

# 수문기상조건에 따른 지하수함양특성 연구

## Groundwater Recharge Rate with Hydro-Meteorological Condition

안승섭\*, 이상일\*\*  
Seung Seop Ahn, Sang Il Lee

---

### 요 지

SWAT모형을 이용하여 악근천, 호근천, 동홍천을 대표 3개 유역으로 구분하여 1990년 토지이용상태에 1980년부터 1999년까지의 기상자료를 사용하였고 2000년 토지이용상태에 2000년부터 2010년까지의 기상자료를 적용하여 분석한 결과, 적용 기간 평균 지하수 함양률은 30%로 분석되었다. 이러한 연구결과는 기존의 제주지역 지하수 함양률 분석연구에서 나타난 40-50%보다 훨씬 적은 값으로 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이 결과는 투수성 다공질 지층이 제주지역의 지질특성을 고려하더라도 개발형태가 비투수성 포장형태이고, 개발된다면 육지지역과 같은 지하수함양특성과 비슷할 수 밖에 없음을 알 수 있었다. 또한 Markov-chain을 이용하여 장래토지이용상태를 분석한 결과 장래의 토지이용은 2000년 현재에 비해 산림 3.4%감소, 농경지 0.2% 증가, 수계 1.0% 증가, 도심지 0.5%증가 하는 것으로 나타났다. 토지이용상태에 따른 SWAT모형 분석을 비교한 결과 현재에 비해 유출량은 평균 22mm 증가하였으며, 증발산량은 평균 5mm감소, 함양량은 평균15mm감소하여 0.7% 정도 감소하는 것으로 토지이용상태가 함양량에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

**핵심용어 : 토지피복도, 지하수함양량, SWAT, Markov-chain**

---

### 1. 서론

현재 급격한 도시화의 영향으로 인하여 토지이용상태가 매우 급격하게 변화되었고, 이러한 도시유역의 토지이용 변화는 하천의 유출에 직접적인 영향을 미치게 되었다. 특히 도시화에 따라 불투수층 면적이 증가되는 경우 도시화 이전보다 홍수도달시간은 현저히 감소되고 침투 유량은 증가되었다. 또한 인구 집중현상의 심화로 인한 거주지 및 상업, 공업용지의 수요가 급격하게 증가하는 추세이다. 하지만 수요에 비해 토지의 공급이 충분치 못하여 농경지나 산림을 아파트나 공업용지 등으로 무분별하게 개발하게 되어 급격한 토지이용의 변화가 있었고, 그에 따라 홍수 또는 국지성 호우시 침수로 인한 인명피해가 초래되어 사회적인 문제가 되었다. 또한 아파트나 공장, 각종 편의시설 등이 건설되면서 급격한 지형의 변화가 초래되었고, 이로 인한 지표유출의 증가로 인해 홍수피해가 빈번하게 발생되고 있다. 또한 하천유역의 도시화 정도가 급속히 진행될 뿐만 아니라 기상이변과 같은 자연환경의 변화가 복합적으로 작용함으로써 수자원 문제를 해결하기 위해 많은 노력이 필요한 실정이다. 도서지역과 같이 지하수 이용량이 많은 지역은 지하수 개발에 대한 명확한 체계가 이루어지지 않으면 과잉양수로 인한 지하수위 저하로 용수부족, 지하수질 악화, 염분침투 등과 같은 문제를 일으킬 수 있으며, 그 피해가 광범위하고 장기간으로 확산될 수 있다. 그러므로 지하수 유동에 영향을 미치는 요소를 고려한

---

\* 정회원 · 경일대학교 건설공학부 교수 · E-mail : [ahnso@kiu.ac.kr](mailto:ahnso@kiu.ac.kr)

\*\* 학생회원 · 경일대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : [lovely-312@nate.com](mailto:lovely-312@nate.com)

지하수함양량 산정은 반드시 필요하다고 할 수 있다.

## 2. 연구대상지역의 선정 및 자료수집

본 연구에서는 화산도서지역의 토지이용변화 특성이 지하수 함양에 미치는 영향을 분석하기 위하여 서귀포시 중에서도 년도별 토지이용변화가 뚜렷이 나타나는 하천인 악근천, 호근천, 동홍천 유역을 연구 대상유역으로 선정하였다.

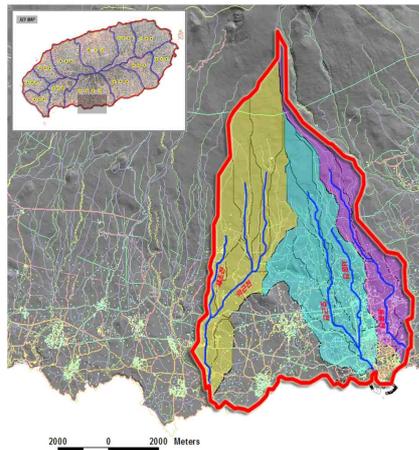


그림 1. 연구대상유역 선정



그림 2. 수문학적 토양분류

먼저, 본 연구대상유역의 지형분석을 위하여 ESRI사의 ArcGIS 9.3 프로그램과 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도(1:5,000)를 이용하여 불규칙 삼각망 TIN을 생성 하였으며, 연속적인 데이터값을 가지도록 GRID형태의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하여 이를 바탕으로 유출경로를 분석하여 그림 2.과 같이 3개의 대표 유역으로 구분하였으며, 이들 유출경로분석자료와 1:25,000 정밀 토양도를 이용하여 수문학적 토양군으로 구분하였다.

대상지역의 토지이용도는 국가수자원관리종합시스템(WAMIS)에서 1975년부터 2000년까지 5년 단위로 총 6개의 토지이용도를 ArcGIS9.3 프로그램에서 수치고도자료와 같은 크기의 격자로 구성하여 그림 3.과 같이 분석을 실시하였다. 또한 본 연구에서는 토지이용의 종류로 크게 수역(하천, 저수지, 바다), 시가화(도시지역, 주거지역, 교통시설, 나지), 산림(침엽수, 활엽수, 혼효림), 농지(논, 밭)으로 4개의 토지이용으로 분류하여 장래토지이용예측에 적용하였다.

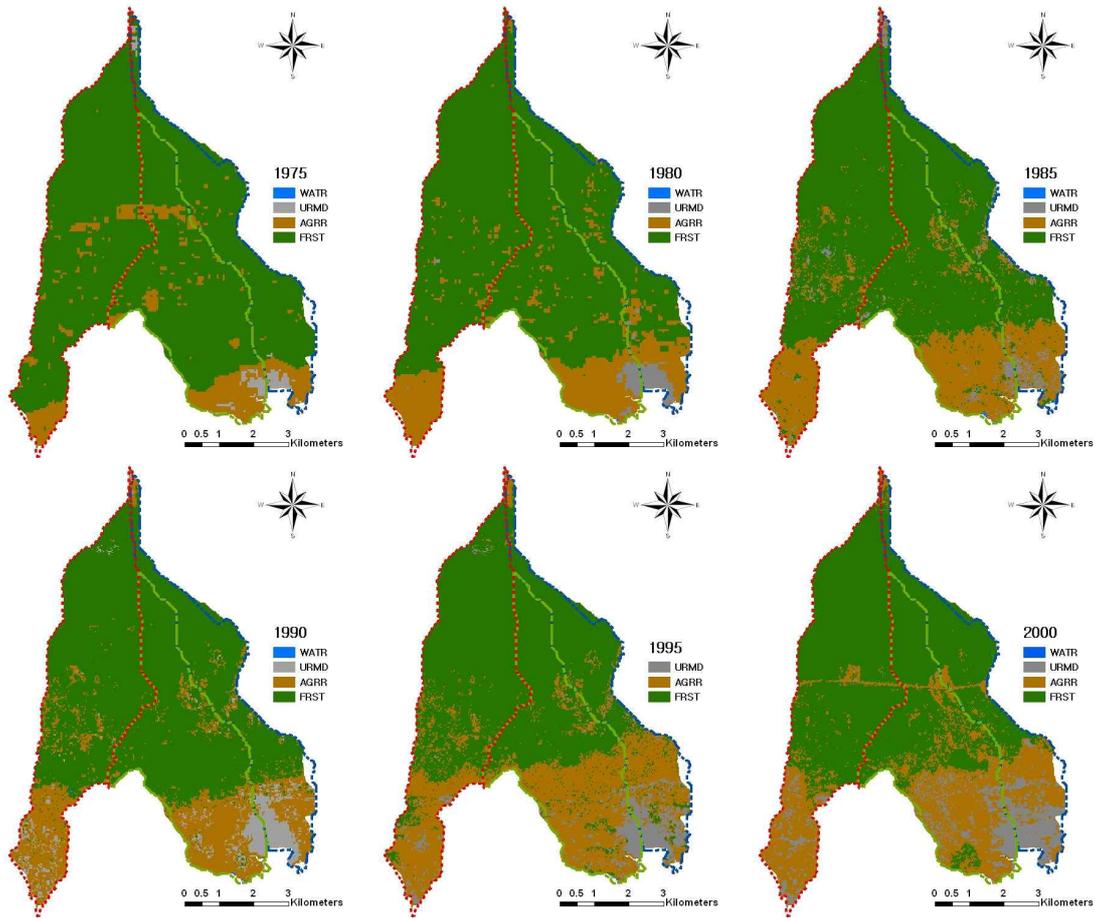


그림 3. 년도별 토지이용변화

### 3. 장래 토지이용 예측을 통한 지하수 함양량 추정

1995년과 2000년 두시기의 토지이용 변화율을 추정하여 전이행렬을 구성한 후 장래 토지예측을 실시하였다. 연구대상 지역을 한 개의 구역으로 가정하여 4개 항목으로 분석하였으며, 산림의 경우 32.13km<sup>2</sup>에서 24.42km<sup>2</sup>로 감소하였고, 농경지는 16.83km<sup>2</sup>에서 22.98km<sup>2</sup>로 증가하였으며, 도심지의 경우 3.34km<sup>2</sup>에서 4.67km<sup>2</sup>로 증가되는 것으로 분석되었다. 따라서 도심지 및 농경지의 확산이 산림의 축소와 관계를 가지고 있음을 파악할 수 있다.

표 1. 연구대상 구역의 토지이용 면적(단위: km<sup>2</sup>)

년도	산림	수계	농경지	도심지
1995	32.13	0.00	16.83	3.34
2000	24.42	0.23	22.98	4.67

각각의 두시기에 분류결과를 중첩하여 분류된 항목사이의 토지이용의 전환율로써 구성된 전이행렬을 이용하여 모형의 시기별 반복 수행에 의한 검정 통계치의 결과는 각 초기확률 상태에서부터 천이를 계속해서 그림 4.과 같이 안정상태의 확률을 구했으며, 연구대상 구역의 토지이용에 대한 초기확률은 산림 0.6143, 농경지 0.3218, 수계 0.0000, 도심지 0.0639의 상태에서부터 산림 0.467, 농경

지 0.812, 수계 0.188, 도심지 0.123에서 가장 높은 확률상태로 분석되었다.

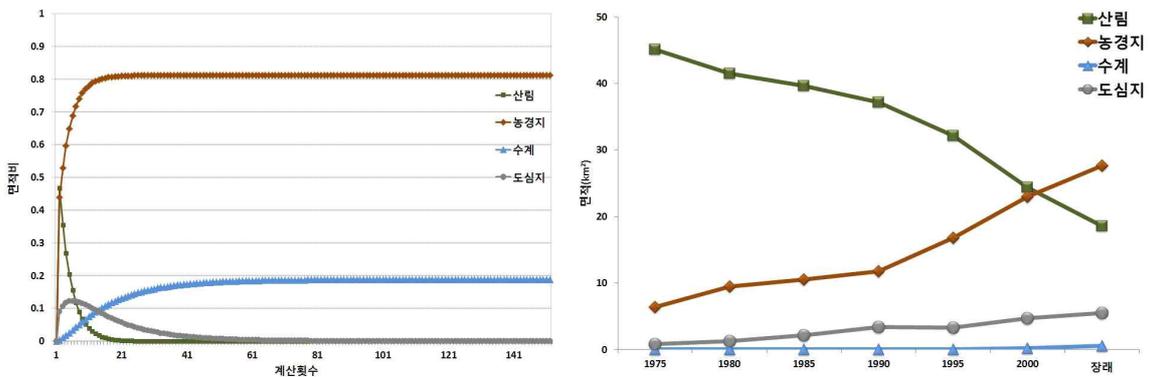


그림 4. 대상구역 1995-2000년 토지에측의 평가 그림 5. 연구대상구역의 예측된 토지이용결과 비교

연구대상 구역의 경우 1995년부터 2000년까지의 전이행렬을 구성하여 2000년의 토지이용에 대한 장래 토지이용의 예측결과 그림 5.과 같이 수계, 도심지, 농경지는 실제 토지이용에 비해 다소 높은 값을 나타냈으며, 산림의 경우 실제 토지이용면적보다 다소 낮은 토지이용 분포를 나타내었다.

장래 토지이용 변화추이 분석을 토대로 장래 토지이용 상태에 따른 과거 기상자료가 재현될 경우 장래 토지이용의 변화가 함양량 및 유출량을 포함한 수문인자의 특성변화를 분석하였다. 그 결과 전년 평균 함양율이 2000년대의 토지이용도를 이용하였을 경우 보다 약 0.73% 감소한 28.55%로 분석되었으며, 유출량의 경우 22.74mm증가된 677.92mm로 분석되었다. 또한 갈수년인 1984년의 경우 기왕의 토지이용상태의 함양량 보다 0.5% 감소한 22.6%로 분석되었으며, 평수년 및 최다우년의 경우 각각 0.7% 및 1.3%감소한 30.8% 및 30.9%의 함양량으로 분석되었다. 이러한 분석결과는 도시화로 인한 도심지 면적의 증가로 영향으로 판단되며, 장래 토지이용 면적의 변화에 대한 각 수문인자의 특성 변화는 다음 그림 6.과 같다.

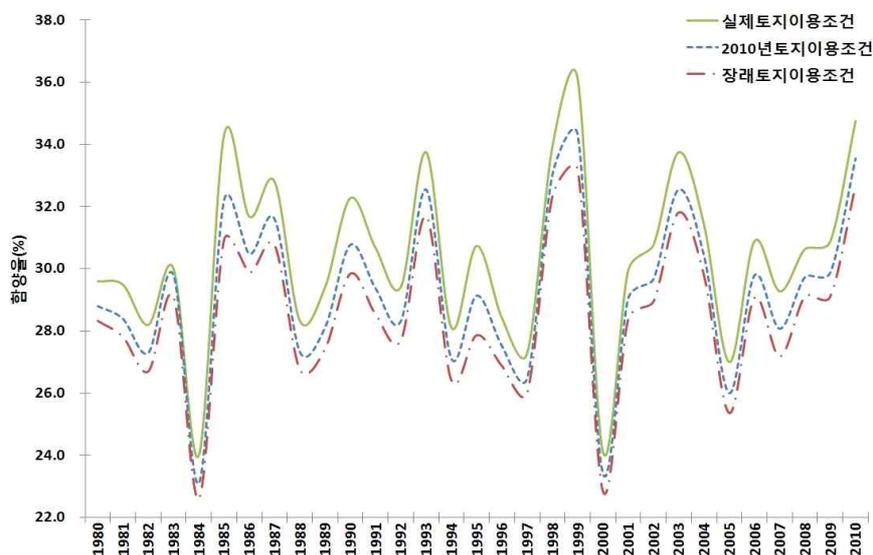


그림 6. 토지이용조건에 대한 함양율 변화특성

#### 4. 결론

본 연구에서는 제주도 서귀포 지역을 대상으로 토지피복변화 특성에 따른 지하수 유동특성을 규명함으로써 각종 개발계획에서 지표면 처리계획의 기본방향을 제시하는데 이용할 수 있도록 하였다. 분석을 위한 기초자료는 연구대상지역내의 관측유출량 자료와 장기 토지피복예측 자료를 이용하였으며, 이들 자료를 이용하여 모형별 최적 매개변수를 추정하였다.

연구의 범위로 1975년부터 2000년까지의 5개년 단위로 6개의 토지이용자료를 이용하여 이용상태 변화를 도식화 하였으며, 강수량의 변화가 지하수 함양특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 대상 유역의 최근 30년간(1980년~2010년) 기상개황 자료로 SWAT모형을 이용하여 대표 강우년별(최다, 평균, 최갈수년) 수문인자를 도출하였다. 또한 Markov Chain모형을 이용하여 장래 토지이용을 추정하였으며, 추정된 토지이용을 적용하여 토지이용변화가 지하수 함양특성에 미치는 영향을 검토하기 위해 대상지역의 장기 지하수함양특성을 추정하였으며, 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) SWAT모형을 이용하여 악근천, 호근천, 동흥천을 대표 3개 유역으로 구분하여 1990년 토지이용상태에 1980년부터 1999년까지의 기상자료를 사용하였고 2000년 토지이용상태에 2000년부터 2010년까지의 기상자료를 적용하여 분석한 결과, 적용 기간 평균 지하수 함양률은 30%로 분석되었다. 이러한 연구결과는 기존의 제주지역 지하수 함양률 분석연구에서 나타난 40-50%보다 훨씬 적은 값으로 나타나고 있음을 알 수 있었다. 이 결과는 투수성 다공질 지층이 제주지역의 지질특성을 고려하더라도 개발형태가 비투수성 포장형태이고, 개발된다면 육지지역과 같은 지하수함양특성과 비슷할 수 밖에 없음을 알 수 있었다.

2) Markov-chain을 이용하여 장래토지이용상태를 분석한 결과 장래의 토지이용은 2000년 현재에 비해 산림 3.4%감소, 농경지 0.2% 증가, 수계 1.0% 증가, 도심지 0.5%증가 하는 것으로 나타났다.

3) 토지이용상태에 따른 SWAT모형 분석을 비교한 결과 현재에 비해 유출량은 평균 22mm 증가하였으며, 증발산량은 평균 5mm감소, 함양량은 평균15mm감소하여 0.7% 정도 감소하는 것으로 토지이용상태가 함양량에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

#### 참 고 문 헌

1. 구민호, 이대하(2002), 지하수위변동법에 의한 지하수함양량산정의 수치해석적분석, 지질학회지, Vol. 38, No. 1, pp. 407~420.
2. 문상기, 우남철(2001), 누적강우량과 지하수위곡선을 이용한 지하수 함양율 추정기법, 한국지하수 토양환경학회지, Vol. 6, No. 1, pp. 33~45.
3. 문상기, 우남철, 한원식(2002), 국가지하수 관측망 자료를 이용한 층적층 지하수 함양률의 공간적 변동성 연구, 한국지하수 토양환경학회 춘계학술발표논문집, pp. 237~242.
4. 박영기(2009), 위성영상정보를 이용한 하천유역 강우유출해석, 박사학위논문, 경일대학교 대학원.
5. 안승섭, 박동일, 최윤영, 배상근, 차호섭(2010), 토지이용변화에 따른 지하수함양량 변화 분석, 한국수처리학회지, Vol. 18, No. 5, pp. 85~94.
6. 안승섭, 박노삼, 박동일, 이상일(2011), 지질형태와 토지이용특성을 고려한 도서지역의 지하수흐름특성 분석, 한국환경기술학회지, Vol. 12, No. 1, pp. 43~55.