 취득은 탐사 방법에 따라 자연발생적 또는 인공적으로 발생시킨 물리현상을 측정하는 과정으로, 물리적인 현상인 신호원이 자연적인 경우에는 신호원이 일정하고 자료취득이 상대적으로 간편한 장점은 있지만 그 강도(Intensity)가 상대적으로 작게 나타나므로 현장에서의 자료취득시 이상치를 정확히 알아내는데 어려움이 있다는 단점이 있다.

자료 처리는 현장에서 취득한 측정치 및 반응치를 정리하고, 자료해석을 보다 편리하게 할 수 있도록 자료의 편집 및 각종 보정을 하여 S/N(신호 대 잡음)비를 높이는 수치처리 작업을 말한다. 이러한 자료처리 과정은 자연발생적인 신호원을 이용하는 탐사법에서 특히 중요하다. 자료 해석은 자료처리 결과를 토대로 이론적 또는 경험적 분석을 통한 탐사대상체 또는 지층의 위치, 크기 및 형태를 규명하는 작업을 말한다. 최근에는 컴퓨터의 성능이 향상됨에 따라 각종 수치해석(Digital analysis)을 응용한 프로그램 개발로 물리탐사자료의 해석에서 역산법(Inversion method)들이 이용되어 현장측정 자료들을 최소허용 오차범위 내에 포함되도록 반복 계산 결과를 해석하는 추세이다.

본 조사지구에서는 5개 축선에 대하여 전기비저항탐사를 실시하여 조사지역 2차원 단면에 대한 전기비저항 분포를 파악하였다. 그러나 해안선을 따라 일정거리에 대하여 직선으로 탐사가 시행되어야 하나, 해안선이 굴곡지고 절벽으로 이루어져 있어 접근이 어려운 곳은 해안가로부터 일정구간 이격시켜 시행하여 종합적인 분석이 이루어질 수 있도록 하였다.

지하해수조사사업 보고서

전기비저항탐사는 전류가 흐를 때 전류가 흐르는 통로상의 두 지점 사이에 매질의 저항에 비례하는 전위차가 발생하는데, 이때 발생하는 전위차를 이용하여 지질구조 등을 탐사하는 방법으로써, 1900년대 초에 개발되었지만 취득자료의 처리 및 분석을 위한 컴퓨터의 보급으로 1970년대 이후에서야 많이 보급되었고, 이러한 기술들은 지하수분야에 있어서 적절한 지하수자원 개발 및 지하수오염 형태를 관찰하는데 매우 유용하게 이용되고 있다.

자연상태에서 암석이나 구성광물의 전기비저항값은 공극률(porosity), 공극 내 유체포화율(fluid saturation), 공극 내 유체의 성질, 조암광물의 종류, 구성입자의 크기, 성질 및 암석의 고화도 등에 의존하는데, 이러한 인자들은 전기비저항값의 주요한 결정요인으로 작용한다(표 4-1-1).

이와 같은 암석의 전기비저항값들을 기초로 한 전기비저항 탐사법은 전류의 크기, 전극간의 전위차, 전극간의 거리 등 정량적으로 측정 가능한 값들을 취급함으로써 정량적인 해석이 가능하고, 취득된 자료들을 역산법에 의한 이론적 계산치와 실제의 값들을 비교할 수 있다는 점에서 유용한 탐사법이다.

<표 4-1-1> 암석의 전기비저항(Telford 등, 1976)

암석의 종류	전기비저항의 범위(ohm-m)
화강암	$3 \times 10^2 \sim 10^6$
화강반암	4.5×10^3 (습윤시) $\sim 1.3 \times 10^6$ (건조시)
장석반암	4×10^3 (습윤시)
알바이트	3×10^2 (습윤시) $\sim 3.3 \times 10^3$ (건조시)
섬장암	$10^2 \sim 10^6$
섬록암	$10^4 \sim 10^6$
섬록반암	1.9×10^3 (습윤시) $\sim 2.8 \times 10^4$ (건조시)
반암	$10 \sim 5 \times 10^4$ (습윤시) $\sim 3.3 \times 10^3$ (건조시)
탄산질반암	2.5×10^3 (습윤시) $\sim 6 \times 10^4$ (건조시)
석영반암	$3 \times 10^2 \sim 9 \times 10^5$

전기비저항탐사는 사용되는 전류전극과 전위전극의 종류와 배열방법 및 전극간의 간격 등에 의해 여러 가지 방법으로 나누어 질 수 있는데 본 조사지역에서는 수평적 전기비저항 분포 파악을 위한 쌍극자 배열법과 수직적 전기비저항 분포를 파악하기 위한 솔럼버저 배열법을 이용하였다.

전기비저항탐사 장비는 ABEM사에서 제작한 SAS1000 및 자동측정기인 Swift를 이용하였는데, 본 장비의 특징은 자동으로 접지저항을 측정하여 접지저항이 매우 크거나 불량인 전극을 찾아냄으로써 에러(Error)율을 줄이고 보다 양호한 조건에서 양질의 전기비저항 자료를 취득할 수 있다는 장점이 있다.

4.1.2 탐사이론

가. 쌍극자 배열(Dipole-Dipole array)

한 도선의 전기저항 R 은 그 길이 L 에 비례하고, 단면적 A 에 반비례 한다.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 비례상수로서 물체의 크기와 모양에 관계없는 물체의 전기적 특성을 나타내는 것으로 이를 전기비저항이라고 한다. 또한 Ohm의 법칙에 의하면, $R = V/I$ 이므로 다음식과 같이 쓸 수 있다.

$$\rho = A \cdot \frac{R}{L} = A \cdot \frac{\Delta V}{L} \cdot I \quad (\text{단위: ohm-m}) \quad (2)$$

그림 <4-3-1>에서와 같이 대지 위 임의의 한 전 C 에 아주 낮은 주파수를 갖는 강한 점전류 I 를 보낼 때 지중 임의의 점 P 에서 전위 V (voltage)는 반무한 평면상에서

$$V = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (3)$$

이고, 이때 $z=0$ 이므로 $r = \sqrt{(x^2+y^2)}$ 이 된다.

지표면에 매설한 한쌍의 전류전극 $C_1(+I)$ 과 $C_2(-I)$ 를 가정하고 임의의 점 P_1, P_2 에서 각각의 전위를 고려할 때, 점 P 의 전위는 C_1 과 C_2 에 의한 전위의 차 $V = V_{C_1} - V_{C_2}$ 로 나타난다. 즉,

$$V = \frac{\rho a I}{2\pi} \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2} \right) \quad (4)$$

와 같다. 따라서 쌍극자 배열은 전위 및 전류전극 간격이 a 로 일정하므로 겉보기 비저항(Apparent resistivity)은 다음의 식(5)와 같다.

$$\rho_a = n(n+1)(n+2) \pi a \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

현장에서의 탐사방법 및 자료취득은 가단면도(Pseudosection) 같은 형태로 행해지는데 만약 매질이 균질하다면 가단면도에 나타난 전기비저항 값은 진비저항 값과 같으나, 실제로 현장탐사에서는 매질이 불균질한 특성을 보이기 때문에 전기비저항값은 겉보기비저항값이 된다. 그러므로, 이를 해석하기 위해서는 컴퓨터에 의한 Forward Modeling 이나 역산(Inversion)이 필요하다.

나. Schlumberger 배열(Schlumberger array)

수직탐사의 목적은 지표면상 한 점에서 그 하부의 심도에 따른 전기비저항 변화를 측정하고, 그 결과를 다른 지질학적인 정보 내지는 지식과 대비시켜 지하의 구조를 더 상세히 파악하는데 있다. 수직탐사는 대지에 공급되는 전류가 전류전극 사이의 간격이 넓어질수록 더 깊은 곳을 통과한다는 사실에 기초하고 있다. 즉 전류전극 간의 간격이 넓을수록 심부의 정보를 반영하게 된다.

수직탐사법은 전극배열 방식에 따라 여러 가지로 분류되지만, 대체로 Schlumberger 배열법이 사용된다. Schlumberger 배열법에서는 중간 전위전극을 고정하고, 두 전류전극 사이의 간격을 중간지점을 중심으로 넓혀가면서 측정을 수행한다. 이 방법은 전류전극만을 이동시키므로 작업이 간편하고 지표의 국부적 이상체에 의한 영향이 전 자료에 균일하게 나타나므로 자료획득 및 해석이 편리하다.

Schlumberger 배열의 겉보기 비저항은 다음과 같은 식으로 계산된다.

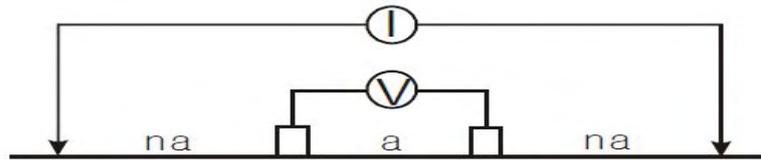
$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2\ell} \times \frac{\Delta V}{I}$$

여기서 L 은 전류전극, ℓ 은 전위전극 간격의 1/2

전류전극 사이의 간격이 좁을 경우는 천부의 전기비저항 값에 수렴하며 간격이 넓어짐에 따라 심부의 전기비저항 값에 수렴하게 된다.

현재 주로 사용되고 있는 해석방법은 지하구조가 1차원, 즉 수평 다층구조로 이루어져 있다는 가정 하에서 표준곡선을 이용하거나, 앞의 쌍극자 탐사에서와 마찬가지로 모델링에 의한 시행착오법 또는 컴퓨터에 의한 역산 방법을 사용한다. 그러나 지하가 1차원 구조라는 가정은 실제로 성립되지 않으므로, 어떤 방법을 사용하더라도 정확하게 지하의 전기비저항 분포를 알아낼 수는 없다. 따라서 단 1개의 측정점으로

지하의 지질구조를 해석하는 것은 무리이며, 다른 지질학적 정보 내지는 다른 물리 탐사 자료와 병행하거나, 여러 점의 수직탐사 자료를 종합적으로 비교 해석하는 것이 지하의 지질구조 파악에 유리하다.



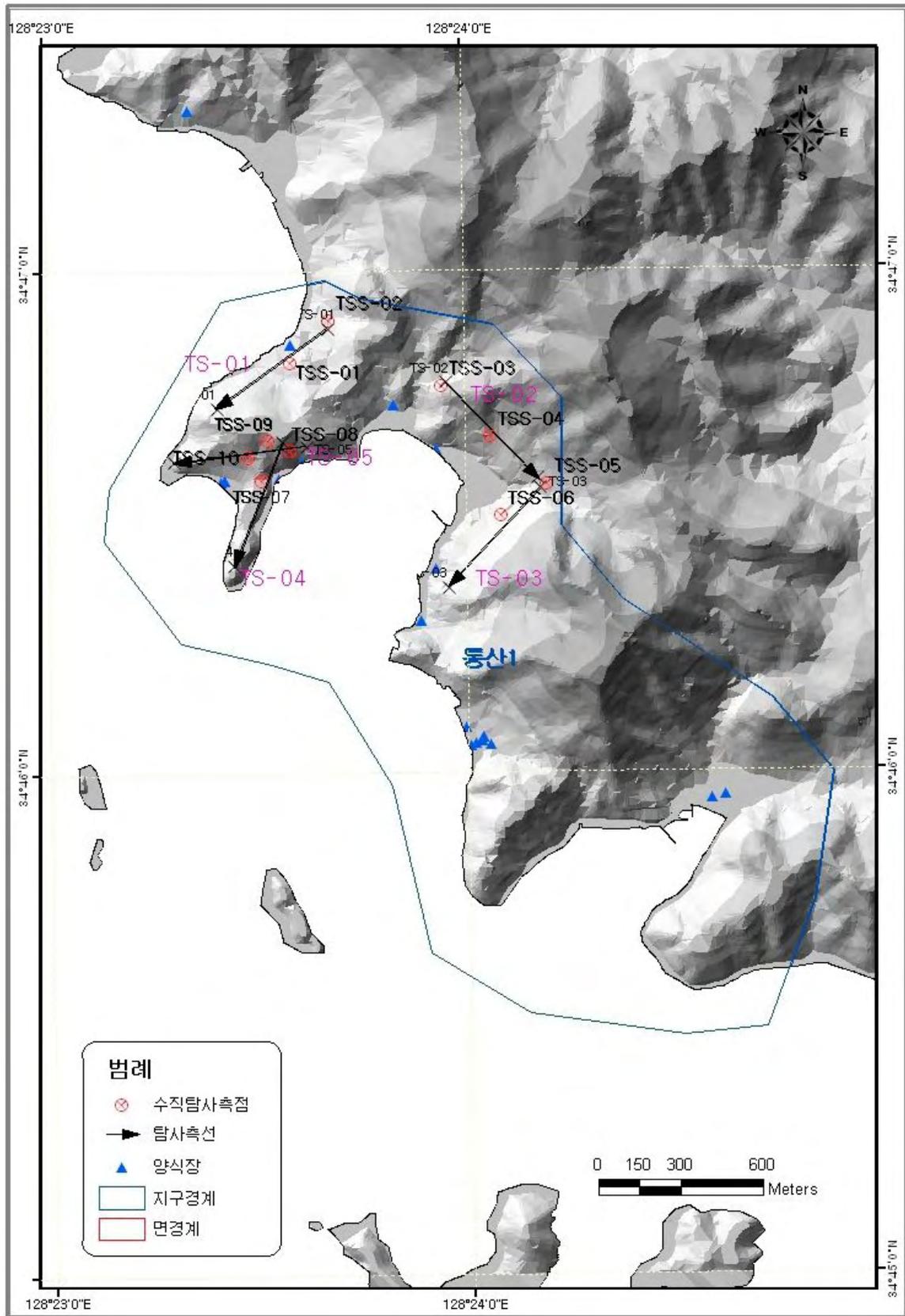
<그림 4-1-1> 슬럼버저배열 전기비저항 수직탐사 측선도

4.1.3 조사방법

본 조사지구에서 전기비저항탐사는 지하 결정질 암반의 수평적인 전기비저항 분포를 파악하기 위하여 매우 유용한 쌍극자(Dipole-Dipole)배열 탐사법과 측정값이 매우 작아 신호대 잡음비가 매우 낮아 측정이 어려운 지역에 유용한 변형된 단극(Modified Pole-Pole)배열을 이용하였고, 관심지역 내 한 측정점에서 수직적인 전기비저항 분포를 파악하기 위하여 슬럼버저(Schlumberger)배열 탐사법을 시행하였다. 이들 자료들로부터 취득된 자료를 분석하여 전기비저항 분포가 낮은 저비저항 구간을 파악하였고 시추조사 적정 지점을 선정하였다. 한편, 선정된 시추조사 지점에 자연전위탐사를 실시하여 지하수의 유동에 이상대를 파악하고자 하였다.

4.1.4 현장조사

본 조사지구내 전기비저항탐사는 지질구조선 확인 등 수리적 특성 파악을 위하여 통영시 산양면 연화리 지역에 측선/측점을 설정하였다. 탐사방법으로는 2차원 구조의 분해능이 가장 탁월한 쌍극자배열법을 사용하였다. 쌍극자배열 전기비저항 탐사인 경우 전극간 거리는 30m, 격리계수 $n=8$ 까지 자료를 취득할 수 있도록 프로그램을 설계하였는데 각 측선의 연장은 500m로써 총 5측선 2,500m를 탐사하고 자료의 신뢰성을 높이기 위해서 3회이상 반복측정을 하였고, 일부지점에 대해서 슬럼버저 탐사법으로 조사하였다.



<그림 4-1-2> 통산1지구 물리탐사 측선 위치도

각 탐사축선의 표기는 2차원의 수평탐사인 쌍극자배열은 지구명의 영문 첫 글자를 병합하여 표기하였고 1차원 수직탐사인 솔럼버저 탐사의 경우 S를 첨부하여 구분하였으며, 조사 지역의 순서에 따라 알파벳과 숫자를 혼용하였다. <그림 4-1-2>는 조사지역의 지구물리탐사 위치를 표기하였고, <표 4-1-2>~<표 4-1-3>은 조사한 물리탐사의 쌍극자배열 및 솔럼버저 전기비저항 탐사 내역을 나타내었다.

<표 4-1-2> 전기비저항탐사 내역

탐사축선			좌표(TM)		탐사방법	
구 분	거리(m)	방 향	시 점	종 점	배열법	심도(m)
TS-01	500	N70W	X:327368.82 Y:143764.73	X:326967.75 Y:143469.04	DP	150
TS-02	500	N70E	X:328135.84 Y:143220.20	X:327799.17 Y:143571.51	DP	150
TS-03	500	N70W	X:328144.62 Y:143185.07	X:327810.89 Y:142816.20	DP	150
TS-04	500	N80W	X:327204.88 Y:143346.09	X:327029.23 Y:142892.32	DP	150
TS-05	500	N50W	X:327292.71 Y:143331.15	X:326806.73 Y:143272.90	DP	150

※ DP : Dipole-Dipole array

지하해수조사사업 보고서

<표 4-1-3> 솔럼버저 전기비저항탐사 내역

측점구분	좌표(TM)		분포지질	탐사심도 (m)
	TM_X	TM_Y		
TSS-01	327228.30	143638.84		150
TSS-02	327368.82	143796.93		150
TSS-03	327781.60	143559.80		150
TSS-04	327960.19	143372.44		120
TSS-05	328165.11	143199.71		150
TSS-06	327998.24	143082.61		150
TSS-07	327125.84	143202.64		150
TSS-08	327231.23	143316.81		150
TSS-09	327149.26	143351.94		120
TSS-10	327078.99	143287.54		150

4.1.5 탐사결과

가. 수평탐사

본 조사지역 대상 양식장이 분포한 지역과 지리적 여건을 고려하여 TS-01~TS-05의 5개 측선에 대한 전기비저항 탐사결과를 서술하였다. 각 측선별 전기비저항 이상대 구간은 <표 4-1-4>에 나타내었으며, <부록3>에 그림으로 수록하였다.

□ TS-01 측선

이 지점은 해안가로부터 약70m 지점에 위치하며, 탐사결과 2차원 가단면도를 보면 탐사 시점부 기준 수평거리 240m 지점의 지표부터 지하 60m 이상의 심도에 전반적으로 높은 전기비저항값이 나타난다. 한편 탐사 시점부 기준 수평거리 90m 지점의 심도 90m부터는 저비저항 이상대가 나타난다.

□ TS-02 측선

해안 주변의 밭 지역으로서 해안선과 수평한 방향으로 측선이 위치하고 해안선으로부터의 이격거리는 약 200m정도이다. 이 지역은 전반적으로 심도 증가에 따라 전기비저항값이 증가하고 심도 50m 지점까지 상대적으로 낮은 저비저항 구간

이 나타난다.

□ TS-03 측선

이 측선은 TS-02 측선의 종점에서 약 20m 떨어진 곳에서 시작하는 측선으로 지표로부터 지하 80m 이상의 심도에서 전반적으로 높은 전기비저항값이 나타나고 심도 50m 이하의 심도에 낮은 저비저항 구간이 나타난다.

□ TS-04 측선

탐사결과 전반적으로 수평적인 전기비저항 분포를 보이며 지하지질은 층상 구조를 보인다. 지표로부터 10m 심도까지 미고결 충적층으로 판단되며, 수평거리 120~240m 지점의 심도 70m이상으로 상대적으로 낮은 비저항의 분포를 보이고 있다.

□ TS-05 측선

이 측선은 해안선으로부터 측선 시점부까지의 이격거리가 약 80m로 수평거리 120~360m 지점의 70m이상 지하에 주변보다 비저항이 낮은 이상대가 나타난다. 이 구간의 비저항이 다른 지점과의 차이가 나타나는 것으로 보아 파쇄대 즉, 대수층의 가능성을 지시한다. 이 파쇄대를 통한 암반해수 유입 가능성을 파악하기 위하여 1차원 수직탐사를 실시하였고 전기비저항 및 지층 구조를 파악하고자 하였다.

<표 4-1-4> 조사지구의 측선별 전기비저항 이상대 분포

측선명	전기비저항 이상대 분포구간		
	수평거리(m)	심도(m)	비저항치(Ω -m)
TS-01	90	90이상	20~40
TS-02	0~500	50이하	79-158
TS-03	0~500	50이하	79~158
TS-04	120~240	70이상	67~105
TS-05	120~360	70이상	36~126

나. 수직탐사

수직탐사는 2차원 수평탐사 결과 저비저항구간 중 관심 대상 지점 및 지형적으로 수평탐사 축선의 배열이 어려운 지점, 그리고 지층의 수직적 분포를 파악하기 위하여 시추 예정지 또는 예정지와 인접한 지점에서 수행하였다. 해석 결과는 <표 4-1-5>와 <부록3>에 나타내었다.

<표 4-1-5> 전기비저항 수직탐사 결과표

측선명	파쇄대 발달 예상구간(m)	탐사심도	비고
TSS-01	±25	150	
TSS-02	±110	150	
TSS-03	±70~100	150	
TSS-04	±100~110	120	
TSS-05	±70~80, ±130	150	
TSS-06	±140	150	
TSS-07	-	150	
TSS-08	-	150	
TSS-09	±20	120	
TSS-10	±150	150	

4.2 시추조사

4.2.1 시추조사 개요

시추조사는 지하의 지질분포, 절리 및 파쇄대 등의 지질구조 발달상황, 대수층의 성질 및 발달상태, 지하수위 등을 파악하는데 그 목적이 있다. 기 수행한 지표지질조사와 물리탐사 결과에 의하여 지하해수의 부존 및 유입 가능성이 있을 것으로 추정되는 지점에 대해 수행하였다<그림 4-2-1>.

금번 조사는 고성능착정기(R50)를 투입하여 DTH(Down The Hole) Air Hammer공법으로 실시하였는데, 연암 상부의 미고결 퇴적층인 풍화대 구간까지는 직경 300~350mm로 굴착하여 공의 붕괴를 방지하고자 케이싱(Φ 250mm)을 설치하였고 시추공 공벽과 케이싱 사이의 공간은 그라우팅을 실시하여 지표수의 및 지표오염물질이 유입되는 것을 방지하였다.

미고결 퇴적층 하부는 직경 150mm로 시추하였으며 수량이 확보된 시추공에 대해서는 대수성시험 등의 수리특성 및 수질조사를 위하여 공내청소(air surging)를 실시하였다. 수량이 부족한 조사공은 지하수법에 의거 원상복구 하였으며 조사공의 내역은 <표 4-2-1> 및 <표 4-2-2>와 같으며, 각 조사공의 시추주상도는 부록에 수록하였다.

<표 4-2-1> 통산1지구 시추조사 내역

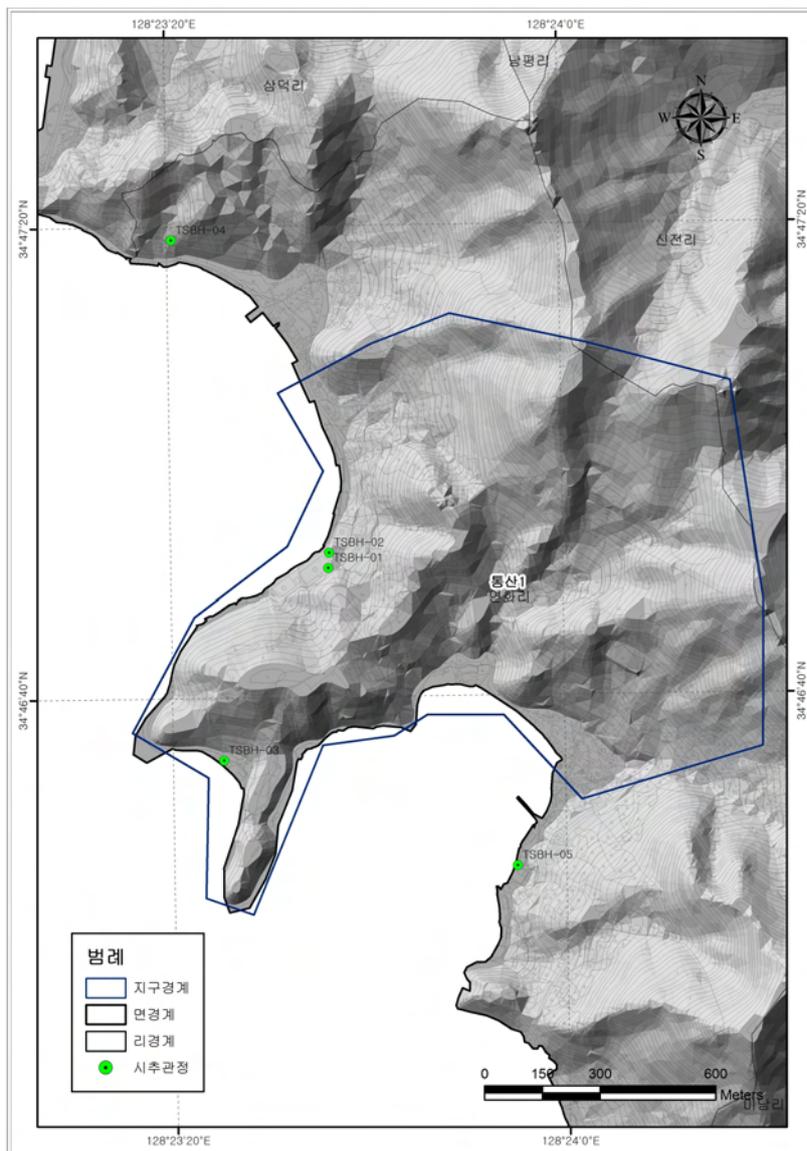
조사공번	위 치	좌표		표고 (m)	케이싱 심도 (m)	지하해수 산출량 (m ³ /일)	분포지질	양식장명
		TM_X	TM_Y					
TSBH-01	연화리 1079	327255.24	143696.69	15	3.0	500	안산암	오양수산
TSBH-02	연화리 1079	327257.22	143736.79	15	6.0	400	안산암	오양수산
TSBH-03	연화리 1196	326985.00	143193.64	5	13.0	80	안산암	경성수산
TSBH-04	연화리 632	326846.70	144554.05	15	17.0	500	안산암	SJ수산
TSBH-05	연화리 203	327746.64	142920.64	8	18.0	400	안산암	대용수산

지하해수조사사업 보고서

<표 4-2-2> 조사공별 지층내역

(단위 : m)

조사공번	토사	실트	사	사력	혼진석	풍화대	풍화암	연암	보통암	계	대수층 구간
TSBH-01	0.5				2.0			230.5		233.0	15, 45, 67 116, 216
TSBH-02	0.5	4.0			1.0			146.5		152.0	70, 87, 147
TSBH-03	2.0	2.0				8.5		150.5		163.0	30, 90
TSBH-04	2.0	3.0				2.0	9.5	95.5		112.0	93, 107
TSBH-05	1.5	8.0				4.0	4.0	138.5		156.0	98, 108, 140



<그림 4-2-1> 시추조사 위치도

4.2.2 시추조사 결과

가. TSBH-01호공

해안으로부터 직선거리로 약 30m 떨어진 지점으로 바닷가와 인접하여 있고 표고는 20m이며 총 시추 심도는 233m이다. 상부 토사층 0.5m는 화단의 매립토이고 2.5m까지는 황토색 점토가 혼합된 전석층이 나타나고 아래에 바로 기반암인 안산암의 연암이 나타난다. 케이싱은 연암 0.5m까지 3m를 설치하였다.

파쇄대는 15m구간에서 10m³/일, 45m구간에서 10m³/일, 67m구간에서 70m³/일, 70m구간에서 20m³/일, 116m구간에서 100m³/일, 216m구간에서 190m³/일의 지하해수가 산출되었다.

나. TSBH-02호공

해안으로부터 약 20m 떨어진 지점으로 바닷가와 인접하여 있고 표고는 20m이며 총 시추 심도는 152m이다. 상부 토사층 0.5m는 매립토이고 4.5m까지는 황토색의 점토층과 5.5m까지 황토색의 점토와 혼합된 전석층이 나타나고 아래에 바로 기반암인 안산암의 연암이 나타난다. 케이싱은 연암 0.5m까지 6m를 설치하였다.

파쇄대는 70m구간에서 150m³/일, 87m구간에서 100m³/일, 147m구간에서 50m³/일의 지하해수가 산출되었다. 147m구간에서 EC값이 높게 측정되었다.

다. TSBH-03호공

해안으로부터 약 10m 떨어진 지점으로 바닷가와 인접하여 있고 표고는 5m이며 총 시추 심도는 163m이다. 상부 토사층 2.0m는 매립토이고 4.0m까지는 황토색의 점토층이 협재되어 있고 12.5m까지는 암회색의 기반암의 풍화암이 나타난다. 케이싱은 연암 0.5m까지 13m를 설치하였다.

파쇄대는 30m구간에서 30m³/일, 90m구간에서 40m³/일의 지하해수가 산출되었다. 특히 30m구간에서는 해수의 색깔이 붉은 빛을 띠었다. 양수시험에서도 흙탕물이 계속해서 나와 양음이온 분석은 하지 못했으며 양식장에서 본 조사공을 활용하고자 하여 폐공대상에서는 제외하였고 베일러에 의한 채수로 모니터링은 시행하였다.

라. TSBH-04호공

해안으로부터 약 40m 떨어진 지점으로 바닷가와 인접하여 있고 표고는 15m이며 총 시추 심도는 112m이다. 상부 토사층 2.0m는 매립토이고 5.0m까지는 황토색

지하해수조사사업 보고서

의 점토층이 협재되어 있고 7.0m까지는 암회색의 풍화대가 나타나다가 16.5m까지 풍화암이 나타난다. 케이싱은 연암 0.5m까지 17m를 설치하였다.

과쇄대는 93m구간에서 200m³/일, 107m구간에서 200m³/일의 지하해수가 산출되었다.

마. TSBH-05호공

해안으로부터 약 20m 떨어진 지점으로 바닷가와 인접하여 있고 표고는 8m이며 총 시추 심도는 112m이다. 상부 토사층 1.5m는 전석이 혼합된 매립토이고 9.5m까지는 붉은색의 점토층이 협재되어 있고 13.5m까지는 암회색의 풍화대가 나타나다가 17.5m까지 풍화암이 나타난다. 케이싱은 연암 0.5m까지 18m를 설치하였다.

과쇄대는 98m구간에서 100m³/일, 108m구간에서 150m³/일, 114m구간에서 50m³/일, 140m구간에서 100m³/일이 산출되었으나 양수시험시 350m³/일로 조사되었다.

통산1지구의 각 공별 시추조사 결과는 <표 4-2-2>와 같다.

<표 4-2-3> 통산1지구 시추조사 결과 요약

조사공번	심도 (m)	양수량 (m ³ /일)	지하수위 (m)	온도 (°C)	EC (μs/cm)	비중	염도 (‰)	pH
TSBH-1	233	400	14.9	17.7	3,999	1.004	5	8.25
TSBH-2	152	300	30	18.8	3,999	1.003	6	8.30
TSBH-3	163	70	3.4	18.6	3,999	1.003	4	7.05
TSBH-4	112	400	14.9	18.5	2,885	1.005	7	8.38
TSBH-5	156	350	1.3	20.1	3,117	1.004	6	8.30

4.3 물리검층

4.3.1 물리검층 개요

물리검층은 시추공에 일정한 에너지를 사용함으로써 심도별 이상(anomaly) 구간을 찾을 수 있는 방법으로 직접적으로 수리지질구조를 밝힐 수 있는 방법으로 스웨덴 ABEM Terrameter SAS200 장비를 이용하여 가장 많이 이용하는 노말 전기비저항검층(normal resistivity logging)을 실시하였다. 본 검층은 4개의 전극을 이용하는데 전류전극(B)과 전위전극(N) 각 1개씩은 지표면에 접지시키고 나머지 전류전극(A)과 전위전극(M) 각 1개씩을 조사공에 일정한 간격으로 유지시켜 측정하는 방법이다. 측정하는 지층의 두께가 전극 간격보다 큰 경우는 측정값이 참비저항값에 가깝다. 조사공 내에서의 전류 및 전위전극 간격은 16“(0.4m)-단노말 short normal-와 64”(1.6m)-장노말 long normal-의 두 종류를 이용하며 가탐심도는 공내수의 전기전도도나 지층의 전기비저항에 따라서 변하나 일반적으로 전위 및 전류전극 간격의 약 2배 정도이다.

온도 및 전기전도도검층은 Hydrolab 장비를 이용하였다. 온도검층은 시추공을 따라 내려가면서 공내수의 온도를 연속적으로 측정하는 검층법으로서 공내수가 교란받지 않은 상태에서 온도를 측정하기 위하여 모든 물리검층법 중에서 가장 먼저 실시하였다. 일정한 온도변화보다 작거나 큰 경우는 파쇄대로부터의 지하수의 유입이나 유출, 공내에서의 물의 이동 등을 반영하여 투수성 있는 파쇄대의 확인에 이용된다.

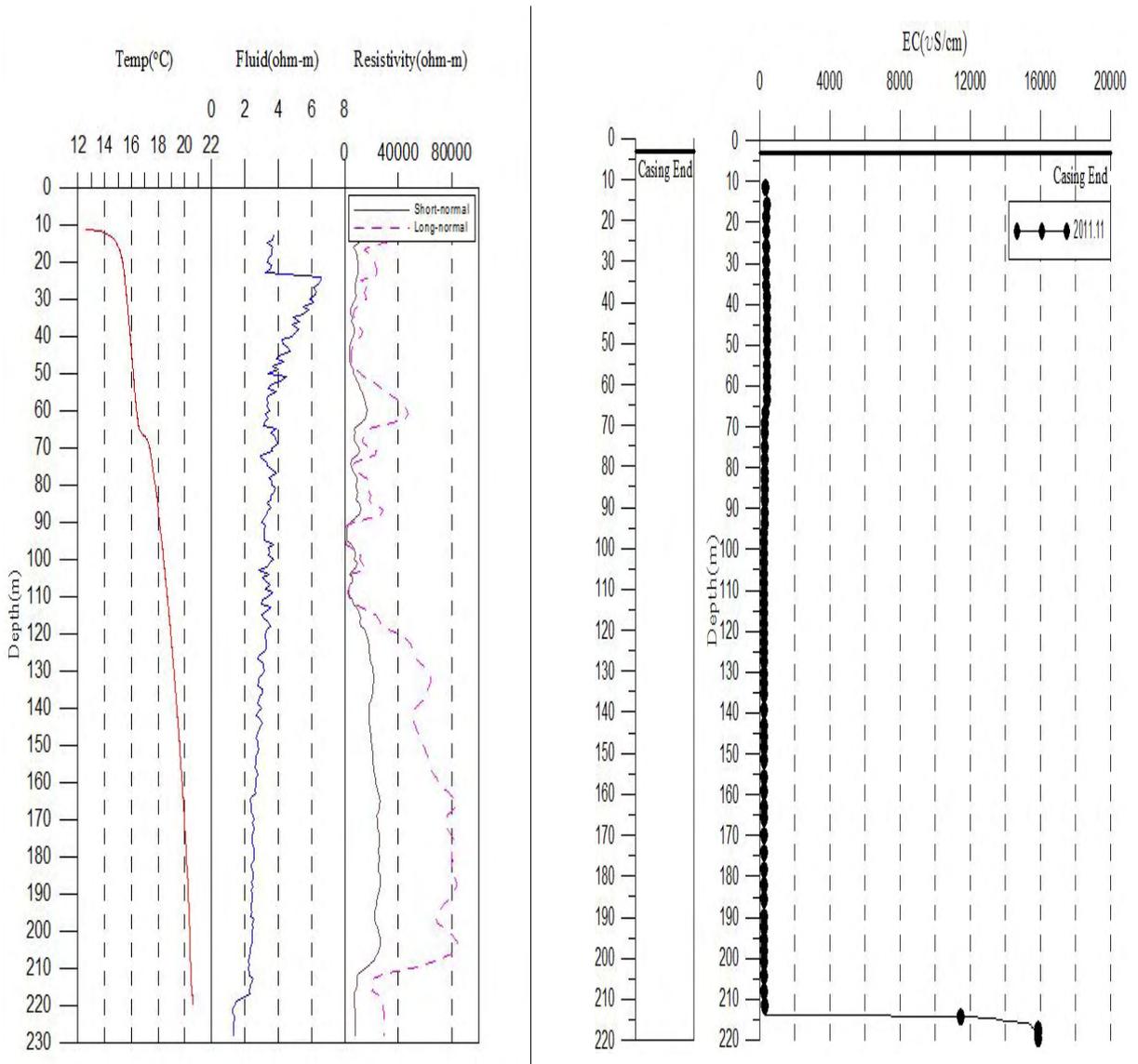
전기전도도는 전기장이 가해졌을 때 전류를 흐르게 할 수 있는 물질의 능력을 의미하는데 전기전도도검층은 온도검층과 동일하게 시추공을 따라 가면서 공내수의 전기전도도를 연속적으로 측정하는 검층법이다.

4.3.2 물리검층 결과

본 조사지구내 3개의 조사공에 대하여 물리검층을 수행하였다. 물리검층 대상 측정 항목은 온도, 전기전도도, 유체비저항 그리고 노말(Normal) 전기비저항 검층 등 모두 4가지를 수행하였다. <그림 4-3-1>은 물리검층을 수행한 조사공의 위치를 나타낸 것이고 각각의 검층 결과를 <표4-3-1>과 <그림4-3-2~4>에 정리하였으

가. TSBH-01호공

통산1지구 TSBH-01 관측정은 지표 하 약210m구간에 전기전도도 값이 약 $300\mu S/cm$ 에서 $16,000\mu S/cm$ 로 급격히 증가하는 전이대 구간이 나타며, 전기검층의 검층 결과 지표 하 약40m, 75m, 95m, 110m, 215m에서 상대적으로 저비저항 구간이 나타난다<그림 4-3-2>.



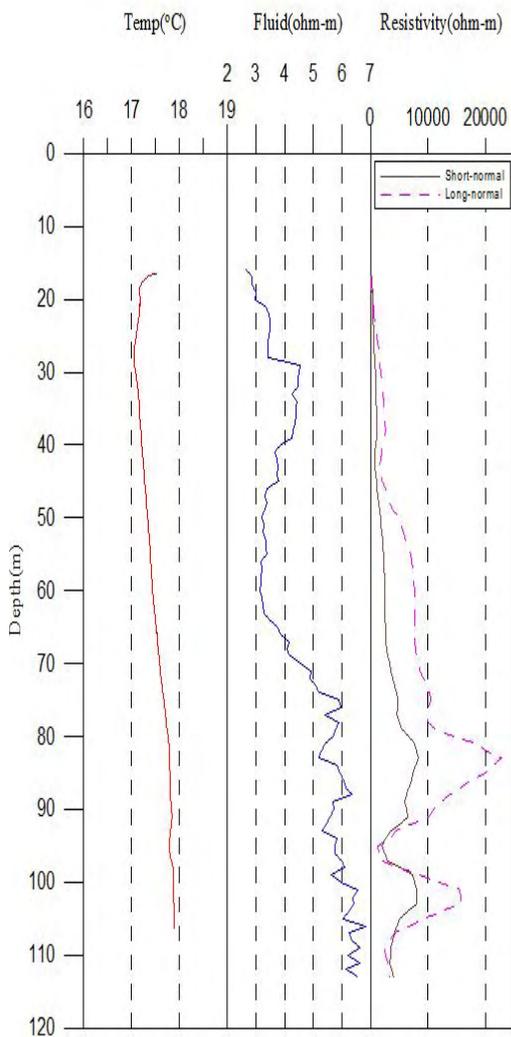
(a) 전기검층

(b) EC검층

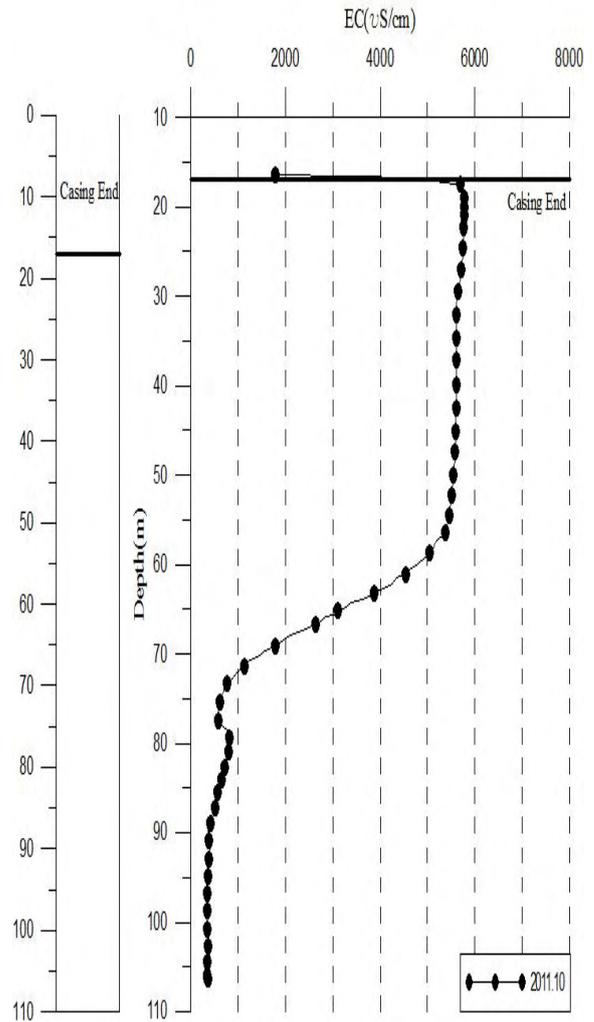
<그림 4-3-2> TSBH-01호공의 물리검층 결과

나. TSBH-04호공

통산1지구 TSBH-04 관측정은 지표 하 약 55m구간까지는 일정한 전기전도도 값 약 $5,500\mu S/cm$ 을 보이며, 55m에서 75m까지 전기전도도 값이 $500\mu S/cm$ 로 급격히 감소하는 구간이 나타난다. 전기검층의 검층 결과 지표 하 약 95m 구간과 110m 구간에서 상대적으로 저비저항 구간이 나타난다<그림 4-3-3>.



(a) 전기검층

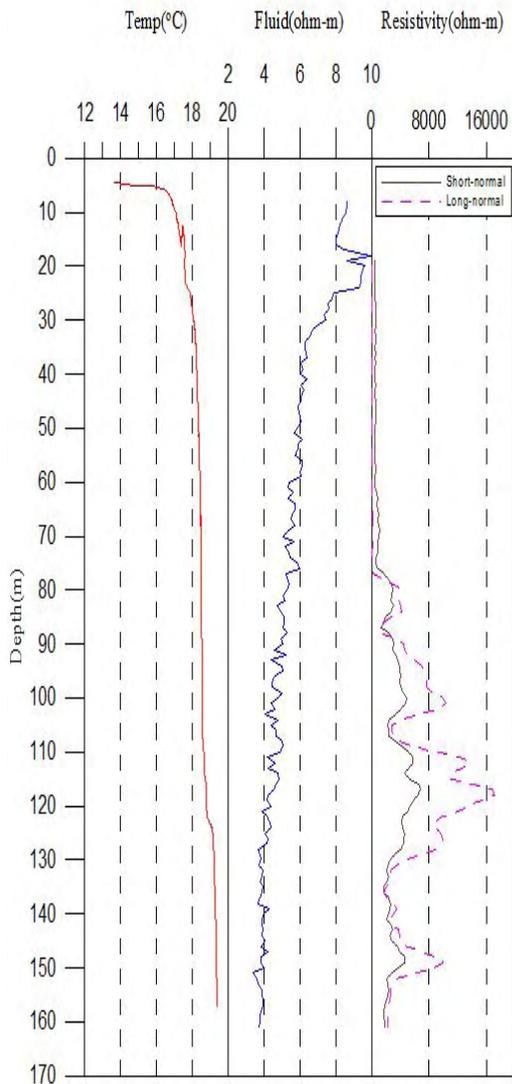


(b) EC검층

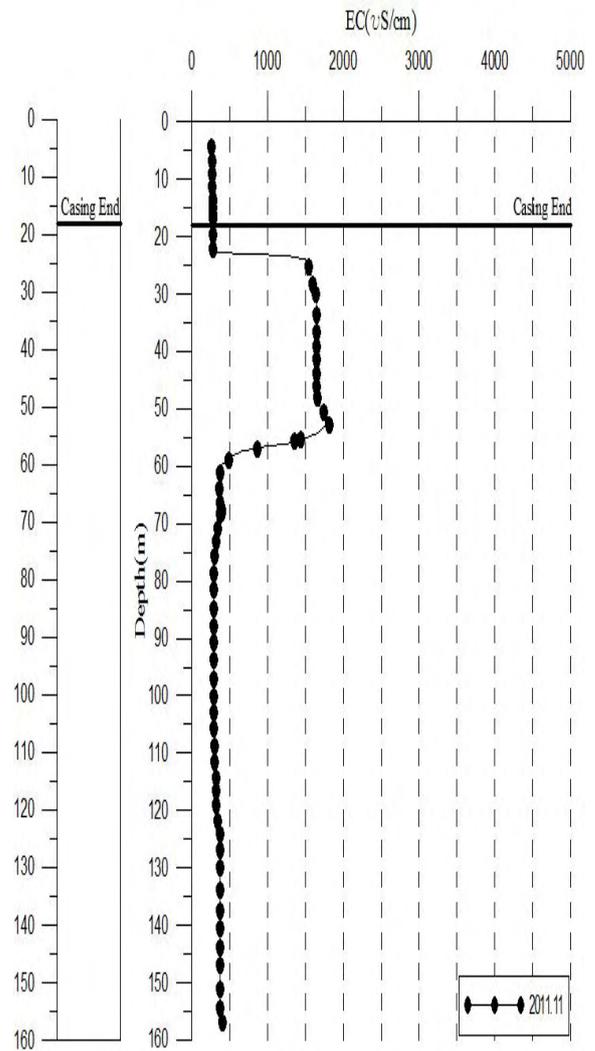
<그림 4-3-3> TSBH-04호공의 물리검층 결과

다. TSBH-05호공

통산1지구 TSBH-05 관측정은 지표 하 약 25m구간에서 전기전도도 값이 약 $300\mu S/cm$ 에서 $1,500\mu S/cm$ 로 증가하는 전이대 구간이 나타며, 50m에서 60m 구간은 전기전도도 값이 감소하는 경향이 나타나고 있다. 전기검층의 검층 결과 지표 하 약 80m, 90m, 105m, 140m에서 상대적으로 저비저항 구간이 나타난다<그림 4-3-4>.



(a) 전기검층



(b) EC검층

<그림 4-3-4> TSBH-05호공의 물리검층 결과

4.4 양수시험

4.4.1 개요

양수시험은 가장 널리 적용되고 있는 현장투수시험 방법이다. 그 중에서도 일정양수량(Constant Pumping Rate)에 의한 양수시험이 가장 일반적이며 자료의 분석 방법도 간단하다. 양수율을 양수시험 전 기간동안 일정하게 유지시키는 것이 질 높은 양수시험 자료를 얻어낼 수 있는가 하는 문제를 좌우한다. 양수량의 높고 낮음은 대수층의 투수성에 의해 결정되어야 한다. 비교적 낮은 투수성을 가지는 매질에서는 양수량을 낮추고 높은 투수성을 가진 매질에서는 양수량을 높여야 하는 것이 일반적이다. 만일 시험에 소요되는 시간을 줄이면서 정류상태의 양수시험 자료를 필요로 한다면 낮은 양수량으로 시험을 진행해야 보다 빠른 시간안에 정류상태에 도달할 수 있다. 양수시험은 양수정과 관측정을 모두 이용하여 수행해야만 보다 정밀한 결과를 얻어낼 수 있으며, 1개의 양수정과 3개 이상의 관측정을 이용하여 수위강하를 관측할 수 있다면 이를 통해 투수량계수, 저류계수 이외에도 대수층 수리전도도의 이방성을 규명할 수 있다.

일정 양수량 양수시험의 수행 공정은 아래와 같다.

- ① 시험 대상 양수정과 관측정이 설치된 대수층의 포화두께, 자연수위, 스크린 길이, 관정 내경 기록
- ② 양수기, 자동수위기록기 등의 장비 설치
- ③ 양수 시작 후 양수율 및 시간에 따른 수위강하 관측
- ④ 시험자료 해석
- ⑤ 수리상수 취득

양수시험을 통해 얻어진 시간-수위강하 자료는 Theis 방법이나 Cooper-Jacob 직선법을 이용하여 해석할 수 있다.

4.4.2 이론

가. Theis 방법

Theis는 양수에 의한 피압대수층에서의 부정류 흐름을 가정하여 식(4-4-1)을 구하고 이에 근거하여 양수시험 자료해석에 이용되는 표준곡선을 제시하였다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{식 4-4-1})$$

Theis 방법은 국내에서 양수시험 자료 해석에 널리 이용되고 있으나 그 개념적, 이론적 기초가 완전 관통 관정이 설치된 다공질 피압대수층에 대한 것으로 한정되므로 파쇄암반대수층이 발달한 우리나라 수리지질 조건에 적용하기에는 다소 제한점을 가진다.

각 기호들이 나타내는 의미는 다음과 같다.

s : 수위강하	Q : 양수율
T : 투수량계수	r : 양수정에서 관측정까지의 거리
S : 저류계수	t : 시간
W(u) : 관정함수(Well Function)	

Theis 방법을 이용하여 투수량계수와 저류계수를 계산하는 과정은 아래와 같다.

- ① 대수용지에 수위강하대 시간의 자료를 도시한다.
- ② 표준곡선과 실측자료곡선을 중첩시킨다.
- ③ 중첩시킨 그래프에서 한 점을 택하여 $1/u$, $W(u)$, s , t/r^2 를 읽는다.
- ④ 식(4-5-1)을 이용하여 투수량계수, 저류계수를 계산한다.

나. Cooper-Jacob 직선법

Cooper-Jacob 직선법은 기본적으로 Theis 방법과 같은 이론적 기초에서 출발하나 양수 시작 후 충분한 시간이 경과했을 때 위의 식(4-4-1)이 아래의 식(4-4-2)과 식(4-4-3)으로 근사된다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \quad (\text{식 4-4-2})$$

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad (\text{식 4-4-3})$$

양수량이 일정하면 T와 S는 상수이므로 수위강하량과 양수시간의 관계는 대수지에서 직선으로 나타난다. 그러므로 양수시간 log 1 cycle 에 해당하는 수위강하량 Δs 를 취하면 투수량계수는 다음과 같이 구해진다.

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi \cdot \Delta s} \quad (\text{식 4-4-4})$$

지하해수조사사업 보고서

한편 수위강하량과 경과시간 관계 그래프에서 직선을 연장하여 수위강하량이 영(zero)인 점의 시간 t_0 를 읽으면 저류계수 S 는 다음과 같이 구해진다.

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} \quad (\text{식 4-4-5})$$

Cooper-Jacob 직선법을 이용하여 투수량계수와 저류계수를 계산하는 과정은 아래와 같다.

- ① 반대수용지에 수위강하(산술 눈금) 대 시간(대수 눈금)의 자료를 도시한다.
- ② 직선을 수위강하가 “0”인 지점(가로축과의 교점)까지 연장한다.
- ③ 직선의 기울기, t_0 ($s=0$ 에서의 t), 식(4-4-4) 및 식(4-4-5)를 이용하여 투수량계수, 저류계수를 계산한다.

본 조사공의 양수시험 시 토출되는 양수량은 적산유량계, V-notch 등을 사용하여 측정하였고, 수위강하량은 양수정에서 자동수위측정기 및 수동 전기식 수위측정기를 이용하여 측정하였다. 대수층의 수리상수를 산출하는 방법으로서 부정류 피압대수층의 기본 우물집수공식인 Theis(1935) 및 Cooper & Jacob의 해석 방법을 통하여 AQTESOLV 전산 프로그램을 사용하여 분석하였다.

4.4.3 양수시험 결과

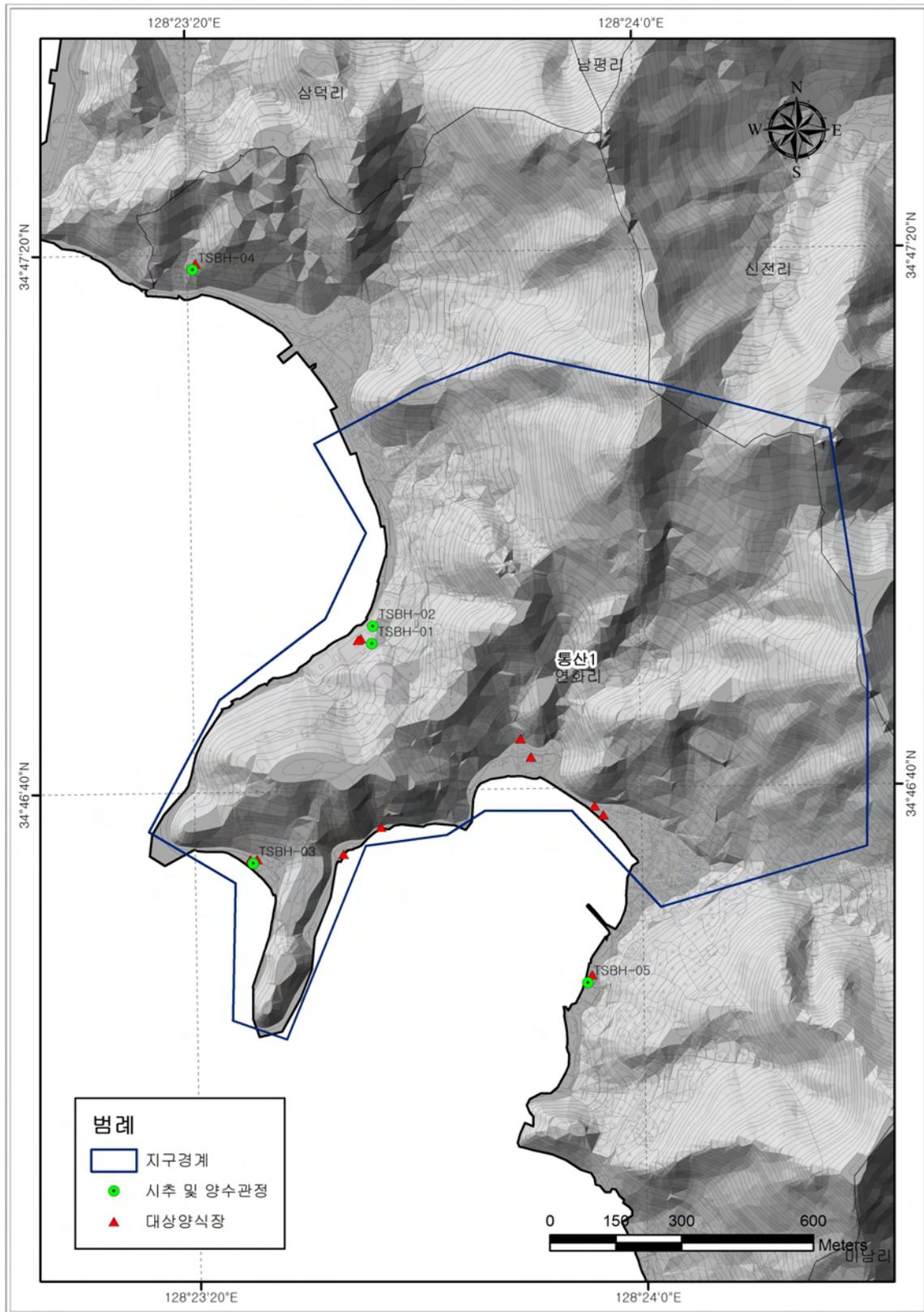
급변 조사에서는 총 5개소의 시추조사공 모두 24시간 동안 장기양수시험을 시행하여 경과시간별 수위강하량을 측정하였고, 양수시험 종료 후 양수를 중지한 상태에서 120분간 수위회복 및 잔류 수위강하량을 측정한 후 수리상수를 산정하였다. 시추조사시 에어써징 시 TSBH-01, TSBH-02, TSBH-03, TSBH-04, TSBH-05호공의 산출량은 각각 400m³/일, 300m³/일, 70m³/일, 400m³/일, 400m³/일로서 에어써징양수량을 참고하여 적정양수량을 적용하였다. 양수시험 결과 Theis 방법에 의한 투수량계수 T 는 TSBH-01호공 2.462m³/일, TSBH-02호공 2.819m³/일, TSBH-03호공 0.844 m³/일, TSBH-04호공 3.292m³/일, TSBH-05호공이 3.076m³/일이고, 저류계수 S 는 TSBH-01호공 0.003762, TSBH-02호공 0.002853, TSBH-03호공 0.002532, TSBH-04호공 0.00328, TSBH-05호공이 0.002535로 구해졌으며, Cooper & Jacob 방법으로 해석한 결과 투수량계수 T 는 TSBH-01호공 2.768m³/일, TSBH-02호공 2.971m³/일, TSBH-03호공 0.875m³/일, TSBH-04호공 3.314m³/일, TSBH-05이 2.653m³/일이고,

저류계수 S는 TSBH-01호공 0.002775, TSBH-02호공 0.002561, TSBH-03호공 0.002258, TSBH-04호공 0.002936, TSBH-05호공이 0.003165로 산출되었다. 그리고 수위회복에 의해서 투수량계수 T는 TSBH-01호공 1.986m³/일, TSBH-02호공 2.289 m³/일, TSBH-03호공 0.748m³/일, TSBH-04호공 2.194m³/일, TSBH-05호공이 2.408 m³/일로 산출되었다.

상기의 3가지 방법에 의한 양수시험 분석결과 수리상수는 <표 4-4-1> 및 <표 4-4-2>와 같으며 조사공의 평균 투수량계수 T는 TSBH-01호공 2.405m³/일, TSBH-02호공 2.693m³/일, TSBH-03호공 0.822m³/일, TSBH-04호공 2.933m³/일, TSBH-05호공이 2.712m³/일이고, 저류계수 S는 TSBH-01호공 0.003269, TSBH-02호공 0.002707, TSBH-03호공 0.002395, TSBH-04호공 0.003108, TSBH-05호공이 0.00285로 산출되었다.

<표 4-4-1> 조사공의 양수시험 결과

공 번	시험방법	투수량계수 (T, m ³ /일)	저류계수(S)	해석법
TSBH-01	장 기	2.462	0.003762	Theis
		2.768	0.002775	Cooper-Jacob
	회 복	1.986		Theis Recovery
	평 균	2.405	0.003269	
TSBH-02	장 기	2.819	0.002853	Theis
		2.971	0.002561	Cooper-Jacob
	회 복	2.289		Theis Recovery
	평 균	2.693	0.002707	
TSBH-03	장 기	0.844	0.002532	Theis
		0.875	0.002258	Cooper-Jacob
	회 복	0.748		Theis Recovery
	평 균	0.822	0.002395	
TSBH-04	장 기	3.292	0.003280	Theis
		3.314	0.002936	Cooper-Jacob
	회 복	2.194		Theis Recovery
	평 균	2.933	0.003108	
TSBH-05	장 기	3.076	0.002535	Theis
		2.653	0.003165	Cooper-Jacob
	회 복	2.408		Theis Recovery
	평 균	2.712	0.002850	



<그림 4-4-1> 통산1지구 양수시험 위치도

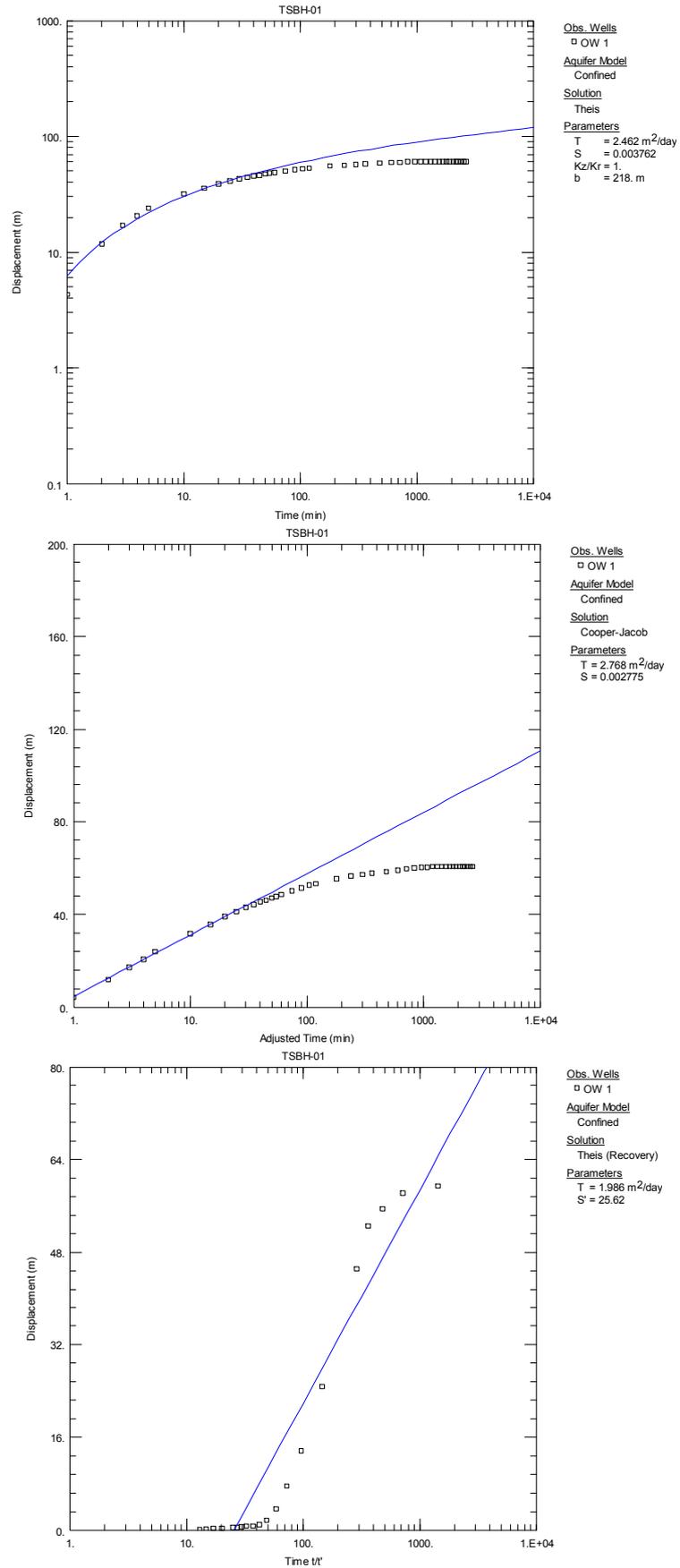
<표 4-4-2> 조사공의 수리상수 산출 결과

공번	심도 (m)	관정구경 (mm)	케이싱심도 (m)	대수층두께 (m)	지하해수 산출량 (m ³ /일)	양수량 (m ³ /일)	양수시간 (min)
TSBH-01	233	150~250	3	218	500	400	2,640
TSBH-02	152	150~250	6	122	400	300	2,640
TSBH-03	163	150~250	13	150	80	70	2,640
TSBH-04	112	150~250	17	95	500	400	2,640
TSBH-05	156	150~250	18	138	400	350	2,640

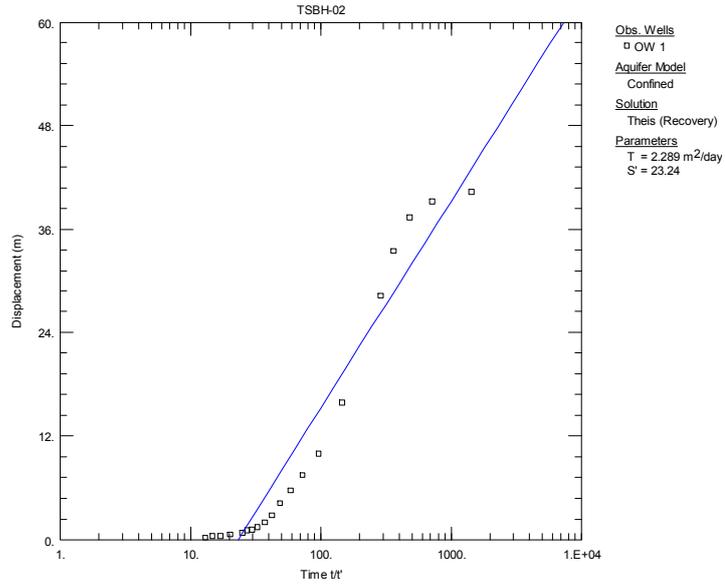
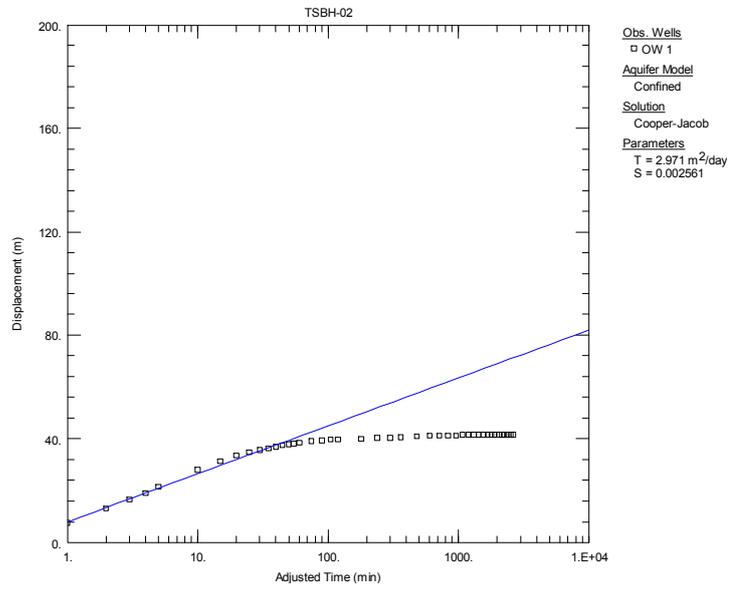
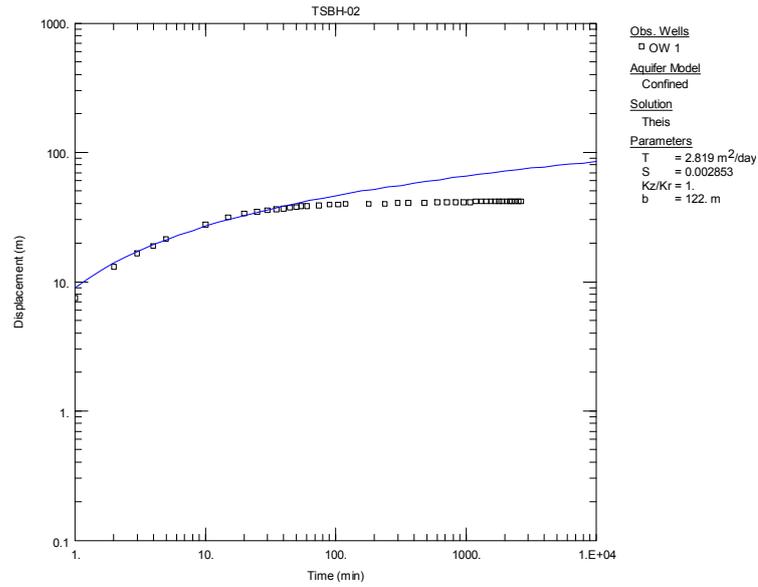
<표 4-4-2> 조사공의 수리상수 산출 결과(계속)

공번	자연 수위 (m)	안정 수위 (m)	수위 강하량 (m)	비양수량 (m ² /day)	평균 투수량계수 (m ² /일)	평균 저류계수	평균 투수계수 (m/일)	비고
TSBH-01	14.90	75.60	60.70	6.5898	2.405	0.00327	0.01103	confined
TSBH-02	30.00	71.60	41.60	7.2115	2.693	0.00271	0.02207	"
TSBH-03	3.40	38.11	34.71	2.0167	0.822	0.0024	0.00548	"
TSBH-04	14.95	69.49	54.54	7.3341	2.933	0.00311	0.03087	"
TSBH-05	1.25	54.15	52.90	6.6163	2.712	0.00285	0.01965	"

지하해수조사사업 보고서

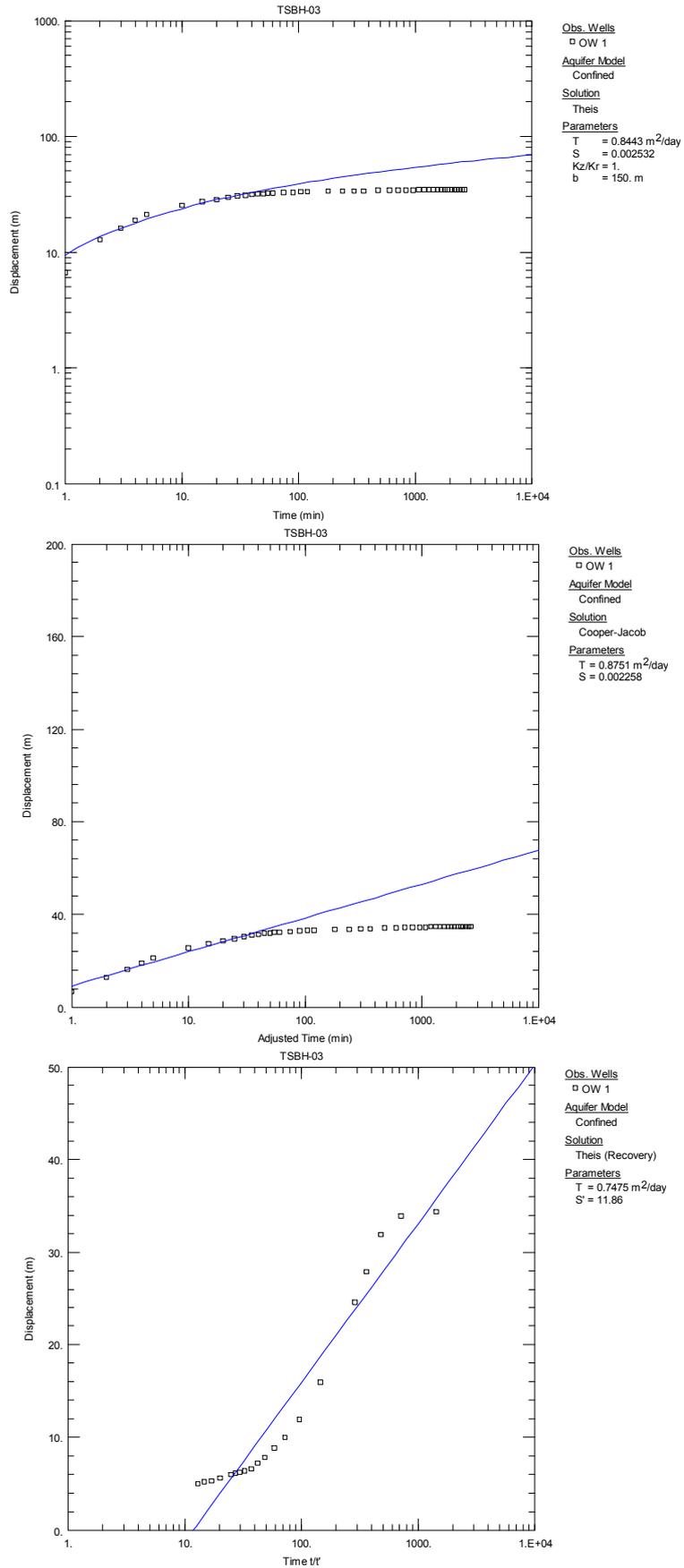


<그림 4-4-2> TSBH-01호공 양수시험 해석 결과도

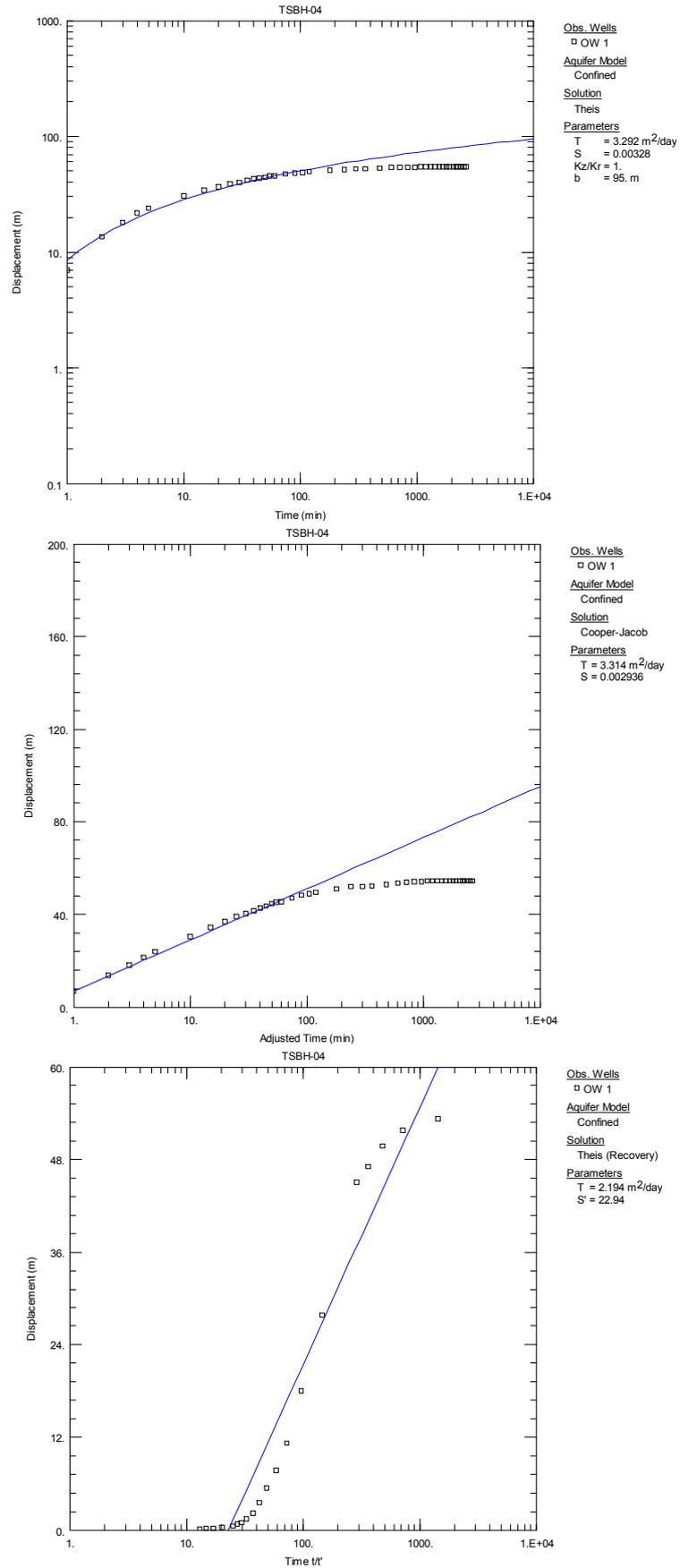


<그림 4-4-3> TSBH-02호공 양수시험 해석 결과도

지하해수조사사업 보고서

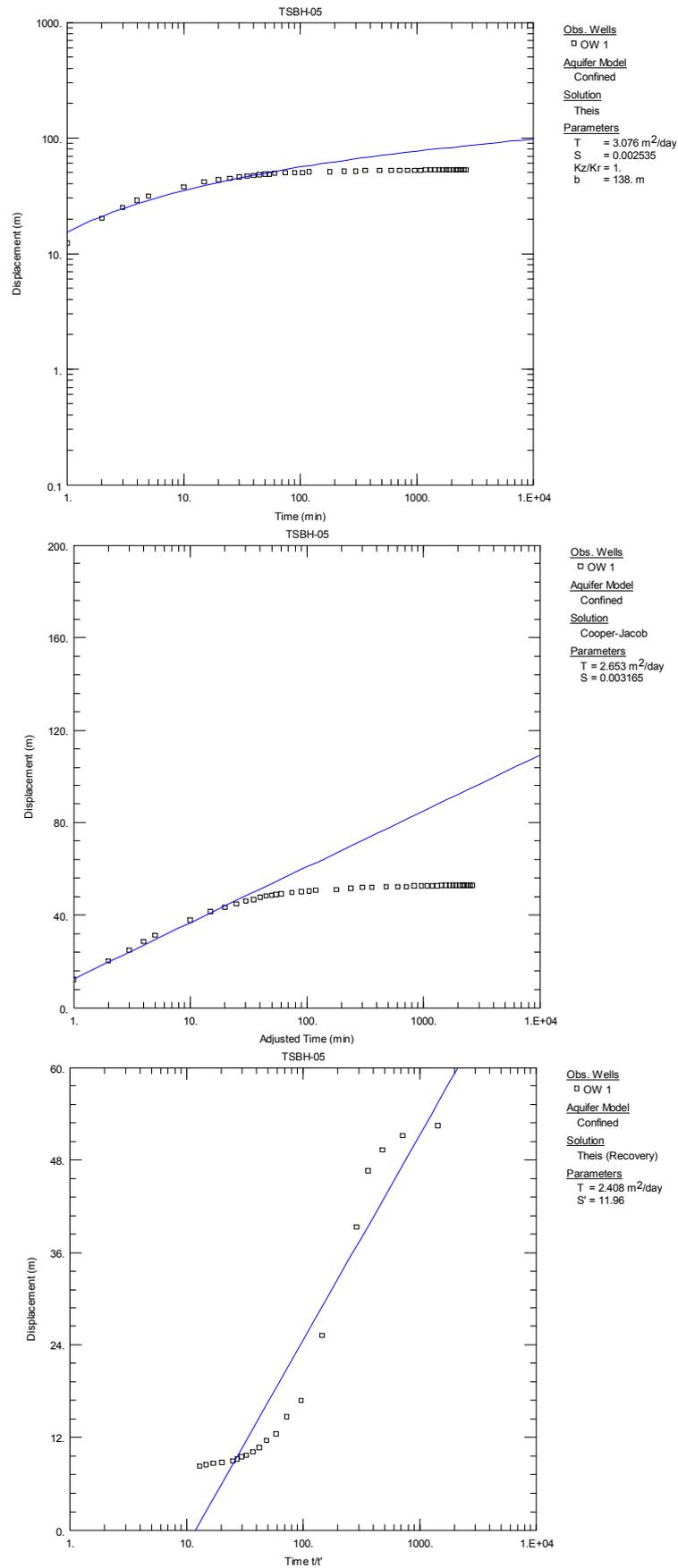


<그림 4-4-4> TSBH-03호공 양수시험 해석 결과도



<그림 4-4-5> TSBH-04호공 양수시험 해석 결과도

지하해수조사사업 보고서



<그림 4-4-6> TSBH-05호공 양수시험 해석 결과도

4.4.4 양수에 따른 영향에측 및 분석

일반적으로 관정에서 지하수를 양수할 때는 인근 주변지역 지하수위에 영향을 미치는데 이를 지하수 영향권(R) 내지 영향반경이라고 한다. 영향권은 양수량, 양수시간, 대수층두께, 투수계수, 공극율 그리고 지하수계의 경계조건 등에 따라 좌우된다. 본 조사지역내의 각 조사공에서는 수압손실 및 지하수의 이동으로 발생하는 영향권을 산출하기 위해 Shultz, Weber, Kozeny의 경험공식 및 Jacob의 영향반경 공식을 적용하였다.

R : 영향반경

bK (=T): 투수량계수 TSBH-01 : 2.405 m²/일, TSBH-02 : 2.693 m²/일,
 TSBH-03 : 0.822 m²/일, TSBH-04 : 2.933 m²/일,
 TSBH-05 : 2.712 m²/일

t : 양수시간 (1,440분=1일)

λ: 유효공극율 TSBH-01, TSBH-01, TSBH-01, TSBH-01, TSBH-01
 : 0.01(WHPA 입력자료)

○ Shultz의 공식적용

$$R = \sqrt{6bKt/\lambda} = \sqrt{6Tt/\lambda}$$

$$R_{BH-1} = \sqrt{6 \times 2.405 \times 1/0.01} = 38m$$

$$R_{BH-2} = \sqrt{6 \times 2.693 \times 1/0.01} = 40m$$

$$R_{BH-3} = \sqrt{6 \times 0.822 \times 1/0.01} = 22m$$

$$R_{BH-4} = \sqrt{6 \times 2.933 \times 1/0.01} = 42m$$

$$R_{BH-5} = \sqrt{6 \times 2.712 \times 1/0.01} = 40m$$

○ Weber의 공식적용

$$R = \alpha \sqrt{bKt/\lambda} = \alpha \sqrt{Tt/\lambda}$$

α는 상수로서 1.9~3, 여기서는 3적용

$$R_{BH-1} = 3\sqrt{2.405 \times 1/0.01} = 47m$$

$$R_{BH-2} = 3\sqrt{2.693 \times 1/0.01} = 49m$$

$$R_{BH-3} = 3\sqrt{0.822 \times 1/0.01} = 27m$$

$$R_{BH-4} = 3\sqrt{2.933 \times 1/0.01} = 51m$$

$$R_{BH-5} = 3\sqrt{2.712 \times 1/0.01} = 49m$$

○ Kozeny의 공식적용

$$R = \sqrt{\frac{12 \cdot t}{S}} \sqrt{\left(\frac{Q \cdot T}{\pi}\right)}$$

$$R_{BH-1} = \sqrt{\frac{12 \times 0.1}{0.01}} \sqrt{\left(\frac{400 \times 2.405}{3.14}\right)} = 46m$$

$$R_{BH-2} = \sqrt{\frac{12 \times 0.1}{0.01}} \sqrt{\left(\frac{300 \times 2.693}{3.14}\right)} = 44m$$

$$R_{BH-3} = \sqrt{\frac{12 \times 0.1}{0.01}} \sqrt{\left(\frac{70 \times 0.882}{3.14}\right)} = 23m$$

$$R_{BH-4} = \sqrt{\frac{12 \times 0.1}{0.01}} \sqrt{\left(\frac{400 \times 2.933}{3.14}\right)} = 48m$$

$$R_{BH-5} = \sqrt{\frac{12 \times 0.1}{0.01}} \sqrt{\left(\frac{350 \times 2.712}{3.14}\right)} = 46m$$

○ Jacob 비평형 우물공식 적용

$$s_w = \frac{2.3Q}{4\pi} \log \frac{2.25Tt}{r^2S}$$

에서 수위강하량 s_w 가 0으로 수렴하는 r 를 영향반경 R 라 하면

$$R = \sqrt{\frac{2.25Tt}{S}} \quad \text{이다.}$$

여기서 S 는 유효공극률인 0.01을 사용하였다. 따라서

$$R_{BH-1} = \sqrt{\frac{2.25 \times 2.405 \times 1}{0.01}} = 23m$$

$$R_{BH-2} = \sqrt{\frac{2.25 \times 2.693 \times 1}{0.01}} = 25m$$

$$R_{BH-3} = \sqrt{\frac{2.25 \times 0.822 \times 1}{0.01}} = 14m$$

$$R_{BH-4} = \sqrt{\frac{2.25 \times 2.933 \times 1}{0.01}} = 26m$$

$$R_{BH-5} = \sqrt{\frac{2.25 \times 2.712 \times 1}{0.01}} = 25m$$

<표 4-4-3> 조사공의 영향반경 산출 결과

공 번	Shultz	Weber	Kozeny	Jacob	평 균	비 고
TSBH-01	38 m	47 m	46 m	23 m	38 m	-
TSBH-02	40 m	49 m	44 m	25 m	39 m	-
TSBH-03	22 m	27 m	23 m	14 m	21 m	-
TSBH-04	42 m	51 m	48 m	26 m	42 m	
TSBH-05	40 m	49 m	46 m	25 m	40 m	

상기 공식에서 양수시간은 연속 양수하는 시간(24시간)을 적용하여 나온 결과로 조사공의 평균 영향반경은 TSBH-01호공 38m, TSBH-02호공 39m, TSBH-03호공 21m, TSBH-04호공 42m, TSBH-05호공 40m로 산정되었다.

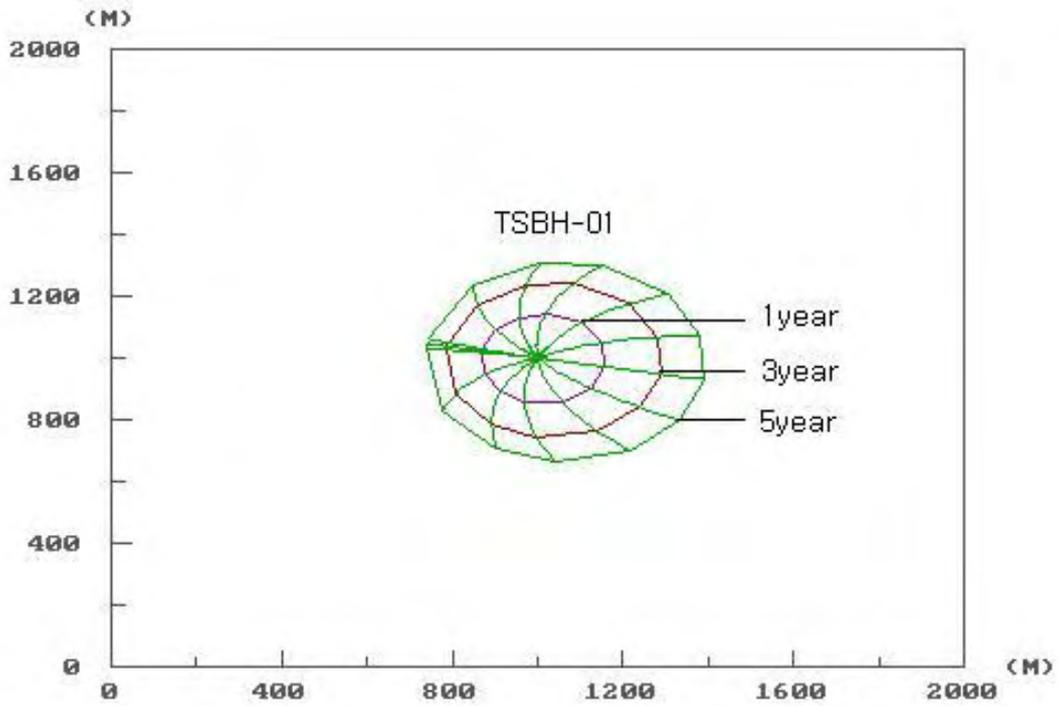
4.4.5 잠재오염원에 의한 영향범위

지하수내에 오염물질을 공급 이동시켜 취수공으로 모일 수 있는 범위를 포획구간(Capture Zone)이라 하며 포획구간은 지하수의 흐름에 따라 형태와 크기가 결정되므로 지하수의 유향과 지하수면 경사, 그리고 대수층의 투수계수와 공극율이 주 변수가 된다. 지구 내 지형특성 상 상류부로부터 하류부까지의 동수경사는 50/1000(0.05)으로 산출되었다.

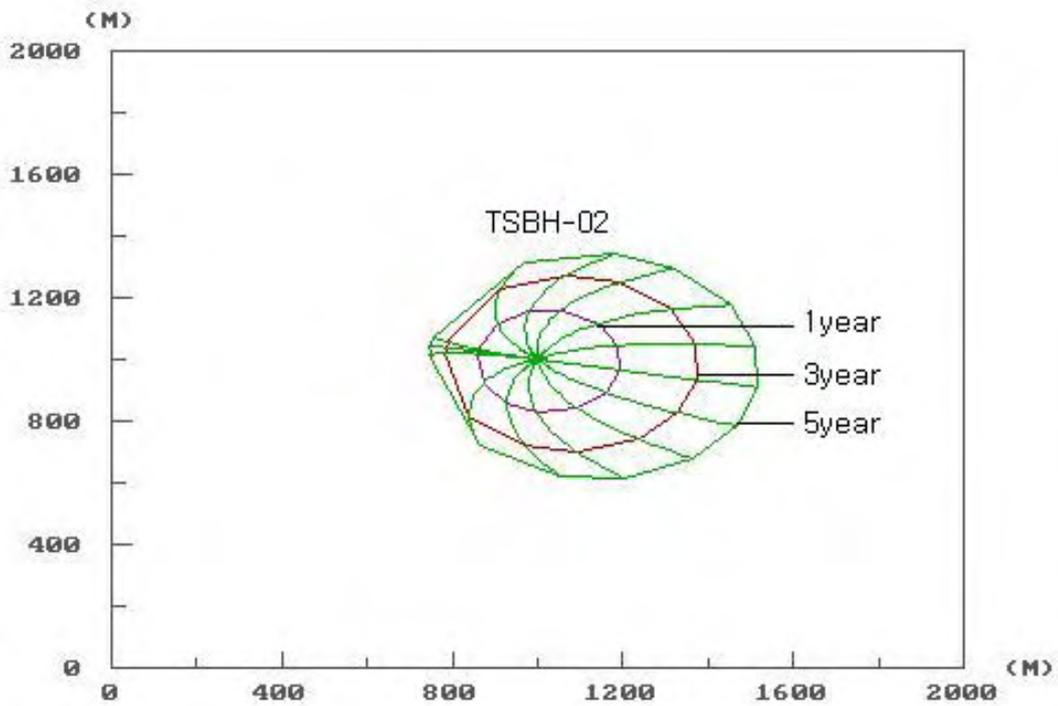
포획구간 분석에 활용한 프로그램은 미국의 EPA(환경청)에서 취수정보호를 위해 개발한 WHPA(Well Head Protection Area)모델로서 본 지구에 대한 포획구간 해석을 위하여 다음과 같이 입력 자료를 추정하여 대입한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

<표 4-4-4> 조사공의 포획구간 산출 입력 인자

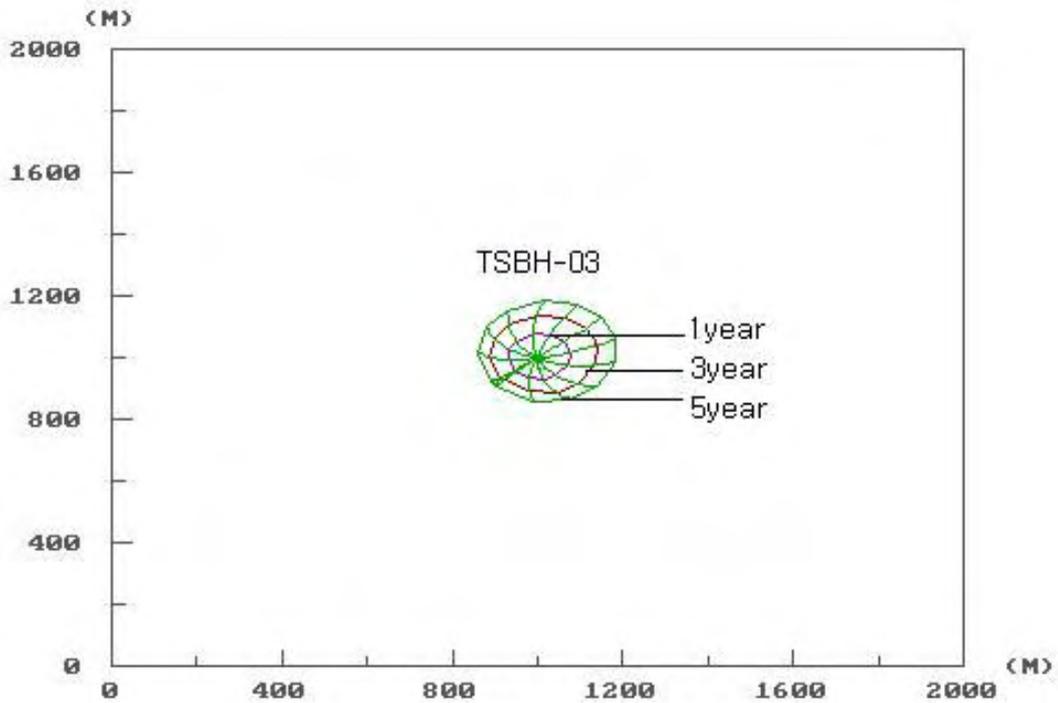
공 번	양수량 (m ³ /일)	투수량계수 (m ² /일)	공극율	대수층 두께 (m)	유 향 (정동향 기준 °)	동수 경사	비 고
TSBH-01	400	2.405	0.01	218	170	0.05	무경계조건
TSBH-02	300	2.693	0.01	122	170	0.05	무경계조건
TSBH-03	70	0.822	0.01	150	220	0.05	무경계조건
TSBH-04	400	2.933	0.01	95	240	0.05	무경계조건
TSBH-05	350	2.712	0.01	138	200	0.05	무경계조건
TSBH-01 TSBH-02	400 300	2.549 (평균 적용)	0.01	170 (평균 적용)	170	0.05	GPTRAC



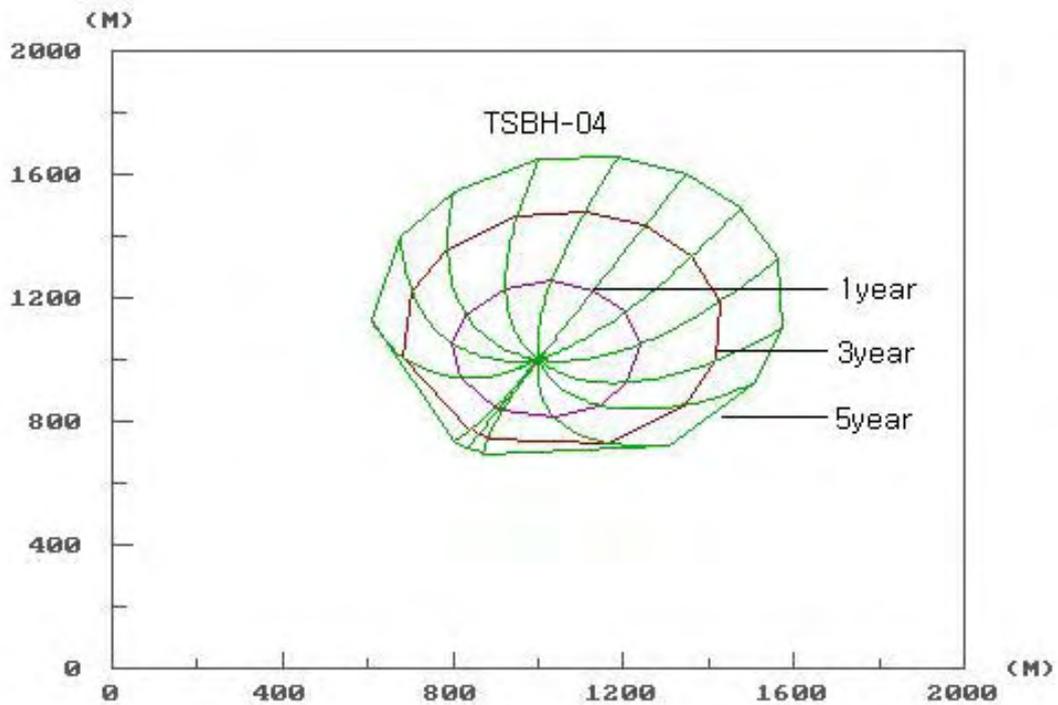
<그림 4-4-7> TSBH-01호공 포획구간



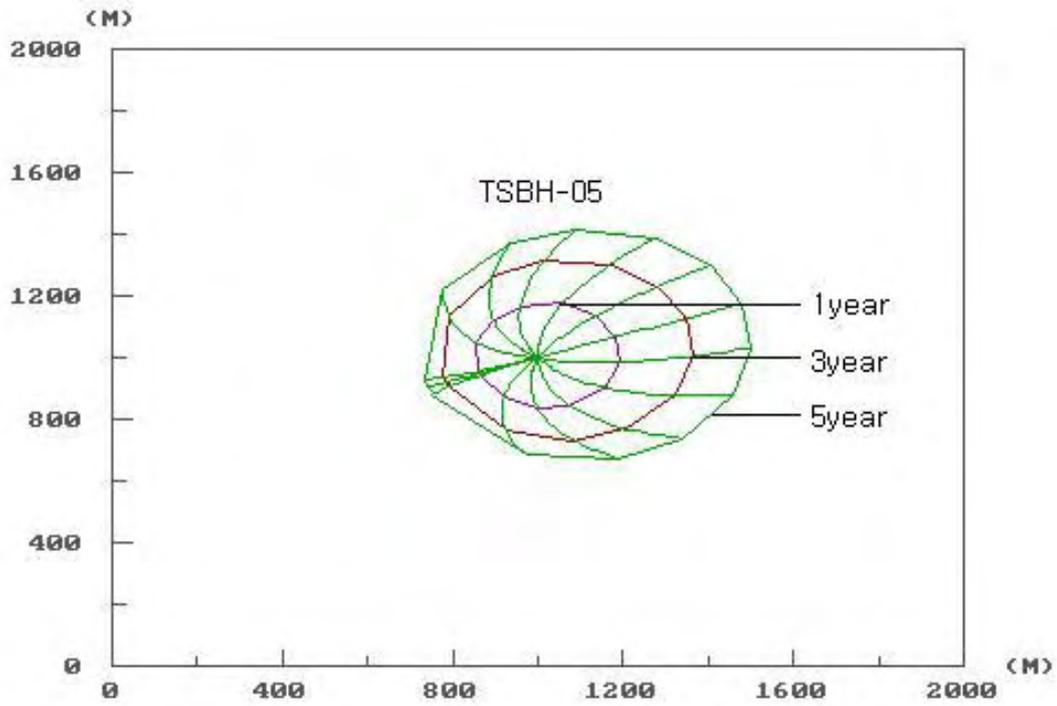
<그림 4-4-8> TSBH-02호공 포획구간



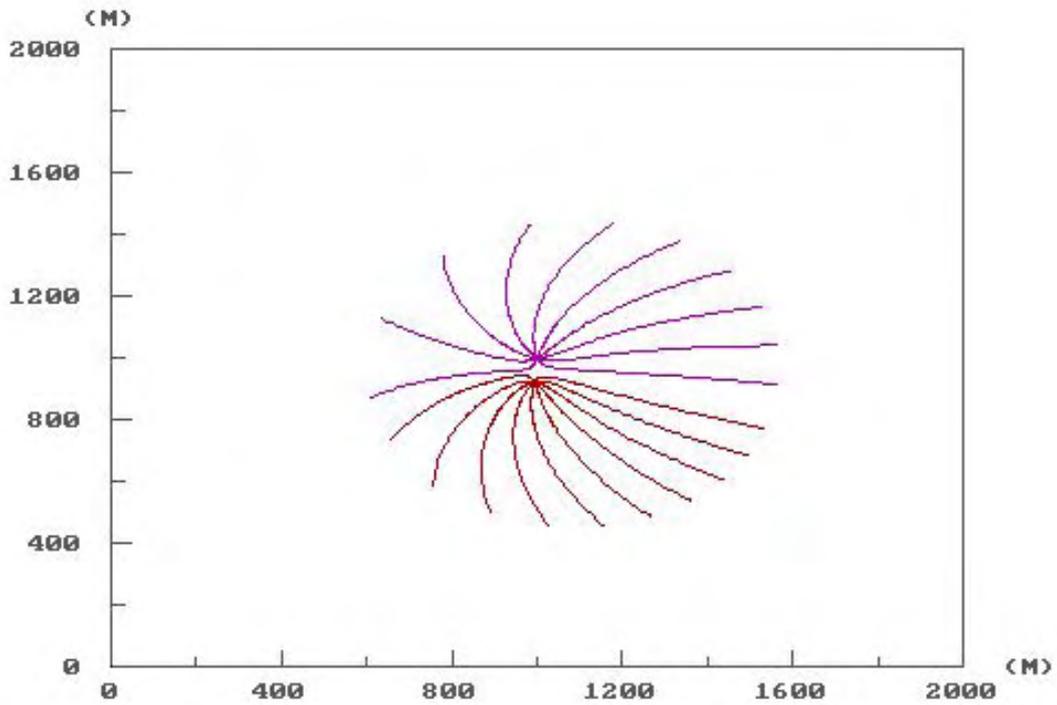
<그림 4-4-9> TSBH-03호공 포획구간



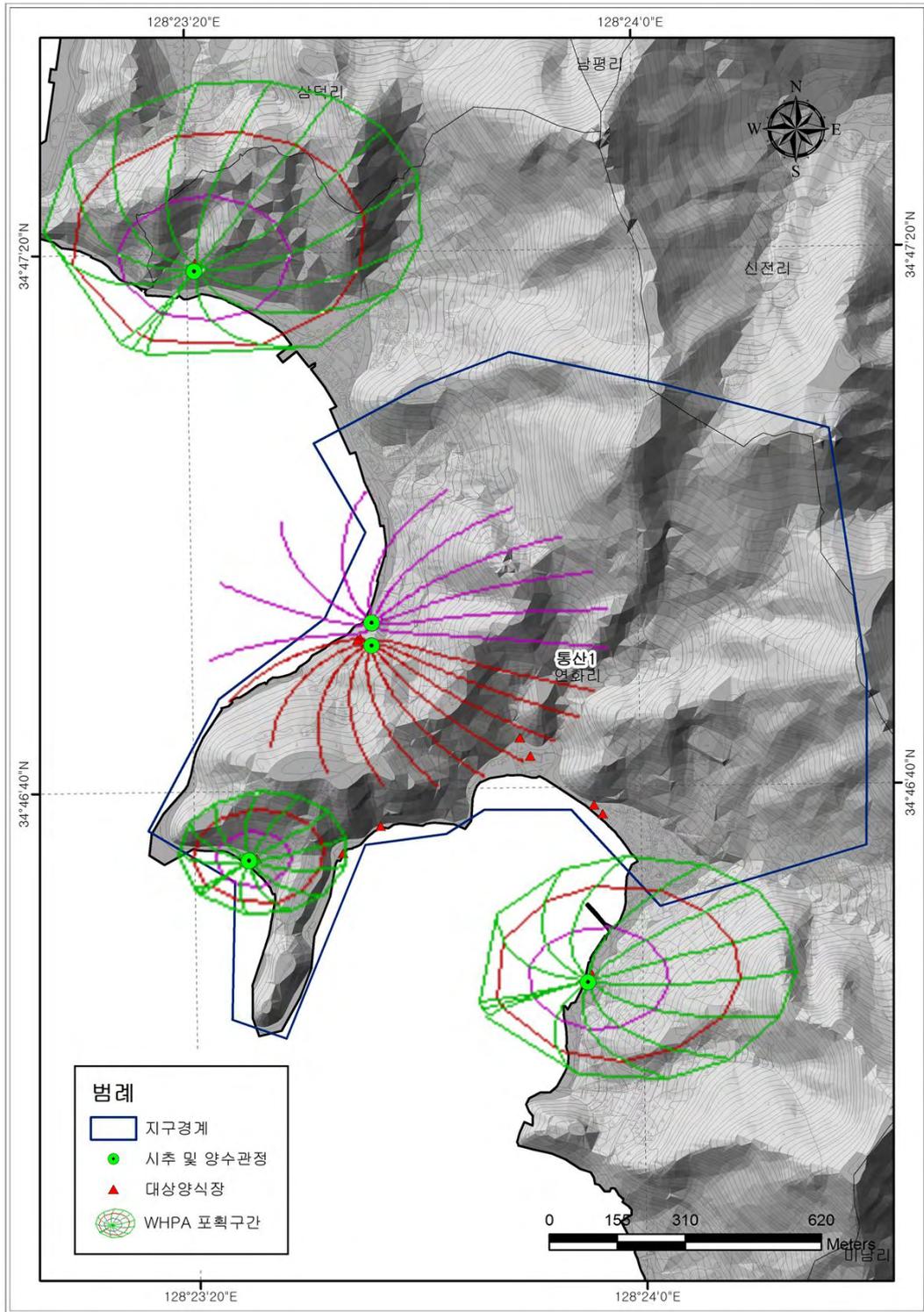
<그림 4-4-10> TSBH-04호공 포획구간



<그림 4-4-11> TSBH-05호공 포획구간



<그림 4-4-12> TSBH-01, 02호공 포획구간(GPTRAC방법)



<그림 4-4-13> 조사공별 포획구간 현황도

<표 4-4-5> 포획구간 산출 결과 총괄

양수기간	공번	상류부(m)	하류부(m)	비 고
1년	TSBH-01	166.7	120.4	시험정으로 이동을 일으키는 권역 MWCAP MODULE 적용
	TSBH-02	185.2	129.6	
	TSBH-03	74.1	55.6	
	TSBH-04	259.3	166.7	
	TSBH-05	185.2	148.1	
3년	TSBH-01	203.7	203.7	"
	TSBH-02	370.4	222.2	
	TSBH-03	138.9	92.6	
	TSBH-04	481.5	250.0	
	TSBH-05	370.4	222.2	
5년	TSBH-01	407.4	259.3	"
	TSBH-02	518.5	259.3	
	TSBH-03	185.2	111.1	
	TSBH-04	648.1	296.3	
	TSBH-05	500.0	277.8	
5년	TSBH-01	540.5	364.9	시험정으로 이동을 일으키는 권역 GPTRAC MODULE 적용
	TSBH-02	567.6	405.4	

<그림 4-4-7>~<그림 4-4-11>에서 보듯이 MWCAP MODULE을 사용한 단공으로의 모델분석 결과는 TSBH-01, TSBH-03호공은 5년간 양수시의 포획구간은 원형에 가까운 모양으로 나타났으며 TSBH-02, TSBH-04, TSBH-05호공은 부채꼴에 가까운 모양으로 나타났다. 원형의 포획구간을 보이는 TSBH-01호공과 TSBH-03호공은 양수 시간에 따라 유사한 비율의 증가를 나타낸다. 한편 인접한 두 개의 시추공 TSBH-01호공과 TSBH-02호공에서의 공간 상호간섭의 영향을 고려한 GPTRAC MODULE 모델분석 결과는 상류부로 넓게 퍼진 부채살 모양의 범위로 나타나 두 공 사이의 상호 간섭은 있는 것으로 나타났다. 그러나 위의 포획구간은 무강우일수가 5년간 지속되어 자연함양이 이루어지지 않는 기상환경과 5년간 연속 양수 시 산정되는 범위이기 때문에 실제 기상환경의 자연상태에서는 강우-양수-함양이 반복적으로 일어날 것이므로 오염물질의 이동은 빠른 기간 내에 일어나지 않고 상호간 안정을 보일 것으로 판단된다.

4.5 지하해수 수질특성

지하수의 수질 및 수리화학적 특성은 지하수가 함유한 주요 양·음이온의 무기이온의 농도분포를 통해 해석가능하다. 이러한 특성은 지하수 부존 지역의 지질학적 특성 및 인위적인 오염원의 존재에 따라 다양하게 변화하며, 동일 지역 내에서도 지하수 부존 심도에 따라 변화한다. 암반 및 천부 층적층 지하수의 수질 특성을 지배하는 주요 변수로는 첫째, 대수층으로 유입되는 강우 및 지표수의 화학조성 및 농도(오염원의 존재 여부 포함), 둘째 지하수의 유동 경로에 따른 기반암의 종류(특히 광물 조성), 셋째, 지하수의 유동 경로를 지배하는 지질 구조의 특성이며, 끝으로 물-암석반응으로 표현되는 수리지구화학적 반응의 특성 등이 있다.

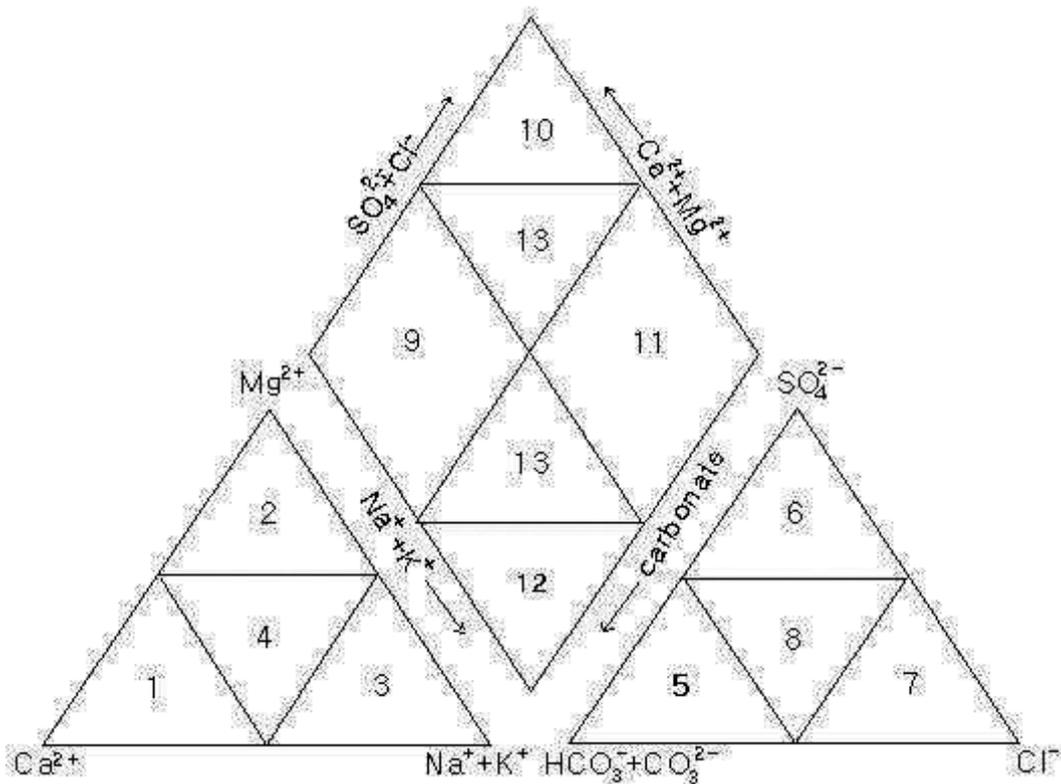
인위적인 오염을 제외하고 지하수의 유동에 따른 수질을 형성하는 자연적 수리화학적 반응은 다음과 같다. 대수층으로 유입되는 강우 및 지표수(하천수)는 인위적인 오염이 없을 경우 용존된 물질이 적은 매우 희석된 상태이다. 이러한 물이 토양층을 거쳐 불포화 대수층을 통해 지하로 흘러 들어가면 불포화 대수층을 구성하는 광물과의 물리화학적 반응이 일어남으로써 일차적인 수질 특성 변화가 나타난다. 그러므로 포화대수층으로 도달하게 되면, 대수층 기반암을 구성하는 조성광물과의 화학 반응-주로 물-암석 반응이며, 조성 광물의 화학성과 화학 반응 시간에 의해 조절되는 기작에 의해 수질특성이 주로 결정된다. 이 과정의 화학반응 및 과정은 주로 용해-침전 반응, 산염기-수화 반응, 산화-환원 반응, 이온 교환 반응 및 흡착-탈착 반응, 용존 기체의 탈착, 상이한 물 유형의 혼합(mixing) 등이다.

4.5.1 시료채취 및 이화학(양·음이온)분석 방법

시료채취는 기설관정의 경우는 충분히 양수한 후 무균채수병에 양이온과 음이온분석용 시료 각 1ℓ 씩을 채수하였고, 금회 착정관정은 물리검층 및 EC검층결과 이상대(anomaly)가 관측되는 파쇄대 구간에서 수질시료 채취기를 이용하여 채수하였다. 채수한 시료는 고려대학교 전락광물연구센터 분석실에 의뢰하여 분석하였다. 주요 용존 양이온의 정량 분석은 Perkin Elmer사의 유도결합플라즈마 방출분광분석기(ICP-AES, Model 3000XL)를, 주요 용존 음이온의정량분석은 Dionex사의 이온크로마토그래피(IC, Model 120)를 이용하여 수행하였다. 자료처리 과정에서 투입된 이온 함량 자료는 측정값의 재현성(reproducibility)과 최저 측정한계를 고려한 quality control 하에서 분석된 자료이며, 시료 채취로부터 이르는 일련의 과정은 표준방법에 따라 수행되었다.

4.5.2 지하수 수질유형

파이퍼 다이어그램(Piper diagram)은 지하수 화학특성을 표시하는데 널리 쓰이는 수단인데, 지하수내 주요 양이온과 음이온의 당량농도(meq/l)를 비율(%)로 나타냄으로써 지하수의 유형(type)을 구분하는데 이용될 수 있다. 파이퍼 다이어그램에서 좌측아래의 삼각 다이어그램 상에는 주요 용존 양이온의 함량비가, 우측 아래 삼각 다이어그램에는 주요 용존 음이온의 함량비가 도시된다. 중앙의 마름모 다이어그램에는 양이온으로부터의 연장선과 음이온으로부터의 연장선이 교차되는 지점에 시료의 값을 도시하게 된다. 이렇게 도시되는 다이아몬드 모양의 다이어그램으로 지하수의 수질 유형을 구분하기도 한다<그림 4-5-1>. <표 4-5-1>은 파이퍼 다이어그램 상에 그려진 여러 영역에 대한 지하수 유형을 정리한 것이다.



<그림 4-5-1> 파이퍼 다이어그램을 이용한 유형분류

지하해수조사사업 보고서

<표 4-5-1> 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		

또한 지하수 시료 내 Cl/HCO₃ 몰비 역시 대추층을 통한 해수유입의 영향을 판단 할 수 있는 효과적인 지시자로 활용될 수 있으며, Revelle(1941)에 의하면 그 비가 0.5이하이면 해수의 영향이 전혀없고, 0.5~1.3인 경우 약간 문제가 되며, 1.3~2.8인 경우 약간의 영향을 2.8~6.6인 경우 보통정도의 오염을 6.6 이상인 경우 매우 심한 정도의 해수 영향을 받은 것으로 제시한 바 있다.

4.5.3 지하해수 수질분석 결과 및 해석

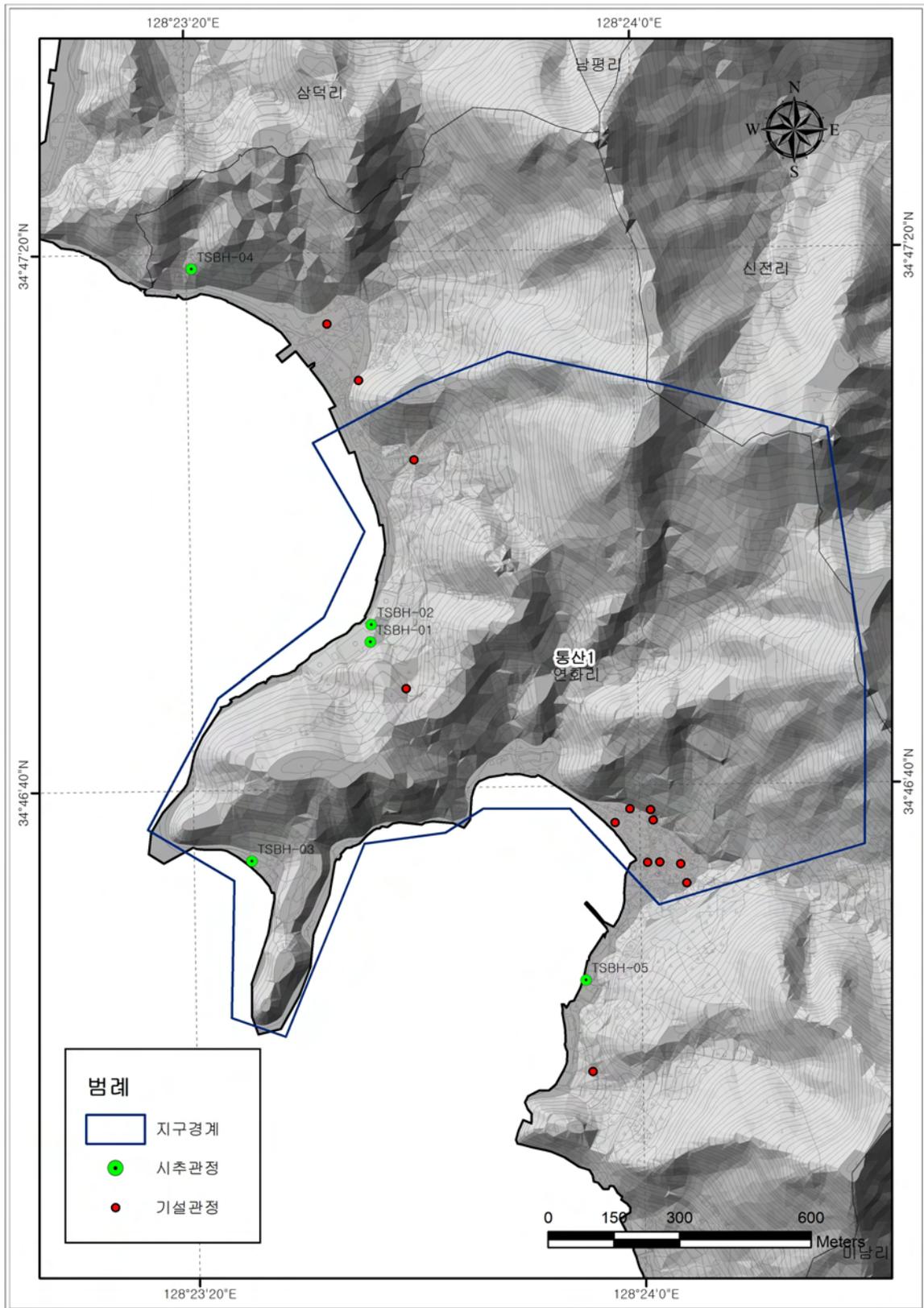
가. 간이수질측정 결과

통영시 지하수 행정자료를 기초로 통산1지구의 기설관정에 대한 현황조사를 수행한 후 채수 가능한 관정을 대상으로 현장 간이수질(온도, pH, EC 등)을 측정하였고 조사공의 위치는 <그림 4-5-2>에 나타내었다. 현장조사는 10월에 수행하였으며, 시추조사 공, 해수침투관측망의 간이수질 결과와 비교하여 <표 4-5-2>에 나타내었고, 각 결과에 대한 주제도를 부록에 수록하였다.

조사지역 지하수의 온도는 14.9~20.1℃로서 평균 17.6℃이고, pH는 6.25~8.38로 평균 7.38으로 조사되었다. 전기전도도는 235~3,999μS/cm, 평균 1266μS/cm로 시추조사 공의 평균 전기전도도가(3,600μS/cm) 기설관정의 전기전도도보다 높은 것으로 조사되었다. 그러나 지하해수의 개발 및 이용에 따라 전기전도도의 변화, 즉 내륙으로 해수가 침투하는지의 영향을 분석하기 위해서는 장기적인 관측을 통하여, 해수침투관측망의 관측자료와 상호 비교 분석하여야 할 것이다.

<표 4-5-2> 통산1지구 기설관정 간이수질 조사 결과

구분		수온 (°C)	pH	전기전도도 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/ℓ)	염분농도 (%)
기설 관정	평균	17.1	7.13	369	184	7
	TONGSAN-001	18.9	7.02	358	179	6
	TONGSAN-003	16.9	7.09	355	177	7
	TONGSAN-004	16.3	6.3	809	404	7
	TONGSAN-005	15.2	6.99	235	117	6
	TONGSAN-008	16.5	7.35	509	254	7
	TONGSAN-010	17.5	7.93	280	140	7
	TONGSAN-016	14.9	7.76	264	132	6
	TONGSAN-018	15.9	6.73	240	120	6
	TONGSAN-020	16.4	7.75	314	157	7
	TONGSAN-021	18.9	7.3	374	187	7
	TONGSAN-023	18.4	6.96	236	118	6
	TONGSAN-024	17.8	6.25	575	287	7
	TONGSAN-025	18.6	7.21	243	121	7
시추 조사	평균	18.7	8.06	3600	1800	6
	TSBH-1	17.7	8.25	3,999	2000	5
	TSBH-2	18.8	8.3	3,999	2000	6
	TSBH-3	18.6	7.05	3,999	2000	4
	TSBH-4	18.5	8.38	2,885	1443	7
	TSBH-5	20.1	8.3	3,117	1559	6



<그림 4-5-2> 통산1지구 기설관정 및 시추조사공 간이수질 측정위치도

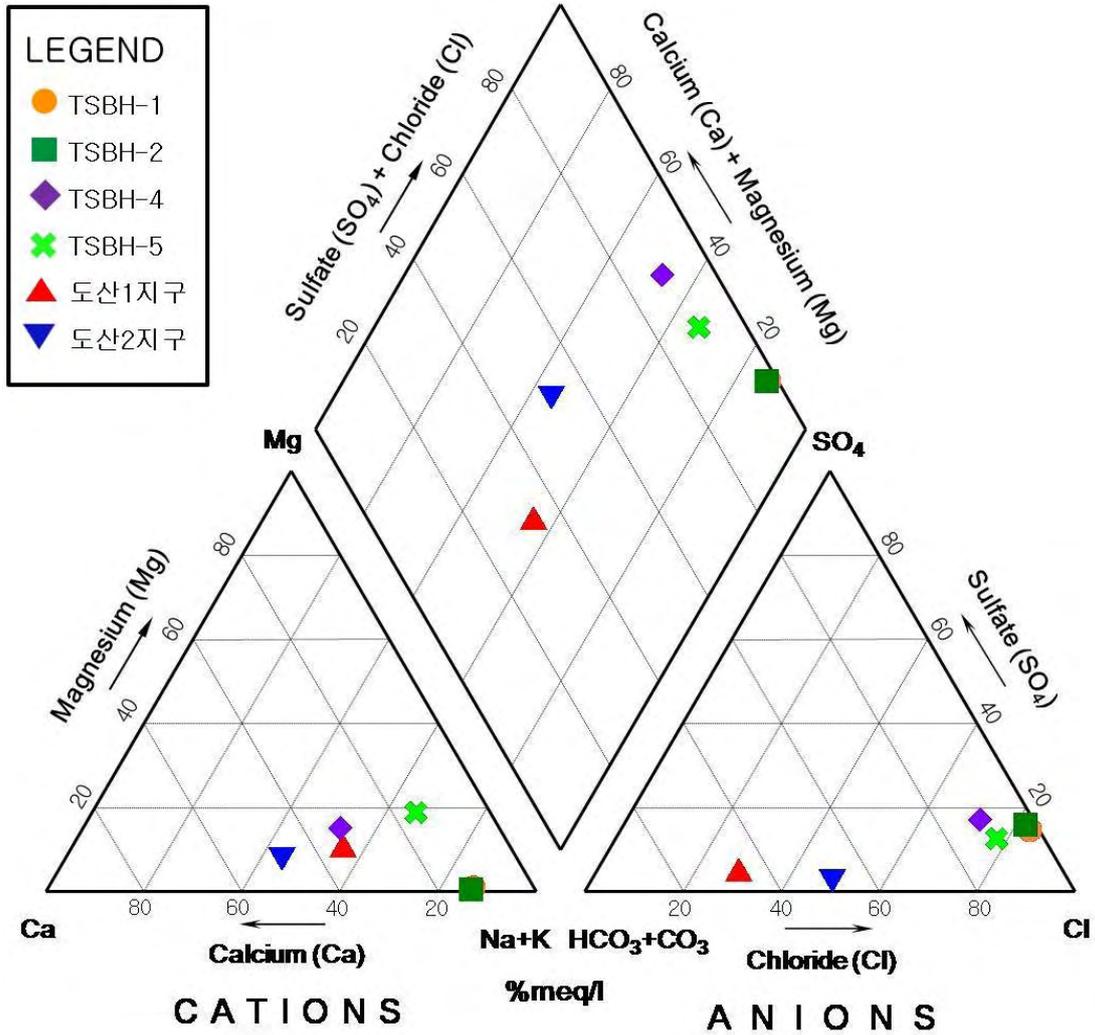
나. 이화학(양·음이온) 분석결과

통산1지구 지하수 및 지하해수 조사공의 수질분석 결과는 <표 4-5-3>에 나타내었으며 <그림 4-5-3>는 조사지구의 수질분석 결과를 파이퍼 다이어그램으로 도시하였다.

<표 4-5-3> 통산1지구 지하수 및 지하해수 조사공 수질분석 결과

(단위 : mg/L)

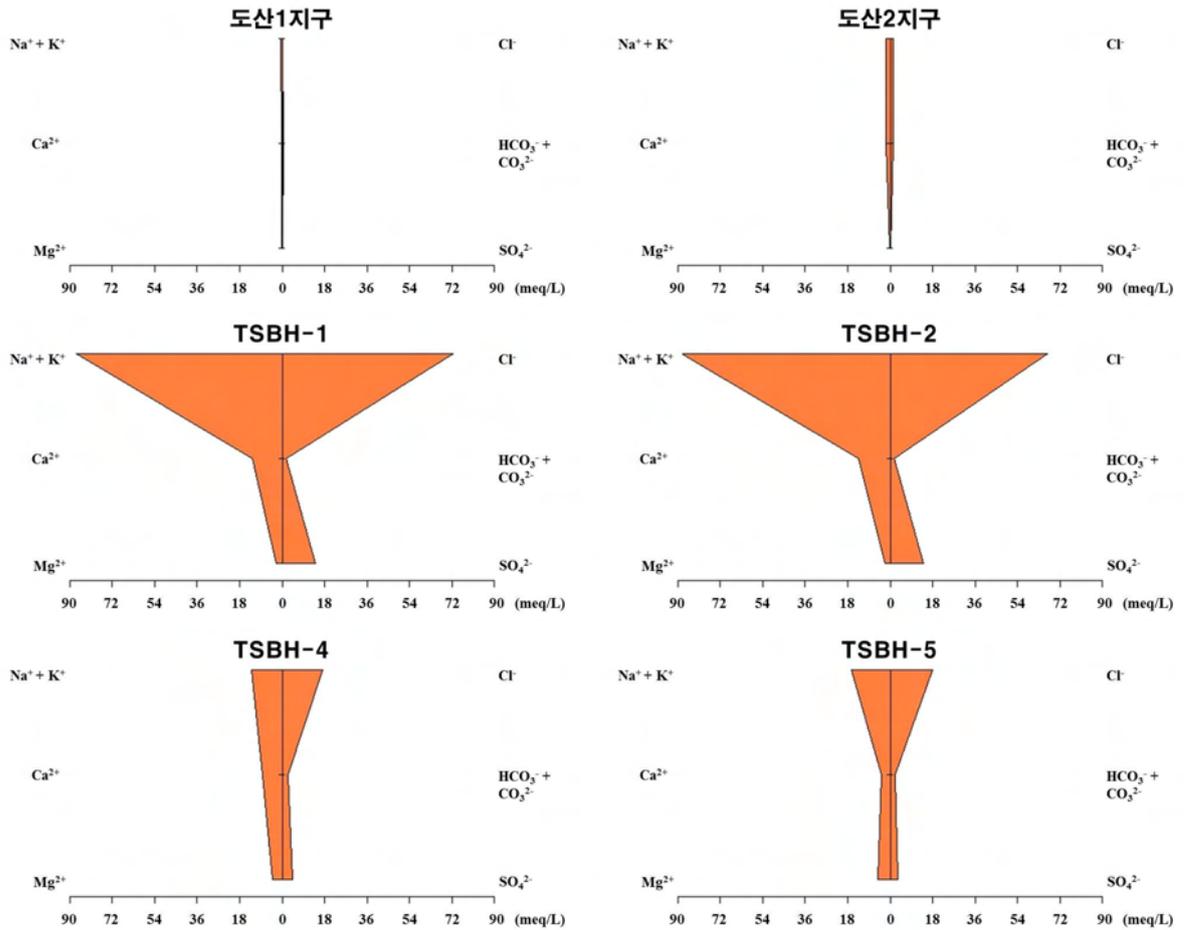
조사관정		Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-
해수 침투 관측망	도산 1지구	9.63	1.21	0.71	5.48	2.54	7.71	31.73
	도산 2지구	36.06	4.55	1.70	35.84	7.33	52.78	90.78
시추 조사	TSBH-1	1893.68	29.35	197.22	249.28	679.10	2574.85	98.85
	TSBH-2	1894.13	25.08	234.24	268.34	683.06	2366.50	107.39
	TSBH-4	294.46	50.81	6.14	165.02	213.53	607.89	161.08
	TSBH-5	372.36	62.69	8.92	77.30	160.24	637.87	140.34



<그림 4-5-3> 통산1지구 지하수의 Piper diagram

<그림 4-5-3>에서 모든 시추조사공의 양이온은 Na+K type, 음이온은 Cl type으로 나타났고, 이를 해석하면 비탄산염기도(noncarbonate alkalinity) 50%로 모든 관정에서 해수가 침투가 되었음을 알 수 있다. 그중 TSBH-1과 2의 시추조사공은 지하수유형과 농도비가 유사하게 나타났고 해수의 침투가 가장 심각한 것으로 나타났다. 조사지역의 기설관정에서 채수한 지하수의 수질 중 도산2지구에서 농도가 시추조사공보다 다소 낮지만 Ca-Cl 유형으로 해수의 영향을 받은 것으로 판단되며, 도산1지구에서의 지하수 유형은 Na-HCO₃로 해수의 영향을 받지 않을 것으로 나타났다.

<그림 4-5-4>의 Stiff diagram은 다각형 세 개의 평행축을 다른편 수직 세로축에 연장함으로써 만들어지는데 양이온은 세로축의 왼쪽에, 음이온을 오른쪽에 당량농도(meq/l)로 나타내며, 다각형의 면적이 넓을수록 용존이온의 농도가 높은 것이다.

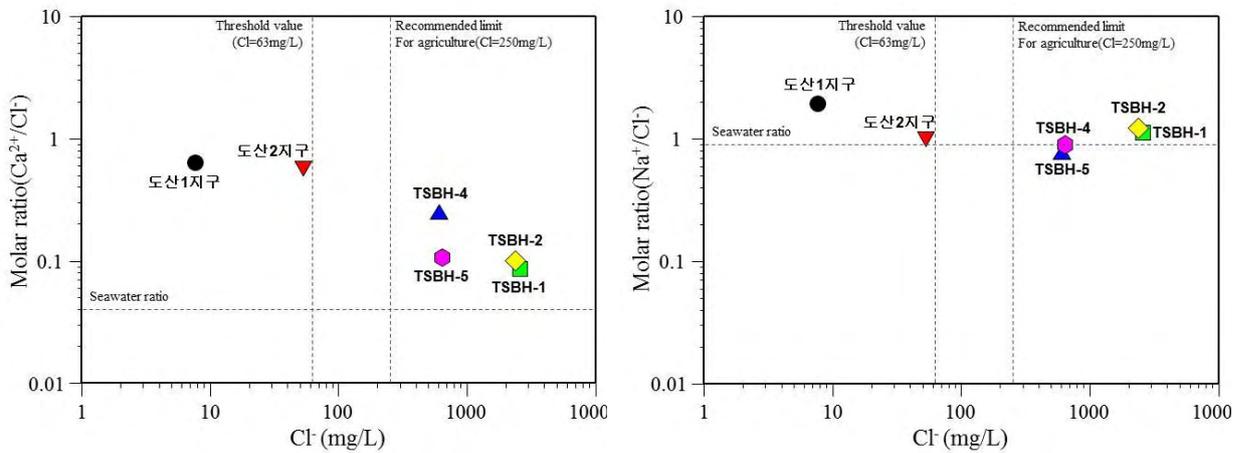


<그림 4-5-4> 통산1지구 지하수의 Stiff diagram

지하해수조사사업 보고서

<표 4-5-4> 몰비에 따른 지하수 및 지하해수 분류

조사관정		Cl/HCO ₃ 몰비	Ca/Cl 몰비	Na/Cl 몰비
해수 침투 관측망	도산 1지구	0.42	0.63	1.93
	도산 2지구	1.00	0.60	1.05
시추 조사	TSBH-1	44.83	0.09	1.13
	TSBH-2	37.93	0.10	1.23
	TSBH-4	6.49	0.24	0.75
	TSBH-5	7.82	0.11	0.90



<그림 4-5-5> Ca/Cl, Na/Cl 몰비와 Cl이온 간의 상관관계

<표 4-5-4>에서 나타낸 바와 같이 모든 시추조사공의 Cl/HCO₃ 몰비가 6.6 이상으로 해수의 영향을 직접적으로 받고 있음을 지시하고 있다. 도산1지구 지하수의 Cl/HCO₃ 몰비가 1.00로서 해수에 의한 미약하게 영향을 받은 것으로 나타나고 있음을 지사한다. 특히 <그림 4-5-5>에서는 Ca/Cl, Na/Cl 몰비와 Cl이온 간의 상관관계로서 염소이온(Cl⁻)의 임계값과 수질기준인 63mg/l 와 250mg/l 와 해수의 비를 점선으로 도시하여 수질자료를 영역별로 뚜렷하게 구분할 수 있게 하였다. 즉, 시추조사공은 모두 수질기준도 초과하면서 seawater ratio에 일치 또는 다소 낮거나 높은 영역으로 해수에 가까운 수질유형이며, 기설관정인 도산 2지구의 지하수는 수질기준은 만족하지만 염소이온의 임계값과 유사하게 나타나 해수의 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

다. 수질분석 결과

분석방법은 수질 부적합률이 대체로 높게 나타나는 질산성질소, 염소이온, 일 반세균, 기타(비소, 1,1,1-트리클로로에탄, 테트라클로로에틸렌, 트리클로에틸렌) 항목 에 대하여 <표 4-5-5>와 같이 시추관정별로 수질현황을 파악하였다.

<표 4-5-5> 통산1지구 시추조사공 수질분석 현황

항목	TSBH-01	TSBH-02	TSBH-04	TSBH-05	먹는물 기준
일 반 세 균	70	170	50	93	100 CFU/1ml이하
총 대 장 균 균	검출	검출	-	-	불검출/100ml
대장균/분원성대장균	-	-	-	-	불검출/100ml
납 (Pb)	-	0.007	-	-	0.01 mg/l 이하
불소 (F)	-	-	-	-	1.5 mg/l 이하
비소 (As)	0.013	0.01	0.01	-	0.01 mg/l 이하
세레늄(Se)	0.013	0.01	-	-	0.01 mg/l 이하
수은 (Hg)	-	-	-	-	0.001 mg/l 이하
시안 (CN)	-	-	-	-	0.01 mg/l 이하
6가 크롬(Cr ⁺⁶)	-	-	-	-	0.05 mg/l 이하
암모니아성질소(NH ₄ -N)	-	-	-	-	0.5 mg/l 이하
질산성 질소(NO ₃ -N)	0.5	0.5	-	1.3	10 mg/l 이하
카드뮴 (Cd)	-	-	-	-	0.005 mg/l 이하
보 른	0.59	0.57	0.13	0.19	1.0 mg/l 이하
페놀(C ₆ H ₅ OH)	-	-	-	-	0.005 mg/l 이하
다이아지논	-	-	-	-	0.02 mg/l 이하
파라티온	-	-	-	-	0.06 mg/l 이하
페니트로티온	-	-	-	-	0.04 mg/l 이하
카바릴	-	-	-	-	0.07 mg/l 이하
1,1,1 트리클로로에탄	-	-	-	-	0.1 mg/l 이하
테트라클로로에틸렌	-	-	-	-	0.01 mg/l 이하
트리클로로에틸렌	-	-	-	-	0.03 mg/l 이하
디클로로메탄	-	-	0.003	0.005	0.02 mg/l 이하
벤젠	-	-	-	-	0.01 mg/l 이하
톨루엔	-	0.002	-	-	0.7 mg/l 이하
에틸벤젠	-	-	-	-	0.3 mg/l 이하
크실렌	-	-	-	-	0.5 mg/l 이하
1,1 디클로로에틸렌	-	-	-	-	0.03 mg/l 이하
사염화탄소	-	-	-	-	0.002 mg/l 이하
1,2-디브로모-3-클로로프로판	-	-	-	-	0.003 mg/l 이하
1,4-다이옥산	-	-	-	-	0.05 mg/l 이하
경도	1491	1482	576	429	300 mg/l 이하
과망간산칼륨소비량	0.3	0.4	0.6	0.9	10 mg/l 이하
냄새	-	-	-	-	없음
맛	-	-	-	-	없음
동(Cu)	-	-	-	0.008	1 mg/l 이하
색도	-	-	-	-	5도 이하
세제(ABS)	-	-	-	-	0.5 mg/l 이하
수소이온농도(pH)	7.5	7.5	7.6	7.5	5.8~8.5
아연(Zn)	0.045	0.016	0.064	0.033	3.0 mg/l 이하
염소이온농도(Cl ⁻)	3338	3595	885	1010	250 mg/l 이하
중발간류물	6626	6940	1894	1886	500 mg/l 이하
철(Fe)	0.05	0.05	-	-	0.3 mg/l 이하
망간(Mn)	0.111	0.195	0.614	-	0.3 mg/l 이하
탁도	0.12	0.14	0.16	0.17	1 NTU 이하
황산이온(SO ₄ ²⁻)	478	525	147	117	200 mg/l 이하
알루미늄(Al)	-	-	-	0.02	0.2 mg/l 이하

지하해수조사사업 보고서

□ 일반세균

일반세균은 사람의 체온과 비슷한 온도인 35℃에서 48시간 배양하여 검출되는 모든 세균을 말한다. 자연생태계에서 기원되며, 일반적으로 무해한 잡균으로 알려지고 있으나 병원균이 존재할 가능성이 있으므로 2003년 먹는물 검사기준의 항목으로 선정되었다.

조사지역의 자료분석 결과 1개 조사공에서 음용수 수질기준인 100CFU/ml를 초과하는 것으로 나타났다.

□ 비소

비소는 주로 합금제제로 사용되며, 강화유리 또는 구리, 납의 합금시에 강도를 높이기 위해 사용된다. 이 외에도 전기, 전자산업에 이용되며, 에틸렌 옥사이드의 생산공정에서 촉매로 사용된다. 인체 발암성에 대한 역학적 증거로는 비소에 폭로된 제련업소 근로자들에게서 폐암으로 인한 사망과 피부암이 확인되었고 비소에 오염된 음용수 섭취시 방광암, 폐암, 장암, 피부암, 결장암의 발생 비율이 현저히 증가됨이 보고되었다.

조사지역에서의 비소 함유량은 TSBH-01호 공에서만 0.013mg/l이 검출되었다.

□ 세레늄

세레늄은 주로 광산이나 금속제련소에서 발생한다. 금속 세레늄의 독성은 낮으나 화합물의 독성은 대단히 높으며 체내에서는 장관에서 약60%흡수되며 간, 신장에 축적되고 그외 대부분은 소변에 배출된다. 그 외에 급성중독으로는 피부장애(격통), 구토, 전신경련을 일으킬수 있으며 만성중독으로 피부장애, 신경과민증상, 고도의 빈혈, 저혈압등을 유발한다

조사지역에서의 비소 함유량은 TSBH-01호 공에서만 0.013mg/l이 검출되었다.

□ 경도

경도는 물맛에 관계되며 폐수의 중화, 응집처리, 중금속류의 침전 제거등에 석탄을 쓰는 경우와 콘크리트구조물 에서 용출, 해수, 하수의 혼입 등으로 발생한다. 경도가 너무 높은 경우 위장을 해쳐서 설사를 일으키는 경우가 있다.

조사지역 4개의 자료를 대상으로 경도의 함유량을 분석한 결과 모든 지점에서 음용수 수질 기준치300mg/l를 초과하는 것으로 나타났고, TSBH-01호 공에서 최대 1,491mg/l로 가장 많은 양이 검출되었다.

□ 염소이온

염소이온은 자연적인 기원 이외에 산업용 폐수, 하수, 동물의 배설물 및 제설제 등으로 인해 지하수로 유입될 수 있으며, 산업용제나 농약 제조용 할로젠 유기화합물의 성분으로 사용된다. 또한 해수의 유입으로 인해 발생할 수 있다.

조사지역 4개의 자료를 대상으로 염소이온의 함유량을 분석한 결과 모든 지점에서 염소이온의 음용수 수질기준인 250mg/l를 초과하는 것으로 나타나고, TSBH-02호 공에서 최대 3,595mg/l로 가장 많은 양이 검출되었다.

□ 망간

망간은 자연상태로는 주로 철화합물과 결합하여 여러 염과 광물질로 발견된다. 망간은 0.05mg/l 이상 간장과 신장에 축적, 신경장애를 초래하며 가축의 경우 부족하면 생식능력 감소, 성장부진이 나타날 수 있으며 0.15mg/l 이상인 물에서는 불쾌한 맛, 세탁물을 얼룩지게 한다.

조사지역에서 망간의 함유량이 음용수 수질기준을 초과한 조사공은 GDBH-04공에서 0.614mg/l가 검출되었다.

□ 황산이온

황산이온은 주로 광산, 제련소, 크라프트용지의 펄프와 화학약품, 염료, 유리, 종이, 비누, 섬유, 향균제, 살충제, 채광, 펄프업등이나 황산이온을 포함하고 있는 지질에서 나타나게 된다. 황산이온은 가장 독성이 작은 음이온중 하나이며 물에 다량의 황산염이 존재하면 불쾌한 맛을 낸다. 그리고 먹는물의 황산염농도가 600mg/l 이상일 때 쉽게 설사를 일으키므로 장기 음용을 해서는 안된다.

조사지역에서 황산이온 함유량이 음용수 수질기준을 초과한 조사공은 TSBH-01, TSBH-02호 공에서 각각 478mg/l, 525mg/l가 검출되었으며, 나머지 조사공은 검출되지 않았다.

4.6 지하해수 모니터링

4.6.1 지하해수 모니터링 개요

조사지역내 시추조사공을 대상으로 지하해수의 정기적인 관측조사를 실시하였다. 대상공은 TSBH-01, TSBH-02, TSBH-03, TSBH-04, TSBH-05호 시추조사공이 해당된다.

조사기간은 통산1지구의 시추조사가 완료된 후 2011년 10월부터 11월에 걸쳐 단기 수동관측을 6회 수행하였고, 관측항목은 수위, 온도, 염도 세 가지 항목이다. 일반적으로 지하해수(염지하수)의 수위 및 염도 변화는 조석간만에 의한 Tidal Effect와 강우에 의한 함양, 대기압 변동 및 바람의 영향 등의 요인에 의해 발생한다. 따라서 급변 단기 수동관측은 조석간만과 강우에 의한 수위, 온도, 염도의 변화 유무를 파악하고자 하였고, 국립해양조사원의 통영지역 조석자료와 통영기상대 강우 자료를 사용하였다.

여기서 수위관측은 각 관측공에 대한 수위를 측정된 후 해수면을 기준으로 한 수두값으로 환산하여 변화를 파악하였다

4.6.2 수위관측 결과

가. TSBH-01호공

2011년 10월 13일 측정된 초기수위는 EL. 5.85m에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 수위는 EL. 6.97m로 측정되었다. 최고수위는 2011년 11월 23일 측정값인 EL. 6.97m, 최저수위는 2011년 10월 21일 측정값인 EL. 5.82m이고, 지하해수 수위 변동폭은 1.15m로 관측되었다. 관측조사가 단기간에 수행되어 충분한 관측자료가 축적되지 못해 정확한 변화 양상을 파악하기에는 다소 무리가 있다고 여겨지나 지하해수의 수위는 조석간만과 강우에 의한 영향이 미약하게 나타나는 것으로 판단된다<그림 4-6-1>.

나. TSBH-02호공

2011년 10월 13일 측정된 초기수위는 EL. 2.9m에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 수위는 EL. 2.5m로 측정되었다. 최고수위는 2011년 11월 15일 측정값인 EL. 3.5m, 최저수위는 2011년 11월 23일 측정값인 EL. 2.5m이고, 지하해수 수위 변동폭은 1m로 관측되었다<그림 4-6-1>.

다. TSBH-03호공

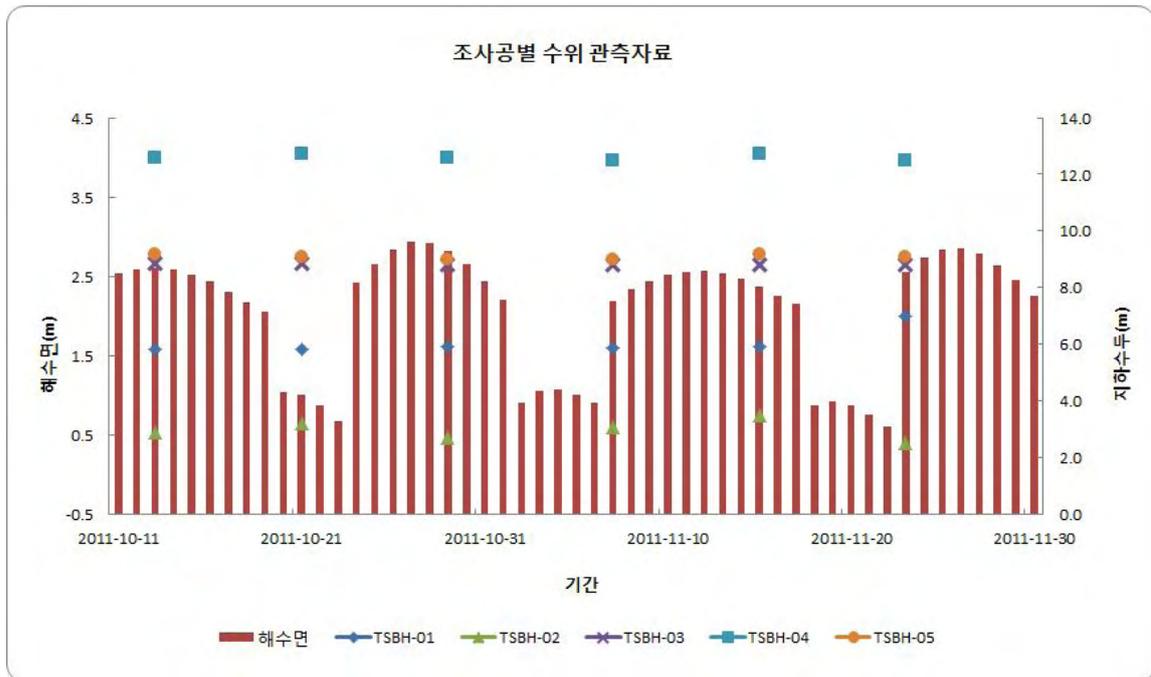
2011년 10월 13일 측정된 초기수위는 EL. 8.85m에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 수위는 EL. 8.8m로 측정되었다. 최고수위는 2011년 10월 13일 측정값인 EL. 8.85m, 최저수위는 2011년 11월 07일 측정값인 EL. 8.8m이고, 지하해수 수위 변동폭은 0.05m로 관측되었다<그림 4-6-1>.

라. TSBH-04호공

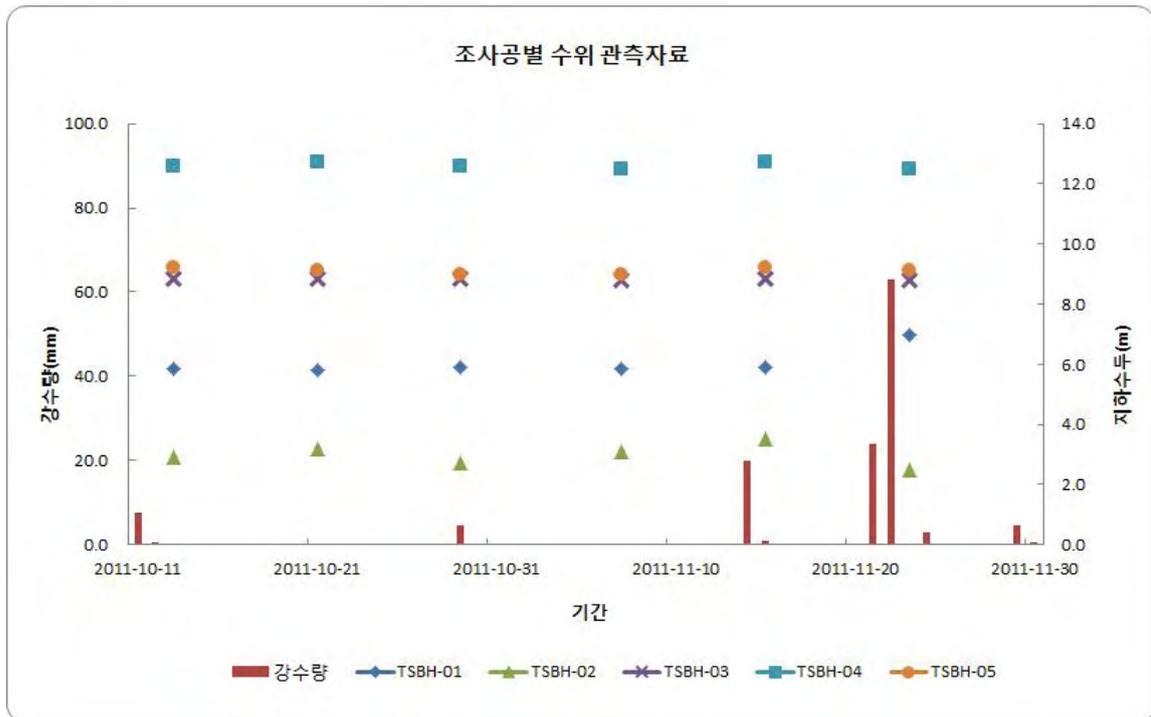
2011년 10월 13일 측정된 초기수위는 EL. 12.6m에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 수위는 EL. 12.5m로 측정되었다. 최고수위는 2011년 10월 21일 측정값인 EL. 12.7m, 최저수위는 2011년 11월 07일 측정값인 EL. 12.5m이고, 지하해수 수위 변동폭은 0.2m로 관측되었다<그림 4-6-1>.

마. TSBH-05호공

2011년 10월 13일 측정된 초기수위는 EL. 9.2m에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 수위는 EL. 9.1m로 측정되었다. 최고수위는 2011년 10월 13일 측정값인 EL. 9.2m, 최저수위는 2011년 10월 29일 측정값인 EL. 9.0m이고, 지하해수 수위 변동폭은 0.2m로 관측되었다<그림 4-6-1>.



(a) 조석간만에 의한 관측공별 수위 변화



(b) 강우에 의한 관측공별 수위 변화

<그림 4-6-1> 조사공의 월별 수위 관측 결과

4.6.3 온도관측 결과

가. TSBH-01호공

2011년 10월 13일 측정된 초기온도는 17.7℃에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 온도는 17.2℃로 측정되었다. 최고온도는 2011년 10월 29일 측정값인 18.4℃, 최저온도는 2011년 11월 15일 측정값인 17.2℃이고, 지하해수 온도 변동폭은 1.2℃로 관측되었다. 지하해수의 온도 변화가 대기 또는 일반해수의 온도 변화보다 상당히 적은 것으로 조사되었다<그림 4-6-2>.

나. TSBH-02호공

2011년 10월 13일 측정된 초기온도는 18.6℃에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 온도는 16.7℃로 측정되었다. 최고온도는 2011년 10월 13일 측정값인 18.6℃, 최저온도는 2011년 11월 23일 측정값인 16.7℃이고, 지하해수 온도 변동폭은 1.9℃로 관측되었다<그림 4-6-2>.

다. TSBH-03호공

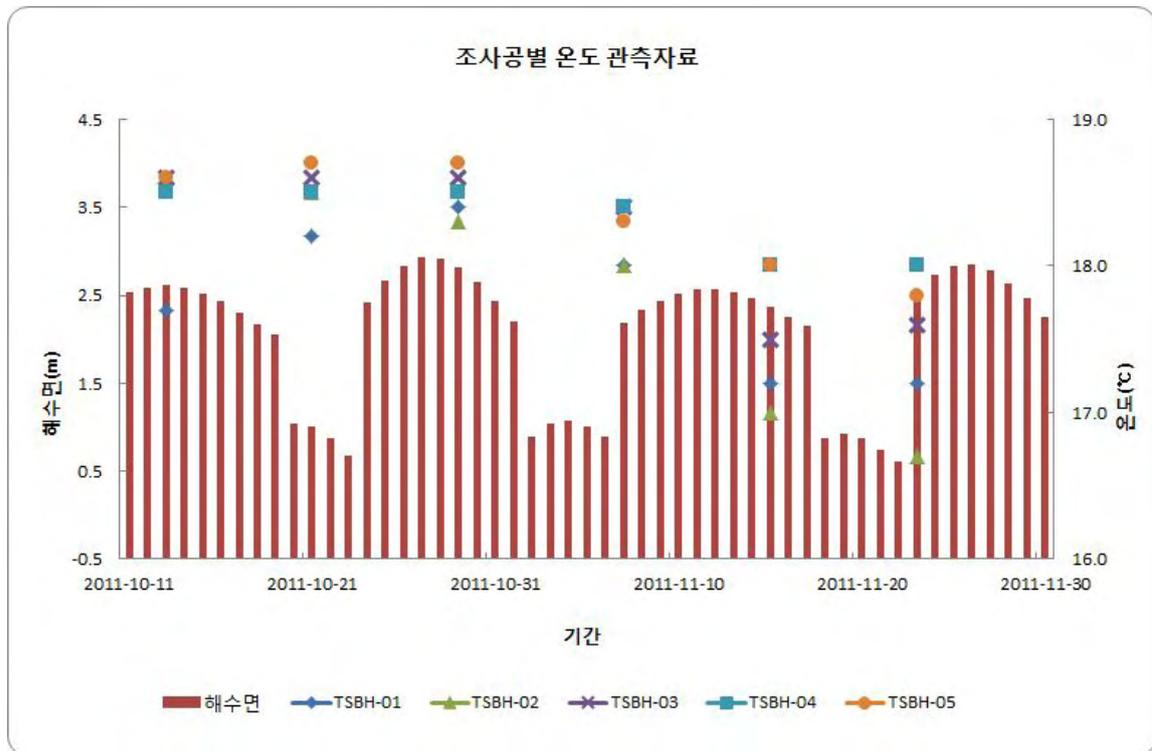
2011년 10월 13일 측정된 초기온도는 18.6℃에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 온도는 17.6℃로 측정되었다. 최고온도는 2011년 10월 13일 측정값인 18.6℃, 최저온도는 2011년 11월 15일 측정값인 17.5℃이고, 지하해수 온도 변동폭은 1.1℃로 관측되었다<그림 4-6-2>.

라. TSBH-04호공

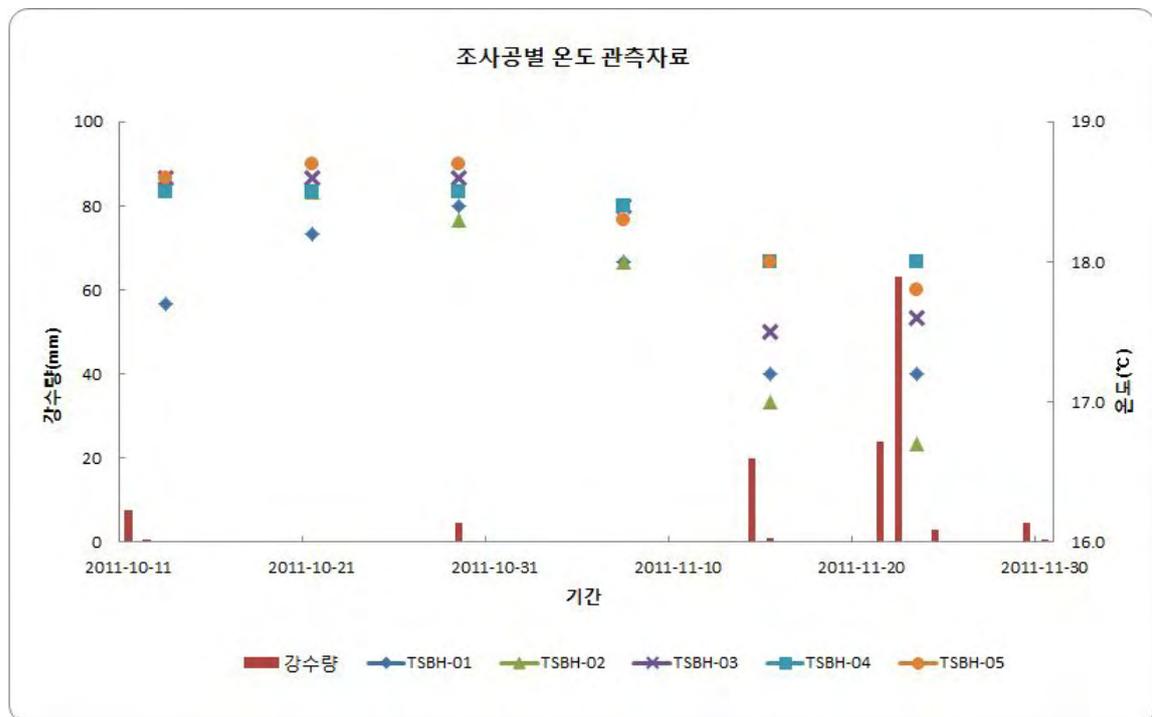
2011년 10월 13일 측정된 초기온도는 18.5℃에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 온도는 18.0℃로 측정되었다. 최고온도는 2011년 10월 13일 측정값인 18.5℃, 최저온도는 2011년 11월 15일 측정값인 18.0℃이고, 지하해수 온도 변동폭은 0.5℃로 관측되었다<그림 4-6-2>.

마. TSBH-05호공

2011년 10월 13일 측정된 초기온도는 18.6℃에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 온도는 17.8℃로 측정되었다. 최고온도는 2011년 10월 21일 측정값인 18.7℃, 최저온도는 2011년 11월 23일 측정값인 17.8℃이고, 지하해수 온도 변동폭은 0.9℃로 관측되었다<그림 4-6-2>. 따라서, 온도 모니터링 결과 계절, 조석간만 및 강수량 변화에 영향을 받지 않는 것으로 판단된다.



(a) 조석간만에 의한 관측공별 온도 변화



(b) 강우에 의한 관측공별 온도 변화

<그림 4-6-2> 조사공의 월별 온도 관측 결과

4.6.4 염도관측 결과

가. TSBH-01호공

2011년 10월 13일 측정된 초기염도는 4‰에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 염도는 5‰로 측정되었다. 최고염도는 2011년 11월 15일 측정값인 5‰, 최저염도는 2011년 10월 29일 측정값인 3.5‰이고, 지하해수 염도 변동폭은 1.5‰로 관측되었다.

나. TSBH-02호공

2011년 10월 13일 측정된 초기염도는 6‰에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 염도는 8‰로 측정되었다. 최고염도는 2011년 11월 23일 측정값인 8‰, 최저염도는 2011년 10월 29일 측정값인 4‰이고, 지하해수 염도 변동폭은 4‰로 관측되었다.

다. TSBH-03호공

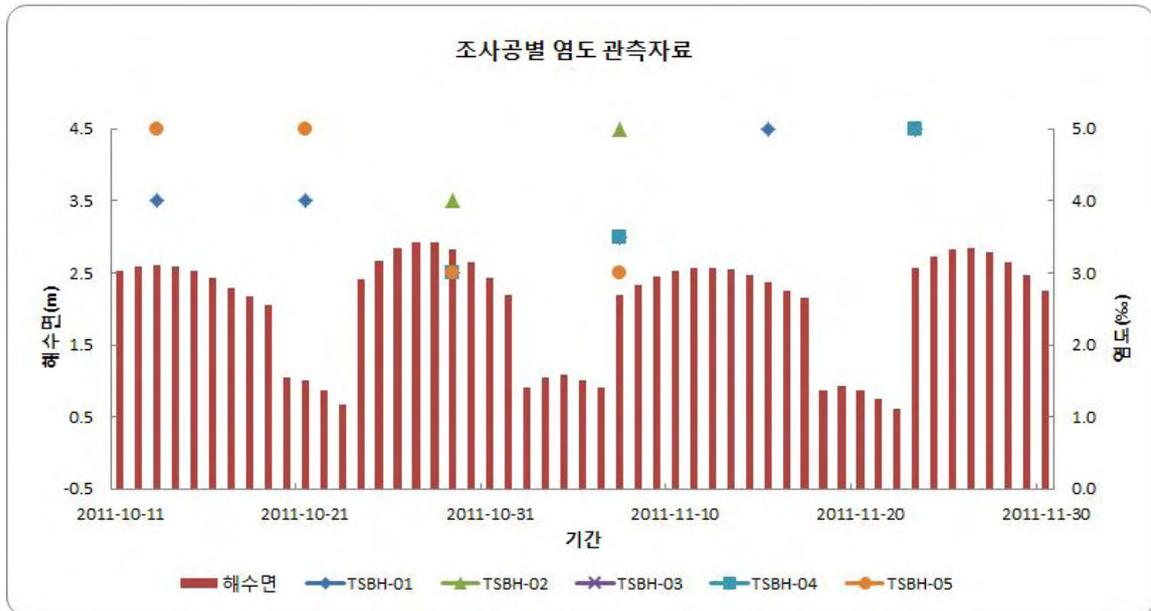
2011년 10월 13일 측정된 초기염도는 7‰에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 염도는 10‰로 측정되었다. 최고염도는 2011년 11월 15일 측정값인 10‰, 최저염도는 2011년 10월 29일 측정값인 6‰이고, 지하해수 염도 변동폭은 4‰로 관측되었다.

라. TSBH-04호공

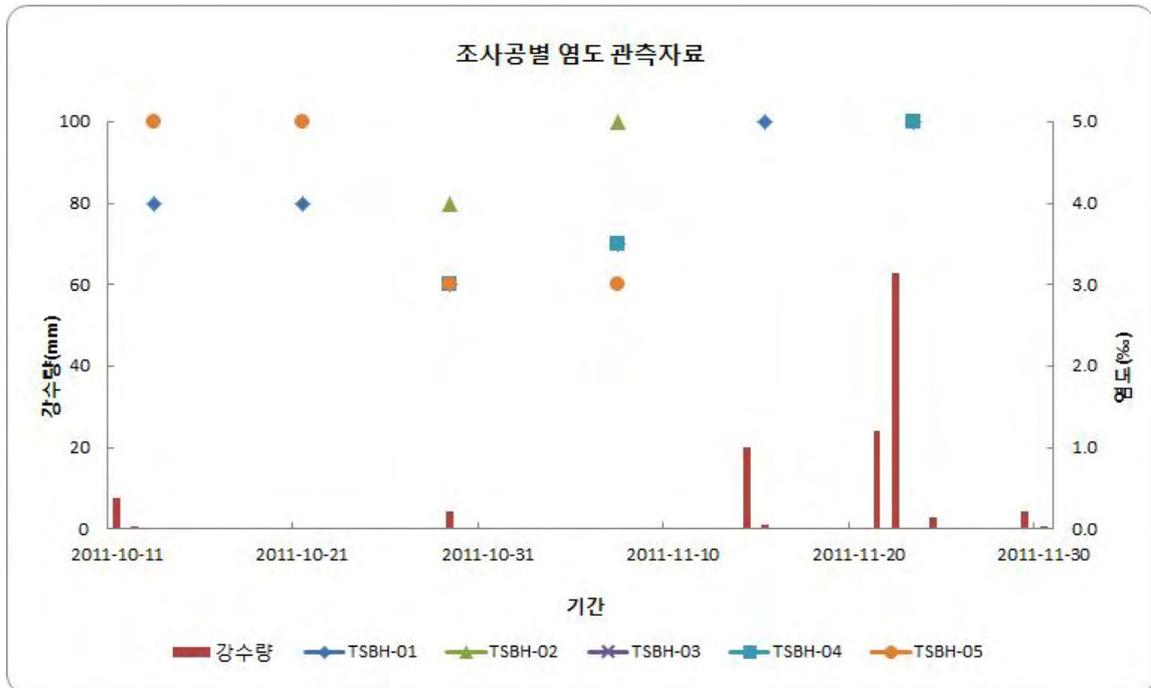
2011년 10월 13일 측정된 초기염도는 6‰에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 염도는 5‰로 측정되었다. 최고염도는 2011년 11월 15일 측정값인 7.5‰, 최저염도는 2011년 10월 29일 측정값인 3‰이고, 지하해수 염도 변동폭은 4.5‰로 관측되었다.

마. TSBH-05호공

2011년 10월 13일 측정된 초기염도는 5‰에서 관측되었고, 2011년 11월 23일 측정된 염도는 7.5‰로 측정되었다. 최고염도는 2011년 11월 23일 측정값인 7.5‰, 최저염도는 2011년 10월 29일 측정값인 3‰이고, 지하해수 염도 변동폭은 4.5‰로 관측되었다. 조석간만과 강우에 의한 영향성을 분석하기 위해서는 장기적인 자동관측을 통하여 일·시간별, 계절별 관측이 선행되어야 할 것이다.



(a) 조석간만에 의한 관측공별 염도 변화



(b) 강우에 의한 관측공별 염도 변화

<그림 4-6-3> 조사공의 월별 염도 관측 결과

<표 4-6-1> 통산1지구 시추조사공 월별 관측 결과

구분		평균	2011-10-13	2011-10-21	2011-10-29	2011-11-07	2011-11-15	2011-11-23
TSBH-01	수위(m)	6.05	5.85	5.82	5.91	5.87	5.9	6.97
	온도(℃)	17.8	17.7	18.2	18.4	18	17.2	17.2
	염도(‰)	4	4	4	3	3.5	5	5
TSBH-02	수위(m)	2.98	2.9	3.2	2.7	3.1	3.5	2.5
	온도(℃)	17.9	18.6	18.5	18.3	18	17	16.7
	염도(‰)	6	6	6	4	5	6.5	8
TSBH-03	수위(m)	8.82	8.85	8.84	8.82	8.8	8.82	8.8
	온도(℃)	18.2	18.6	18.6	18.6	18.4	17.5	17.6
	염도(‰)	8	7	7	6	7	10	10
TSBH-04	수위(m)	12.60	12.6	12.7	12.6	12.5	12.7	12.5
	온도(℃)	18.3	18.5	18.5	18.5	18.4	18	18
	염도(‰)	5	6	6	3	3.5	7.5	5
TSBH-05	수위(m)	9.10	9.2	9.1	9	9	9.2	9.1
	온도(℃)	18.4	18.6	18.7	18.7	18.3	18	17.8
	염도(‰)	5	5	5	3	3	6	7.5

4.6.5 지하해수 관측 토의

금번 지하해수 조사공의 모니터링은 월 3회씩 수행하여 2개월 동안 수행하였다. 그러나 조사 결과에서 나타났듯이 단기관측에 의하여 조석간만, 계절, 강우 등의 영향 유무를 판단하기에 무리가 있다. 따라서 장기적으로 양수를 시행하고 자동 관측 시스템을 도입하여 수위, 온도, 염도 등의 변화를 파악하여야 할 것이다. 정채된 지하해수의 모니터링은 대기온도, 기압, 강수 등의 영향을 받을 것이므로, 순수한 지하해수의 변화 양상 파악은 일부 조사공의 실제 양수를 통하여 수행되어야 할 것이다.

제 5 장 지하해수 개발·이용 방안

제5장 지하해수 개발·이용 방안

본 장에서는 지하해수 부존과 관련된 조사결과를 종합하여 분석·평가하여 향후 조사지역에 대한 개발·이용 계획 수립에 이용하고자 한다.

5.1 지하해수 조사 결과

5.1.1 대상 어가별 용수 소요수량

통산1지구는 행정구역 상 경상남도 통영시 산양읍 연화리 일부지역에 해당하며 선정된 지구의 면적은 약 1.5km²이고, 해안선의 길이는 약 3.3km, 지구 내 시추조사는 5공을 수행하였다<표 5-1-1>.

지구 내 양식장은 실제 지구답사 결과 5개소가 분포하여 운영 중에 있으며, 육상종묘시설로서 어류, 해삼, 전복이 주어종이다. 각 어종별 생육환경은 염도가 32.0~34.0‰(비중 1.029~1.032), 온도는 22.0~25.0℃로 조사되었다. 현재 해수사용량은 어가별로 차이를 보이고 있으나 지하해수 개발에 따른 물량 확보에 따라 이용량의 변화를 보일 것으로 조사되었다<표 5-1-2>.

<표 5-1-1> 통산1지구 현황

지구	위치	면적 (km ²)	시추 조사	지질	선구조		해안선 길이 (km)
					개수 (개)	연장 (km)	
통산1	산양읍 연화리	1.5	5공	화성암류	41	28.7	3.3

지하해수조사사업 보고서

<표 5-1-2> 통산1지구 내 양식장 현황

지구	양식장위치	양식분류	대표어종	생육환경			해수 사용량 (m ³ /일)	구역 세분
				비중	염도 (‰)	온도 (°C)		
통산1	연화리 1079	육상종묘	어류,해삼	1.0032	33.0	22.0	2000	A구역
	연화리 1079	육상종묘	어류,해삼	1.0032	33.0	22.0	2000	
	연화리 1196	육상종묘	어류	1.0029	34.0	23.0	400	B구역
	연화리 632	육상종묘	어류,해삼	1.0031	33.0	23.0	600	C구역
	연화리 203	육상종묘	전복	1.0030	32.0	25.0	300	D구역

※ 생육환경 및 해수사용량은 실제 운영중인 양식어가를 대상으로 설문 조사한 결과임

5.1.2 지하해수 산출 특성

일반적으로 지하해수(염지하수)는 지표하 지하수 유동구간에서 해수와 담수 중 어느 영향이 크냐에 따라 염도가 결정되는데, 통산1 지구는 시추조사 결과 층적층 발달이 미약하여 층적층 구간의 지하해수의 부존가능성 및 유동이 상대적으로 취약하고 일부 구역에서 암반층 지하해수의 부존이 양호한 것으로 조사되었다<표 5-1-3>.

<표 5-1-3> 통산1지구 구역별 지하해수 산출특성

공번	지하해수 산출량 (m ³ /일)	대수층 심도 (m)	자연수위 (m)	비중	염도 (‰)	온도 (°C)	pH	표고 (m)	심도 (m)	구역 세분
TSBH-01	500	218	14.90	1.004	5	17.7	8.25	18	233	A구역
TSBH-02	400	122	30.00	1.003	6	18.8	8.30	15	152	
TSBH-03	80	150	3.40	1.003	4	18.6	7.05	10	163	B구역
TSBH-04	500	95	14.95	1.005	7	18.5	8.38	22	112	C구역
TSBH-05	400	138	1.25	1.004	6	20.1	8.30	10	156	D구역

※ 염도의 간이수질은 양수시험 결과를 적용하여 시추 당시와 차이가 있을 수 있음.

가. A구역 : 본 구역은 통산1지구에서 중간위치의 서쪽에 위치하며, 어류와 해삼을 주로 양식하고 있다. 양식장 주변에 집단마을이나 농경지와는 다소 거리를 두고 있고 산사면을 깎아 양식장이 지어져 해안가와 인접하여 있다. 물리탐사는 1측선(500m) 결과 시점부 기준 수평거리 240m 지점의 지표부터 지하 60m 이상의 심도에 전반적으로 높은 전기비저항값이 나타나나 수평거리 90m 지점의 심도 90m부터는 저비저항 이상대가 나타난다.

총 2개 지점에 대하여 시추조사를 실시한 결과 TSBH-01호공과 TSBH-02공에서 각각 400m³/일과 300m³/일의 지하해수 산출을 보였으며, 시추공의 지하해수 수온은 각각 17.7, 18.8℃이며, 염도는 각각 5.0, 6.0‰로 측정되었다. 따라서 본 구역 암반층에서의 지하해수 부존성은 높다고 할 수 있다.

나. B구역 : 본 구역은 통산1지구에서 아래위치의 서쪽에 위치하며, 어류와 해삼을 주로 양식하고 있다. 양식장 주변에 집단마을이나 농경지와는 다소 거리를 두고 있고 해안가와 바로 인접하여 있다. 물리탐사는 2측선 측정결과 지하 70m 이상 지점부터 저비저항 이상대가 관찰되었다.

총 1개 지점에 대하여 시추조사를 실시한 결과 TSBH-03호공에서는 70m³/일의 지하해수 산출을 보였으며, 시추공의 지하해수 수온은 18.6℃이며, 염도는 4.0‰로 측정되었다. 따라서 본 구역 암반층에서의 지하해수 산출을 위한 대수층의 발달은 미약하였다.

다. C구역 : 본 구역은 통산1지구에서 500m정도 벗어난 북서쪽에 위치하며, 어류와 해삼을 주로 양식하고 있다. 지리적인 제약으로 인해 물리탐사는 실시하지 못하였고 총 1개 지점에 대하여 시추조사를 실시한 결과 TSBH-04호공에서는 400m³/일의 지하해수 산출을 보였으며, 시추공의 지하해수 수온은 18.5℃이며, 염도는 7.0‰로 측정되었다. 따라서 본 구역 암반층에서의 지하해수 부존성은 높다고 할 수 있다.

다. D구역 : 본 구역은 통산1지구에서 200m정도 벗어난 남쪽에 위치하며, 전복을 주로 양식하고 있다. 지리적인 제약으로 인해 물리탐사는 실시하지 못하였고 총 1개 지점에 대하여 시추조사를 실시한 결과 TSBH-05호공에서는 350m³/일의 지하해수 산출을 보였으며, 시추공의 지하해수 수온은 20.1℃이며, 염도는 6.0‰로 측정되었다. 따라서 본 구역 암반층에서의 지하해수 부존성은 높다고 할 수 있다.

5.2 개발·이용 계획

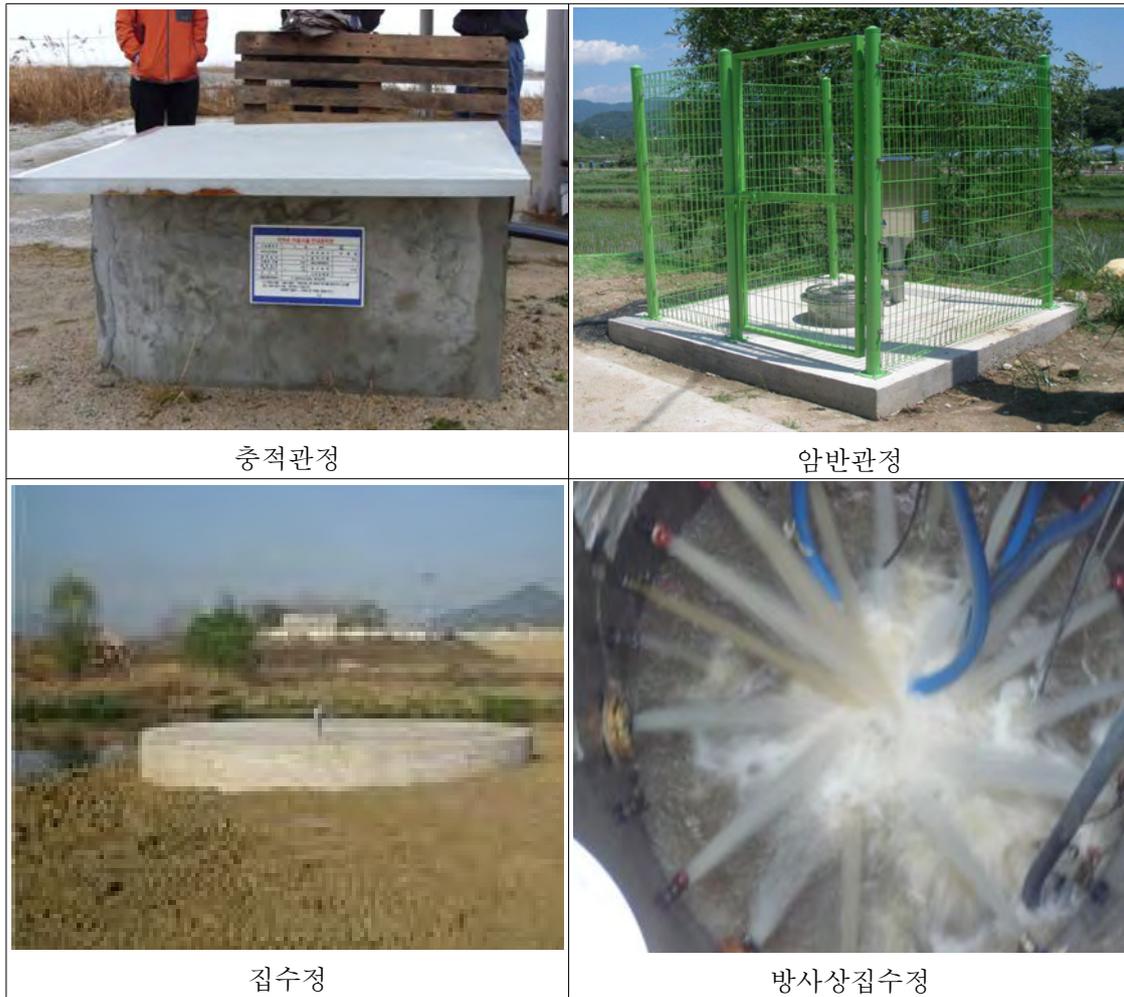
5.2.1 지하해수 개발 형태 분류

가. **층적관정(층적층 관정)** : 채수대상 지층을 층적층, 미고결층과 기반암의 풍화대층으로 하여 대구경 착정기를 사용하여 구경 200~600mm로 심도 10~20m 까지 굴착하고 관정자재는 구경 150~400mm의 철제 또는 pvc유공관을 공내에 설치한 후 관정자재와 착정공벽 사이에는 충진력을 부설한 관정이다. 농림수산식품부에서는 층적관정 농업용 지하수의 1일 채수량 기준을 150m³/일 이상(도서, 해안 등 특수지역은 100 m³/일 이상)으로 규정하고 있다.

나. **암반관정** : 암반 지하수를 주 채수대상으로 하여 대구경착정기에 의해 착정 구경 200~600mm로 굴착한 후 통상 구경 150~400mm의 철제 또는 pvc유공관을 공내에 설치한 관정이다. 그러나 하부 암반층의 붕괴 및 토사유입 우려가 없을 경우에는 상부 층적층과 풍화대 구간에는 철제 외부 케이싱을 설치하고 하부 암반층에는 우물자재를 설치하지 않는 경우도 있다. 농림수산식품부에서는 농업용 지하수 1일 채수량을 기준으로 150m³/일 이상 (도서, 해안 등 특수지역은 100m³/일 이상)으로 규정하고 있다.

다. **소형집수정(Collector well)** : 지하수를 다량 취수하기 위하여 대수층이 발달한 층적층 또는 미고결암층에 구경 3.5m의 철근 콘크리트 우물통을 침강공법으로 대수층 밑바닥까지 내리고 측벽에 다공집수관을 설치하여 지하수를 모으는 우물이며, 일반적으로 시설 설치기준을 심도 8m내외, 1일 채수량 500~2,000m³/일 경우에 해당한다.

라. **방사상 집수정(Radial well, Horizontal radial collector well)** : 집수정의 한 형태로 집수정 내부에서 수평착정기를 사용하여 수평 방사상으로 여러 개의 다공 집수관을 삽입, 설치함으로써 1일 5,000~10,000m³/일의 지하수를 집수 이용하는 시설이다.



<그림 5-2-1> 개발 가능한 지하해수 관정 사진

<그림 5-2-1>은 지하해수의 개발 가능한 형태(관정 및 집수정 등)를 보여주는 예시 사진으로 채수량 및 관정 규격에 따라 분류한다. 통산1지구는 5.1.2장에서 서술한 바와 같이 B구역에서는 암반 내 대수층이 발달하였기 때문에 암반관정으로의 개발이 추천된다. 한편 조사공의 지층 특성과 해안 주변의 지층 특성을 비교하여 방사상 집수정의 개발도 고려할 수 있다.

□ 충적관정 및 암반관정

<표 5-2-1>은 지하해수 조사공의 지층 내역을 나타낸 것이고 <그림 5-2-2>는 지하해수를 개발할 때의 충적 및 암반관정 개발모식도로서 지하수법에 명시된 지하수 개발·이용시설의 표준도(제8조제4항관련) 중 “가”형에 해당된다. 그리고 공당 개발 규격 및 단가는 <표 5-2-2> 및 <표 5-2-3>와 같다.

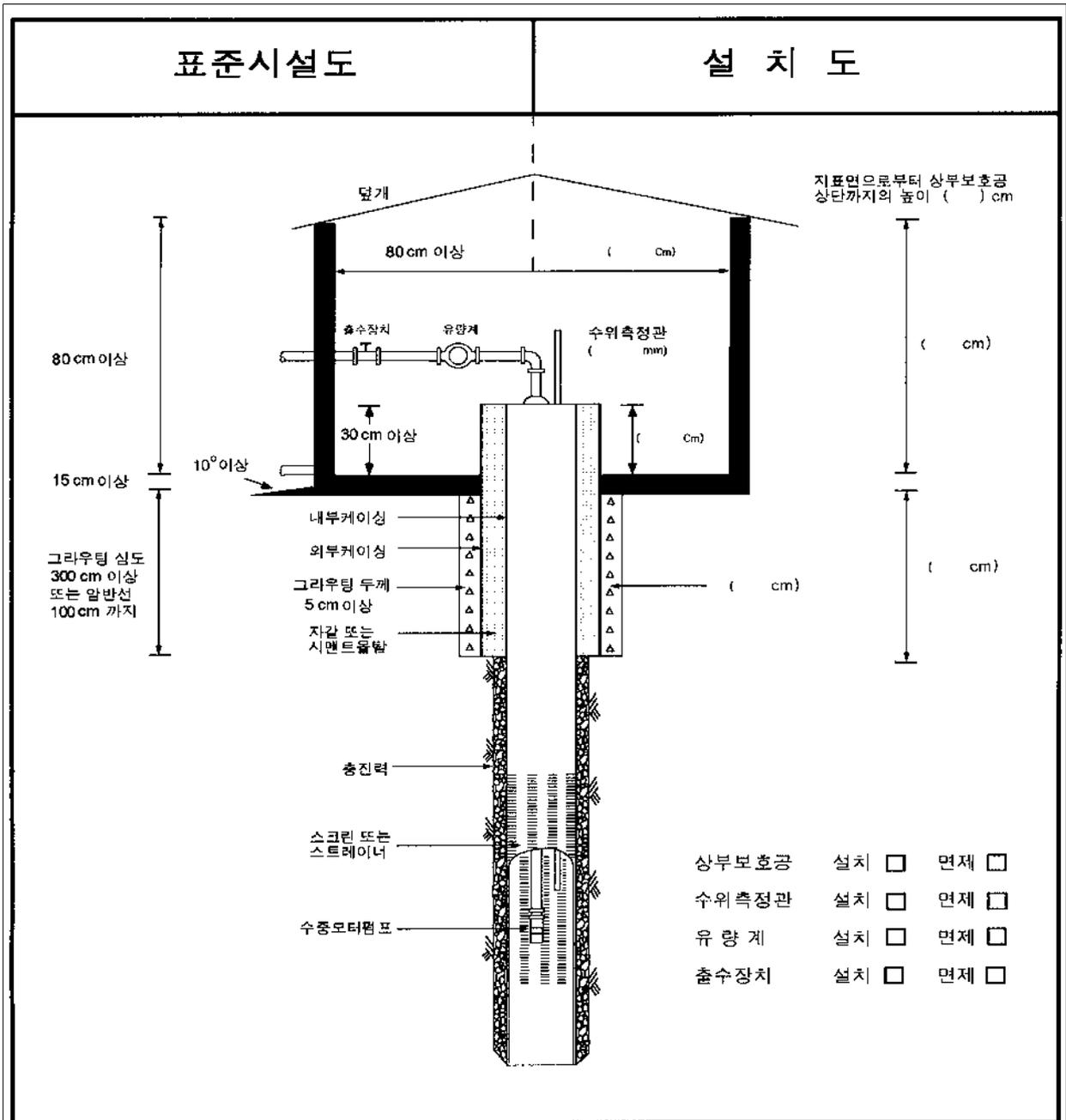
지하해수조사사업 보고서

<표 5-2-1> 통산1지구 시추조사공별 지층내역

(단위 : m)

조사공번	토사	실트	사	사력	혼진석	풍화대	풍화암	연암	보통암	계
TSBH-01	0.5				2.0			230.5		233.0
TSBH-02	0.5	4.0			1.0			146.5		152.0
TSBH-03	2.0	2.0				8.5		150.5		163.0
TSBH-04	2.0	3.0				2.0	9.5	95.5		112.0
TSBH-05	1.5	8.0				4.0	4.0	138.5		156.0

※ 지층 세부 내역은 시추주상도 참조



1. 가형 표준도는 스크린 또는 스트레이너를 설치하고 수중모터펌프를 사용하는 경우의 표준도임.
2. 암반층 이하 깊이로 굴착하는 경우에는 설치도에 암반선을 표시하여야 함.
3. 설치도에 지표면의 위치를 표시하고 지표면으로부터 상부보호공 상단부까지의 높이를 기재하여야 함.

<그림 5-2-2> 지하수 개발·이용 표준도(충적, 암반) : “가”형

지하해수조사사업 보고서

<표 5-2-2> 지하해수 신규 개발 규격 및 개략단가

(금액 단위 : 천원)

구 분		암반관정	비고
시 설 규 모		직경 25cm(φ250mm) 기준심도 100m 기준채수량 150m ³ /일 이상	
시 행 방 법		암반찬공	암반찬공 1공, 이용시설 1식 영향조사 1식, 관로공사 1식
공당 사업비		66,770	
지하수 개발	· 암반찬공 (φ250mm×100m) · 우물자재설치 (φ200mm×100m)	34,100	찬공 층적층 20m, 연암 60m, 보통암 20m 우물자재 파이프 80m, 스트레나 20m
이용시설	· 수중모터 및 보호공 설치	14,850	3HP × 1대 (압상관 : STS, 60m) 맨홀식(1m×1m×1m)
관로공사	· 송수관로	10,670	콘크리트 100m
지하수 영향조사	· 시설물 허가	7,150	지하수영향조사서

※ 관정개발의 규격 및 단가는 개발 여건에 따라 차이가 있을 수 있음

<표 5-2-3> 지하해수 조사공 개발 규격 및 개략단가

(금액 단위 : 천원)

구 분		암반관정	비고
시 설 규 모		직경 25cm(Φ250mm) 기준심도 100m 기준채수량 150m ³ /일 이상	
시 행 방 법		조사공 확공개발	암반찬공 1공, 이용시설 1식 영향조사 1식, 관로공사 1식
공당 사업비		48,600	
지하수 개발	· 확공개발 (Φ250mm×100m) · 우물자재설치 (Φ200mm×100m)	15,930	확공 연암 60m, 보통암 20m 우물자재 파이프 80m, 스트레너 20m
이용시설	· 수중모터 및 보호공 설치	14,850	3HP × 1대 (압상관 : STS, 60m) 맨홀식(1m×1m×1m)
관로공사	· 송수관로	10,670	콘크리트 100m
지하수 영향조사	· 시설물 허가	7,150	지하수영향조사서

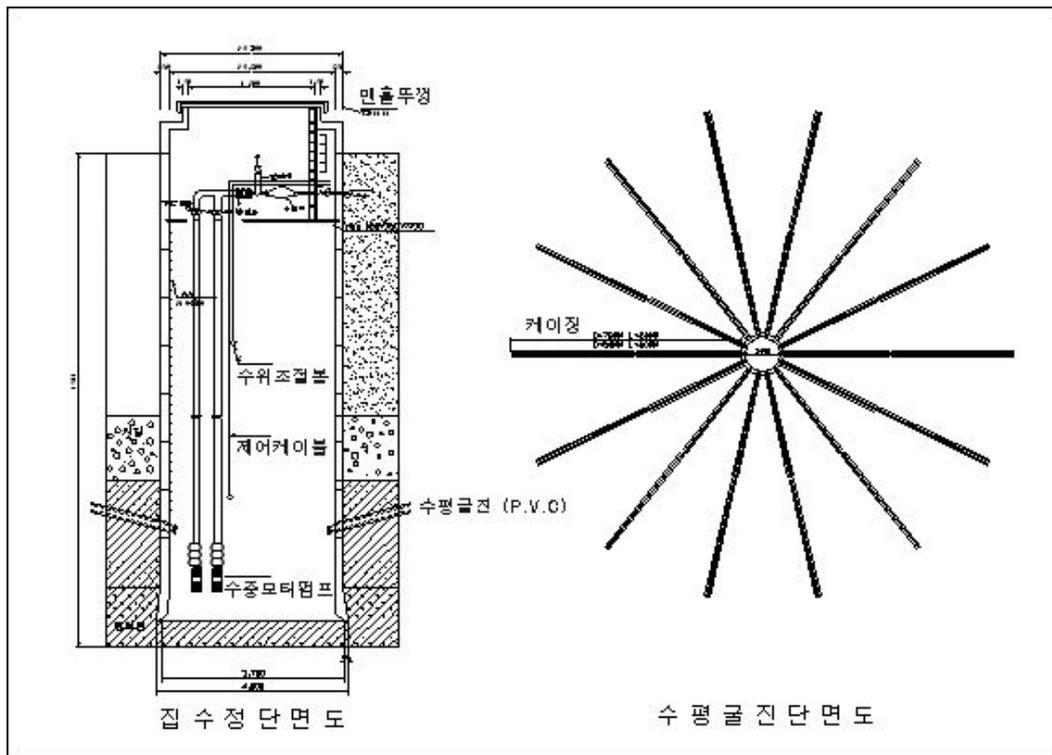
※ 관정개발의 규격 및 단가는 개발 여건에 따라 차이가 있을 수 있음

□ 방사상집수정

앞에서 기술하였듯이 방사상 집수정은 개발에 따라 지하해수가 2,000m³ 이상 확보된다면 에너지 절감은 물론 용수의 확보에도 큰 장점이 있기 때문에 어가 소득 증대에 크게 이바지 할 것이다. 그러나 방사상 집수정은 방사상으로 수평착정을 하기 때문에 주변의 지층, 특히 충적층 구간이 실트나 점토로의 급격한 변화가 발생하면 개발 여건이 상당히 불리하므로 사전에 수평착정 구간에 대하여 소구경 시추기를 통한 충분한 사전 조사가 이루어져야 한다.

일반적으로 방사상 집수정은 충적층의 주 구성물질이 모래 및 자갈로 구성되어 있고, 투수계수가 $\alpha \times E-03$ 이상인 경우에 개발이 용이하다.

<그림 5-2-3>는 방사상 집수정으로 지하해수를 개발할 때의 구조도이고 개발 규격 및 단가는 <표 5-2-4>와 같다.



<그림 5-2-3> 방사상 집수정의 개발 모식도

<표 5-2-4> 방사상 집수정 개발 규격 및 개략단가

(금액 단위 : 천원)

구 분		집수정	비고
시 설 규 모		D = 4.0m H = 100m Q = 4,000m ³ /일 이상	
시 행 방 법		집수정 설치	토목공사 1식, 수평착정 1식, 기계장치 1식 전기공사 1식, 관로공사 1식, 영향조사 1식
공당 사업비		613,250	
토목공사	· 우물통공사 D = 4.0m H = 100m	130,900	터파기 및 침하 우물통 설치
수평착정	· 수평착정 φ = 250mm L = 42m, 10공	323,400	우물자재(PVC 스트레나) φ = 250mm, L = 40m, 10공
이용시설	· 수중모터 및 보호공 설치	86,900	15HP × 1대 (압상관 : STS, φ = 125mm)
관로공사	· 송수관로	39,600	L = 150m, 토공 : 144m, 콘크리트 6m
지하수 영향조사	· 시설물 허가	7,150	지하수영향조사서

※ 규격 및 단가는 개발 여건에 따라 차이가 있을 수 있음, 사전 조사비 별도

5.2.2 조사지역의 개발가능지점

통산1지구 양식장에 청정 지하해수를 개발·공급하기 위하여 구역별 해당 양식 어가를 대상으로 대표 어종, 생육환경과 필요수량 등에 대한 설문조사 결과와 지하해수 산출성을 고려하여 육상양식(종묘)장에 지하해수를 공급하는 방안을 검토하였으며, 조사결과 개발가능지점은 <표 5-2-5>과 같다. B구역에서 시추결과는 지하해수 부존이 필요수량보다 많이 모자라, 양식산업에 지하해수를 직접 활용하기는 힘들 것으로 판단되어 지하수법에 근거하여 TSBH-03번공은 원상복구가 바람직하나 시추공에 대한 활용의지가 강해 활용방안을 제시하였다.

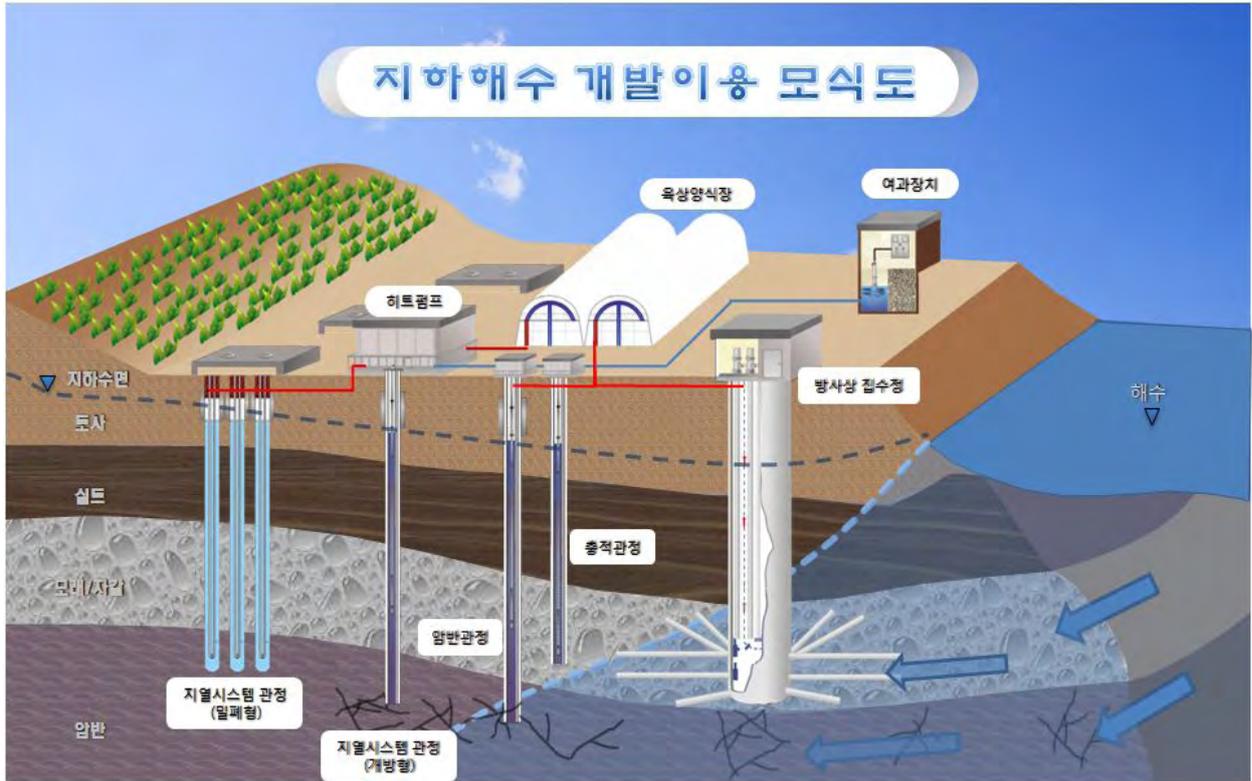
<표 5-2-5> 통산1지구 지하해수 개발 가능지점

구 분	대표 어종	어업 종류	공번	지하해수 필요 수량 (m ³ /일)	생육환경		조사결과			개발 가능량 (m ³ /일)	영향 반경 (m)	주변현황	어가 호응도
					비중 (염도)	온도 (℃)	비중 (염도)	온도 (℃)	산출량 (m ³ /일)				
A구역	어류, 해삼	육상 종묘	TSBH-01	2000	1.0032 (33)	22.0	1.004 (5)	17.7	500	400	38	양식장 단독위치	좋음
			TSBH-02	2000			1.003 (6)	18.8	400	300	39	양식장 단독위치	좋음
B구역	어류	육상 종묘	TSBH-03	400	1.0029 (34)	23.0	1.003 (4)	18.6	80	70	21	양식장 단독위치	좋음
C구역	어류, 해삼	육상 종묘	TSBH-04	600	1.0031 (33)	23.0	1.005 (7)	18.5	500	400	42	양식장 단독위치	좋음
D구역	전복	육상 종묘	TSBH-05	300	1.003 (32)	25.0	1.004 (6)	20.1	400	350	40	양식장 단독위치	좋음

5.2.3 개발·이용방안

육상양식산업에 있어서 지하해수의 사용은 적조, 이상해류, 해안 유류사고로부터 양식 용수를 안정적으로 공급할 수 있는 장점과, 동·하절기 일정온도를 유지하는 온도조절의 역할을 할 수 있다. 특히 온도조절을 위한 동·하절기 가온 및 냉온에 필요한 유류비, 전기료 등의 유지비용을 절감하는 등 에너지 절감으로 녹색양식산업을 구현할 수 있다.

지하해수는 수온과 수질이 일정한 지하수의 장점에 산출량도 풍부해야 하고, 생육이 가능할 정도의 염분 농도가 추가되어야 하기 때문에 양식 용수를 안정적으로 공급하기 위한 용수확보 차원은 상당히 어려운 문제이다. 그 이유는 해안변의 지하대수층은 담지하수와 해수가 공존하기 때문에 해안가 대수층 구간에 순수한 해수의 염도를 갖는 지하해수가 부존할 가능성이 낮다. 따라서 지하 대수층이 해수가 유입되는 파쇄대가 형성되어 있으면 충분한 염도의 지하해수가 부존하게 되고, 반대로 담수가 유입되는 파쇄대인 경우는 담지하수가 부존하게 된다<그림 5-2-4>.



<그림 5-2-4> 지하해수 부존 및 개발이용 모식도

지하해수는 유류 등의 에너지 절감과 안정적인 용수 확보와 같이 활용 목적에 따라 육상양식장에서의 이용방법은 4가지로 구분될 수 있다. <표 5-2-6>은 지하해수 산출 특성에 따른 이용방법을 구분하여 제시한 표이다.

<표 5-2-6> 지하해수 산출 특성에 따른 이용방안

구 분	해수 직접이용 (양식용수 + 에너지 절감)	해수 간접이용 (에너지 절감 형)
	대(S) ←	→ 소(s)
수량 ↑ ↓	○ 양식용수 이용 - 성어 (QS형) - 종묘 ○ 해수 혼합사용(Qs1형) ○ 밀폐형	○ 개방형 (Qs2형 : 지하해수 열원)
	○ qs형 : 지열원	

※ 염도의 대·소 기준은 양식어종 및 어업인의 양식 방식에 따라 차이가 있고 본 보고서에서는 조사지구의 양식 어업인의 사용 방법에 대한 청문 결과인 5‰, 수량은 해안·도서지역에서의 농·어업용 허가 기준인 100m³/일을 기준으로 하였으므로 지역마다 차이가 있을 수 있음.

▣ 지하해수 개발·이용 제시(안)

분류	QS형	Qs1형	Qs2형	qs형
압반관정	-	BH-1, BH-2, BH-4, BH-5	-	BH-3

QS형. 양식용수 이용 : 지하해수의 산출량이 많고, 염도가 충분할 경우

- 수온, 수량, 염도 양호

Qs1형. 해수혼합 : 지하해수의 산출량이 많고, 염도가 불충분할 경우

- 수온, 수량 양호, 염도 양호 내지 보통

Qs2형. 지하수 열펌프 시스템(개방형) : 지하해수의 산출량은 많으나 염도가 낮은 경우

- 수온, 수량 양호, 염도 낮음

qs형. 지열펌프 시스템(밀폐형) : 지하해수가 산출되지 않을 경우

- 지열 양호, 수량 적고 염도 낮음

통산1지구의 지하해수는 수량과 염도가 양식장 공급조건을 충족하지 못하므로 지하해수 직접 공급 방식보다는 혼합사용 내지 지열에너지 활용 등 다른 방법의 개발·이용방안도 함께 고려하여야 하므로 에너지 절감을 위한 다양한 방안을 제시하고자 한다.

1) 양식용수 이용(QS형)

이 방안은 산출되는 지하해수가 수온과 수량, 염도가 양호한 경우에 해당한다. 육상 양식(종묘)장에서 양식되는 해수어는 어업인을 대상으로 표본설문 조사를 시행한 결과 대부분이 20℃, 33%이 생육 최적조건이고, 최저 13℃, 28%, 최고 25℃, 35%로서 평균 18℃, 30%로 조사되었다. 동절기 평균 온도가 약 5~6℃인 해수를 수조에 공급할 때는 폐사하지는 않지만 성장이 멈추고, 하절기의 약 25~30℃의 수온이 높은 해수를 공급하면 성장이 오히려 둔화되어 질병이 발생하는 등 상품성이 떨어진다. 따라서 적정 수온의 해수 공급이 성장에 좋으며 염도는 30% 이상이어야 한다.

지하해수는 오랜 시간동안 지하 대수층에 부존하는 환경에 의해 영양염류나 효소, 플랑크톤 등이 해수와는 다를 것으로 예측되어 당장 개발하여 양식 용수로 사용하는 것보다 지속적으로 안정성을 검토하여야 할 것이다. 양식에 적합한지를 일정 기간동안 시험 사용하는 등의 모니터링이 필히 요구되며, 해당 양식장에서도 이를 감안하여 시험 수조를 운용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 지구에서 산출되는 지하해수의 수량과 수질을 분석한 결과 지하해수를 직접 공급하여 에너지 절감 및 용수의 확보를 기대하기는 다소 어려울 것으로 판단된다.

<표 5-2-7> 동절기 해수 가온 비용 및 지하해수 사용 시 필요 공수 예측

구 분		해수 소요량에 따른 가온 비용(15℃ 기준)			
		500m ³ /일	1,000m ³ /일	1,500m ³ /일	2,000m ³ /일
해수 (5℃)	1일 기준(천원)	300 (491)	600 (982)	900 (1,473)	1,200 (1,964)
	1개월 기준(천원)	8,998 (14,730)	17,997 (29,460)	26,995 (44,190)	35,993 (58,920)
지하해수 필요공수	300m ³ /일(공)	1.7	3.3	5	6.7
	500m ³ /일(공)	1	2	3	4

※ 물, 소금의 비열 및 벵커C유 발열량 9,900kcal/ℓ을 이용하여 계산하여 추정
 가온 비용은 벵커C유 611원/ℓ(2010년 1월 조달단가)을 적용
 지하해수는 15℃, 30‰로 가정
 ()는 유류 소요량임(유류단위 : ℓ)

2) 해수 혼합사용(Qs1형)

이 방안은 산출되는 지하해수가 수온과 수량은 양호하나, 염도가 직접 공급할 수 있을 정도로 충분하지 않은 경우로서 기수에 해당한다. 본 조사지구의 A, C, D구역에서 산출된 지하해수는 각각 900m³/일, 500m³/일, 400m³/일이고 온도는 18.3℃, 18.5℃, 20.1℃ 염도는 5.5‰, 7‰, 6‰로 수량과 수온은 양호하고, 염도는 대체로 낮다. 따라서 A, C, D구역에서는 해수와 혼합하여 사용함으로써 유류 등 에너지의 절감을 도모할 수 있다.

<표 5-2-8>는 동절기를 기준으로 산출된 지하해수와 해수의 혼합에 따른 온도와 염도 변화를 나타낸 표로서 온도 상승분만 고려하였을 때와 생육환경인 30‰을 고정하였을 경우이다. TSBH-01호공의 지하해수 산출량은 500m³/일, 염도는 5‰, 온도는 17.7℃이고, TSBH-02호공은 400m³/일, 6‰, 18.8℃, TSBH-04호공은 500m³/일, 7‰, 18.5℃, TSBH-05호공은 400m³/일, 6‰, 20.1℃이며, 해수는 5.0℃, 표준염도 35‰의 해수로 가정하였다.

지하해수조사사업 보고서

<표 5-2-8> 혼합 사용에 따른 온도와 염도 변화 비교

구분	공번	개발 형태	목표 수량 (m ³ /일)	이용방안(혼합사용)	
				온도측면(온도상승만 고려)	비중측면(염도, 30‰ 고정)
A구역	BH-1	암반 관정	2000	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 6.6℃ 상승, 약 20.4% ○필요개발 공수 : 3공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.3℃ 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공
	BH-2	암반 관정	2000	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.2℃ 상승, 약 20.9% ○필요개발 공수 : 3공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.5℃ 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 2공
C구역	BH-4	암반 관정	600	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.0℃ 상승, 약 21.4% ○필요개발 공수 : 1공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.5℃ 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공
D구역	BH-5	암반 관정	300	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.9℃ 상승, 약 20.9% ○필요개발 공수 : 1공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.8℃ 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공

TSBH-01호공이 위치하는 해당 양식장에서 온도 상승분만 고려한 결과 지하해수와 해수를 동일 비율로 혼합하면 온도가 약 11.6℃로 변화하여 6.6℃의 상승 효과가 있고, 이때의 염도는 20.4%이다. 1:1의 비율로 혼합할 경우는 지하해수가 산출된 500m³/일을 모두 사용하는 결과이므로 해당 양식장에서는 필요수량이 2000m³/일이므로 2공을 개발하여 사용하면 지하해수와 해수의 혼합 후 수량이 1000m³/일이 되고, 온도 상승효과 및 목표 수량을 충족시키게 된다. 따라서 개발가능량인 400m³/일을 사용하여야 함으로 3공을 개발하여야 한다. 한편 생육환경인 약 30.0%의 염도로 고정시킬 경우는 지하해수와 해수의 혼합 비율은 1:5로서 5℃의 해수는 약 7.3℃로 상승하여 2.3℃의 상승효과를 보인다. 이때는 지하해수 산출량 중 약 335m³/일을 사용하게 되므로 필요개발 공수는 1공이다.

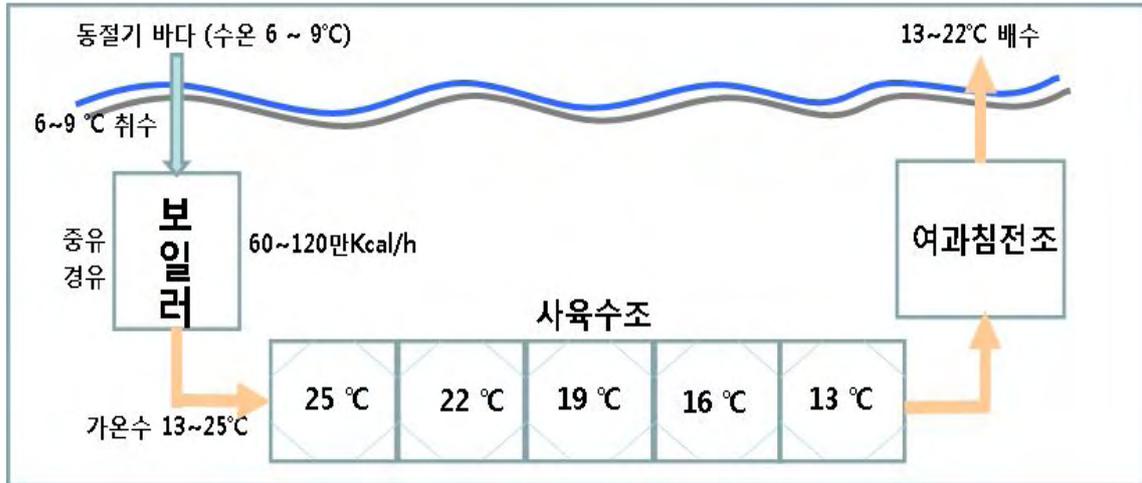
TSBH-02호공의 경우 1:1로 혼합하면 온도가 약 12.2℃로 변화하여 7.2℃의 상승효과가 있고, 이때의 염도는 20.9%이다. 1:1의 비율로 혼합할 경우는 개발가능량 300m³/일을 사용해야 하고 해당 양식장에서는 3공을 개발할 때 온도 상승효과 및 목표 수량을 충족시키게 된다. 한편 생육환경인 30%의 염도로 고정시킬 경우는 지하해수와 해수의 혼합 비율은 1:5로서 5℃의 해수는 약 7.5℃로 상승하여 2.5℃의 상승효과를 보인다. 이 경우는 지하해수 산출량인 350m³/일을 사용하게 되므로 필요개발 공수는 2공이다.

TSBH-04호공의 경우 1:1로 혼합하면 온도가 약 12.0℃로 변화하여 7.0℃의 상승효과가 있고, 이때의 염도는 21.4%이다. 1:1의 비율로 혼합할 경우는 개발가능량 400m³/일을 사용해야 하고 해당 양식장에서는 1공을 개발할 때 온도 상승효과 및 목표 수량을 충족시키게 된다. 한편 생육환경인 30%의 염도로 고정시킬 경우는 지하해수와 해수의 혼합 비율은 1:5로서 5℃의 해수는 약 7.5℃로 상승하여 2.5℃의 상승효과를 보인다. 이 경우에도 지하해수 산출량인 135m³/일을 사용하게 되므로 필요 개발 공수는 1공이다.

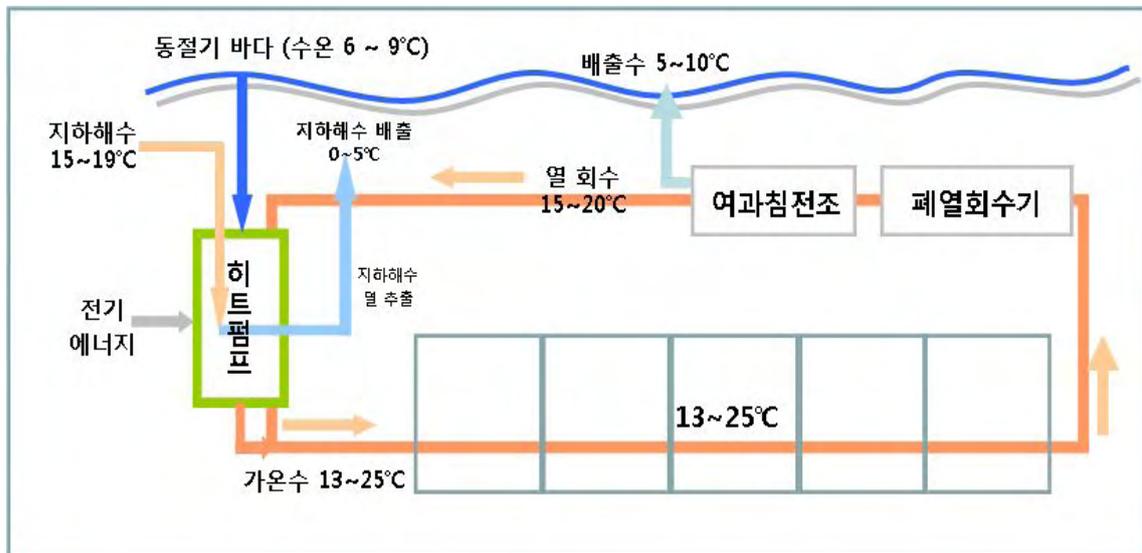
TSBH-05호공의 경우 1:1로 혼합하면 온도가 약 12.9℃로 변화하여 7.9℃의 상승효과가 있고, 이때의 염도는 20.9%이다. 1:1의 비율로 혼합할 경우는 개발가능량 350m³/일을 사용해야 하고 해당 양식장에서는 1공을 개발할 때 온도 상승효과 및 목표 수량을 충족시키게 된다. 한편 생육환경인 30%의 염도로 고정시킬 경우는 지하해수와 해수의 혼합 비율은 1:5로서 5℃의 해수는 약 7.8℃로 상승하여 2.8℃의 상승효과를 보인다. 이 경우에도 지하해수 산출량인 50m³/일을 사용하게 되므로 필요 개발 공수는 1공이다.

3) 지열펌프 냉난방 시스템(Qs2, qs형)

공기원 열펌프보다 훨씬 효율적이고 개선된 냉난방 시설로서 지중열(지하수 포함)을 이용하는 것을 지열펌프(Geothermal heat pump) 시스템이라 한다. 그리고 지열펌프의 일종으로 지하수를 대수층으로부터 채수하여 열원으로 이용하는 지열펌프 시스템을 지하수 열펌프(groundwater heat pump, GWHP) 시스템이라고 한다. 국내에서 사용하고 있는 지하수의 연평균 수온은 14.3℃로서 지하수 자체의 이 열을 추출하여 양식업에서의 열원으로 사용하면 일산화탄소 및 이산화탄소의 방출량을 감소시키고 에너지 절감에 따라 녹색 양식산업을 구현할 수 있다.



<그림 5-2-5> 기존 육상양식장 용수 공급 모식도



<그림 5-2-6> 히트펌프를 이용한 육상양식장 용수 공급 모식도

현재 국내의 육상양식은 대부분이 겨울철 약 6~9°C의 해수를 취수한 후 경유나 중유 등의 유류를 사용하여 해당 양식 어종의 생육 온도인 13~25°C로 가온하여 수조에 공급하고 있는 실정이다. 따라서 겨울철 가온을 위해 많은 에너지를 사용하고 있으며, 그에 따른 비용도 증가하고 있다. 지열펌프 냉난방 시스템을 사용할 경우 에너지를 절감할 수 있으며 폐열 회수장치를 동시에 사용하면 약 70~80%의 열 에너지를 다시 사용할 수 있고 한다.

<그림 5-2-5>은 기존에 양식 용수를 공급하는 경우의 모식도이고, <그림 5-2-6>은 지열시스템 및 폐열회수장치를 이용할 경우의 모식도를 나타낸 것이다. 국내 지하수의 경우 지하수면 하 약 5m 하부에 부존된 지하수의 평균 온도는 약

14.3℃정도이며, 지열 구배는 100m 당 평균 $2\pm a$ °C 규모로 지열펌프의 가장 중요한 요소이다. 지하수의 온도가 10~20℃일 때가 지열펌프의 열원으로 최적조건이다. 지열펌프의 장단점은 아래와 같다.

□ 장점

- 연간 소요되는 전력의 2/3을 절약할 수 있다.
- 연중 온도가 일정하여 안정적으로 열원을 이용할 수 있다.
- 혹한이나 혹서와 같은 극한 기후에 추가적인 열 조화장치가 필요치 않다.
- 연소형 시설에 비해 저렴하고 설계가 간단하며 운영이 간편하다.
- COP(성적계수)가 공기원에 비해 약 2~3배 크다.

□ 단점

- 초기 투자비가 비싸다.
- 따라서, 정비 지원이 없으면 설비하기가 어렵다.

통산1지구에서 적용 가능한 지열펌프 시스템은 개방형 1井 시스템과 수직밀폐형 시스템으로 개방형 1井 시스템은 C구역에서 적용할 수 있고 수직밀폐형 시스템은 A구역과 B구역에서 적용 가능하다.

국내에서 설치되고 있는 지열펌프 시스템의 종류는 <표 5-2-9>과 같다.

<표 5-2-9> 지중순환회로 형식에 따른 지열펌프 시스템의 분류

회로형식	지열펌프 시스템 종류	열원	적용
개방형 (Open loop)	① 개방형 2井 시스템 ② 개방형 1井 시스템 ③ 개방형 수직심정형 시스템	천부지열 지하수 해수 및 지표수	A,C,D구역 ②형
밀폐형 (Closed loop)	① 수평밀폐형 시스템 ② 수직밀폐형 시스템 ③ 밀폐형 물순환 시스템	천부지열 지하수 및 지표수	B구역 ②형
복합형 (Hybrid geothermal heat pump)	① 기존의 냉각탑 또는 보일러와 연계시킨 시스템, 개방형 및 밀폐형 겸용	천부지열, 지하수 및 기존 냉난방 시설	
대규모 산업용 (Commercial heat pump)	① 대규모 건물 등 개방형형 또는 밀폐형형	천부지열 지하수 및 지표수	

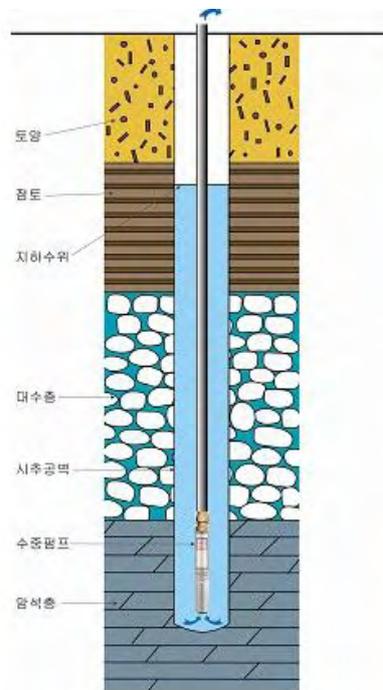
□ 개방형 1관정 시스템(Open loop 1 well system)

이 방법은 지하수가 풍부하게 부존되어 있고 수온이 양호하지만 염도가 해수와 혼합하여 사용하기에도 낮은 경우에 해당된다. 본 조사지구의 A, C, D구역에서 산출된 지하해수는 각각 900m³/일, 500m³/일, 400m³/일이고 온도는 18.3℃, 18.5℃, 20.1℃이므로 대수층을 축열조로 이용하거나 사용한 지하해수를 다시 주입공으로 주입하여 순환시키거나 인근 수체로 방류하여 효율적으로 지하해수 열을 이용할 수 있다.

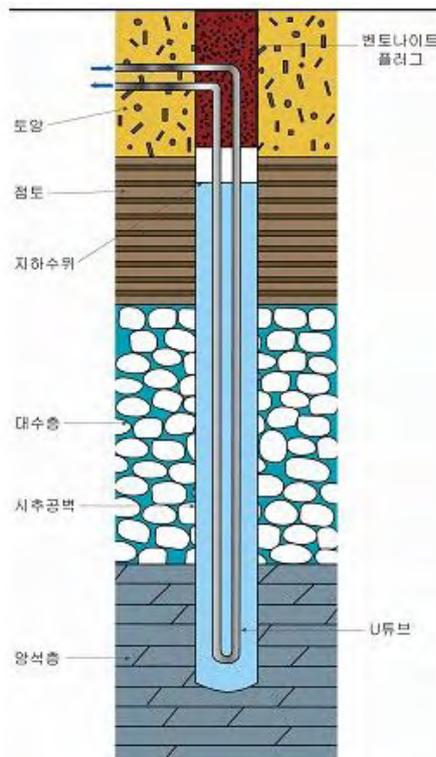
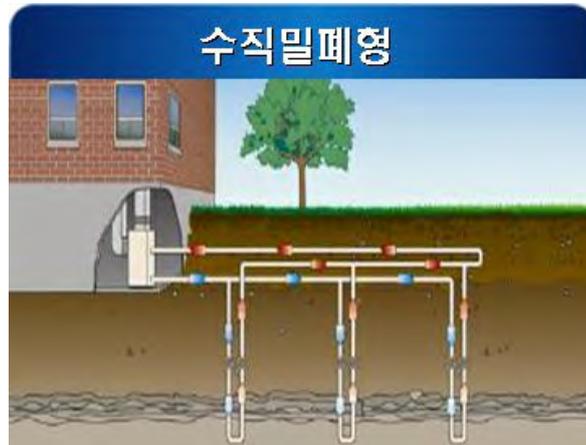
지열펌프에 지하수를 공급할 목적으로 관정을 설치하는 경우에 관정의 심도는 150m 정도면 충분한데, 그 이유는 상기 심도의 지하수가 지열펌프에 충분한 에너지를 공급할 수 있기 때문이다. 개방형 1관정 시스템은 1개의 관정에서 채수한 지하수의 열 에너지를 열교환기에서 추출한 후 주입정을 통해 배출하지 않고 인근 하수구나 하천으로 방류하는 경우로서, 농어촌지역에서 널리 사용하고 있는 방법이다 <그림 5-2-7>.

□ 수직밀폐형 시스템(Vertical Closed loop system)

이 방식은 지하수가 산출되어 지하수 열을 이용하거나 또는 산출되지 않더라도 지중열을 이용하는 방식으로 B구역에서 활용할 수 있다. 수직 굴착 후 두 개의 PE관을 U-bend로 연결한 후 폐회로내에 물이나 부동액 등의 순환수가 지중열을 흡수 및 추출하도록 하는 방법이다. PE관을 설치한 다음에는 굴착공을 흙으로 되메움하거나 그라우팅을 실시하여 굴착공을 밀폐시킨다. 수직밀폐형은 설치 심도가 깊기 때문에 동절기에 따뜻하고, 하절기에 비교적 차기 때문에 동절기에 가온 효과, 하절기에는 냉온 효과가 크다<그림 5-2-8>.



<그림 5-2-7> 개방형 1관정 시스템(Open loop 1 well system) 모식도



<그림 5-2-8> 수직밀폐형 시스템 (Vertical Closed loop system)

□ 조사지역의 지열시스템 적용

통산1지구 지하해수 조사결과 용수확보가 가능한 구역은 C구역으로서 암반 관정으로의 개발이 유리하고 A, B구역은 소량의 지하해수 열 및 지열을 이용하여 양식 수온의 상승 효과를 기대할 수 있다(표 5-2-9).

그러나 지열시스템을 이용하기 위해서는 해당 양식장에서의 양식 목표 온도와 해수의 양을 정확히 파악하여, 히트펌프의 용량 및 방법, 성적계수(COP) 등 제반 사항을

고려하여 적용하여야 할 것이다.

예로, 동절기에 5°C의 해수를 하루 평균 1,000m³을 사용하고 양식장 수온을 20°C로 가온할 때 지열 시스템 또는 지하해수 열 시스템을 사용할 경우 관정 개발 공수를 비교하여 보면

1) 지하해수 열 시스템(개방형 시스템) 사용 시

- 해수 가온 시 필요한 열량은 지하해수로 공급해야 할 열량과 같으므로

$$Q_{\text{kcal}} = 1,000\text{m}^3/\text{일} \times 15^\circ\text{C}(\Delta T) = 15,000,000\text{kcal} \quad \text{이고,}$$

- 지하해수 열 시스템 용량(Q_{2RT})은

$$Q_{2RT} = \frac{15,000,000\text{kcal}}{860\text{kcal} \times 24} \approx 726\text{kW/hr} \text{이고, 이것을 } 3.5\text{kW} \text{로 나누어 주면}$$

$$\approx 207\text{RT/hr} \text{가 된다.}$$

$$(1\text{kW} = 860\text{kcal} \text{이고, } 1\text{RT} = 3.5\text{kW})$$

결과적으로 개방형 시스템은 블리딩(Bleeding) 여부에 따라 효율이 달라지며 블리딩율이 높을수록 효율은 높아진다. 본 조건의 산출에서는 현장의 악조건을 감안하여 블리딩 없이 순환식을 기준으로 산정한다. 일반적으로 개방형 시스템에서는 16m/3.5kw(1RT) 기준이 적용되므로 150m(1공 기준)당 9.4RT 용량이 확보 가능하므로 207RT 조건을 충족하려면 22개(207RT/9.4RT)의 시추공이 필요하다.

2) 지열 시스템(밀폐형 시스템) 사용 시

- 해수 가온 시 필요한 열량은 지하해수로 공급해야 할 열량과 같으므로

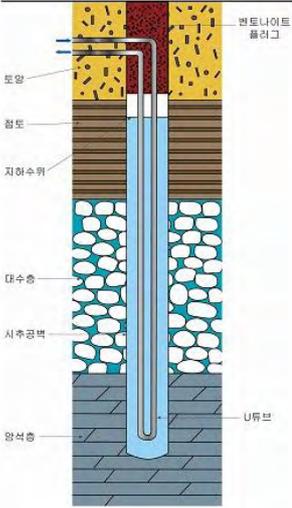
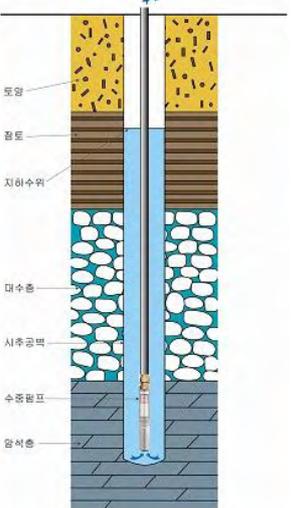
$$Q_{\text{kcal}} = 1,000\text{m}^3/\text{일} \times 15^\circ\text{C}(\Delta T) = 15,000,000\text{kcal} \text{로 동일하나,}$$

- 히트펌프는 일반적으로 150m, 1공에 약 3.0RT로 사용하므로, 207RT의 조건을 충족하려면 69개(207RT/3.0RT)의 시추공이 요구된다.

결과적으로 밀폐형은 양식 조건을 맞추기 위해 최소 69개의 시추공을 개발하여 약 726kW(207RT)의 히트펌프를 사용하면 20°C의 해수 1,000m³을 안정적으로 공급할 수 있다. <표 5-2-10>은 밀폐형과 개방형의 지열형식을 비교한 것이다.

지하해수조사사업 보고서

<표 5-2-10> 지열형식 비교

구 분	밀폐형	개방형(SCW)
<p>열 전 달 방식</p>	 <p>순환수→U튜브→벤토나이트→암반</p>	 <p>순환수→암반</p>
<p>굴착 구경</p>	<p>150mm</p>	<p>200~300mm</p>
<p>굴착 심도</p>	<p>150~200m</p>	<p>100~200m</p>
<p>효 율</p>	<p>52m/3.5KW(1RT) (150m×69공)</p>	<p>16m/3.5KW(1RT) (150m×22공)</p>
<p>지열 공사비 (지중분야)</p>	<p>- 지열공 : 552백만원(69공×150m) (8백만원/공)</p>	<p>- 지열공 : 484백만원(22공×150m) (22백만원/공)</p>
<p>장단점</p>	<p>효율 낮음 : 열간섭/열복원 문제 유지관리 • 장점 : 시공 후 유지관리 불필요 • 단점 : 문제시 복구불능, 토지이용장애(공당 6m간격, 지형이 수평이어야 함)</p>	<p>효율 높음 유지관리 • 장점 : 문제시 보수가능 • 단점 : 영향조사(5백만원/5년)</p>

□ 히트펌프 및 폐열 회수장치 이용 사례

경남 거제시 ○○수산의 경우 양식 수조의 개수가 $7 \times 7\text{m}^2 \times 6$ 개, $6 \times 6\text{m}^2 \times 15$ 개, 직경7m원통×6개, 총 26개로서 국내 양식장의 중간정도 규모로 어류 및 새우 종묘생산을 하고 있다. 평균 해수의 사용량은 $1,300\text{m}^3/\text{일}$ 이고, 최소 수온은 22°C 로서 12월~5월까지 수온 유지를 위한 가온 비용이 전체 경영비의 40%를 차지하고 있는데 이는 $30,000\text{ l}$ 의 벙커유, 약 1.5억원의 비용이 소요되었다.

2009년 175kW(50RT) 히트펌프를 설치하여 바다로 배출되는 22°C 의 폐열수를 회수(3°C 로 방류)하여 약 19°C 의 열을 추출한 후 8°C 의 해수를 다시 22°C 로 가온하여 수조에 공급한다. 월간 전기료가 170만원 정도로 유류사용과 비교하여 70% 이상의 가온비용을 절감하고 있다.

4) 기타 방법

지하해수의 산출된 수량이 적고 염도가 낮거나 담지해수 수준인 경우 지열 냉난방 시스템 사용도 여의치 않을 경우, 하절기 냉온을 하기 위하여 양식장 지붕에 지하해수(지하수)를 흘려보내면 태양 복사열을 흡수, 기화하여 수증기로 공기중으로 날라 가게 되므로 실내는 상대적으로 냉온의 효과를 보게 되는데, 양식 용수의 직접적인 냉온이 아닌 실내 공기 온도를 하강시켜 수조의 수온을 하강시키는 간접적인 방법이다. 한편, 수량이 적고 염도가 낮은 지하해수는 육상 양식업에서의 용수 및 열원의 활용이 아닌 기타의 목적으로도 활용될 수 있는데,

첫 째로 양식장 청소용으로 사용할 수 있다. 양식 수조 및 시설물이 콘크리트 또는 FRP 재질로 구성되어 있어 장시간 사용하면 부식 되는데, 염도가 낮거나 담수 수준의 지하해수 사용 시 부식의 진행을 늦출 수 있으므로 시설물의 유지 비용이 절감되어 결과적으로 경영 여건이 개선될 가능성이 높다.

두 번째로 수산물의 세척 용수로의 사용이 적합하다. 수산물을 가공 및 포장하기 위한 세척 용수를 바닷물로 사용할 때 포장 재질의 부식이나 해수에 용존하는 광물질 및 이온에 의해 흡착과 변질이 발생할 수 있다. 지하해수의 사용으로 이러한 문제점의 발생 가능성을 낮출 수 있으므로 수산업 발전에 도움이 될 것이다.

세 번째, 농업부문에서 김치 산업 육성에 지하해수가 활용될 수 있다. 즉 지하해수로 배추, 무 등의 절임 및 세척이 가능하고, 이는 청정 지하해수로 생산한 김치 상품으로 브랜드화 할 수 있어, 농업부문의 생산성이 개선될 것으로 판단된다.

5.3 지하해수 자원현황

통산1지구를 세분한 각 구역에서의 시추조사 결과인 산출량(Q), 수온(T), 염도(%)와 양식 어업인의 지하해수 활용 호응도, 개발에 따른 환경 등을 점수화하여 지하해수 현황도를 오각도표로 작성하여 나타내었다<그림 5-2-9>.

<그림 5-2-9>는 상기 오각도표와 조사지구 기설관정의 간이수질 조사결과, 해안선을 따라 해수 수준의 전기전도도 값으로 모델링 분석하여 추정한 분포도 등도 포함하여 작성한 분석도이다. 오각도표 점수 산정 기준은 <표 5-2-11>과 같고 기준에 의하여 산정된 점수표는 부록에 수록하였으며 오각도표에서 다각형이 클수록 활용성이 아주 높은 것을 지시한다.

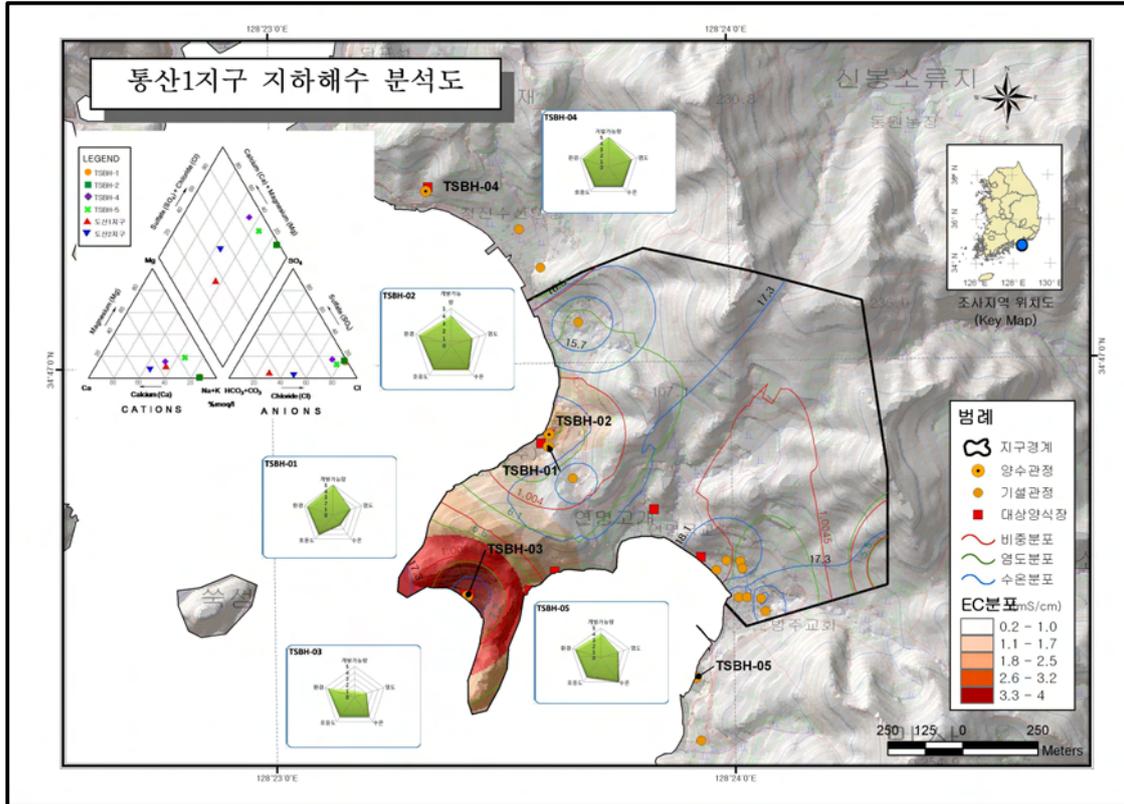
통산1지구는 해안선을 따라 약 25,000 μ s/cm~30,000 μ s/cm의 전기전도도(비중으로 약 1.011~1.013, 염도로 15~18%)가 분포하는 것으로 추정되나, 시추조사공의 비중 및 기설관정의 전기전도도를 분석한 결과 약 20,000 μ s/cm~40,000 μ s/cm 내의 전기전도도(비중으로 약 1.004, 염도로 6.0%)를 갖는 암반층 지하해수가 산출될 것으로 예측되며, 18℃ 안팎의 온도를 보일 것으로 추정된다.

<표 5-2-11> 통산1지구 지하해수 오각도표 배점 기준

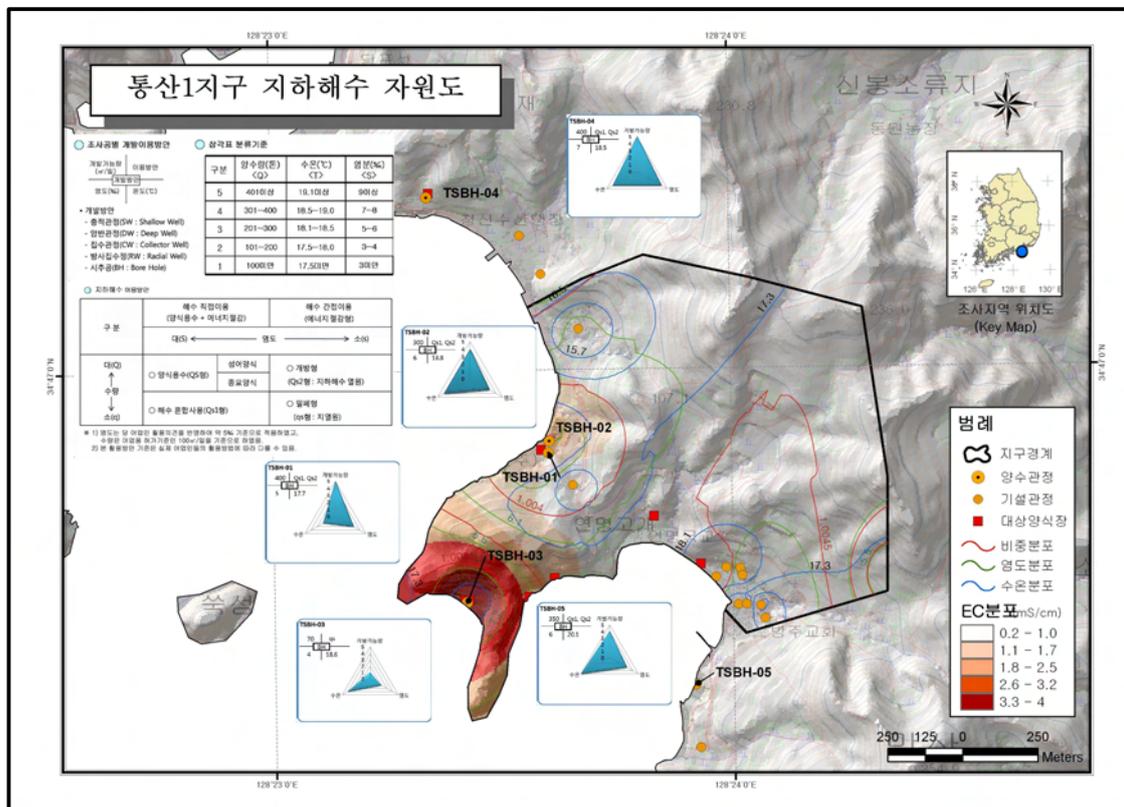
구분 점수	양수량 (톤) <Q>	수온 (℃) <T>	염분 (%) <S>	어가 호응도 <F>	개발환경 및 민원 등 <E>
5	401이상	19.1 이상	9이상	매우 좋음	◎ 각 해당항목에 부합시 1점 부여(총 5점) ○양식장 밀집여부 -2개 이상 : 1점 -단독어가 : 0.5점 ○인접 농경지 영향 유무 -영향반경 외 : 1점 -영향반경 내 : 0.5점 ○인접 주거지 영향 유무 -영향반경 외 : 1점 -영향반경 내 : 0.5점 ○소요수량 -종묘 : 1점 -양식 : 0.5점 ○지자체·주민 호응도 -좋음 : 1점 -보통 : 0.5점 -나쁨 : 0점 ※양식단지 조성 예정지 및 가능성이 있는 지역은 가점(1점)부여
4	301~400	18.5~ 19.0	7~8	좋음	
3	201~300	18.1~ 18.5	5~6	보통	
2	100~200	17.5~ 18.0	3~4	나쁨	
1	100미만	17.5 미만	3미만	아주나쁨	

한편 지하해수 분석도를 바탕으로 통산1지구의 개발·이용방안(안)을 포함시켜 지하해수 자원도를 작성하였다(그림 5-2-10). 앞서 5.2장에서 제시하였듯이 통산1지구는 양식용수 사용과 에너지 절감이 가능한 해수와의 혼합사용이 가능한 Qs1형과 에너지 절감 측면으로 qs형이 적절할 것으로 판단되나, Qs2형으로의 이용방안도 적용 가능하다. 그러나 지하(해)수는 기 언급하였듯이 지하지질 구조, 파쇄대 등 아주 국부적이거나 아주 광범위하게 개발 지점에 따라 양상이 다르게 나타나기 때문에 금번 시추조사 결과와 아주 상이하게 산출될 수 있고, 그에 따른 이용방법도 적절하게 설계해야 할 것이다.

지하해수조사사업 보고서



<그림 5-2-9> 통산1지구 지하해수 조사 분석도



<그림 5-2-10> 통산1지구 지하해수 자원도

제 6 장 농어촌지하수관리시스템

우영

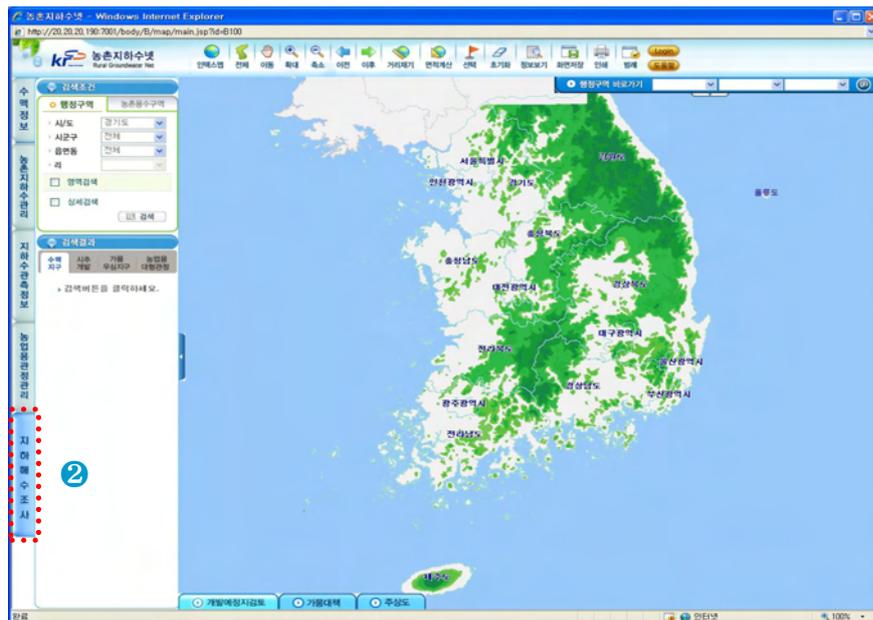
제6장 농어촌지하수관리시스템 운영

본장에서는 지하해수 부존과 관련하여 시행 지구의 조사결과에 대한 정보를 제공하는 농어촌지하수관리시스템, 즉 “농어촌지하수넷”을 소개한다.

- (1) 인터넷 주소란에 <http://www.groundwater.or.kr> 입력하여 농어촌지하수넷 초기 화면에서 농어촌지하수정보 바로가기의 지도부분 클릭



- (2) 농어촌지하수정보서비스 지도창이 새창으로 열림 → 지하해수조사 클릭



- (3) 검색조건에서 행정구역 선택(상세검색을 체크하고 추가 검색조건 선택 가능)후

지하해수조사사업 보고서

검색버튼 클릭 → 조사지구, 시추조사, 양식장 내역이 검색되고 상세 정보보기를 클릭하면 해당 상세내역과 위치 정보 확인이 가능

The screenshot displays the '농촌지하수넷' (Rural Groundwater Net) website interface. The main search results table is as follows:

조사지구	시추조사	양식장
군내	B-1	나리
군내	B-2	나리
군내	B-3	나리
군내	B-4	나리
군내	B-5	나리
군내	B-6	농진리

The detailed view for '군내 B-1 나리' includes the following information:

육상양식(종묘)장

위치정보

주소	전라남도 진도군 군내면 나리 399-23
상호	육양수산영여조합법인
법인/개인 구분	법인

조사원황

- 조사지구
- 육상양식장
- 시추조사관정
- 가설관정
- 탐사위치

사건미리보기

구분	허가	수조면적(㎡)	4,200
여업종류	육상양식		
여업방식	수조식	여종	어류
허가시작일	2007-04-11	허가종료일	2012-03-13

사건

The detailed view also includes a '시추개발' (Drilling Development) section with the following data:

지구명	공번	시군	읍면동	리	지번	조사년도
진군	B-1	진도	군내	나리	산52-1	2010

개발내역

시추깊도 (m)	120	시추구경 (mm)	150
우물지대		개발깊도 (m)	
개발시구경 (mm)	250	포고 (m)	12
자연수위 (m)	4.10	안정수위 (m)	49.10
층적층후 (m)	6	투수양계수 (m ² /d)	6.782
저류계수	0.0805	양수량 (m ³ /d)	300

지층별내역(m)

계	토사	실토	사	사력	준적석	중
120	2					

주상도 이미지

The detailed view also includes a '시추개발' (Drilling Development) section with the following data:

지구명	공번	시군	읍면동	리	지번	조사년도
진군	B-1	진도	군내	나리	산52-1	2010

개발내역

시추깊도 (m)	120	시추구경 (mm)	150
우물지대		개발깊도 (m)	
개발시구경 (mm)	250	포고 (m)	12
자연수위 (m)	4.10	안정수위 (m)	49.10
층적층후 (m)	6	투수양계수 (m ² /d)	6.782
저류계수	0.0805	양수량 (m ³ /d)	300

양수시황

The detailed view also includes a '시추개발' (Drilling Development) section with the following data:

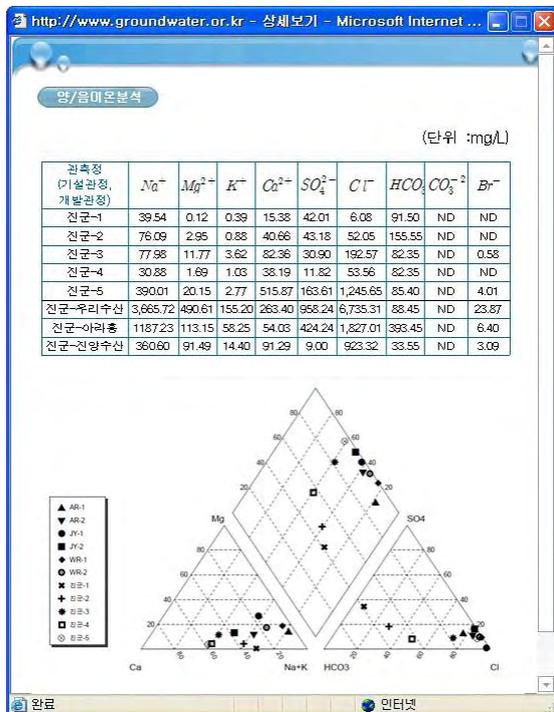
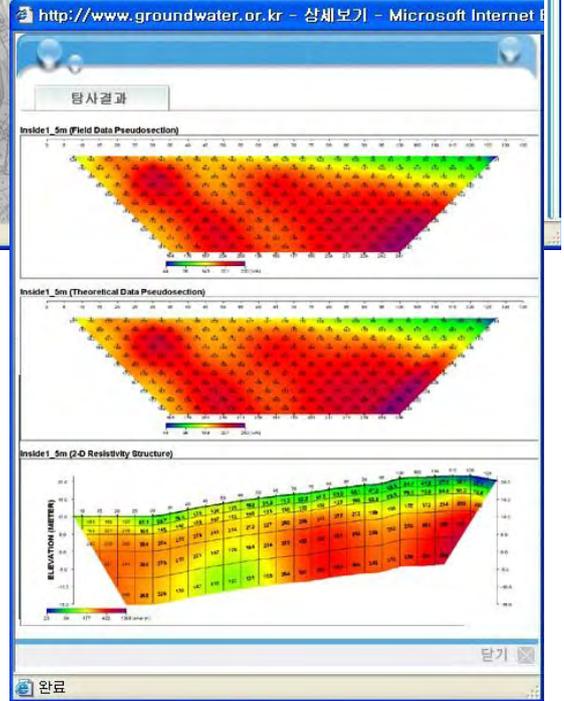
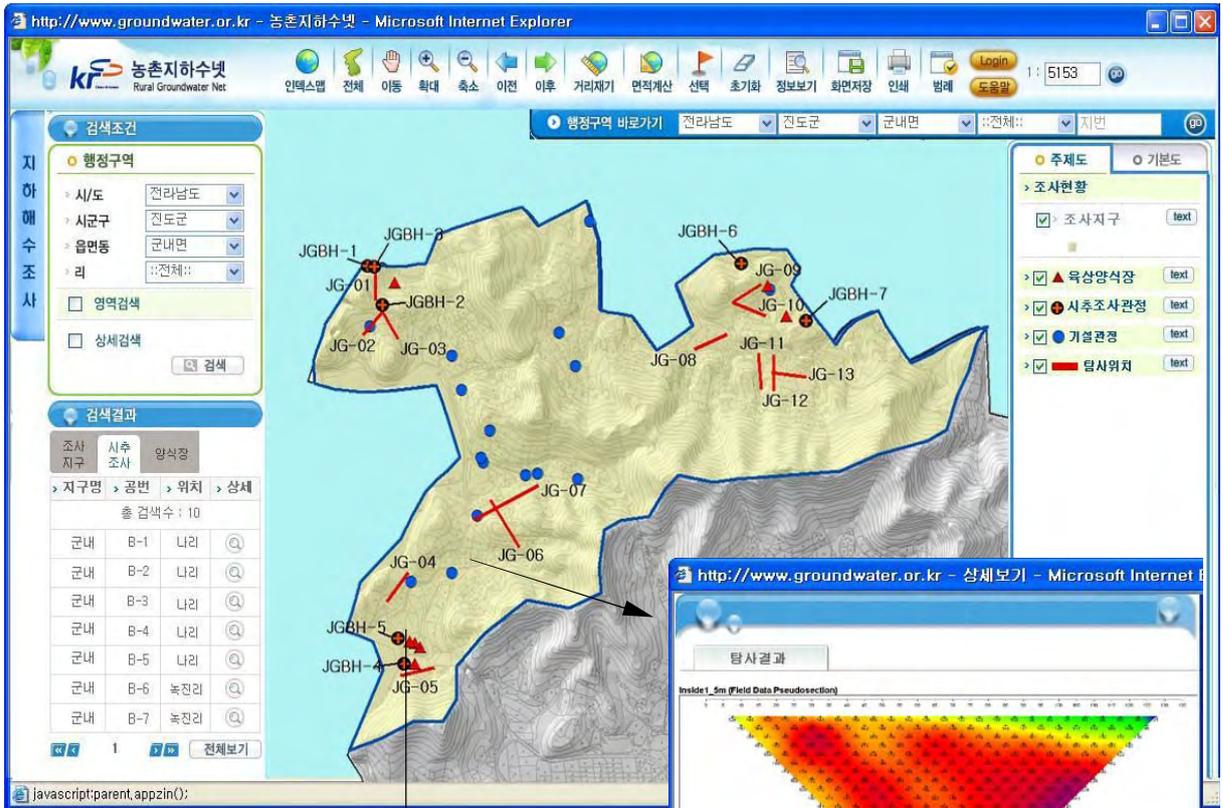
지구명	공번	시군	읍면동	리	지번	조사년도
진군	B-1	진도	군내	나리	산52-1	2010

개발내역

시추깊도 (m)	120	시추구경 (mm)	150
우물지대		개발깊도 (m)	
개발시구경 (mm)	250	포고 (m)	12
자연수위 (m)	4.10	안정수위 (m)	49.10
층적층후 (m)	6	투수양계수 (m ² /d)	6.782
저류계수	0.0805	양수량 (m ³ /d)	300

양수시황

(4) 지도에서 탐사결과, 양음이온 분석 결과 확인



(5) 지하수관측 모니터링 자료제공

지하해수조사사업 보고서

http://www.groundwater.or.kr - 농촌지하수넷 - Microsoft Internet Explorer

농촌지하수넷
Rural Groundwater Net

인덱스맵 전체 이동 확대 축소 이전 이후 거리제기 면적계산 선택 초기화 정보보기 화면저장 인쇄 별레 도움말

1: 3000

행정구역 바로가기 전라남도 ::전체:: ::전체:: ::전체:: 지면

주제도 기본도

지하수관측망

- 해수침투
- 농촌지하수관리
- 지하해수

지하수관측정보

구축현황

검색조건

○ 행정구역

- > 시/도: 전라남도
- > 시군구: ::전체::
- > 읍면동: ::전체::
- > 리: ::전체::

영역검색

상세검색

검색

검색결과

> 번호 > 관측소명 > 종류 > 상세

총 검색수: 41

1	감정2	암반	🔍
2	고금1	암반	🔍
3	고금2	암반	🔍
4	나라2	암반	🔍
5	무안1	암반	🔍
6	무안2	암반	🔍
7	무안3	암반	🔍
8	무안4	암반	🔍
9	별교1	암반	🔍
10	별교2	암반	🔍

속력: 1/3000

http://www.groundwater.or.kr - 상세보기 - Microsoft Internet E...

지하수관측정보

관측자료는 1개/일 제공되며 24개/일 자료는 이메일 또는 전화로 신청 가능
농어촌연구원(☎ 031-400-1852/kjhee@ekr.or.kr)

관측소 현황

관측소명	나라2
주소	전라남도 진도군 군내면 나라 84-3

http://www.groundwater.or.kr - 상세보기 - Microsoft Internet E...

1 ~ 2010 10 20 검색

시설제원보기 데이터 다운로드

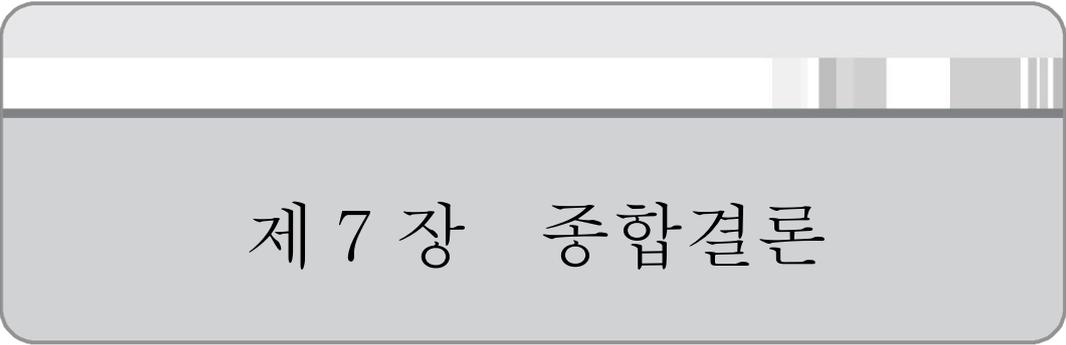
나라2	대수층 종류	암반
진도군 군내면 나라 84-3	표고(m)	14.1
2002	지역특성	도서
한국농어촌공사	시공기관	한국농어촌공사
150	굴착 상부(mm)	250
	구경 하부(mm)	150
장도(mm)	3	
궤도(mm)	200	

민터넷

[EC]

▶ 최소: 281 ▶ 최대: 298 ▶ 평균: 290.189

완료 민터넷



제 7 장 종합결론

제7장 종합결론

1. 통산1지구는 경상남도 통영시 산양읍의 남부에 위치하고 있으며, 지구 내 양식장은 11개소로 모두 개인 운영한다. 육상종묘와 어류 양식을 주로 하며 대표어종으로 는 어류, 전복 등 이다.
2. 지하수 행정자료를 토대로 거둔1지구의 기설관정을 조사한 결과 총 46개소이며, 생활용이 78.3%, 농어업용이 21.7%로 구성되어 있다. 2006년 지구 내 지하수 이용량은 133.7천 m³/년에서 2010년에는 94.0천 m³/년으로 감소하였고, 2015년에 64.7천 m³/년으로 감소할 것으로 전망된다.
3. 통산1지구 내 5축선에 대한 전기비저항 쌍극자탐사를 시행한 결과 해안가 특성상 낮은 비저항치를 보이고 있으며, 주로 60~80m이상 및 이하지점에서 저비저항 이상대가 발견되었다. 그리고 시추 예정지에 대한 수직탐사를 실시하여 수직적 지층구조와 비저항값을 파악하였는데, 탐사심도 150m 구간 중 다양한 지점에서 저비저항대가 측정되었다.
4. 탐사 결과에 따라 시추 가능한 지점에 대하여 총 5공의 시추조사를 실시하였다. 암반층 구간에서는 250mm의 구경으로 112m~233m 심도로 조사하였으며, 조사 결과는 아래의 표와 같다.

조사공번	위 치	시추 심도 (m)	표고 (m)	지하해수 산출량 (m ³ /일)	비중	염도 (%)	온도 (℃)	pH	구역 세분
TSBH-1	연화리 1079	233	18	500	1.004	5	17.7	8.25	A구역
TSBH-2	연화리 1079	152	15	400	1.003	6	18.8	8.30	
TSBH-3	연화리 1196	163	10	80	1.003	4	18.6	7.05	B구역
TSBH-4	연화리 632	112	22	500	1.005	7	18.5	8.38	C구역
TSBH-5	연화리 203	156	10	400	1.004	6	20.1	8.30	D구역

지하해수조사사업 보고서

5. 시추조사공 대하여 양수시험을 실시하여 지하해수의 조사공의 적정개발가능량, 수리상수 및 영향범위를 산정하였다. 조사공별 개발가능량은 각각 400m³/일, 300m³/일, 70m³/일, 400m³/일, 350m³/일로 산출되었으며, 조사공의 개발 사용 시 영향범위는 각각 38m, 39m, 21m, 42m, 40m로 조사되었다.

공번	심도 (m)	지하해수 산출량 (m ³ /일)	개발가능량 (m ³ /일)	자연 수위 (m)	안정 수위 (m)	평균 투수계수 (m/일)	평균 저류계수	영향 반경 (m)
TSBH-1	233	500	400	14.90	75.60	0.01103	0.00327	38
TSBH-2	152	400	300	30.00	71.60	0.02207	0.00271	39
TSBH-3	163	80	70	3.40	38.11	0.00548	0.0024	21
TSBH-4	112	500	400	14.95	69.49	0.03087	0.00311	42
TSBH-5	156	400	350	1.25	54.15	0.01965	0.00285	40

6. 조사 결과 통산1지구는 충적층 구간과 B구역에서의 지하해수 부존 가능성은 낮으며, A구역, C구역 및 D구역의 암반층에서 지하해수가 산출되었다. 그러나 염도는 낮은 편으로 양식 수조에 직접 공급할 수 없으나, 용수확보 및 에너지 절감의 측면에서 이용 가치가 충분하다. 용수확보 측면에서 A, C 및 D구역은 암반층 구간 내 지하해수의 산출량이 상당하기 때문에 암반관정으로 개발하여 해수와의 혼합사용으로 수온을 상승시켜 에너지를 절감할 수 있다. B구역은 지하해수 산출량이 미약한 지역이나 관정을 개발하여 지열을 이용하여 수온을 상승시키는 방안이 추천된다. 즉 히트펌프를 이용하여 지하해수 열 및 지열을 추출하여 해수의 온도를 상승시키면 유류비가 절감되어 양식장 경영 여건이 좋아질 것으로 판단된다. 통산1지구의 지하해수조사 결과 암반층 지하해수 개발 가능지점은 아래의 표와 같다.

구 분	대표 어종	어업 종류	공번	지하해수 필요 수량 (m ³ /일)	생육환경		조사결과			개발 가능량 (m ³ /일)	영향 반경 (m)	주변현황	어가 호응도
					비중 (염도)	온도 (°C)	비중 (염도)	온도 (°C)	산출량 (m ³ /일)				
A구역	어류,해삼	육상 종묘	TSBH-01	2000	1.0032 (33)	22.0	1.004 (5)	17.7	500	400	38	양식장 단독위치	좋음
			TSBH-02	2000			1.003 (6)	18.8	400	300	39	양식장 단독위치	좋음
B구역	어류	육상 종묘	TSBH-03	400	1.0029 (34)	23.0	1.003 (4)	18.6	80	70	21	양식장 단독위치	좋음
C구역	어류,해삼	육상 종묘	TSBH-04	600	1.0031 (33)	23.0	1.005 (7)	18.5	500	400	42	양식장 단독위치	좋음
D구역	전복	육상 종묘	TSBH-05	300	1.003 (32)	25.0	1.004 (6)	20.1	400	350	40	양식장 단독위치	좋음

7. A, C, D구역에서의 지하해수 산출량에 따라 혼합사용 할 경우 모델분석 결과 동일비율 혼합 시 각각 약 6.9°C, 7.0°C, 7.9°C의 상승효과가 있어 요구되는 지하해수 개발공수는 3, 1, 1공이고, 염도를 고정하여 혼합 시 약 2.4°C, 2.5°C, 2.8°C의 수온 상승이 있으며 요구되는 지하해수 개발공수는 각각 1~2공, 1공, 1공이다.

구분	공번	개발 형태	목표 수량 (m ³ /일)	이용방안(혼합사용)	
				온도측면(온도상승만 고려)	비중측면(염도, 30‰ 고정)
A구역	BH-1	암반 관정	2000	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 6.6°C 상승, 약 20.4% ○필요개발 공수 : 3공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.3°C 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공
	BH-2	암반 관정	2000	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.2°C 상승, 약 20.9% ○필요개발 공수 : 3공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.5°C 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 2공
C구역	BH-4	암반 관정	600	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.0°C 상승, 약 21.4% ○필요개발 공수 : 1공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.5°C 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공
D구역	BH-5	암반 관정	300	1:1(지하해수 50%, 해수 50%) → 약 7.9°C 상승, 약 20.9% ○필요개발 공수 : 1공	1:5(지하해수 16.7%, 해수 83.3%) → 2.8°C 상승, 약 35.3% ○필요개발 공수 : 1공

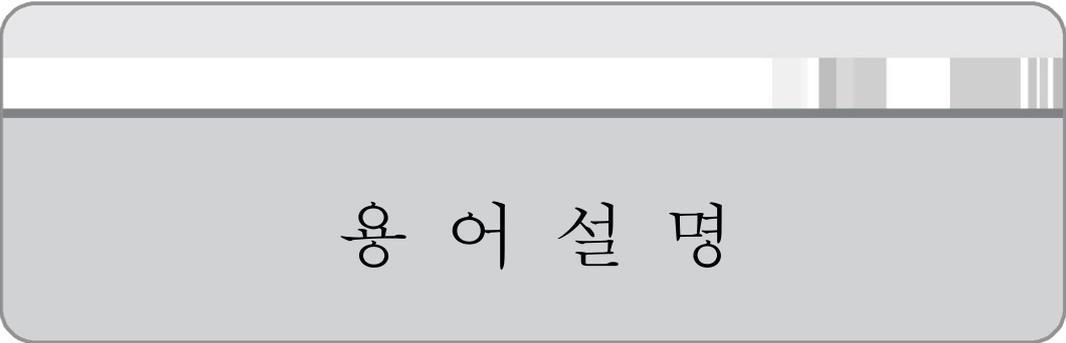
8. 지하해수 열 및 지중열을 이용한 히트펌프 사용시 B구역은 지중열을 이용하는 수직밀폐형이 바람직하고, 지하해수 산출이 양호한 A, B, C구역은 지하해수 열을 이용하는 개방형 1井 시스템 사용이 추천된다. 그러나 지열을 이용하여 해당 양식장에 최대의 성과가 있도록 관정개발 공수, 히트펌프의 용량, 방법, 효율 등이 상세하게

지하해수조사사업 보고서

검토되어야 한다.

9. 통산1지구 지하해수 산출 결과와 개발에 따른 어가의 호응도 및 주변환경에 대한 의견을 수렴 결과를 오각 다이어그램으로 도시하였고, 개발·이용방안에 주제도를 작성하여 제시하였다(지하해수 종합 자원도 참조).

10. 금번 통산1지구 지하해수조사에 대한 결과는 농어촌지하수관리시스템인 「농어촌지하수넷(<http://www.groundwater.or.kr>)」에 수록하여 육상양식 어업인들에게 정보를 제공하고 저탄소 녹색 양식산업 구현에 이바지할 것이다.



용 어 설 명

<용 어 설 명>

- 지하해수조사 보고서에 사용된 용어의 의미는 다음과 같다.
- **검층(檢層; logging)**
시추공 또는 우물 내에 여러 종류의 물리탐사기를 투입하여 지하 지층의 구성 물질, 두께, 연속성, 공극률, 투수성, 간극수의 화학성분 등의 여러 가지 정보를 얻는 현장 시험으로서, 그 종류에는 전기검층, 감마선검층, 감마-감마선검층, 중성자검층, 온도검층, 공경검층, 전기전도도검층, 공내 촬영 등이 있다.
- **관측정(觀測井; monitoring well, observation well)**
대수층내 일정한 깊이에서의 지하수의 수위나 수질의 변화 등을 파악하기 위한 우물
- **대수층(帶水層; aquifer)**
물로 포화되어 있는 지층 중에서 투수성과 저류성이 커 경제적으로 개발·이용할 수 있는 상당한 양의 지하수를 배출할 수 있는 지층을 말하며, 미고결 상태의 모래나 자갈 등으로 구성된 충적층대수층과 암반으로 구성된 암반대수층으로 구분할 수 있다.
- **대수성시험(帶水誠試驗; aquifer test)**
일정 양의 물을 우물 내에 첨가 또는 제거하면서 대수층의 수위 변화를 측정하는 시험으로서 대수층의 수리전도도, 투수량계수 등 각종 수리적 특성을 파악하기 위하여 실시한다. 그 종류에는 양수시험, 순간충격시험, 회복시험 등이 있다.
- **선형구조(lineament)**
지형도상에 표시할 수 있는 규모의 선형으로 나타나는 구조로서, 대부분 단층, 절리, 균열 등 지표 암석권의 단열구조와 일치되는 것으로 알려져 있다. 지형적인 특성, 수계특성, 식생 분포 등에 의해서 결정되고, 단층과 절리 등과 관련된 선형구조는 지하수 부존 및 유동과 밀접한 관계를 가지고 있다.
- **배출지역(排出地域; discharge area)**
지하수의 흐름 방향이 지표로 향하는 지역으로 지하수가 샘(spring)의 형태 혹은 누출, 기저유출 등으로 지표로 나오거나 증발 및 발산 등에 의하여 대기 중으로 빠져나가게 된다.
- **비양수량(比揚水量; specific capacity)**
단위 수위강하량에 대한 우물의 양수량
- **수두경사(水頭傾斜; hydraulic gradient)**
지하수 흐름 방향으로 취한 단위거리당 수두의 변화율을 말하며, 동수구배(動水勾配), 수리구배(水理勾配)라고도 한다.

□ 수리전도도(水理傳導度; hydraulic conductivity)

흙 및 암석의 투수성을 나타내는 계수로서 “수온 15℃, 수리구배 1:1을 기준으로 하여 대수층 단위 단면적을 통과하는 수량”으로 정의된다. 기존에는 투수계수 (coefficient of permeability)란 용어를 사용하였으나, 1968년 미국 지질조사소에서 수리전도도란 용어를 제안, 현재 널리 사용되고 있다.

□ 수문지질단위(水文地質單位; hydrogeological unit)

지질시대, 암석의 종류, 암상, 지형, 공극의 형태 및 투수계수, 투수량계수, 저류계수, 지하수 산출량과 같은 세부수리지질특성 등을 대표적인 설정기준으로 하여 지층을 구분하는 단위로 수문지질도 작성을 위한 기본단위로 쓰인다.

□ 수위강하(水位降下; drawdown)

양수에 따른 지하수면 또는 정수압면(靜水壓面)의 저하

□ 수치표고모형(數值標高模型; digital elevation model: DEM)

특정한 지도투영법을 사용하여 2차원 평면으로 설정된 지표의 일정한 격자위에 그 격자에 해당하는 지표의 높이 값을 부여한 디지털 레스터자료로서 일종의 수치화된 지표고도를 포함한 영상자료라고 할 수 있다.

□ 순간충격시험(瞬間衝擊試驗 slug-test)

우물에 체적을 알고 있는 물체(dummy)를 순간적으로 투입하거나 제거하면 우물 내의 지하수위가 순간적으로 변화하고 시간이 지남에 따라 수위가 원래의 상태로 돌아가는데 이 때 시간에 따른 수위변화를 측정하여 우물 주변의 대수층에 대한 수리특성을 파악하는 시험

□ 스티프 다이어그램(Stiff diagram)

스티프 다이어그램은 하나의 세로축과 이를 가로지르는 몇 개의 평행한 가로축으로 이루어져 있다. 각각의 가로축은 세로축을 중심으로 좌측에는 양이온, 우측에는 음이온의 함량을 meq/l로 표시한다. 가로축에 표시되는 양이온-음이온 짝은 각각 위에서부터 아래로 $Na^+ + K^+ : Cl^-$, $Ca^{2+} : HCO_3^- + CO_3^{2-}$, 그리고 $Mg^{2+} : SO_4^{2-}$ 이다.

□ 시추(試錐; boring)

지반조사, 지하수 조사, 석유 탐사 등을 위해 굴착장비로 지반을 천공하는 것

□ 시추주상도(試錐柱狀圖; drill log)

시추과정에서 얻어진 각종 수직적인 지질정보, 흙 또는 암석시료의 관찰결과, 시추공의 위치, 표고, 지하수위, 시추작업 기간, 조사자의 이름, 시추장비, 시추유형 등을 기입한 도면

□ **안정수위(安定水位)**

우물에서 양수할 때 수위 강하가 일어나다가 평형상태에 도달하여 더 이상 수위가 변동하지 않고 일정하게 유지될 때의 수위

□ **양수시험(揚水試驗; pumping test)**

동일 대수층에 양수정(pumping well)과 관측정(observation well)을 설치하여 양수정에서 양수하는 동안 양수정과 관측정에서 시간에 따른 수위강하를 관측하고, 그 결과에서 대수층의 수리상수를 구하는 시험

□ **영향반경(影向半徑; radius of influence)**

우물에서 지하수를 양수할 때 우물 주변은 지하수위가 강하하여 깔대기 모양의 영향추(cone of depression)가 형성된다. 영향반경은 우물중심으로부터 지하수위의 강하가 일어나지 않는 영향추의 가장자리까지의 수평거리를 말한다. 한편, 이와 같이 양수에 의하여 영향을 받는 실제의 범위를 영향권 또는 영향구역(ZOI ; Zone of Influence)이라고 하는데, 대수층이 균질하고 등방성일 경우에는 완전한 원형으로 나타나지만 지하수면이 경사를 이루고 있거나 불균질하고 이방성일 경우에는 타원이나 불규칙한 모습으로 나타난다.

□ **용존고형물총량(溶存固形物總量; total dissolved solid(TDS))**

물에 녹아 있는 고형물질의 총량으로서 물 시료의 수분을 완전히 증발시킨 후 남은 물질의 중량을 측정하는데, 단위로는 mg/L를 사용한다.

□ **우물손실(-損失; well loss)**

대수층의 지하수가 우물 스크린을 통과하면서 생기는 손실과 우물 안에서 펌프 흡입에 따른 손실

□ **우물효율(-效率; well efficiency)**

실제로 우물에서 측정한 비양수량과 이론 식을 이용해서 구한 비양수량의 비율을 말하며, 단위는 %를 사용한다. 또한 우물 효율은 단계대수성시험에서 구한 대수층 수두손실을 우물에서 관측되는 전체 수위강하로 나누어 구하기도 한다.

□ **원격탐사(遠隔探查; remote sensing)**

인공위성이나 항공기에서 가시광선, 적외선, 마이크로파 등의 전자파를 이용하여 지구표면, 지표상황을 관측, 분석하여 필요한 정보를 추출하는 탐사방법

□ **유선(流線; flow line, stream line)**

지하수가 흐르는 경로를 가리키는 것으로 등포텐셜선(equipotential line)과 직교한다.

□ **유선망(流線網; flow net)**

수두가 동일한 등포텐셜선(equipotential line)과 지층 내에 침투하는 물의 경로인 유선(流線)의 곡선 군으로 이루어진 망

□ **자연수위(自然水位)**

인위적인 양수 또는 주수를 하지 않은 자연적인 평형상태의 지하수위로서 “정수위(靜水位; static water level)”라고도 함

□ **자유면대수층(自由面帶水層; unconfined aquifer, phreatic aquifer)**

토양 공극을 통하여 대기와 직접 접하고 있어 대수층 최상부 즉 지하수면의 압력이 대기압과 같은 대수층을 말하며, 지하수로 함양되는 수량에 따라 지하수면이 자유롭게 상하로 변함

□ **저류계수(貯溜係數; storage coefficient, storativity)**

대수층 내에 저류되어 있던 물이 단위수두 변화에 따라 단위면적을 통하여 유출 혹은 유입되는 양을 무차원 상수로 표시한 것

□ **적정양수량(適正揚水量; optimum yield)**

지하수의 수량 감소 및 고갈, 수질악화 그리고 다른 바람직하지 않은 영향을 유발하지 않고 우물에서 계속적으로 채취할 수 있는 수량

□ **전기비저항탐사(電氣比抵抗探查; electrical resistivity survey)**

한 쌍의 전류전극을 통하여 직류 전류 또는 저주파수 교류 전류를 흘려보내어 다른 한 쌍의 전위전극에서 전위차를 측정함으로써 지하의 전기비저항 분포를 파악하는 전기 탐사법. 수평적인 전기비저항 분포를 파악하는 수평탐사와 수직적인 층서구조를 파악하고자 하는 수직탐사로 분류된다.

□ **전기전도도(電氣傳導度; electrical conductivity)**

전기전도도는 용액이 전류를 운반할 수 있는 정도를 말하며, 용액중의 이온 세기를 신속하게 평가할 수 있는 항목으로서 전기저항의 역수인 ohm^{-1} 또는 mho로 표현하나 현재는 국제적으로 S(Siemens) 단위가 통용된다. 측정결과는 전기전도도 값에 셀 정수(cm^{-1})를 곱하여 시료의 비전도도($\mu\text{S}/\text{cm}$)로 표기한다.

□ **지하수 개발 가능량(地下水開發可能量; safe yield)**

지하수는 강우 및 표류수가 자연적으로 지하로 함양되어 유동 및 배출을 지속하면서 영구적으로 순환하는 재생 수자원으로서 대수층은 지하수 유동통로와 천연 지하 저류지(Groundwater Reservoir)의 기능을 갖는다. 지하수 부존량 혹은 개발 가능량의 산정시 지역별 지하수 부존특성 및 정책방향에 따라 지하수 저류량(Aquifer Storage), 함양량(Recharge Rate), 지속산출량(Sustainable Yield), 안전채수량(Safe Yield) 등 다양한 개념이 적용된다.

□ **지하수면(地下水面; groundwater table)**

대기압과 지하수의 수압이 같아지는 지점들을 연결한 자유면으로 자유면 대수층의 최상부를 말함

- **지하수위등고선도(地下水位等高線圖; groundwater table map, piezometric surface map)**
지하수위가 동일한 지점을 연결하여 작성한 등고선도
- **지하수위(地下水位; piezometric head)**
대수층에서 지하수의 위치상의 수두와 압력에 의한 수두를 합한 값. 대수층의 어느 지점에 piezometer를 설치했을 때 그 piezometer에 잡히는 지하수의 수두를 말함.
- **지하수심도(地下水深度; depth to water table)**
지표면에서 지하수위까지의 깊이. 우물에 관해서는 우물 주변의 기준점에서 우물속의 수면까지의 깊이를 나타낸다.
- **착정(鑿井; well-drilling)**
일반적으로 착정기계를 이용하여 관정 또는 우물을 굴착하는 일을 말함. 넓은 뜻으로는 굴착계획, 굴착 준비작업, 굴진 및 그 사이의 여러 가지 측정, 굴착이수관리(掘鑿泥水管理), 차수(遮水) 및 마무리작업 등이 포함된다. 우물을 굴착하는 경우에는 강철제 비트(bit)로 지면(地面) 아래의 흙이나 암석 등을 분쇄하거나 깎으면서 굴착하며, 이 비트의 운동에 따라 굴착하는 방법이 분류된다. 첫째로 비트를 상하운동시켜 그 타격에 의하여 지반을 굴착하는 방법을 충격식(衝擊式) 착정법이라 하고, 둘째로 비트를 회전운동시켜 지반을 굴착하는 방법을 회전식(回轉式) 또는 로터리식 착정법이라고 한다.
- **총용존고형물(總溶存固形物; total dissolved solid)**
→ 용존고형물총량
- **충적층(沖積層; alluvium)**
유수에 의하여 운반, 퇴적된 모래, 자갈, 점토, 실트 등으로 구성된 미고결암층
- **케이싱(casing)**
우물 공벽의 붕괴를 방지하기 위하여 공 내부에 영구적으로 설치하는 관(pipe)
- **코어(core)**
지하 지질상태를 확인하기 위하여 회전식 시추기로 채취한 암석 시료로서 “암심(岩芯)”이라고도 함
- **투수계수(透水係數; coefficient of permeability)**
→ 수리전도도
- **투수량계수(透水量係數; coefficient of transmissibility, transmissivity)**
수온 15℃, 수두경사 1:1에서 대수층 전체 두께와 단위 폭으로 이루어진 단면적을 통과하는 수량을 말하며, 투수량계수 T 는 수리전도도 k 와 대수층의 두께 b 의 곱과 같다. $T = k \times b$

□ **파이퍼 다이어그램(Piper diagram)**

용존 성분 중 양이온(Ca-Mg-(Na+K))과 음이온(CO_3+HCO_3)- SO_4 -Cl)간의 상대적 당량비를 백분율로 계산하여 삼각 다이어그램에 표시한 후, 지하수의 수질을 표시하는 그림이다

□ **폐공(廢孔; abandoned well)**

현재 또는 미래에 이용할 계획이 없고 오염방지를 위한 별도의 조치 없이 방치되어 있는 지층을 굴착한 모든 공(孔 ; hole) 또는 우물(well)

□ **피압대수층(被壓帶水層; confined aquifer)**

투수성이 낮은 지층(예; 점토층)이 상부를 피복하고 있어 지하수면을 갖지 않으며 지하수가 대기압 이상의 압력을 갖는 대수층

□ **함양(涵養; recharge)**

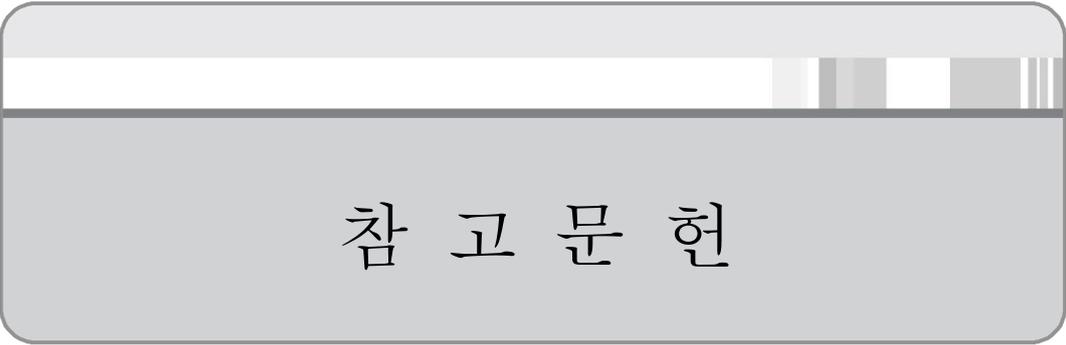
지하수체에 물이 공급되는 것을 말하며, 대부분은 강우나 하천, 호소 등 지표수의 침투로 일어난다.

□ **함양지역(涵養地域; recharge area)**

수직 하향의 지하수 유동 성분을 갖는 지역으로서 침투(infiltration)에 의해 심부 대수층으로 물이 이동한다.

□ **회복시험(回復試驗; recovery test)**

양수시험의 역으로 양수정지 후의 시간에 따른 수위상승 상황을 관측하고, 그 결과에서 대수층의 수리상수를 구하는 시험



참 고 문 헌

<참 고 문 헌>

- 건설교통부, 1969~2005, 한국수문조사연보
- 건설교통부, 1996, 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사
- 건설교통부, 1997, 전국 수도정비기본계획 보고서
- 건설교통부, 1998, 1997년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서
- 건설교통부, 1998-2010, 지하수관측연보
- 건설교통부, 1998-2010, 지하수조사연보
- 건설교통부, 2000, 지하수 관리기본계획 보고서
- 건설교통부, 2001, 수자원장기종합계획
- 건설교통부, 2003, 지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리지침
- 건설교통부, 2004, 수문관측매뉴얼
- 건설교통부, 2004 한국하천일람
- 건설교통부, 2006, 지하수 업무수행 지침
- 건설교통부, 한국건설기술연구원, 2000, GIS를 이용한 지하수 채수량 분석 및 관리시스템 개발 연구
- 건설교통부, 한국수자원공사, 1995, 지하수자원 기본조사(3차) - 대체용수원개발지역 선정조사(2차) 보고서, p.217
- 건설교통부, 한국수자원공사, 1998, 지하수 현황분석 기법 연구
- 건설교통부, 한국수자원공사, 1999, 수자원자료 및 시설 DB 구축
- 건설교통부, 한국수자원공사, 2003, 지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침
- 건설교통부, 농업기반공사, 2005, 연기지역 지하수 기초조사 보고서
- 건설교통부, 한국농촌공사, 2006, 연기지역 지하수 기초조사 보고서
- 국토해양부, 한국농촌공사, 2008, 남해지역 지하수 기초조사 보고서
- 국토해양부, 한국수자원공사, 2009, 지하수조사연보
- 국토해양부, 한국수자원공사, 2009, 지하수관측연보
- 과학기술처, 국립지질조사소, 1973, 목포 지질도폭 설명서(1:250,000)
- 국토개발연구원, 1995, 제3차 국토종합개발계획 수정지침
- 김남형, 1997, 지하수 조사법, 동화기술, p.433~442
- 농림부, 1994, 농촌용수수요량조사 종합보고서
- 농림부, 2001, 농업생산 기반정비사업 통계연보

지하해수조사사업 보고서

- 농림부, 농업기반공사, 1985, 수맥조사 상가지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 1990, 수맥조사 죽전지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 1995, 수맥조사 금성지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 1995, 수맥조사 나리지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 2000, 수맥조사 세등지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 2001, 수맥조사 장언지구 수맥조사보고서
- 농림부, 농업기반공사, 2001, 농촌지하수관리조사보고서(화성시, 화남2지구)
- 농림부, 한국농촌공사, 2007, 수맥조사총람(1982~2006)
- 농림부, 한국농어촌공사, 2009, 해수침투조사 보고서
- 농림부, 2010, 제3차 수산진흥종합대책
- 농어촌진흥공사, 1994, 지하수의 개발·이용·보전·관리-지하수법 및 시행령(안) 중심, p.284
- 농업기반공사, 2002, 농업기반시설 관리지침(관정 및 양수장비편)
- 농업기반공사, 2003, 수문자료이용실무
- 대한광업진흥공사, 1997, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석 기술연구
- 대한광업진흥공사, 2003, 밀양지역 지하수위/수질관측 조사 보고서
- 문영일 외, 1998, 수문학 이론 및 응용(3판), 사이텍미디어
- 서울특별시, 농어촌진흥공사, 1996, 서울특별시 지하수 관리계획 기본조사 보고서
-제1권, 제2권, 제3권 지하수 이용실태 조사
- 손호웅 등, 2003, 지하수학
- 진도군, 2009, 통계연보
- 원이정, 김형수, 구민호, 김덕근, 2003, Aquifer Characterization in Cheon-an area
by using long-term groundwater-level monitoring data, 지하수토양환경학회
추계학술발표회
- 오윤근, 현익현, 1997, $\delta^{15}\text{N}$ 값을 이용한 제주도 지하수중의 질산성질소 오염원추정에
관한 연구, 지하수환경, 제4권, 제1호, p.1~4
- 이사로, 최순학, 1997, GIS 기법을 이용한 영광지역의 지하수 오염 취약성평가,
지하수 환경 학회지, Vol.4, No.4, p.223~230
- 이사로 외, 2004, 선구조 밀도 분석 기법 개발 및 지하수 산출 특성에의 적용, 지질
학회지, 제40권 제3호, p.293~304.
- 이진용, 이강근, 2002, 강우에 대한 지하수위 반응양상 비교분석, 지하수토양환경,
vol.7, No.1-14, p.3~13

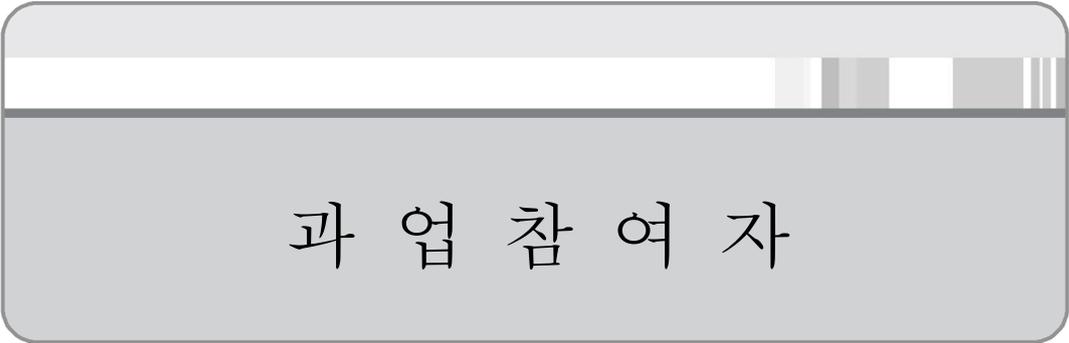
- 정상용, 이강근, 1995, 난지도 매립지 일대의 지하수위 분포 추정을 위한 복합 크리깅의 응용, 한국지하수환경학회, Vol.2, p.58~63
- 정상용, 권해우, 허선희, 1997, 불균질·이방성 대수층의 지하수 유동분석 기술연구, 대한광업진흥공사, 광진 97-2, p.153
- 제주도, 농업기반공사, 2000, 제주도 지하수 보전·관리계획 보고서
- 조재경, 2003, 경험식을 이용한 소유역의 실제증발산량 추정법 소개, 농어촌과 환경 통권79호, p.97~106
- 조재경, 2004, 지하수함양량 산정법에 대하여, 농어촌과 환경 통권83호, p.80~92
- 조재경, 2004, 국내에 적용된 지하수 함양량 산정법 고찰, 농어촌과 환경 통권85호, p.68~81
- 천안시, 2003, 천안시 지하수관리계획
- 최병수, 1997, 자유면 대수층지역에서 지하수위 변동자료 해석에 의한 대수층 특성연구, 농공기술 통권 53호, p.27~37
- 한국수자원공사, 1996, 동해안 북부지역 지표수 및 지하수 연계개발 예비타당성조사, 지하수보고서 GW-96-2a, p.686
- 한국수자원공사, 1997, 수문관측 실무편람, p.159
- 한국수자원공사, 1999, 수자원기초조사 편람, 유량측정편
- 한국수자원공사, 1999, 수자원자료 및 시설 DB 구축
- 한국수자원공사, 2002, 수자원 장기종합계획
- 한국지구물리탐사학회, 2002, 토목·환경분야 적용을 위한 물리탐사 실무지침
- 한정상, 1998, 지하수 환경과 오염, 박영사, p569, 677~695
- 환경부, 1994, 수환경 정책자료집
- 한정상, 한혁상 외 2006, 토양지하수환경, 동화기술
- 이민호 외 , 지열펌프 냉난방 시스템, 한림원
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., and Hackett, G., 1987, Drastic ; A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrogeologic setting, USEPA, p.455-475
- Anderson, M.P., 1992, Applied groundwater modeling - simulation of flow and advective transport, Academic Press, inc., p.381
- Boulding, J.R., 1995, Practical handbook of soil, vadose zone, and ground-water contamination assessment, prevention, and remediation, Lewis Publishers, p.173~179

- Clark, C.D. et al, 1994, Spatial analysis of lineaments, Computers & Geosciences, Vol. 20, No. 718, p.1237~1258
- Charles J. Taylor and William M. Alley, Ground-Water-Level Monitoring and the importance of Long-Term Water-Level Data, USGS, circular 1217
- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, p. 1702~1703
- C. W. Fetter, University of Wisconsin-Oshkosh, Applied Hydrogeology, Third Edition
- Deming, D., 2002, Introduction to Hydrogeology, McGraw Hill Company
- Domenico, P.A., and Schwartz, F.W., 1998, Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, p.506
- Dobrin, M. B., 1976, Introduction to geophysical prospecting : McGraw-Hill Book Co
- E. V. Pinneker, Cambridge University Press, General Hydrogeology
- Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology, 3rd editon, MacMillan College Publishing Company, p.691
- Finch, J.W. (1998) Estimating direct groundwater recharge using a simple water balance model - sensitivity to land surface parameters J. Hydrol., 211, 112-125.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc., p.96~98
- Fletcher G. Discoll, 1986, Groundwater and Wells
- Grant, F. S. and West, G. F., 1965, Interpretation theory in applied geophysics : McGraw-Hill Book Co
- Hardcastle, K. C., 1995, Photolineament factor: a new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61, No. 6, p.739~747
- Hendrix, W.G. and Price, J.E., 1986, Application of GIS for assessment of site index and forest management constraints, GIS Workshops, p.263~272
- Hubert Hellmann, 1987, Analysis of surface waters, John Wiley, p.275
- IHA, 1995, Hydrogeological Maps A Guide and A Standard Legend
- James W. Merchant, 1994, GIS-based groundwater pollution hazard assessment : a critical review of the DRASTIC model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.60, No.9, p.1117~1127
- Jean Chorowicz et al, 1992, A combined algorithm for automated drainage network extraction, Water Resources Research, Vol.28, No.5, p.1293~1302

- Koike, K., Nagano, S. and Ohmi, M., 1995, Lineament analysis of satellite images using a segment tracing algorithm(STA)., *Computer & Geosciences*, Vol. 21, p.1091~1104
- Komor, S. C. and Anderson Jr. H. W.(1993), Nitrogen isotope as indicators of nitrate sources in Minnesota Plain Aquifers, *Ground Water*, v.31, p.260-270
- Lars Rosen, 1994, A study of the DRASTIC Methodology with emphasis on Swedish conditions, *Groundwater*, Vol.32, No.2, p.278~285
- Mabee, S. B., Hardcastle, K. C. and Wise, D. U., 1994, A method of collection and analyzing lineaments for regional-scale fractured-bedrock aquifer studies, *Groundwater*, Vol. 32, No. 6, p.884~894
- Moore, G. K., and Waltz, F. A., 1983, Objective procedures for lineament enhancement and extraction, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 49, No. 5, p.641~647
- National Research Council, 1993, *Groundwater vulnerability assessment : predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty*, National Academy Press, Washington, DC., USA
- Neal Wilson, 1995, *Soil Water and Ground Water Sampling*
- Palmer, C.M., 1992, *Principles of contaminant hydrogeology*, Lewis Publishers, p.211
- Qari, M. Y. H. T., 1991, Application of landsat TM data to geological studies, Al-Khabt area, southern Arabian shield, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 4, p.421~429
- Rennolls, K., Carnell, R., & Tee, V., 1980, A descriptive model of the relationship between rainfall and soil water table, *Jour. of Hydrology*, 47, p.103~114
- Robert E. Mace,(2000) *Estimating transmissivity using specific capacity data*, Economic Geology Report
- Sabins, Floyd F., Jr., 1978, *Remote sensing-principles and interpretation*, W.H. Freeman and Company, USA
- Siegel, B. S., Alan R. Gillespie, 1980, *Remote sensing in geology*, John Wiley & Sons
- SPSS Korea, 1997, *SPSS Base 7.5 for Windows*
- Star, J. and J. Estes, 1990, *Geographic information System*, Prentice Hall, p.300
- Struckmeier, W. F., & Margat, J., 1995, *Hydrogeological maps - a guide and a standard legend*, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, p.177

지하해수조사사업 보고서

- Thomas C. Winter, Judson W. Harvey, O. Lehn Franke, William M. Alley, 1998, U.S. Denver Colorado, U.S. Geological Survey Circular 1139, Ground Water and Surface Water A Single Resource
- Todd, D.K., 1982, Groundwater Hydrology, 2nd edition, John Wiley & Sons, p.535
UNESCO, Ground-Water Hydrology printed by UNESCO
- Vedat Batu, 1998, Aquifer Hydraulics, JHON WILEY & SONS, INC
- Viswanathan, M.N., 1983, Ground Water, Vol. 21, No. 1., p.49~56
- William M. Alley, Thomas E. Reilly, O. Lehn Franke, 1999, U.S. Denver Colorado, U.S. Geological Survey Circular 1186, Sustainability of Ground Water Resources
- Yet-Chung Chang et al, 1998, Automatic extraction of ridge and valley axes using the profile recognition and polygon-breaking algorithm, Computers & Geosciences, Vol.24, No.1, p.83~93
- Zhuoheng Chen, Stephen E. Grasby, Kirk G. Osadetz, 2002, "Predicting average annual groundwater levels from climatic variables", J. Hydrol. 260, p.102~117
- Zoporozec, A & Vrba, J., 1994, Guidebook on mapping groundwater vulnerability, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, p.131



과업 참여자

참 여 자

■ 사업총괄책임자

박기연(환경지질처 지하수관리팀장, 토양환경기술사)

■ 사업책임자

박순진(환경지질처, 공학박사, 지질 및 지반기술사)

오한윤(환경지질처, 이학석사, 지질 및 지반기술사)

황성규(환경지질처, 이학석사, 응용지질기사)

윤호정(환경지질처, 이학석사, 응용지질기사)

■ 조사총괄책임자

신현채(경북지역본부 환경사업팀장, 응용지질기사)

■ 조사참여자

정용제(경남지역본부, 공학석사, 응용지질기사)

손주형(경남지역본부, 이학박사, 응용지질기사)

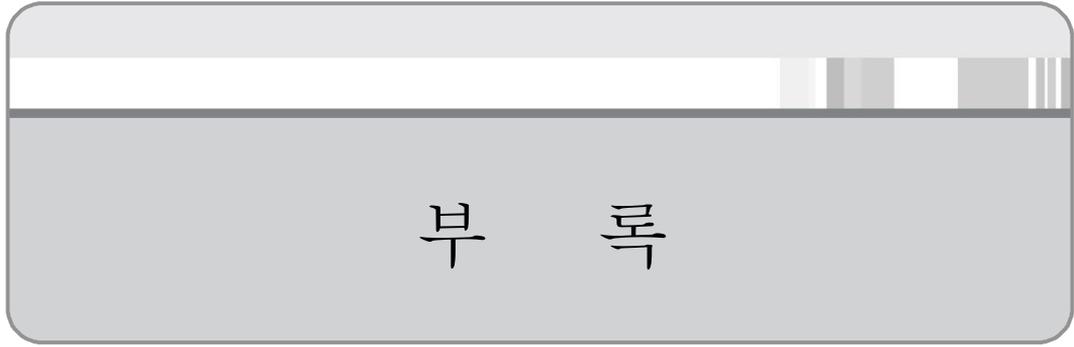
박진홍(경남지역본부, 이학석사, 응용지질기사)

고동호(경남지역본부, 이학석사, 응용지질기사)

최광준(농어촌연구원, 이학석사, 지질 및 지반기술사)

김정희(농어촌연구원, 이학석사, 응용지질기사)

김영인(농어촌연구원, 공학석사, 토양환경기사)



부 록 목 차

1. 통산1지구 양식장 현황	167
2.1 통산1지구 기설관정 현황	173
2.2 통산1지구 기설관정 간이수질측정 결과	174
3. 통산1지구 지구물리탐사 결과	175
4. 통산1지구 시추주상도	183
5.1 통산1지구 지구물리검층 결과	193
5.2 통산1지구 EC검층 결과	200
6.1 통산1지구 양수시험 총괄표	205
6.2 통산1지구 양수시험 일보	206
7.1 통산1지구 음용수분석 수질성적서	223
7.2 통산1지구 양음이온분석결과	227
7.3 통산1지구 양음이온분석 성적서	229
8.1 통산1지구 시추공 모니터링 결과	235
8.2 통영기상대 강우자료	237
8.3 통영지역 조석간만표	238
9. 통산1지구 지하해수 활용방안에 대한 어업인의 의견수렴 내용 ...	241
10. 통산1지구 개발이용에 관한 오각다이어그램 산정결과	247
11. 통산1지구 현장조사 사진첩	251



1. 통산1지구 양식장 현황

<부록1> 통산1지구 양식장 현황

임시일련번호	시군	읍면	동리	지번	상호	소유자	허가구분	어업종류	어업방식	대표어종	TM_X	TM_Y	법인/개인 구분	부지면적	수조면적	허가시작	허가종료	허가번호	자료출처
GSW0365	통영시	산양면	연화리	1079(a동)	오양수산	문혜숙	허가	육상종묘	수조식	어류,해삼	327230	143708	개인	3,340.34	2,100.00	2005-10-28	2010-10-27	2005-11	지자체+국립수산과학원
GSW0366	통영시	산양면	연화리	1079(b,c동)	오양수산	추정화	허가	육상종묘	수조식	어류,해삼	327230	143708	개인	3,225.20	2,628.00	2005-10-28	2010-10-27	2005-12	지자체+국립수산과학원
GSW0380	통영시	산양면	연화리	1196	경성수산	정복수	허가	육상종묘	수조식	어류	326978	143202	개인	213.22	120.00	2007-01-28	2012-01-27	2007-04	지자체+국립수산과학원
GSW0387	통영시	산양면	연화리	426-4		이기진	허가	육상종묘	수조식	멍게	327762	143326	개인	113.60	70.79	2007-04-09	2012-04-08	2007-15	지자체+국립수산과학원
GSW0388	통영시	산양면	연화리	1191외1필지		김주호	허가	육상종묘	수조식	전복	326994	143203	개인	553.50	331.20	2007-05-07	2012-05-06	2007-17	지자체+국립수산과학원
GSW0394	통영시	산양면	연화리	432		이기섭	허가	육상종묘	수조식	전복	327606	143487	개인	607.77	400.00	2007-08-03	2012-08-02	2007-25	지자체+국립수산과학원
GSW0406	통영시	산양면	연화리	1153		박기순	허가	육상종묘	수조식	멍게	327276	143277	개인	65.54	58.58	2008-07-10	2013-07-09	2008-11	지자체+국립수산과학원
GSW0410	통영시	산양면	연화리	203	대웅수산	이기섭	허가	육상종묘	수조식	전복	327606	143487	개인	182.30	95.94	2008-10-01	2013-09-30	2008-15	지자체+국립수산과학원
GSW0415	통영시	산양면	연화리	1170		이순연	허가	육상종묘	수조식	멍게,전복	327191	143215	개인	238.58	160.00	2008-11-06	2013-11-05	2008-23	지자체+국립수산과학원
GSW0428	통영시	산양면	연화리	632외2필지	SJ수산	이기철	허가	육상종묘	수조식	어류,해삼	326853	144568	개인	509.15	190.37	2009-07-16	2012-04-30	2009-16	지자체+국립수산과학원
GSW0437	통영시	산양면	연화리	433-3외1필지		이기섭	허가	육상양식	수조식	어류	327606	143487	개인	569.40	236.00	2005-12-01	2010-11-25	2005-10	지자체+국립수산과학원
GSW0440	통영시	산양면	연화리	422-11		김주호	허가	육상양식	수조식	전복	326994	143203	개인	180.00	120.00	2007-01-28	2012-01-27	2007-02	지자체+국립수산과학원

2 통산1지구 기설관정 현황
간이수질측정 결과

<부록2.1> 통산1지구 기설관정현황

관정번호	읍면	리	번지	TMX	TMY	층적/암반	심도	구경	펌프마력	양수능력	토출관직경	용도	세부용도	채수계획량	일사용량	년사용량	개발일자	조사일자
TONGSAN-001	산양읍	연화리	424	327813.1	143282.8	층적	40	50	0.5	5	12	생활용	가정용	0	0.8	292	1901-1-1	2011-10-27
TONGSAN-002	산양읍	연화리	630-1	326802.1	144562.0	층적	25	50	0.5	5	14	농업용	전작용	0	1	365	1901-1-1	2011-10-27
TONGSAN-003	산양읍	연화리	367	327962.4	143187.6	층적	40	50	1	5	13	생활용	가정용	0	0.3	110	1901-1-1	2011-10-27
TONGSAN-004	산양읍	연화리	350	327976.3	143144.4	층적	30	50	0.5	5	12	생활용	가정용	0	0.6	219	1901-1-1	2011-10-27
TONGSAN-005	산양읍	연화리	181	327762.8	142709.6	층적	30	50	1	5	25	생활용	가정용	0	0.46	168	1901-1-1	2011-10-27
TONGSAN-006	산양읍	연화리	749	327270.1	144510.7	암반	40	200	1	50	40	생활용	간이상수도	0	20	7,300	1992-12-15	2011-10-27
TONGSAN-007	산양읍	연화리	85-6	328062.2	143118.5	암반	100	150	1	35	25	생활용	가정용	35	1	365		2011-10-27
TONGSAN-008	산양읍	연화리	693-2	327156.0	144427.4	층적	35	100	0.5	35	25	생활용	일반용	35	10	3,650	2001-11-1	2011-10-27
TONGSAN-009	산양읍	연화리	749	327270.1	144510.7	암반	100	150	1	40	20	생활용	간이상수도	5	5	1,825	2003-10-29	2011-10-27
TONGSAN-010	산양읍	연화리	890-1	327228.1	144298.0	암반	50	150	2	30	40	생활용	간이상수도	30	0	-	2001-3-19	2011-10-27
TONGSAN-011	산양읍	연화리	788	327309.8	144500.7	암반	50	150	2	40	40	농업용	전작용	40	0	-	1973-1-1	2011-10-27
TONGSAN-012	산양읍	연화리	659-1	326974.8	144464.9	암반	40	150	0.5	30	25	생활용	일반용	30	0	-	2001-4-24	2011-10-27
TONGSAN-013	산양읍	연화리	753	327337.8	144582.5	암반	100	200	2	80	40	생활용	간이상수도	80	10	3,650	2001-8-7	2011-10-27
TONGSAN-014	산양읍	연화리	828	327329.6	144426.3	층적	45	100	1	65	25	농업용	전작용	65	5	1,825		2011-10-27
TONGSAN-015	산양읍	연화리	841	327251.2	144383.1	층적	45	100	1	60	25	농업용	전작용	60	20	7,300	2001-11-22	2011-10-27
TONGSAN-016	산양읍	연화리	958-4	327354.0	144115.1	층적	45	100	1	60	25	생활용	가정용	60	5	1,825		2011-10-27
TONGSAN-017	산양읍	연화리	713	327202.9	144476.4	층적	45	100	1	65	25	생활용	가정용	65	20	7,300	2001-12-24	2011-10-27
TONGSAN-018	산양읍	연화리	1062	327336.5	143590.3	층적	40	100	0.5	30	25	농업용	전작용	20	0	-	2001-12-24	2011-10-27
TONGSAN-019	산양읍	연화리	712	327211.1	144460.3	층적	18	100	0.5	15	16	농업용	전작용	1	1		1979-11-2	2011-10-27
TONGSAN-020	산양읍	연화리	326-1	327887.4	143190.9	층적	22	100	1	20	20	농업용	전작용	1	1	365	1987-7-14	2011-10-27
TONGSAN-021	산양읍	연화리	418-1	327893.6	143312.2	층적	25	100	0.67	20	20	생활용	가정용	1	1	365		2011-10-27
TONGSAN-022	산양읍	연화리	713	327202.9	144476.4	층적	28	100	0.5	20	16	생활용	가정용	1	1	365		2011-10-27
TONGSAN-023	산양읍	연화리	419-3	327846.5	143314.4	층적	20	65	0.5	20	16	생활용	가정용	1	1	365	1990-1-1	2011-10-27
TONGSAN-024	산양읍	연화리	339	327915.0	143191.8	층적	50	110	0.5	27.39	32	생활용	가정용	5	5	1,825	2011-2-28	2011-10-27
TONGSAN-025	산양읍	연화리	416	327899.7	143288.3	층적	50	110	0.5	27	32	생활용	가정용	5	5	1,825	2011-2-28	2011-10-27
TONGSAN-026	산양읍	연화리	1120-5	327303.8	143448.9	암반	100	150	1	90	25	농업용	전작용	30	0	-	2011-8-30	2011-10-27

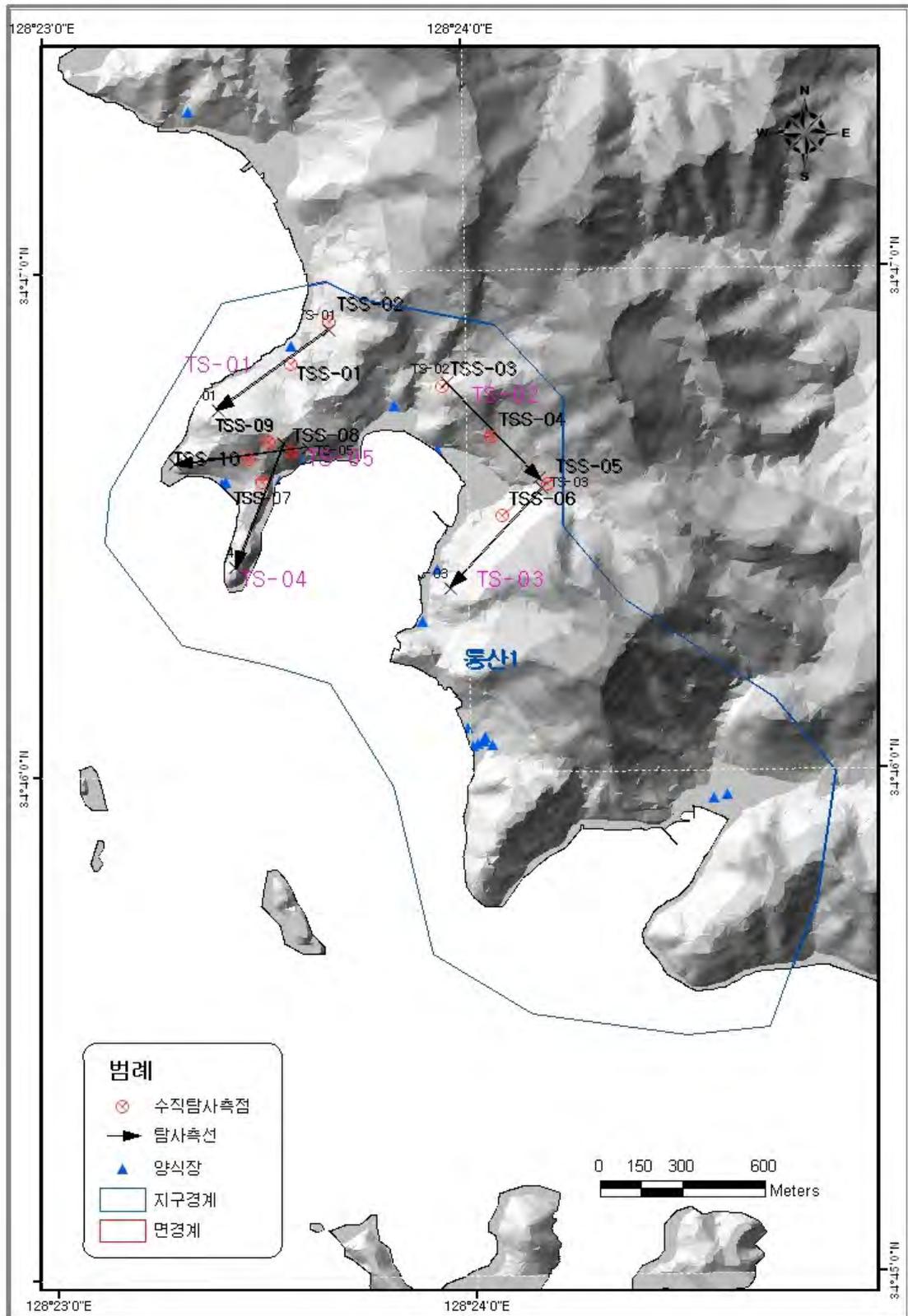
<부록2.2> 통산1지구 기설관정 간이수질측정 결과

관정번호	읍면	리	번지	TMX	TMY	총적/암반	염도	PH	EC(μ S/cm)	TDS(mg/l)	온도(°C)
TONGSAN-001	산양읍	연화리	424	327813.1	143282.8	총적	6	7.02	358	179	18.9
TONGSAN-003	산양읍	연화리	367	327962.4	143187.6	총적	7	7.09	355	177	14.9
TONGSAN-004	산양읍	연화리	350	327976.3	143144.4	총적	7	6.30	809	404	16.3
TONGSAN-005	산양읍	연화리	181	327762.8	142709.6	총적	6	6.99	235	117	15.2
TONGSAN-008	산양읍	연화리	693-2	327156.0	144427.4	총적	7	7.35	509	254	16.5
TONGSAN-010	산양읍	연화리	890-1	327228.1	144298.0	암반	7	7.93	280	140	17.5
TONGSAN-016	산양읍	연화리	958-4	327354.0	144115.1	총적	6	7.76	264	132	14.9
TONGSAN-018	산양읍	연화리	1062	327336.5	143590.3	총적	6	6.73	240	120	15.9
TONGSAN-020	산양읍	연화리	326-1	327887.4	143190.9	총적	7	7.75	314	157	16.4
TONGSAN-021	산양읍	연화리	418-1	327893.6	143312.2	총적	7	7.3	374	187	18.9
TONGSAN-023	산양읍	연화리	419-3	327846.5	143314.4	총적	6	6.96	236	118	18.4
TONGSAN-024	산양읍	연화리	339	327915.0	143191.8	총적	7	6.25	575	287	17.8
TONGSAN-025	산양읍	연화리	416	327899.7	143288.3	총적	7	7.21	243	121	18.6



3. 통산1지구 지구물리탐사 결과

지구물리탐사 위치도



<통산1지구 지구물리탐사 위치도>

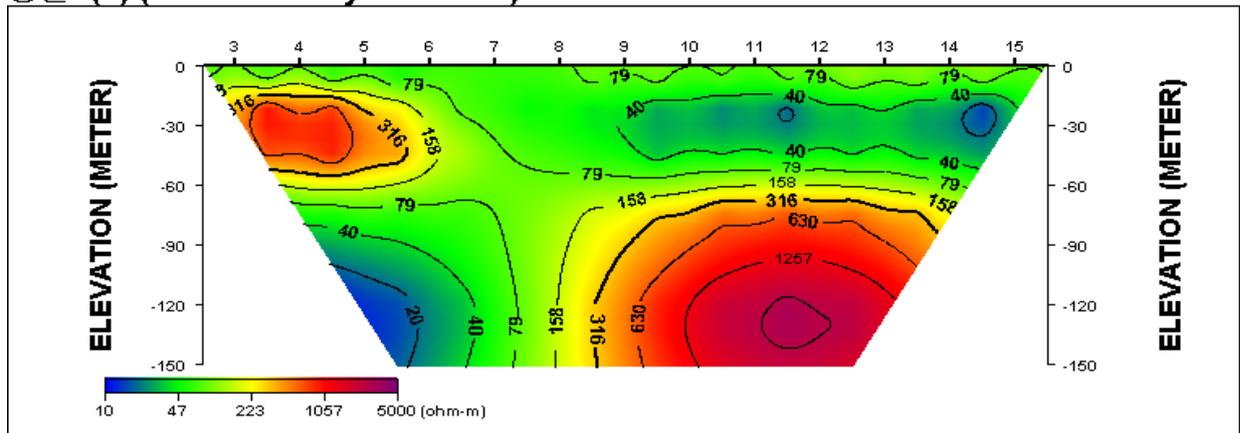
■ 전기비저항 쌍극자탐사

<통산1지구의 전기비저항 쌍극자탐사 해석 결과>

측선명	전기비저항 이상대 분포구간		
	수평거리(m)	심도(m)	비저항치(Ω -m)
TS-01	90	90이상	20~40
TS-02	0~500	50이하	79~158
TS-03	0~500	50이하	79~158
TS-04	120~240	70이상	67~105
TS-05	120~360	70이상	36~126

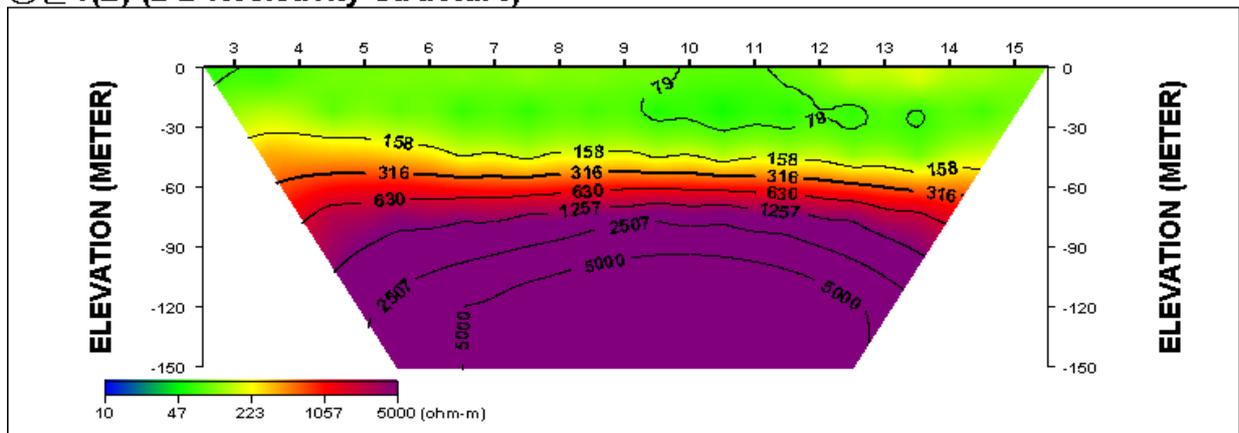
TS-01 전기비저항탐사 2-D 단면도

통산1(A) (2-D Resistivity Structure)



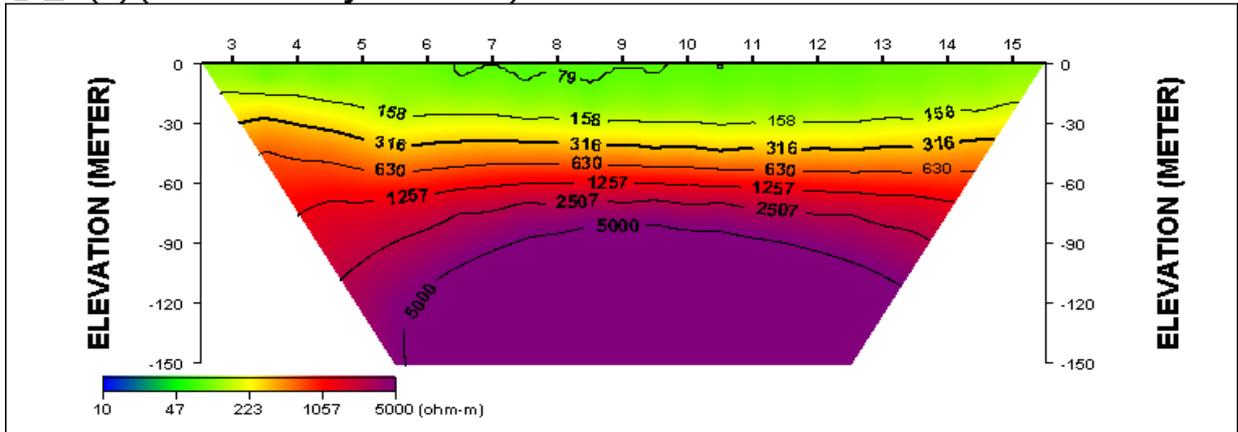
TS-02 전기비저항탐사 2-D 단면도

통산1(B) (2-D Resistivity Structure)



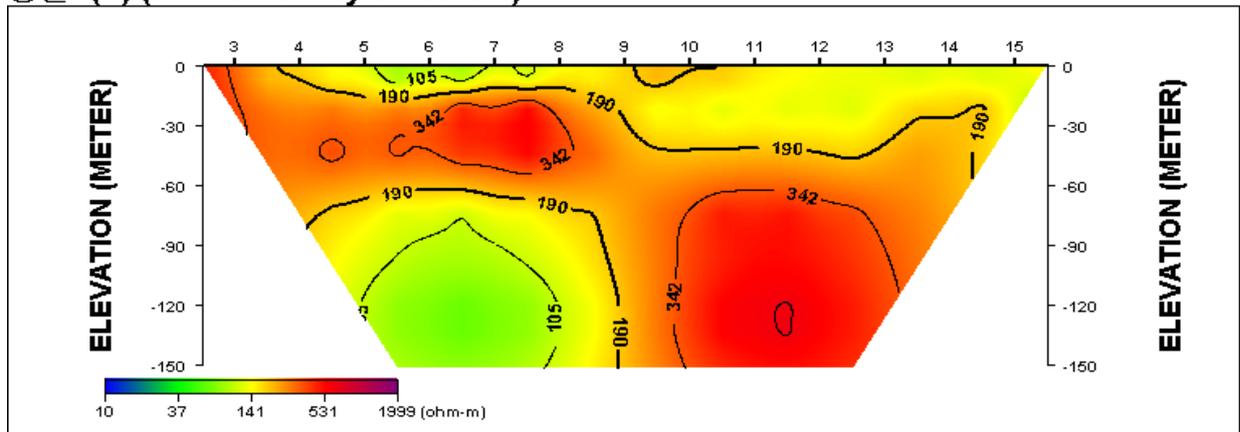
TS-03 전기비저항탐사 2-D 단면도

통산1(C) (2-D Resistivity Structure)



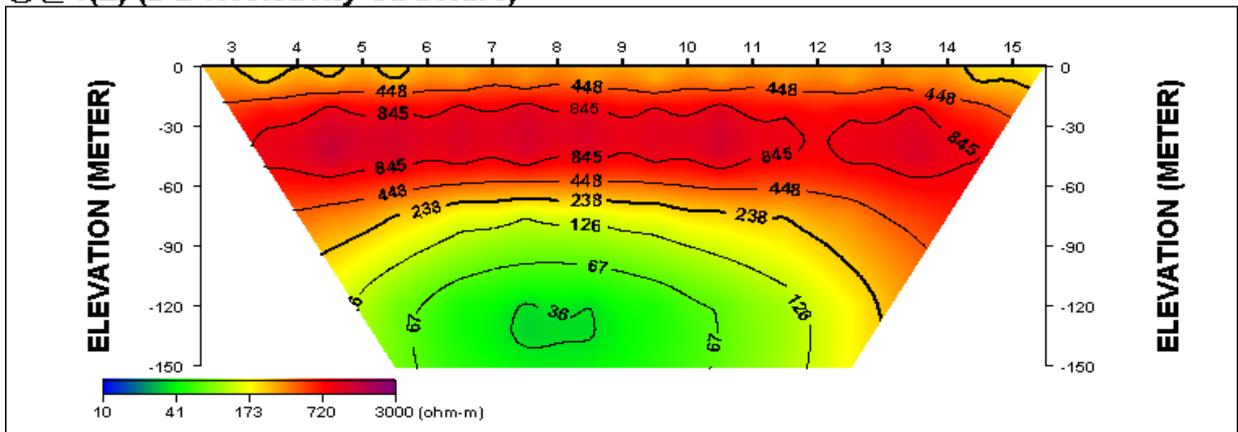
TS-04 전기비저항탐사 2-D 단면도

통산1(D) (2-D Resistivity Structure)



TS-05 전기비저항탐사 2-D 단면도

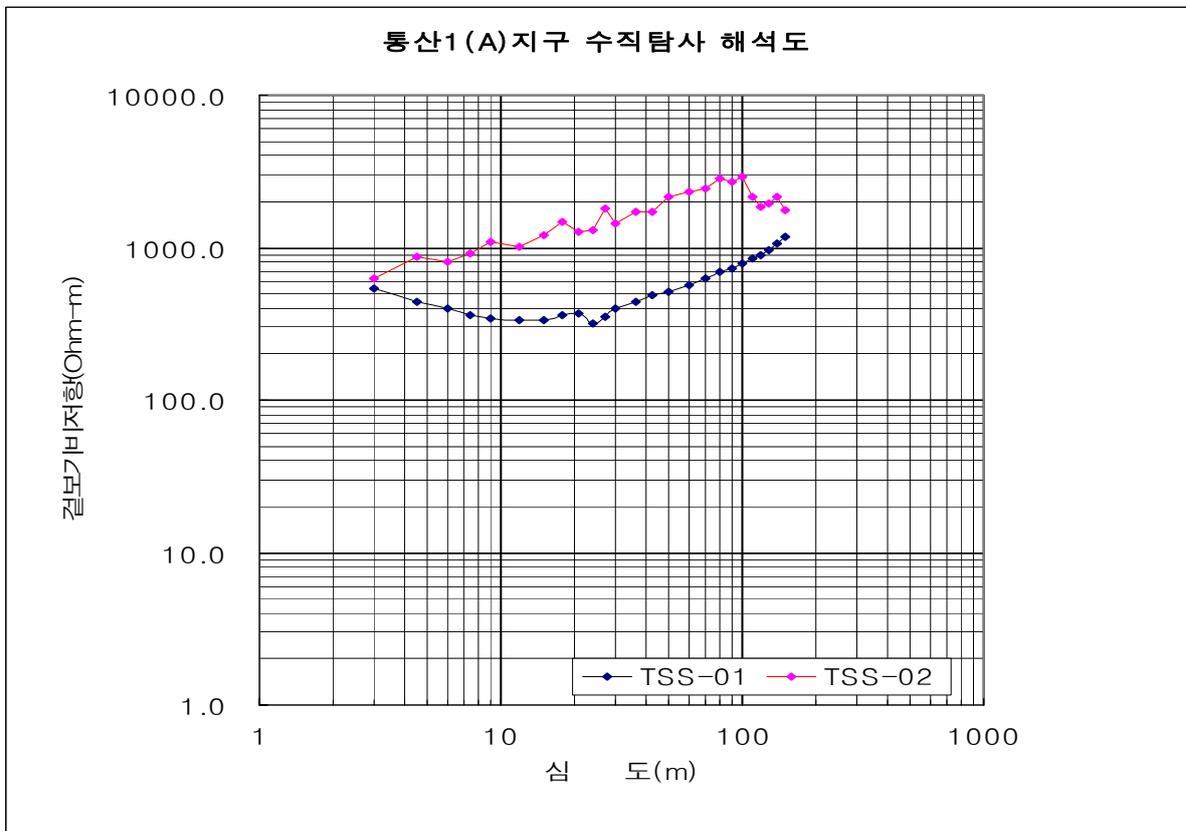
통산1(E) (2-D Resistivity Structure)

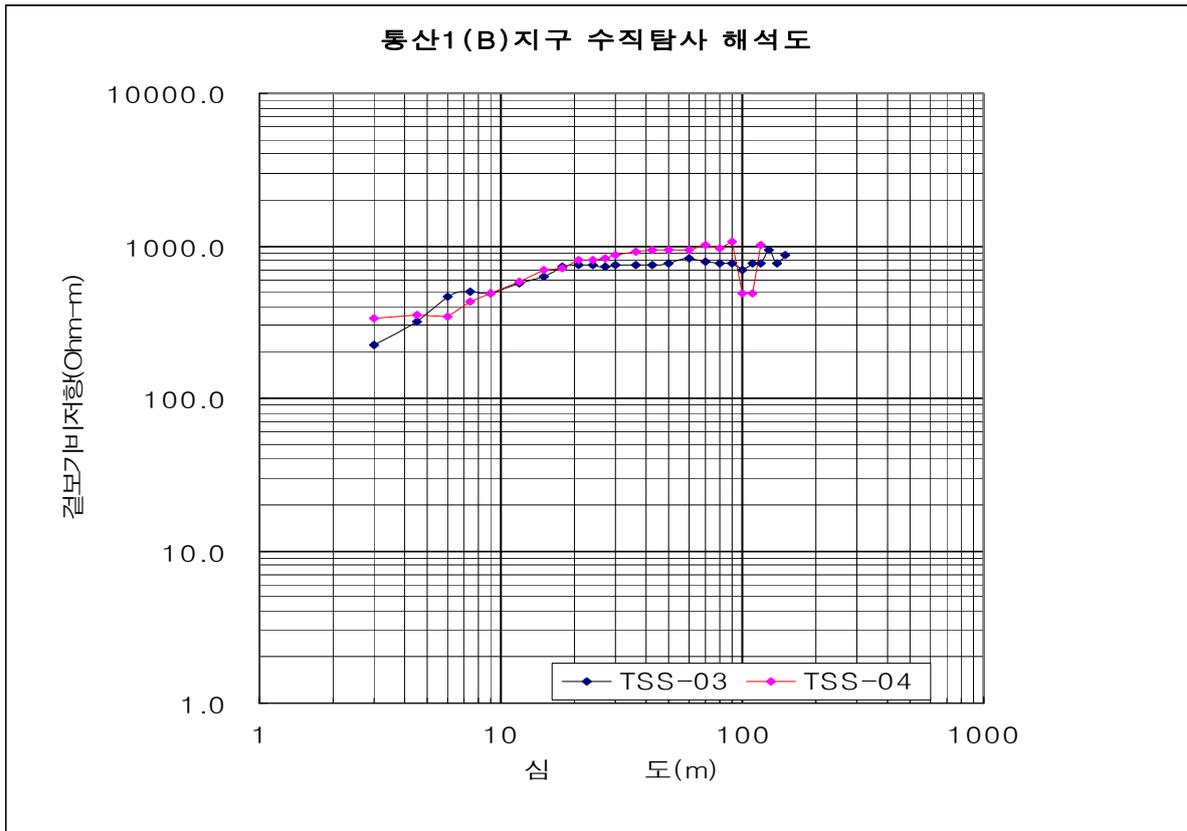


▣ 전기비저항 수직탐사

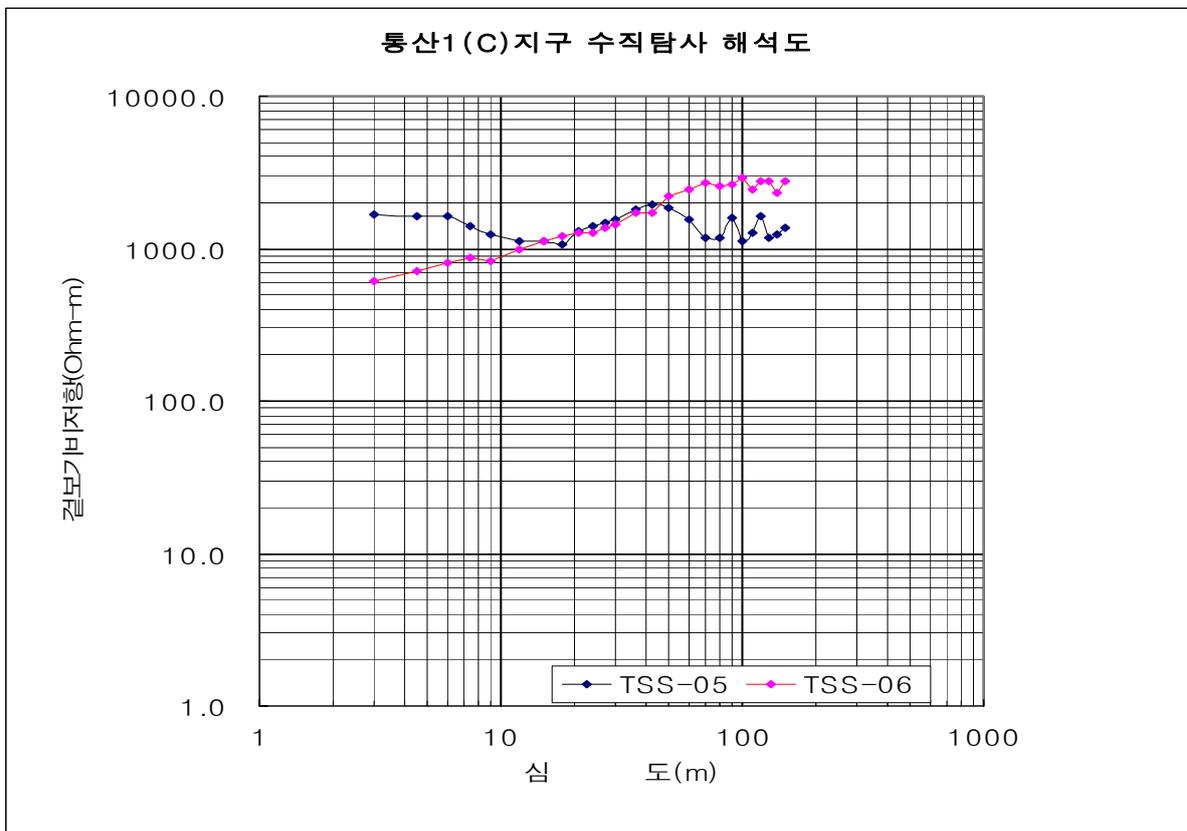
전기비저항 수직탐사 결과표

측선명	과쇄대 발달 예상구간(m)	탐사심도	비고
TSS-01	±25	150	
TSS-02	±110	150	
TSS-03	±70~100	150	
TSS-04	±100~110	120	
TSS-05	±70~80, ±130	150	
TSS-06	±140	150	
TSS-07	-	150	
TSS-08	-	150	
TSS-09	±20	120	
TSS-10	±150	150	

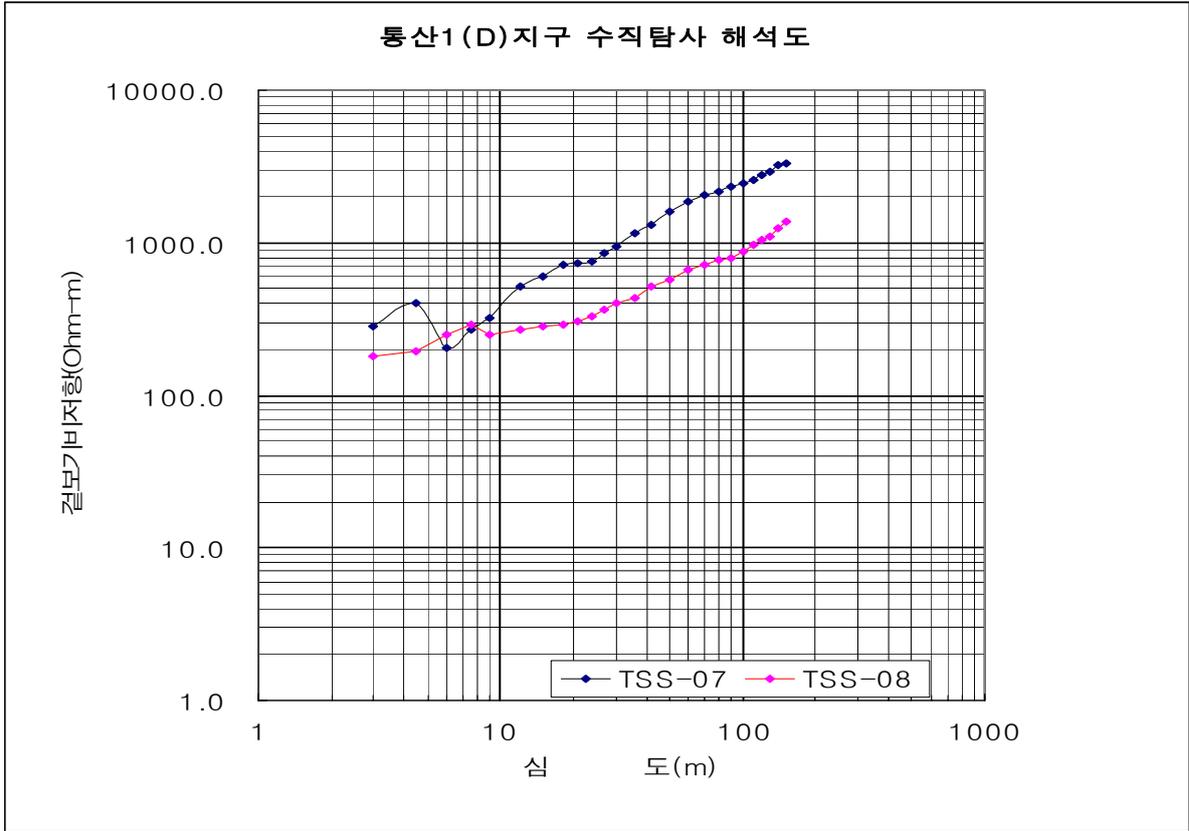




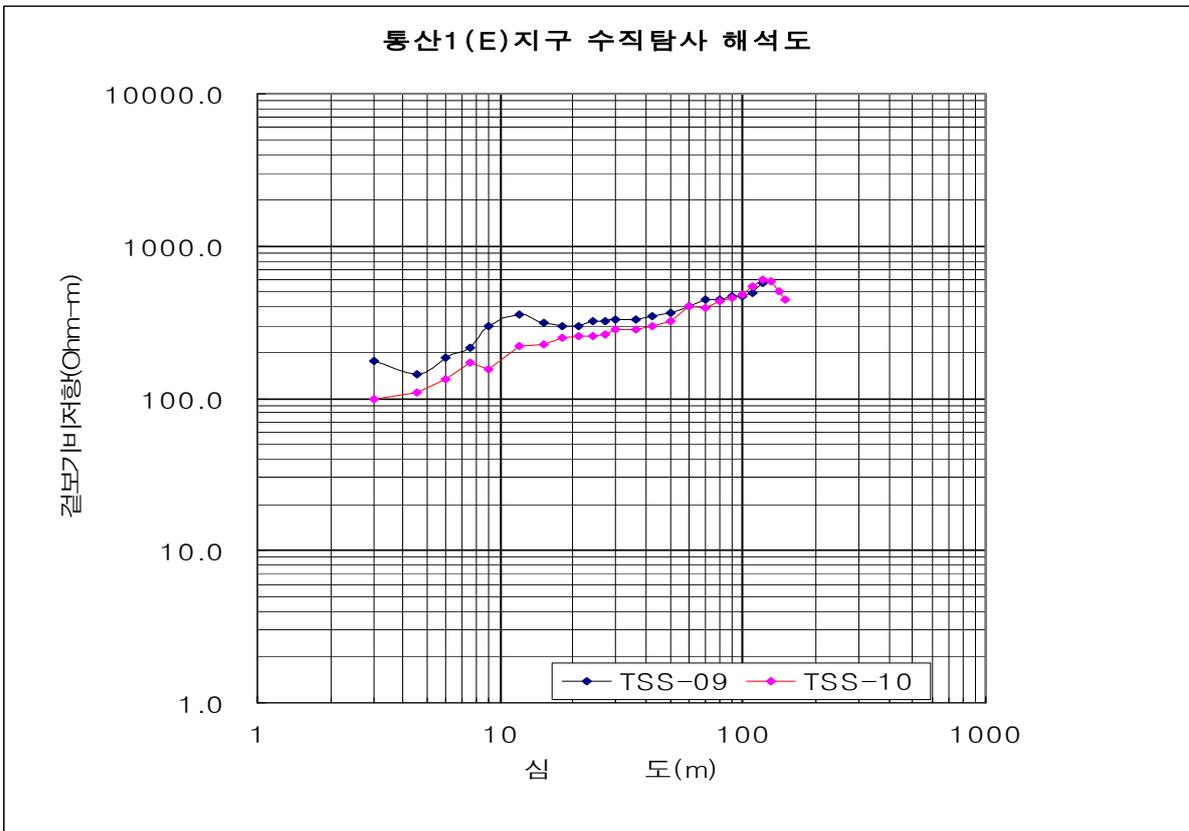
<TSS-03,04해석결과도>



<TSS-05,06해석결과도>



<TSS-07,08해석결과도>



<TSS-09,10해석결과도>



4. 통산1지구 시추주상도

착 정 (시 추) 작 업 공 보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-1(오양수산)

위 치	통영시 산양읍 연화리 1079번지					표고	EL m			
조 사 개 발 자	한국농어촌공사 경남지역본부 4급 고동호				작업기간	2011.7.28~8.1				
착 정	토사층:ROTARY	사용	총적층:3 Wing		착정구경 및 심 도	350mm 3.0m	자 갈	- m ³		
공 법	암 반:D.T.H	비트	암 반:BUTTON		심 도	50mm 230.0 r	총진량			
우 물 자 재	파 이 프	지상 계 지하	m m m	스트 레 나	m	소 켓	개	스트레나 개 공 율	% 케이싱 심 도	3m
심도 (m)	층후 (m)	우물의 구조			지질 및 구조			비 고		
0.5	0.5	토사층:매립토								
2.5	2.0	전석층(황토색 점토 혼합)								
3.0	0.5	· 연암 0.5m 케이싱 설치								
	230.0	<p>주대수층 구간 : 파쇄대 15m:10m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 45m:10m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 67m:70m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 70m:20m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 116m:100m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 216m:190m³/일</p>								
233.0		총간이양수량: 400 m ³ /일								

착 정 (시 추) 작 업 공 보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-2(오양수산)

위 치	통영시 산양읍 연화리 1079번지					표고	EL m			
조 사 개 발 자	한국농어촌공사 경남지역본부 4급 고동호				작업기간	2011.8.11~8.15				
착 정	토사층:ROTARY	사용	총적층:3 Wing		착정구경 및 심 도	350mm 6.0m	자 갈	- m ³		
공 법	암 반:D.T.H	비트	암 반:BUTTON		심 도	50mm 146.0 r	총진량			
우 물 자 재	파 이 프	지상 계 지하	m m	스 트 레 나	m	소 켓	개	스트레나 개 공 율	% 케이싱 심 도	6m
심도 (m)	층후 (m)	우물의 구조			지질 및 구조			비 고		
0.5	0.5	토사층:매립토								
4.5	4.0	점토층:황토색								
5.5	1.0	전석층(황토색 점토 혼합)								
6.0	0.5	· 연암 0.5m 케이싱 설치								
	146.0									
152.0		주대수층 구간 : 파쇄대 70m:150m ³ /일 주대수층 구간 : 파쇄대 87m:100m ³ /일 주대수층 구간 : 파쇄대 147m:50m ³ /일 (EC값 높게 나옴) 총간이양수량: 300 m ³ /일								

착 정 (시 추) 작 업 공 보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-3(경성수산)

위 치	통영시 산양읍 연화리 1196번지					표고	EL m			
조 사 개 발 자	한국농어촌공사 경남지역본부 4급 고동호				작업기간	2011.8.16~8.22				
착 정	토사층:ROTARY	사용	총적층:3 Wing	착정구경 및 심 도		350mm 13.0m	자 갈	- m ³		
공 법	암 반:D.T.H	비트	암 반:BUTTON	심 도		50mm 146.0 r	총진량			
우 물 자 재	파 이 프	지상 계 지하	m m	스트 레 나	m	소 켓	개	스트레 나 개 공 율	케이싱 % 심 도	13m
심도 (m)	층후 (m)	우물의 구조			지질 및 구조			비 고		
2.0	2.0	토사층:매립토								
4.0	2.0	점토층:황토색								
12.5	8.5	풍화대층:기반암의 풍화 (암회색)								
13.0	0.5	· 연암 0.5m 케이싱 설치								
	150.0				주대수층 구간 : 파쇄대 30m:30m ³ /일			물의 색깔이 붉은 빛을 띠		
					주대수층 구간 : 파쇄대 90m:40m ³ /일					
163.0					총간이양수량: 70 m ³ /일					

착정 (시추) 작업 공보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-4(에스제이수산)

위 치	통영시 산양읍 연화리 632번지					표고	EL m			
조 사 개 발 자	한국농어촌공사 경남지역본부 4급 고동호				작업기간	2011.8.23~8.26				
착 정	토사층:ROTARY	사용	충적층:3 Wing	착정구경 및 심 도		350mm 17.0m	자 갈	- m ³		
공 법	암 반:D.T.H	비트	암 반:BUTTON			150mm 95.0 m	충진량			
우 물 자 재	파 이 프	지상 계 지하	m m m	스트 레 나	소 켓	개	스트레나 개 공 율	%	케이싱 심 도	17m
심도 (m)	층후 (m)	우물의 구조			지질 및 구조			비 고		
2.0	2.0	토사층:매립토								
5.0	3.0	점토층:황토색								
7.0	2.0	풍화대층:기반암의 풍화 (암회색)								
16.5	9.5	풍화암층 : 기반암의 풍화								
17.0	0.5	· 연암 0.5m 케이싱 설치								
	95.0									
112.0		주대수층 구간 : 파쇄대 93m:200m ³ /일 주대수층 구간 : 파쇄대 107m:200m ³ /일 총간이양수량: 400 m ³ /일								

착정 (시추) 작업 공보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-5(대응수산)

위 치	통영시 산양읍 연화리 203번지					표고	EL m			
조 사 개 발 자	한국농어촌공사 경남지역본부 4급 고동호				작업기간	2011.8.29~9.1				
착 정	토사층:ROTARY	사용	충적층:3 Wing	착정구경 및 심 도		350mm 18.0m	자 갈	- m ³		
공 법	암 반:D.T.H	비트	암 반:BUTTON			50mm 138.0 m	충진량			
우 물 자 재	파 이 프	지상 계 지하	m m	스트 레나	m	소 켓	개	스트레나 개 공 율	케이싱 % 심 도	18m
심도 (m)	층후 (m)	우물의 구조			지질 및 구조			비 고		
1.5	1.5	토사층:매립토+전석								
9.5	8.0	점토층:붉은색								
13.5	4.0	풍화대층:기반암의 풍화 (암회색)								
17.5	4.0	풍화암층 : 기반암의 풍화								
18.0	0.5	· 연암 0.5m 케이싱 설치								
	138.0	<p>주대수층 구간 : 파쇄대 98m:100m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 108m:150m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 114m:50m³/일</p> <p>주대수층 구간 : 파쇄대 140m:100m³/일</p>								
156.0		총간이양수량: 400 m ³ /일								

5. 통산1지구 지구물리검층,
EC검층 결과

<부록5.1> 통산1지구 물리검층 결과

▣ TSBH-01 호공

Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64°) ρ=100XRdispl	Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64°) ρ=100XRdispl
13	14.33	3.75	16960		78	17.7	3.44	9180	14600
14	14.6	3.67	13450	44800	79	17.74	3.62	9120	18290
15	14.86	3.35	9760	29900	80	17.77	3.60	8720	18130
16	14.99	3.67	6120	17570	81	17.81	3.82	8660	17490
17	15.14	3.63	8070	14980	82	17.86	3.74	9620	18330
18	15.23	3.59	9430	18110	83	17.91	3.56	9220	19550
19	15.26	3.46	9540	21700	84	17.94	3.57	8480	18290
20	15.32	3.36	9650	22600	85	17.96	3.36	10770	19850
21	15.36	3.61	10210	23200	86	18	3.56	12240	25500
22	15.41	3.47	10130	23800	87	18.02	3.39	12160	29000
23	15.44	3.22	10070	23800	88	18.03	3.26	10430	26300
24	15.49	6.54	9190	22300	89	18.06	3.18	7630	18320
25	15.51	6.54	8570	11980	90	18.1	2.99	4080	8700
26	15.53	6.37	7930	17640	91	18.12	3.25	1979	1263
27	15.58	6.13	7520	15870	92	18.16	3.18	1619	632
28	15.6	6.27	7740	14840	93	18.19	3.15	1559	605
29	15.63	6.24	8220	15280	94	18.23	3.18	1581	598
30	15.65	5.92	7620	16080	95	18.26	3.18	1806	607
31	15.68	6.13	6180	12750	96	18.3	3.73	4780	713
32	15.71	5.51	5250	9420	97	18.32	3.41	6320	4950
33	15.72	5.85	4610	7180	98	18.35	3.51	7810	10180
34	15.75	5.53	4360	6260	99	18.37	3.40	7740	12140
35	15.77	4.92	5760	7060	100	18.4	3.70	7040	11620
36	15.8	5.26	4920	8510	101	18.44	3.49	8970	12380
37	15.83	4.86	6150	9470	102	18.46	3.36	8620	15680
38	15.86	5.22	6870	11990	103	18.49	2.81	6560	12330
39	15.88	5.08	7100	13220	104	18.52	3.44	3380	4330
40	15.91	4.85	6250	12330	105	18.54	3.04	5870	3750
41	15.93	4.23	4850	9530	106	18.57	3.30	5600	5400
42	15.96	4.28	4040	6670	107	18.6	3.47	3580	3750
43	15.98	4.55	3940	5510	108	18.64	3.22	3260	2720
44	16	4.75	3870	5140	109	18.65	3.69	3050	2580
45	16.03	4.20	3730	4990	110	18.68	3.39	3950	2860
46	16.05	3.89	3480	4900	111	18.7	3.05	5720	4260
47	16.07	4.35	3780	4980	112	18.74	3.01	6540	7700
48	16.1	3.67	4830	5850	113	18.76	3.53	8710	11720
49	16.13	4.02	6650	8800	114	18.78	3.28	10600	17940
50	16.14	3.41	6430	11800	115	18.82	2.99	11130	22900
51	16.17	4.52	7900	13980	116	18.84	3.17	11690	25400
52	16.19	4.16	9250	18330	117	18.87	3.39	11520	26700
53	16.21	3.62	10680	23100	118	18.9	3.57	12290	28500
54	16.23	3.38	11400	27000	119	18.91	3.36	14710	32600
55	16.25	3.88	12540	30700	120	18.94	3.25	16270	39800
56	16.28	3.37	14020	34900	121	18.97	3.22	16900	44600
57	16.3	3.35	14930	39100	122	19	3.28	17480	47200
58	16.34	3.40	15430	42300	123	19.02	3.27	18280	49500
59	16.35	3.32	16200	44300	124	19.04	3.26	18410	51300
60	16.39	3.49	16800	46900	125	19.06	3.17	18320	52000
61	16.41	3.25	16490	47500	126	19.09	2.84	18730	52500
62	16.45	3.37	15380	45000	127	19.12	2.80	19270	54000
63	16.49	3.24	13200	38800	128	19.14	3.11	20000	56500
64	16.52	3.10	10010	28700	129	19.16	3.12	20700	59400
65	16.59	3.89	7420	18810	130	19.18	3.19	21300	61800
66	16.73	3.58	7560	15270	131	19.21	3.04	21500	63500
67	17.02	3.79	7130	13920	132	19.23	2.84	21500	64100
68	17.18	3.90	7260	13290	133	19.25	2.81	21500	64100
69	17.28	4.02	8460	14280	134	19.28	2.79	21000	63400
70	17.36	3.62	10620	18390	135	19.3	3.04	20900	62300
71	17.41	3.67	11060	24000	136	19.31	3.08	20900	61700
72	17.44	2.94	9510	22700	137	19.34	2.87	20500	61000
73	17.5	2.99	5630	12910	138	19.36	2.86	19690	59000
74	17.52	3.33	4060	7130	139	19.38	2.76	18530	55500
75	17.57	3.34	4770	6170	140	19.41	2.98	18230	52700
76	17.62	3.66	5790	7020	141	19.42	2.83	18370	51700
77	17.66	3.90	7330	10010	142	19.44	2.69	18240	51800

▣ TSBH-01 호공(계속)

Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16") ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64") ρ=100XRdispl	Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16") ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64") ρ=100XRdispl
143	19.46	2.90	18180	51800	208	20.42	2.22	21400	69500
144	19.49	3.05	18380	52000	209	20.43	2.28	18850	60800
145	19.51	2.96	18720	52800	210	20.43	2.22	15790	49900
146	19.53	2.82	19070	54000	211	20.44	2.28	12210	37500
147	19.55	2.79	19460	55300	212	20.45	2.27	9220	25800
148	19.57	2.65	19420	56100	213	20.47	2.50	8910	20300
149	19.58	2.76	19730	56800	214	20.47	2.40	9540	20600
150	19.61	2.76	20300	58200	215	20.51	2.34	9470	22300
151	19.63	2.82	20500	59800	216	20.52	2.26	7750	20300
152	19.65	2.78	20800	60900	217	20.54	2.32	7210	23600
153	19.66	2.64	21000	61800	218	20.57	1.83	7260	28000
154	19.69	2.65	21000	62400	219	20.59	1.51	7340	28200
155	19.7	2.66	21200	62900	220	20.62	1.36	7450	28600
156	19.72	2.63	21600	63700	221	20.62	1.26	7580	29000
157	19.74	2.71	21900	65200	222	20.62	1.29	7720	29500
158	19.75	2.79	22500	66800	223	20.62	1.39	7740	29600
159	19.78	2.65	22900	68700	224	20.62	1.37	7750	29600
160	19.79	2.66	23400	70500	225	20.62	1.35	7750	29600
161	19.81	2.65	24000	72500	226	20.62	1.34	7750	29600
162	19.83	2.63	24800	75000	227	20.62	1.33	7750	29600
163	19.85	2.64	25400	77900	228	20.62	1.32	7750	29700
164	19.86	2.40	26100	80600					
165	19.88	2.31	26300	82700					
166	19.9	2.39	26200	83100					
167	19.92	2.38	25700	82200					
168	19.93	2.39	24900	79500					
169	19.95	2.52	24100	76900					
170	19.97	2.55	24300	75200					
171	19.99	2.44	24300	75300					
172	20	2.54	24700	76100					
173	20.01	2.57	25200	77600					
174	20.03	2.47	25800	79500					
175	20.05	2.47	26100	81200					
176	20.07	2.44	26000	81900					
177	20.08	2.48	25600	81300					
178	20.09	2.54	25400	80400					
179	20.11	2.54	25500	80100					
180	20.12	2.54	25600	80500					
181	20.13	2.53	25600	80600					
182	20.15	2.41	25500	80400					
183	20.17	2.41	25300	79700					
184	20.18	2.48	25500	79800					
185	20.2	2.48	26300	81000					
186	20.21	2.50	26500	83100					
187	20.22	2.41	26500	84000					
188	20.23	2.48	26300	83600					
189	20.25	2.39	25800	82400					
190	20.26	2.45	25400	80900					
191	20.27	2.42	24700	78800					
192	20.28	2.42	24100	76400					
193	20.29	2.38	23600	74100					
194	20.3	2.39	23000	71900					
195	20.32	2.46	22600	69900					
196	20.32	2.33	22300	68600					
197	20.34	2.53	22200	68100					
198	20.35	2.45	23400	69700					
199	20.36	2.50	24500	73400					
200	20.36	2.47	25200	77100					
201	20.37	2.45	25900	79900					
202	20.38	2.47	26400	82300					
203	20.39	2.42	26600	84100					
204	20.4	2.41	26400	84000					
205	20.41	2.33	25700	82800	최대	20.6	6.5	26600.0	84100.0
206	20.41	2.33	24700	80100	최소	12.6	1.3	1559.0	598.0
207	20.42	2.27	23200	75600	평균	18.5	3.2	14177.4	39288.3

<부록5.1> 통산1지구 물리검층 결과

▣ TSBH-04호공

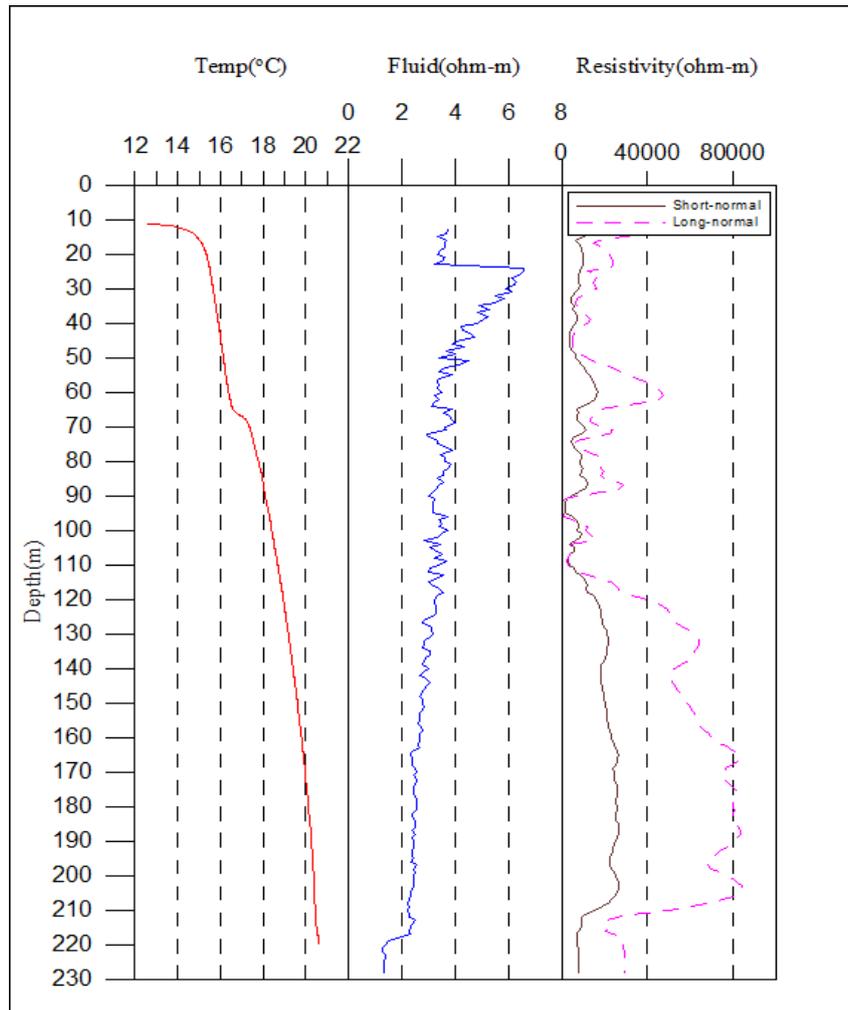
Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64°) ρ=100XRdispl	Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) ρ=100XRdispl	Long normal (Normal64°) ρ=100XRdispl
16	17.52	2.67			84	17.79	5.82	7870	21300
17	17.35	2.87	140	14	85	17.8	5.94	7430	20100
18	17.22	2.86	269	31	86	17.8	6.07	7110	17530
19	17.17	3.00	430	249	87	17.81	6.15	6720	15700
20	17.18	2.96	442	401	88	17.81	6.34	6350	13790
21	17.17	3.32	457	552	89	17.82	5.67	6030	12210
22	17.16	3.46	439	624	90	17.83	5.71	6290	11090
23	17.14	3.50	423	713	91	17.84	5.59	6500	10060
24	17.12	3.50	511	917	92	17.83	5.44	5090	6990
25	17.1	3.45	594	1045	93	17.81	5.31	3530	4460
26	17.08	3.43	621	1232	94	17.79	5.82	2710	3340
27	17.06	3.41	636	1408	95	17.78	5.74	1986	1285
28	17.05	3.43	714	1567	96	17.79	5.77	2450	1381
29	17.05	4.54	783	1646	97	17.83	5.99	2930	1486
30	17.08	4.51	852	1824	98	17.86	6.11	5140	4961
31	17.1	4.47	904	2030	99	17.87	5.62	7380	8480
32	17.12	4.45	942	2190	100	17.88	5.96	7780	11920
33	17.14	4.24	956	2210	101	17.88	6.56	8050	15550
34	17.14	4.44	987	2250	102	17.88	6.38	8050	15700
35	17.15	4.39	1002	2280	103	17.89	6.43	8060	15740
36	17.17	4.41	1046	2360	104	17.89	6.24	6490	12240
37	17.18	4.36	1096	2540	105	17.89	6.02	5090	9100
38	17.19	4.30	1054	2570	106	17.89	6.83	4620	6730
39	17.2	4.25	1013	2500	107	17.89	6.25	4130	4270
40	17.21	3.87	921	2280	108	17.89	6.36	3850	3380
41	17.22	3.68	810	1888	109	17.89	6.61	3530	2420
42	17.24	3.75	796	1771	110	17.89	6.20	3490	2710
43	17.25	3.78	779	1615	111	17.89	6.62	3440	2990
44	17.26	3.74	842	1845	112	17.89	6.14	3660	3160
45	17.27	3.81	998	2020	113	17.89	6.53	3970	3320
46	17.29	3.40	1142	2570					
47	17.3	3.33	1274	2960					
48	17.31	3.39	1427	3410					
49	17.32	3.27	1546	4070					
50	17.33	3.22	1699	4780					
51	17.34	3.28	1834	5160					
52	17.35	3.26	2020	5840					
53	17.36	3.34	2100	6210					
54	17.38	3.36	2220	6540					
55	17.39	3.37	2270	6970					
56	17.4	3.18	2310	7150					
57	17.41	3.20	2360	7360					
58	17.42	3.18	2410	7470					
59	17.43	3.18	2440	7580					
60	17.44	3.14	2470	7660					
61	17.45	3.20	2480	7720					
62	17.46	3.25	2500	7610					
63	17.48	3.27	2500	7670					
64	17.5	3.44	2530	7640					
65	17.51	3.74	2580	7630					
66	17.53	3.88	2670	7690					
67	17.54	4.14	2730	7710					
68	17.55	4.10	2810	7950					
69	17.56	4.17	3020	8130					
70	17.57	4.53	3370	8370					
71	17.59	4.93	3510	8630					
72	17.61	4.87	3880	9260					
73	17.64	5.08	4210	9940					
74	17.65	5.19	4560	10240					
75	17.67	5.88	4700	10420					
76	17.69	5.95	4690	10110					
77	17.71	5.39	4610	9890					
78	17.72	5.90	5070	10050					
79	17.73	5.78	5400	11190					
80	17.77	5.69	6620	14650					
81	17.78	5.40	7740	18240	최대	17.9	6.8	8360	22800
82	17.78	5.25	8010	20200	최소	17.1	2.7	140.4	13.8
83	17.79	5.18	8360	22800	평균	17.5	4.6	3188.2	6571.5

<부록5.1> 통산1지구 물리검층 결과

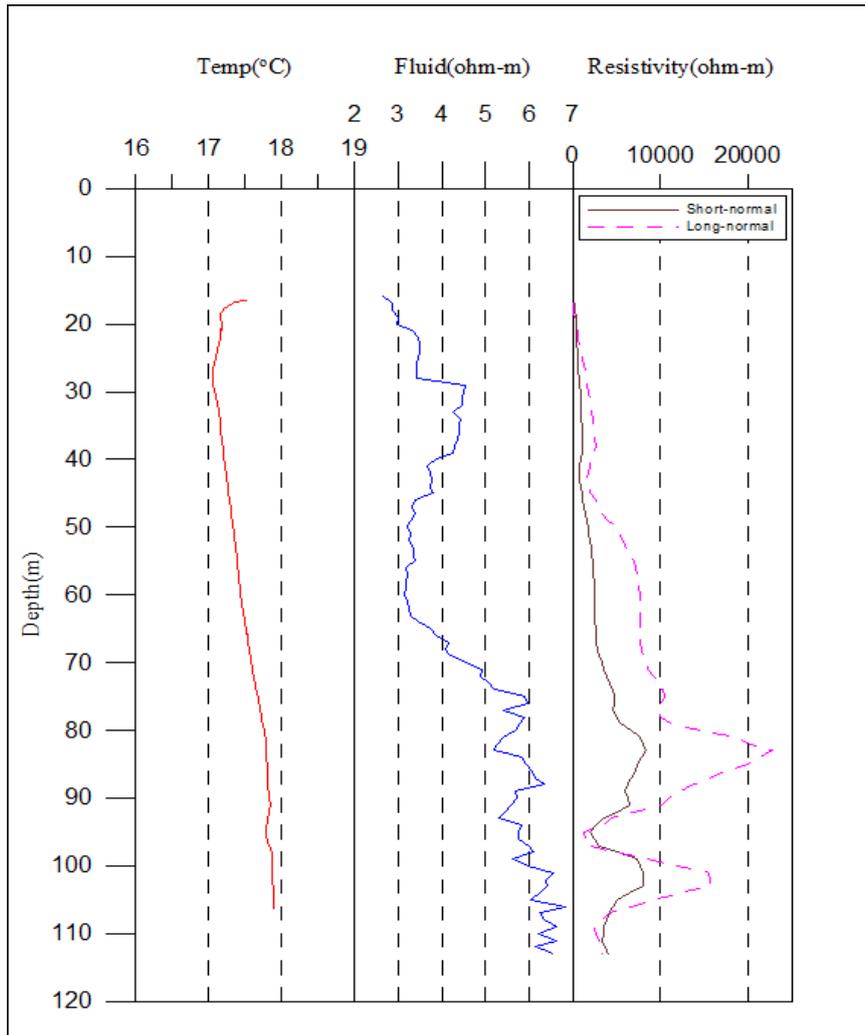
■ TSBH-05호공

Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) p=100XRdispl	Long normal (Normal64°) p=100XRdispl	Depth	Temperature (ohm, 0.5mA)	Fluid resistivity (ohm, 20mA) Pfluid=Rdispl	short normal (Normal16°) p=100XRdispl	Long normal (Normal64°) p=100XRdispl
8	16.85	8.62			87	18.52	5.04	1289	1114
9	16.93	8.64			88	18.52	5.28	2430	1442
10	17.06	8.57			89	18.52	4.96	2970	3020
11	17.1	8.38			90	18.53	5.03	3130	4500
12	17.2	8.27			91	18.53	4.54	2900	4580
13	17.46	8.20			92	18.53	5.23	3400	4960
14	17.5	8.11			93	18.53	4.40	3650	6000
15	17.52	8.00			94	18.54	5.01	3920	7020
16	17.53	8.03			95	18.54	5.05	3940	7470
17	17.57	8.45			96	18.54	4.61	4130	7780
18	17.58	9.97			97	18.54	4.47	3900	7740
19	17.57	8.61	518		98	18.55	4.47	4090	7730
20	17.57	9.63	481	26	99	18.55	5.01	4520	8570
21	17.57	9.43	494	25	100	18.55	4.77	4900	9860
22	17.58	9.41	484	26	101	18.55	4.38	4720	10290
23	17.58	9.40	493	24	102	18.55	4.62	4100	9150
24	17.71	9.26	514	22	103	18.55	4.08	3310	6740
25	17.86	7.90	510	21	104	18.56	4.80	2450	4230
26	17.89	7.79	516	22	105	18.56	4.41	2200	2870
27	17.94	7.55	553	26	106	18.56	4.65	2450	2820
28	17.99	7.61	564	24	107	18.57	4.67	2450	2960
29	18.02	7.33	532	26	108	18.58	4.98	3240	3890
30	18.06	7.45	535	29	109	18.61	5.03	4190	5760
31	18.1	6.92	534	32	110	18.62	4.87	5240	8830
32	18.14	6.65	524	29	111	18.63	4.16	5740	12340
33	18.16	6.57	541	26	112	18.63	4.58	5770	13640
34	18.18	6.29	586	24	113	18.64	4.22	5140	12650
35	18.19	6.29	526	28	114	18.65	4.75	4610	10920
36	18.2	6.32	551	23	115	18.71	4.82	5360	10960
37	18.21	6.36	526	21	116	18.75	4.65	6530	13890
38	18.22	6.04	562	17	117	18.76	4.56	6910	16820
39	18.23	6.17	477	15	118	18.77	4.23	6430	17090
40	18.24	5.98	517	14	119	18.78	4.14	5940	15610
41	18.25	6.40	514	14	120	18.79	4.39	5370	13410
42	18.27	6.05	572	17	121	18.79	3.90	5110	12000
43	18.28	6.21	489	21	122	18.81	4.15	4360	9940
44	18.29	6.06	520	19	123	18.94	4.35	4160	8670
45	18.29	6.03	570	15	124	19.06	4.37	4350	8850
46	18.3	5.89	529	14	125	19.12	4.08	4570	9640
47	18.31	5.93	539	15	126	19.14	4.21	4490	9920
48	18.32	6.02	531	12	127	19.17	4.14	4540	9860
49	18.32	6.04	533	10	128	19.18	3.65	4130	9200
50	18.33	5.85	489	9	129	19.19	3.78	3210	7010
51	18.35	5.68	469	10	130	19.2	3.82	2660	4800
52	18.35	6.11	479	10	131	19.21	3.72	2210	3400
53	18.35	5.91	479	10	132	19.22	3.96	2100	2740
54	18.35	5.88	496	11	133	19.23	3.90	2330	2650
55	18.35	5.73	487	13	134	19.24	3.77	2090	2630
56	18.36	6.14	512	16	135	19.25	3.93	1741	2060
57	18.38	6.09	534	19	136	19.26	3.88	1721	1773
58	18.41	6.01	561	21	137	19.26	3.78	2440	2060
59	18.42	6.04	447	17	138	19.27	3.67	2660	3040
60	18.43	5.39	465	19	139	19.28	4.25	2500	3470
61	18.44	5.32	503	17	140	19.29	3.98	2370	3040
62	18.45	5.61	681	19	141	19.29	3.90	2090	2610
63	18.45	5.31	794	33	142	19.3	3.91	2640	2710
64	18.46	5.70	697	62	143	19.31	3.97	2970	3850
65	18.46	5.75	835	81	144	19.31	3.90	2530	3920
66	18.46	5.58	943	158	145	19.32	4.04	2860	3820
67	18.46	5.48	926	170	146	19.32	3.85	3620	4930
68	18.46	5.72	1042	195	147	19.33	4.24	3910	6970
69	18.48	5.35	1093	232	148	19.33	3.84	4690	8660
70	18.48	5.08	958	225	149	19.34	3.82	4570	9970
71	18.48	5.67	870	176	150	19.34	3.99	3770	8680
72	18.48	5.15	896	131	151	19.35	3.36	2850	5810
73	18.49	5.40	803	97	152	19.35	3.60	2110	3530
74	18.49	5.43	605	79	153	19.36	3.66	2220	2690
75	18.49	5.81	529	69	154	19.37	3.88	2360	2660
76	18.5	5.99	904	77	155	19.37	3.87	2240	2750
77	18.5	5.20	1705	198	156	19.37	3.92	2070	2550
78	18.5	5.36	2390	1580	157	19.38	3.92	1889	2310
79	18.5	5.38	2810	3090	158	19.38	3.81	1767	2200
80	18.51	5.28	2990	4120	159	19.38	3.77	1773	2210
81	18.51	5.08	2770	4160	160	19.38	3.75	1781	2230
82	18.51	5.14	2680	3790	161	19.38	3.73	1791	2280
83	18.51	4.70	3160	4070					
84	18.51	4.97	2700	4270	최대	19.4	10	6910	17090
85	18.52	5.12	2040	2800	최소	13.6	3.4	447	9.3
86	18.52	5.11	1699	1708	평균	18.4	5.4	2247.1	3613.7

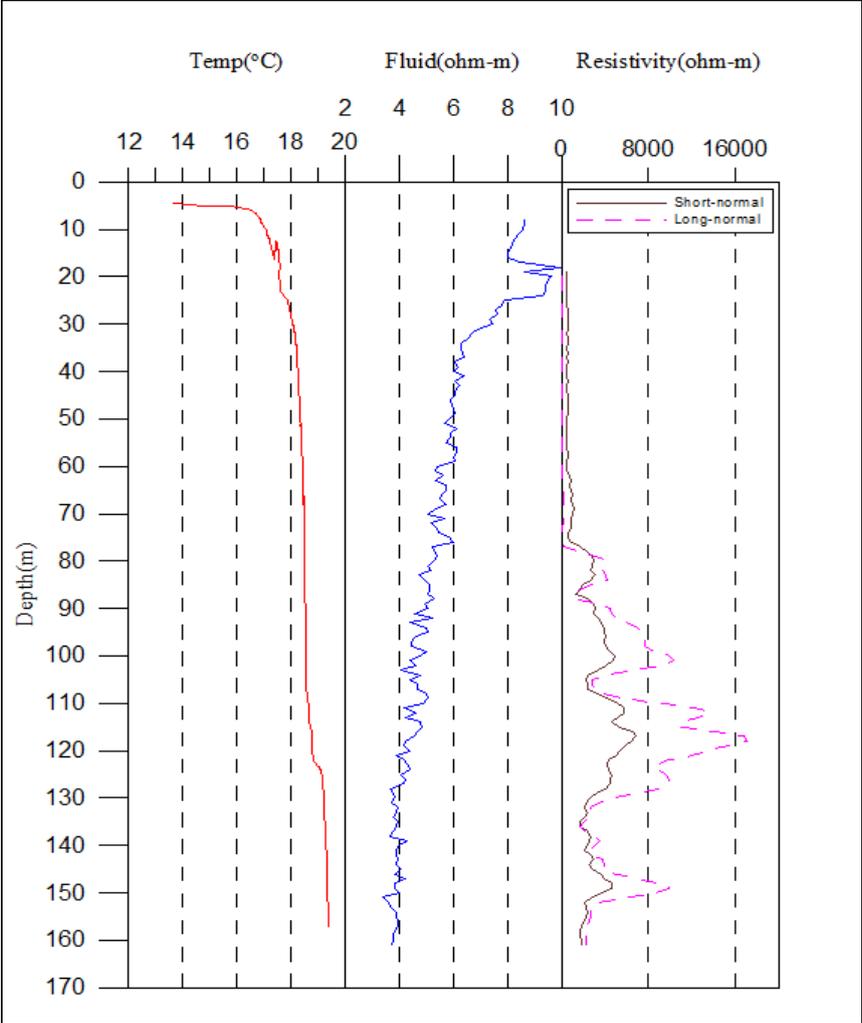
<부록5.1> 통산1지구 물리검층 결과



TSBH-01

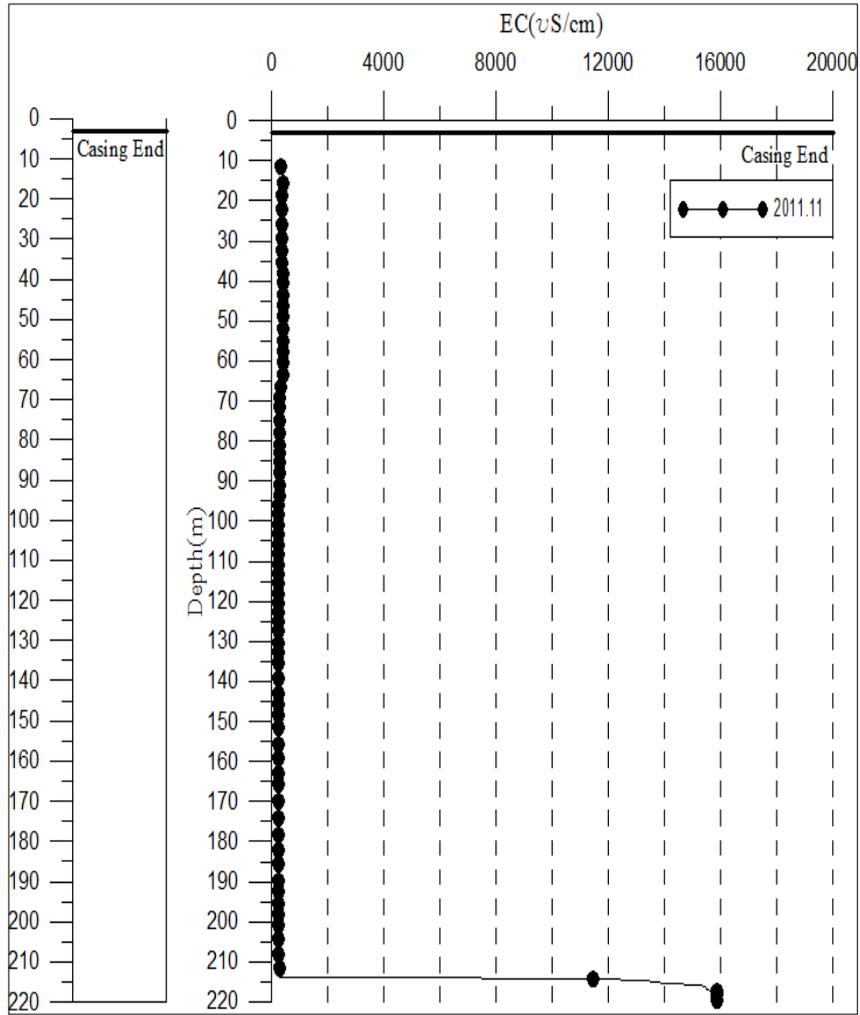


TSBH-04

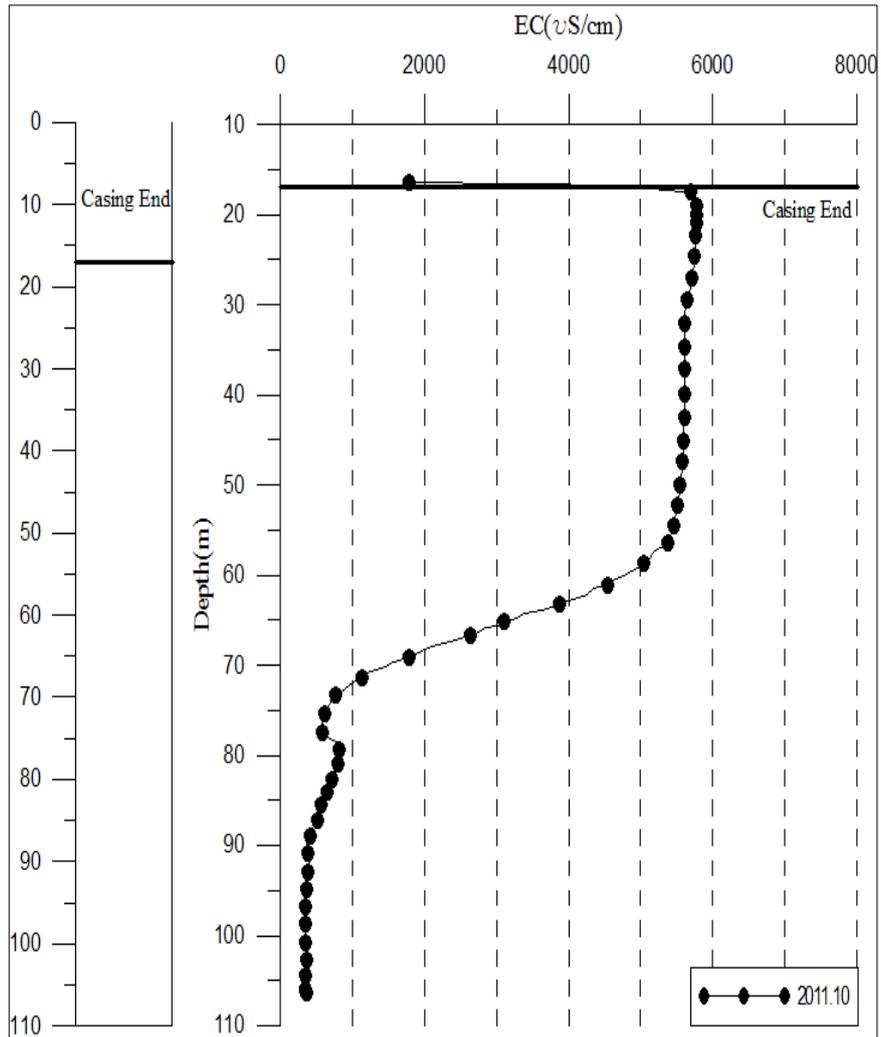


TSBH-05

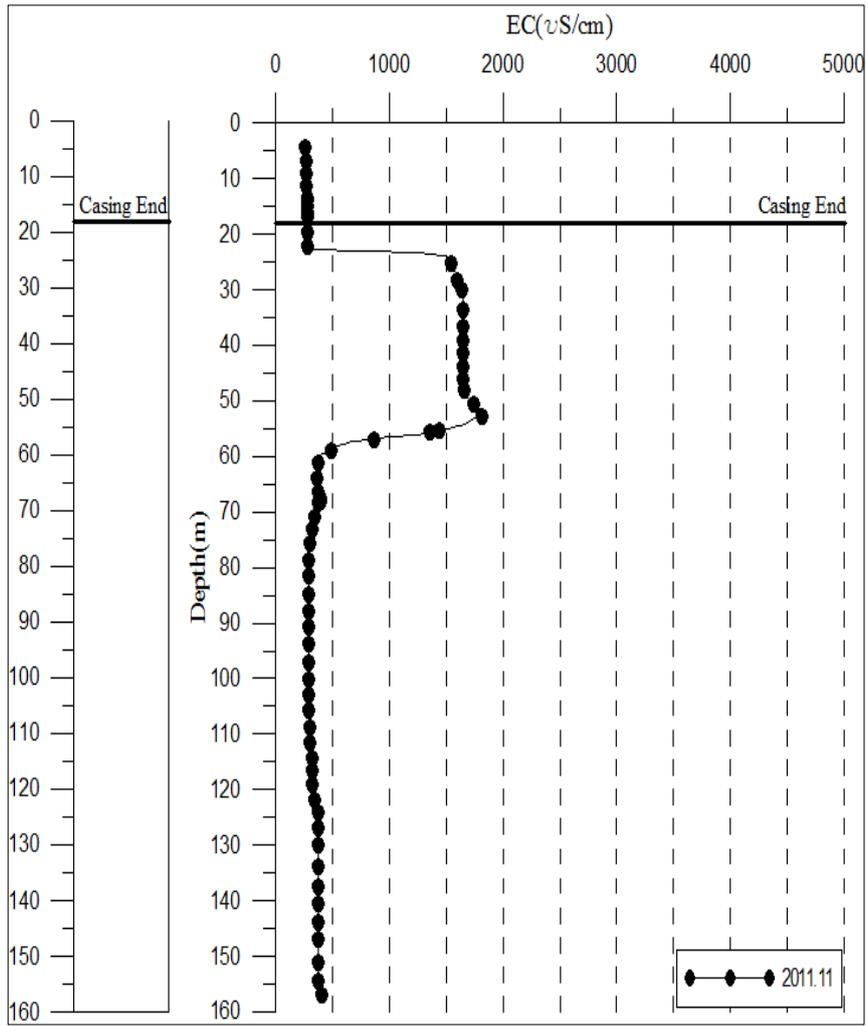
<부록5.2> 통산1지구 EC검층 결과



TSBH-01



TSBH-04



TSBH-05

6. 통산1지구 양수시험 총괄표 및
일보

<부록6> 양수시험 총괄표

대수층	관정공번	읍면	동리	관정심도 (m)	자연수위 (m)	안정수위 (m)	K (m/d)	T (m ² /d)	S	model	method
암반	TSBH-01	산양	연화	233	14.9	75.6	1.1E-02	2.5E+00	3.8E-03	Confined	Theis
							1.3E-02	2.8E+00	2.8E-03	Confined	Cooper-Jacob
							9.1E-03	2.0E+00		Confined	Recovery
	TSBH-02	산양	연화	152	30	71.6	2.3E-02	2.8E+00	2.9E-03	Confined	Theis
							2.4E-02	3.0E+00	2.6E-03	Confined	Cooper-Jacob
							1.9E-02	2.3E+00		Confined	Recovery
	TSBH-03	산양	연화	163	3.4	38.11	5.6E-03	8.4E-01	2.5E-03	Confined	Theis
							5.8E-03	8.8E-01	2.3E-03	Confined	Cooper-Jacob
							5.0E-03	7.5E-01		Confined	Recovery
	TSBH-04	산양	연화	112	15	69.49	3.5E-02	3.3E+00	3.3E-03	Confined	Theis
							3.5E-02	3.3E+00	2.9E-03	Confined	Cooper-Jacob
							2.3E-02	2.2E+00		Confined	Recovery
	TSBH-05	산양	연화	156	1.25	54.15	2.2E-02	3.1E+00	2.5E-03	Confined	Theis
							1.9E-02	2.7E+00	3.2E-03	Confined	Cooper-Jacob
							1.7E-02	2.4E+00		Confined	Recovery

장기 양수 시험 일보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-1

위 치	경상남도 통영시 산양읍 연화리 1079번지								
조사자	한국농어촌공사 지질직 4급 고동호	작업기간	시 작: 2011년 09월 05일 11시 35 분 완 료: 2011년 09월 07일 12시 00 분						
양수기	수중모터펌프	마력: 10 Hp	설치심도 100 m						
우물현황	직경: 250mm	심 도: 233 m		자재: -					
양수시험 결 과	자연수위: (피압) 14.90 m	안정수위: 75.60 m			양수량: 400 m ³ /d				
기타사항	V-notch에 의한 일류수심 측정								
관측시간	경과시간 (min)	일류수심 (cm)	양수량 (m ³ /d)	수위 (m)	수위강하 량(m)	비 고			
						PH	EC (μs/cm)	TDS (mg/ℓ)	수온 (℃)
11:35	0	-	-	14.90	0.00				
11:36	1	10.2	400	19.20	4.30				
11:37	2	10.2	400	26.70	11.80				
16:03	3	10.2	400	32.00	17.10				
16:04	4	10.2	400	35.30	20.40				
16:05	5	10.2	400	38.70	23.80				
16:10	10	10.2	400	46.60	31.70				
16:15	15	10.2	400	50.70	35.80				
16:20	20	10.2	400	53.80	38.90				
16:25	25	10.2	400	56.20	41.30				
16:30	30	10.2	400	57.90	43.00	8.20	3774	1875	17.8
16:35	35	10.2	400	59.30	44.40				
16:40	40	10.2	400	60.30	45.40				
16:45	45	10.2	400	61.00	46.10				
16:50	50	10.2	400	62.00	47.10				
16:55	55	10.2	400	62.70	47.80				
17:00	60	10.2	400	63.40	48.50				
17:15	75	10.2	400	65.10	50.20				
17:30	90	10.2	400	66.30	51.40				
17:45	105	10.2	400	67.50	52.60	8.15	3999	2000	10.3
18:00	120	10.2	400	68.00	53.10				
19:00	180	10.2	400	70.20	55.30				
20:00	240	10.2	400	71.40	56.50				
21:00	300	10.2	400	72.30	57.40				
22:00	360	10.2	400	72.80	57.90				
0:00	480	10.2	400	73.50	58.60				
2:00	600	10.2	400	74.10	59.20				
4:00	720	10.2	400	74.50	59.60				
6:00	840	10.2	400	74.90	60.00				
8:00	960	10.2	400	75.10	60.20				
10:00	1,080	10.2	400	75.30	60.40				
12:00	1,200	10.2	400	75.40	60.50				
14:00	1,320	10.2	400	75.50	60.60				
16:00	1,440	10.2	400	75.60	60.70				
18:00	1,560	10.2	400	75.60	60.70				
20:00	1,680	10.2	400	75.60	60.70				

장기양수시험일보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-2

위 치	경상남도 통영시 산양읍 연화리 1079번지								
조사자	한국농어촌공사 지질직 4급 고동호	작업기간	시 작: 2011년 09월 01일 11시 35 분 완 료: 2011년 09월 05일 12시 00 분						
양수기	수중모터펌프	마력: 5 Hp	설치심도 100 m						
우물현황	직경: 250mm		심 도: 152 m			자재: -			
양수시험 결 과	자연수위: (피압) 30.00 m		안정수위: 71.60 m			양수량: 300 m ³ /d			
기타사항	V-notch에 의한 일류수심 측정								
관측시간	경과시간 (min)	일류수심 (cm)	양수량 (m ³ /d)	수위 (m)	수위강하 량(m)	비 고			
						PH	EC (μs/cm)	TDS (mg/ℓ)	수온 (℃)
11:35	0	-	-	30.00	0.00				
11:36	1	9.1	300	37.50	7.50				
11:37	2	9.1	300	43.10	13.10				
16:03	3	9.1	300	46.50	16.50				
16:04	4	9.1	300	48.90	18.90				
16:05	5	9.1	300	51.30	21.30				
16:10	10	9.1	300	57.80	27.80				
16:15	15	9.1	300	61.20	31.20				
16:20	20	9.1	300	63.50	33.50				
16:25	25	9.1	300	64.70	34.70				
16:30	30	9.1	300	65.60	35.60				
16:35	35	9.1	300	66.30	36.30				
16:40	40	9.1	300	66.90	36.90				
16:45	45	9.1	300	67.40	37.40				
16:50	50	9.1	300	67.80	37.80				
16:55	55	9.1	300	68.10	38.10				
17:00	60	9.1	300	68.40	38.40	7.23	161	81	18.0
17:15	75	9.1	300	69.00	39.00				
17:30	90	9.1	300	69.50	39.50				
17:45	105	9.1	300	69.60	39.60				
18:00	120	9.1	300	69.80	39.80				
19:00	180	9.1	300	70.00	40.00				
20:00	240	9.1	300	70.20	40.20				
21:00	300	9.1	300	70.40	40.40				
22:00	360	9.1	300	70.50	40.50				
0:00	480	9.1	300	70.80	40.80				
2:00	600	9.1	300	71.10	41.10				
4:00	720	9.1	300	71.10	41.10				
6:00	840	9.1	300	71.20	41.20				
8:00	960	9.1	300	71.30	41.30				
10:00	1,080	9.1	300	71.40	41.40				
12:00	1,200	9.1	300	71.50	41.50				
14:00	1,320	9.1	300	71.50	41.50				
16:00	1,440	9.1	300	71.60	41.60				
18:00	1,560	9.1	300	71.60	41.60				
20:00	1,680	9.1	300	71.60	41.60				

장기양수시험일보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-3

위 치	경상남도 통영시 산양읍 연화리 1196번지								
조사자	한국농어촌공사 지질직 4급 고동호	작업기간	시 작: 2011년 08월 31일 11시 35 분						
			완 료: 2011년 09월 02일 12시 00 분						
양수기	수중모터펌프	마력: 5 Hp	설치심도		100 m				
우물현황	직경: 250mm		심 도: 163 m		자재: -				
양수시험 결 과	자연수위: (피압)		안정수위:		양수량:				
	3.40 m		38.11 m		70 m ³ /d				
기타사항	V-notch에 의한 일류수심 측정								
관측시간	경과시간 (min)	일류수심 (cm)	양수량 (m ³ /d)	수위 (m)	수위강하 량(m)	비 고			
						PH	EC (μs/cm)	TDS (mg/ℓ)	수온 (℃)
11:35	0	-	-	3.40	0.00				
11:36	1	5.1	70	10.10	6.70				
11:37	2	5.1	70	16.20	12.80				
16:03	3	5.1	70	19.50	16.10				
16:04	4	5.1	70	22.30	18.90				
16:05	5	5.1	70	24.40	21.00				
16:10	10	5.1	70	28.80	25.40				
16:15	15	5.1	70	30.70	27.30				
16:20	20	5.1	70	31.90	28.50				
16:25	25	5.1	70	33.00	29.60				
16:30	30	5.1	70	33.90	30.50				
16:35	35	5.1	70	34.50	31.10				
16:40	40	5.1	70	34.80	31.40				
16:45	45	5.1	70	35.20	31.80				
16:50	50	5.1	70	35.40	32.00				
16:55	55	5.1	70	35.70	32.30				
17:00	60	5.1	70	35.80	32.40	7.23	161	81	18.0
17:15	75	5.1	70	36.10	32.70				
17:30	90	5.1	70	36.40	33.00				
17:45	105	5.1	70	36.50	33.10				
18:00	120	5.1	70	36.60	33.20				
19:00	180	5.1	70	36.90	33.50				
20:00	240	5.1	70	37.00	33.60				
21:00	300	5.1	70	37.10	33.70				
22:00	360	5.1	70	37.20	33.80				
0:00	480	5.1	70	37.40	34.00				
2:00	600	5.1	70	37.60	34.20				
4:00	720	5.1	70	37.70	34.30				
6:00	840	5.1	70	37.70	34.30				
8:00	960	5.1	70	37.80	34.40				
10:00	1,080	5.1	70	37.90	34.50				
12:00	1,200	5.1	70	38.00	34.60				
14:00	1,320	5.1	70	38.00	34.60				
16:00	1,440	5.1	70	38.11	34.71				
18:00	1,560	5.1	70	38.11	34.71				
20:00	1,680	5.1	70	38.11	34.71				

장기양수시험일보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-4

위 치	경상남도 통영시 산양읍 연화리 632		
조사자	한국농어촌공사 지질직 4급 고동호	작업기간	시 작: 2011년 09월 07일 11시 35 분 완 료: 2011년 09월 09일 12시 00 분
양수기	수중모터펌프	마력: 10 Hp	설치심도 100 m
우물현황	직경: 250mm	심 도: 112 m	자재: -
양수시험 결 과	자연수위: (피압) 14.95 m	안정수위: 69.49 m	양수량: 400 m ³ /d

기타사항 V-notch에 의한 일류수심 측정

관측시간	경과시간 (min)	일류수심 (cm)	양수량 (m ³ /d)	수위 (m)	수위강하 량(m)	비 고			
						PH	EC (μ S/cm)	TDS (mg/ℓ)	수온 (℃)
11:35	0	-	-	14.95	0.00				
11:36	1	10.2	400	21.90	6.95				
11:37	2	10.2	400	28.60	13.65				
16:03	3	10.2	400	32.90	17.95				
16:04	4	10.2	400	36.50	21.55				
16:05	5	10.2	400	38.80	23.85				
16:10	10	10.2	400	45.30	30.35				
16:15	15	10.2	400	49.30	34.35				
16:20	20	10.2	400	51.80	36.85				
16:25	25	10.2	400	53.90	38.95				
16:30	30	10.2	400	55.20	40.25				
16:35	35	10.2	400	56.60	41.65				
16:40	40	10.2	400	57.70	42.75				
16:45	45	10.2	400	58.50	43.55				
16:50	50	10.2	400	59.40	44.45				
16:55	55	10.2	400	60.10	45.15				
17:00	60	10.2	400	60.60	45.65	7.23	161	81	18.0
17:15	75	10.2	400	62.10	47.15				
17:30	90	10.2	400	63.20	48.25				
17:45	105	10.2	400	64.00	49.05				
18:00	120	10.2	400	64.40	49.45				
19:00	180	10.2	400	66.10	51.15				
20:00	240	10.2	400	66.90	51.95				
21:00	300	10.2	400	67.10	52.15				
22:00	360	10.2	400	67.40	52.45				
0:00	480	10.2	400	67.90	52.95				
2:00	600	10.2	400	68.50	53.55				
4:00	720	10.2	400	68.70	53.75				
6:00	840	10.2	400	69.00	54.05				
8:00	960	10.2	400	69.20	54.25				
10:00	1,080	10.2	400	69.30	54.35				
12:00	1,200	10.2	400	69.40	54.45				
14:00	1,320	10.2	400	69.40	54.45				
16:00	1,440	10.2	400	69.49	54.54				
18:00	1,560	10.2	400	69.49	54.54				
20:00	1,680	10.2	400	69.49	54.54				

장기 양수 시험 일보

사업명: 2011년 지하해수조사사업

공번: TSBH-5

위 치	경상남도 통영시 산양읍 연화리 203번지								
조사자	한국농어촌공사 지질직 4급 고동호	작업기간	시 작: 2011년 09월 08일 11시 35 분 완 료: 2011년 09월 10일 12시 00 분						
양수기	수중모터펌프	마력: 7.5 Hp	설치심도 100 m						
우물현황	직경: 250mm	심 도: 156 m		자재: -					
양수시험 결 과	자연수위: (피압) 1.25 m	안정수위: 54.15 m			양수량: 350 m ³ /d				
기타사항	V-notch에 의한 일류수심 측정								
관측시간	경과시간 (min)	일류수심 (cm)	양수량 (m ³ /d)	수위 (m)	수위강하 량(m)	비 고			
						PH	EC (μs/cm)	TDS (mg/ℓ)	수온 (℃)
11:35	0	-	-	1.25	0.00				
11:36	1	9.7	350	13.50	12.25				
11:37	2	9.7	350	21.40	20.15				
16:03	3	9.7	350	26.10	24.85				
16:04	4	9.7	350	29.90	28.65				
16:05	5	9.7	350	32.60	31.35				
16:10	10	9.7	350	39.10	37.85	8.45	277	139	19.4
16:15	15	9.7	350	42.90	41.65				
16:20	20	9.7	350	44.70	43.45				
16:25	25	9.7	350	46.30	45.05				
16:30	30	9.7	350	47.40	46.15				
16:35	35	9.7	350	48.10	46.85				
16:40	40	9.7	350	49.00	47.75				
16:45	45	9.7	350	49.40	48.15				
16:50	50	9.7	350	49.90	48.65				
16:55	55	9.7	350	50.30	49.05	8.30	652	327	20.4
17:00	60	9.7	350	50.50	49.25				
17:15	75	9.7	350	51.20	49.95				
17:30	90	9.7	350	51.50	50.25	8.30	652	327	20.4
17:45	105	9.7	350	51.70	50.45				
18:00	120	9.7	350	51.90	50.65				
19:00	180	9.7	350	52.40	51.15				
20:00	240	9.7	350	52.80	51.55				
21:00	300	9.7	350	53.20	51.95				
22:00	360	9.7	350	53.30	52.05				
0:00	480	9.7	350	53.50	52.25				
2:00	600	9.7	350	53.50	52.25				
4:00	720	9.7	350	53.70	52.45				
6:00	840	9.7	350	53.80	52.55				
8:00	960	9.7	350	53.90	52.65				
10:00	1,080	9.7	350	53.90	52.65				
12:00	1,200	9.7	350	54.00	52.75				
14:00	1,320	9.7	350	54.00	52.75				
16:00	1,440	9.7	350	54.15	52.90				
18:00	1,560	9.7	350	54.15	52.90				
20:00	1,680	9.7	350	54.15	52.90				

7. 통산1지구 음용수분석 수질성적서
및 분석결과



국가공인 수질검사기관

경남과학기술대학교 수질검사센터

GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER

9) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr

센터장: 박현건, 부센터장: 이춘식, 실장: 변은숙, 담당: 차연화

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

문서번호 : 1109-0171
시행일자 : 2011년 9월 14일
보 내 : 수질검사센터

제 목 : 수질검사성적서 교부
반 음 : 경남 창원시 용호동 8-3
한국농어촌공사 고동호 귀중

641-733

시험성적서

1. 검 체 내 용					
검체명	지하수 음용수	검사목적	참고용	접수번호	1109-0171
의뢰인	고동호	채수일시	2011년 9월 6일	접수일자	2011년 9월 6일
채수장소	경남 통영시 산양읍 연화리 1079 B-1				
귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.					
2. 시험 결과					
검사항목	기준	결과	검사항목	기준	결과
일반세균-중온	100CFU/mL 이하	70	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L 이하	불검출
총대장균군	불검출/100mL	검출	1,4-다이옥산	0.050mg/L 이하	불검출
분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	경도	300mg/L 이하	1491
납	0.010mg/L 이하	불검출	과망간산칼륨소비량	10.0mg/L 이하	0.3
비스포	1.5mg/L 이하	불검출	냄새	없음	없음
비소	0.010mg/L 이하	0.013	맛	없음	없음
세레늄	0.010mg/L 이하	0.013	동	1.0000mg/L 이하	불검출
수은	0.001mg/L 이하	불검출	색도	5도 이하	불검출
시안	0.01mg/L 이하	불검출	음이온계면활성제(ABS)	0.50mg/L 이하	불검출
크롬	0.05mg/L 이하	불검출	수소이온농도	5.8 - 8.5	7.5
암모니아성질소	0.50mg/L 이하	불검출	아연	3.0000mg/L 이하	0.045
질산성질소	10.0mg/L 이하	0.5	염소이온	250mg/L 이하	3338
카드뮴	0.005mg/L 이하	불검출	중발잔류물	500mg/L 이하	6626
보론	1.00mg/L 이하	0.59	철	0.30mg/L 이하	0.05
페놀	0.005mg/L 이하	불검출	망간	0.300mg/L 이하	0.111
다이아지논	0.0200mg/L 이하	불검출	탁도	1.00NTU 이하	0.12
파라티온	0.0600mg/L 이하	불검출	황산이온	200mg/L 이하	478
페니트로티온	0.0400mg/L 이하	불검출	알루미늄	0.20mg/L 이하	불검출
카바릴	0.0700mg/L 이하	불검출			
1,1,1-트리클로로에탄	0.100mg/L 이하	불검출			
테트라클로로에틸렌(PCE)	0.010mg/L 이하	불검출			
트리클로로에틸렌(TCE)	0.030mg/L 이하	불검출			
디클로로메탄	0.020mg/L 이하	불검출			
벤젠	0.010mg/L 이하	불검출			
톨루엔	0.700mg/L 이하	불검출			
에틸벤젠	0.300mg/L 이하	불검출			
크실렌	0.500mg/L 이하	불검출			
1,1-디클로로에틸렌	0.030mg/L 이하	불검출			
사염화탄소	0.002mg/L 이하	불검출			
판 정	상기항목부적합				
수질기준초과항목	총대장균군, 비소, 세레늄, 경도, 염소이온, 중발잔류물, 황산이온				
비고 : 판정은 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 먹는물의 수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할 수 없습니다.					
경남과학기술대학교 수질검사센터 소장 2011년 9월 14일					

- 21C 지역환경을 선도하는 경남과학기술대학교 수질검사센터 -

<TSBH-01호공 음용수 분석 수질성적서>



국가공인 수질검사기관

경남과학기술대학교 수질검사센터
 GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER

주소) 660-758·경남 진주시 월암동 150번지, 전화 055)751-3545
 전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr
 센터장:박현진, 부센터장:이춘식, 실장:변은숙, 담당:차연화

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

문서번호 : 1109-0123
 시행일자 : 2011년 9월 8일
 보 내 : 수질검사센터

제 목 : 수질검사성적서 교부
 반 음 : 경남 창원시 용호동 8-3
 한국농어촌공사 고동호 귀중

641-733

시험성적서

1. 검 체 내 용					
검체명	지하수 음용수	검사목적	참고용	접수번호	1109-0121
의뢰인	고동호	채수일시	2011년 9월 2일	접수일자	2011년 9월 2일
채수장소	경남 통영시 산양읍 연화리 1079				
귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.					
2. 시험 결과					
검사항목	기준	결과	검사항목	기준	결과
일반세균-중은	100CFU/mL 이하	170	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L 이하	불검출
총대장균군	불검출/100mL	검출	1,4-다이옥산	0.050mg/L 이하	불검출
분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	경도	300mg/L 이하	1482
납	0.010mg/L 이하	0.007	과망간산칼륨소비량	10.0mg/L 이하	0.4
불소	1.5mg/L 이하	불검출	냄새	없음	없음
비소	0.010mg/L 이하	0.010	맛	없음	없음
세레늄	0.010mg/L 이하	0.010	등	1.0000mg/L 이하	불검출
수은	0.001mg/L 이하	불검출	색도	5도 이하	불검출
시안	0.01mg/L 이하	불검출	음이온계면활성제(ABS)	0.50mg/L 이하	불검출
크롬	0.05mg/L 이하	불검출	수소이온농도	5.8 ~ 8.5	7.5
암모니아성질소	0.50mg/L 이하	불검출	아연	3.0000mg/L 이하	0.016
질산성질소	10.0mg/L 이하	0.5	염소이온	250mg/L 이하	3598
카드뮴	0.005mg/L 이하	불검출	증발잔류물	500mg/L 이하	6940
보론	1.00mg/L 이하	0.57	철	0.30mg/L 이하	0.05
페놀	0.005mg/L 이하	불검출	망간	0.300mg/L 이하	0.195
다이아지논	0.0200mg/L 이하	불검출	탁도	1.00NTU 이하	0.14
파라티온	0.0600mg/L 이하	불검출	황산이온	200mg/L 이하	525
페니트로티온	0.0400mg/L 이하	불검출	알루미늄	0.20mg/L 이하	불검출
카바릴	0.0700mg/L 이하	불검출			
1,1,1-트리클로로에탄	0.100mg/L 이하	불검출			
테트라클로로에틸렌(PCE)	0.010mg/L 이하	불검출			
트리클로로에틸렌(TCE)	0.030mg/L 이하	불검출			
디클로로메탄	0.020mg/L 이하	불검출			
벤젠	0.010mg/L 이하	불검출			
톨루엔	0.700mg/L 이하	0.002			
에틸벤젠	0.300mg/L 이하	불검출			
크실렌	0.500mg/L 이하	불검출			
1,1-디클로로에틸렌	0.030mg/L 이하	불검출			
시암화탄소	0.002mg/L 이하	불검출			
관 정	상기항목부적합				
수질기준초과항목	일반세균-중은, 총대장균군, 경도, 염소이온, 증발잔류물, 황산이온				
비고 : 판정은 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 먹는물의 수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할 수 없습니다.					
경남과학기술대학교 수질검사센터 소장					2011년 9월 8일

- 21C 지역환경을 선도하는 경남과학기술대학교 수질검사센터 -

<TSBH-02호공 음용수 분석 수질성적서>



국가공인 수질검사기관

경남과학기술대학교 수질검사센터

GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER

우) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr

센터장: 박현건, 부센터장: 이훈식, 실장: 변은숙, 담당: 차연화

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

문서번호 : 1109-0195
시행일자 : 2011년 9월 15일
보 내 : 수질검사센터

제 목 : 수질검사성적서 교부
받 음 : 경남 창원시 용호동 8-3
한국농어촌공사 고동호 귀중

641-733

시험성적서

1. 검 체 내 용					
검체명	지하수 음용수	검사목적	참고용	접수번호	1109-0280
의뢰인	고동호	채수일시	2011년 9월 8일	접수일자	2011년 9월 8일
채수장소	경남 통영시 산양읍 연화리 632				
귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.					
2. 시험 결과					
검사항목	기준	결과	검사항목	기준	결과
일반세균-총은	100CFU/mL 이하	50	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L 이하	불검출
총대장균군	불검출/100mL	불검출	1,4-다이옥산	0.050mg/L 이하	불검출
분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	경도	300mg/L 이하	576
납	0.010mg/L 이하	불검출	과망간산칼륨소비량	10.0mg/L 이하	0.6
불소	1.5mg/L 이하	불검출	냄새	없음	없음
비소	0.010mg/L 이하	0.010	맛	없음	없음
세레늄	0.010mg/L 이하	불검출	동	1.0000mg/L 이하	불검출
수은	0.001mg/L 이하	불검출	색도	5도 이하	불검출
시안	0.01mg/L 이하	불검출	음이온계면활성제(ABS)	0.50mg/L 이하	불검출
크롬	0.05mg/L 이하	불검출	수소이온농도	5.8 ~ 8.5	7.6
암모니아성질소	0.50mg/L 이하	불검출	아연	3.0000mg/L 이하	0.064
질산성질소	10.0mg/L 이하	불검출	염소이온	250mg/L 이하	885
카드뮴	0.005mg/L 이하	불검출	중발잔류물	500mg/L 이하	1894
보론	1.00mg/L 이하	0.13	철	0.30mg/L 이하	불검출
페놀	0.005mg/L 이하	불검출	망간	0.300mg/L 이하	0.614
다이아지논	0.0200mg/L 이하	불검출	탁도	1.00NTU 이하	0.16
파라티온	0.0600mg/L 이하	불검출	황산이온	200mg/L 이하	147
페니트로티온	0.0400mg/L 이하	불검출	알루미늄	0.20mg/L 이하	불검출
카바릴	0.0700mg/L 이하	불검출			
1,1,1-트리클로로에탄	0.100mg/L 이하	불검출			
테트라클로로에틸렌(PCE)	0.010mg/L 이하	불검출			
트리클로로에틸렌(TCE)	0.030mg/L 이하	불검출			
디클로로메탄	0.020mg/L 이하	0.003			
벤젠	0.010mg/L 이하	불검출			
톨루엔	0.700mg/L 이하	불검출			
에틸벤젠	0.300mg/L 이하	불검출			
크실렌	0.500mg/L 이하	불검출			
1,1-디클로로에틸렌	0.030mg/L 이하	불검출			
사염화탄소	0.002mg/L 이하	불검출			
판 정	상기검목부적합				
수질기준초과항목	경도, 염소이온, 중발잔류물, 망간				
비고 : 판정은 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 먹는물의 수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할 수 없습니다.					
경남과학기술대학교 수질검사센터 소장				2011년 9월 15일	

- 21C 지역환경을 선도하는 경남과학기술대학교 수질검사센터 -

<TSBH-04호공 음용수 분석 수질성적서>



국가공인 수질검사기관

경남과학기술대학교 수질검사센터

GYEONGNAM NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY WATER QUALITY RESEARCH CENTER

주소) 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지, 전화 055)751-3545
전송 055)751-3548, Email : water@jinju.ac.kr
센터장: 박현건, 부센터장: 이준식, 실장: 변은숙, 담당: 차인화

맑은물! 맑은환경! 수질검사센터의 목표입니다.

문서번호 : 1109-0315
시행일자 : 2011년 9월 16일
보 내 린 : 수질검사센터

제 목 : 수질검사성적서 교부
발 음 : 경남 창원시 용호동 8-3
한국농어촌공사 고동호 귀중

641-733

시험성적서

1. 검 체 내 용					
검체명	지하수 음용수	검사목적	참고용	접수번호	1109-0314
의뢰인	고동호	채수일시	2011년 9월 9일	접수일자	2011년 9월 9일
채수장소	경남 통영시 산양읍 연화리 203				
귀하께서 우리 수질검사센터에 의뢰한 검체에 대한 검사결과는 다음과 같습니다.					
2. 시험 결과					
검사항목	기준	결과	검사항목	기준	결과
일반세균-중은	100CFU/mL 이하	93	1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.003mg/L 이하	불검출
총대장균군	불검출/100mL	불검출	1,4-다이옥산	0.050mg/L 이하	불검출
분원성대장균군	불검출/100mL	불검출	경도	300mg/L 이하	429
납	0.010mg/L 이하	불검출	파망간산칼륨소비량	10.0mg/L 이하	0.9
불소	1.5mg/L 이하	불검출	냄새	없음	없음
비소	0.010mg/L 이하	불검출	맛	없음	없음
세레늄	0.010mg/L 이하	불검출	동	1.0000mg/L 이하	0.008
수은	0.001mg/L 이하	불검출	색도	5도 이하	불검출
시안	0.01mg/L 이하	불검출	음이온계면활성제(ABS)	0.50mg/L 이하	불검출
크롬	0.05mg/L 이하	불검출	수소이온농도	5.8 ~ 8.5	7.5
암모니아성질소	0.50mg/L 이하	불검출	아연	3.0000mg/L 이하	0.033
질산성질소	10.0mg/L 이하	1.3	염소이온	250mg/L 이하	1010
카드뮴	0.005mg/L 이하	불검출	중발잔류물	500mg/L 이하	1886
보론	1.00mg/L 이하	0.19	철	0.30mg/L 이하	불검출
페놀	0.005mg/L 이하	불검출	망간	0.300mg/L 이하	불검출
다이아지논	0.0200mg/L 이하	불검출	탁도	1.00NTU 이하	0.17
파라티온	0.0600mg/L 이하	불검출	황산이온	200mg/L 이하	117
페니트로티온	0.0400mg/L 이하	불검출	알루미늄	0.20mg/L 이하	0.02
카바릴	0.0700mg/L 이하	불검출			
1,1,1-트리클로로에탄	0.100mg/L 이하	불검출			
테트라클로로에틸렌(PCE)	0.010mg/L 이하	불검출			
트리클로로에틸렌(TCE)	0.030mg/L 이하	불검출			
디클로로에탄	0.020mg/L 이하	0.005			
벤젠	0.010mg/L 이하	불검출			
톨루엔	0.700mg/L 이하	불검출			
에틸벤젠	0.300mg/L 이하	불검출			
크실렌	0.500mg/L 이하	불검출			
1,1-디클로로에틸렌	0.030mg/L 이하	불검출			
사염화탄소	0.002mg/L 이하	불검출			
판 정	상기항목부적합				
수질기준초과항목	경도, 염소이온, 중발잔류물				
비고 : 판정은 먹는물 수질기준 및 검사등에 관한 규칙 제2조 먹는물의 수질기준에 의거합니다. 본 성적서는 시험의뢰목적 이외의 용도로 사용할 수 없습니다.					
경남과학기술대학교 수질검사센터				소장	
				2011년 9월 16일	

- 21C 지역환경을 선도하는 경남과학기술대학교 수질검사센터 -

<TSBH-05호공 음용수 분석 수질성적서>

<부록7> 양·음이온 분석 결과

종류	Sample Name	pH	Conc(mg/l)							
			Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
해수침투관측망	도산 1지구	7.13	9.63	5.48	1.21	0.71	31.73	7.71	2.14	2.54
해수침투관측망	도산 2지구	7.44	36.06	35.84	4.55	1.70	90.78	52.78	31.41	7.33
시추조사공	TSBH-1	7.16	1893.68	249.28	29.35	197.22	98.85	2574.85	233.60	679.10
시추조사공	TSBH-2	7.06	1894.13	268.34	25.08	234.24	107.39	2366.5	218.10	683.06
시추조사공	TSBH-4	7.23	294.46	165.02	50.81	6.14	161.08	607.891	2.23	213.53
시추조사공	TSBH-5	7.31	372.36	77.30	62.69	8.92	140.34	637.865	2.87	160.24

양·음이온 분석 결과(계속)

Conc(meq/l)								Total	Total	Charge Balance
Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cation	Anion	
0.42	0.27	0.10	0.02	0.52	0.22	0.03	0.05	0.81	0.82	-0.90
1.57	1.79	0.37	0.04	1.49	1.49	0.51	0.15	3.78	3.64	1.88
82.37	12.44	2.42	5.04	1.62	72.63	3.77	14.14	102.27	92.15	5.20
82.39	13.39	2.06	5.99	1.76	66.75	3.52	14.22	103.84	86.25	9.25
12.81	8.23	4.18	0.16	2.64	17.15	0.04	4.45	25.38	24.27	2.24
16.20	3.86	5.16	0.23	2.30	17.99	0.05	3.34	25.44	23.67	3.60



8. 통산1지구 시추공 모니터링 자료

통산1지구모니터링 결과

<통산1지구 지하해수 시추공 월별 모니터링 결과>

공번	측정일	수위	수질				
			온도 (°C)	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	비중 (d20/20)	염도 (‰)
TSBH-01	2011-10-13	12.15	17.7	7.25	1296	1.003	4
	2011-10-21	12.18	18.2	7.77	495	1.003	4
	2011-10-29	12.09	18.4	7.91	392	1.002	3
	2011-11-07	12.13	18	7.23	447	1.003	3.5
	2011-11-15	12.1	17.2	7.34	437	1.004	5
	2011-11-23	11.03	17.2	7.76	349	1.003	5
TSBH-02	2011-10-13	12.1	18.6	7.3	3048	1.004	6
	2011-10-21	11.8	18.5	6.16	2787	1.004	6
	2011-10-29	12.3	18.3	5.94	2388	1.003	4
	2011-11-07	11.9	18	6.06	3332	1.004	5
	2011-11-15	11.5	17	6.1	2780	1.005	6.5
	2011-11-23	12.5	16.7	6.1	2587	1.004	8
TSBH-03	2011-10-13	1.15	18.6	6.05	3999	1.005	7
	2011-10-21	1.16	18.6	8.82	3999	1.005	7
	2011-10-29	1.18	18.6	8.66	3999	1.004	6
	2011-11-07	1.2	18.4	8.21	3999	1.005	7
	2011-11-15	1.18	17.5	6.14	3999	1.007	10
	2011-11-23	1.2	17.6	8.44	3999	1.007	10

공번	측정일	수위	수질				
			온도 (℃)	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	비중 (d20/20)	염도 (‰)
TSBH-04	2011-10-13	9.4	18.5	7.38	1209	1.004	6
	2011-10-21	9.3	18.5	6.55	3999	1.004	6
	2011-10-29	9.4	18.5	6.45	2408	1.002	3
	2011-11-07	9.5	18.4	6.54	2560	1.003	3.5
	2011-11-15	9.3	18	6.36	3999	1.006	7.5
	2011-11-23	9.5	18	6.72	3999	1.003	5
TSBH-05	2011-10-13	0.8	18.6	7.3	1705	1.003	5
	2011-10-21	0.9	18.7	7.85	300	1.003	5
	2011-10-29	1	18.7	7.51	322	1.002	3
	2011-11-07	1	18.3	7.57	344	1.002	3
	2011-11-15	0.8	18	7.19	355	1.004	6
	2011-11-23	0.9	17.8	7.34	310	1.005	7.5

통영기상대 강우자료

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
1일			5		0.5	0.1	14	55			
2일								33.5			
3일				4.5	0		1.5				
4일							22				15
5일									1.5	0	31
6일				2	3.5		16.5	0.5	0.3		6
7일				53	2		31	11			0.5
8일		7.5		6.5			32.5	44			0.5
9일					14	0	70	2			
10일		6.2			31	14	1	0	26		
11일				1	92	10		0	7.5		0.5
12일					3.5	1.5	0.1		0.5	0	
13일		0					18	61.5		0	
14일		0.1					5	2.5		20	
15일				0.1			9.5			1	
16일		3									
17일		7.5						1			0.5
18일								4.5			80
19일								3.5			16.5
20일			33		4	0		14.5			
21일			1.5		0.2		0	36		24	
22일				45.5	1	56.5		1.5		63	
23일					12.5	0		14			7
24일			0			4	0	0		3	
25일				0		56		0.5			
26일				9.5	16	46.5	0.5	0			
27일		56		1	0.5		3				
28일		7				18	0				1
29일	0					0.3			4.5	4.5	
30일				14		33.5				0.5	8
31일					0						
합계	0	87.3	39.5	137.1	180.7	240.4	224.6	285.5	40.3	116	166.5

9. 통산1지구 지하해수 활용방안에
대한 어업인의 의견수렴 내용

■ TSBH-01~02호공 주변 양식장 대상 의견수렴 결과

지구	구역	상호	위치	대표 어종	어업 종류	필요 수량 (m ³ /일)	생육조건		지하해수				
							염도 (비중, ‰)	온도 (°C)	산출량 (m ³ /일)	염도 (‰)	온도 (°C)	공번	영향 반경 (m)
통산1	A	오양 수산	통영시 산양읍 연화리 1079번지	어류 해삼	육상종묘	2000	33 (1.0032)	22	500 400	5 6	17.7 18.8	BH-1 BH-2	38 39

지하해수 활용계획 (양식어가 설문조사)	어가 호응도	인근 환경	개발형태	소요수량 (공, 개소)	개발 시 문제점	비고
어류, 해삼을 부화시켜 치어를 출하하는 양식단지로 수온이 22°C가 유지될 때 가장 성장이 좋으며, 금번 시추조사결과 지하해수 조사공의 산출량이 많아 만족스러우나, 염분농도는 낮음. 수량이 많으면 온도조절 목적으로 해수와 일정비율로 혼합하여 사용할 계획임.	전체 양식의 소요량이 아니더라도 일정 수준으로의 양이 부족한다면 지하해수의 사용에 대한 호응도는 아주 좋음.	주변 마을과는 다소 거리를 두고 있는 양식단지로서 바닷가 바로 옆에 위치하여 있으며 시추에 따른 민원 의 소지가 없음	본 조사공은 해안가에서 10여m 정도 떨어져 있으며 지질 구조는 안산암이 분포하고 있음. 주대수층은 지표하 15m 이하부터 분포하고 있어 층적관정 내지 집수정 개발은 불리하며 암반관정이 가장 효과적임.	지하해수 산출량은 900 m ³ /일이고, 개발 가능량은 약 700m ³ /일이다.	부존성이 다른 지역에 비해 상대적으로 수량은 많으나 양식장의 규모에 비해서는 다소 부족한 면도 있어 필요수량을 충족시키기 위해서는 추가 시추공이 필요함	

■ TSBH-03호공 주변 양식장 대상 의견수렴 결과

지구	구역	상호	위치	대표 어종	어업 종류	필요 수량 (m ³ /일)	생육조건		지하해수				
							염도 (비중, ‰)	온도 (°C)	산출량 (m ³ /일)	염도 (‰)	온도 (°C)	공번	영향 반경 (m)
통산1	B	경성수산	통영시 산양읍 연화리 1196번지	어류	육상종묘	400	34 (1.0029)	23	80	4	18.6	BH-3	21

지하해수 활용계획 (양식어가 설문조사)	어가 호응도	인근 환경	개발형태	소요수량 (공, 개소)	개발 시 문제점	비고
전복 등을 채묘하는 양식장으로 수온이 13°C가 유지될 때 양식이 충분히 가능하므로 지하해수 사용을 희망하나, 금번 시추조사결과 지하해수 조사공의 산출량이 적고, 염분농도가 해수보다 낮아 수조에 직접 사용하는 것은 어려움. 수량이 많으면 온도조절 목적으로 해수와 일정비율로 혼합하여 사용할 계획임.	전체 양식의 소요량이 아니더라도 일정 수준으로의 양이 부족한다면 지하해수의 사용에 대한 호응도는 아주 좋음.	바닷가 바로 옆에 인접하여 농경지 및 민가의 영향이 없고 조용함	본 조사공은 해안가에서 10여m 정도 떨어져 있으며 분포지질은 안산암이 분포하고 있음. 산출량이 적어 관정으로의 개발보다 다수의 시추공을 통한 히트펌프의 사용이 효과적으로 판단됨	지하해수 산출량은 80m ³ /일이고, 개발 가능량은 약 70m ³ /일이다.	부존성이 미약해 상대적으로 수량에 영향이 적은 히트펌프로의 사용이 유리하나 필요수량을 충족시키기 위해서는 많은 수의 시추공이 필요함.	

■ TSBH-04호공 주변 양식장 대상 의견수렴 결과

지구	구역	상호	위치	대표 어종	어업 종류	필요 수량 (m ³ /일)	생육조건		지하해수				
							염도 (비중, ‰)	온도 (°C)	산출량 (m ³ /일)	염도 (‰)	온도 (°C)	공번	영향 반경 (m)
통산1	C	SJ 수산	통영시 산양읍 연화리 632번지	어류 해삼	육상종묘	600	33 (1.0031)	23	500	7	18.5	BH-4	42

지하해수 활용계획 (양식어가 설문조사)	어가 호응도	인근 환경	개발형태	소요수량 (공, 개소)	개발 시 문제점	비고
어류, 해삼을 들여와 성어로 출하하는 양식장으로 수온이 최소 15°C가 유지될 때 양식이 충분히 가능하므로 지하해수 사용을 강력히 원하고 있음. 금번 시추 조사결과도 지하해수 조사공의 산출량이 많아 당장 쓰기를 원하고 있음 염도는 높은 것 보다는 낮은 경우를 원하고 있어 폐열회수 등의 활용을 염두에 둠	전체 양식의 소요량이 아니더라도 일정 수준으로의 양이 부족한다면 지하해수의 사용에 대한 호응도는 아주 좋음.	해안가 도로 건너 인접한 양식장으로 주변에 농경지 및 민가의 영향은 없음.	본 조사공은 해안가에서 10여m 정도 떨어져 있으며 분포 지질은 안산암이 분포하고 있음. 주대수층은 지표하 93m 이하부터 분포하고 있어 층적관정 내지 집수정 개발은 불리하며 암반관정이 가장 효과적임.	지하해수 산출량은 500 m ³ /일이고, 개발 가능량은 약 400m ³ /일이다.	부존성이 양호해 다방면으로의 활용이 가능하여 인근 추가 시추시에는 기존 조사공과의 영향관계를 고려하여 추가 개발한다면 여러 용도로의 활용이 가능함	

■ TSBH-05호공 주변 양식장 대상 의견수렴 결과

지구	구역	상호	위치	대표 어종	어업 종류	필요 수량 (m ³ /일)	생육조건		지하해수				
							염도 (비중, ‰)	온도 (°C)	산출량 (m ³ /일)	염도 (‰)	온도 (°C)	공번	영향 반경 (m)
통산1	D	대웅 수산	통영시 산양읍 연화리 203번지	전복	육상종묘	300	32 (1.003)	25	400	6	20.1	BH-5	40

지하해수 활용계획 (양식어가 설문조사)	어가 호응도	인근 환경	개발형태	소요수량 (공, 개소)	개발 시 문제점	비고
전복 등을 채묘하는 양식장으로 수온이 15°C가 유지될 때 양식이 충분히 가능하므로 지하해수 사용을 희망하고 있으며 금번 시추조사결과 지하해수 조사공의 산출량이 많으나 염분농도가 해수보다 낮아 수조에 직접 사용하는 것은 어려움. 수량이 많으면 온도조절 목적으로 해수와 일정비율로 혼합하여 사용할 계획임.	전체 양식의 소요량이 아니더라도 일정 수준으로의 양이 부족한다면 지하해수의 사용에 대한 호응도는 아주 좋음.	인접하여 다른 넙치 양식장이 운영되고 있으며 해안가 말단부에 위치하여 농경지 및 민가의 영향은 없음.	본 조사공은 해안가에서 10여m 정도 떨어져 있으며 분포지질은 안산암이 분포하고 있음. 주대수층은 지표하 98m 이하부터 분포하고 있어 층적관정 내지 집수정 개발은 불리하며 암반관정이 가장 효과적임.	지하해수 산출량은 400 m ³ /일이고, 개발 가능량은 약 350m ³ /일이다.	부존성이 양호해 다방면으로의 활용이 가능하여 양식장이 3군데로 산재해 있어 시추공 개발시 양식장과의 거리를 고려하여 개발할 필요가 있음	

10. 통산1지구 개발이용에 관한
오각다이어그램 산정결과

<부록10> 지하해수 개발에 관한 오각다이어그램 산정 결과

▣ 점수 산정 기준

점수	구분	Q - 개발가능량(톤)	S - 염분(%)	T - 수온(℃)	F - 어가호응도	E - 개발환경 및 민원 등 (항목별 각 1점)	적용기준	배점
							5	401이상
							단독 어가	0.5
4	301~400	18.5~19.0	7~8	좋음(양호)	○ 농경지로의 영향성 판단	영향반경 외	1.0	
						영향반경 내	0.5	
3	201~300	18.1~18.5	5~6	보통	○ 주변 주거지로의 영향성 판단	영향반경 외	1.0	
						영향반경 내	0.5	
2	100~200	17.5~18.0	3~4	나쁨	○ 어업종류에 따른 소요수량	중요	1.0	
						양식	0.5	
1	100미만	17.5미만	3미만	아주 나쁨	○ 지자체와 주민의 호응도	좋음	1.0	
						보통	0.5	
						나쁨	0.0	

▣ 통산1지구 지하해수 산출 및 개발여건 조사 결과

공번	개발가능량	염분	수온	어가호응도	개발환경 및 민원 등				
					양식장수	농경지영향	주거지영향	어업종류	주민호응도
TSBH-01	400	5	17.7	좋음(양호)	1	영향반경 외	영향반경 외	중요	좋음
TSBH-02	300	6	18.8	좋음(양호)	1	영향반경 외	영향반경 외	중요	좋음
TSBH-03	70	4	18.6	좋음(양호)	1	영향반경 외	영향반경 외	중요	좋음
TSBH-04	400	7	18.5	좋음(양호)	1	영향반경 외	영향반경 외	중요	좋음
TSBH-05	350	6	20.1	좋음(양호)	1	영향반경 외	영향반경 외	중요	좋음

▣ 통산1지구 오각다이어그램 점수 산정 결과

공번	Q	S	T	F	E					
					계	양식장수	농경지영향	주거지영향	어업종류	주민호응도
TSBH-01	5	3	2	4	4.5	0.5	1	1	1	1
TSBH-02	4	3	4	4	4.5	0.5	1	1	1	1
TSBH-03	1	2	4	4	4.5	0.5	1	1	1	1
TSBH-04	5	4	4	4	4.5	0.5	1	1	1	1
TSBH-05	4	3	5	4	4.5	0.5	1	1	1	1



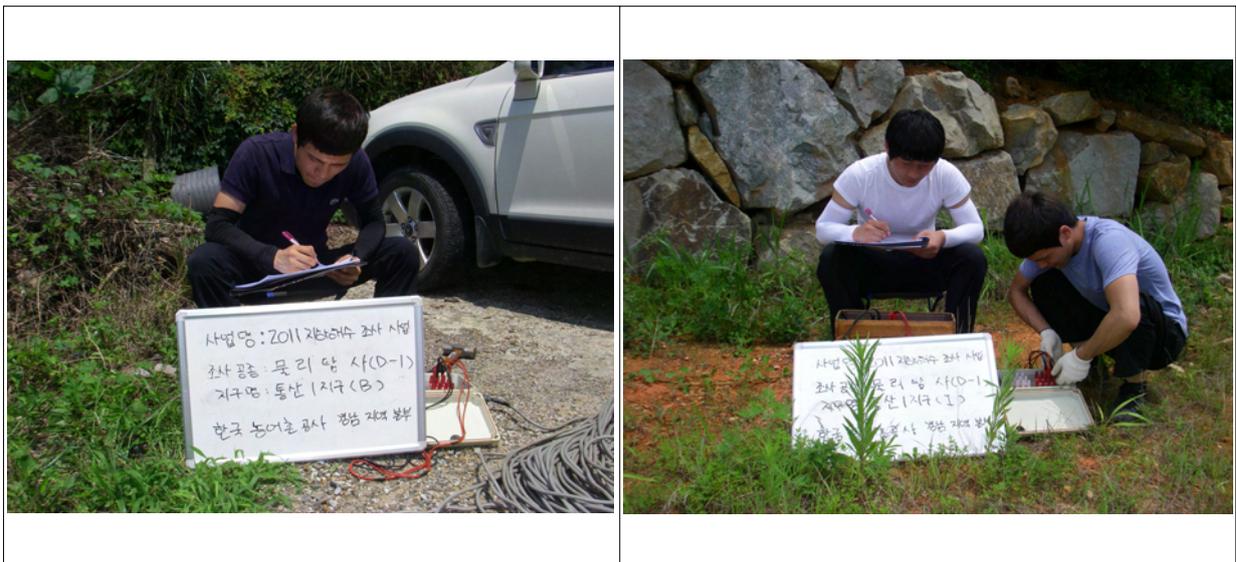
11. 통산1지구 현장조사 사진첩

지하해수조사 현장사진첩

▣ 지하수현황조사



▣ 지구물리탐사



<전기비저항 쌍극자탐사>



<전기비저항 수직탐사>

▣ 시추조사



시추조사 전경



시추조사 전경



시추조사 전경



시추조사 전경

▣ 양수시험



양수시험 전경



양수시험 전경

▣ 물리검층



물리검층 전경



물리검층 전경

