

제주도 서부지역의 대수층별 지하수 산출능력 연구

김창욱, 고기원*, 박윤석*, 윤정수**

농업기반공사 제주도본부, *제주도광역수자원관리본부, **제주대학교 해양학과 (kim7858@karico.co.kr)

<요약문>

제주도 서부지역에 위치한 2개 관측정을 대상으로 대수층별 대수성시험을 실시하고, 지하수 산출능력을 평가하였다. 연구대상 관측정은 대수층이 수직적으로 서로 연결되어 있지 않을 뿐만 아니라, 대체로 해수면 하 10~20m 사이 구간에 제1대수층이 발달하고 있으며, 지하수 산출능력은 질리 또는 용암류 경계의 대수층(용수2호공)보다는 유리쇄설성 각력암층(무릉1호공)에서가 상대적으로 양호한 것으로 평가되었다. 서귀포층을 포함한 제2대수층은 수위강하가 10m 이상 발생하는 것으로 미루어 보아 제1대수층보다는 지하수 산출능력이 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나, 제1대수층은 지표로부터 얕은 깊이에 위치하고 있어 질산성질소 농도가 전반적으로 높고, 양수에 의한 영향권이 취수정 주변 300m까지 발생하고 있어 서부지역에서 제1대수층 개발은 세심한 주의가 요구되고 있다.

key word : 제1대수층, 제2대수층, 대수성시험, 서귀포층, 유리쇄설성 각력암층

1. 서론

염수 또는 해수침투 현상은 도서지역에서의 지하수 개발·이용을 위협하는 가장 큰 장애 중의 하나이기 때문에 해수침투가 발생하지 않는 범위 내에서 지하수를 효율적으로 이용할 수 있는 체계적인 관리 방안이 마련되어 있어야 한다. 지하수에 전적으로 의존하고 있는 제주도의 경우, 2001년부터 해수침투 감시를 위한 심부 관측망 구축사업을 추진하여 2003년까지 동부지역에 총 19개소의 관측공을 설치하였고, 2004년도에는 북부 및 서부지역에 10개소의 관측정을 설치 중에 있다. 또한, 2006년까지 총 54개소의 해수침투 감시 관측망 구축을 완료하고, 24시간 감시체계를 운영할 계획이다. 제주도의 해수침투 감시 관측망 조사사업에서는 담-염수 경계면을 완전 관통한 해수면 하 150m 또는 U층까지 착정함으로써 지하지질 분포상태를 파악함과 아울러, 대수층별 지하수 산출능력을 평가하고, 담-염수 경계면 형성 위치 등 기초적인 사항에 대한 조사도 함께 진행하고 있다.

대수층별 대수성시험은 대수층의 규모는 물론 수질상태까지 파악할 수 있을 뿐만 아니라, 관정 간의 상호간섭 관계, 지하수의 순환체계 등에 관한 매우 귀중한 기초적인 정보를 얻을 수 있다. 그러나 상하부 대수층을 완벽하게 차수하기가 어렵고 조사비용이 많이 소요되며 시험과정에서 착정공이 붕괴될 우려가 높다는 점 등의 현실적인 어려움으로 인하여 제주지역에서는 지금까지 대수층별 대수성시험이 실시되지 못함으로써 대수층의 발달규모, 산출능력, 수질상태에 관한 자료가 지극히 부족한 실정이다.

본 연구에서는 2004년에 설치 중인 제주도 서부지역 2개 관측정을 대상으로 대수층별 대수성시험을

실시하였으며, 여기에 소개하는 내용은 대수층별 대수성시험 자료와 시추코어 검층자료 등에 근거하여 연구대상 관측정의 대수층별 지하수 산출특성을 개괄적으로 평가한 것이다.

2. 연구방법

연구대상 2개의 관측정은 제주도 서부의 해발 35m 이내 해안 저지대 위치하고 있으며, 해안에서 용수2호공은 3.6km 떨어져 있고, 무릉1호공은 0.28km의 거리에 설치되었다(표 1, 그림 1). 이들 관측정은 모두 U층(고기원, 1997)이 포착될 때까지 회전식 코어회수방법으로 착정하여 최종 착정심도는 해수면 하 150m이다.

시추과정에서 회수된 시추코어는 화산암의 경우 구성광물의 종류·함량·형태와 암질 등에 근거하여 야외명(예 : 침상장석감람석현무암 등)으로 붙였고, 퇴적암은 구성물질의 종류·입자의 크기·화석의 유무 등을 고려하여 명명하였다.

대수층별 대수성시험은 1개 관측정에서 3회(제1대수층, 제2대수층)씩 12시간 동안 실시하였으며, 시험 종료 후에는 일정시간 동안 회복수위와 조석의 영향 유무를 관측하였다.

제1 및 제2대수층에 대한 시험은 각 대수층 하 약 10m까지 착정한 후 실시하거나, 목적심도까지 착정을 완료한 후 각 대수층을 팽창 고무팩커로 완전히 차폐시킨 다음 실시하였다. 대수층의 차폐는 G&G Technology사의 기술지원과 공기주입식 팽창 고무팩커(Φ170)를 사용하였다.

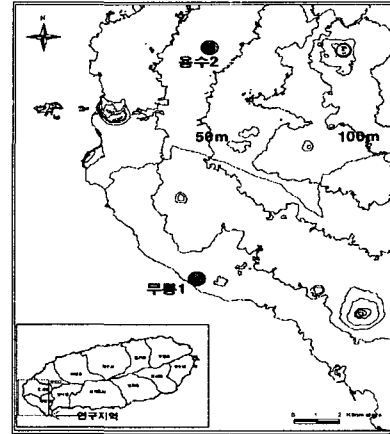


그림 1 연구대상 관측정의 위치도

표 1 연구대상 관측정 현황

지구명	표고 (El.m)	착정심도 (m)		자연수위 (m)		서귀포층 포착심도(m)		U층 포착심도(m)		해안에서의 거리(km)
		BGL	El.	BGL	El.	BGL	El.	BGL	El.	
용수2호	35	185	-150	21.0	14.0	78	-43	163	-128	3.6
무릉1호	10	160	-150	9.7	0.3	87	-77	129	-119	0.28

※ BGL : Below Ground Level, El. : Elevation Level

3. 연구결과

3.1 지하지질구조

온천조사용 시추공을 제외하면, 지금까지 제주도 서부지역에서 평균 해수면 하 150m에 달하는 심부 시추가 이루어진 바 없어 지하심부의 지질구조에 관한 정보가 부족한 실정이다. 그렇지만 본 연구에서는 U층이 포착되는 깊이까지 시추를 진행함으로써 연구지역의 지하지질 상태를 파악할 수 있는 자료가 축적되었으며, 관측정별 지하지질을 살펴보면 다음과 같다.

용수2호공은 지표 하 78m(El. -43m)까지 14매의 용암류 단위로 이루어진 다공질의 침상장석감람석현무암(AFOB)이 분포하고, 그 하부 78~163m(El. -43~-128m)까지 85m 구간은 응회질과 이암 등으로 이

루어진 서귀포층이 분포하며, U층은 지표 하 163m(El. -128m)부터 종료심도인 185m(El. -150m)까지 분포하고 있다. 서귀포층 상부의 화산암류 분포 구간 중 지표 하 27~29m(El. 8~6m) 구간에는 풍화된 현무암역을 포함한 적색의 화산회층이 분포하고, 서귀포층 직상부인 77~78m(El. -42~-43m)에는 원마도가 좋은 자갈층이 분포하고 있다. 용수2호공의 제1대수층은 지표 하 29~33m(El. 6~2m)의 절리가 발달한 화산암 구간이고, 제2대수층은 지표 하 73~78m(El. -38~-43m)의 절리가 발달한 화산암 및 자갈층 분포 구간으로 파악되었다.

무릉1호공은 지표 하 61m(El. -51m)까지 8매의 용암류 단위로 이루어진 다공질의 AFOB가 분포하고, 그 하부로부터 72m(El. -62m)까지의 구간에는 원마도가 좋은 자갈층과 패류화석을 포함한 사암 및 이암층이 분포하고 있으며, 지표 하 72~87m(El. -62~-77m)의 15m 구간에는 치밀질이면서 절리가 발달한 조면암류가 분포하고 있다. 또한, 서귀포층은 지표 하 87~129m(El. -77~-119m)까지 42m 두께로 분포하고, U층은 지표 하 129m(El. -119m)부터 시추 종결 심도인 160m(El. -150m)까지 분포하고 있다. 무릉1호공의 제1대수층은 지표 하 14~32m(El. -4~-22m)에 발달하고 있는데, 이 구간은 유리쇄설성 각력암(pillow lava breccia)으로 이루어져 있어 투수성이 매우 양호한 편이다. 제2대수층은 10~15cm 크기의 자갈로 이루어진 지표 하 61~66m(El. -51~-56m) 구간으로 추정되어 대수성시험을 실시하였으나 지하수 산출능력이 불량하여 조면암류와 서귀포층을 포함한 구간을 포함하여 대수성시험을 실시하였다. 결론적으로 연구대상 2개 관측정의 제1대수층은 평균해수면 근처에 분포하는 화산암류의 절리, 용암류 경계면, 유리쇄설성 각력암층, 미고결 자갈층인 것으로 파악되었으며, 제2대수층은 지표 하 50~70m(El. -40~-60m) 구간의 화산암류의 절리, 용암류 경계면에 발달하는 것으로 보이나 무릉1호공과 같은 경우에는 서귀포층내의 미고결 사력층도 일부 포함되는 것으로 사료된다(그림 2).

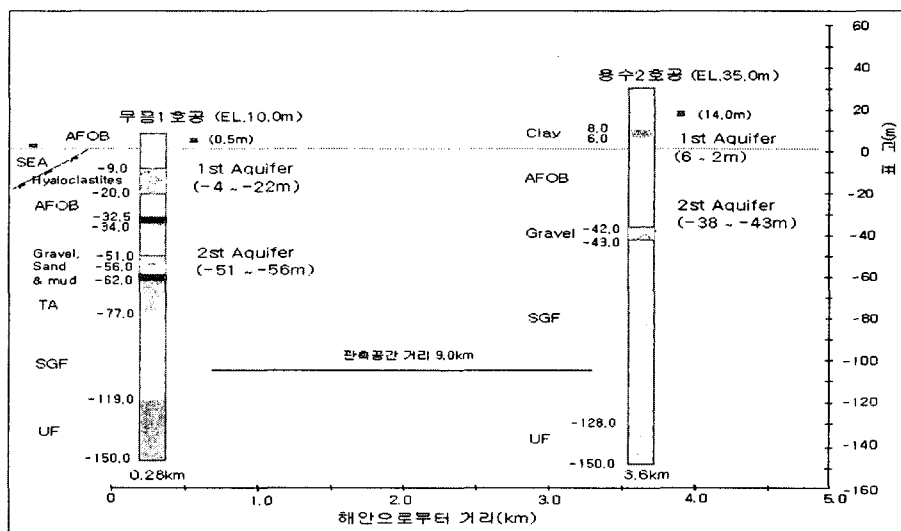


그림 2 연구대상 관측정의 지질주상도와 대수층의 위치

3.2 대수층별 대수성 시험결과

대수층별 대수성시험은 1개 관측정에서 3회(제1대수층, 제2대수층)씩 12시간 동안 실시하였으며, 시험 종료 후에는 일정시간 동안 회복수위와 조석의 영향 유무를 관측하였다(표 2).

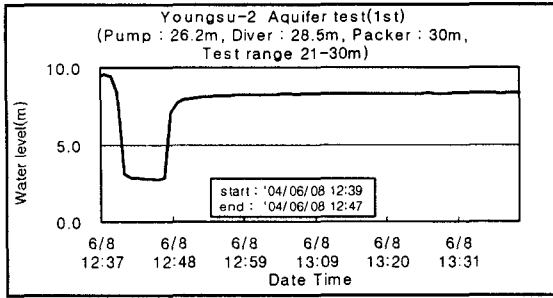
표 2 연구대상 관측정별 대수성시험 내역

관측정	구 분	팩커설치 또는 착정심도 (BGL.m)	모터심도 (BGLm)	양수량 (m ³ /d)	수위강하 (m)	비고
용수2	1차시험	30.0(P)	26.2	1,800	-	단수
	2차시험	41.4(P)	38.0	1,750	10.3	제1대수층
	3차시험	41.4(P)	48.6	1,580	12.4	제2대수층
무릉1	1차시험	32.0(D)	25.2	1,850	0.9	제1대수층
	2차시험	49.3(P)	56.0	900	-	단수
	3차시험	34.7(P)	55.8	1,220	10.3	제2대수층

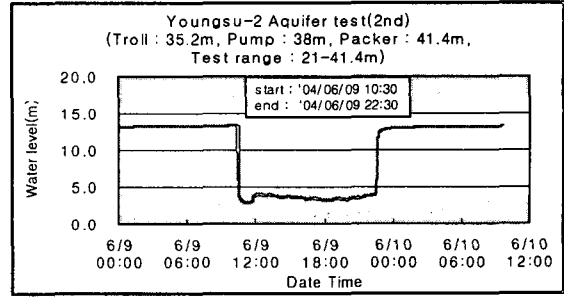
※ D : 팩커를 설치 않고 실시한 시험, P : 팩커를 설치한 시험

용수2호공에 대한 대수성시험은 총 3회에 걸쳐 실시하였다. 1차 및 2차시험은 지표 하 30m(El. 5m)와 41.4m(El. -6.4m)에 팽창 고무팩커를 설치해 패킹 상부 구간의 대수층을 대상으로 시험을 실시하였고, 3차시험은 지표 하 41.4m에 팩커를 설치한 후 그 하부의 대수층을 대상으로 시험을 실시하였다. 1차시험 결과 수위강하가 급격히 발생(수량부족)하여 더 이상의 시험이 곤란해 팩커를 11.4m 내려(지표 하 41.4m에 패킹처리) 2차시험을 실시하였는데, 1,750m³/일 양수시 10.3m의 수위강하가 발생하였다. 특히, 2차시험이 진행되는 동안 양수정에서 270m 떨어진 곳에 위치한 수위관측정(한원관측정)에서 지하수위가 60cm 하강하는 현상이 관측되었고, 지표 하 27~29m(El. 8~6m) 구간에 분포하는 적색 화산회층의 영향에 의해 붉은색의 탁수가 시험 종료시까지 지속적으로 발생하였다. 또한 지표 하 41.4m 하부 구간의 대수층을 대상으로 실시한 3차 시험에서는 1,580m³/일 양수시 12.4m의 수위강하가 발생하였으나 한원관측정에서는 수위강하가 발생하지 않았고, 패킹처리 한 상부의 제1대수층에서도 수위변화가 전혀 발생하지 않았다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 용수2호공의 제1대수층과 제2대수층의 지하수 산출능력은 비슷한 편이지만 이들 대수층은 수직적으로 서로 연결되어 있지 않은 것으로 해석된다. 따라서 대수층별 양수시험시 지하수의 배출로 인한 영향(간섭현상)도 대수층별로 다르게 나타나고 있는 것으로 판단된다(그림 3).

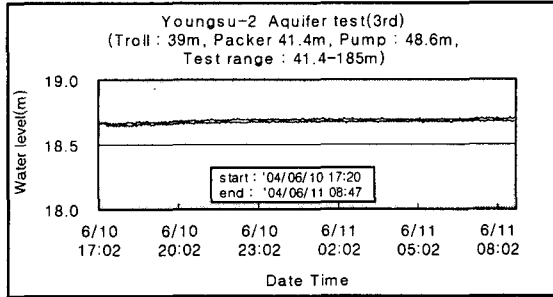
무릉1호공에 대한 대수성시험 역시 3회에 걸쳐 실시하였는데, 1차시험은 지표 하 32m(EL. -22m)까지 착정한 후 실시하였고, 2차 시험은 지표 하 72m(El. -62m)까지 착정한 후 49.3m(El. -39.3m)에 팩커를 설치해 시험을 실시하였다. 또한, 3차시험은 34.7m(El. -24.7m)에 팩커를 설치해 그 하부 대수층을 대상으로 시험을 실시하였다. 1차시험에서는 1,850m³/일의 양수율로 시험을 실시하였는데, 수위강하는 0.9m밖에 발생하지 않았으며 조석의 영향을 받고 있는 것으로 관측되었다. 2차시험은 수량부족(수위강하 26m 발생)으로 시험이 정상적으로 이루어지지 못하였고, 3차시험에서는 1,220m³/일 양수시 10.3m의 수위강하가 발생하였으나 조석의 영향은 나타나지 않았다. 따라서, 무릉1호공의 경우 지표 하 14~32m(El. -4~-22m) 사이에 분포하는 유리쇄설성 각력암층의 수리성이 매우 양호한 반면, 지표 하 49~72m(El. -39~-62m) 구간에는 대수층의 발달이 미약한 것으로 해석된다(그림 4).



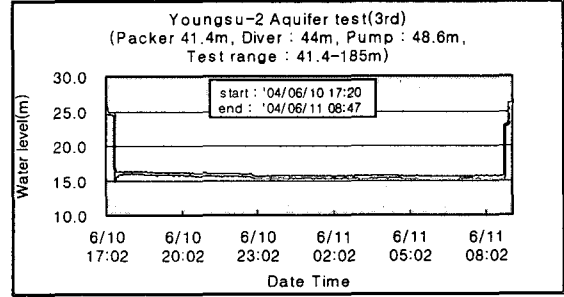
(a) 1차시험



(b) 2차시험

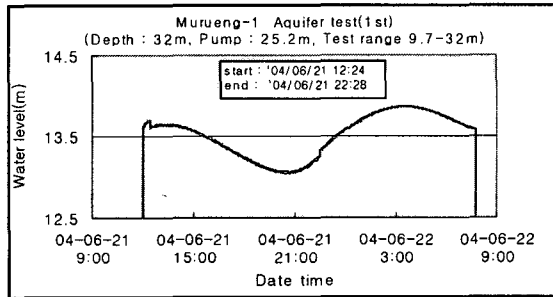


(a) 3차시험 팩커상부

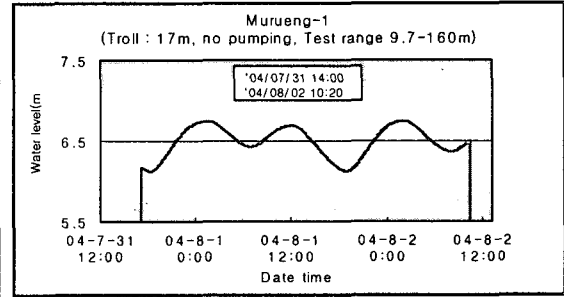


(b) 3차시험 팩커하부

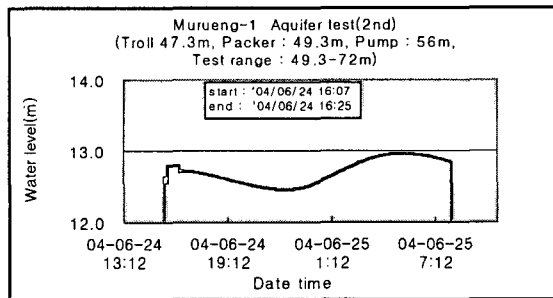
그림 3 용수2호공 대수성 시험결과 그래프



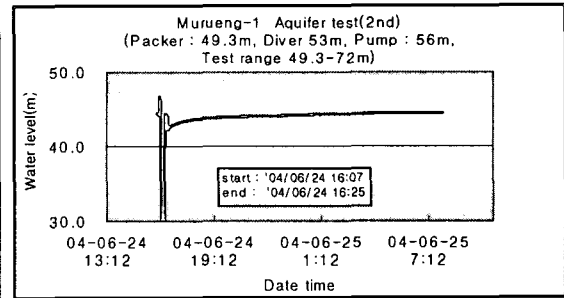
(a) 1차 시험



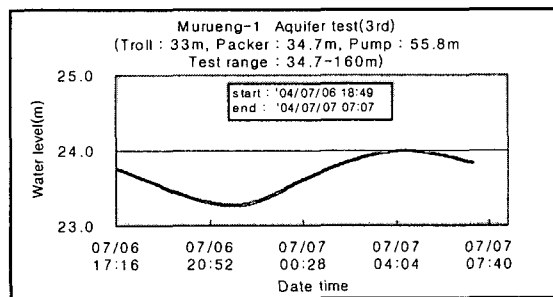
(b) 조선관측



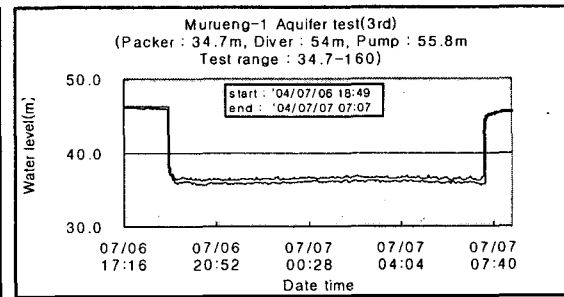
(c) 2차시험 팩커상부



(d) 2차시험 팩커하부



(e) 3차시험 팩커상부



(f) 3차시험 팩커하부

그림 4 무릉1호공 대수성 시험결과 그래프(water level은 sensor pressure임)

4. 고찰

전술한 바와 같이, 제주도 서부지역 2개 관측정을 대상으로 실시한 대수층별 대수성시험으로부터 매우 흥미로운 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구 결과만으로 속단하기에는 다소 이른 감은 있으나 대수층이 수직적으로 서로 연결되어 있지 않을 뿐만 아니라, 대체로 해수면 하 10~20m 사이 구간에 제1대수층이 발달하고 있으며, 지하수 산출능력은 절리 또는 용암류 경계의 대수층(용수2호공)보다는 유리쇄설성 각력암층(무릉1호공)에서가 상대적으로 양호한 것으로 평가되었다. 서귀포층을 포함한 제2대수층에 대한 대수성시험 결과 수위강하가 10m 이상 발생하는 것으로 미루어 보아 제1대수층보다는 지하수 산출능력이 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나, 제1대수층은 지표로부터 얕은 깊이에 위치하고 있어 질산성질소 농도가 전반적으로 높고, 양수에 의한 영향권이 취수정 주변 300m까지 발생하고 있어 제주도 서부지역에서 제1대수층 개발은 세심한 주의가 요구되고 있다.

본 연구에서는 서귀포층까지 착정을 한 뒤 제1대수층을 패킹처리하고 제1대수층 하부에서 서귀포층 구간까지의 수리성에 관한 조사와 서귀포층 직상부에 패킹처리를 한 후 서귀포층 구간의 수리성에 관한 조사를 실시하지 못해 아쉬웠다. 따라서, 향후에는 상기와 같은 미흡한 부분을 보완해 대수층별 대수성시험의 기준과 원칙에 입각해 연구를 진행함으로써 제주도 지하수의 대수층별 산출능력과 수질특성 등을 보다 정량적으로 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 고기원, 1997, 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위 논문, p. 325.
- 고기원, 1991, 제주도 서귀포층의 지하분포상태와 지하수와의 관계, 지질학회지, 제27권5호
- 농업기반공사, 제주도, 2001, 2002, 2003, 해수침투 감시관측망 구축사업 보고서
- 정차연, 2002, 제주도 서부해안지역의 지질과 지하수, 부산대학교 박사학위 논문, p. 80~88.