

지하수 이용량 추정기법 개발 Development of a Predictive Model for Groundwater Use

우 남 칠 (Woo, Nam Chil)
조 민 조 (Cho, Min Joe)
김 남 중 (Kim, Nam Jong)

한국자원연구소
한국자원연구소
한국수자원공사

요약/Abstract

전국 210개 시군을 대상으로 지역별 지하수 이용량을 예측하는 기법을 개발하였다. 우선 210개 대상지역은 각 지역 지하수 이용 특성에 따라 생활형(87개), 공업형(27개), 농업형(96개)지역으로 대분하고, 이들로부터 각 지역별 특성을 잘 나타내는 표본(생활형 22개 : 공업형 8개 : 농업형 32개)지역을 선정하였다. 이 지역에서 지하수 이용에 연관 가능한 인자들로 1) 농지 면적, 2) 공업부지 면적, 3) 행정단위 면적, 4) 인구, 5) 지하수원 상수도 시설용량, 6) 1인 1일 평균급수량, 7) 농업용수 사용량, 8) 공업용수 사용량, 9) 생활용수 사용량, 10) 상수도 보급률 등을 선정하고 이들의 자료를 수집 분석하였다. 이들과 지역별 지하수 이용량과의 관계를 분석한 결과 얻어진 상관계수를 t-test 방법으로 신뢰도 95%와 99%에서 그 관계의 중요성을 검증하였고, 이로부터 영향인자를 도출하였다. 이와 같이 도출된 영향인자들을 사용하여, 다중 회귀분석법으로 생활형 지역과 농업형 지역에서의 지하수 이용량을 추정하는 관계식을 도출하였고, 이 식으로부터 얻어진 예측치를 실제 이용량과 비교하여 그 오차의 RMS (Root Mean Square)를 최소화하도록 보정하였다. 이 모델은 미래 자료에 의하여 타당성이 검증된 후, 지역별 지하수자원의 개발 계획 수립시 최대 수요량의 예측에 사용될 수 있다.

For a total of 210 city and Kun areas in Korea, a model was developed to predict the amount of groundwater use at each area. At first, the total areas were classified into 3 groups by the characteristics of groundwater use: residential(87), industrial(27) and agricultural (96) areas. Among them, type areas, represented by the dominant groundwater usage for typical

purposes, were selected: residential(22), industrial(8) and agricultural(32) areas. Data for the various factors possibly related to the groundwater use were statistically analyzed. The factors include, 1) agricultural area, 2) industrial area, 3) administrative unit area(city or Kun), 4) population, 5) groundwater capacity for community water supply, 6) average water supply for a person per day, 7) agricultural water-use, 8) industrial water-use, 9) residential water-use, 10) rates of community water supply. The data were correlated to the total amount of groundwater use, and the correlations tested at the 95% and 99% significance levels. Influential, significantly related, factors were identified from the tests. Using the multiple regression method with the influential factors, predictive equations were drawn to calculate the amount of groundwater use for residential-industrial and agricultural areas, respectively. The equations were calibrated to minimize the RMS(root mean square) of the differences between predicted and observed groundwater use. After the validation with future data, the model can be utilized in the regional development plans to predict the maximum groundwater demand at each area.

서 언

1960년대 이후 계속된 국내 산업발전과 국민 생활수준의 향상으로 인해 용수 수요는 꾸준히 증가되어 왔으며, 결과적으로 현재 사용중인 지표수자원 외에 대체용수원으로서의 지하수자원의 개발이 불가피해졌다. 1994년 여름, 국내에서는 몇 십년 만의 한발에 많은 지표수자원이 고갈되었으며, 이로부터 지하수자원의 개발 필요성이 국민들과 행정관계자들에 의해 인식되었다.

지하수자원은 그 이용할 수 있는 양과 질이 지역적인 조건과 자연적인 상태에 따라서 달라진다. 생활 및 산업활동의 부산물로 생성된 쓰레기 및 화학물질들의 오염 처리시설물의 무계획한 설치는 지하수자원의 오염을 발생시켰으며, 기존에 설치되었던 지하수 개발용 정호들이 관리의 부실로 인해 적절한

방법을 거치지 않고 무단 폐기 내지는 방치되어, 이들이 오히려 직접적인 오염물질의 통로 역할을 하여 지하수자원의 오염을 더욱 심각하게 진행시켜 왔음은 주지의 사실이다. 따라서, 지하수자원의 개발은 사전에 충분한 연구와 계획이 선행되어야, 무리한 개발로 인한 수자원의 고갈과 주변환경으로부터의 오염에 의한 수자원의 황폐를 막고 효율적으로 이용할 수 있다.

한 지역에서의 지하수자원의 개발은 대상 지역에서의 용수 수요량과 지하수 공급가능량을 알아야만 합리적인 개발관리 계획을 세울 수 있다. 용수 수요량의 예측을 위해서는 그 지역에서의 수자원 이용실태에 대하여 오랜 기간동안 지속적으로 측정된 자료가 필요하다. 그러나, 국내 지하수자원의 이용에 대해서는 전체적으로 이러한 자료가 축적되어 있지 못하며, 현재의 지하수자원 이용실태

파악과 장래의 용수 수요에 대한 대책이 시급한 형편이다.

이를 위하여 본 연구에서는 용수 수요의 측면에서, (1) 국내 지하수의 이용현황을 지역별 특성에 따라 분석하고, (2) 자료 수집이 가능한 지역별 인문 및 사회 환경자료들로부터 지하수 이용에 중요한 관계가 있는 영향인자를 도출하며, (3) 이들 영향인자를 사용하여 지역별 지하수 이용량을 예측하는 기법을 개발하는데 그 목적을 두었다. 본 연구의 결과는 지역별 지하수의 수요량을 예측하여, 지하수자원의 합리적이고 효율적인 개발 이용 및 관리기준의 설정에 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

지하수 이용 현황분석

지하수의 개발이용량은 각 지역의 산업활동의 특성에 따라 달라지며, 이는 지하수 이용의 용도별 특성으로 나타난다. 그러므로, 본 연구에서는 전국 210개(1992년 현재) 시군을 지하수의 이용특성, 즉 총 지하수 이용량 중의 용도별 이용 비율에 의하여 생활형, 공업형, 농업형으로 구분하였다. 이 방법에 의한 지역별 지하수 이용도의 특성 분류 결과는 Appendix I과 같이 나타났다.

행정구역별로 보면 6대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전)는 생활용 지하수의 이용비율이 높으며, 그밖의 총 68개 시 지역에서도 생활용 지하수의 이용비율이 65% (44개)로 가장 높고 다음으로 31%(21개)의 공업용 지하수 이용의 특성을 보여준다 (Table 1)

예외적으로 시흥시, 이리시, 김제시는 농업용 지하수 이용비율이 가장 높은 것으로 나

Table 1. Distribution of areal characteristics in groundwater use

지역 구분	지역 단위	지역별 특성 분포(갯수)		
		생활형	공업형	농업형
대도시	6	6	0	0
시	68	44	21	3
군	136	37	6	93
합계	210	87	27	96

타났다. 군 단위 지역에서는 전체 136개 군에서 68%(93개)가 농업용 지하수 이용의 특성을 보이며, 강원도, 경기도, 경상남북도, 충청북도 지역중에는 생활용 지하수 이용의 특성을 보이는 곳도 27%(37개) 보인다.

이 분석 결과, 대체적으로 인구 집중도가 높은 시 단위지역과 공업 중심지역에서는 생활용 지하수의 이용도가 높은 것으로 나타났으며, 군 단위 내지는 농업이 주 산업인 지역에서는 농업용수로서의 지하수 이용도가 높은 것으로 밝혀졌다. 공업용수로 이용되는 지하수는 대체로 공업단지들이 집중되는 지역에서 높게 나타났다.

영향인자의 도출

지역별 지하수자원의 이용 및 개발에 중요한 영향을 미치는 영향인자의 도출을 위하여, 기존에 조사된 인문, 사회 환경자료들의 상관분석과 이들로부터 확인된 관계의 중요성에 대한 신뢰도 검증을 실시하였다. 지역별 지표 및 지하수자원의 부존량이나 대수층의 수리적 특성과 같이 지하수 이용에 직접적인 관련 가능성이 있는 제반 자연환경 자료들은 지하수 공급의 측면에서 고려되어야 하므로, 본 연구에서는 다루지 않았다.

○ 분석 자료

상관분석에 이용된 지하수자원의 개발, 이용에 영향을 미칠 가능성이 있는 제반 인자들과 지역별 지하수 이용량의 자료는 다음과 같다 :

1. 시군별 전국 농지 면적(km²; 통계청, 1992a)
2. 공업부지 면적(km²; 통계청, 1992b)
3. 행정단위 면적(km²; 통계청, 1992b)
4. 인구(명; 통계청, 1992b)
5. 지하수원 상수도 시설용량(톤/일; 건설부, 1993)
6. 1인 1일 평균급수량(1pcd; 건설부, 1993)
7. 농업용수 사용량(천톤/년; 한국수자원공사, 1991)
8. 공업용수 사용량(천톤/년; 한국수자원공사, 1991)
9. 생활용수 사용량(천톤/년; 한국수자원공사, 1991)
10. 상수도 보급율(%; 건설부, 1993)
11. 지하수 이용량(천톤/년; 한국수자원공사, 1993)

각 자료는 연구 수행 당시에 수집 가능하였던 최근 자료, 즉 1992년도 말 기준의 자료들을 이용하였다. 단, 상기한 자료 중 7, 8, 9에 해당하는 농업, 공업 및 생활용수 사용량은 1992년도 자료가 없었으므로 1991년도 자료로 대체하였다.

○ 상관분석 및 신뢰도 검증

상기한 자료들로부터 지하수 이용의 영향 인자를 도출하기 위하여 지하수 이용량을 종속변수로 그 외의 분석요소들을 독립변수로

하여 상관분석을 수행하였다. 자료들의 상관분석은 전체 210개 지역과 지하수의 이용형태별(생활형 87개:공업형 27개:농업형 96개)지역에서 실시하였으며, 또한 각 형태별 지역의 특성을 가장 잘 반영하는 표본지역(생활형 22개:공업형 8개:농업형 32개 지역: Appendix II)을 선정하여 분석하였다. 각 표본지역은 총 지하수 이용량에 대한 생활, 공업, 농업 용수의 상대적 이용량이 80%이상인 지역을 선정하여 이들 지역의 특성이 전체 형태별 지역의 특성을 보여줄 수 있는지 확인하였다. 단, 공업형 표본지역의 경우 지하수의 상대적 이용량이 80%이상인 시군은 총 22개 시군 중 6개 지역에 불과하므로, 통계 분석 결과의 신뢰도를 높이기 위하여 상대적 이용량 70% 이상인 지역(8개)으로 대체하였다.

전술한 10개 자료의 지하수 이용량에 대한 상관분석 결과, 이들의 상관계수는 전체 210개 시군 지역과 지하수 이용현황에 따른 특성 지역에서 Table 2와 같이 나타난다.

분석 결과로 나타난 각 인자의 지하수 이용량에 대한 상관계수(r)들은 t-test(Till, 1974)를 사용하여 95%와 99%의 신뢰도에서 그 상호관계의 중요성을 검증하였다. t-test의 공식은,

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r^2)}}$$

이며, 이때 n은 분석한 자료의 갯수이다. 이 식으로부터 계산된 t 값이, 일정한 신뢰도에서 t-table로부터 읽은 값 “t_{05, n-2}”(즉, n개의 자료를 분석하였을 때 95% 신뢰도에서의 t 값)보다 큰 경우에는 상관계수(r)로 표현되는 인자들간의 관계가 그 신뢰도에서 중

Table 2. Correlation coefficients between the groundwater use and other variables for areal groups

지역 분류	전체지역	생활형 지역	공업형 지역	농업형 지역	생공형 지역	생활형 표본지역	공업형 표본지역	농업형 표본지역
시군 개수	210	67	27	96	114	22	8	32
분석 요소 (일련번호)	지하수 이용량에 대한 상관 계수							
농지면적 (1)	0.30	-0.01	0.16	0.64	0.01	0.03	0.07	0.54
공업부지면적 (2)	0.20	0.42	-0.16	0.01	0.31	0.19	-0.14	-0.18
행정단위면적 (3)	0.03	-0.04	0.07	0.08	-0.06	-0.16	0.09	-0.20
인구 (4)	0.45	0.74	0.18	0.40	0.59	0.49	-0.03	0.37
지하수상수원 시설용량 (5)	0.27	0.43	0.40	0.19	0.37	0.93	-0.19	0.19
1인 1일 평균 급수량 (6)	0.13	0.48	-0.17	0.10	0.26	0.42	-0.18	0.08
농업용수 사용량(7)	0.28	0.01	0.19	0.53	0.04	-0.10	0.07	-0.53
공업용수 사용량 (8)	0.32	0.59	0.04	0.20	0.44	0.05	0.60	-0.04
생활용수 사용량 (9)	0.44	0.73	0.08	0.30	0.56	0.58	-0.10	0.73
상수도 보급율 (10)	0.01	0.36	-0.05	-0.09	0.26	0.31	-0.13	0.08

요한 의미를 가진다고 말한다. 이 관계를 역으로 쓰면,

$$r = \frac{t}{\sqrt{(n-2) + t^2}}$$

이 식에 t-table로부터 읽은 값을 대입하면 신뢰도 95%와 99%에서 중요한 관계를 보여주는 상관계수(r_{95} 와 r_{99})를 계산할 수 있다. 따라서 이렇게 계산된 상관계수와 자료의 분석 결과인 상관계수를 비교하면, 각 지역에서 지하수 이용에 중요한 영향을 미치는

영향인자를 확인할 수 있다. 이와 같이 상관관계의 중요성에 의하여 도출된 전체 지역, 형태별 지역 및 표본 지역에서의 주요 영향인자는 Table 3과 같다.

Table 3에 의하면 전체 대상 지역인 210개 시군의 경우에는 95%와 99%의 신뢰도에서 7개의 영향인자가 도출되었다. 각 이용형태별 지역에 대한 신뢰도 분석 결과는, 생활형 지역에서는 95%와 99%의 신뢰도에서 7개의 영향 인자가 도출되었으며 공업형 지역에서는 95%의 신뢰도에서만 1개의 영향

Table 3. Influential factors of the groundwater use at the 95% and 99% significance levels

지역 특성 분류	행정 단위 갯수	r_{95}^*	95% 신뢰도에서의 영향인자	r_{99}^{**}	99% 신뢰도에서의 영향인자
전체 지역	210	0.14	1, 2, 4, 5, 7, 8, 9	0.18	95%와 같음
생활형 지역	87	0.21	2, 4, 5, 6, 8, 9, 10	0.28	95%와 같음
공업형 지역	27	0.39	5	0.49	없음
농업형 지역	96	0.20	1, 4, 7, 8, 9	0.26	1, 4, 7, 9
생, 공형 지역	114	0.18	2, 4, 5, 6, 8, 9, 10	0.24	95%와 같음
생활형 표본지역	22	0.42	4, 5, 6, 9	0.53	5, 9
공업형 표본지역	8	0.69	8	0.81	없음
농업형 표본지역	32	0.35	1, 4, 7, 9	0.45	1, 7, 9

* : correlation coefficient at the 95% significance level

** : correlation coefficient at the 99% significance level

인자가 도출되었고 농업형 지역에서는 각각의 신뢰도에서 5개와 4개의 영향인자가 밝혀졌다.

또한, 일반적으로 공업형 지역에서는 산업활동 및 지역경제에 미치는 영향으로 인해 인구 밀집현상을 유발하고, 결과적으로 생활지역과 공업지역의 구분이 모호해질 수 있으므로, 생활형 지역과 공업형 지역을 묶어서 생공형 지역으로 분류하여 영향인자를 확인하였다. 이 경우에 생공형 지역에서는, 95%와 99%의 신뢰도에서 생활형 지역과 동일한 7개의 인자가 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

생활형 표본지역에서는 95%와 99%의 신뢰도에서 각각 4개와 2개의 영향인자가 확인되었고 공업형 표본지역에서는 95%의 신뢰도에서만 1개의 인자가 밝혀졌으나, 이는 형태별 지역의 인자와는 다른 것이었다. 형태별 공업형 지역에서는 지하수원 상수도 시설용량이 중요한 인자였으나, 표본지역에서

는 공업용수 사용량이 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 표본지역의 경우, 공업용 지하수의 이용률이 80% 이상인 지역만을 선정했으므로 그 영향이 미친 것으로 해석된다. 농업형 표본지역에서는 각 신뢰도에서 4개와 3개의 중요 인자가 밝혀졌다.

생공형 지역에서의 영향인자가 생활형 지역에서의 인자들과 동일하게 나타난 것은 전술한 바와 같이 공업형 지역에서의 산업활동에 따른 인구 밀집현상에 의해 생활용 지하수 이용도가 상대적으로 높기 때문으로 사료되며, 표본지역에서의 영향인자가 형태별 지역에서의 인자들보다 숫적으로 적게 나타나는 것은 표본지역의 지하수 이용특성이 형태별 지역에 비하여 상대적으로 뚜렷하기 때문이다. 위와 같이 구해진 영향인자를 기초로 하여 지하수 이용량을 추정하는 모델을 개발하였다.

지하수 이용량 추정식의 개발

전술한 분석에 의하여 확인된 영향인자를 사용하여 지역별 지하수의 이용량을 계산하는 관계식을 다중회기분석법으로 도출하였다. 이 관계식으로부터 구한 지하수 이용량의 계산치를 각 지역에서 얻은 실측자료와 비교하여 이 식을 보정함으로써, 각 지역의 지하수 이용량을 예측하는 추정식을 개발하였다. 이 추정식은 99% 신뢰도에서 확인된 지역 특성별 영향인자를 이용하여 도출하려 하였으나, 농업형 지역에서는 99% 신뢰도에서의 영향인자가 독립적으로 확인되지 않았기 때문에 생활형 지역과 농업형 지역을 통합한 생공형 지역과 농업형 지역의 두가지 경우에 대하여 도출하였다.

지하수 이용량 추정식의 개발은 가능한 적은 수의 자료(인자)를 이용하여 장래 지하수 수요를 예측함에 근본 목적이 있다. 그러므로, 영향 인자의 수는 예측치에 심각한 영향을 미치지 않는 범위내에서 가능한 한 줄이는 것이 바람직하다. 즉, 생활형 지역에는 7개의 영향인자가 확인되었으며, 이는 생공형 지역에서 확인된 영향인자와 동일하였다. 그러나, 생활형 표본지역에서는 이 중 4개의 인자만이 중요하게 나타났다. 따라서, 생공형 지역에서의 영향인자 수가 예측치에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 생활형 지역의 7개 인자의 다중 상관계수(multiple correlation coefficient)와 생활형 표본지역에서 95%의 신뢰도에서 나타난 4개 영향인자의 다중 상관계수를 비교 검토하였다. 생활형 지역의 7개 인자를 사용한 다중 상관계수는 0.75이고, 표본지역의 4개 인자만을 사용한 다중

상관계수는 0.73이다. 따라서, 다중 상관계수 사이의 큰 차이가 없으므로 표본지역의 4개 인자만을 이용하여 지하수 이용량 추정 공식을 개발하였다. 농업형 지역에서는 전체 농업형지역의 99% 신뢰도와 표본지역의 95% 신뢰도에서 구해진 4개의 인자를 이용하여 추정 공식을 유도하였다. 이들 각 형태별 지역에서의 추정 공식은 영향인자의 관계상수, 그리고 이 공식에 의하여 계산된 예측치의 최적 직선의 절편으로 나타낼 수 있다.

위와 같이 개발된 추정식은, 다른 인자가 0인 경우에 지하수의 이용량이 0이 되어야 함을 감안하여 절편을 0으로 만들고, 또한 추정식에 의한 예측치와 실측치간의 차이인 오차를 가능한 0보다 크도록 하여 최소화하였다. 이는 한 지역에서 장래의 시점에 지하수 이용량을 예측하여 지하수를 개발할 경우, 그 지역의 수요에 충분한 양을 공급할 수 있도록 계획되어야 하며, 이를 위해서 지하수 수요량의 예측은 최대한로 해야하기 때문이다. 동시에 오차의 분산이 최소가 되도록 하기 위하여, 오차의 RMS가 최소가 되도록 각 인자의 관계상수를 조절하여 보정하였다. 각 인자에 대한 예측치와 실측치간의 오차의 RMS는 다음의 식으로 구하였다.

$$RMS = \left[\frac{\sum |(\text{예측치} - \text{실측치})|^2}{N} \right]^{1/2}$$

이때, N은 자료의 갯수를 의미한다. 실제로 지하수 이용량에는 영향을 미치지 않지만 여기서 고려되지 않았을 수도 있는 요인들의 영향은 보정상수(calibration factor: F_c)를 추정식에 삽입함으로써 고려하였다. 이러한 방법으로 보정된 추정 공식은 다음과 같으며, 보정된 식을 이용한 오차의 분포는 Fig. 1과 2

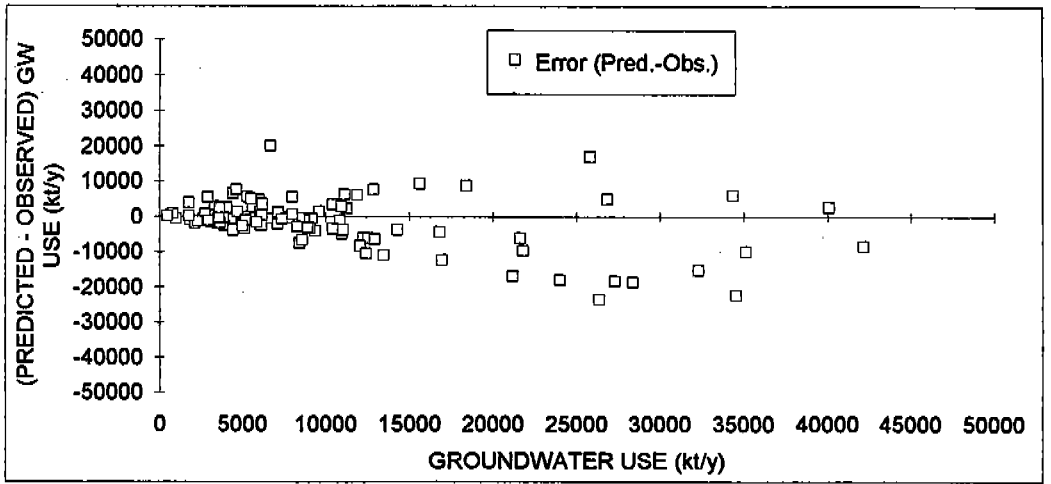


Fig. 1 Distribution of model errors for the predicted groundwater use in residential-industrial area

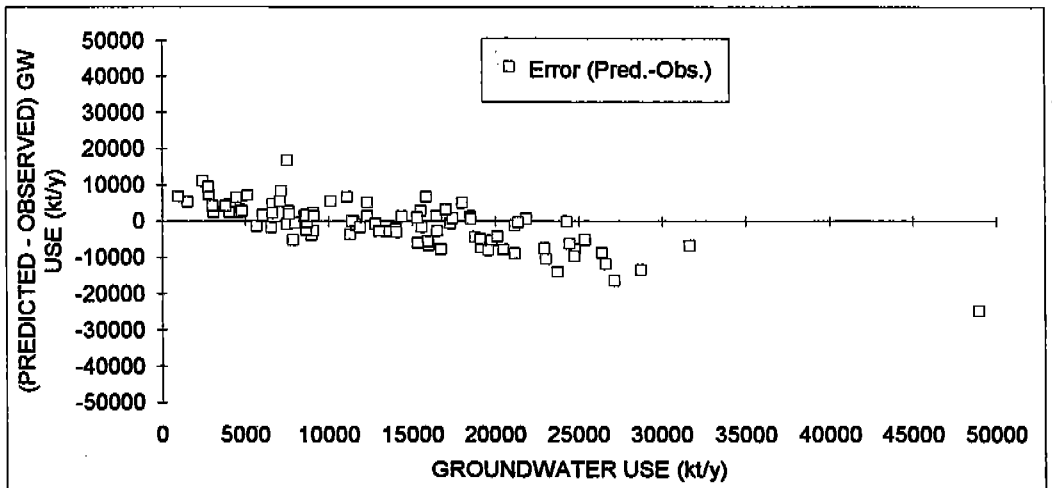


Fig. 2 Distribution of model errors for the predicted groundwater use in agricultural areas

에 보인다.

생공형 지역 ;

지하수 이용량(천톤/년)

$$= \{0.027 \times (\text{인구, 명}) + 0.33 \times (\text{지하수원 상수도 시설용량, 톤/일}) - 1.28 \times (\text{1인 1일 평균 급수량, lpcd}) - 0.12 \times (\text{생활용수 사용량, 천톤/년})\} \times F_2(1.3)$$

농업형 지역 ;

지하수 이용량(천톤/년)

$$= \{105 \times (\text{농지 면적, km}^2) - 0.008 \times (\text{인구, 명}) - 0.003 \times (\text{농업용수 사용량, 천톤/년}) + 1.1 \times (\text{생활용수 사용량, 천톤/년})\} \times F_2(0.7)$$

위의 추정식에서 관계상수의 크기는 실측

Table 4. Distribution of groundwater use at typical areas in 1992

	지하수 이용량 (천톤/년)				합 계
	≤ 10,000	10,000~ ≤ 20,000	20,000~ ≤ 30,000	> 30,000	
생공형 지역	76(67%)	21(18%)	9(8%)	8(7%)	114(100%)
농업형 지역	39(41%)	36(38%)	18(19%)	3(2%)	96(100%)

자료의 크기에 따라서 변하게 되므로 특별한 의미를 갖지 않는다. 단, 이 식을 이용하기 위해서는 각 자료가 본 연구에서 이용된 단위와 일치하여야 하며, 가능한 모든 자료는 동일한 시점에 측정 수집된 자료이어야 한다. 그러나 본 연구에서 사용된 용수 사용량 자료는 다른 자료들과 그 측정 시점이 일치하지 않아서, 위에 제시한 지하수 이용량 추정식 역시 자료 시점의 불일치가 오차 발생의 한 원인이 될 수 있다.

상기한 추정식에 의하여 계산된 예측치와 1992년 기준 지하수 이용량의 실측치와의 오차는 농업형 지역에서보다 생공형 지역에서 상대적으로 광범위하게 나타난다(Fig. 1, 2). 6대 도시를 포함한 114개 생공형 지역에서의 지하수 이용량의 평균치는 약 10,800(천톤/년)이고 자료의 분산도는 그 표준편차가 11,700(천톤/년)이며, 예측치와 실측치의 상대오차(오차÷실측치)는 평균 49%이다. 농업형 96개 특성 지역에서는 지하수 이용량이 평균 13,900(천톤/년)이고, 이의 표준편차는 약 9,200(천톤/년)이며 평균 상대오차는 60%이다.

실제 지하수 이용량의 분포를 지역 특성에 비추어보면 Table 4와 같다. 생공형 지역의 경우, 총 114개 지역 중에서 67%에 해당하는 76개 지역이 지하수 이용량이 10,000(천

톤/년)이하이며, 다음으로 18%에 달하는 21개 지역의 이용량이 10,000-20,000(천톤/년)이다. 즉, 전체의 85%에 달하는 지역에서의 지하수 이용량이 20,000(천톤/년)이하이다. 농업형 지역에서는 96개 지역 중 41%인 39개 지역에서 이용량이 10,000(천톤/년)이하이고, 약 38%인 36개 지역에서 10,000-20,000(천톤/년)이며, 20,000(천톤/년)이상인 지역도 전체의 21%를 차지한다. 이는 생공형 지역에서는 소규모의 지하수 이용이 주를 이루고, 농업형 지역에서 상대적으로 지하수 이용의 규모가 크며 결과적으로 지하수에 대한 용수 의존도가 클 것을 의미한다.

추정식의 타당성 검사 및 적용

상기한 추정식의 타당성(Validity)은 다른 자료(즉, 과거 다른 시점에서의 자료)에 의하여 검증되어야 한다. 이러한 단계를 "history matching"이라고 부르나, 현재까지 국내 전 지역에 대한 지하수 이용량의 자료가 온전하지 않은 관계로 본 연구에서는 수행하지 못하였고, 이 과정은 장래 지속적인 지하수 이용에 관한 자료가 수집되는 시기에 수행되어야 할 과제로 남겨둔다.

이 식의 타당성이 장래의 자료에 의하여 검증이 된다면, 미래 한 시점에서 일정한 시군 단위의 지역 개발계획을 수립할 경우에, 그 지역의 개발 특성과 장래 인구의 밀집 경향 및 주된 산업구조에서의 용수의 사용 경향등을 분석하여, 이들을 기초자료로 하고 검증된 추정식을 사용하여 지하수 수요량을 예측할 수 있다.

결 언

전국 210개 시군을 대상으로 하여 각 지역 개발에 기초가 되는 용수의 수요량을 예측하는 추정기법이 개발되었다. 이 추정식을 이용하여 지하수 이용량을 예측하려면, 먼저 각 지역을 지하수 이용특성에 의하여 생공형 지역과 농업형 지역으로 분류하여야 한다. 이때 생공형 지역에서는 인구(명), 지하수원 상수도 시설용량(톤/일), 1인 1일 평균급수량(1pcd), 생활용수 사용량(천톤/년)등의 선행 자료가 필요하며, 농업형 지역에서는 농지면적(km²), 인구(명), 농업용수 사용량(천톤/년), 생활용수 사용량(천톤/년) 등의 자료가 필요하다. 이 추정식을 이용한 지하수 이용량은 한 지역의 개발 계획 및 과정에서 용수의 수급에 필요한 지하수 최대 수요량의 예측을 가능케 하며, 용수공급 측면에서 지역별 가용 지하수자원의 평가와 더불어 합리적이고 효율적으로 용수수급 문제를 해결 하는데 중요한 역할을 할 것이다.

참 고 문 헌

건설부, 1993, 상수도. 건설부 상하수도국 상수도과, 803p.

_____, 1990, 수자원 장기 종합개발 계획 보고서, '90-2011.

통계청, 1992a, 농림수산 통계연보.

통계청, 1992b, 한국통계연감.

한국수자원공사, 1991, unpublished(personal communication).

한국수자원공사, 1993, 전국 지하수 이용실태 조사 보고서

R. Till, 1974, Statistical Methods for the Earth Scientist. The Macmillan Press Ltd, Hong Kong, 154p.

우남철, 조민조 :
 한국자원연구소
 대전직할시 유성구 가정동 30번지, 305-350
 TEL : (042)868-3071
 FAX : (042)861-9720

김남중 :
 한국수자원공사
 대전직할시 대덕구 연축동 산 6-2
 TEL : (042)623-0920
 FAX : (042)629-2735

지하수 이용량 추정기법 개발

Appendix I. Characteristics in groundwater use at the city and Kun areas in south Korea

도	지역명	지하수 이용 특성 ^a	도	지역명	지하수 이용 특성	도	지역명	지하수 이용 특성
강원도	서울특별시	1	경상 남도	평택시	1	경상 북도	남해군	3
	부산직할시	1		하남시	2		밀양군	1
	대구직할시	1		미곡시	2		사천군	1
	인천직할시	1		시흥시	3		산청군	3
	광주직할시	1		고양시	1		양산군	1
	대전직할시	1		군포시	2		울산군	1
	강원시	1		의왕시	2		의령군	1
	동해시	2		오산시	2		창원군	1
	삼척시	2		가평군	1		진양군	1
	속초시	1		강화군	3		창녕군	3
	원주시	1		김포군	3		통영군	1
	춘천시	1		광주군	2		하동군	3
	태백시	1		남양주군	3		함안군	1
	고성군	3		안성군	3		함양군	3
	명주군	1		양주군	3		합천군	1
	삼척군	3		양평군	3		경주시	2
	양구군	3		여주군	2		구미시	2
	양양군	3		여천군	1		김천시	1
	영월군	1		홍진군	3		상주시	1
	원주군	3		용인군	3		안동시	1
경기도	인제군	1	이천군	3	영주시	1		
	정선군	1	파주군	1	영천시	1		
	철원군	1	평택군	2	점촌시	1		
	춘성군	3	포천군	1	포항시	1		
	평창군	1	화성군	3	경산시	1		
	홍천군	1	김해시	2	경산군	2		
	화천군	1	마산시	1	고령군	1		
	횡성군	3	삼천포시	1	군위군	3		
	과천시	1	울산시	1	금릉군	3		
	광명시	1	진주시	2	달성군	1		
	구리시	1	진해시	1	문경군	3		
	동두천시	1	창원시	1	봉화군	3		
	부천시	1	충무시	1	상주군	3		
	성남시	2	장승포시	1	선산군	3		
	송탄시	1	밀양시	1	성주군	3		
	수원시	1	거제군	3	안동군	3		
	안산시	2	거창군	3	영덕군	3		
	안양시	2	고성군	1	영양군	1		
	의정부시	2	김해군	1	영일군	1		

(Appendix I. continued)

도	지역명	지하수 이용 특성	도	지역명	지하수 이용 특성	도	지역명	지하수 이용 특성
전라 남도	영천군	3	전라 북도	진도군	3	충청 북도	부여군	3
	영풍군	3		함평군	3		서산군	3
	예천군	3		해남군	3		서천군	3
	울릉군	1		화순군	3		아산군	3
	울진군	3		군산시	2		연기군	3
	경주군	1		남원시	1		예산군	3
	의성군	1		이리시	3		천안군	3
	청도군	1		전주시	2		청양군	3
	청송군	1		정주시	1		홍성군	3
	칠곡군	1		김제시	3		태안군	3
	나주시	2	고창군	3	제천시	1		
	목포시	2	김제군	3	청주시	1		
	순천시	1	남원군	3	충주시	2		
	여수시	1	무주군	3	괴산군	3		
	여천시	2	부안군	3	단양군	2		
	동광양시	1	순창군	3	보은군	3		
	강진군	3	옥구군	3	영동군	1		
	고흥군	3	완주군	2	옥천군	1		
	곡성군	3	익산군	3	음성군	1		
	광양군	3	임실군	3	제천시	3		
구례군	3	장수군	3	중원군	3			
나주군	3	정읍군	3	진천군	3			
담양군	3	진안군	3	청원군	3			
부안군	3	충청 남도	공주시	1	제주도	서귀포시	1	
보성군	3		온양시	1		제주시	1	
승주군	3		천안시	1		남제주군	3	
신안군	3		대천시	1		북제주군	3	
여천군	3		서산시	1				
영광군	3		공주군	3				
영암군	3		금산군	3				
완도군	3		논산군	3				
장성군	3		당진군	3				
장흥군	3		보령군	3				

* Characteristics of groundwater use represent the dominant usage of groundwater such as 1 for residential, 2 for industrial and 3 for agricultural purposes.

지하수 이용량 추정기법 개발

Appendix II. Type areas and the rates of groundwater use for typical purposes

생활형 지역		공업형 지역		농업형 지역	
지역 (번호)	생활용 지하수의 비율(%)	지역 (번호)	공업용 지하수의 비율(%)	지역 (번호)	농업용 지하수의 비율(%)
포항시 (102)	99.9	의왕시 (46)	94.2	남원군 (163)	95.4
울릉군 (121)	99.0	의정부시 (39)	92.3	순창군 (166)	92.6
정선군 (22)	98.0	군포시 (45)	90.3	영광군 (146)	92.3
강릉포시 (73)	97.9	구미시 (95)	86.2	영암군 (147)	92.0
제주시 (175)	96.8	완주군 (168)	83.5	신안군 (144)	90.6
충무시 (72)	96.5	성남시 (34)	80.6	상주군 (111)	89.6
안동시 (98)	96.3	오산시 (47)	76.1	고흥군 (135)	88.8
원주시 (11)	90.7	미천시 (42)	72.1	강화군 (49)	88.1
진해시 (70)	88.9			무안군 (141)	87.6
마산시 (66)	88.2			양양군 (16)	87.5
경산시 (103)	88.1			영풍군 (119)	87.2
인제군 (21)	87.9			장흥군 (150)	86.8
절촌시 (101)	87.9			완도군 (148)	86.7
속초시 (10)	87.1			보령군 (187)	86.6
평창군 (25)	86.7			예천군 (120)	86.3
함안군 (91)	84.8			함평군 (152)	85.9
구리시 (31)	84.7			익산군 (169)	85.5
창원군 (86)	84.0			강진군 (134)	83.8
서귀포 (174)	83.1			곡성군 (136)	83.7
양산군 (83)	82.1			춘천군 (24)	83.3
과천시 (29)	82.1			아산군 (191)	82.8
합천군 (93)	80.2			태안군 (197)	82.5
				홍성군 (196)	82.3
				창녕군 (88)	81.7
				해남군 (153)	81.7
				중원군 (208)	81.4
				고창군 (161)	81.2
				보성군 (142)	81.2
				청양군 (195)	80.7
				공주군 (183)	80.7
				원주군 (20)	80.3
				봉화군 (110)	80.0