

## 제주도 동부지역 지하수의 담·염수경계면 분포와 변화

박원배\* · 박윤석\*\* · 고기원\*\* · 문덕철\*

\*제주발전연구원

\*\*제주도광역수자원관리본부

gwpark@provin.jeju.kr

### 요 약 문

제주도 동부지역에 위치한 심부관측정(해수면 하 60m 이상 착정) 11개소를 대상으로 2001년 11월부터 2002년 10월까지 1년간 담·염수 경계면의 분포와 변화에 대하여 조사를 실시하였다. 담·염수 경계면의 두께는 대체로 해안에서 내륙 쪽으로 향함에 따라 두터워지는 경향을 나타냈고, 해안에서 6~6.5km 이상 지역에는 담·염수 경계면을 갖는 기저지하수체가 발달하지 않는 것으로 조사되었다. 또한, 담·염수 경계면은 조석의 영향에 의해 1일 동안 최대 8.1m, 최소 0.14m의 변화를 나타냈으며, 계절에 따라서는 최대 33.2m, 최소 2m의 수축 및 확장을 일으키는 것으로 조사되었다. 조석과 계절에 따른 담·염수 경계면의 수축과 확장의 폭은 조사대상 관측정의 위치, 지하지질, 강우량 등의 여러 가지 요인에 의해 좌우되고 있는 것으로 해석되었다.

**key word** : 기저지하수, 담·염수 경계면, 전기전도도, Ghyben-Herzberg.

### 1. 서 론

제주도 동부지역은 이른바 Ghyben-Herzberg 원리가 적용되는 기저지하수체가 광범위하게 발달하고 있으며, 해안변의 용천수나 관정 지하수 중의 염분함량이 많아 지하수 이용에 큰 제약을 받아온 지역이다. 그동안 고염분 지하수의 부존원인에 대해 여러 연구자들에 의해 연구가 진행되어 왔으며, 지하수의 과잉양수에 의한 해수침투 현상이라는 해석과 수문지질적인 특수성에 기인한 자연현상이라는 해석이 양립되어 왔다. 제주도에서는 2001년부터 동부지역을 대상으로 평균 해수면 하 150m 내외까지 착정하는 심부관측정 설치사업을 추진해 지하지질 분포상태는 물론 담·염수 경계면의 형성과 변화상을 체계적으로 조사할 수 있는 기반이 마련되고 있어 동부지역의 지하수 부존특성 파악에 큰 도움이 되고 있다.

제주도 지하수의 담·염수 경계면 분포에 대해 고기원(1992)이 처음으로 보고한 이래 박원배(1994), 고기원(1997), 고기원 외(1998), 제주도(2001), 박윤석 외(2002), 김기표(2002) 등에 의해 조사·연구가 진행되어 왔으나 이들 대부분은 몇 개의 관정을 대상으로 단기간 동안 수행된 것일 뿐만 아니라, 조사대상 관정의 착정심도가 얕아 담·염수 경계면의 분포와 단·장주기적인 변화양상을 파악하는데 한계가 있었다. 본 연구에서는 상기와 같은 조사·연구의 한계를 극복하기 위해 제주도 동부지역에 설치된 관정 중 착정심도가 해수면 하 60m 이상 되는 11개의 심부관측정을 대상으로 1년간 정기적인 관측을 실시하여 제주도 동부지역 지하수의 담·염수 경계면 분포와 변화를 파악하는데 중점을 두었다.

### 2. 조사지역

본 연구에서는 제주도광역수자원관리본부에서 2001년부터 설치한 심부관측정 8개소(한동-송당지구 4개공, 온평-궁대약지구 4개공)와 제주도 광역상수도 1단계 건설공사와 관련하여 설

치한 영구감시정 5개공(태흥, 신흥, 구좌1, 조천, 신촌)을 주 조사대상 관정으로 활용하였다. 담·염수 경계면 조사는 CTD-Diver 수직측정기를 이용하여 2001년 11월~2002년 10월까지 매월 1회 이상 심도별 EC와 수온을 측정하였으며, 2002년 6월부터 7월 사이에 조석에 따른 1일 동안의 변화에 대해서도 조사를 실시하였다(표 1 참조).

표 1. 담·염수 경계면 조사대상 지하수 관정 현황

조사지점	일련 번호	표고 (m)	TM(X)	TM(Y)	심도 (m)	EL.심도 (m)	자연수위 (m)	해안거리 (km)
신촌영구정	W-01	17.86	164185.0	54277.0	90.00	-72.14	18.50	0.32
조천영구정	W-02	25.14	171753.0	55448.0	120.00	-94.86	25.20	0.57
구좌1영구정	W-03	45.37	178336.0	55597.0	105.00	-59.63	44.30	1.55
한동1호공	W-04	14.79	183327.1	55041.6	173.00	-158.2	12.47	0.90
한동2호공	W-05	42.20	182651.0	53530.2	202.00	-159.80	39.55	2.50
한동3호공	W-06	112.2	180887.1	51389.5	260.00	-147.80	109.24	5.20
수산1호공	W-07	33.30	190049.0	40924.0	176.00	-142.70	31.60	1.40
수산2호공	W-08	70.47	188346.4	41510.4	196.00	-125.50	69.12	3.30
수산3호공	W-09	112.5	186140.8	41960.0	267.00	-154.80	112.86	5.50
신흥영구정	W-10	14.97	177952.8	28252.1	91.50	-76.53	14.70	0.95
태흥영구정	W-11	15.03	176448.1	27134.2	91.50	-76.47	15.20	0.28

### 3. 조사결과

담·염수 경계면(담수지하수 경계면 ; EC 1,700 $\mu$ s/cm · TDS 1,000mg/l 이하)은 1일 동안에도 조석의 영향에 의해 최대 8.1m(신촌영구정), 최소 0.14m(신흥영구정)의 변화를 나타냈다. 즉, 신흥영구정·수산3호공·한동 2, 3호공은 1일 동안 1m 이하의 수직적인 등락을 나타낸 반면, 구좌1영구정·한동1호공·수산2호공의 경우에는 1일 동안 1~2.26m의 범위에서 등락하였고, 신촌영구정은 8.1m나 변화하였다. 또한, 이들 관측정에서는 계절에 따라 즉, 지하수 함양량의 다소에 따라 담·염수 경계면이 수축과 확장을 일으켰는데, 구좌1영구정·한동2호공·한동3호공·수산2호공은 2~5m의 변화를 나타낸 반면, 한동1호공·수산3호공·신흥영구정·태흥영구정은 5~10m의 변화를 일으키는 것으로 조사되었다. 특히, 신촌영구정은 1년간의 수직적인 등락 폭이 무려 33.2m나 되었다. 조사대상 관측정 중 신촌영구정·구좌1영구정·수산3호공·한동3호공·신흥영구정·태흥영구정은 강우량의 다소에 따라 담·염수 경계면의 수축 및 확장 폭이 커 극단적인 가뭄이 발생하거나, 지하수 함양량을 초과하는 과도한 지하수의 채수가 장기간 이어질 경우에는 담수렌즈 수축에 의한 염수의 역상승 현상이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 한동-송당지구 4개공과 온평-궁대약지구 4개공에 대하여 겨울철과 여름철에 측정된 전기전도도 값을 근거로 담수렌즈의 분포 및 변화를 분석하였다(표 2와 3 참조). 그 결과, 한동-송당지구를 연결하는 단면에서 담수지하수 경계면은 2002년 3월에 한동1호공 EL. -30.5m, 한동2호공 EL. -39.92m, 한동3호공 EL. -67.81m로 관측되었으나, 2002년 9월에는 한동1호공 EL. -32.67m, 한동2호공 EL. -35.81m, 한동3호공 EL. -67.37m로 관측되어 3월과 9월간에 담수지하수 경계면이 각각 2.17m, 1.89m, 0.44m의 차이를 나타내 이들 관측정에서는 계절변화가 크지 않은 것으로 조사되었다. 그러나, 담수렌즈의 두께는 해안변에서 내륙 쪽을 향하면서 점진적으로 두터워지는 현상을 나타냈으며, 계절에 따른 담수지하수의 두께 변화폭은 감소하는 것으로 조사되었다. 또한, 담수렌즈체 하부에 존재하는 저염지하수(혼합대)의 경계면은 2002년 3월에 한동1호공 EL. -37.38m, 한동2호공 EL. -35.62m, 한동3호공 EL. -69.62m이었으나 2002년 9월에는 한동1호공 EL. -39.12m, 한동2호공 EL. -48.06m, 한동3호공 EL. -67.90m로 관측되어 3월과 9월간에 각

각 2.54m, 12.44m, 1.72m의 변화를 나타냈다.

<표 2> 한동-송당지역 각 관측점에서 EC에 따른 지하수의 수직적 구분

구분	한동1호공		한동2호공		한동3호공	
	'02. 3	'02. 9	'02. 3	'02. 9	'02. 3	'02. 9
담수 지하수체 (1,700 $\mu$ s/cm 이하)	-30.50m	-32.67m	-33.92m	-35.81m	-67.8m	-67.4m
저염 지하수체 (1,700~17,350 $\mu$ s/cm)	-37.38m	-39.92m	-35.62m	-48.06m	-69.6m	-67.9m
염수 지하수체 (17,350 $\mu$ s/cm 이상)	-37.38m 이하	-39.92m 이하	-35.62m 이하	-48.06m 이하	-69.6m 이하	-67.9m 이하

<표 3> 온평-궁대약지구 각 관측점에서 EC에 따른 지하수의 수직적 구분

구분	수산1호공		수산2호공		수산3호공	
	'02. 4	'02. 9	'02. 4	'02. 9	'02. 4	'02. 9
담수 지하수체 (1,700 $\mu$ s/cm 이하)	-27.56m	-27.56m	-29.00m	-28.00m	-45.61m	-53.29m
저염 지하수체 (1,700~17,350 $\mu$ s/cm)	-31.97m	-31.98m	-38.02m	-39.02m	-60.37m	-64.96m
염수 지하수체 (17,350 $\mu$ s/cm 이상)	-31.97m 이하	-31.98m 이하	-38.02m 이하	-39.02m 이하	-60.37m 이하	-64.96m 이하

온평-궁대약지구의 경우를 보면, 2002년 4월에 담수지하수 경계면은 수산1호공 EL. -27.56m, 수산2호공 EL. -29.00m, 수산3호공 EL. -45.61m이었으나 2002년 9월에는 수산1호공 EL. -27.56m, 수산2호공 EL. -28.00m, 수산3호공 EL. -53.29m로 관측되어 4월과 9월간에 각각 0m, 1m, 7.68m의 수직적인 등락을 나타냈다. 이는 전술한 한동-송당지구와는 전혀 다른 패턴을 보여주는 것으로서 담수지하수 경계면의 계절적 변화 폭은 해안에서 내륙 쪽으로 향하면서 커지고 있는 것이다. 이러한 현상은 해안에 가까울수록 조석에 의한 혼합이 지배적으로 발생하여 계절적 변화가 크게 나타나지 않는 반면, 조석의 영향이 없거나 매우 미약하게 나타나는 내륙 쪽에서는 강우량의 다소에 의해 담수렌즈의 두께가 변화하기 때문인 것으로 해석된다. 또한, 저염지하수 즉, 담수렌즈 하부의 혼합대의 경계면은 2002년 4월에 수산1호공 EL. -31.97m, 수산2호공 EL. -38.02m, 수산3호공 EL. -60.37m이었으나 9월에는 수산1호공 EL. -31.98m, 수산2호공 EL. -39.02m, 수산3호공 EL. -64.96m로 관측되었다.

#### 4. 결론

제주도 동부지역에 위치한 11개소의 심부관측정을 대상으로 조석에 의한 단주기적인 담·염수 경계면의 변화와 계절적인 변화상에 대하여 조사한 결과를 종합하면, 동부지역 기저지하수체(담수렌즈) 두께는 이론적인 G-H비(해수면 상부 지하수위 높이의 40배 즉, 1 : 40)보다 훨씬 얇은 평균 1 : 20 정도의 비율로 형성되고 있으며, 해안변에서 내륙 쪽 6~6.5km 사이 지역에 광범위하게 분포하고 있는 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

- 고기원, 1997, 제주도 지하수 부존특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 대학원 박사학위 논문
- 고기원, 1991, 제주도 서귀포층의 지하분포상태와 지하수와의 관계, 지질학회지, 제27권 5호
- 고기원, 2001, 하와이주의 수문지질과 지하수관리, 제주도광역수자원관리본부
- 고기원, 박윤석, 김태운, 1998, 제주도 서북부 귀덕리 해안지역에 발달한 심부 담수대수층에 관한 연구, 제주발전연구 제2호
- 고기원, 박원배, 고용구, 김성홍, 오상실, 윤선, 1992, 제주도 동부지역의 지하지질구조와 지하수 위 변동 및 수질특성에 관한 연구, 제주도보건환경연구원보 제3권, pp.15~43.
- 김기표, 2002, 제주도 동부해안 한동리 지역의 수문지질학적 연구, 제주대학교 석사학위논문.
- 박윤석, 고기원, 강봉래, 박원배, 2002, 제10회 세계 물의 날 기념학술세미나, 2001년 제주도 해수침투 감시관측망 구축사업 성과
- 박원배, 1994, 제주도 지하수의 수위변동에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문.
- Herzberg, A., 1901, Die Wasserversorgung Einiger Nordseebader. Journal Gasbeleuchtung und Wasserversorgung(Munich), 44:815-19, 842-44
- Wentworth, 1939, The specific gravity of sea water and the Ghyben- Herzberg ratio at Honolulu, Univ. of Hawaii, Occas. Paper 39
- Oki, D.S., 1998, Geohydrology of the central Oahu, Hawaii, ground-water flow system and numerical simulation of additional pumping, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97-4276.
- Robinove, D.J., Langford, R.H. and Brookhart, J.W., Saline-Water resources of North Dakota. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1428, p. 72, 1958