

ORIGINAL ARTICLE

제주 서부 해안 지역 염지하수 특성 및 관정 개발에 관한 연구

조은일 · 고택균¹⁾ · 이민규²⁾ · 감상규*

제주대학교 환경공학과, ¹⁾(주)한가람, ²⁾부경대학교 화학공학과

A Study on the Characteristics of Saline Groundwater and Its Well Development in the Western Coastal Area of Jeju Island

Eun-Il Cho, Tak-Kyun Ko¹⁾, Min-Gyu Lee²⁾, Sang-Kyu Kam*

Department of Environmental Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

¹⁾Hangaram Engineering & Consulting Co. Ltd., 215 Yeonsamro, Jeju 63191, Korea

²⁾Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 48657, Korea

Abstract

The purpose of this study was to minimize salt water intrusion into freshwater aquifers and limit the development of freshwater aquifers, by selecting an appropriate excavation depth of in the western coastal area of Jeju Island. The study site was mostly basaltic lava, which was mainly composed of trachy basalt. A vertical logging test was conducted to investigate the vertical distribution of the groundwater and saline groundwater interface in the study well. It was found that freshwater groundwater, saline groundwater, and freshwater groundwater are distributed from the surface to approximately 16 m, 16~50 m, and 50~60 m, below the ground, respectively. In order to obtain saline groundwater and minimize the inflow of freshwater into this well, the drilling depth should be limited in the range of 16~50 m from the surface. Thus, saline groundwater well development should be carried out with reference to the measurement results, which depend on the drilling depth and EC (electrical conductivity) obtained with drilling apparatus for geology and ground handling.

Key words : Saline groundwater, Western coastal area, Jeju Island, Drilling survey, Groundwater well development

1. 서론

제주특별자치도의 양식어업 환경은 제주도 지역의 지형 특성상 내만이 없고, 태풍 및 계절풍 등의 영향으로 바다에 이루어지는 해면양식은 활발히 이루어지지 않고 있다. 그러나 제주지역의 해양환경을 보면, 청정 지역의 해수와 년 중 일정한 수온을 유지하는 염지하수가 풍부하고 특히 해안의 지하의 대수층에는 비교

적 고염분이 함유된 염지하수가 부존하고 있는 것을 알 수 있다(Park, 1994). 이러한 염지하수는 연중 17℃ 내외로 거의 일정한 수온을 유지하고 있어 여름철 고수온기와 겨울철 저수온기에 자연해수와 혼합하여 사용하므로 육상양식장의 사육생물 성장에 적합한 적정 수온으로 맞춰줄 수 있어 육상양식어업이 활발하게 이루어지고 있다(Chun and Rho, 1991).

제주도의 육상수조식 양식장은 1986년부터 개발되기

Received 5 June, 2018; Revised 19 June, 2018;

Accepted 3 July, 2018

*Corresponding author: Sang-Kyu Kam, Department of Environmental Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
Phone : +82-64-754-3444
E-mail : sakyukam@jejunu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시작하여 연안해수와 염지하수를 동시에 사용하는 대단위 육상수조식 양식업이 성행하고 있으며 계속 증가하는 추세이다(Kim et al., 2003). 대부분의 육상수조식 양식시설들은 제주도 동부지역의 염지하수 개발로 인하여 많이 시설되기 시작하였으나 가뭄 시에 많은 해수의 유입으로 담수 지하수 관정도 높은 염소이온 농도가 발생하여 제주 동부지역을 대상으로 염지하수에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다(Kim et al., 2005). 이러한 요인은 가뭄 시 다수의 관정에서 많은 양의 지하수를 연속적으로 사용하여 나타난 현상으로 추정될 수도 있지만, 제주도 동부지역에 위치한 다수의 염지하수 관정 개발로 인하여 담·염수 혼합 취수 및 담수대수층으로 염수층 유입하여 이로 인한 염소이온농도 증가 요인으로 추정되고 있다(Kim et al., 2001).

최근에는 제주도 대정읍 지역을 포함한 서부지역에서도 많은 염지하수 개발이 이루어지며 다수의 양식시설들이 설치되고 있다. 이로 인하여 가뭄 시에는 해수의 유입으로 많은 담수 지하수 관정에서 염소이온농도가 기준치인 250 mg/L을 초과하는 사례가 빈번히 발생하고 있으나 동부지역에 비해서는 많은 연구가 이루어지고 있지 않다(Lee, 2008).

따라서 본 연구는 제주도 서부 해안지역의 관정을 대상으로 염지하수 부존 특성을 조사한 후, 염지하수 관정 개발 시 담수 대수층으로의 염수 침입을 최소화하고, 적절한 굴착심도 선정함으로써 담수 대수층 개발을 제한하여, 양질의 염수지하수만을 채수할 수 있는 시공 방법을 제안하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

2.1. 연구 대상 지역

본 연구 대상 지역은 제주도 서부 해안지역인 무릉

리 지역을 대상으로 염지하수 부존 특성을 조사하였으며 조사지점은 조사·연구용으로 시추된 시추공을 기준으로 선정하였다. 시추공 위치는 제주특별자치도 서귀포시 대정읍 무릉리 3898-2번지에 위치하고 있다(Fig. 1).

본 연구 대상지역의 지하지질과 수위분포 특성을 파악하기 위하여, 연구 시추 조사는 1공에 대하여 지층분포파악 및 현장실험 및 시료를 채취하였고 부존 조사로는 담·염지하수 보존 심도를 파악하기 위하여 시추 심도별 수직검층을 3회 그리고 시추 완료 후 수직검층을 1회 실시하였다. 그리고 수위 및 전기전도도(EC) 변화를 파악하기 위하여 대수층 구간 전기전도도 일변화 조사를 실시하였으며 조사 시기는 2013년 12월 3일부터 12일까지 조사가 이루어졌으며 조사관정의 현황은 Table 1 그리고 조사 및 연구내용과 사용된 장비는 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

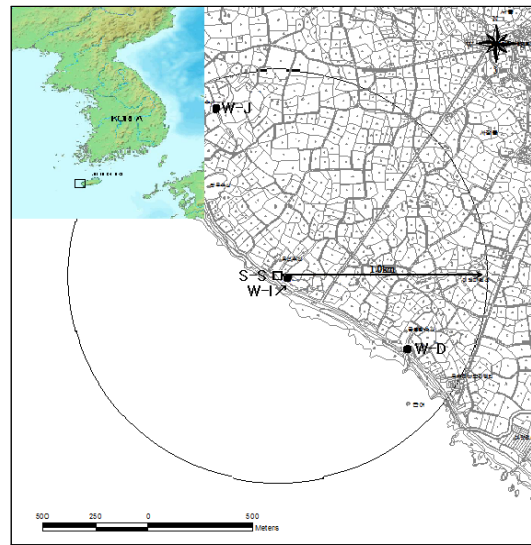


Fig. 1. Study site in the western coastal areas of Jeju Island.

Table 1. The present states of research groundwater wells in the study area

Tube well	Altitude (m)	Drilling depth (m)	Natural water level (m)	Distance from coast (m)	Distance from study site (m)
S-S (Study Site)	10.4	60.0	10.4	45.0	-
W-J	10.8	190.0	10.3	228.8	860.0
W-D	8.0	65.0	6.0	60.0	710.0
W-I	6.5	100.0	6.2	65.0	50.0

Table 2. Investigation items and purposes in study groundwater well

Investigation items	Purpose of investigation
Drilling investigation	Grasp of stratigraphic distribution Field test and water sampling
EC and Temp.	Grasp of storage depths of fresh and saline groundwaters
Water level and EC	Investigation of daily changes in section and EC from fresh and saline groundwater aquifers

Table 3. Equipments and their purposes used in this study

Equipment	Purposes
Hydraulic type drilling machine (POWER 4000D)	Drilling
Water quality meter (HANNA HI 991301)	Measurements of pH, EC and Temp.
CTD-Diver	Measurements of EC and Temp.
Water level meter	Measurement of water level

2.2. 시추조사

시추조사는 직접적으로 지반 및 지하지질 상태를 확인할 수 있는 가장 보편적인 조사방법으로서, 심도별 지층구조 확인이 가능하며, 토층 및 기반암 분포, 절리·파쇄구간, 대수층 형성 심도 등을 파악할 수 있다.

본 연구에서 사용한 시추장비는 Fig. 2에 나타내었

으며 시추조사 시 지반교란이 적고, 코어채취가 가능한 회전 수세식(코어 회수) 방법을 사용하였으며, 시추공경은 제주 화산지질의 특성상 BX size로 실시할 경우 코어회수가 잘 되지 않으므로, 좀 더 정확한 지층 파악을 위해 NX size로 시추하였다.

암석코어채취는 코어회수율을 높이기 위하여 D-3

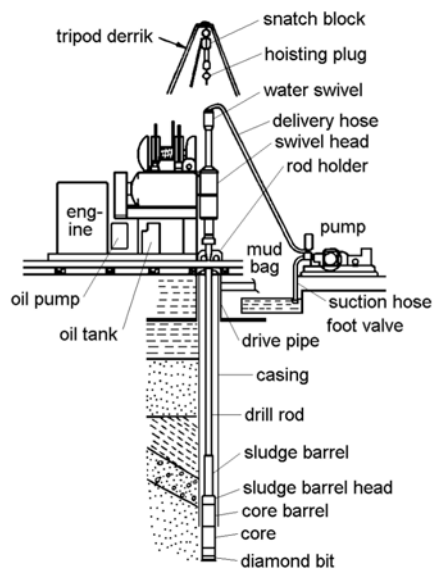


Fig. 2. Hydraulic type drilling machine used in this study.

(또는 Q-3) Core Barrel 사용하였으며, 채취된 시료는 시료상자에 잘 정돈하여 위치 및 심도를 표시한 상태로 보관하고, 관찰된 사항을 근거로 하여 시추 주상도를 작성하였다. 시추심도는 조사대상에 따라 달라지는데, 본 조사에서는 담·염수 지하수 부존 심도 조사를 위하여 지표 하 60 m까지 시추를 실시하였다.

2.3. 담·염수 부존 심도 조사

본 연구에서 담·염수 부존 심도를 조사하기 위하여, 심도별 EC·온도 검층이 가능한 CTD-Diver 측정기를 사용하였으며, 지표에서 지표 하 20 m 내외구간, 20~38 m, 38~50 m, 50~60 m 내외구간까지 NX Size로 시추 후 굴진수를 토출시키고, 매 1 m 내외 간격으로 심도별 EC·온도 측정하였다. 다음 단계 EC·온도 측정시 이전 시추구간은 지하수가 유입되지 않도록 케이싱(차수) 처리 후 검층 시행하였다.

시추 완료 후 NX 시추공 내에 PVC 유공관을 설치하고, 시추 심도 전 구간에 대한 EC 및 온도를 측정하였고, 시추 심도를 3단계로 나누고, 각 구간에 대하여 일별 EC·온도 변화를 관측하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시추공 조사결과

염지하수 개발 가능 여부를 판단하기 위한 염지하수 부존 특성 탐사 목적으로 시추를 실시하게 되었다. 시추심도는 조사대상에 따라 달라지는데, 본 연구에서는 담·염수 지하수 부존 심도 조사를 위하여 지표 하 60 m까지 시추를 실시하였다.

조사공의 전반적인 지층구조는 지질주상도는 Table 4에 제시하였고, 조사공과 주변에 위치한 관정과 심도별 구성 지질을 비교한 것은 Fig. 3에 나타내었다(Water Resource Headquarter of Jeju Special Self-Governing Province, 2012).

조사공(S-S)에서는 전반적으로 퇴적토층의 발달이 미약한 편이며, 표토층을 제외하면 심부 암층 사이 G.L-53.0 m에 한하여 0.7 m 두께로 얇게 분포하고 있다. 암층의 경우 대부분 균열이 발달하고 있는데, 시추 구간 중 1.6~9.6 m, 33.3~46.7 m 구간에 한하여 균열이 적은 편이며, 5.4~10.7 m, 36.5~46.7 m 구간에서는 기공 또한 감소하여 치밀한 암반 상태를 보이고

있었다.

W-J 관정의 지하지질 분포를 보면, 지표에서부터 80.0 m까지는 2.5~31.0 m 두께의 용암류 단위로 이루어진 화산암이 분포하고, 서귀포층은 지표 하 81.0~185.0 m 구간에 104.0 m의 두께로 산출되며, 서귀포층 하부 지표 하 185.0 m부터 U층이 분포하였다. 그리고 분포하는 화산암류를 보면, 모두 9매의 침상장석감람석현무암(AFOB : Acicular Feldspar Olivine Basalt)로 이루어져 있고, 지표 하 5.0~5.5 m와 80.0~81.0 m에는 각각 토양층과 스코리아 퇴적층이 분포하였으며 특히, 이 관정에서 유리질쇄설암층은 지표 하 21.0~38.0 m(두께 : 17.0 m)와 52.0~72.0 m(두께 : 20.0 m)에 분포하고 있고, 서귀포층 중간인 지표 하 134.0~140.0 m에는 6.0 m 두께의 치밀한 조면암질 현무암(TB : Trachy Basalt)이 분포하고 있었다.

W-D 관정의 지하지질 분포를 보면, 해수면 상·하 단부에 장석감람석현무암(FOB : Feldspar Olivine Basalt)가 위치하며, 그 이하부로 화산쇄설층과 장석현무암(FB : Feldspar Basalt)이 층을 이루고 있고, 이들 용암류 경계부에는 소량의 사암층과 화산쇄설층이

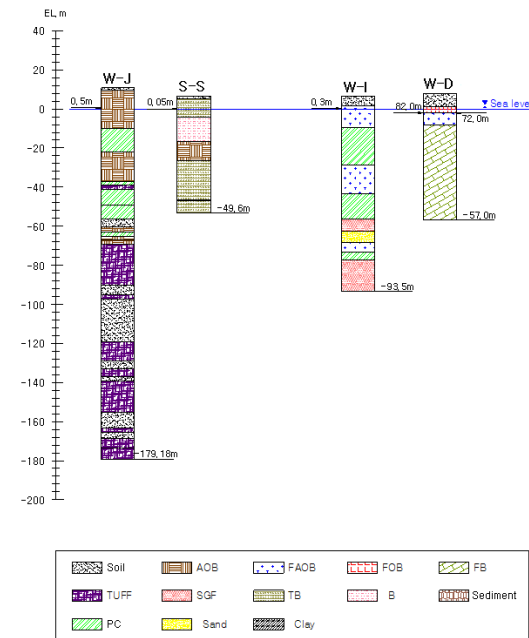


Fig. 3. Sectional geology profiles of the study site and surrounding groundwater wells.

Table 4. The geological columnar section of drilling at study site (S-S)

Drilled depth (m)	Thickness (m)	Strata name	Characteristics
1.6	1.6	S	Soil layer - mainly composed of silt, together with small amounts of sand and gravel - dark yellowish
10.7	9.1	TB	TB (Trachy Basalt) - light gray with few phenocryst - 1.6~5.4 m: pore was developed, but decreased and slight crack was formed with going downwards - 5.4~9.6 m: thimbleful pore and slight crack formation - 9.6~10.7 m: thimbleful pore, crack developed. and clay filled
23.5	12.8	B	B (Basalt) - dark yellowish with highly developed pore - 10.7~14.0 m: yellowish brown with slight horizontal crack developed - 14.0~23.5 m: highly developed crack - 14.0~15.0 m: vertical crack formation and small yellowish brown clay filled - 19.0~20.6 m: severe crack - 15.0~15.5 m, 21.5~23.5 m: slightly crushed. estimated as an aquifer section
33.3	9.8	AOB	AOB (Augite Olivine Basalt) - dark yellowish together with small amounts of olivine and pyroxene - highly developed crack. degenerated to yellowish at crack section. slightly weathered - 27.5~29.0 m, 30.5~33.3 m: severe crack, hyaline rock included, estimated as an aquifer section
53.0	19.7	TB	TB (Trachyte Basalt) - dark yellowish with few phenocryst - 33.3~36.5 m: pore developed, slight crack formation, clay filled - 36.5~46.7 m: thimbleful pore, slight crack formation, clay filled - 46.7~50.8 m: pore developed, crack developed, sand filled - 50.8~51.5 m: severe crack, slightly crushed, estimated as an aquifer section
53.7	0.7	S	Sedimentary layer - light yellowish. mainly composed of sand with small amounts of silt and gravel - semi-solid
60.0	6.3	TB	TB (Trachyte Basalt) - dark yellowish with few phenocryst - small pore, crack developed - 55.0~56.5 m: severe crack, crushed, hyaline rock included, estimated as an aquifer section - 57.5~60.0 m: severe crack, degenerated to yellowish at crackn, a little silt and sand filled

혼재하며 분포하고 있었다. 특히, 공저 최하부 구간 (지표 하 47.0~65.0 m)에는 파쇄대 및 자갈층이 협재되어 있었다.

W-I 관정의 지하 지질 분포를 보면 다공질 현무암

층이 상단부에 있고, 16.0~35.0 m 구간까지는 자갈층 등이 혼재되어 있었다. 또한 하부의 50.0~63.0 m 구간을 포함하여 주 대수층 구간으로 나타났고, 63.0 m 하부로는 서귀포층(퇴적층)이 최종심도(100.0 m)

Table 5. The results of groundwater level measurements

Well	Altitude (m)	Drilling depth (m)	Groundwater level	
			GL.(-m)	EL.(+m)
Study Site	10.4	60.0	10.35	0.05

까지 준고결층, 또는 미고결층이 분포되고 있었다.

이상의 결과에서 보면, 조사공(S-S)는 대부분 현무암질 용암류로 구성되어 있는데, 세부적으로는 조면암질현무암(TB : Trachy Basalt)이 주를 이루고 있었으며, 이는 Lee(2008)가 제주도 서부 해안지역의 수문지질에 대해 연구한 결과와 유사하였고 Kim et al.(2011)의 결과와 유사하였다. 또한 일부 구간에서 휘석감람석현무암(AOB : Augite Olivine Basalt)이 분포하고 있다. 위치에 따라 매우 심한 균열 상태를 보이거나, 약간 파쇄된 구간이 포함되고 있는데, 대부분 이들 심한 균열 또는 약간 파쇄된 구간에서 대수층을 형성하는 것으로 추정된다. 시추과정 및 채취시료 관찰 등에 의해 파악되는 대수층은 15.0~15.5 m, 21.5~23.5 m, 27.5~29.0 m, 30.5~33.3 m, 50.8~51.5 m, 55.0~56.5 m 구간이며, 이를 감안한 차수 및 이용이 계획되어야 할 것으로 사료되었다.

3.2. 지하수위 측정 결과

지하수위측정 결과는 Table 5에 나타내었다. 지하수위 측정은 시추작업 후 공 내에 잔재하게 되는 굴진용수의 영향을 고려하여, 작업종료 24시간 후 수위를 측정하는 것을 원칙으로 하였다.

지하수 수위 측정 결과를 보면, 지하수위가 G.L 10.35 m에 관측되었는데, 해수면 상부 EL.±1 m 내외 선상에 지하수위가 형성되는 해안저지대의 지역적 특성을 감안하면, 본 조사지역에서 10.4 m 내외에서 수위가 형성된 것은 제주 서부지역에서 조사한 Kim et al.(2011)의 조사와 Ok et al.(2010)과도 유사한 결과를 보였다. 또한, 조사지역이 해안가에 위치하고 있음에 따라, 조석에 의한 영향으로 소폭의 수위변동이 있는 것으로 조사되었다.

3.3. 전기전도도(EC) 검증 결과

전기전도도(EC)는 용액이 전기를 흐르게 할 수 있는 정도를 말하며, 용해되어 있는 전해질의 차에 의해

결정되어 진다. 즉 지하수내에 분포한 총고형물질(TDS)과 직접적인 관계를 가지고 있다고 말할 수 있으며, 이는 지하수의 특성과 지하지질의 특성을 내포하고 있다고 할 수 있다(Lee et al. 2007).

본 연구에서는 연구 대상지역 담·염수지하수 경계면의 수직적 분포 특성을 파악하기 위하여 지표에서 지표 하 60 m까지 4개 구간으로 나누어 분석을 하였으며 또한 유공관 설치 후 전 구간에 대한 수직검층시험 등을 실시하였다.

3.3.1. 시추 전 구간에 대한 EC(전기전도도) 검증 결과

지표에서 각 시추구간별 EC 측정 결과를 연결하여 도식화 하여 Fig. 4에 나타내었다. 지표에서 지표 하 20 m 구간의 담·염수 부존 심도를 조사하기 위하여 심도별 EC·온도 검층이 가능한 CTD-Diver 측정기를 이용하여, 지표에서 지표 하 20 m 내외구간까지 NX Size로 시추 후 굴진수를 토출시키고, 매 1 m 내외 간격으로 심도별 EC(전기전도도)를 측정하였다.

자연수위는 지표 하 10.35 m에 형성되었고 담수 대수층 분포 예상구간은 지표 하 10.43~15.12 m 구간이며, 16.62~20.00 m 구간에는 염수지하수(고염분)가 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 지표 하 10.43~15.12 m 구간 EC 값은 200~5,550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이며, 16.62~20.00 m 구간 EC 값은 43,080~48,730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로, 담수지하수 분포구간과, 염수지하수(고염분) 분포구간이 뚜렷하게 구분되어 나타나고 있었다.

지표 하 20~38 m 구간을 보면 시추가 이루어진 지표에서 지표 하 20 m 시추 구간에는 Out-Casing을 설치하여, 지하수 유입되지 않도록 차수 후 지표 하 21~38 m 구간까지 NX Size로 시추하였고 시추작업 완료 후 굴진수를 토출시킨 후 매 1 m 내외 간격으로 심도별 EC를 측정하였다. 조사 결과를 보면, 이전 시추구간(16.25~20.00 m)과 비슷한 EC 값(46,420~48,780 $\mu\text{S}/\text{cm}$)을 보이고 있으며, 염수지하수(고염분)

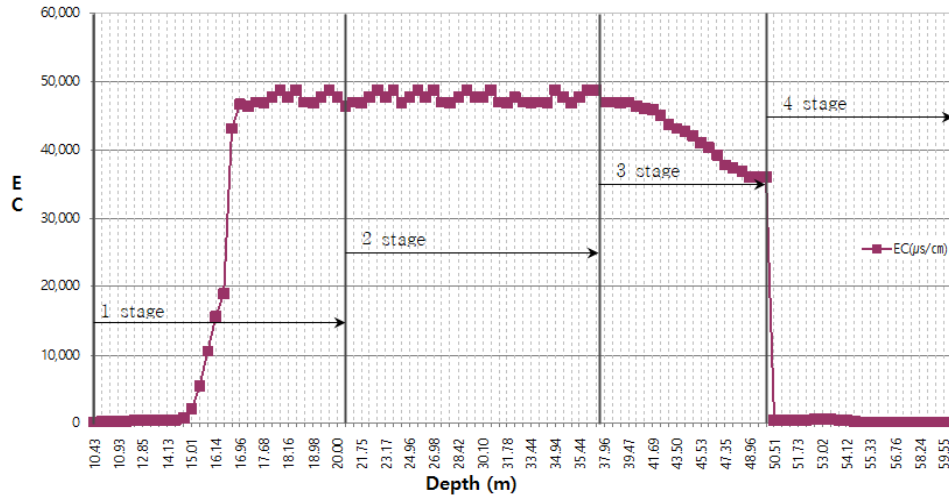


Fig. 4. The measurement results of EC with drilling sections.

특성을 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

지표 하 38~50 m 구간은 위와 동일한 시추방법으로 하였으며 지표에서 지표 하 38 m 시추 구간까지 Out-Casing을 설치하여, 지하수 유입되지 않도록 차수 시공을 실시한 후 지표 하 38~50 m 구간까지 NX Size로 시추하였고 시추작업 완료 후 굴진수를 토출시킨 후 매 1 m 내외 간격으로 심도별 EC를 측정하였다. 이 구간은 21~33 m 구간보다 낮은 EC 값을 나타내는 것으로 조사되어 시추과정에서 지하수 대수층 발달 또한 미미한 것으로 조사되었고 지표 하 38.46~48.89 m 구간까지 EC 값은 46,910~36,050 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 점차 감소하고 있었다.

지표 하 50~60 m 구간은 EC 값이 현저하게 낮게 나타나고 있는데, 이는 시추과정에서의 관찰 및 시추 코어 등을 분석한 결과, 지표 하 55~60 m 내외구간에는 담수 대수층이 분포하고 있는 것으로 예측되었다. 지표 하 50.51~54.54 m 구간까지 EC 값은 290~550 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 이고, 이 하부부터 최종 시추심도 48.89 m까지 EC 값은 150~180 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로, 담수 지하수의 특성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

위 결과를 정리하여 보면 지표에서 지표 하, 약 16 m 구간은 담수 대수층이 분포하고 있고, 지표 하 약 16~38 m 구간에는 염수지하수(고염분)가 분포하고 있으며, 39~50 m 구간에도 고염지하수가 분포하나

대수층 발달은 미미한 것으로 나타났다. 그리고 지표 하 50~60 m 구간에는 다시 담수지하수체가 분포되고 있는 것으로 조사되었다. 이를 종합해 보면, 지하수 부존 형태는 담수지하수 → 염수지하수(고염분) → 염수지하수(대수층 발달 미미) → 담수지하수로 구분되어 나타나고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 Lee et al.(2007)이 제주도의 지하수 관측망 자료를 이용한 지하수위 및 전기전도도 변화 해석에 대한 연구 결과와도 유사하였다.

3.3.2. 유공관 설치 후, 시추 전 구간에 대한 EC 검층 결과

지표에서 지표 하 60 m까지 시추 완료 후 시추 전 구간에 대한 EC 측정을 위하여, PVC Ø50 mm 유공관(스트레이너)을 자연수위 하부구간부터 시추 최종 심도까지 설치하였다. CTD-Diver 측정기를 이용하여 자연수위 하부구간부터 최종 심도까지 매 1 m 내외 간격으로 심도별 EC(전기전도도)를 측정하였으며 그 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

검층 결과를 보면, 시추구간별 시추에 따른 EC 검층 시와는 달리 자연수위 하부구간을 제외하고, 그 하부구간은 염수지하수(고염분) 특성의 EC 값을 보이고 있었다. 자연수위 하부 15 m 구간까지는 낮은 EC 값(1,850~5,700 $\mu\text{s}/\text{cm}$)을 보이다가, 그 하부부터 54 m까지(15~54 m)는 아주 높은 EC 값(42,330~48,800

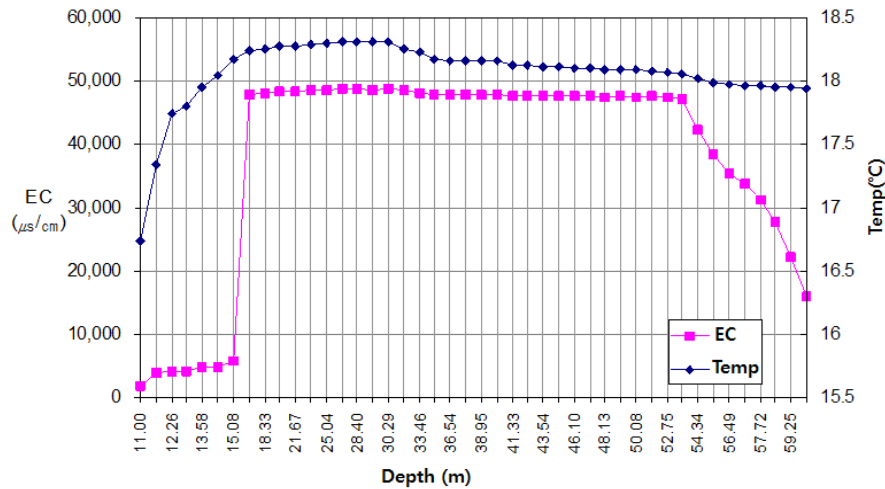


Fig. 5. The measurement results of EC with drilling sections after installing drainpipe.

$\mu\text{s/cm}$)을 나타내고 있으며, 지표 하 54~60 m 구간에서는 점차적으로 EC 값이 낮아지고 있었고 최종 EC 측정 심도 59.25 m 지점에서 EC 값은 15,940 $\mu\text{s/cm}$ 을 나타내고 있었다. 특히, 하부구간(약 54~60 m)에서 EC 변화가 이루어지고 있는데, 상부 염수지하수(고염분)가 유입·혼합되었으므로, 구간별 EC 측정 시 보다 높은 EC 값을 나타내고 있었는데 이 결과는 지표 하 54~60 m 구간의 경우 담수 대수층 분포로 인하여, EC값이 점차적으로 낮아지고 있는 것으로 관측되었다. 그러나 지표 하 54~60 m 구간 또한 시추구간이 완전히 관통된 상태로 인하여, 하부 담수 대수층 형성 구간도 담·염수가 혼합되어, 시추 구간별 EC 측정 시 보다 높은 EC 값을 나타내고 있었다.

위의 내용을 토대로 분석한 결과, 본 시추공에서는 담수지하수와 염수지하수(고염분), 그리고 담수지하수체가 명확히 구분되는 수직적 분포특성을 가지고 있는 것으로 조사되었다.

3.3.3. 시추 심도별 EC·온도 일 변화 관측

시추 심도에 따른 EC·온도 일 변화 패턴을 관측하기 위하여, 지표에서 지표 하 14 m, 28 m, 55 m 지점에 CTD-Diver를 설치하여 각각 2~3일간 관측하였다. 관측 기간은 2013. 12. 7일부터 14일까지 관측하였으며 그 결과는 각각 Fig. 6에 나타내었다.

지표 하 14 m 지점에서 EC·온도 값이 비슷한 패

턴을 보이며 변화하는 양상을 보이고 있는 것으로 조사되었으며, EC는 약 50,000 $\mu\text{s/cm}$ (50 ms/cm) 내외에서 소폭으로 변동되고 있는 것으로 관측되었다. 지표 하 28 m 지점에서는 EC·온도 값이 비슷한 패턴을 보이며 변화하는 양상을 보이고 있는 것으로 조사되었으며, EC는 약 50,000 $\mu\text{s/cm}$ (50 ms/cm) 내외에서 소폭으로 변동되고 있는 것으로 관측되었고 지표 하 55 m의 경우에는 지표 하 28 m와 EC·온도 측정값이 비슷한 패턴을 보이며 변화하는 양상을 보이고 있으나, 변동 폭은 지표 하 28 m 관측 시 보다 큰 변화를 보이는 것으로 관측되었으며, EC는 약 47,000~50,850 $\mu\text{s/cm}$ (47.0~50.85 ms/cm) 범위 내에서 변동되고 있는 것으로 관측되었다. 마지막 지점인 지표 하 55 m 지점에서는 구간별 시추 작업(Out-Casing(차수) 처리 후)에 따른 EC 측정(지표 하 50.51~54.54 m 구간)시 EC 값은 290~550 $\mu\text{s/cm}$ 로 나타났다. 이 하부부터 최종 시추심도 60m까지 EC 값은 150~180 $\mu\text{s/cm}$ 로 담수 지하수의 특성을 보였으나, 이번 측정 시에는 약 47,000~50,850 $\mu\text{s/cm}$ (47.0~50.85 ms/cm)로 염수지하수(고염분)의 특성을 보이고 있는데, 이는 상부에 위치한 염수지하수(고염분) 대수층으로 인하여 담·염수 혼합이 이루어져 염수지하수(고염분) 분포 특성을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

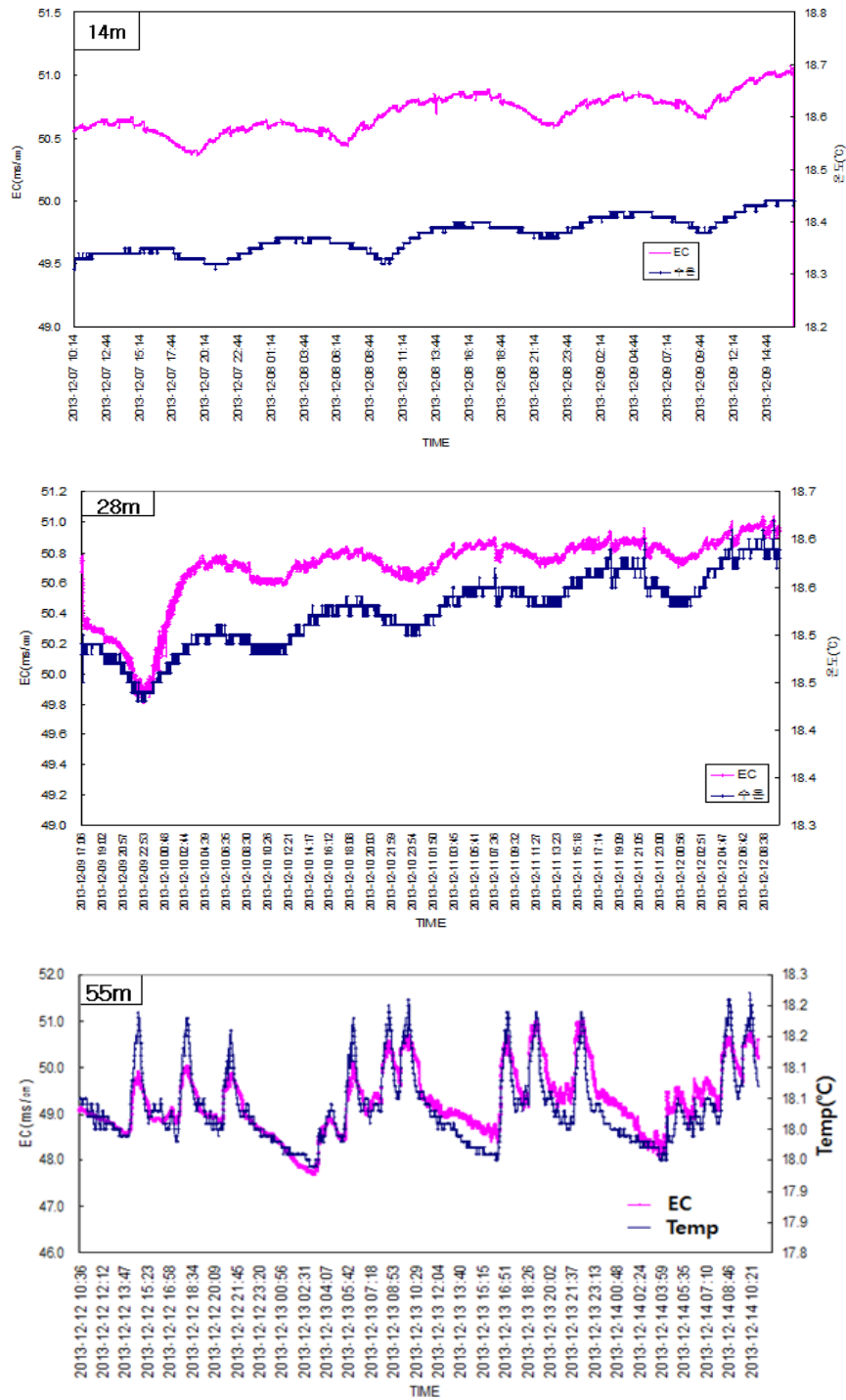


Fig. 6. The results of EC and Temp. variations at groundwater level 14 m, 28 m and 55 m.

Table 6. The design overview of groundwater well development in this study

Item	Altitude (m)	Drilling depth (m)	Division	
			Depth	Caliber
Study well	10.0	48.0	0~20 m	Ø 450 mm
			20~48 m	Ø 320 mm

3.4. 연구지역에서의 지하수 개발 방법 설계 제시

연구대상 주변지역에서 염지하수 관정 개발 시 염지하수 취수계획량과 양수능력에 따라 동력장치를 선정하고, 주변지역의 지하수위 변화 양상과 대수층 수리특성 등을 감안하여 굴착심도, 정호구경, 굴착구경 등을 계획하여야 하며 제주지역에서 적용하고 있는 설치기준에 준하여 지하수 개발·이용시설을 설계하여야 한다(Table 6). 이에 따라 연구 대상지역에서 지하수 굴착은 Ø 450 mm와 Ø 320 mm 구경으로 착정하는 것이 바람직한 것으로 나타났으며 그 결과를 보면 다음과 같다.

3.4.1. 지하수 굴착

자연수위 하 10 m 구간은 채움그라우팅시공 구간으로, Ø 450 mm 구경으로 굴착 후 시멘트모탈 등의 그라우트 재료로 되메움 시공을 하고, 최소 24시간 이상 양생 시킨 후 Ø 320 mm 구경으로 재 굴착 하여야 하며 7.0 cm 이상의 그라우팅 두께를 확보하여 효율적인 오염 방지 시공이 되도록 설계하여야 하며 담수(Fresh water)의 영향이 최소화 되도록 설계하여야 한다. 이에 따라 Ø 320 mm 굴착구간은 지하수의 원활한 공내 유입 및 적정 염지하수의 확보를 위한 구간으로 채움그라우팅 하부구간부터 지표 하 약 0~48 m 내외구간까지만 굴착되어야 하며, 주변 지하수 관정의 대수층을 고려한 효율적인 우물자재 설치를 통해 염지하수의 원활한 취수가 가능하도록 설계하여야 한다.

시추공 시추 및 EC 검층 결과를 보면 지표에서 지표 하 약 16 m 구간은 담수 대수층이 분포하고 있었고, 지표 하 약 16~38 m 구간에는 염수지하수(고염분)가 분포하고 있었으며, 38~50 m 구간에는 저염지하수(대수층 발달 미미), 그리고 지표 하 50~60 m 구간에는 다시 담수지하수체가 분포되고 있는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 보면 조사·연구 대상지역에서

는 염수지하수(고염분)와 담수지하수 부존 구간이 뚜렷이 구분되는 수직적 분포특성을 가지고 있는 것으로 조사 되었으므로, 담수의 유입을 최소화 하고, 고염분 염수지하수를 안정적으로 취수할 수 있도록 굴착심도를 48 m 내외 구간까지만 확보하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

3.4.2. 개발계획량(양수능력) 설계

공당 개발계획량 결정하기 위하여, 주변 기 개발 염지하수 관정의 굴착심도에 따른 개발량(양수능력)을 비교·분석하여, 조사·연구 대상지역에서의 공당 개발계획량을 선정하였다. 조사·연구 대상지역 주변 지역에 위치한 기 개발 염지하수 관정 및 최근 지하수 개발·이용허가를 득한 미 준공 염지하수 관정 자료는 제주특별자치도 상수도본부 홈페이지 제공된 자료를 활용하여 굴착심도에 따른 개발량(양수능력)을 Fig. 7에 제시하고 비교·분석하였다(Waterworks and Sewerage Headquarters of Jeju Special Self-Governing Province, 2016).

조사·연구 대상지역 주변 염지하수 관정의 굴착심도는 50~101.5 m 내외이고, 개발량(양수능력)은 6,000~11,800 m³/일·공으로 조사되었다. 7,000 m³/일·공 이하 지하수 관정은 7개소, 7,000~8,500 m³/일·공 이상 관정은 8개소로 조사되었으며 또한 굴착심도가 70 m이하인 관정의 개발량(양수능력)은 대부분 6,000~7,500 m³/일 내외로 조사되었고, 양수능력이 8,500~11,800 m³/일 관정의 굴착심도는 100 m 내외인 것으로 조사되었다.

이들 염지하수 관정은 자연수위 하 10 m까지 채움그라우팅 또는 외부케이싱 설치를 실시토록 규정한 제주특별자치도 지하수관리 조례(제958호, 2012. 10. 17) 이전에 허가를 득한 관정인 것으로 조사되었다.

조사·연구 대상지역의 경우, 자연수위 하 10 m 구간까지 채움그라우팅 시공 및 담수 대수층의 차단,

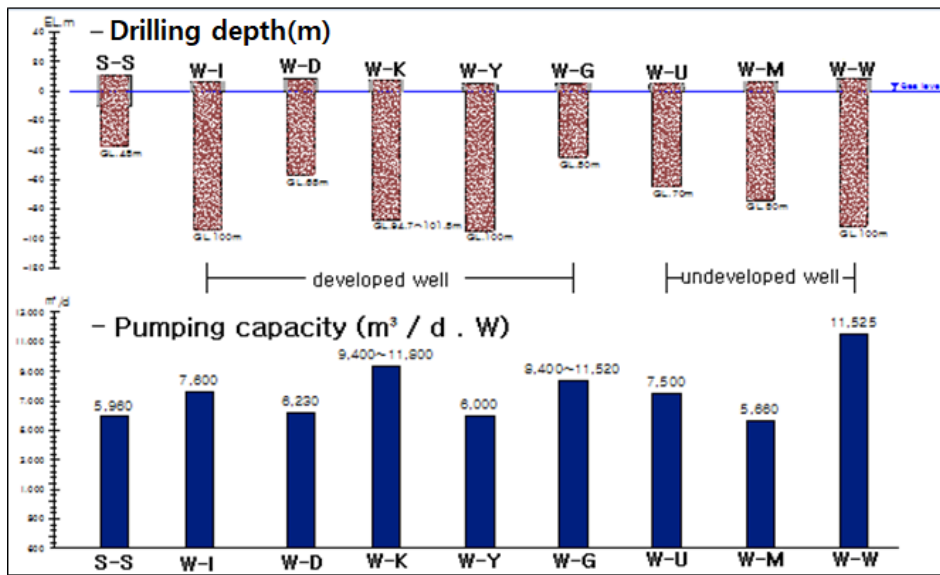


Fig. 7. Comparison of drilling depth and pumping capacity among study well (S-S) and surrounding wells.

양질의 염지하수원 확보를 위하여 굴착심도를 지표 하 48 m 까지만 굴착하는 것으로 설계하였으므로, 대수층 확보구간이 주변 기 개발 염지하수 관정보다 작을 것으로 사료됨으로 공당 개발계획량 또한 주변 기 개발관정의 굴착심도에 따른 개발량을 자료로 비교·분석하여 공당 개발계획량을 선정하여야 한다.

따라서 본 조사·연구대상지역에서는 지하수 개발 예정지 표고, 자연수위 형성 심도, 오염방지 및 담수 대수층 차단을 위한 채움그라우팅 심도(0~20 m), 그리고 담·염수 대수층 분포 심도 등을 고려하여야 하며, 굴착심도는 지표 하 48 m까지, 1일 양수능력은 6,000 m³ 내외로 설계하는 것이 바람직한 것으로 연구되었다(Fig. 8).

4. 결론

본 연구는 제주도 서부 해안지역(무릉리)에서 염지하수 관정 개발 시 담수 대수층으로의 염수 침입을 최소화하고, 적절한 굴착심도 선정으로 담수 대수층 개발을 제한하여, 양질의 염지하수만을 채수할 수 있는 시공 방법을 제시하고자 조사·연구를 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

조사공(S-S)는 대부분 현무암질 용암류로 구성되어

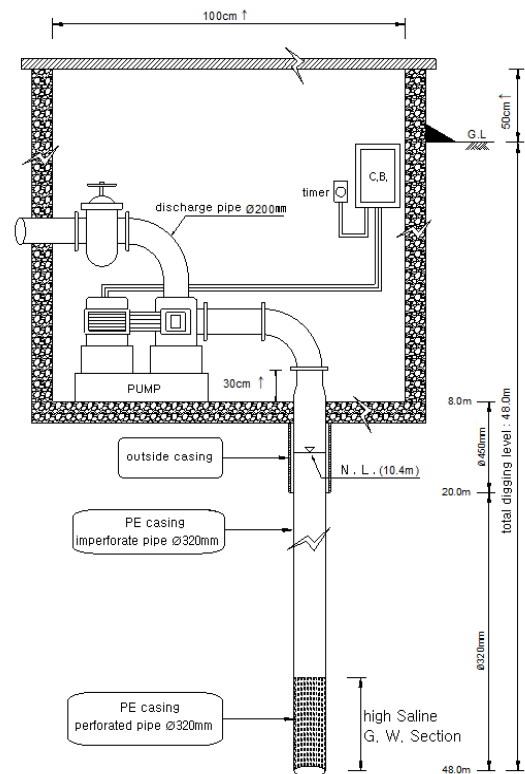


Fig. 8. Structure diagram for groundwater development and utilization facility.

있는데, 세부적으로는 조면암질현무암이 주를 이루고 있었으며, 일부 구간에 휘석감람석현무암이 분포하고 있다.

연구대상지역의 담·염지하수 경계면의 수직적 분포 특성을 파악하기 위하여 수직검층시험 등을 실시하였는데, 지표에서 지표 하 약 16 m 구간은 담수 대수층이 분포하고 있고, 지표 하 약 16~50 m 구간에는 염수지하수(고염분)가 분포하고 있으며, 지표 하 50~60 m 구간에는 다시 담수지하수체가 분포되고 있는 것으로 조사되어, 지하수 부존 형태는 담수지하수 → 염수지하수(고염분) → 담수지하수로 구분되어 나타나고 있음을 알 수 있었다.

본 연구지역은 염수지하수와 담수지하수 부존 구간이 뚜렷이 구분되는 수직적 분포특성을 나타내고 있으므로, 담수의 유입을 최소화 하고, 염수지하수를 안정적으로 취수할 수 있는 굴착심도 선정이 이루어져야 하며 굴착심도는 지표 하 16~50 m 구간까지만 시행하여야함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 보면, 제주도 서부지역에서 염지하수 개발 시에는 상부에 분포되고 있는 담수대수층 차 단뿐만 아니라, 하부에 분포하고 있는 담수대수층 이전까지만 지하 굴착이 이루어져야 한다는 결과를 얻었다. 앞으로 염지하수개발이 이루어 질 때에는 가능한 한 염지하수 개발사업 이전에 지질·지반조사용 시추장비를 이용한 시험 시추가 반드시 필요하며, 시추 및 EC 검층 등의 결과를 바탕으로 염지하수 관정 개발이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음

REFERENCES

Chun, J. C., Rho, S., 1991, Salinity tolerance of eggs and

- juveniles of flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel), J. Aquaculture, 4, 73-84.
- Kim, B. S., Hamm, S. Y., Lee, C. M., Ok, S. I., Cha, E. J., Ko, Y. S., 2011, Features of regional hydrogeology and groundwater distribution of volcanic rocks in Jeju Island, J. Geol. Soc. 47, 263-276.
- Kim, J. Y., Oh, Y. K., Ryu, A. P., 2001, Study on the salinization in groundwater of eastern area of Cheju Island. J. Environ. Sci. Intern., 10, 47-58.
- Kim, K. Y., Shim, B. O., Park, K. H., Kim, T., Seong, H., Park, Y. S., Koh, G. W., Woo, N. C., 2005, Analysis of hydraulic gradient at coastal aquifers in eastern part of Jeju Island, Econ. Environ. Geol., 38, 79-89.
- Kim, S. S., Kim, D. K., Son, P. W., Lee, C. H., Ha, D. S., 2003, Temporal and spatial variation of water quality of the coastal saline groundwaters in Jeju Island, J. Aquaculture, 16, 15-23.
- Lee, J. Y., Lee, G. S., Song, S. H., 2007, An Interpretation of changes in groundwater level and electrical conductivity in monitoring wells in Jeju Island, J. Korean Earth Sci. Soc., 28, 925-935.
- Lee, S. H., 2008, Characteristic of hydrogeological and groundwater occurrence in the western coastal areas of Jeju Island, Korea. MS Thesis, Cheju National University, Jeju, Korea.
- Ok, S. I., Hamm, S. Y., Kim, B. S., Cheong, J. Y., Woo, N. C., Lee, S. H., Koh, G. W., Park, Y. S., 2010, Characteristics of aquifer system and change of groundwater level due to earthquake in the western half of Jeju Island, Econ. Environ. Geol., 43, 359-369.
- Park, G. S., 1994, A Study on the chemical characteristics of ground-water in the coastal of Cheju Island. MS Thesis, Cheju National University, Jeju, Korea.
- Water Resource Headquarter of Jeju Special Self-Governing Province, 2012, Sourcebook II of geological columnar section, Jeju Special Self-Governing Province, 812-966.
- Waterworks and Sewerage Headquarters of Jeju Special Self-Governing Province, 2016, http://jeju.go.kr/jeju_water/index.htm.