

## 지표수-지하수 연계이용을 위한 지역 적합도 평가

이상일 · 서혜경 · 손상철

동국대학교 토목환경공학과

islee@dgu.ac.kr · shk0319@hotmail.com · poseidon4729@hanmail.net

### 요약문

지구적 차원의 물부족 현상은 우리에게도 심각한 사회적 문제로 대두되고 있으며, 이에 대처하기 위한 방안의 하나로 지표수-지하수 연계이용이 거론되고 있다. 지표수와 지하수 연계이용은 유역의 지표 및 지하수자원을 수문학적 순환 사이클의 통합적 관점에서 파악하는 것으로부터 시작한다. 본 연구는 국내에서 지금까지 이렇다 할 사례가 없는 지표수-지하수 연계이용의 첫 단계로서 연계이용 가능지역을 선정하기 위한 체계적인 적지분석 방법론에 관한 것이다. 복잡한 의사결정 문제를 계층적으로 나누어 분석하는 기법(AHP)이 채택되었고, 분석에 필요한 의사결정인자도 도출되었다. 각 인자의 상대적 중요도가 정량화 된 후, 이를 바탕으로 특정 지역의 지표수-지하수 연계이용 적합도가 산정될 수 있다. 개발된 방법론을 국내 두 개 지역에 적용하여 그 적용성을 예시하였다. 개발된 방법론에 의한 적합도 분석은 중앙정부나 지자체가 특정 지역의 연계이용 사업의 추진과 관련된 의사결정을 내릴 수 있도록 판단근거를 제공할 것이며, 지역 간 연계이용 우선순위를 평가하는데도 활용될 수 있을 것이다.

**key word** : 연계이용, 적지분석, 계층분석과정, 적합도

### 1. 서론

외국에서는 지역 간 수자원의 불균형 및 지역 내 물부족 현상을 타개하기 위하여 지하수-지표수 연계이용이 오래 전부터 활용되어 왔으나, 국내에서는 최근에야 관심이 기울여지고 있다. 지표수-지하수 연계이용을 고려하기 위한 첫 단계로 어느 지역이 연계이용에 적합한 지역 여부를 판단할 필요가 있으며, 경우에 따라서는 복수 지역의 우선순위를 결정하는 것이 요구될 때도 있다. 본 연구에서는 이를 위한 적지분석 방법론의 제시를 목적으로 분석에 필요한 입지선정인자를 도출하고, 인자들간의 상대적 중요도와 지역 적합도를 산정하기 위한 기법을 개발하고 적용하였다. 개발된 방법론은 계층분석방법(Analytic Hierarchy Process, AHP)에 기초하고 있는 바, AHP는 복잡한 의사결정문제를 다단계로 나누어 분석하는데 유용한 기법으로서, 최근에는 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 매립지 등의 시설물 적지분석에도 많이 이용되고 있다(Siddiqui et al., 1996; 이진덕 등, 2000).

### 2. 방법론

#### 1) 입지선정인자의 도출

지표수-지하수 연계이용에 고려하여야 할 결정인자를 크게 가능성, 시급성, 효율성 측면으로 구분하고, <표 1>과 같이 총 4단계로 세분화하였다.

<표 1> 지표수-지하수 연계이용에 고려할 입지선정인자

단계 1	단계 2	단계 3	단계 4
가능성	지 질	투수계수	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>10^{-8} \sim 10^{-6}</math> cm/sec (불투수)</li> <li>• <math>10^{-6} \sim 10^{-3}</math> cm/sec (투수불량)</li> <li>• <math>10^{-3} \sim 10^2</math> cm/sec (투수양호)</li> </ul>
		지하수 함양량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30,000 m<sup>3</sup>/일 이상</li> <li>• 15,000~30,000 m<sup>3</sup>/일</li> <li>• 0~15,000 m<sup>3</sup>/일</li> </ul>
	수 질	지하수 수질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3급수 이하</li> <li>• 2급수</li> <li>• 1급수</li> </ul>
시급성	물부족	2011년 수요기준 용수부족률	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -20~-40%</li> <li>• 0~-20%</li> <li>• 확보지역</li> </ul>
		연평균 강수량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,000 mm/y 이하</li> <li>• 1,000~1,200 mm/y</li> <li>• 1,200~1,400 mm/y</li> </ul>
	오염	지표수 수질	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3급수 이상</li> <li>• 2급수</li> <li>• 1급수</li> </ul>
효율성	위치	시설물 설치조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부적합</li> <li>• 비교적 양호</li> <li>• 양호</li> </ul>
		개발 가능성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부적합</li> <li>• 중간</li> <li>• 적합</li> </ul>
		기존시설 연계성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20km 이상</li> <li>• 15~20km</li> <li>• 5~15km</li> <li>• 0~5km</li> </ul>

2) 입지선정인자간의 상대적 중요도 결정

입지선정인자간의 상대적 중요도를 산정하기 위해서는 먼저 인자들간의 선호도를 계량화된 수치로 표현하기 위한 척도가 필요하다. 본 연구에서는 선호도가 가장 낮으면 1, 가장 높으면 9로 하여 적절한 값을 부여하는 방식을 취하였다(손상철과 이상일, 2002). 입지선정인자의 선호도 부여는 주관적 요소를 최소화하기 위하여 전문가 및 지역주민의 의견을 수렴하고, 관련 문헌의 면밀한 조사도 필요하다.

척도화 된 선호도를 이용하여 <표 2>와 같이 입지선정인자간의 선호도 매트릭스를 구성하고, 고유요소(Eigen Element)와 상대적 중요도(RIW)를 다음의 식에 의하여 산정한다.

$$EE = \sqrt[n]{a_{m1} \times a_{m2} \times \dots \times a_{mn}} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 1})$$

$$RIW = \frac{EE}{\sum EE_i} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 2})$$

이때, 변수 n은 각 매트릭스 내에서 고려되는 인자의 개수이며, a<sub>ij</sub>는 인자간의 선호도이다.

<표 2> 선호도 및 상대적 중요도의 결정

입지선정인자	선호도 매트릭스			고유요소	상대적 중요도
(a) 투수계수(cm/sec)					
	$10^{-8} \sim 10^{-6}$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	EE	RIW
$10^{-8} \sim 10^{-6}$ cm/sec	1	1/3	1/7	0.362	0.081
$10^{-6} \sim 10^{-3}$ cm/sec	3	1	1/5	0.843	0.188
$10^{-3} \sim 10^{-2}$ cm/sec	7	5	1	3.271	0.731
(b) 지하수 함양량(m <sup>3</sup> /일)					
	30,000이상	15,000~30,000	0~15,000	EE	RIW
30,000이상	1	3	7	2.759	0.649
15,000~30,000	1/3	1	5	1.186	0.279
0~15,000	1/7	1/5	1	0.306	0.072
(c) 지하수 수질					
	3급수이상	2급수	1급수	EE	RIW
3급수이상	1	1/7	1/9	0.251	0.051
2급수	7	1	1/5	1.119	0.227
1급수	9	5	1	3.557	0.722
(d) 2011년 수요기준 용수부족률(%)					
	-20~-40	0~-20	확보지역	EE	RIW
20~-40 %	1	5	9	3.557	0.735
0~-20 %	1/5	1	5	1	0.207
확보지역	1/9	1/5	1	0.281	0.058
(e) 연평균 강수량(mm/year)					
	1,000 이하	1,000~1,200	1,200~1,400	EE	RIW
1,000 mm/y 이하	1	3	5	2.466	0.637
1,000~1,200mm/y	1/3	1	3	1	0.258
1,200~1,400mm/y	1/5	1/3	1	0.405	0.105
(f) 지표수 수질					
	1급수	2급수	3급수이상	EE	RIW
1급수	1	1/7	1/9	0.251	0.051
2급수	7	1	1/5	1.119	0.227
3급수	9	5	1	3.557	0.722
(g) 시설물 설치조건					
	부적합	비교적 양호	양호	EE	RIW
부적합	1	1/5	1/7	0.306	0.067
비교적 양호	5	1	1/5	1	0.218
양호	7	5	1	3.271	0.715

3) 적합도 산정

적합도 산정식은 분석목적 및 유형에 따라 다양하나, 여기서는 계층조직이 총 4단계로 구성된 점을 감안하여 (식 3)과 같이 설정하였다.

$$Suitability Index (SI) = \sum \{RIW_1 \cdot \sum [RIW_2 \cdot \sum (RIW_3 \cdot RIW_4)]\} \dots \dots \dots \text{(식 3)}$$

이 때  $RIW_1$ ,  $RIW_2$ ,  $RIW_3$ ,  $RIW_4$ 는 각각 단계별 상대적 중요도를 나타낸다.

### 3. 적용

본 연구에서 제시한 적지분석 방법론을 적용하기 위해 지형적 조건이 대하천 발달이 어렵고 대규모 저수시설이 부족하여 생활용수의 지하수 의존도가 높은 강원도 속초의 쌍천 유역과, 연강수량은 높지만 인근의 용수공급 시설의 부족과 지표수의 높은 오염도로 인해 충분한 물공급에 어려움을 겪고 있는 전라남도 영광의 도목제 유역을 대상지역으로 선정하였다. 두 지역의 입지선정인자 값은 <표 3>과 같다.

<표 3> 쌍천 및 도목제 유역의 지표수-지하수 연계이용 입지선정인자

유역	투수계수	지하수 함양량	지하수 수 질	2011년 기준 용수부족률	연평균 강우량	지표수 수 질	시설물 설치조건	개발 가능성	기존시설 연계성
쌍천	양호	32,936m <sup>3</sup> /일	1급수	0~-10%	1,304.2mm	1급수	양호	적합	0~5km
도목제	양호	3,100m <sup>3</sup> /일	3급수	-30~-40%	1,441mm	2급수	비교적 양호	부적합	5~8km

(식 3)을 적용한 쌍천과 도목제에서의 적합도는 각각 0.443과 0.386으로 나타나 쌍천의 적합도가 도목제보다 다소 높았다. <표 3>에서 보듯이 도목제가 쌍천에 비해 지표수 수질이 낮고 용수부족률이 높아 시급성은 높게 나타났으나, 기타 인자에서는 쌍천 지역이 높은 점수를 얻어 지표수-지하수 연계이용에 더 적합하다고 평가된 것으로 분석된다.

### 4. 결론

수자원의 안정적 확보와 효율적인 용수공급의 기반을 마련하기 위한 방편의 하나로 지표수-지하수 연계이용 관련 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 여기에서는 어떤 지역이 연계이용에 적합한지를 판단하는데 활용될 수 있는 적지분석 방법론이 개발되고 적용되었다. 개발된 방법론은 계층분석과정(AHP)에 기반을 두고 있으며, 지역의 지질·수문·수질·시설물 설치여건 등을 감안한다. 두 개의 지역에 적용한 결과, 간단한 계산만으로도 합리적인 적합도 산정이 가능함을 입증할 수 있었으며, 개발된 방법은 특정 지역의 연계이용 적합도는 물론, 지역간 우선순위를 평가하는 데에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 사사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 4-3-1)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 손상철, 이상일, 2002, “계층분석과정에 의한 지표수-지하수 연계이용 적지분석”, 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회논문집, 307-310.
- 이진덕, 연상호, 김성길, 2000, “GIS를 활용한 폐기물 매립지의 적지분석 사례연구”, 한국지리정보학회지, 3권 4호, 33-49.
- Siddiqui, M. Z., J. W. Everett, and B. E. Vieux, 1996, “Landfill Siting Using Geographic Information Systems”, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122, No.6, 515-523.