

변동유형 분석법을 이용한 해수침투 관측망 자료 평가

송성호^{1,*} · 이진용² · 이명재³

¹한국농촌공사 농어촌연구원, 426-170 경기도 안산시 상록구 사동 1031-7

²강원대학교 지질학과, 200-701 강원도 춘천시 강원대학교길 1

³(주)지오그린21, 152-719 서울특별시 구로구 구로동 197-10 이엔씨벤처드림타워2차 901호

Evaluation of Long-term Data Obtained from Seawater Intrusion Monitoring Network using Variation Type Analysis

Sung-Ho Song^{1,*}, Jin-Yong Lee², and Myeong-Jae Yi³

¹Underground Environmental Research Team, Rural Research Institute, KRC, Ansan 426-170, Korea

²Department of Geology, Kangwon National University, Kangwon 200-701, Korea

³GeoGreen21 Co., Ltd., Seoul 152-719, Korea

Abstract: With groundwater data of seawater intrusion monitoring network in coastal areas of Korea's main land, we analyzed types of seawater intrusion through the coastal aquifer. The data including groundwater level, temperature and electrical conductivity obtained from 45 monitoring wells at 25 watershed regions were evaluated. Based on statistical analysis, correlation analysis and variation type analysis, groundwater levels were mainly affected by rainfall and artificial pumping. About 78% of the monitoring wells showed average temperature higher than 15°C and about 58% of them showed minimum variations less than 0.2°C. Electrical conductivities showed a large magnitude of variation and irregular characteristics compared with groundwater levels and temperatures. Average electrical conductivities lower than 2,000 µS/cm were observed at 28 monitoring wells while those of higher than 10,000 µS/cm were done at 9 monitoring wells. From the cross-correlation analysis, groundwater levels were mostly affected by precipitation while temperature and electrical conductivity showed very low correlation. Meanwhile tidal variations strongly affected the groundwater levels comparing to precipitation. We classified the long-term monitoring data according to variation types such as constant process, linear trend, cyclic variation, impulse, step function and ramp. Impulse type was dominant for variations of groundwater level, which was largely affected by rainfall or artificial pumping, the constant process was dominant for temperature. Compared with groundwater level and temperature, electrical conductivities showed various types like linear trend, step function and ramp. According to the discrepancy of variation characteristics for monitoring data at each well in the same region, periodical analysis of monitoring data is essentially required.

Keywords: seawater intrusion monitoring network, long-term monitoring data, statistical analysis, cross-correlation analysis, variation type analysis

요약: 우리나라 서, 남해안에 지하수의 해수침투 현상을 관측하기 위해 설치된 관측망 자료를 이용하여, 해당지역별 대수층을 통한 해수침투의 유형을 분석하였다. 분석에 이용된 관측정은 25개 해안지역 소유역의 총 45개 암반관정으로, 지하수위, 수온, 전기전도도를 대상으로 기본통계분석, 상관성 분석 및 변동유형 분류를 수행하였다. 분석 결과 지하수 위의 경우 강우 영향을 받거나 양수에 의한 수위강하가 나타나는 관측정에서 큰 폭으로 변동하고 있다. 지하수온은 대부분의 경우 변동폭이 0.2°C 이내로 안정적인 특징을 보여주고 있으며, 전체적으로 평균 온도가 15°C 이상으로 나타났다. 전기전도도의 경우 상대적으로 변동폭이 크고 불규칙한 특징을 가지고 있으며, 평균값이 2,000 µS/cm 이내의 관측정이 28개, 10,000 µS/cm를 초과하는 관측정은 9개소로 나타났다. 교차상관도 분석에 의하면, 지하수위는 강우의 영향을 받아 변동하는 형태가 많았지만 수온과 전기전도도는 상대적으로 강우의 영향이 없는 것으로 나타났다. 조석의 경우

*Corresponding author: shsong84@hanmail.net

Tel: 82-31-400-1857

Fax: 82-31-400-1889

에는 일부 관측점에서 강우에 의한 영향보다 높은 교차상관도가 나타났다. 본 연구에서는 장기관측자료를 변동형태에 따라 정상형, 추세형, 주기형, 충동형, 계단형, 경사형 등 6가지로 분류하였다. 지하수위의 경우 강우나 양수의 영향을 받는 충동형이 가장 많은 73.3%이며, 조석의 영향은 13.4%에 해당되었다. 지하수온의 경우 변동폭이 일정한 정상형태가 51.2%로 가장 높게 나타났으며, 강우나 양수에 의한 충동형이 26.7%에 해당되었다. 전기전도도의 경우는 지하수위나 지하수온과 달리 추세형, 계단형, 경사형 등의 변동형태가 우세한 것으로 나타났다. 전체적으로 동일한 해안지역에 설치된 관측정별로 관측자료의 변동 특성이 상이한 경우가 나타남에 따라, 향후 각 소유역별로 관측정 자료의 정기적인 변동 경향성을 분석하는 것이 필요하다.

주요어: 해수침투 관측망, 장기관측자료, 통계분석, 교차상관도 분석, 변동유형 분류

서 론

해안지역에서 발생하는 지하수 오염현상의 대표적인 사례는 대수층을 통한 해수침투현상(Park et al., 2005; Lee and Song, 2007), 해수침투는 해안지역에서 다량의 지하수를 양수함에 따라, 해수체가 담수체로 침투하는 과정과 담수체와의 혼합(mixing) 과정 등으로 발생된다(Todd, 1980). 이러한 대수층을 통한 해수침투 현상을 밝히기 위한 대표적인 방법은 각 지하수 관점에서 정기적으로 채취한 수질시료를 대상으로 염분농도를 지시하는 총고용물질(Total Dissolved Solids, TDS)과 주성분의 양, 음이온 함량을 분석하는 방법이다(Richter and Kreitler, 1993). 이러한 수질시료 분석의 경우 결과가 시·공간적 및 계절적 요인 등에 의해 지배되기 때문에 장기간의 연속적인 측정이 필요하다.

해안지역의 대수층을 통한 해수침투 현상과 관련하여 Park et al.(2002)은 우리나라 서해안의 해안선으로부터 10 km 이내의 천부 지하수 관정 229개소를 대상으로 지하수 수질 분석을 수행하였으며, 이 중 약 21% 이상의 지하수 관정이 해수침투에 의한 영향이 있는 것으로 보고한 바 있다. 또한 한국지질자원연구원(2003)은 서·남해안 연안지역에 대한 광역 해수침투 조사 결과 해안선으로부터 약 10 km 이내의 천부 및 암반 지하수 관정의 약 47%가 해수의 영향을 받는 것으로 보고하였다. 그러나 이러한 연구 결과는 해안지역 관정주변에서 해수침투에 의한 지하수계의 염수화 정도를 평가할 수 있는 독자적인 기술로, 대수층을 통한 지속적인 해수침투의 변화 양상을 규명하는 데는 한계가 있다. 농림부와 한국농촌공사(2006)는 우리나라 해안 및 도서지역 지하수에 대한 장기관측을 실시하고, 지하수개발 이용으로 인한 해수침투 영향을 사전에 조사하여 피해예방을 수립하고 합리적인 지하수 이용관리 계획수립에 필요한 기

초 자료를 수집하기 위하여 1998년 이후 연차적으로 지하수 관측망을 설치하여 운영 중이다. 그러나 본 관측망의 경우 설치 이전에 대상지역에 대한 별도의 대수층의 수리지질 특성 조사 공정이 없기 때문에, 대수층 특성별 관측자료를 이용한 체계적인 분석이 어려운 상태이다.

따라서 본 연구에서는 관측자료를 이용한 대상유역별 해수침투 현상을 규명하기 위하여, 관측정의 장기 관측자료를 이용하여 각 지역별 대수층을 통한 해수침투의 유형분석을 실시하였다. 이를 위하여 25개 해안지역 소유역에 1년 이상의 관측자료가 축적된 총 45개 암반관정의 관측정에서 수집한 장기관측자료를 이용하였다.

해수침투 관측망(seawater intrusion monitoring network)

해안 및 도서지방에서 지하수의 염수화는 가장 흔한 오염현상으로, 해수침투에 의한 염수화 과정은 대상지역의 수리지질학적 특성에 따라 다양하게 나타난다. 해안과 인접한 지역의 대수층이 다공질 매체로 구성되어 있는 경우의 해수침투 모형은 Ghyben-Herzberg(G-H)이론이 대표적이다. 이 이론에 의하면 자유면 대수층인 경우 정수압적 평형 하에서 바닷물의 평균 밀도를 이용하여 계산하면 해수면 아래 담수체의 깊이는 해수면을 기준으로 지하수위 높이의 약 40배에 해당된다. 이러한 비확산 경계면 모델(sharp-interface model) 접근법은 수리동력학적으로 분산의 효과가 크지 않은 경우에 적합한 것으로 우리나라와 같이 균열대로 이루어진 암반대수층의 경우는 그 침투양상이 상대적으로 복잡하기 때문에 기존의 이론을 적용하는데 한계가 있으며, 이와 관련한 뚜렷한 연구결과가 제시되지 못하고 있다. 이에 따라 우리나라의 경우는 해안지역 소유역별로 관측망을 설치하여 유역단위별로 해수침투 양상을 분석하고 있다

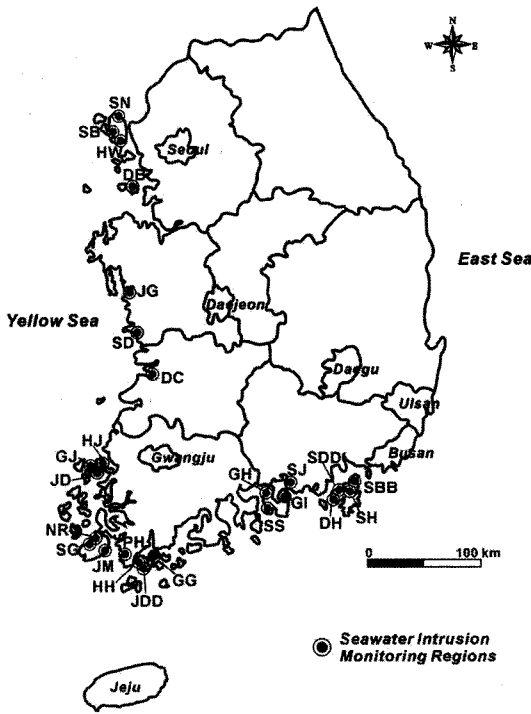


Fig. 1. Location of 25 seawater intrusion monitoring regions where 45 monitoring wells are located.

(Song et al., 2007).

우리나라 해안지역의 해수침투 관측망은 1998년부터 연차적으로 설치, 운영하고 있는데, 2006년 말 현재 경기 14개소, 강원 2개소, 충남 10개소, 전북 4개소, 전남 26개소, 경남 19개소 등 총 75개소가 운영되고 있다. 각 관측정별로 측정항목은 지하수위, 수온, 전기전도도로 해안지역의 특징인 조석의 영향을 분석하기 위하여 1시간 간격으로 측정하고 있다(Fig. 1). 각 관측정에서 장기관측을 위해 사용된 지하수위 측정 센서는 10m 이내의 범위(정확도 ± 0.3 FSR 이내)에서 측정이 가능하며, 지하수온 측정 센서는 0~+50°C의 범위(정확도 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 이내)로 측정이 가능한 제품이다. 또한 전기전도도 센서의 경우는 0~50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위(정확도 $\pm 5\%$ FSR 이내)에서 측정이 가능한 제품을 사용하고 있다.

장기관측자료 기초통계분석

지하수위, 수온 및 전기전도도 등의 장기관측자료는 시계열 변동자료로 대수층 특성별로 변동 유형이 다양하게 나타나며, 이 중 지하수위의 경우는 지하수 시스템의 물리적 특성을 반영하는 인자로 국가지하수

관측망 자료를 이용하여 시계열 분석과 관련한 체계적인 연구가 진행되고 있다(이명재 외, 2004). 그러나 관측지점 주변에서 발생하는 지하수 이용 등 물리적인 변화나 관측장비 및 통신장비 이상 등으로 시계열 자료가 정상적이지 못하기 때문에, 전체적인 관측 자료의 통계적 특성을 파악하는 것은 어려운 것으로 제시된 바 있다(이명재 외, 2005). Lee et al.(2007)은 본 연구에서 이용된 동일한 장기관측자료를 선형 회귀(linear regression) 분석법과 비모수적 경향성(nonparametric trend) 분석법을 이용하여 평가한 바 있다. 본 연구에 의하면 선형 회귀 분석 결과는 지하수위 및 수온의 경우는 경향성이 크지 않지만, 전기전도도는 관측정에 따라 상승추세가 나타나는 관정이 있는 것으로 나타났다. 또한 비모수적 경향성 분석 결과 95% 신뢰수준에서 선형 회귀 분석 결과와 약간의 차이가 있는 것으로 보고하였다. 이러한 차이는 매시 자료나 일일자료의 경우 자료의 변동폭이 매우 커서 장기적인 경향을 판단하기 위하여 월 중앙값을 이용함에 따라 발생된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 현재 운영 중인 해수침투 관측망 자료를 각 관측정별로 측정된 자료를 분석하여 변동형태를 유형별로 분류하였다.

본 연구에서는 장기관측자료 분석을 위하여 총 25개 소유역에 설치된 45개 관측정 별로 자동 관측된 자료에 대하여 자료 품질의 일관성을 위하여 2003년부터 2004년까지 2년간의 자료를 이용하였다. 그러나 2003년부터 설치된 관측정의 경우에는 2004년 1년간의 자료를 이용하였다. 분석자료는 지하수위, 지하수온 및 전기전도도 등 3가지로, 관측주기는 기본적으로 통계분석을 위하여 매 12시 정각에 측정된 일자료를 이용하였다(Table 1).

일반적으로 지하수위 변동에 가장 큰 영향을 주는 자연적인 요소는 강우로, 강우량에 따라 변동폭이 크게 나타난다. 그러나 해수침투 관측정의 경우는 해안가에 비교적 가까이 설치되어 있어 조석 등의 영향을 받을 수 있으며, 인위적인 양수에 의한 지하수위 강하도 발생한다. 관측자료 분석 결과 해수침투 관측정 중 약 40%는 직접 지하수를 사용하고 있거나 주변에서의 양수에 의한 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 각 관측정별 지하수위는 양수 등 인위적인 영향을 받지 않은 관정에서는 대부분 2-4m 이내에서 변동하고 있으며, 관측정 설치 초기의 지하수위에 비해서도 대부분 안정적인 수위를 유지하고 있다(Fig. 2). 또한 인위

Table 1. Statistics of groundwater level, temperature and electrical conductivity at 45 monitoring wells

Well name	Elev* (m)	Dep* (m)	Per* Per*	Groundwater level (m)				Temperature (°C)				Electrical conductivity (uS/cm)				Re*
				Mean	Range*	Min.	Max.	Mean	Range*	Min.	Max.	Mean	Range*	Min.	Max.	
SB1	0.05	40	03-04	-1.33	1.40	-2.18	-0.78	13.15	0.12	13.06	13.18	1,562	4,355	74	4,429	
SN1	3.93	80	01-02	8.92	25.00	1.60	26.60	14.00	0.09	13.96	14.05	10,657	2,129	9,693	11,822	p
SN2	1.84	94	03-04	-2.10	11.00	-8.66	2.34	13.83	0.13	13.75	13.88	5,877	5,142	3,747	8,889	p
SN3	2.39	137	03-04	-0.39	7.50	-5.81	1.69	13.61	0.02	13.60	13.62	315	60	303	363	p
HW1	9.26	120	03-04	3.20	3.14	1.29	4.43	14.72	0.27	14.52	14.79	469	210	287	497	p
HW2	0.84	60	03-04	-7.01	22.42	-23.25	-0.83	14.50	0.14	14.39	14.53	110	32	93	125	p
DH1	17.04	80	03-04	11.11	2.02	9.94	11.96	15.82	0.01	15.82	15.83	68	5	67	72	
DH2	14.00	80	04	10.82	1.90	9.78	11.68	15.82	0.01	15.82	15.83	67	1	67	68	
SDD1	53.10	150	03-04	8.80	7.22	6.14	13.36	15.57	0.43	15.40	15.83	232	74	203	277	
SBB1	-	80	00-01	1.02	1.40	0.50	1.90	15.56	0.69	15.23	15.92	1,861	4,966	1,414	6,380	
SBB2	36.10	200	03-04	26.57	2.90	25.40	28.30	15.38	0.04	15.36	15.40	248	17	240	257	
SH1	5.87	30	03-04	4.96	0.97	4.47	5.44	15.78	0.09	15.72	15.81	2,115	1,044	1,719	2,763	
DC1	1.95	80	04	1.63	0.74	1.25	1.99	15.03	0.39	14.85	15.24	8,269	3,280	6,710	9,990	
GI1	5.05	46	03-04	3.45	4.91	-0.99	3.92	15.50	0.46	15.43	15.89	6,283	4,859	4,851	9,710	p
GI2	5.08	80	03-04	4.05	1.02	3.75	4.77	15.94	0.10	15.89	15.99	258	14	252	266	
GH1	4.32	80	03-04	2.38	1.50	1.72	3.22	16.51	0.02	16.50	16.52	26,686	3,163	24,741	27,904	
GH2	0.01	61	03-04	4.18	3.10	2.22	5.32	15.60	0.12	15.56	15.68	19,001	8,474	11,531	20,005	p
SS1	55.01	150	03-04	33.90	4.40	30.91	35.31	16.71	0.86	16.52	17.38	246	20	235	255	p
SS2	1.00	80	03-04	-9.55	39.70	-41.41	-1.71	16.92	0.03	16.90	16.93	8,410	6,250	6,980	13,230	
JG1	4.10	52	03-04	0.25	0.87	-0.13	0.74	14.68	0.03	14.66	14.69	45,808	2,101	45,299	47,400	
JG2	2.61	80	04	-1.69	0.88	-2.06	-1.18	14.82	0.06	14.80	14.86	46,720	10,200	42,100	52,300	
SJ1	7.57	70	04	5.55	1.60	4.55	6.15	15.89	0.25	15.81	16.06	324	175	242	417	p
SD1	1.32	80	03-04	-4.08	8.98	-9.78	-0.80	15.21	0.32	15.08	15.40	383	354	330	684	p
SD2	4.57	93	03-04	-0.76	4.97	-3.95	1.02	15.98	0.03	15.96	15.99	707	41	691	732	p
GJ1	5.52	127	03-04	4.88	3.60	2.12	5.72	16.33	0.37	16.26	16.63	314	6	310	316	p
GJ2	0.65	52	03-04	-0.82	1.55	-1.65	-0.10	15.58	2.70	14.24	16.94	15,690	10,756	6,720	17,476	
JD1	3.77	60	03-04	0.61	4.98	-1.36	3.62	15.52	1.01	14.85	15.86	1,809	1,105	1,301	2,406	
JD2	0.60	120	03-04	-4.53	4.99	-8.32	-3.33	15.47	0.31	15.28	15.59	532	103	472	575	p
HJ1	5.80	43	03-04	2.22	1.10	1.60	2.70	15.62	0.15	15.59	15.74	200	86	183	269	
HJ2	4.69	67	03-04	4.08	0.40	3.79	4.19	15.91	0.20	15.84	16.04	250	450	143	593	
DB1	4.70	81	04	3.13	2.24	1.96	4.20	14.53	0.27	14.43	14.70	276	68	235	303	
DB2	3.26	100	04	2.16	2.36	0.85	3.21	14.48	0.16	14.42	14.58	257	52	228	280	
GG1	0.32	40	03-04	-0.43	0.56	-0.75	-0.19	16.24	2.47	15.92	18.39	18,981	13,406	12,493	25,899	
GG2	1.58	58	04	1.32	0.51	1.08	1.59	16.09	0.11	16.02	16.13	15,837	10,117	11,716	21,833	
JD1	1.71	80	03-04	0.19	3.60	-2.59	1.01	15.36	0.06	15.33	15.39	450	145	369	514	p
HH1	2.33	35	03-04	-0.31	5.70	-5.07	0.63	15.93	0.09	15.89	15.98	14,514	21,864	948	22,812	p
HH2	1.34	64	03-04	-27.93	47.30	-46.06	1.24	15.33	2.25	14.16	16.41	1,112	936	518	1,454	
HH3	0.81	97	03-04	-0.54	2.58	-1.85	0.73	16.39	0.29	16.17	16.46	5,460	13,363	886	14,249	
NR1	4.99	150	03-04	4.04	2.20	2.29	4.49	16.79	0.47	16.52	16.99	7,594	7,930	997	8,927	p
NR2	4.22	150	03-04	0.44	8.77	-6.17	2.60	16.24	0.50	15.92	16.42	313	151	244	395	p
SG1	6.30	80	03-04	3.45	1.20	2.70	3.90	16.72	0.16	16.63	16.79	6,472	1,735	5,838	7,573	
SG2	11.20	101	03-04	1.54	1.70	0.72	2.42	15.71	0.09	15.66	15.75	270	5	268	273	
JM1	5.86	95	03-04	0.81	3.47	-2.01	1.46	16.49	0.04	16.47	16.51	268	79	235	314	p
JM2	5.00	80	03-04	2.96	4.70	-0.50	4.20	15.81	0.11	15.74	15.85	268	26	254	280	p
PH1	1.95	85	04	-3.79	9.58	-8.58	1.00	15.71	0.05	15.69	15.74	6,025	3,970	3,200	7,170	p

Elev*: Elevation, Dep*: Depth, Per*: Period, Range*: Variation range, Re*: Remarks, p: Affected by pumping

적인 영향을 받은 관정의 경우에도 양수 기간 중에는 지하수위가 내려간 상태를 유지하다가 양수가 종료되면 다시 회복되는 것으로 나타났다.

지하수온은 지하수위에 비해 안정적인 변화를 보여 주지만, 연중 지하수온이 0.2°C 이내인 경우에는 관측센서의 정확도 범위에 포함되므로 특별한 변동형태

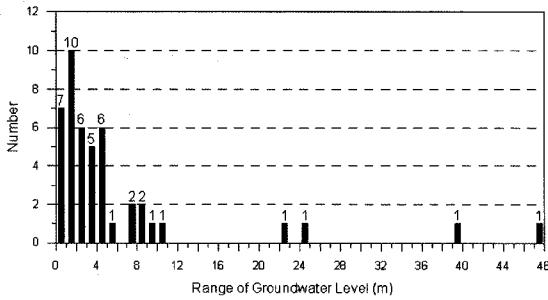


Fig. 2. Distribution of maximum variation width for groundwater level at 45 monitoring wells.

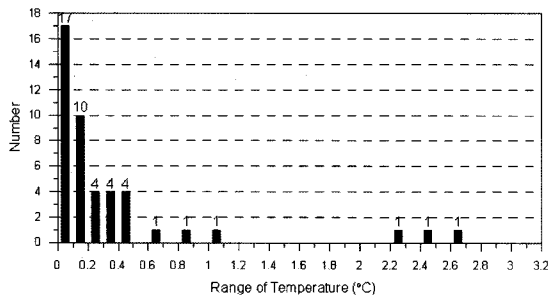


Fig. 3. Distribution of maximum variation width for groundwater temperature at 45 monitoring wells.

로 구분하기 어렵다. 전체적으로는 관측정의 약 64%가 15.0~16.5°C 범위에 분포하고 있는데, 이는 국가 지하수관측망의 총적관정 및 암반관정 관측자료 평균값인 14.6°C와 14.5°C 보다 상대적으로 높은 것으로 나타났다(건설교통부와 한국수자원공사, 2006). 특히 지하수는 최대 변동폭이 0.1°C 이내인 관측정은 17개이며, 0.1~0.2°C 범위의 관측정이 10개로, 전체 관측정의 60%인 27개의 관측정에서 지하수온의 변동이 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 3).

전기전도도는 지하수위와 수온에 비해 변동폭이 크고, 불규칙한 특징을 나타내며, 해수침투여부를 판단할 수 있는 중요한 인자로 해수침투 진행여부에 따라 그 관측값이 차이가 있다. 전기전도도의 최대변동폭은 24개 관측정이 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이내로 나타나지만, 18개 관측정이 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상으로 나타남에 따라 해수침투의 영향이 크게 나타나는 것을 알 수 있다(Fig. 4). 그러나 전기전도도는 해수체와 담수체가 수직적으로 분포하기 때문에 지하수위 및 수온과 달리 전기전도도 측정 위치에 따라 변화가 심하게 나타날 수 있다. 따라서 최근에는 정기적인 지하수검층과 다중심도 전기전도도 측정 센서 설치를 통한 전기전도도 분포를 분석하고 있다.

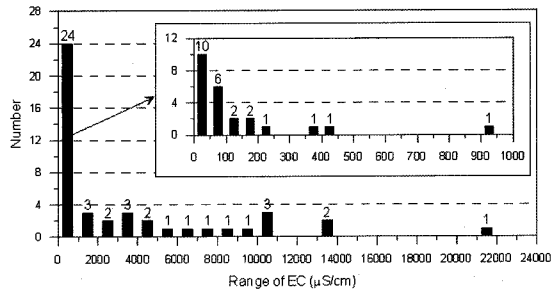


Fig. 4. Distribution of maximum variation width for electrical conductivity at 45 monitoring wells.

장기관측자료 상관성 분석

장기관측자료를 이용한 변동유형 분석 이전단계로 각 관측정에서 연속적으로 관측된 자료를 이용한 상관성 분석을 수행하였다. 일반적으로 지하수의 경우 지하수위에 변동을 주는 일차적인 인자는 강우이며, 해안지역에 인접한 경우에는 조위변화에 따른 변동이 나타날 수 있다. Fig. 5는 해수침투 관측망의 장기관측자료 중 강우, 조석 및 양수에 의해 지하수위 변동이 발생된 대표적 관측정에서의 유형별 장기관측 결과이다. 이 중 강수량과 조위변화는 연속적인 관측자료가 있어 지하수위, 수온, 전기전도도와 교차상관성(cross-correlation) 분석을 수행하였다. 교차상관성은 두 가지의 서로 다른 시계열의 일정시차의 상관관계를 나타내는 것으로, 교차상관함수는 -1.0~+1.0 사이의 범위를 보여주는데 상관도가 높을수록 최고점에서 교차상관값이 크게 나타난다(Yaffee and McGee, 2000). Fig. 6은 매 12시 정각의 일자료를 기준으로 대표적인 관측정에서의 강우에 대한 지하수위, 수온, 전기전도도의 교차상관도이다. 대부분의 관정에서 강우에 의한 교차상관성은 크게 나타나지 않았지만, 지하수위는 Fig. 6(a)에서 제시한 바와 같이 GI2 관측정의 경우에는 최대상관계수가 0.47로 약 1일의 지연시간이 나타났다. 수온의 경우에는 SDD1 관측정에서 0.20의 최대상관계수가 나타나지만, 지연시간이 약 63일로 강우에 의한 상관성은 매우 작은 것으로 나타났다. 또한 전기전도도의 경우에도 GG1 관측정에서 0.31의 최대상관계수와 약 9일의 지연시간이 나타남에 따라 유의미한 교차상관성이 없는 것으로 판단된다.

조석은 지구주변 천체의 인력작용에 의해 해수면이 주기적으로 상승 및 하강하는 현상으로, 최고조인 만조와 최저조인 간조 사이의 시간이 조석주기로 반일주조의 경우 약 12시간 25분이다. 일반적으로 조석간

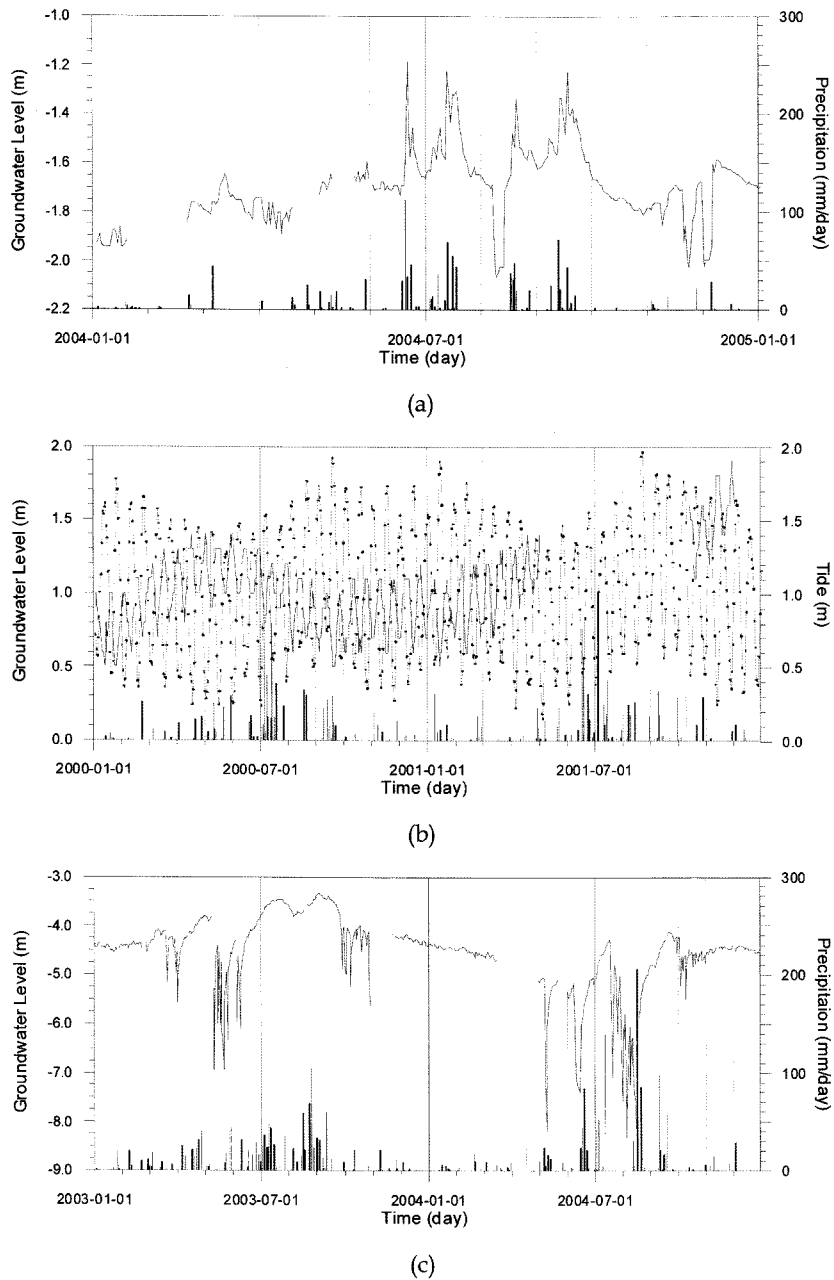
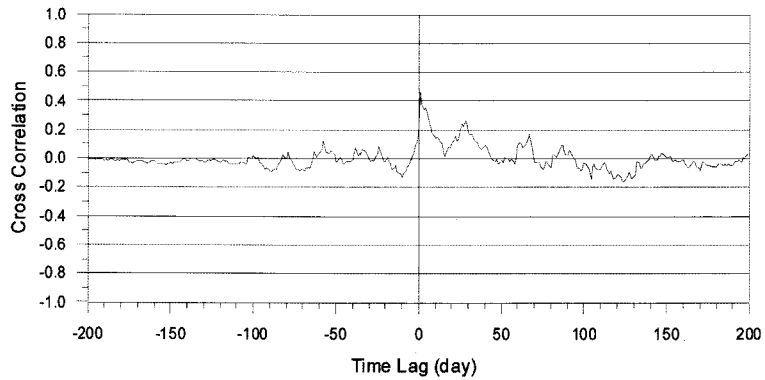


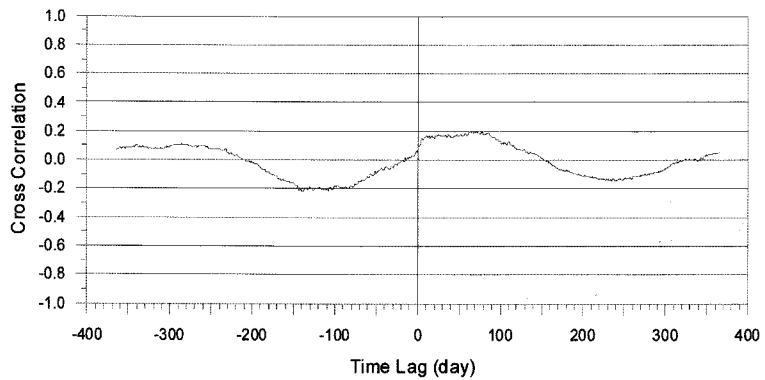
Fig. 5. Groundwater variation types by precipitation at JG2(a), tide at SBB(b) and pumping at JD2(c).

만이 발생하는 시각이나 조차는 월령과 지역에 따라 변화가 크게 나타난다. Fig. 7은 해수침투 관측정 중 조위변화의 직접적인 영향을 받는 관정에서, 매 12시 정각의 일자료를 이용한 지하수위 변동의 교차상관도이다. SBB1 관측정의 경우는 최대상관계수가 0.51로 약 6일의 지연시간이 나타났으며, DC1 관측정은 최대상관계수가 0.47로 약 3일의 시간이 지연되는 것

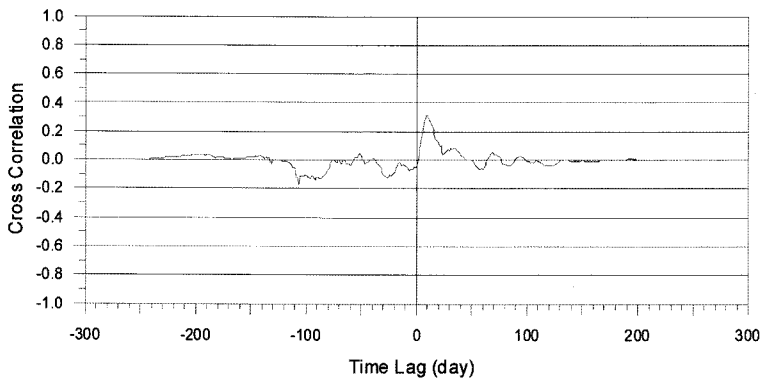
로 분석되었다. Lee et al.(2007)은 동일한 관측자료를 1시간 간격으로 분석하였는데, SBB1 관측정의 경우 약 7시간의 시간지연이 나타나는 것으로 제시한 바 있다. 이러한 결과는 본 관측정 지하수위의 자기상관주기가 약 12시간으로, 조석의 변동주기와 유사하기 때문으로 판단된다. 그러나 DC1 관측정의 경우는 특별한 상관성이 없는 것으로 제시하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Cross-correlations between precipitation and groundwater level at GI2(a), temperature at SDD1(b) and electrical conductivity at GG1(c).

관측망 자료 분석에 의한 변동유형 분류

시계열분석은 시간변화에 따라 관측되는 자료를 분석하는 방법으로, 변동 특징이나 경향에 따라 다양한 구분법이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 Montgomery et al.(1990)이 제시한 방법을 이용하여, 시계열 자료

의 변동유형을 정상적(constant process), 선형추세(linear trend), 주기적(cyclic variation), 충동적(impulse), 계층적(step function), 경사(ramp) 변화 등 6가지로 구분하였다(Fig. 8). 변동 유형 중 정상적 변화의 특징은 시간에 따라 평균과 분산이 일정하게 유지되는

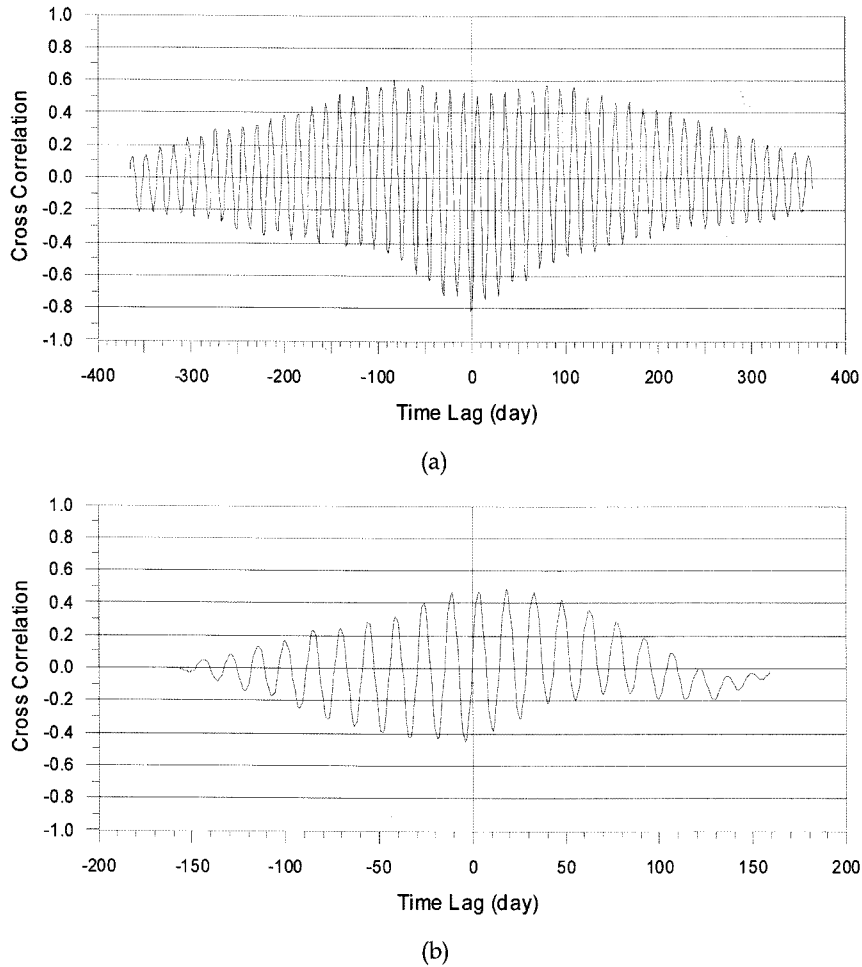


Fig. 7. Cross-correlations between tide and groundwater level at SBB1(a) and DC1(b).

경향을 보여주며, 선형추세변화는 장기적으로 증가 또는 감소하는 형태를 나타낸다. 주기적인 변화는 일정기간동안 나타난 변화가 반복되는 것을 의미하며, 충동적인 변화는 외부적인 요인에 의하여 시계열 자료의 변화가 생기는 것이다. 이외에 계층적인 변화는 특정 시점에서 관측값의 변위가 이동하였다가 이동된 범위에서 다시 정상적으로 변동하는 자료이며 경사변화는 일정하게 유지되다 특정 시점부터 경향성을 나타내는 자료의 변동 형태이다.

본 연구에서는 각 관측정별 시계열 자료에 대한 상관분석과 선형 회귀분석 결과(Lee et al., 2007)를 이용하여, 앞서 구분한 6가지의 변동유형에 대하여 각 유형 특성별로 세부분류를 하였다. 정상적 변화(A)의 경우 변화폭이 거의 없이 일정한 경우는 Ac, 일반적인 정상형태는 An으로 분류하였다. 또한 관측

값의 상승 또는 하강 형태를 보여주는 선형추세 변화(B)와 경사변화(F)는, 각각 상승(u)과 하강(d) 경향에 따라 Bu, Bd, Fu, Fd로 세부 분류하였다. 주기적 변화(C)는 일주기 Cd, 년주기 Cy 및 조석주기 Ct 분류하였다. 충동적 변화(D)는 강우에 의한 영향 Dr, 양수에 의한 영향 Dp, 지표수에 의한 영향 Ds로 세분하였으며, 특별한 영향요인이 없는 경우는 De로 분류하였다(Table 2). 변동폭 분류는 지하수위, 수온, 전기전도도 등 세가지 인자들에 대하여 기준을 설정하였는데, 지하수위의 경우는 자연적인 변동의 가장 큰 원인인 강우와 인위적인 변동의 대표적인 양수의 영향 등을 고려하여 2m로 설정하였다. 전기전도도의 경우는 해수침투의 영향을 지시하는 인자로 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 수온은 0.2°C를 변동폭의 분류기준으로 사용하였다.

Table 3은 45개 관측정별로 지하수위, 수온, 전기전

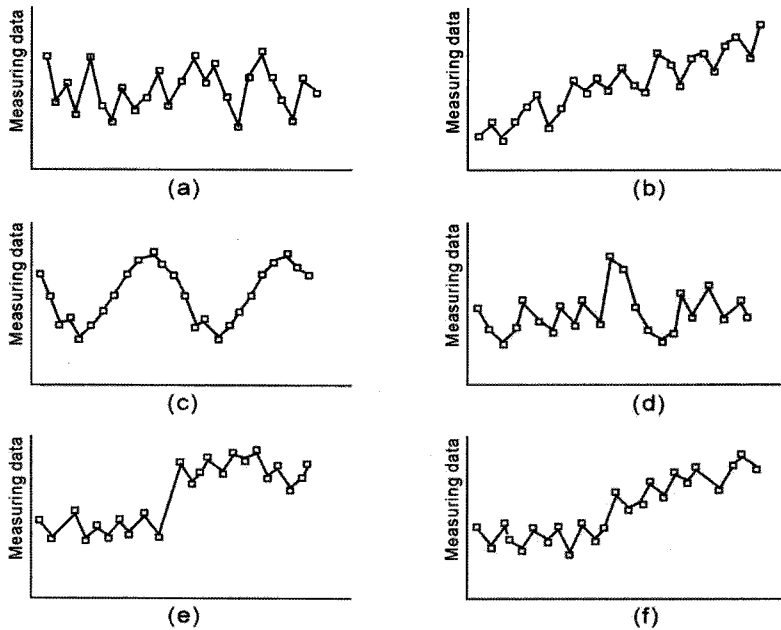


Fig. 8. Variation types of time-series data (Montgomery et al., 1990). (a) constant process, (b) linear trend, (c) cyclic variation, (d) impulse, (e) step function, and (f) ramp.

도도의 변동 유형을 분류한 결과이다. 이 연구에서 분석된 45개 관측점의 관측 인자들 중 지하수위의 변화는 주로 외부요인에 의한 충동적 변화 특성을 보이며, 수온의 경우는 일정하게 유지되는 정상적인 상태나 주기적으로 변동하는 특징을 보여주며, 전기전도도는 시점별로 관측값의 위상차가 발생하는 계층적 변화형태도 자주 나타나고 있다. 지하수위에서 나타나는 계층적 변화형태는 대부분 센서를 설치한 심도를 잘못 해석한데서 주로 나타나며, 전기전도도의 경우 센서 점검을 위한 기기보정 후 자주 일어난다.

지하수위 변동 유형

지하수위는 지하수 시스템의 변동을 지시하기 때문

에, 대수층의 특성을 이해하는 기초자료로 이용된다. 따라서 지하수위 변동 유형을 분류하는 경우 강우, 양수, 조석변화 등의 외부 인자들의 변화에 대한 반응 유형을 분류하는 것이 필요하다. 이때 유형별로 지하수위의 변동폭을 분석하고, 상승 또는 하강 등의 경향성을 세분하는 것이 필요하다.

Table 4는 각 관측점별 지하수위 변동유형에 따른 분류 결과를 나타낸 표이다. 지하수위의 경우 약 73.3%가 충동형으로 대부분 양수 또는 강우에 의하여 영향을 받아 변동하고 있으며, 부분적인 영향을 받는 관측점까지 포함하면 비율은 더 높아진다. 특히 양수에 의한 지하수위 강하를 보여주는 관측점이 40.0% 이고, 이 중 93.8%가 지하수위 변동폭이 2 m

Table 2. Classifications of variation type

Classifications of variation type	A (constant process), B (linear trend), C (cyclic variation), D (impulse), E (step function), F (ramp)	
Detailed classifications	Ac (constant), An (normal)	
	Bu (upward), Bd (downward)	
	Cd (day), Cy (year), Ct (tidal) (eg: C10d 10 days period)	
	Dr (rain), Dp (pumping), Ds (surface water), Dt (tidal), De (the rest)	
	Fu (upward), Fd (downward)	
Classifications of variation width	I	< 2 m of groundwater level < 0.2°C of temperature < 500 μS/cm of electrical conductivity
	II	over fluctuation width I

Table 3. Classifications of variation type at 45 groundwater wells

Well name	Groundwater level (m)					Temperature (°C)				Electrical conductivity (μS/cm)			
	V.T.	V.O.	p*	C.V.W.	V.W.	V.T.	V.O.	C.V.W.	V.W.	V.T.	V.O.	C.V.W.	V.W.
SB1	Dr	r		I	1.40	A	-	I	0.12	E		II	4,355
SN1	Dp		○	II	25.00	A	-	I	0.09	E		II	2,129
SN2	Dp		○	II	11.00	A		I	0.13	Fu		II	5,142
SN3	Dp		○	II	7.50	A		I	0.02	Fu		I	60
HW1	Dp		○	II	3.14	Dp	p	II	0.27	Bd		I	210
HW2	Dp		○	II	22.42	A		II	0.14	A		I	32
DH1	Dr	r		II	2.02	A	r	I	0.01	A		I	5
DH2	Dr	r		I	1.90	A	r	I	0.01	A		I	1
SDD1	Dr	r		II	7.22	Dr	r	II	0.43	Dr	r	I	74
SBB1	Ct	t		I	1.40	Cy	r	I	0.69	Bu		II	4,966
SBB2	Dr	r		II	2.90	A		I	0.04	Dr	r	I	17
SH1	Ct	t		I	0.97	A		I	0.09	Ct	t	II	1,044
DC1	Ct	t		I	0.74	Fu		II	0.39	Fu		II	3,280
GI1	Drp	r	○	II	4.91	Dp	p	II	0.46	Dr	r	II	4,859
GI2	Dr	r		I	1.02	A		I	0.10	A		I	14
GH1	Ct	t		I	1.50	A		I	0.02	Dp	p	II	3,163
GH2	Drp	r	○	II	3.10	Bd		I	0.12	Dp	p	II	8,474
SS1	Drp	r	○	II	4.40	Dp	p	II	0.86	A		I	20
SS2	Fd			II	39.70	A		I	0.03	De		II	6,250
JG1	Dr	r		I	0.87	A		I	0.03	Fd		II	2,101
JG2	Dr	r		I	0.88	A		I	0.06	A		II	10,200
SJ1	Dp		○	I	1.60	Dp	p	II	0.25	A		I	175
SD1	Dp		○	II	8.98	Dp	p	II	0.32	Dp	p	I	354
SD2	Dp		○	II	4.97	A		I	0.03	Fu		I	41
GJ1	Drp	r	○	II	3.60	Dp	p	II	0.37	A		I	6
GJ2	Dr	r		I	1.55	Cy		II	2.70	Dr	r	II	10,756
JD1	-	-	-	-	4.98	-	-	-	1.01	-	-	-	1,105
JD2	Dp		○	II	4.99	Dp	p	II	0.31	Dp	p	I	103
HJ1	A			I	1.10	A		I	0.15	Dr	r	I	86
HJ2	A			I	0.40	De		I	0.20	De		I	450
DB1	Ct	t		II	2.24	E		II	0.27	Fu		I	68
DB2	Ct	t		II	2.36	E		I	0.16	A		I	52
GG1	Dr	r		I	0.56	Fd		II	2.47	Dr	r	II	13,406
GG2	A			I	0.51	E		I	0.11	E		II	10,117
JD1	Dp		○	II	3.60	A		I	0.06	A		I	145
HH1	Dp		○	II	5.70	A		I	0.09	Dp	p	II	21,864
HH2	-	-	-	-	47.30	-	-	-	2.25	-	-	-	936
HH3	Dr	r		II	2.58	Dp	p	II	0.29	E		II	13,363
NR1	Dp		○	II	2.20	Dp	p	II	0.47	Dp	p	II	7,930
NR2	Dp		○	II	8.77	Dp	p	II	0.50	De		I	151
SG1	Dr	r		I	1.20	A		I	0.16	E		II	1,735
SG2	Dr	r		I	1.70	A		I	0.09	A		I	5
JM1	Dp		○	II	3.47	A		I	0.04	Bd		I	79
JM2	Dp		○	II	4.70	A		I	0.11	A		I	26
PH1	Dp		○	II	9.58	A		I	0.05	Fu		II	3,970

V.T.: Variation type
 V.O.: Variation origin
 p*: pumping
 C.V.W.: Classifications of variation width
 V.W.: Variation width
 Abbreviation: r (rainfall), p (pumping), t (tidal)

Table 4. Classifications of variation type for groundwater level

Classifications of variation type	Detailed classifications	Classifications of variation width				Total	
		I		II			
		Number of wells	Ratio	Number of wells	Ratio	Number of wells	Ratio
A	-	3	6.7	0	0.0	3	6.7
B	-	0	0.0	0	0.0	0	0.0
C	Ct	4	8.9	2	4.4	6	13.4
	Dp	1	2.2	15	37.8	16	40.0
D	Dr	9	20.0	4	8.9	13	28.9
	Drp	0	0.0	4	8.9	4	8.9
	subtotal	10	22.2	23	51.1	33	73.3
E	-	0	0.0	0	0.0	0	0.0
F	Fd	0	0.0	1	2.2	0	2.2
the rest	lack of data	-	-	-	-	2	4.4
Total		17	37.8	26	57.8	45	100.0

Table 5. Classifications of variation type for groundwater temperature

Classifications of variation type	Detailed classifications	Classifications of variation width				Total	
		I		II			
		Number of wells	Ratio	Number of wells	Ratio	Number of wells	Ratio
A	-	23	51.2	0	0.0	23	51.2
B	Bd	1	2.2	0	0.0	1	2.2
C	Cy	0	0.0	2	4.4	2	4.4
	Dp	0	0.0	10	22.2	10	22.2
D	Dr	0	0.0	1	2.2	1	2.2
	De	1	2.2	0	0.0	1	2.2
	subtotal	1	2.2	11	24.4	12	26.7
E	-	2	4.4	1	2.2	3	6.7
F	Fd	0	0.0	1	2.2	1	2.2
	Fu	0	0.0	1	2.2	1	2.2
the rest	lack of data	-	-	-	-	2	4.4
Total		28	62.1	15	33.2	45	100.0

이상(II형)으로 나타났다. 양수에 의한 지하수위 변동 폭이 10 m 이상인 관측정은 SN1, SN2 및 HW2로, 이 중 SN1과 SN2 관측정은 전기전도도의 변화폭이 각각 2,129 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 와 5,142 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 양수로 인한 해수침투가 우려된다. 조석에 의한 지하수위 변동영향은 총 6개 관측정(13.4%)에서 나타나는데, 이 중 4개 관측정이 변동폭이 2 m 이하(I)인 관측정이다. 그러나 전기전도도의 영향은 지하수위 변동폭이 2 m 이상(II형)으로 큰 2곳의 관측정에서 변화폭이 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하로 낮게 나타난 반면, 변동폭 2 m 이하(I)로 작은 4개 관측정에서 전기전도도의 변화폭이 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 Lee et al.(2007)이 제시한 바와 같이 관측정 주변 대수층이 파쇄암반 대수층으로 구성되어 각 지역별로 수리분산

계수들이 상이하기 때문에 발생하는 것으로 사료된다.

지하수온 변동 유형

지하수온의 경우 지하수위나 전기전도도에 비해 상대적으로 안정된 변동 형태를 보이고 있으며, 외부 영향인자에 대해서도 민감하게 반응하지 않는 특징을 보이고 있다. 지하수온 변동특성에서 지하수온 변동폭이 0.2°C 이내의 정상형은 총 23개 관측정(51.2%)으로 나타났다(Table 5). 충동형은 총 12개 관측정(26.7%)에서 나타나는데, 이 중 양수에 의해 지하수온 변동폭이 0.2°C 이상(II형)인 관측정은 총 10개소로 22.2%로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 분석한 지하수위 변동 유형 중 양수에 의한 충동형 40%에 비해 상대적으로 적은데, 이는 이진용 외(2006)가 총

Table 6. Classifications of variation type for electrical conductivity

Classifications of variation type	Detailed classifications	Classifications of variation width				Total	
		I		II		Number of wells	Ratio
		Number of wells	Ratio	Number of wells	Ratio		
A	-	11	24.4	1	2.2	12	26.7
B	Bd	2	4.4	0	0.0	2	4.4
	Bu	0	0.0	1	2.2	1	2.2
C	Ct	0	0.0	1	2.2	1	2.2
	Dp	2	4.4	4	8.9	6	13.3
D	Dr	3	6.7	3	6.7	6	13.4
	De	2	4.4	1	2.2	3	6.7
	subtotal	7	15.6	8	17.8	15	33.3
E	-	0	0.0	5	11.1	5	11.1
F	Fd	0	0.0	1	2.2	1	2.2
	Fu	3	6.7	3	6.7	6	13.4
the rest	lack of data	-	-	-	-	2	4.4
Total		23	51.1	20	44.4	45	100.0

261개의 국가지하수관측소에서 3~6년간의 관측자료의 변동 경향성 분석 결과 지하수위, 전기전도도 및 지하수온 등의 변동 경향성이 지하수 장애와 직접적인 관련성이 없다는 결과와 일치된다. 주기적 변화로 1년 주기의 계절특성이 나타나는 관정은 2개소로 국가지하수관측망 관측자료와 비교하면 상대적으로 작게 나타나고 있다(건설교통부와 한국수자원공사, 2006).

전기전도도 변동유형

Table 6은 전기전도도 변동 형태를 분류한 결과로, 전기전도도가 큰 변화없이 정상적인 형태를 보여주는 관측정이 12개소로 26.7%, 강우 또는 양수 등의 외부 영향으로 변동하는 경우도 33.3%로 높은 비율로 나타났다. 또한 지하수위나 수온과는 달리 추세형, 경사형, 계단형태가 많이 나타나는데, 특히 전기전도도가 상승하고 있는 추세는 13.4%인 6개 관측정으로 나타났다. 전기전도도가 상승하는 6개 관측정 중 변동폭이 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상(II형)인 3개 관측정 중 SN2 및 PH1의 경우는 양수에 의한 지하수위 변동폭이 각각 11.0m와 9.6m로 매우 높기 때문에 발생하는 것으로 판단되며, 특히 PH1의 경우는 Song(2006)이 약 3년간 정기적으로 수행한 전기전도도 검층의 결과 지속적인 해수침투의 영향 증가와 일치된다.

전기전도도가 조석의 직접적인 영향을 받는 관측정은 1개소에서 나타났는데, 이는 조석의 영향을 받는 지하수위 변동의 경우 해수가 직접 지하수체까지 유입되는 경우보다는 해수위의 상승과 하강을 통한 압

력전달로 인하여 지하수면이 변동하기 때문으로 판단된다. 이에 비해 전기전도도의 경우는 직접 유입되거나 해수담수 전이대가 상승하는 경우를 고려해야 하며 전기전도도의 측정지점에 따라 해석이 달라질 수 있다.

결 론

대수층 특성에 대한 조사자료가 부족한 지역에서 관측자료를 이용한 해수침투 현상을 규명하기 위하여, 각 관측정의 장기 관측자료를 이용한 해수침투의 변동 유형분석을 실시하였다. 이를 위하여 25개 해안지역 소유역에 1년 이상의 관측자료가 축적된 총 45개 관측정에서 수집한 장기관측자료를 이용하였다.

기본통계분석 결과 지하수위의 경우 강우의 영향을 받거나 양수에 의한 수위강하가 나타나는 관측정에서 큰 폭으로 변동하고 있다. 지하수온은 대부분의 경우 변동폭이 0.2°C 이내로 안정적인 특징을 보였으며, 전체적으로 평균 온도가 15°C 이상으로 나타났다. 전기전도도의 경우 상대적으로 변동폭이 크고 불규칙한 특징을 가지며, 평균값이 2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이내의 관측정이 28개, 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 초과하는 관측정은 9개소로 나타났다.

강우와 지하수위, 수온, 전기전도도와의 교차상관도 분석을 수행한 결과, 지하수위는 강우의 영향을 받아 변동하는 형태가 많았지만, 지하수온과 전기전도도는 상대적으로 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 조석

과의 교차상관도 분석 결과 일부 관측정에서 강수량보다 높은 상관도가 나타났다.

장기관측자료는 관측자료의 변동형태에 따라 정상형, 추세형, 주기형, 충동형, 계단형, 경사형 등 6가지로 분류하였다. 지하수위의 경우 강우나 양수의 영향을 받은 충동형이 가장 많은 73.3%이며, 조석의 영향은 13.4%에 해당되었다. 이에 비해 정상상태는 전체의 6.7%에 해당되는 것으로 나타났다. 지하수온의 경우는 외부영향에 민감하게 반응하지 않는 특성에 따라 정상형태가 51.2%로 가장 높게 나타났으며, 강우나 양수에 의한 충동형이 26.7%에 해당되었다. 전기전도도의 경우는 지하수위나 지하수온과 달리 추세형, 계단형, 경사형 등의 변동형태가 상대적으로 많이 나타났다.

전체적으로 동일한 해안지역 소유역에 설치된 인접한 관측정별로 관측 자료의 변동 특성이 상이한 경우가 많이 나타났다. 특히 해안선에 가까운 경우 해수침투에 의한 전기전도도값이 상승한 경우와 양수에 의하여 해수침투 현상이 내륙쪽으로 확산되는 경우도 나타났다. 지하수위의 경우는 간척지에 설치된 DC1 관측정에서 조석의 영향을 많이 받는 것으로 나타나는데, 이러한 결과는 대수층의 수리지질학적 특성 보다는 지형 특성이나 양수 등에 의한 변동요인도 많이 작용하는 것으로 판단된다. 따라서 해안지역 소유역별로 관측정 자료의 정기적인 변동 경향성을 분석하는 것이 필요하다.

본 연구결과 변동유형별로 분류된 관측정의 장기관측자료는 각 관측정별로 매년 분석되는 지하수 시료의 이온분석 결과와 관측정의 정기적인 지하수검층 결과를 종합적으로 해석하는 경우 해수침투의 시·공간적인 분석이 가능하며, 향후 우리나라 해안 및 도서지역의 지하수자원 관리 및 해수침투 관련 업무에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비(과제번호 3-3-2)와 농림부와 한국농촌공사의 해수침투조사 사업 지원에 의해 수행되었습니다. 심사과정에서 좋은 지적을 해주신 익명의 세 분 심사위원분들께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사, 2006, 지하수관측연보. 한국수자원공사, 1024 p.
- 농림부, 한국농촌공사, 2006, 2006 해수침투조사 사업 보고서. 한국농촌공사, 512 p.
- 이명재, 김규범, 손영철, 이진용, 이강근, 2004, 국가 지하수관측소 지하수위 자료에 대한 시계열분석 연구. 지질학회지, 40(3), 305-329.
- 이명재, 이진용, 김규범, 원종호, 2005, 국가지하수 관측소 측정자료의 이상값 분석. 지하수토양환경, 10(1), 65-74.
- 이진용, 이명재, 이재명, 안경환, 원종호, 문상호, 조민조, 2006, 국가 지하수관측소 지하수위, 전기전도도 및 수온 자료에 대한 모수적 및 비모수적 변동 경향성 분석. 지하수토양환경, 11(2), 56-67.
- 한국지질자원연구원, 2003, 해수침투 평가, 예측 및 방지기술 개발. 과학기술부, 자연재해방제기술개발사업 00-J-ND-01-B-14, 474 p.
- Lee, J.Y., Yi, M.J., Song, S.H., and Lee, G.S., 2007, Evaluation of groundwater data obtained from seawater intrusion monitoring network in Korea. Water International, in press.
- Lee, J.Y. and Song, S.H., 2007, Evaluation of groundwater quality in coastal areas: implications for sustainable agriculture. Environmental Geology, 52 (7), 1231-1242.
- Montgomery, D.C., Johnson L.A., and Gardiner, J.S., 1990, Forecasting and Time Series Analysis. McGraw Hill, 381 p.
- Park, S.C., Yun, S.T., Chae, G.T., and Lee, S.K., 2002, Hydrochemistry of shallow groundwaters in western coastal area of Korea: a study on seawatermixing in coastal aquifers. Journal of KoSSGE, 7 (1), 63-77.
- Park, S.C., Yun, S.T., Chae, G.T., Yoo, I.S., Shin, K.S., Heo, C.H., and Lee, S.K., 2005, Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. Journal of Hydrology, 313, 182-194.
- Richter, B.C. and Kreitler, C.W., 1993, Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization. CRC Press, 258 p.
- Song, S.H., 2006, Spatial analysis of small-loop electromagnetic survey data in a seawater intrusion region. Exploration Geophysics, 37 (1), 114-120.
- Song, S.H., Lee, J.Y., and Park, N., 2007, Use of vertical electrical soundings to delineate seawater intrusion in a coastal area of Byunsan, Korea. Environmental Geology, 52 (6), 1207-1219.
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology. (2nd ed.), John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 535 p.
- Yaffee, R. and McGee, M., 2000, Introduction to time series analysis and forecasting. Academic Press, San Diego, USA, 528 p.

2007년 6월 4일 접수
2007년 7월 18일 수정원고 접수
2007년 8월 3일 채택