



회귀분석을 이용한 지하수 수위 변화 추정

Estimation of the Change in Ground Water Level using Regression Analysis

김상민* · 안병일**†

Kim, Sang Min · Ahn, Byeong Il

ABSTRACT

The objective of this study is to identify whether or not the ground water level is decreasing. We suggest a method of estimating the change in groundwater level using newly developed groundwater pumping station data. The Goseong area located in Gyeongnam province was selected considering three factors. First, this area demands relatively large amount of irrigation water because most of the land is used as a paddy field and the proportion of the paddy field within total arable land is increasing. Second, groundwater level data in nearby area are available since these are monitored by Water Management Information System (WAMIS). Third, many groundwater pumping stations have been developed in this area in order to overcome droughts thus detail information for pumping stations are available. Regression results indicate groundwater level has been decreased for over 20 years. This decreasing trend is due to the shortage of surface irrigation water which was caused by the decrease in rainfall.

Keywords: groundwater level, regression analysis, WAMIS, Goseong.

1. 서 론

우리나라의 경우 기상청의 분석에 따르면, 1961~1990년의 연평균 기온이 13.0 °C로, 1931~1960년의 연평균 기온이 12.6 °C보다 0.4 °C가 높아진 것으로 밝혀졌으며, 기온 상승 추세가 근래에 더욱 가속화되고 있다. 전체적으로 한반도에서는 지난 75년 동안 평균기온이 1.1 °C 증가하였으며, 지구온난화 효과는 0.7 °C, 도시화 효과는 0.4 °C로 추정되었다 (Chun et al., 2004). 기후변화에 따른 농업부문의 영향은 지금까지 주로 작물의 피해에 대한 연구를 중심으로 진행되었다. 기온, 증발산, 강수량의 변화에 따른 작물재배기간, 작물재배지역, 작물 생산량, 병해충 발생 등에 대한 취약성 평가와 적응방안에 대한 해외 연구동향을 정리하여 소개한 바 있다 (Na et al., 2007a, 2007b). 최근에는 기후변화에 따른 사회 각 분야에 대한 취약성 평가와 적응성을 평가하기 위한 연구가 진행되고 있으며 (You and Kim, 2008), 농업용수와 관련해서는 기후변화에 따른 농업용수공급패

턴의 변화로 인한 이수안전도변화를 분석한 바 있다 (Choi, 2010).

우리나라는 몬순기후대에 속해서 여름철 강우와 겨울철 강설은 지하수를 다시 채워주고 있을 것이라 예상해 왔기 때문에 농촌지역에서 지하수 고갈문제는 관정개발로 인한 지하수 오염문제에 비해 그간 상대적으로 관심을 덜 받아 왔다. 그러나 지구온난화와 같은 기상변화는 지역에 따라 강수량을 증가시키는 곳도 있지만 강수량을 감소시키는 지역 또한 초래하여 지표수 고갈문제를 심화시키며, 그 결과 농업용수 수요가 많은 농촌지역에서는 지하수 수량을 줄어들게 만들 것이라는 우려가 점점 커지고 있다. 중앙일보 2004년 10월 18일자에 따르면, 국가지하수측정망 수위 변화 자료에 따르면 4년치 (2000~2003년) 자료가 축적된 전국 150곳을 대상으로 연도별 평균·최저 수위를 분석한 결과 18곳 (12 %)에서 지하수 수위가 내려가는 현상이 관찰됐다. 1 m 이상 낮아진 곳이 12곳에 이르렀다.

정부에서는 지하수 수위변화를 모니터링하기 위해 전국에 걸쳐 지하수 수위 측정 포인트를 지정하고 정기적으로 수위를 측정하고 있으나, 이들 측정 포인트는 여전히 제한적이고 또한 측정지역이라고 하더라도 장기간에 걸쳐 연속적으로 누적된 측정 자료가 매우 부족하여 이러한 우려를 확인하기가 곤란한 지역이 대부분이다.

본 연구에서는 지하수 수위를 실측하지 않는 지역에 대해서도 농업용 지하수 수위 변화를 추정하는 대안적인 방법을 제시하고자 신규관정 개발 자료를 이용하여 지하수 수위변화여부를

* 경상대학교 지역환경기반공학과 부교수(농업생명과학연구원)

** 고려대학교 식품자원경제학과 조교수

† Corresponding author Tel.: +82-2-3290-3031

Fax: +82-2-925-1970

E-mail: ahn08@korea.ac.kr

2011년 7월 7일 투고

2011년 10월 24일 심사완료

2011년 10월 26일 게재확정

추정하고자 한다. 실측자료가 존재하지 않는 경우 지하수 수위를 추정하는 것은 사실상 불가능하지만 만일 신규관정에 대한 자료가 있을 경우 계량경제학적인 접근으로 실측자료 부재 문제를 극복할 수 있는 방안이 존재함을 본 연구에서는 제시하고자 한다.

본 연구에서는 관정개발 기술과 지역 및 지형조건 그리고 양수능력이라는 조건이 동일하게 유지되도록 통제하는 회귀방정식을 설정하였으며, 변수의 내생성 문제를 명시적으로 고려하여 신규관정의 개발 깊이가 연도에 따라 증가하고 있는지를 추정하였다. 추정결과 농업용 관정을 개발한 지역의 지하수 수위는 줄어들고 있다는 유의한 결론을 얻을 수 있었으며, 분석 대상지역의 인근지역의 실측 자료를 이용한 시계열 분석에서도 지하수 수위가 줄어들고 있는 현상을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 먼저 분석대상으로 설정한 대상지역의 특징을 설명하고, 신규관정개발 자료를 이용한 지하수 수위변화를 계량경제학적인 방법으로 추정하며, 인근지역 지하수 실측자료를 GARCH모형을 이용하여 추정하였다. 또한, 지하수 수위변화를 초래한 원인을 살펴보았으며, 기후변화로 인한 강수량 감소를 주요 원인으로 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역의 지역적 특징

대상지역으로 선정한 경남 고성군 일대의 남해안지역은 1994년 극심한 가뭄이 닥친 후 가뭄현상이 3년에서 10년 꼴로 주기적으로 반복되는 지역으로 현재 농어촌공사에서 가뭄현상을 해소하고 농업용수를 안정적으로 공급하고자 인근지역인 당항만에 방조제와 댐을 건설하여 담수호를 조성하는 일명 “마동호 개발사업”이 진행중인 지역이다 (Ahn et al., 2009). “마동호 개발사업”은 1996년 5월에 기본계획을 수립하고 2002년에 착공하게 되었다. 마동호 개발 사업은 처음에는 농업용수의 안정적인 공급이라는 취지에서 출발한 만큼 지역주민들의 전폭적인 지지로부터 출발하였으나, 2004년에 당항만에서 어업을 하는 주민들에 대한 보상의 형평성 문제가 붙어서 나오고 담수호 조성으로 인한 환경적인 피해가 우려된다는 환경단체의 반발이 제기되는 등 개발 사업을 반대하는 수차례의 집회가 열리게 되어 마동호 개발 사업의 타당성 여부를 재검토하는 단계에 이르고 있다.

농업용 지하수 수위 변화 추정을 위해 대상지역을 선택한 가장 근본적인 이유는 이 지역이 가뭄이 반복적으로 나타나는 곳 이면서도 농지이용형태가 Fig. 1과 같이 대부분 논이고 또한 논 면적 비중이 증가하고 있기 때문에 상대적으로 물을 많이 필요로 하는 지역이기 때문이며, 두 번째로는 이 지역에 인접한 지역에서 국가물관리시스템에 의해 정기적으로 지하수 수위를 측

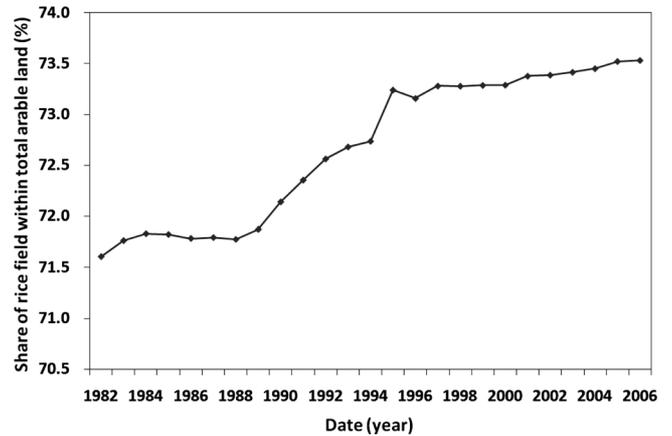


Fig. 1 Share of rice field within total arable land for the region of case study (Goseong county office)

정하는 누적 데이터가 존재하기 때문에 본 지역의 지하수 수위 변화에 대해 간접적인 정보를 얻을 수 있기 때문이며, 세 번째로는 다음 절에서 논의되겠지만 본 지역에는 그간 가뭄 대책의 일환으로 많은 관정이 개발되었고 개발된 관정에 대한 자세한 자료가 존재하기 때문에 이를 이용하여 지하수 수위 변화를 추정할 수 있는 조건이 마련되어 있기 때문이다.

2. 신규관정 개발 현황

본 연구에서 대상지역으로 선정한 고성군일대에는 저수지와 양수장 같은 용수 공급원이 존재하지만, 이들은 부족한 농업용수를 충당하기에는 충분치 않은 상황이다.

고성군의 관정은 1901년에 개발될 것이 몇 개 있으나 본격적인 관정개발은 1987년 이후부터이다. Fig. 2는 고성군의 농업용 신규관정 개발 개수를 나타낸 것인데, 가뭄이 극심했던 1994년 이후 가뭄극복 대책의 일환으로 특히 1997년에 신규 관정의

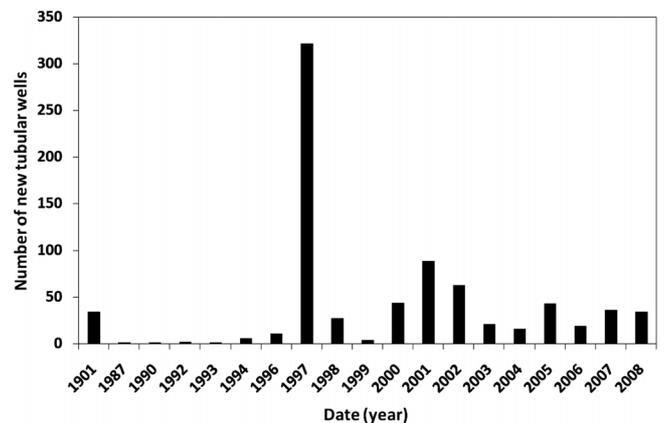


Fig. 2 Number of new tubular wells (Goseong county office)

개발 개수가 급격히 증가한 것을 알 수 있으며, 2000년대 들어서는 1997년보다는 매우 작은 숫자이긴 하나 연도별로 신규관정이 꾸준히 개발되고 있음을 알 수 있다.

이러한 사실은 1997년에 신규관정을 대대적으로 개발하였음에도 불구하고 여전히 지표수만으로는 농업용수 공급이 원활치 못하고 지하수에 의존도가 상존하고 있음을 보여주는 것이라 하겠다. 2008년까지 고성군에는 신규로 개발한 관정의 누적 개수가 774개에 이르고 있을 만큼 지하수에 의존도가 매우 큰 실정이다.

농업용 신규관정의 개발깊이 추이는 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 관정이 많이 개발되었던 1997년에는 추세선을 중심으로 이보다 아래쪽에 위치한 개발깊이가 얇은 관정과 추세선보다 높은 쪽에 위치한 개발깊이가 깊은 것이 다양하게 개발되었고, 1990년대 중반~2000년대 초반 기간에는 주로 추세선 아래쪽에 분포하고 있는 개발깊이가 얇은 관정이 주로 개발되는 가운데 개발 깊이가 깊은 관정도 일부 개발된 것을 알 수 있다. 또한 신규관정 개발 깊이는 전반적으로 완만하게 증가하고 있

는 것을 Fig. 3의 추세 선을 통해서 알 수 있으며, 개발깊이의 편차는 최근으로 올수록 감소하고 있는 경향이 있음을 알 수 있다.

한편 신규관정의 양수능력은 Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 1995년 이전까지는 편차가 심했으나, 1995년 이후부터는 편차가 줄어들고 있으며, 완만하게 양수능력이 증가하고 있는 것으로 나타나, 전반적으로 과거에 비해 양수능력이 큰 신규관정이 개발되고 있음을 알 수 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 관정개발 자료를 이용한 지하수 수위변화 추정

가. 추정모형 설정을 위한 검토

위에서 살펴본 바와 같이 신규관정의 개발깊이는 완만하게나마 연도에 따라 증가하고 있는 것을 알 수 있으나, Fig. 3의 예시만으로는 신규관정의 개발 깊이가 깊어진다는 사실이 농업용으로 사용되는 지하수의 수위가 낮아진다는 결정적인 증거가 되기에는 힘들다. 왜냐하면 예를 들어 과거에 비해서 더 많은 양의 지하수를 양수해야한다면, 즉 양수능력이 더 커져야 한다면 이를 위해 더 깊이 관정을 개발해야 할 필요가 있을 수도 있기 때문이다.

이러한 점을 감안한다면, 신규관정의 개발 깊이로부터 지하수 수위 변화를 추정하기 위해 가장 중요한 점은 관정 개발 깊이 이외에는 다른 조건이 분석기간 내내 동일하다는 조건이 확보되어야 한다는 것이다. 즉, 모든 조건이 동일하다는 전제하에 과거에 비해 현재로 올수록 새로이 개발한 과정의 깊이가 깊어지고 있다면, 이는 동일한 조건에서 과거와 같은 양의 물을 취수하기 위해서는 과거보다 더 깊은 관정을 개발해야 한다는 논리로 연결될 수 있고, 이는 따라서 과거에 비해서 지하수의 수위가 낮아졌다는 것으로 해석할 수 있기 때문이다.

여기서 모든 조건이 동일하다는 것은 비단 양수능력 뿐만 아니라, 동일한 관정개발 기술을 보유했다는 조건, 동일한 지리적 특성을 보유했다는 조건 등이 되어야 함은 어렵잖게 짐작할 수 있다.

이와 같은 상황을 고려하여 연도별 신규 관정개발 깊이의 변화 여부는 다음과 같은 함수식을 이용하여 추정할 수 있다.

$$Dep_{it} = f(T_i, Ca_{it}, Fea_i, Tec_t, D_t) \quad (1)$$

여기서, Dep_{it} 는 t시점 i 신규관정의 개발 깊이, T_i 는 i 관정의 개발년도, Ca_{it} 는 t 시점 i관정의 양수능력, Fea_i 는 i관정이 위치한 지리적 특성, Tec_t 는 t시점의 관정개발 기술, D_t 는 1994

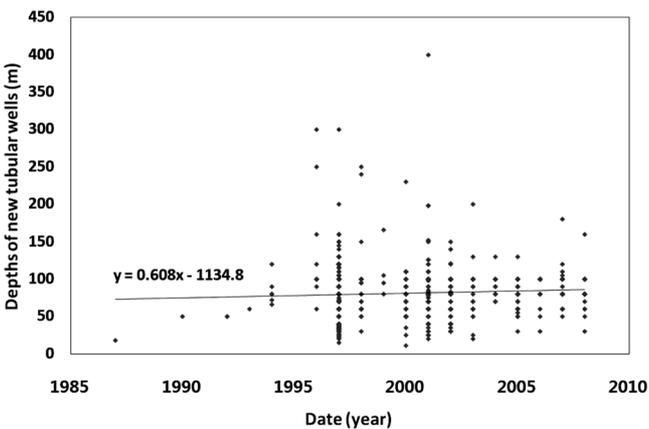


Fig. 3 Depths of new tubular wells

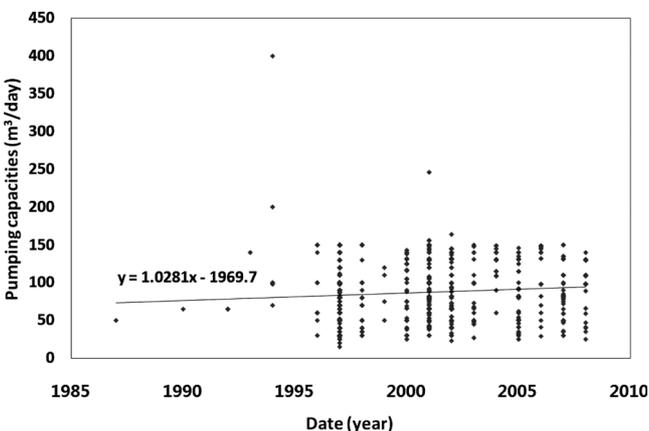


Fig. 4 Pumping capacities of new tubular wells

년 가뭄에 대한 가뭄극복 대책과 같은 정책 변화의 효과를 나타내는 더미변수를 나타낸다.

모든 조건을 동일하게 통제 (Control)한다는 것은 해당 조건을 나타내는 변수를 회귀방정식에 설명변수로 삽입하여 추정한다는 것을 의미하는데, 그 까닭은 특정 설명변수의 회귀계수는 ‘다른 설명변수의 영향이 없다면, 다시 말하면 다른 설명변수가 변하지 않는다면’ 해당 설명변수의 변화가 종속변수에 미치는 영향을 나타내기 때문이다 (Wooldridge, 2003). 따라서 위와 같은 회귀 방정식을 추정하여 설명변수 T_i 의 회귀계수가 유의하게 양의 값으로 추정되었다면, 이는 신규관정의 개발깊이가 모든 조건이 동일하다는 전제하에 연도에 따라 깊어지는 것으로 이해할 수 있고, 따라서 년도가 지날수록 지하수 수위가 낮아지는 것으로 해석할 수 있다.

식 (1)을 추정하는 데는 그러나 두 가지 매우 근본적인 계량경제학적인 이슈가 등장하는데 하나는 내생성문제이며, 다른 하나는 “동일한 기술조건”을 어떻게 설명변수에 반영할 것인가의 문제이다.

식 (1)을 추정하는데 등장하는 변수의 내생성 문제는 양수능력과 연관되어 있다. 양수능력은 관정깊이에 영향을 주는 설명변수일 수도 있지만, 관정깊이가 깊기 때문에 양수능력이 높아지는 영향관계 역시 존재하므로 변수의 “내생성”문제가 존재할 가능성이 큰데, 즉 양수능력은 식 (2)와 같이 관정깊이가 주요 설명변수 중의 하나일 것이므로 양수능력 자체를 식(1)의 설명변수로 삽입하면 추정계수를 신뢰할 수가 없다. 왜냐하면 내생성이 있는 경우에는 추정계수에 편의가 생기기 때문이다 (Greene, 1997).

양수능력

$$= f(\text{관정지름, 동력장치 마력, 토출관 지름, 관정깊이}) \quad (2)$$

이러한 내생성 문제 때문에, 본 연구에서는 양수능력을 직접적인 설명변수로 사용하는 대신, 관정지름, 동력장치마력, 파이프 토출관 지름을 도구변수로 삽입하여 회귀식을 추정하였다.

식 (1)을 추정하는데 등장하는 두 번째 이슈는 관정개발 기술과 관련된 것이다. 관정개발 기술의 발달은 관정깊이에 다음과 같이 두 가지 영향을 줄 것임을 예상할 수 있다.

첫 번째는 과거에 비해 기술발달로 더 깊이 시추할 수 있는 능력이 생겼기 때문에 기술발달에 따라 (즉, 현재로 올수록) 관정의 깊이가 일반적으로 깊어지는 쪽으로 영향을 미칠 것이다. 두 번째는 과거에 비해 탐사기술이 발달해서 보다 얕은 지역의 지하수를 찾아낼 수 있는 능력이 발달했다고도 볼 수 있고 이는 관정의 깊이가 얕아지는 쪽으로 영향을 미친다고 볼 수 있다.

따라서 관정개발 기술의 영향을 명시적으로 고려하지 않았을 경우 또다시 내생성 문제가 발생할 소지가 큰데, 왜냐하면 관정개발 기술은 기타 설명변수에도 영향을 미칠 가능성이 크기 때문에 변수누락으로 인한 내생성 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 관정 기술개발의 영향을 고려하기 위해 인접지역에서 가장 최근 개발한 관정의 깊이를 도구변수로 사용하였다. 이러한 도구변수를 사용할 경우 관정개발기술 발달이 미치는 첫 번째, 두 번째의 효과를 모두 종합적으로 반영할 수 있다는 장점이 있다.

나. 실증분석 모형

추정자료는 고성군청에서 확보한 신규 관정 자료 중 관정개발 년도가 확인되는 1987년~2008년의 740개 자료를 이용하였으며, 구체적인 추정식은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \ln Dep_{it} = & a_0 + a_1 T_i + a_2 Exd_{it} + a_3 Pow_{it} + a_4 Pd_{it} \quad (3) \\ & + a_5 Prdep_{it} + a_6 D9698 + a_7 Dm + a_8 Ds \\ & + a_9 Dim + a_{10} D_{lm} + a_{11} D_{lg} + a_{12} D_{ld} \end{aligned}$$

여기서, Dep_{it} 는 t 시점의 i 신규 관정의 관정깊이를 나타내고, T_i 는 i 관정의 관정개발 년도, Exd_{it} 는 t 시점의 i 신규 관정의 굴착지름, Pow_{it} 는 t 시점의 i 신규 관정의 동력펌프 마력, Pd_{it} 는 t 시점의 i 신규 관정의 토출관 직경, $Prdep_{it}$ 는 t 시점의 i 신규 관정 인접지역에 가장 최근 개발한 관정 깊이, $D9698$ 는 가뭄극복대책을 나타내는 더미 (1996~1998년은 1, 그 외에는 0), D_m 은 산 지역을 나타내는 더미 (해당 관정이 산지역에 있으면 1, 그 외 지역에 있으면 0), D_s 는 바다 인접지역을 나타내는 더미 (해당 관정이 바다 인접지역에 있으면 1, 그 외 지역에 있으면 0), D_{im} 은 내륙 산간지역을 나타내는 더미 (해당 관정이 내륙 산간지역에 있으면 1, 그 외 지역에 있으면 0), D_{lm} 은 마암면을 나타내는 더미 (해당 관정이 마암면에 속해 있으면 1, 그 외 지역이면 0), D_{lg} 는 구만면을 나타내는 더미 (해당 관정이 구만면에 속해 있으면 1, 그 외 지역이면 0), D_{ld} 는 동해면을 나타내는 더미 (해당 관정이 동해면에 속해 있으면 1, 그 외 지역이면 0)를 의미한다.

여기서 마암면, 구만면, 동해면을 나타내는 더미변수를 별도로 삽입한 이유는 해당 지역에서는 저수지나 취입보, 양수장 같은 물 공급원이 절대적으로 부족해서 거의 대부분의 농업용수를 관정에 의존하고 있는 지역이기 때문이다.

식 (3)에서의 관건은 관정개발년도에 대한 추정계수 a_1 이 통계적으로 유의한 양의 값을 가지는지 여부인데, 통계적으로 유

의한 양의 값을 가진다면 신규관정은 개발년도에 따라 깊어지는 것이라 볼 수 있고 이는 지하수 수위가 시간이 지남에 따라 줄어들고 있는 것으로 해석할 수 있다.

다. 추정결과

식 (3)의 추정결과는 Table 1에 제시되어 있다. 양수능력을 나타내는 a_2, a_3 및 a_4 에 대한 추정계수는 모두 90 % 이상에서 유의한 것으로 추정되었으며, 기술수준을 나타내는 도구변수에 대한 추정계수 a_5 도 95 % 이상에서 유의한 것으로 추정되었다. 또한 가뭄극복대책이 집중적으로 추진되었던 1996~1998년 기간 동안의 관정 깊이 역시 다른 시점에 비해 상대적으로 깊었음을 D9698에 대한 추정계수 a_6 가 유의수준 95 %에서 유의하게 추정된 것을 통해 확인할 수 있다.

관정개발 년도에 대한 추정계수 a_1 는 90 %에서 유의한 것으로 추정되어 개발년도가 최근으로 올수록 신규관정의 개발 깊이가 깊어지고 있음이 확인되고 있다. 신규 관정의 개발 깊이가 최근으로 올수록 깊어진다는 점은 지하수 수위가 최근으로 올수록 낮아지고 있다는 점을 말하고 있다고 하겠다.

Table 1 Estimation results of equation (3)

| Coefficients | Estimated value | t-value | P-value |
|--------------|-----------------|---------|---------|
| a_0 | -20.2709 | -1.57 | 0.118 |
| a_1 | .01173* | 1.82 | 0.070 |
| a_2 | .0058*** | 11.21 | 0.000 |
| a_3 | .0154*** | 2.74 | 0.006 |
| a_4 | .0028* | 1.89 | 0.059 |
| a_5 | .0009** | 1.97 | 0.049 |
| a_6 | .1179** | 2.21 | 0.027 |
| a_7 | .0085 | 0.08 | 0.936 |
| a_8 | -.0373 | -0.87 | 0.386 |
| a_9 | .0081 | 0.07 | 0.942 |
| a_{10} | .0904 | 1.00 | 0.320 |
| a_{11} | .0269 | 0.28 | 0.776 |
| a_{12} | 01049 | 0.16 | 0.876 |

Adj. R-squared = 0.3450

*, **, *** significant at 90 %, 95 %, and 99 % level, respectively

2. 실측자료를 이용한 지하수 수위변화 추정

가. 고성군 인접지역의 지하수 수위 변화의 특징

고성군 지역을 대상으로 지하수 수위의 변화를 측정할 신뢰할 만한 자료는 존재하지 않으나, 대상지역인 고성군에 가장 인접한

인접지역인 마산시 진전면의 지하수 수위변화를 측정할 자료가 존재하는데 이는 Fig. 5에 묘사되어 있다. 고성군에 인접한 지역의 지하수 수위를 실측한 자료에서 수위가 낮아지고 있다는 점이 다시 한 번 확인되면, 이는 Table 1의 추정결과를 뒷받침하는 매우 설득력 있는 증거가 될 수 있을 것이다.

Fig. 5는 1997년 1월 1일~2006년 12월 31일까지의 지하수 수위 측정 자료로, 이를 통해 알 수 있는 것은 고성군 인근 지역의 지하수 수위는 그 추세가 미미하긴 하나 그 수위가 줄어 들고 있다는 사실이다. 따라서 인접지역인 고성군 지역의 지하수 수위 역시 줄어들 가능성이 있다고 짐작할 수 있다.

대상지역은 농촌지역이고 논면적의 비율이 매우 크므로 지하수 수위는 비의 재배일정과 밀접한 연관을 갖는데, 장마철이 끝나고 본격적으로 이삭이 패는 시기인 8월의 평균 수위만을 추출하여 다시 나타내 보면 Fig. 6과 같이 지하수 수위의 감소추세가 더욱 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

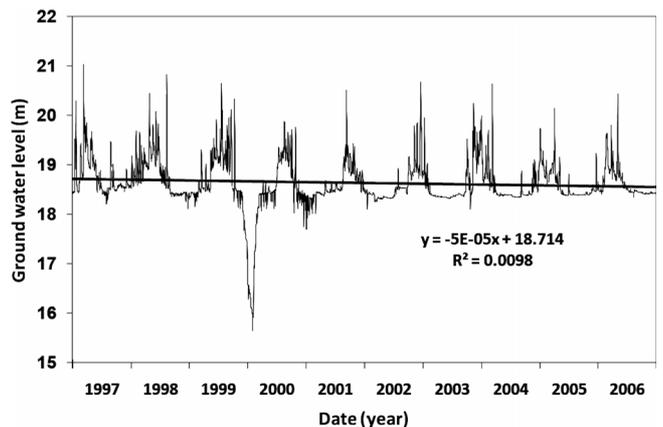


Fig. 5 Ground water levels at the neighboring region (Jinjeon) (1997.1.1~2006.12.31) (WAMIS)

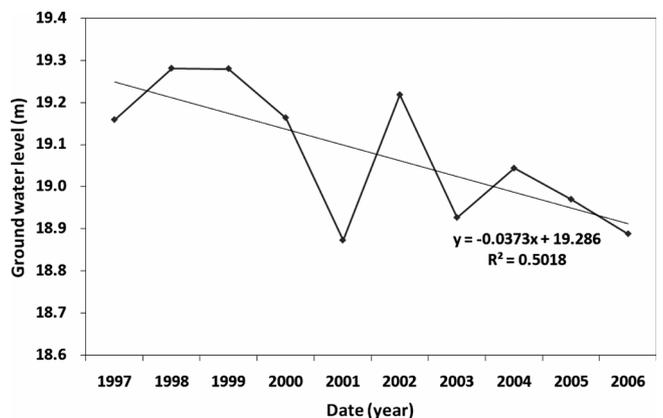


Fig. 6 Ground water levels in August at the neighboring region (Jinjoen) (1997~2006)

나. 지하수 수위변화의 시계열 분석

Fig. 5와 Fig. 6을 통해 얻을 수 있는 결론을 보다 통계학적으로 뒷받침하기 위해 본 논문에서는 진전면의 지하수 수위 실측자료에 대한 시계열 분석을 실시하였다. 시계열 분석모형에서 추세항의 회귀계수가 유의하게 음의 값으로 추정된다면, 이는 수위가 줄어들고 있다는 것이 통계적으로 유의함이 확인되는 것이기 때문이다.

분석자료는 마산시 진전면의 일별 지하수 수위자료를 월별자료로 변환하여 1997년부터 2006년까지의 10년간을 대상으로 하였다. 시계열 모형 설정을 위해 먼저 시계열의 안정성 여부를 검정해야만 하는데, 그 까닭은 불안정 시계열일 경우 실제로는 변수 상호간에 상관관계가 없음에도 불구하고 유의한 것처럼 추정되는 가성회귀 현상이 발생할 수 있기 때문이다 (Anders, 1995). 대상 자료를 가지고 단위근을 검정해 본 결과 Table 2와 같이 단위근이 없는 안정시계열 인 것으로 판명났다.

시계열 모형추정을 위해 Fig. 7과 같이 자기상관계수 (AC)와

Table 2 Results of unit root test

| Model | Test statistic | 5% critical value |
|--------------------------|----------------|-------------------|
| With intercept | -7.0542 | -2.8876 |
| With trend and intercept | -7.0414 | -3.4508 |

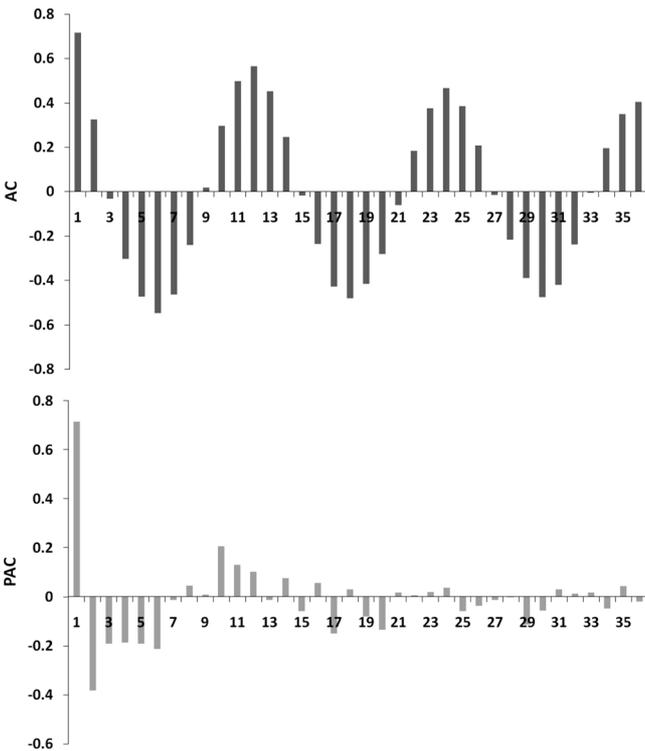


Fig. 7 Autocorrelation Coefficient (AC) and Partial Autocorrelation Coefficient (PAC)

편자기상관계수 (PAC)를 구한 결과 PAC는 1기에서 Spike가 하나 발생하고 AC는 주기적으로 등락을 거듭하면서 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 PAC의 분석결과에서 AR (1) 모형이 적합한 것으로 식별할 수 있었으며, AC의 분석 결과에서는 계절성이 존재하는 것이 확인되었다.

본 논문에서는 계절성을 감안하기 위해서 지하수 수위에 영향을 가장 크게 미칠 것으로 예상되는 강우량을 가장 우선적인 고려대상으로 삼았고, 그 결과 장마철을 가장 중요한 계절더미로 선정하였다. 구체적으로는 장마철을 기준으로 시기를 4개로 구분하였는데, 6~8월은 장마철, 3~5월은 봄, 9~11월은 가을더미로 처리하였다.

AR (1)모형에서 장마철과 봄, 가을을 나타내는 계절더미를 삽입하여 추정한 결과 회귀계수는 모두 유의하게 추정되었다. 그러나 추정모형의 적합도를 평가하기 위해 잔차를 이용하여 수행한 Breusch-Godfrey Serial Correlation LM 검정결과 자기상관 (2차 자기상관)은 없음으로 판명되었으나, 이분산 검정에서는 White General test, Breusch-Godfrey-Pagan test 모두에서 이분산이 있음으로 판명났고, 또한 ARCH test에서도 ARCH error가 있는 것으로 판명났다. 따라서 최종적으로 이분산을 감안한 Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (GARCH) 모형을 이용하여 시계열 모형을 추정하였다. GARCH 모형은 시계열 모형의 분산이 이분산 구조를 가지되, 그 형태가 ARMA 형태를 띠고 있을 경우에 적용되는 모형이다. 일반적으로 원시계열의 ARMA모형을 추정하고 이로부터 도출된 분산이

$\sigma_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 \sum_{i=1}^q \epsilon_{t-i}^2 + \rho_1 \sum_{i=1}^p \sigma_{t-i}^2$ 형태를 띠고 있을 경우 GARCH (p,q)모형이라고 부르는데, 여기서 ϵ_t 는 원시계열 모형에서의 오차항이다.

GARCH 모형에서는 MA 항을 추가하는 것이 모형의 설명력을 높여주는지를 검정하기 위해 AIC, SBC 지수를 이용하여 검정해 본 결과 MA (1)항을 포함하는 것이 적합하다는 결과를 얻었다.¹⁾ 따라서 추정에 사용된 시계열 모형은 최종적으로 식 (4)와 같은 모형이다.

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Trend + \alpha_4 D_drought + \alpha_5 D_spring + \alpha_6 D_Monsoon + \alpha_7 D_fall + \beta_1 \epsilon_{t-1} + \epsilon_t \quad (4)$$

$$\sigma_t^2 = \gamma_0 + \gamma_1 \epsilon_{t-1}^2 + \rho_1 \sigma_{t-1}^2$$

1) MA (1)을 포함하지 않은 경우, AIC = -0.6692, SBC = -0.4319, MA (1) 포함된 경우 AIC = -0.7048, SBC = -0.4437, MA (2)까지를 포함한 경우 AIC = -0.6449, SBC = -0.3600 의 결과를 얻었다.

여기서, Y_t 는 t 시점의 지하수 수위, $Trend$ 는 추세변수, $D_drought$ 는 겨울가뭄이 극심했던 시점을 나타내는 더미변수 (1999년 12월~2000년 1월을 1로하고 나머지 시점은 0), D_spring 은 봄철을 나타내는 더미변수 (3월~5월은 1, 나머지는 0), $D_monsoon$ 은 장마철을 나타내는 더미변수 (6월~8월은 1, 나머지는 0), D_fall 은 가을철을 나타내는 더미변수 (9월~11월은 1, 나머지는 0)를 나타내며, ϵ_t 는 오차항이다.

다. 추정결과

식 (4)의 GARCH 모형을 추정한 결과는 Table 3과 같다. 비교를 위해 GARCH (1,0)모형과 GARCH (1,1)모형을 추정하였는데, 두 모형 모두에서 추세를 제외하고 모든 설명변수가 99%에서 유의한 것으로 추정되었으며, GARCH (1,0)모형에서는 추세의 회귀계수가 95% 이상, GARCH (1,1)모형에서는 추세의 회귀계수가 99% 이상 유의한 것으로 추정되었다.

Table 3의 추정결과에서는 추세에 대한 회귀계수가 매우 유의한 음의 값으로 추정되고 있어 실증자료에서도 지하수 수위가 시간이 지남에 따라 감소하고 있음이 통계적으로도 유의함을 확인시켜주고 있다.

Table 3 Estimation results of equation (4)

| | GARCH (1,0) Model | | | GARCH (1,1) Model | | |
|-------------------|-------------------|----------|---------|-------------------|----------|---------|
| | Estimated value | z-value | P-value | Estimated value | z-value | P-value |
| C | 18.431 | 1115.050 | 0.000 | 18.446 | 1030.636 | 0.000 |
| TREND | -0.00046 | -2.132 | 0.033 | -0.00061 | -2.726 | 0.006 |
| AR(1) | -0.648 | -6.343 | 0.000 | -0.612 | -5.013 | 0.000 |
| MA(1) | 0.774 | 9.911 | 0.000 | 0.762 | 9.074 | 0.000 |
| D_DROUGHT | -1.407 | -5.196 | 0.000 | -1.436 | -4.721 | 0.000 |
| D_SPRING | 0.075 | 4.613 | 0.000 | 0.080 | 4.574 | 0.000 |
| D_MONSOON | 0.621 | 28.778 | 0.000 | 0.628 | 25.827 | 0.000 |
| D_FALL | 0.119 | 7.180 | 0.000 | 0.127 | 6.951 | 0.000 |
| Variance Equation | | | | | | |
| | | | | | | |
| C | 0.005 | 3.579 | 0.000 | 0.004 | 2.478 | 0.013 |
| RESIDt-12 | 1.499 | 4.695 | 0.000 | 1.184 | 4.075 | 0.000 |
| GARCHt-1 | | | | 0.098 | 1.427 | 0.154 |
| Adj. R2 | 0.740546 | | | 0.740835 | | |

IV. 요약 및 결론

본 연구가 분석의 대상으로 하는 대상지역인 고성군에서는 분석기간 동안 전체 경지면적 중에서 논이 차지하는 비중이 증가

한다는 특징 이외에도 전반적인 경지면적과 더불어, 논과 밭 면적 역시 계속 줄어들고 있는 특징을 보이고 있다. 경지면적이 이처럼 감소하고 있다는 사실은 분석기간 동안 논이나 밭에서 쓰이는 농업용 수요가 증가했다고는 볼 수 없음을 말하고 있다.

따라서 본 연구의 분석결과로 얻을 수 있는 가장 중요한 사실은 대상지역에서 강수량이나 저수지, 취입보 등 지표수는 농업용 수요를 충족하기에 부족하기 때문에 지하수에 의존도가 더욱 심해지고 이는 지하수 수위를 낮추는 것으로 귀결되고 있다는 점이다.

만일 농업용으로 지하수를 많이 사용한다고 하더라도 재충전되는 양이 많다면 이는 지하수 수위를 낮추는 것으로 귀결되지 못할 것이나, 재충전되는 양보다 사용하는 양이 더 많다면, 지하수 수위는 결국 낮아지게 될 것이다. 지하수의 재충전은 절대적으로 강수량과 관련이 있을 수밖에 없는데, 인접지역인 통영관측소의 관측정보에 따르면 대상지역에는 1999년부터 2008년까지 월별 강수량이 감소하는 추세를 나타낸다. 월별 강수량의 감소는 해당 시점에서 작물이 필요로 하는 지표수의 공급량을 감소시켜 지하수에 의존도를 더욱 심화시키는 것 이외에도 지하수가 재충전되는 양 자체를 감소시키기 때문에 지하수 수위는 더욱 낮아지게 만든다고 할 수 있다.

본 연구의 대상지역에서는 경지면적이 감소하고 있음에도 불구하고 지하수 수위가 줄어들고 있다는 것은 그 만큼 강수량 부족으로 인한 지표수 부족현상이 심화되고 있다는 점을 말하고 있다고 하겠다.

우리나라는 4계절이 뚜렷하고 여름철에는 장마와 집중호우가 발생하는 등 1년 전체적으로 보면 강수량이 결코 부족한 국가가 아니라고 할 수 있으나, 농업용수의 부족 여부는 작물 재배에 필요한 용수가 안정적으로 필요한 때에 필요한 양만큼 공급될 수 있는지에 달려 있다.

본 논문에서 분석한 결론을 우리나라 전체의 경지에 대해서 혹은 우리나라 전체의 논지역에 대해서 일반화하기에는 힘들다. 하지만 일부지역임에도 불구하고 경남의 남해안 일대의 대상지역에서 기상변화에 따라 농업용수의 부족현상이 심화되고 이는 지하수의 수위를 낮추는 것으로 귀결되고 있다는 점은 지역에 따라 농업용수의 부족사태가 이미 발생하고 있고, 이처럼 농업용수 부족사태가 발생하는 지역은 기상변화에 따라 앞으로 더욱 확대될 가능성 또한 말하고 있으며, 수자원의 효율적인 이용과 관리가 앞으로 더욱 절실해 질 것임을 의미한다고 하겠다.

REFERENCES

1. Ahn, B. I., Y. D. Jo, T. H. Kim and Y. D. Kwon, 2009. Analysis on the Shortage of Agricultural Water

- Supply Under Climate Change: Application to Daega Reservoir in Goseong Gun. *Korean Journal of Agricultural Economics* 50(2): 45-67 (in Korean).
2. Anders, W., 1995. *Applied Econometric Time Series*, John Wille & Sons.
 3. Choi, Y. D., 2010. Water supply reliability reevaluation for agricultural water supply pattern changes considering climate changes, Master diss., Pusan: Pusan National University.
 4. Chun, S. W., H. C. Jeong, D. K. Lee, Y. Matsuoka, H. Harasawa, and K. Takahashi, 2004. Development of impact assessment model by climate change in water resources. KEI RE-10. Korea Environment Institute.
 5. Goseong county office, annually. Goseong-gun Statistical Year-Book, Goseong-gun, Gyeongsangnam-do, Korea.
 6. Greene, W. H., 1997. *Econometric Analysis*, 3rd, Prentice-Hall.
 7. Na, Y. E., J. T. Lee, M. H. Kim, H. S. Bang, M. S. Han, K. A. Roh, and M. K. Kim, 2007a. Current situation on vulnerability assessment of climate change in the foreign countries' agricultural sector. *Korean J. Intl. Agri.* 19(2): 80-92.
 8. Na, Y. E., J. T. Lee, M. H. Kim, H. S. Bang, M. S. Han, K. A. Roh, and M. K. Kim, 2007b. Current situation on impact assessment and adaptation measure of climate change in the foreign countries' agricultural sector. *Korean J. Intl. Agri.* 19(2): 93-100.
 9. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Han River Flood Control Office. [Http://www.wamis.go.kr](http://www.wamis.go.kr). WAMIS.
 10. Wooldridge, J. M., 2003. *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, 2E, Thomson.
 11. You, G. Y., and I. E. Kim, 2008. Development of application of a climate change vulnerability index. KEI RE-05. Korea Environment Institute.