

제주도 동부해안 한동리지역의 수문지질학적 연구

김기표, 윤정수*, 박원배**

농업기반공사 제주도본부, *제주대학교 해양학과, **제주발전연구원
gwater00@korea.com, jsyoun@cheju.cheju.ac.kr, gwpark@provine.cheju.kr

요 약 문

The purpose of this study is to understand the high saline water phenomenon of Handong-ri area in the eastern coast of Jeju Island, were investigate the tidal effect of groundwater level, variation of electric conductivity and temperature, geological logging on the monitoring wells, chemical water quality, and ratios of oxygen isotope of groundwater and seawater

Results in investigating variation of interface zone of freshwater and saline water represented that the hyaloclastites formed at below groundwater table is developing toward the coast; this area consisted of stratum of good permeability. Hyaloclastites is presumed the main path of the high salinity water. There are a lot of movement by the tide at upper layer. Salinity of lower layer spreads to upper up step in proportion to tidal energy. Because of hydrogeological characteristics, Interface zone of freshwater and saline water is made, High salinity of groundwater occur in east coastal area of Jeju Island. Therefore, I think that high saline groundwater phenomenon is natural condition by simple mixing.

key ward : Interface zone, geophysical logging, groundwater level, tidal effect

1. 서론

제주도는 지표수의 개발이 어려워 용수의 거의 대부분을 지하수에 의존하고 있으며, 세계적으로 청정한 수질을 유지하고 있지만, 생활용수나 농업용수로 사용하던 일부 우물에서 질산성 질소나 고염분현상이 발생하여 관측공으로 활용되거나 폐공되고 있는 실정이다. 질산성질소로 오염된 지하수는 주로 서부지역 일원에서 주로 조사되고 있으며(제주도환경백서, 1999, 2001), 고염분 지하수가 출현하는 지역은 지하수 부존형태중 기저지하수체가 분포하는 북제주군 한림읍 수원리, 남제주군 대정읍 상모리 및 동부지역 해안변에 개발된 지하수 관정에서 나타나고 있다(한규언 등, 2000).

기저지하수가 분포하고 있는 동부지역의 해안변 지역에 위치한 지하수는 해수와 직접 접촉하기 때문에 대수층에서 담수를 염수로 환원하거나 혹은 혼합되는 원인이 된다. 그러므로 해안변을 따라 형성된 지하수체에서 해수의 침입은 가장 일반적인 담수의 오염원이 된다. 따라서 이들 지역에서의 지하수의 염수화 현상을 명백히 밝히고 사전에 예측, 감시할 수 있는 적절한 방비책을 얻는 것은 매우 중요한 일이다.

제주도 동부지역 고염분 지하수의 원인 규명에 대해서는 여러 연구기관 및 연구자들에 의해 연구되어 왔으며, 그 원인에 대해서는 다양하게 제시되고 있다. 고염분 지하수의 산출에 대하여 최순학(1988), 최순학과 김영기(1989), Choi et al(1991)는 지하수의 과잉양수에 의한 해수침입 현상으로 해석하였고, 고기원(1991, 1997), 고기원 등(1992, 1993)은 동부지역은 제주도 형성당시부터 고염분 지하수가 부존할 수 있는 지질구조에 의한 자연현상으로 보고하였다. 윤정수(1986)는 동부지역은 타지역보다 염분을 많이 함유한 사구층이 많고 화산활동기간 동안에 용기, 침강활동이 커 균열대의 양호한 발달로 담수 lens가 얇기 때문으로 해석하였고, 제주도 지하수장기개발계획 조사 보고서(농업진흥공사 등, 1989)에서는 동수구배가 완만하여 담수체의 수압이 상대적으로 낮아 해수가 내륙 깊숙이 침투할 수 있고, 해안면에서의 과잉채수는 해수의 침입을 용이하게 할 수 있을 것으로 보고하였다. 또한 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(I)(제주도, 2001)에서는 수리지질 및 수리지구화학적 특성에 의한 해수의 단순혼합으로부터 기인하는 것으로 해석하는 등 동부지역 고염분 지하수의 부존 원인이 명확히 밝혀지지 못한 상태에 있다. 또한 제주도 지하수의 조사, 연구는 대부분 지하수 이용을 목적으로한 기존에 개발된 공에서 연구가 이루어져 공의 심도 및 분포가 한정됨으로서 수문지질학적 환경에 대한 보다 정밀한 해석이 이루어지지 못하였다.

이에 제주도는 2001년 해수침투 감시관측망 구축사업의 일환으로 동부 지역인 한동리 일원에 해안면으로부터 등고선에 수직 방향으로 거의 일직선상에 3개소의 관측 조사공을 해수면하 약 150m까지 개발하였다. 따라서 본 연구는 이들 3개의 관측정을 중심으로 공내에서의 수직 물리검층을 행하여 담·염수 경계면의 위치와 변화를 파악하고 인근 해안에서의 해수면의 변동과 지하수위 변동과의 상관 관계 및 지하수 수질특성 등을 연구함으로써 동부지역의 고염분 지하수에 대한 원인을 밝히고자 한다.

2. 연구방법

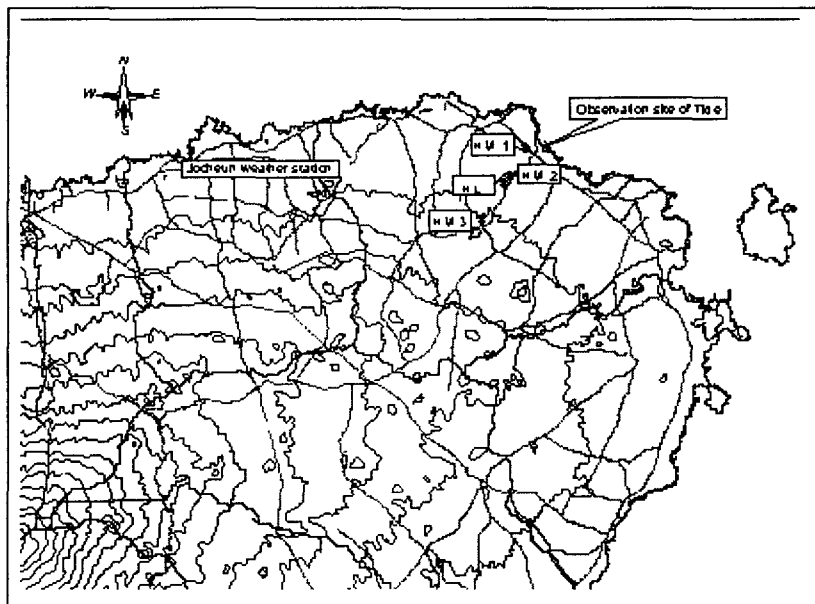


Fig. 1. Location map of study area.

본 연구에는 한동관측공 1, 2, 3호공과 구좌2수원(한동) 영구관측정(이하 한동영구관측정)을 활용하였다. 각 관측공이 위치한 표고는 14~114m까지 분포하고 한동1, 2, 3호공의 경우 U층이 포착되는 심도인 해수면하 114~159m까지 굴착되었으며, 한동영구관측정은 해수면하 105.2m까지

굴착되었다. 이들 관측공들은 해안변에서 약 0.8~5.1km 떨어진 지점에 위치하며, 한동2관측공과 한동영구관측정은 약 10m의 거리를 두고 인접하여있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지하지질

1. 한동1, 2, 3호공의 지하지질 구조를 살펴보면 지하수면 하부에 사질층, 암편과 암괴로 산출되는 유리질쇄설암 등 많은 구간이 대수층을 형성시킬 수 있는 공극이 많고 투수성이 양호한 지층으로 구성되어 있으며, 유리질쇄설암은 내륙에서 해안으로 갈수록 그 층후가 두터워 해수의 유동을 원활히 할 수 있을 것으로 예상할 수 있었다.

3.2 수위변화

한동1, 2호공에서의 조석효율은 각각 0.43, 0.23으로 조사되었으며, 지연시간은 각각 56분, 102분으로 나타났다. 해안에서 5.1km 떨어진 한동3호공에서는 조석에 의한 수위변화는 거의 없거나 매우 미약하였으나, 전기전도도 값은 일변화를 보이고 있어 한동3호공에서도 조석의 영향을 다소 받고 있음을 알 수 있었다.

해안에서 약 2.2km 떨어진 한동영구관측공은 조석에 의한 일변화는 최대 0.68m까지 변화를 보였고, 강우에 의한 최고수위의 차는 0.74m로 지하수위 변화는 조석과 강우에 의한 혼합 형태를 보이는 것으로 조사되었다.

3.3 수질특성

주요이온성분 및 산소안정동위원소를 사용한 수질분석결과 한동1, 2호공의 저층에서는 해수와 거의 유사한 수질특성을 보였고, 한동3호공의 상부에서는 해수의 영향이 거의 없는 지하수였으며, 한동1, 2호공의 상부에서는 해수의 성분과 유사하나 담수와 해수의 단순혼합에 의한 지하수 체임을 알 수 있었다.

Table 1. Chemical and oxygen stable isotopes compositions in each well and coastal sea. (mg/l)

	Depth (m)	$\delta^{18}O$ (‰)	NO ³ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ³⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
HM1	30	-6.66050	6.43	348.46	55.19	74.05	10.55	184.79	26.10	18.26
	100	0.06375	0.90	18,827.70	2,511.30	153.40	314.12	9,272.55	1,145.23	376.80
HM2	50	-6.81125	4.60	98.35	17.48	52.11	3.09	54.55	10.56	8.45
	90	-2.50625	1.80	12,106.81	1,896.54	137.13	208.93	6,491.75	742.31	264.10
	130	-0.07500	1.90	18,962.36	3,049.64	178.27	337.73	9,967.40	1,107.58	384.70
HM3	160	-7.01275	1.03	25.34	4.75	49.37	1.84	15.27	4.37	5.17
	210	-1.72725	1.50	13,690.34	1,942.87	61.71	124.71	6,369.60	952.55	1,287.10
Sea water		0.07275	1.80	20,730.19	3,161.48	171.41	350.78	9,905.80	1,142.64	386.20

3.4 전기전도도 및 온도검층

물리검층결과 각 관측정에서 담·염수경계면이 확인 되었고, 경계면의 심도는 G-H의 이론보다 비교적 얇은 심도에서 형성되고 있음을 알 수 있었다. 한동1, 3호공에서는 점이대구간

이 수 m내에 불과하였으나 한동2호공의 경우 각 대수층에서 단계별로 전기전도도 값이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 경계면 상하부에 투수성이 양호한 지층이 다층으로 분포함으로서 경계면이 점이적으로 형성되고있는 것으로 보여진다.

4. 결론

한동리 지역에 개발된 3개의 관측공에 대한 담·염수 경계면의 변화양상을 조사한 결과 이들 관측공 하부에는 투수성이 양호한 유리질쇄설암이 해안으로 갈수록 잘 발달되어있고, 해저까지 연결되어있으며, 이 층은 고염분수의 주 유동 경로로 추정된다. 이의 상부층은 조석에 의한 운동량이 많고 저층의 염분이 상부층로 전이되는 것은 그 운동량에 비례하는 것으로 보인다. 따라서, 제주도 동부해안 한동리지역에서 산출되고있는 고염분 지하수는 이들 지역의 수리지질적인 특성에 의해 담·염수 경계면을 형성하고 있으며, 단순혼합에 의한 자연적인 고염분 지하수가 부존하는 것으로 해석되었다.

5. 참고문헌

- 고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤선, 1992, 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보 제3권 pp. 15~43.
- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위 논문.
- 김기표, 2002, 제주도 동부해안 한동리 지역의 수문지질학적 연구, 제주대학교 석사학위논문
- 농업진흥공사, 제주도, 농림수산부, 1989, 제주도 지하수 장기개발계획 조사 보고서.
- 윤정수, 1986, 제주동부지역 지하수의 고염도 요인에 관한 연구: 제주도연구 제3지, pp. 309~326.
- 제주도, 2001, 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(I).
- 한규언, 신희섭, 2000, 제주도 해안지역 고염분 현상에 관한 고찰: 지질재해 관측 및 방지기술 심포지엄, 2000년도 자연재해방재기술개발사업단·(사)대한지질공학회 공동학술발표회 논문집, pp. 150~171.
- Badon-Ghyben, W., 1888-1889, Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam, Koninklyk Instituut Ingenieurs Tijdschrift, The Hague, pp. 8~22.
- Bernd C. Richter and Charles W. Kreitler, 1993, Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-water Salinization.
- Choi, S.H., Kim, Y.K., Lee, D.Y., 1991, Sea Water Intrusion in the Coastal Area of Cheju Volcanic Island, Korea: J. Korea Inst. Mining Geol.24 (3), pp. 319~368.
- Herzberg, B., 1901, Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder, Jou. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung, Vol. 44. p. 815~819.