

지층구조에 따른 해수 침투 특성 분석

A Study on the Characteristics of the Seawater Seepage According to Stratum Structures

안승섭* · 박동일** · 정도준*** · 문상철****

Ahn Seung Seop , Park Dong Il , Jung Do Joon , Moon Sang Cheol

요 지

해수침투는 대수층의 염분 농도를 증가시켜 지하수 염분화에 의한 용수의 부족 등을 야기시키며 다른 지하수 오염과 마찬가지로 회복에 대한 막대한 비용과 시간이 소모되어 피해지역에 대한 정확한 현황 파악이 어려워 피해방지대책의 수립이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 흐름과 이송을 모의할 수 있는 GMS-FEMWATER 모델을 이용하여 대상지역의 지층구조를 구분하고 실제 대상지역의 지층과 동일하게 모델링하여 해안지역의 해수침투에 대한 특성을 규명하였다.

분석결과 양수기간이 길어 질수록 지하수두강하 폭이 양수기간 30일, 60일, 90일 및 180일 경과 시 초기 수위에서 점차 4.25m (1.36%), 3.5m (1.13%), 2.96m (0.97%), 1.97m (0.65%)으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 양수량이 많은 관정일수록 해수 침투가 큰 것을 알 수 있다. 양수기간 30일 0.59mg/l, 채수 60일 1.65mg/l, 채수 90일 3.14mg/l, 180일 5.55mg/l으로 분석되었다. 이결과로 볼 때 양수기간 초기에서 시간이 지날 수록 해수침투가 큰영향을 주는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 해수침투, 양수기간, GMS-FEMWATER

1. 서 론

많은 인구가 해안지역에 밀집하여 있으며 이로 인한 산업시설 증가와 급격한 도시화가 발생하여 수자원 소비량이 날로 증가하고 있다. 과거 지표수로 충족하던 대부분의 수자원이 물 소비량 증가로 인해 지하수 수자원이 차지하는 비율이 점차 커지고 있으며 용수 수요를 충족시키기 위해 무분별하고 과도한 지하수 개발 및 양수로 인하여 지하수 수위 변화 및 오염원 유입 등 여러 가지 문제가 발생하게 되었다. 특히 해안지역에는 이러한 문제 중의 하나로 지하수 평형이 붕괴되어 해수가 담수지하수계로 침입하는 해수침투를 들 수 있다.

해수침투는 대수층의 염분 농도를 증가시켜 지하수 염분화에 의한 용수의 부족 등을 야기시키며 다른 지하수 오염과 마찬가지로 회복에 대한 막대한 비용과 시간이 소모되어 피해지역에 대한 정확한 현황파악이 어려워 피해방지대책의 수립이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 흐름과 이송을 모의할 수 있는 GMS-FEMWATER 모델을 이용하여 대상지역의 지층구조를 구분하고 실제 대상지역의 지층과 동일하게 모델링하여 해안지역의 해수침투에 대한 특성을 규명하였다.

본 연구에 선정된 해안지역은 투수성이 좋은 화산암류로 이루어져 있어 국내 다른 지역에 비

* 정회원 · 경일대학교 건설공학부 교수 · E-mail : ahnsso@kiu.ac.kr

** 정회원 · 경일대학교 토목공학과 대학원 · E-mail : joy830210@naver.com

*** 정회원 · 경일대학교 도시정보측지적공학과 대학원 소방방재청 방재연구소 연구원 · E-mail : fasz96@korea.kr

**** 정회원 · 미래엔지니어링 · E-mail : mo2465@nate.com

해 함양량이 큰 지층으로 이루어져 있으며 하천의 건천화로 인해 지하수에 의해 수자원 확보를 의존하고 있는 실정으로 관정이 비교적 많이 개발되어 있고 지하수에 관한 활발한 연구자료가 많으므로 연구 대상지역으로 선정하였다.

분석을 위하여 대상지역의 해수침투 특성을 분석하기 전 지형, 지질 및 지층구조 특성을 파악하고 다음으로 해수침투 특성을 분석하였다. 또한 해안지역의 4개의 지역(제주, 고산, 성산, 서귀포)으로 나누어 각 지역의 지층 특성을 구별하여 양수량 및 양수기간에 따른 해수침투에 대한 특성을 분석하였다. 분석에서는 지층별 수리전도도는 지질매체의 특성에 따라 차이가 큰 특성인자를 이용하여 최적의 매개변수를 결정하고, 이 결과를 통하여 관정양수에 해수침투와 비교·분석하여 최적의 수리상수를 산정하여 지역의 지층이 대상지역에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 해수침투 방지를 위한 적정 양수량과 양수기간을 제시하여 해수침투 방지대책수립과 지하수 관리, 보존 및 효율적인 지하수 이용을 할 수 있도록 하였다.

2. 모형의 개요

GMS-FEMWATER모형은 다공성매질의 포화 및 비포화 조건 모두에서 흐름과 이송을 모의할 수 있는 3차원모형이다. 따라서 해석에 사용되는 지배방정식은 흐름에 대한 지배방정식과 이송에 대한 지배방정식으로 구분할 수 있는데 이 두 방정식과 경계조건, 초기조건을 이용하여 해수침투의 문제를 해석할 수 있다.

지하수의 흐름을 해석하기 위한 지배방정식은 Darcy법칙에서 비롯된 Richard공식을 수정하여 표현할 수 있다. 지하수의 흐름은 유체의 연속성, 고체의 연속성 매질의 압밀 및 수리전도 특성 등의 개념으로부터 식(1)과 같다.

$$\nabla \cdot \left[\frac{\rho k}{\mu} \cdot (\nabla p + \rho g \nabla z) \right] - \nabla \cdot (\rho n S V_S) + \rho^* q = \frac{\delta S}{\delta t} \quad (1)$$

여기서, ρ 는 유체의 밀도, k 는 매질의 투수계수, μ 는 유체의 점성계수, p 는 압력, g 는 중력 가속도, z 는 위치수두, n 은 공극률, S 는 포화도, V_S 는 압밀로 인해 변형된 매질의 속도, ρ^* 는 주입수의 밀도, q 는 내부 유입·유출, t 는 시간이다.

3. 대상지역 선정 및 분석

연구를 위하여 제주특별자치도 해안을 4곳으로 선정하였다. 본 연구대상지역으로 선정된 제주지역은 국내 최대의 다우지역임에도 불구하고 투수성이 좋은 화산암류로 이루어져 있어 국내 다른 지역에 비해 함양량이 크고 하천의 건천화로 인해 지표수의 발달이 빈약한 하여 대부분의 생활용수, 공업용수, 농업용수를 지하수에 의존하고 있는 실정으로 함양량과 개발 가능량이 높으며, 지하수 환경영향조사가 수행되어 비교적 정확한 지하수위 관측 자료와 지질 자료가 확보되어 있다. 대상지역에서는 4,510개의 관정이 개발 되어 있으나 본 연구에서는 20개의 관정을 선택하여 해수침투특성을 분석하였다.

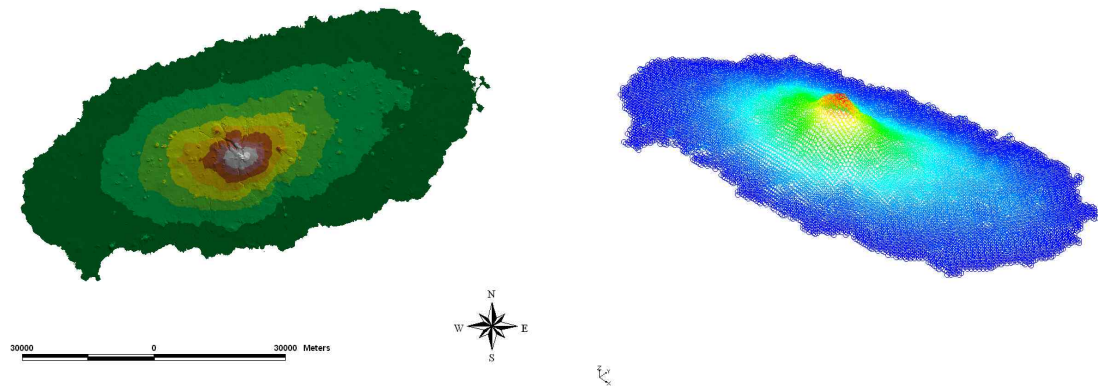


그림. 1 ArcView 3.2를 이용한 DEM 생성

GMS-FEMWATER모형을 이용한 대상지역의 해수침투특성 분석을 위해서는 대상지역의 수치지형도를 이용하여 그림. 1과 같이 Arcview3.2를 통하여 400m×400m의 격자로 DEM(Digital Elevation model)을 생성하였다. 생성된 DEM자료를 통하여 지표면의 표고 Scatter data와 대상지역 경계를 이용한 2D MESH를 구축하였다. 또한 대상지역 함양은 기존연구 (이병철, 2009)의 제주 표선지역의 48%의 함양량 값을 사용 하였다.

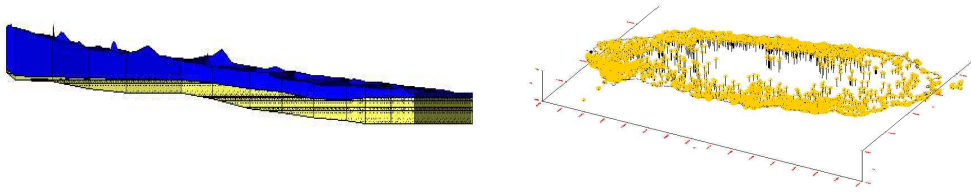
또한 제주도 토양의 물리적 특성은 다른 지역의 토양에 비해 토양의 전용적 밀도가 낮으며, 이 때문에 공극률이 높고, 풍식에 대한 저항이 낮으며, 투수성이 높아 강수의 하향침투가 빠른 특성을 반영하여 표. 1와 같이 지층별로 입력하였다.

표 1. 지층별 입력자료

구분	Saturated Moisture content	Residual Moisture content	Specific storage	Specific yield Long.disp.	Porosity
화산암층	0.38	0.100	2.3×10^{-5}	0.13	0.3
서귀포층	0.46	0.034	2.0×10^{-5}	0.12	0.1

지층구조의 층을 구분하기 위하여 인공송신원 가청주파수 지자기류 (CSAMT :Controlled Source Audio-frequency MT)탐사 조사결과를 참고하여 지층구조층을 분리하여 1층을 화산암층 2층을 서귀포층으로 설정하여 2층으로 구분하였으며, 각 지층별 Scatter data를 생성하였다. 생성된 2D MESH와 각 지층의 Scatter data를 이용하여 3D MESH를 구성하였다.

또한 본 연구에 사용된 관정은 대상지역의 총 4,510개의 관정 중 해안지역의 공간적인 분포를 고려하고, 다음으로 취수량이 많고 관측값이 있는 20개의 관정을 대상으로 하여 분석을 실시하며, 모형해석을 위한 최적 매개변수의 추정을 위하여 해수침투 관측정을 이용하여 단순시행착오법으로 지층입력값을 사용하여 최적의 매개변수를 산정하여 적용하였다. GMS-FEMWATER 모형의 추정된 최적매개변수를 이용하여 해수침투특성을 분석하였다.



2

그림. 2 지층구분과 대상지역의 전체 관정

분석결과 양수기간이 길어 질수록 지하수두강하 폭이 양수기간 30일, 60일, 90일 및 180일 경과 시 초기 수위에서 점차 4.25m (1.36%), 3.5m (1.13%), 2.96m (0.97%), 1.97m (0.65%)으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

또한 양수량이 많은 관정일수록 해수 침투가 큰 것을 알 수 있다. 양수기간 30일 0.59mg/l, 채수 60일 1.65mg/l, 채수 90일 3.14mg/l, 180일 5.55mg/l으로 분석되었다. 이결과로 볼 때 양수기간 초기에서 기간이 지날 수록 해수침투가 큰영향을 주는 것을 알 수 있었다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 화산도서 해안지역의 해수침투 특성 분석을 위하여 GMS-FEMWATER모형을 사용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 양수기간이 길어질수록 지하수두강하폭이 감소함을 알 수 있었다. 이러한 결과로 볼 때 양수 개시 초기 60일까지의 수위 변화가 큰 폭으로 떨어지고 있으나 기간이 지날수록 수위 변화는 비슷한 변동 폭으로 떨어지고 있음을 알 수 있었다.
2. 관정에 대한 채수 시 양수기간에 따라 해수침투가 큰 폭으로 변화하고 있음을 알 수 있었다.
3. 본 연구를 통하여 해안지역의 해수침투특성분석에 타당한 결과를 제시함으로써 지하수 해수 침투 방지대책수립, 관리 및 보존에 기초 자료로 활용 할 수 있으며, 또한 해안까지의 거리 및 인근 인구밀집지역의 차이 장기간에 걸친 면밀한 조사가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Carsel, R.. F and Parrish, R.S (1998), Developing joint provvavity distributions of soil water retention characteristics. Water Resources Rsearch 24(5), pp. 755~769
2. 고병런 (2005), 해수침투로 인한 해안지하수의 염분화 특성, 수처리학회 제13권 제1호 61~70
3. 장창덕 (2008), 층상 해안대수층에서 해수침투 특성에 대한 정성적 고찰, 충북대학교 대학원 석사학위논문
4. 이병철 (2009), 화산도서유역에서의 수치모형을 이용한 지하수 유동해석, 경일대학교 대학원 박사학위논문
5. 한국농촌공사 제주특별자치도본부(2007), 제주시 지하수 개발·이용허가 기간연장사업에 따른 지하수영향조사서
6. 안승섭 (2009), 화산도서해안지역의 해수침투특성에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회