

GIS 및 원격탐사를 이용한 포항시 지하수 잠재가능성도 작성 및 검증

이사로* · 김용성** · 원종호***

Groundwater resources potential mapping and its verification using GIS and remote sensing in Pohang city

Sa-Ro Lee* · Yong-Sung Kim** · Jong-Ho Won***

요 약

본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 공간자료 분석을 통한 포항지역의 지하수 개발 적지 선정 및 검증을 하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 물수지, 토지이용, 임상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선구조 등을 분석하였다. 그리고 이러한 분석 자료 및 GIS 공간분석기법을 이용하여 지하수 산출성 표본자료와 상관 분석하여 수문지질 특성평가를 실시하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출 특성을 도출하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 포항시의 지하수 개발 적지 선정을 위한 지하수 잠재가능성도를 작성하였고, 이를 지하수 산출량 자료와 비교 검증을 하였다. 검증 결과 지하수 개발 적지 분석 결과와 지하수 산출량 자료와의 관련성이 높게 나타났다. 이러한 지하수 개발 적지 선정 결과는 지하수 개발에 관련된 관리에 사용될 수 있다.

주요어 : 지하수 잠재가능성도, 지하수 개발, GIS, 원격탐사, 포함

ABSTRACT : The aim of the study is to select and verify for development of groundwater resources using Geographic Information System(GIS). The water balance, land cover, forest, soil, elevation, slope, hydrogeology and lineament were analyzed. Using GIS, relationship between the data and groundwater yield data was analyzed and the groundwater resources potential map was made for selecting suitable area for groundwater development. Then groundwater resource potential map was verified using groundwater yield data. The verified

*한국지질자원연구원 지질자원정보센터(leesaro@kigam.re.kr)

**경북대학교 지질학과 박사(y12596@yooshin.co.kr)

***수자원공사 조사기획처 지하수조사부(jhwon@kwater.or.kr)

result showed the good agreement between the potential map and groundwater yield data. The potential map can be used for groundwater management which is related to groundwater development.

Keywords : Groundwater potential map, Groundwater development, GIS, Remote Sensing, Pohang

1. 서 론

수자원으로서 지하수의 효용성은 적절한 수질을 지속적으로 유지하면서 소요 수량을 안정적으로 공급하는데 있으므로, 지하수자원의 효율적 이용과 체계적인 관리를 위해서는 지하수의 산출특성에 대한 정확한 평가 및 예측이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 GIS를 이용하여 공간자료 분석을 통한 포항지역의 지하수 개발 적지 선정 및 검증을 하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 물수지, 토지이용, 임상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선구조 등을 분석하였다. 그리고 이러한 분석 자료 및 GIS 공간분석기법을 이용하여 지하수 산출성 표본자료와 상관 분석하여 수문지질 특성평가를 실시하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출 특성을 도출하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 포항시의 지하수 개발 적지 선정을 위한 지하수 잠재가능성도를 작성하였고, 이를 지하수 산출량 자료와 비교 검증을 하였다.

본 연구에서와 같이 GIS를 지하수 분야에 이용한 예는 최근 들어 많아지고 있으며, 주로 지하수 관련 DB 구축 및 지하수 오염 예측 분야에 적용되고 있다(조시범

과 손호용, 2004, 최선영 등, 2004, 김윤영과 이강근, 1999, 최선영 등, 2004 김윤영과 이강근, 1999, 이처경과 문추연, 1999, 한수형 등, 2002, 김만규, 2001, 민경덕 등, 1996, 원종석 등, 2004 이사로 등, 2004, 이사로와 김윤중, 1996, 이사로와 최순학, 1997, 조시범 등, 1999).

연구지역은 경상북도 포항시로 북으로 영덕군과 청송군 남으로 경주시 서로는 영천시와 경계를 이루며 동해안에 접해있는 항구 도시이며, 경·위도상 북위 35°50'07"~36°19'49", 동경 128°59'20"~129°34'57"에 위치하고 있다. 연구지역의 면적은 1,127.62km²이다. 연구지역의 지형은 대체로 지질분포와 지질구조 요소를 반영하여, 산계는 대체로 양산단층대의 방향과 유사한 N10~20E방향성이 가장 우세하며, 이외에 양산단층에서 파생된 단층들의 방향을 따른 N60~70W의 소규모 산계들이 발달하고 있는 양상을 보인다. 서북부는 태백산맥의 지맥이 남주하면서 깊고 높은 지형기복의 험준한 산악지역을 형성하고, 해안 및 동남부로는 구릉지와 제 3기층이 융기된 소구릉선 발달하여 시가지를 둘러싸고 있다. 화산암 및 화강암이 분포하고 있는 양산단층대의 서측의 주요 산계는 대개 해발고도 700m 이상의 산악지형을 이루

고 있다. 이에 비해 제 3기 퇴적암이 주로 분포하고 있는 양산단층대의 동측은 해발고도 200m 미만의 얇은 구릉성 산지를 이루고 있다. 3기말에 이어진 화산활동과 제 4기에 태백산맥이 형성되며 동해안의 용기작용으로 소구릉지 및 요철지형이 형성되며 지각변동에 의해 형산강과 영일만 및 장기반도가 형성되었다.

연구지역의 지질은 크게 중생대 백악기의 퇴적암류와 이를 관입한 화성암류 및 화산암류, 그리고 신생대 제 3기의 퇴적암류와 화산암류 및 화성암류로 구성되어 있다. 지질 분포를 규제하는 가장 큰 구조 요소는 경상북도 영덕에서 부산 양산지방으로 연결되는 대규모 단층대인 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}E$ 방향의 양산 단층과 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ}W$ 의 울산단층을 들 수 있다. 본 양산 단층과 울산 단층을 경계로 서측은 중생대 백악기 화산암류 및 화강암류가 대부분의 분포를 보이고 있으며, 경상분지의 퇴적암층은 비교적 좁은 분포를 보이고 있다. 동측은 주로 신생대 제 3기의 포항분지내의 퇴적층들이 분포하며, 남측에 일부 화산암류와 화강암류가 분포하는 양상을 보인다. 경상분지의 백악기 경상누층군은 크게 유천층군과 하양층군으로 분류할 수 있다. 유천층군은 주로 화산암계열의 암상으로 이루어져 있으며 하양층군은 의성소분지의 춘산층, 사곡층, 점곡층, 후평동층, 일직층, 진동층과 영양소분지의 도계동층, 청량산층, 가송동층으로 이루어져 있다. 연구지역내의 경상분지 퇴적층은 주로 하양층군의 의성 소분지내의 춘산층과 영양소분지의 가송동층으로 구성되어 있다. 춘산층은 기존 도폭내(1:50,000, 도평도폭)에 대구층

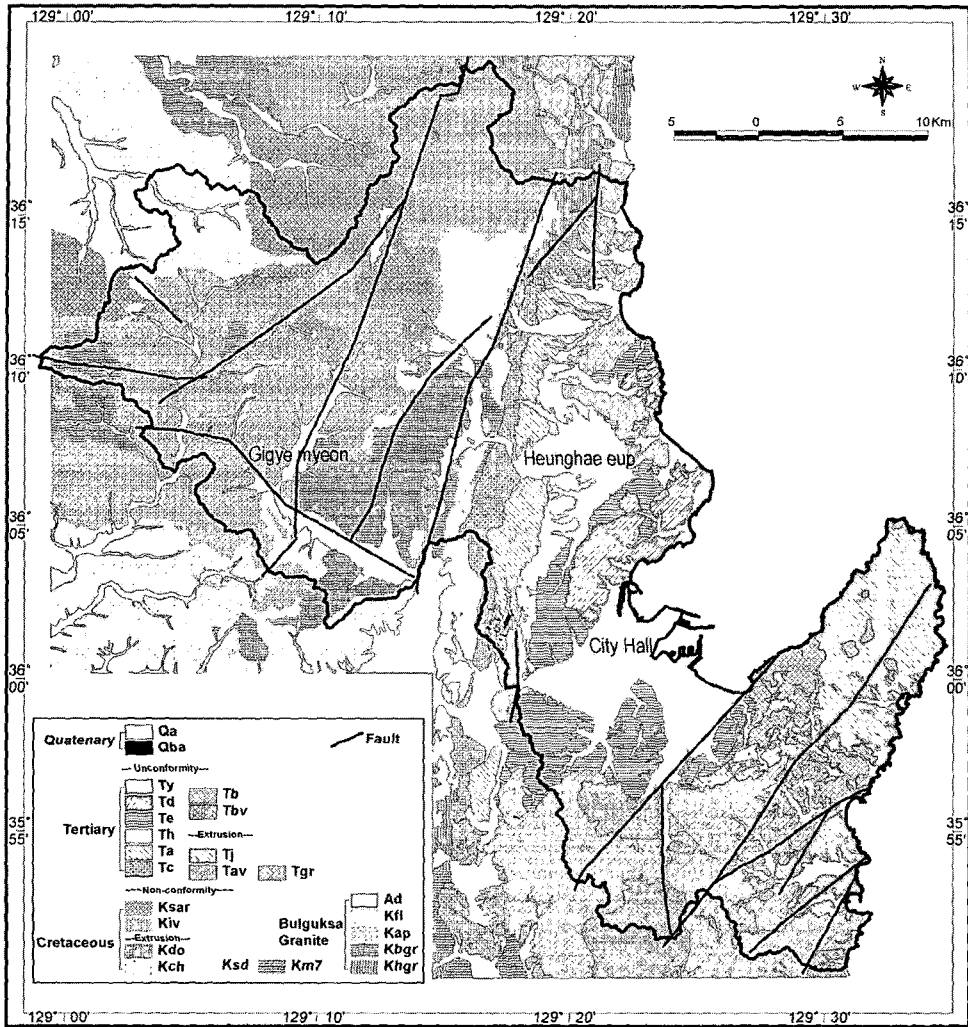
군으로 명명되어 있는 암상으로서 셰일과 실트스톤과 이에 협재하는 석회암, 역암으로 이루어져 있으며, 가송동층은 주로 셰일, 이암, 역암으로 구성된다. 포항분지의 제3기층은 크게 연일층군과 장기층군 그리고 화산암 계열 및 화강암으로 나눌 수 있다. 연일층군은 다시 천북역암, 학림층, 흥해층, 이동층으로 세분된다. 장기층군과 연일층군의 퇴적암류는 주로 사암, 셰일, 역암으로 이루어지며, 대부분의 경우 고화도가 낮아서 반고결이나 미고결층으로 구성되어 있다. 제4기층인 충적층은 주로 자갈과 모래로 구성된 퇴적층으로 하천과 계곡을 따라 제 지층을 부정합으로 피복하며 발달하고 있다. 연구지역의 지질도는 [그림 1]과 같다. 연구지역의 지질도는 1/25만 안동(황재하 외, 1996) 및 부산(김동학 외, 1998) 지질도가 이용되었다.

2. GIS 자료 구축

본 연구에서는 GIS관련 분석 기법을 적용키 위해 지하수 기초조사에서 요구하는 각종 관련 자료를 GIS를 이용하여 입력, 수정하여 공간 DB로 작성하였다. 본 연구에서 사용한 도면 자료는 <표 1>과 같다.

2.1. 지표 피복 자료

본 조사에서는 조사 지역에 대한 지표수 및 지하수의 개발과 관련된 정보들을 Landsat TM 자료를 이용하여 분석하였으며, 기본적으로 추출하고자 하는 정보는 토지피복도이다. 본 연구에 사용된 위성자료는 미국



Qa : Alluvium	Tb : Basalt	Kfl : Felsite
Qba : Basalt	Tbv : Basic Volcanics	Kap : Acidic Porphyry
Ty : Yonam Fm.	Tj : Changki Group	Kbgr : Biotite Granite
Td : Duho Fm.	Tav : Acidic Volcanics	Khgr : Hornblende Granite
Te : Idong Fm.	Tgr : Granite	Kdo : Docheonri Fm.
Th : Hunghae Fm.	Ksar : Acidic Volcanics	Kch : Cheonggyeri Fm.
Ta : Hakrim Fm.	Kiv : Intermediate to basic Volcanics	Ksd : Daegu Fm.
Tc : Chunbuk Fm.	Ad : Acidic Dyke	Km7 : Jindong Fm.

[그림 1] Geological map

<표 1> 주제도 작성 항목 및 활용 자료

평가 항목	주 제 도	활 용 자 료
수문·기상	• 지하수 함양성 평가도(연구지역 동일)	• 강우량, 유출량, 증발산, 물수지분석 자료
지표 피복	• 토양 분포도	• 토양도(1:50,000)
	• 토지 이용도	• 원격탐사 성과 및 임상도(1:25,000)
지형	• 지형고도 분포도	• 수치지도(1:25,000)
	• 지형경사 분류도	• DEM 및 음영기복도 • 원격탐사 지형분석 성과
지질	• 수문지질 단위 분류도	• 지질도(1:25,000) 및 수문지질도(1:25,000)
	• 지질구조선 분포도	• 위성영상 및 항공사진 판독자료
	• 층적층 두께 분포도	• 전기비저항탐사, 시추 및 착정 조사 자료

상용위성인 Landsat-5에 장착되어 있는 위성센서인 TM(Thematic Mapper)을 이용하여 얻은 자료로서, 대상 지역은 Landsat-5 영상 좌표계 Path/Row가 114/35 지역에 포함된다. 이 영상은 2000년 3월 6일에 촬영되었다. 다중분광대의 자료를 가지고 있는 Landsat TM은 30m × 30m의 공간 해상도를 가지고 있어 위성영상을 이용한 광역적 선구조 해석 및 지질학적 지표 특성분석에 가장 널리 이용되고 있다. 인공위성 자료를 이용한 감독분류를 실시하기 위해서는 Landsat TM 자료의 7개 밴드 중 감독분류를 적용하는데 Landsat TM 7개의 밴드 중 해상도가 떨어지는 열 밴드 6번을 제외하고 모두를 사용하여 감독분류를 실시하였다. 본 연구대상 지역에서 감독분류를 위해 토지이용 상태를 7개 종류로 구분하였다. 즉 ① 농경지 ② 임야(밀집부분) ③ 임야(드문 부분) ④ 임야(그림자부분) ⑤ 거주지 ⑥ 나대지 ⑦ 수역 등으로 구분하였다. 상기에서 임야를 세 종류로 구분한 것은 본 지역에서 얻어진 위성

영상 자료의 광학 특성에 따라 분류의 신뢰도를 높이기 위해 편의상 세분한 것으로, 실제 최종 결과의 계산에 있어서는 이를 모두 합하여 임야의 면적으로 계산하였다. 감독분류에 사용되는 밴드의 조합을 결정한 후 지형도 및 고해상도 영상 등 가능한 모든 보조적인 정보를 이용하여 각 분류 목록의 가장 대표가 되는 부분을 분류대상 영상 내에서 선택하여 각 분류 목록에 대한 광학적 특성을 통계학적으로 분석하는 훈련지역을 선정하였다. 이 작업은 일반적으로 위성영상을 육안으로 선택을 실시하며 본 연구에서 사용된 감독분류는 상용프로그램인 ERMAPPER 시스템을 이용하여 실시하였다. 특히 본 연구에서는 임야가 밀집한 지역 Fd와 임야가 드문 지역 FI 및 그늘진 부분의 임야 Fs의 세 종류로 구분하여 감독분류를 실시하였다. 그러나 임야 지역과 그늘진 부분의 임야의 차이는 위성자료가 획득되는 당시 일조상태의 차이에 의해 발생한 광학적인 특성의 차이에 의한 것이다. 이

에 따라 그늘진 부분을 일반적인 임야와 함께 분류를 실시하는 경우 많은 오차가 발생하기 때문에 두 종류를 분리하여 혼련데이터를 정함으로써 효과적인 결과를 얻을 수 있었다. 조사지역의 토지이용 분류결과는 연구대상 지역 전체 면적이 1134.5km²이고 임야가 차지하는 면적이 739.8km²로 전체면적의 65.2%를 차지하여 가장 높은 점유율을 나타내며, 그 다음으로 농경지가 24.8km²로 전체면적의 2.4%를 차지하는데 이의 대부분이 수계망의 발달한 충적층 지역에 분포하고 있다. 그리고 거주지는 95.2km²의로 전체면적의 8.4%를 차지한다.

2.2. 지형자료

공간상에 나타난 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 방법을 지형고도 자료(DEM, Digital Elevation Model)라 한다. DEM은 1:5,000 수치지형도를 지형 데이터 베이스로 변환한 후 지형곡면을 모사한 TIN(Triangulated Irregular Network)를 발생시켜 이를 통해 작성하였다. 지형 데이터 베이스는 선 및 점 속성을 가지는 ARC/INFO 커버리지로 되어있다. 이러한 지형도 데이터베이스 중 등고선·수준점 및 삼각점 등 고도를 표시하는 항목만을 추출하여 보간하고, 하천·호수·유역경계등 물리적·수문학적 지형경계를 이루는 선형요소를 절단선으로 설정하여 TIN을 발생시킨 후 해상도 5m×5m의 DEM을 작성하였다. 연구지역의 지형고도는 El. 0-1,109.9m의 범위를 보이며 평균 지형고도는 El. 207.7m, 표준편차는 189.9이다. 연구지역의 지형고

도는 El. 20m 이하가 16.5%로 20m 계급구간으로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, El. 0-100m는 38.8%, El. 0-200m는 57.8%로 연구지역의 대부분은 해발고도 200m 이하이며, 해발고도 500m이상은 18.7%로 분석되었다. 연구지역 중부와 남쪽 지역은 대체로 해발고도 100m 이외의 낮은 지역들이 넓게 분포하고 있으며, 북쪽의 경우 해발고도 300m 이상의 지역이 주로 분포한다.

TIN 발생시 지형곡면을 모사하는 노두 값을 기초로 곡면의 경사 및 경사방향이 함께 연산되며, 지표면의 최대 경사를 표시하는 경사각 및 이러한 경사가 향하고 있는 방향을 나타내는 경사방향은 유출 계산, 사면 안정도 분석 및 여러 가지 환경적 영향을 분석하는데 필요한 중요한 기본 자료 중 하나이다. TIN자료가 갖는 이런 경사각 및 경사방향 자료는 임의 해상도로 다시 격자자료로 변환 가능하며 이를 통해 절대고도·경사·경사방향 등 다양한 지형분석이 가능하다. 본 연구에서는 경사도 및 경사방향을 분석하였다. 연구지역의 북부는 주로 산악지역으로 약 30°이상의 급경사를 보이고 있으며 중·남부는 15°이하의 완만한 경사를 보이고 있다. 이와 같은 지형적 특징에 의해 도시와 경작지는 충적층이 넓게 분포하고 있는 중부 지역에 많이 분포하고 있다.

2.3. 지질 자료

연구지역의 지질도는 [그림 1]과 같다. 연구지역의 지질도는 1/25만 안동(황재하

외, 1996) 및 부산(김동학 외, 1998) 지질도가 이용되었다. 연구지역의 지질자료는 1:서론에 기술되어 있다.

선구조(Lineament)는 직선 혹은 완곡의 지형요소로서, 인접한 표면 및 천부 지형요소와 구분이 분명한 단층, 파쇄대, 습곡축 등의 지질구조선 혹은 암석경계를 따라 나타나며 이러한 요소는 원격탐사 자료에서 지형의 기복 변화 및 화소의 명암차에 의해 구분이 가능하다. 지질 구조선과 관련된 선구조는 특히 지하수 부존과 매우 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서 선구조는 Landsat TM 영상자료와 지형고도자료 및 항공사진을 이용하여 추출하였다. 우선 자동화된 방법을 적용하여 Landsat TM 자료로부터 선구조를 추출한 후, 축척편차 및 태양광 편중에 따른 선택적 증감효과에 의하여 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 지형고도자료 및 수계망을 이용한 육안 판독을 통해 추출된 선구조에 대한 보정을 실시하였다. 지형고도자료는 태양의 고도를 30°, 태양 방위각을 0°, 45°, 90° 및 275°로 각각 놓고 생성한 음영기복도 4매를 기본 보조자료로 이용하였으며, 필요에 따라 다양한 각도의 태양 방위각을 갖는 음영기복도와 항공사진을 이용하였다. 선구조 분석은 항공사진 판독·지질도 분석을 통해 크고 작은 선구조를 추출하고, 서로 다른 태양방위각으로 작성된 음영기복도와 중첩·비교하여 선구조를 추가·연장·연결 및 수정하였으며, Landsat TM 영상자료와 음영기복도 및 항공사진을 여러 차례 중첩하여 추출된 선구조에 대한 수정작업을 반복한 후 수치지도를 이용하여 하천 및 도로 등

선구조로 오인될 요소를 확인하였다. 본 연구에서 추출한 선구조 개수는 총 409개이며 총연장은 1,234.37km이며, 선구조의 최소연장 0.43km, 최대연장이 47,366.90km, 평균연장은 3.02km이다.

3. 수문지질특성 평가

본 연구의 물수지 분석, 토지이용, 임상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선구조 분석 등 각종 성과물을 총 망라하여 500m 격자로 전환하여 각 주제도면을 완성하고, GIS 공간분석기법을 적용하여 수문지질특성평가를 실시하였으며, 이를 지하수 산출성 표본자료와 상관관계를 분석하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출성을 도출하였다.

일반적으로 지역 단위의 수문지질 특성은 해당 지역에 분포하는 대수층의 대표적 산출성과 수리성을 토대로 평가하는 것이 원칙이나, 현실적으로 광범위한 지역에 불규칙하게 분포하는 다양한 대수층의 산출성과 수리성에 대한 실측자료는 제한적이다. 따라서 지역단위 수문지질특성 평가에서는 지하수 산출에 대한 가용자료와 지하수 영향 요인의 상관성 분석을 통하여 도출된 성과를 전 지역에 확대하여 대입하는 간접적인 평가방법을 적용하는 것이 효율적이다. 본 연구에서는 기존의 지하수 조사실적(건설교통부 한국수자원공사, 2003)을 취합한 445개소의 우물수리특성자료와 상술된 수문·기상, 지형, 지질 및 지표피복 등에 관한 GIS기반의 수치도면을 중첩·분석 및 전문가 의견을

바탕으로 지하수 부존과 산출특성을 지배하는 주요 요인별로 가중치(weight) 및 배점(rating)을 따라 평점을 도출하여, 지하수 산출성에 따른 세부 등급기준을 설정하고 연구지역 전반의 대한 수문지질 특성을 객관적으로 평가하여 지하수 산출능력에 따라 대수층을 분류하였다. 455개소의 우물특성 자료중 투수량계수와 SPC가 기록된 자료는 102개소, 투수량계수만 기록된 자료는 7개소, SPC만 기록된 자료는 6개소이며 온천개발용 우물 및 수리상수 이상치를 제외하면, 가용한 투수량계수 자료는 101개소, SPC자료는 108개소이다. 또한 우물의 양수량이 기록된 자료는 440개소이다. 따라서 본 연구에서 수행한 수문지질특성분석은 투수량계수와 SPC 및 양수량과의 상관분석을 통해 평가하였다.

수문 지질 특성에 영향을 미치는 4대 요소 중 지질은 지하수의 유동과 산출 등 지하 수문계를 수문·기상, 지형 및 지표피복 등은 지표수 유출 및 지하수 함양과 배출 등 지표 수문계를 각각 규제한다. 본 항에서는 기상·수문, 지형, 지질 및 지표 피복 등 4개 항목에 대한 요인 분석을 통하여 수문지질 특성의 분석 및 평가에 필요한 기준을 마련하였다. 연구지역의 수문지질 특성 평가에서는 지하 수문계에 직접 영향을 미치는 지질측면에 가장 비중을 높게 두고 지형, 지표피복, 기상·수문 등의 순서로 가중치를 정하였으며, 아래와 같이 각 요인별로 세부 평가항목과 등급을 설정하였다. 연구지역을 암반지하수 대수층으로 평가하고 충적층 분포지역을 별도로 충적층 대수층에 대한 영향인자로 평가하여, 수문지질평가 기준

을 암반지하수와 충적층 지하수에 대해 차등 적용하였다. 지하수 산출특성'의 분석성과에 의거 배점기준을 산정하여 적용하였다. 수문지질 특성 평가 항목을 세분하면 다음과 같다.

3.1. 수문 기상

지하수 함양 가능성(groundwater recharge potential)은 침투율/증발율로 표현될 수 있다. 즉,

$$○ R_c = (1 - K_r) \cdot P / E$$

R_c : 함양계수, K_r : 유출계수,

P : 강수량, E : 증발산량

- R_c ≥ 1.3 함양조건 양호, 0.5 ≤ R_c < 1.3 함양조건 보통, R_c ≤ 0.5 함양조건 불량

연구지역은 기상 및 강우 특성이 동일하며 함양계수는 1.34-1.35로 지역별 지하수 함양 가능성이 별다른 차이가 없으므로 가중치를 5%로 낮게 책정하였다.

3.2. 지표피복요소

지표 피복은 가중치를 10%로 책정하고 토양 분포 및 식생·토지 이용 등을 평가하였다. 토양의 경우 토양형에 따라 배수 특성을 달리하며, 모재의 특성에 따라 비포화대를 통한 대수층으로의 지하수 함양에 기여한다. 따라서 배수특성에 따른 SCS 분류와 본 연구의 입도분석성과 및 모재 특성을 종합하여 A~D까지 4개 등급으로 평가하였다. 토지 이용의 경우 수면지역(하천, 호소 등)·농경지(논·밭)·산림 및

초지·도심지 및 도로 등 지표피복 상태에 따라 강우의 유출 및 대수층으로의 함양에 기여한다. 그리고 산림은 지표유출 저감, 적설 축진 및 토양 증발 억제 효과로 토양 수분 축적 및 지하수 함양 기간 연장에 기여하며, 식생 성장기에 엽면 증발 효과 증대로 지하수 함양량 감소한다. 따라서 원격탐사의 토지이용분류 성과와 임상도를 바탕으로 지하수 함양에 유리한 수면지역, 산림, 논, 나대지 및 도심지/도로의 순으로 배점을 부여하고, 산림은 임상도의 밀도등급을 바탕으로 소·중·밀로 구분하여 5개 등급으로 차등 평가하였다.

연구지역의 지표피복인자평가를 통해 비포화대의 토양특성과 토지이용 및 산림 특성이 지하수 함양에 대한 기여를 고려하였다. 지표피복인자중 토양요소는 모재의 특성과 입도분석 성과에 의거한 분류결과 IHP에서 분류한 SCS 토양형과 유사하나 부분적인 차이를 나타냈으며, 본 연구지역의 특성을 반영하여 IHP의 SCS토양형 분류를 수정·적용하였다. 모재가 하성층적 및 층적에 유래한 기원이고 입도에 따른 통일분류상 조립토중 모래에 해당하는(SW~SC) 토양형을 A등급, 층적기원은 아니지만 통일분류상 조립토중 모래에 해당하는 토양형을 B등급, 모재는 층적기원이나 통일분류상 세립토에 해당하는 토양형을 C등급, 나머지 세립토에 해당하는 토양형을 D등급으로 분류하고 각 4-1점을 배점하였다.

토지이용은 수면지역 6점, 산림밀도가 높은 지역 5점, 산림밀도가 중간이거나 초지 및 논에 해당하는 지역은 3점, 산림 밀도가 낮거나 밭 및 나대지에 해당하는

경우는 2점, 주거지 및 도로에 해당하는 지역은 1점을 배점하였다.

3.3. 지형요소

지형요인은 지하수의 함양·배출조건 및 산출에 상당한 영향을 미치는 관계로 가중치를 25%로 책정하였다. 지형에 관한 사항을 고도·고도차(기복)·경사 및 경사군으로 나누어 세부 평가 항목으로 설정하여 다중평가를 통해 지하수계에 미치는 지형요소의 영향을 반영했다. 이는 지형과 지하수 산출특성의 분석성과에 의거 가중치 및 배점 산정을 하였다.

지형 고도 및 고도차(지형기복)의 경우 지형기복은 소유역을 지형상태와 주경사 방향에 따라 세분하여 각 세구역내 최대 고도와 차를 통해 지형기복상태를 분석하였다. 지형기복이 심할수록 유출이 유리하여 지하수 함양에 불리하다.

- 고도 \leq 50m, 고도차 $>$ 400m
: 배수 매우 불량(지하수 함양조건 유리)
- 50m $<$ 고도 \leq 100m, 200m $<$ 고도차 \leq 400m
: 배수 불량
- 100m $<$ 고도 \leq 200m, 100m $<$ 고도차 \leq 200m
: 배수 보통
- 200m $<$ 고도 \leq 300m, 50m $<$ 고도차 \leq 100m
: 배수 양호
- 고도 $>$ 300m, 고도차 \leq 50m
: 배수 매우 양호(지하수 함양조건 불리)

지형 경사 및 지형기복(광역경사)의 경우 경사도가 높을수록 유출을 증가하여 지하수 함양에 불리하다. 따라서 원격탐사 성과를 통해 지점 경사도를 도출하고,

소유역을 지형상태와 주경사 방향에 따라 세분하여 각 세구역별 평균경사도를 통해 광역적 경사효과를 반영하였다.

지형요소는 격자에 해당하는 지역의 평균고도 및 경사도를 이용한 요소와 연구지역을 소유역을 기본으로 주하천 방향을 따른 지형경사의 변화에 따라 세분한 구역을 설정하여 해당 세구역내에서의 고도차와 지형경사를 도출하여 광역적인 지형요소와 국지적인 지형을 요소를 동시에 고려하였다. 본 연구에서는 142개의 세구역을 설정하였으며, 이보다 세분할 경우에도 전체적인 고도차와 광역경사가 별다른 차이가 없음을 확인하고 자료처리의 경제성을 고려하여 142개 세구역을 적용하였다.

3.4. 지질요소

지하수에 영향을 미치는 지질학적 요인은 암상 및 지질구조와 충적층 두께 및 충적층 구성물질로 구분된다. 지하수에 영향을 미치는 지질학적 요인은 암상과 지질 구조가 조합을 이룬 수문지질구조(hydrogeological structure)이므로 지하수의 분포특성을 지배하는 지질구조와 지하수체 및 대수층의 상관관계를 반영하였다.

대수층은 지층 분포와 압력 조건에 따라 피압 및 자유면 대수층으로 대별하고, 공극형태에 따라 pore type과 fissure type, 지질구조에 따라 stratal type과 vein type으로 각각 분류하여 조합하였고, 연구지역의 암반 대수층은 fissure-vein type, 충적층 대수층은 stratal pore type에 해당된다.

지질은 지하수의 부존 및 산출을 직접 규

제하는 점을 고려하여 가중치를 60%로 책정하였다. 수문지질단위별 지하수 수리특성에서 분석된 바와 같이 충적대수층과 암반대수층의 수리상수(투수량계수)는 10-10² 단위의 특성차를 보이므로, 미고결 퇴적층 분포지역에 대해 충적층 대수층에 영향을 미치는 충적층 구성물질 및 충적층 층후로 평가하고, 암반대수층은 미고결 퇴적층의 분포지역 하부를 포함한 연구지역 전반에 대해 암상 및 선구조 발달상태를 고려하여 평가하였다.

암반지하수의 경우는 수문지질단위에 의거 암상을 평가하였는데, 암반 대수층은 수문지질 단위분류에 따라 관입화성암류, 반고결퇴적암류, 비다공질화산암류 및 다공질화산암류로 대분하고, '지하수 산출성'의 표본자료와 상관분석을 통해 평가하였다. 본 연구에서 시도한 연장성을 함께 고려한 선구조 분석성과와 선구조 연장성에 따라 평가하였고, 이는 지하수 산출성의 표본자료와 선구조 밀도 및 연장성과의 상관분석을 통해 평가하였다. 충적층 지하수의 경우 미고결퇴적층 분포지역을 대상으로 충적층 구성물질과 두께에 따라 평가하였다. 이상 기술한 연구지역의 수문지질 특성 평가에 적용된 기준은 <표 6-29>에 요약한 바와 같다.

지질요소는 연구지역 전체를 대상으로 암반대수층에 영향을 미치는 수문지질단위 및 선구조에 관한 요소로 평가하고, 미고결퇴적층이 발달한 지역은 충적층 대수층에 영향을 미치는 미고결퇴적층의 구성물질 및 층후로 평가하여 미고결퇴적층이 분포하는 지역은 두가지 대수층에 대해 각각 평가하였다. 지질 요소중 암상은

투수량계수 · SPC 및 개발양수량을 고려하여 산출성이 가장 높게 평가된 다공질 화산암류를 30점, 비다공질화산암류, 반고결퇴적암류 및 관입화성암류에 25, 20, 10점을, 산출성이 미약한 쇄설성퇴적암류에 5점을 배점하고, 암반지하수의 산출성에 대한 기여가 큰 선구조의 발달상태를 총 30점 이중 선구조 밀도 20점 선구조 연장성 10점을 배점하여 선구조의 연장성을 주요인자로 평가하였다. 또한 미고결퇴적층은 표본자료의 지층구성상태를 기준으로 주 대수층이 갖는 입도구성에 따라 점토/실트, 모래, 자갈 및 전석으로 구분하고 각각 3-30 까지 배점하고 미고결퇴적층의 층후 발달 정도에 따라 다시 2-30점을 배점하여 평가하였다.

4. 지하수 부존 가능성도 작성 및 검증

위와 같이 결정된 물수지, 토지이용, 입상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선구조 등에 <표 2>와 같이 배점 및 가중치를 적용한 500m 격자 자료로 만들었다. 그리고 이 격자자료를 중첩 분석하여 포항시의 지하수 개발 적지 선정에 위한 지하수 잠재가능성도를 작성하였다([그림 2]). 이 지하수 잠재가능성도의 정확성 여부를 검증하기 위해, 이를 지하수 산출량 자료와 비교 하였다([그림 3]). 그 비교 결과 $y = 3.294x + 135.14$ 이고, 상

관계수인 $R^2 = 0.4145$ 로 나타나, 지하수 잠재가능성도와 지하수 산출량 자료와의 관련성이 높게 나타났다.

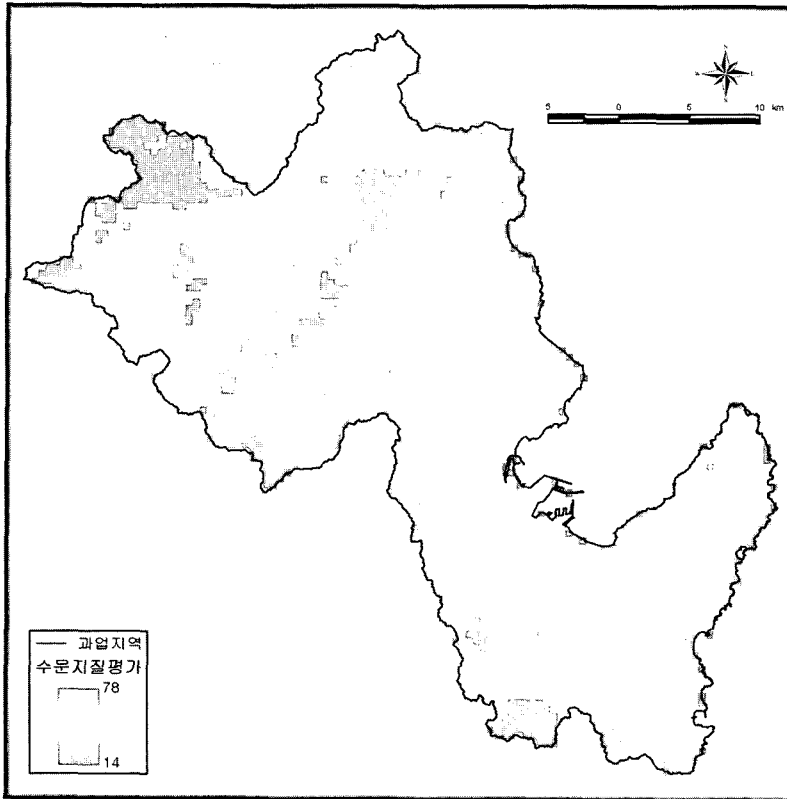
지역적인 지하수 잠재가능성도 분포를 분석하여 보면, 수문지질 특성에 영향을 미치는 4대 요소중 총적층 대수층에 대한 평가 결과, 연구지역은 17-96까지 평가되었다. 안성천 유역 하류가 가장 양호한 것으로 평가되었으며, 삼교천 유역의 각종 지류 합류부와 금강유역의 병천천 하류부도 양호한 것으로 분석되었다. 소유역 및 행정구역별로는 소유역103(선화읍 양령리·안궁리 일대)가 가장 양호하게 평가되었으며, 주변의 성환읍 수향리·도하리 및 소유역 101(입장면 신덕리·효계리 일대)도 양호하게 평가되었다. 삼교천 유역은 소유역 201(풍세면 풍서리·보성리 일대), 금강유역은 소유역 305(수신면 장산리 일대)에서 가장 양호한 것으로 평가되었다.

암반 대수층에 대한 수문지질평가 결과 31-83까지 평가되었으며, 안성천 유역중 천흥천 및 남창천의 상류 지역이 가장 양호하고 입장천과 한천의 합류부 및 금강유역 중 승천천 중류 및 병천천과의 합류구간에서 양호하게 평가되었다. 소유역 및 행정구역별로는 소유역 102(성거읍 송남리·천흥리 일대), 103(입장면 가산리·신두리 일대), 306(성남면 대흥리·수신면 속창리·장산리 일대)가 양호하게 평가되었다.

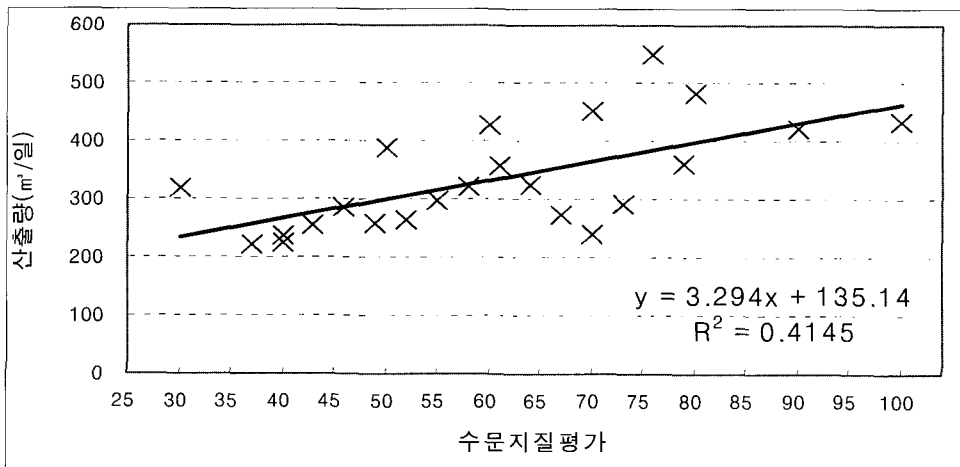
<표 2> 수문지질 특성 평가 분류 기준

평가항목	가중치	세부 항목	배점	평 점								
수문/ 기상	5	함양가능성	5	0<Rc≤0.5		0.5<Rc≤1.3		1.3< Rc				
				1		3		5				
지표피복	10	토양분포	4	A		B		C		D		
				4		3		2		1		
		토지이용	6	시가지역	나대지	논	산림(밀도)			수면지역		
1	2			3	소	중	밀	6				
지형	25	고도(El.m)	10	50이하	50~100	100~200	200~300	300~500	500이상			
				10	7	5	3	2	1			
		지형 기복	고도차 (El.m)	5	50이하	50~100	100~200	200~400	400이상			
					1	2	3	4	5			
		광역경사 (°)	5	0~4	4~11	11~20	20이상					
				5	3	2	1					
경사도(°)	5	0~1	1~4	4~7	7~11	11이상						
		5	3	2	1	0						
지질	60	총적층	구성 물질	30	점토,실트		모래		자갈		전석	
					3		15		30		25	
		층후 (m)	30	2 이하	2~5	5~10	10~20	20~30	30 이상			
				3	6	10	20	25	30			
		암상	30	쇄설성퇴적 암류	관입화성 암류	반고결퇴 적암류	비다공질 화산암류	다공질화산암류				
				5	10	20	25	30				
		암반층 라니어 먼트	밀도	20	0.2 이하	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0			
					2	5	10	15	20			
					연장성	0.2 이하		0.2~0.6		0.6 이상		
		10	2		5		10					
분류 등급	평 점	100~80		80~65		65~50		50~30		30이하		
		I		II		III		IV		V		
		지하수산출성 (m³/일)		400이상		400~350		350~300		300~200		200미만

GIS 원격탐사를 이용한 포항시 지하수 잠재가능성도 작성 및 검증



[그림 2] Groundwater potential map



[그림 3] Relationship between groundwater potential map and groundwater

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 물수지, 토지이용, 임상도, 토양분포, 지형고도, 경사, 수문지질 및 선구조 등을 분석하였다. 그리고 이러한 분석 자료 및 GIS 공간분석기법을 이용하여 지하수 산출성 표본자료와 상관분석하여 수문지질 특성평가를 실시하여 수문지질특성에 따른 지하수 산출 특성을 도출하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 포항시의 지하수 개발 적지 선정에 위한 지하수 잠재가능성도를 작성하였고, 이를 지하수 산출량 자료와 비교 검증하였다. 검증 결과 지하수 개발 적지 분석 결과와 지하수 산출량 자료와의 관련성이 높게 나타났다. 이러한 지하수 개발 적지 선정 결과는 지하수 개발에 관련된 관리에 사용될 수 있다.

참고 문헌

- 건설교통부 한국수자원공사, 2003 포항지역 지하수 기초조사, pp.462.
- 권영일, 이인기, 1973, 1:50,000 도평 도폭 지질도, 국립지질광물연구소.
- 김동학, 황재하, 박기하, 송교영, 1998, 1:250,000 부산 지질도, 한국자원연구소.
- 김만규, 2001, "GIS를 이용한 지하수개발 설계지원 시스템", 한국GIS학회지, 9(2), pp.207-225.
- 김윤영, 이강근, 1999, "서울 지역 지하수시스템의 수문지질학적 특성 분석을 위한 지리정보시스템의 활용", 한국GIS학회지, 7(1), pp.103-117.
- 민경덕, 이영훈, 이사로, 김윤종, 한정상, 1996, "Drastic을 이용한 지하수오염 가능성 분석 및 그래픽 사용자 인터페이스 개발연구", 지하수환경, 3(2), pp.101-109.
- 원종석, 우남철, 김윤종, 2004, "도시화 지역에서 GIS를 이용한 지하수 질산성질소 분포 영향요인 분석", 자원환경지질, 37(6), pp.647-655.
- 이사로, 김윤종, 1996, "DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구", 한국GIS학회지, 4(1), pp.1-11.
- 이사로, 최순학, 1997, "GIS 기법을 이용한 영광 지역의 지하수 오염 취약성 평가", 지하수환경, 4(4), pp.223-230.
- 이사로, 김용성, 이재욱, 박재현, 우익, 2004, "선구조 밀도 분석 기법 개발 및 지하수 산출 특성에의 적용", 지질학회지, 40(3), pp.293-304.
- 이처경, 문추연, 1999, "관정 데이터와 GIS 수치 지도를 이용한 지하수면 분포 추정", 지하수환경, 6(3), pp.133-139.
- 조시범, 민경덕, 우남철, 이사로, 1999, "GIS를 이용한 경기도 평택군 지역의 지하수 오염 가능성 평가 연구", 지하수환경, 6(2), pp.87-94.
- 조시범, 손호웅, 2004, "지하수오염 예측을 위한 GIS 활용연구", 지구물리, 7(2), pp. 121-134.
- 최선영, 황세호, 박권규, 신제현, 윤왕중, 2004, "해수침투 조사자료의 통합적 해석을 위한 GIS의 적용". 한국GIS학회지, 12(3), pp.49-60.
- 한수형, 김지수, 신재우, 권일룡, 2002, "지구물리탐사자료의 지리정보시스템 해석", 지구물리, 5(1), pp.29-39.
- 황재하, 김동학, 조동룡, 송교영, 1996, 1:250,000 안동 지질도, 한국자원연구소.