

지구온난화에 따른 제주도 근해의 해수면 상승과 제주도 동부 지역 지하수의 염수대 변화의 대한 토의

이진용^{1*} · 송성호²

¹강원대학교 지질학과, ²한국농어촌공사 농어촌연구원

Discussion on "Sea Level Rise Around Jeju Island due to Global Warming and Movement of Groundwater/seawater Interface in the Eastern Part of Jeju Island"

Jin-Yong Lee^{1*} · Sung-Ho Song²

¹Department of Geology, Kangwon National University

²Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

김경호 외(2009)는 제주도 인근 해수면, 해안 지하수관 측정의 지하수위 및 전기전도도 관측자료에 대한 분석을 통해 해수침투의 원인의 하나로 지구온난화에 따른 해수면 상승을 제시하였다. 저자들이 언급한 바와 같이 기존의 많은 연구자들은 해안지역에서 발생하는 염수침투의 원인을 대부분 과도한 양수의 영향으로 보고하였다. 예를 들어 Lee et al.(2007)은 제주도 지하수관측망의 2001-2005년 자료(일부는 2002-2005년)를 분석하여 특히 동부 해안지역에서 지하수위 강하와 전기전도도(EC)의 상승현상이 뚜렷한 것으로 보고하였고 이의 주요 원인으로 지속적인 지하수 이용으로 보았다.

그런데 실제로는 인위적 양수의 영향과 지구온난화에 따른 해수면 상승의 영향을 구분하기 쉽지 않다. 기본적으로 이에 대한 평가를 위해서는 우선 관심지역에 대한 지하수 이용량 변화추이 등을 장기간 모니터링 해야 한다. 또한 동일 관측지점(수직적으로도 동일지점)에서 장기간 동안 전기전도도 등 수질변화를 관측하는 것도 필요하다.

한편 김경호 외(2009)가 제시한 자료를 살펴보면 해수면 상승에 따른 영향에 대한 해석의 다른 측면을 추론할 수 있다. 그림은 제주 동부지역 한동1 관측정(JD-HD1)의 2002-2008년 월평균 지하수위, 전기전도도, 인근 해수면 및 강수량 자료이다(Fig. 1). 그림에서 보는 바와 같이 4

개의 파라미터는 뚜렷한 계절적 변동현상을 보이며 지하수위의 경우 강하경향, 해수위의 경우 상승경향 그리고 전기전도도는 무변동 혹은 감소 경향을 직관적으로 확인할 수 있다. 이러한 경향성을 통계적으로 평가하기 위하여 선형회귀분석을 실시하였다. 그 결과 결정계수(determination coefficient, r^2)가 비교적 작기는 하지만 상기한 경향성을 확인할 수 있었다(Table 1). 그러나 이런 선형회귀분석은 자료수의 제한(여기서는 각각 48개 data point), 결측(missing value)과 이상값(outlier) 및 신뢰도에 대한 기준 미제공 등의 문제가 있어 비모수적 경향성 분석을 다시 수행하였다(이진용 외, 2006). 그 결과 해수면은 매우 낮은 유의수준 혹은 높은 신뢰도에서 상승경향을 보이며 반대로 지하수위는 하강경향을 보였다(Table 2). 이와 같은 해수면 상승은 김경호 외(2009)가 제시한 제주도 해역의 해수면 상승과 일치한다. 강수량 경우 증가경향을 보이거나 신뢰수준은 낮다. 또한 전기전도도의 경우 신뢰성은 상대적으로 낮으나 감소경향을 보인다.

상기한 결과는 해수면 상승에 의한 지하수위 상승과 전기전도도 상승에 대한 기대와는 다르다. 일반적으로 비양수 조건에서는 해수면 상승은 인근 지하수위 상승을 유발하고 아울러 전기전도도의 상승을 초래할 수 있다(김경호 외, 2009). 그러나 본 관측정에서는 해수면이 상승하고 있

*Corresponding author : hydrolee@kangwon.ac.kr

원고접수일 : 2009. 8. 21 심사일 : 2009. 8. 28 게재승인일 : 2009. 10. 23

질의 및 토의 : 2009. 12. 31 까지

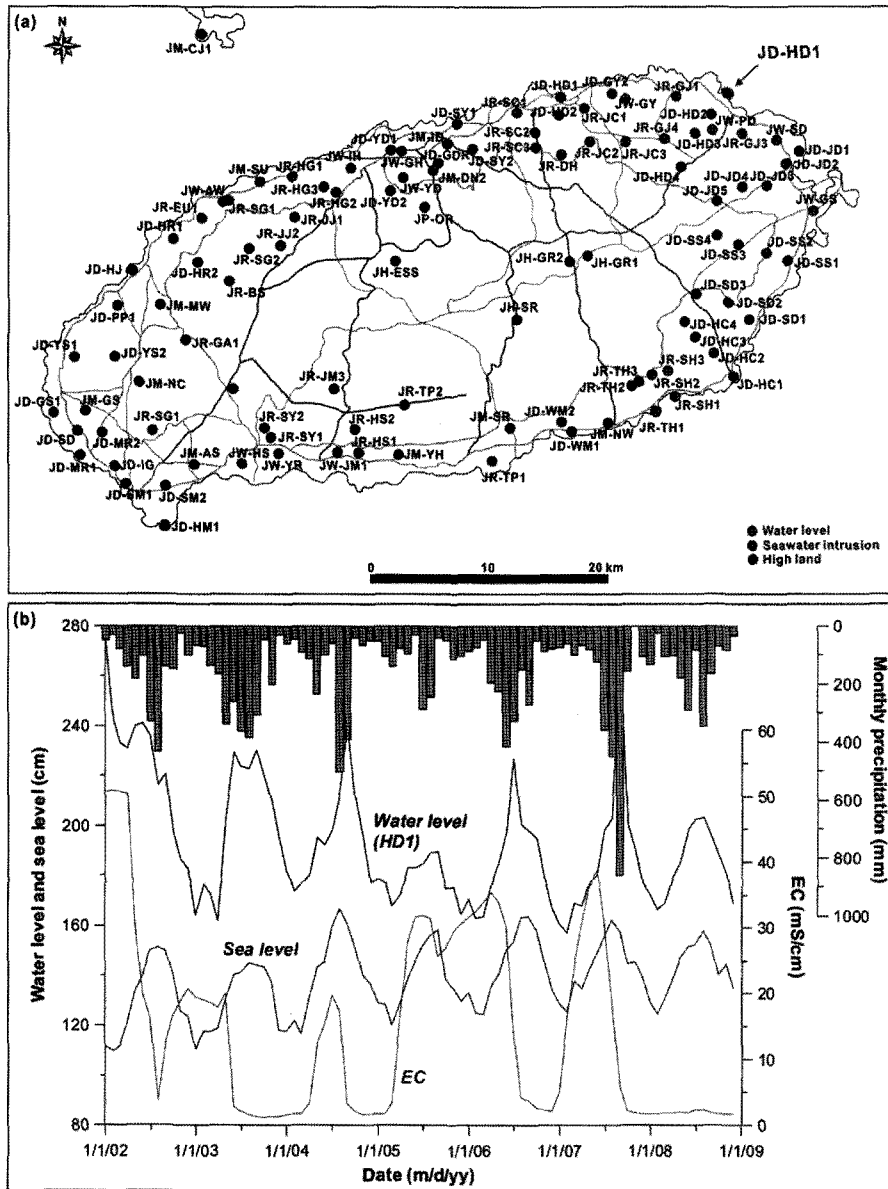


Fig. 1. (a) Location of the monitoring well, HD1 and (b) monthly mean water level, EC, sea level and monthly precipitation for 2002-2008. The upper figure was modified from Jejuwater (2009) and the data in the lower figure were obtained from Kim et al. (2009).

Table 1. Results of linear regression for the HD1 data. The data are from Kim et al. (2009)

Parameters	Best fit	Determination coefficient (r^2)
Precipitation	$Y = 0.003245704762 X + 32.58959841$	< 0.01
Sea level	$Y = 0.007438042514 X - 147.851119$	0.15
Water level (HD1)	$Y = -0.0145200939 X + 753.0641085$	0.18
Electrical conductivity (EC)	$Y = -0.00564902942 X + 232.5037653$	0.08

음에도 불구하고 지하수위는 하강하고 있으며 또한 전기 전도도도 무변동 혹은 하강현상을 보인다. 강수량이 감소 경향을 보이지 않으므로 지하수위의 하강은 지하수 함양

량 감소 영향으로 보기 어렵다. 그러므로 이 지역의 지하수위 하강은 인위적인 지하수 사용에 따른 결과로 추론할 수 있다. 흥미로운 것은 본 한동1 관측정 지하수의 전기

Table 2. Results of non-parametric trend analyses (Mann-Kendall and Sen's tests) for the HD1 data. The data are from Kim et al. (2009)

Parameters	Number of data point	Trends		Significance level (α)
		M-K	Sen	
Precipitation	84	Increasing	Increasing	> 0.1
Sea level	84	Increasing	Increasing	0.001
Water level (HD1)	84	Decreasing	Decreasing	0.001
EC	84	Decreasing	Decreasing	0.1

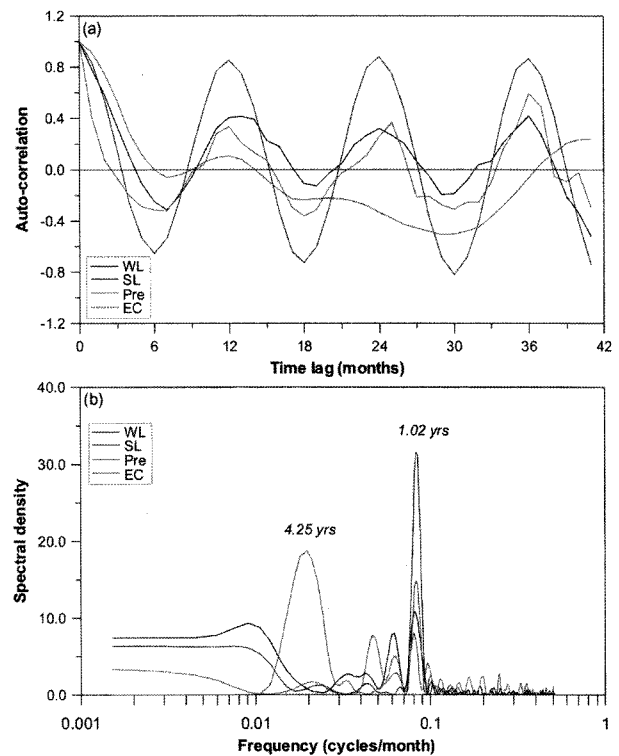
Table 3. Pearson correlations among the parameters of the HD1 data. The data are from Kim et al. (2009). Correlation values are given in the lower triangle (bold) and the probabilities that the parameters are un-correlated are given in the upper

Parameters	Precipitation	Sea level	Water level	EC
Precipitation	-	<0.001	<0.001	0.479
Sea level	0.514	-	0.014	0.029
Water level (HD1)	0.494	0.268	-	0.325
EC	-0.078	-0.238	0.109	-

전도도에 대한 경향분석에서 2002-2005년 자료의 경우 통계적으로 유의한 상승경향을 보였으나(Lee et al., 2007), 2002-2008년 자료를 분석한 결과는 90% 신뢰수준에서 하강하는 경향을 보이고 있다.

한동1 자료의 시계열적 특성을 살펴보면 다음과 같다. 4개의 파라미터(강수량, 해수위, 지하수위, 전기전도도)는 모두 자기상관성이 크며 연주기적 변화양상을 보인다(Fig. 2). 특히 전기전도도의 경우 자기상관성(auto-correlation)과 스펙트럼밀도함수(spectral density)에서 보는 바와 같이 다른 파라미터에 비해 비교적 장주기적 변화를 보인다(Fig. 2(b))에서 4.24년의 장주기는 분석기간(7년)에 의한 인위적 결과일 수 있음). 이는 본 역에서 전기전도도가 해수면 상승과 크게 관련이 없음을 간접적으로 지시하는 것이기도 한다. Table 3은 4개의 파라미터간의 피어슨 상관계수를 나타낸다. 강수량만이 해수위와 지하수위와 유의한 상관관계를 보인다. 그런데 강수량과 해수위와 비교적 높은 상관관계($r = 0.514$)를 보이는 것은 강수량이 해수위 상승을 유발하는 것이 아니라 강수량과 해수위의 연간변동 양상이 우연히 일치하여 발생한 결과이다(Church et al., 2001). 비가 많은 여름에 대기온도가 높아 해수가 팽창하여 해수면은 상승한다(Lee, 2009). 한편 해수위와 지하수위는 낮지만 유의미한 상관관계($r = 0.268$)를 보여, 김경호 외(2009)의 해석과 일맥상통한다.

시간지연에 의한 상관성 변화를 살펴보기 위하여 시계열적 공상관함수를 계산하였다(Fig. 3). 앞서 기술한 바와 같이 지하수위와 해수위는 강수량과 큰 지연시간(time lags = 1 month for WL, 0 month for SL)없이 비교적

**Fig. 2.** Auto-correlation and spectral density of the four parameters (WL: water level, SL: sea level, Pre: precipitation, EC).

높은 상관성을 보이나 전기전도도와는 큰 연관성이 없다. 해수위는 지하수위와 유의미한 양의 상관관계(time lag = 0 month)를 보여 해수면 상승이 지하수위 상승을 유발할 수 있음을 보이나 이 또한 두 파라미터간의 계절적 변동양상이 일치하여 발생하는 현상일 수 있다. 즉 해수위와 지하수위는 일반적으로 우기에 모두 높다.

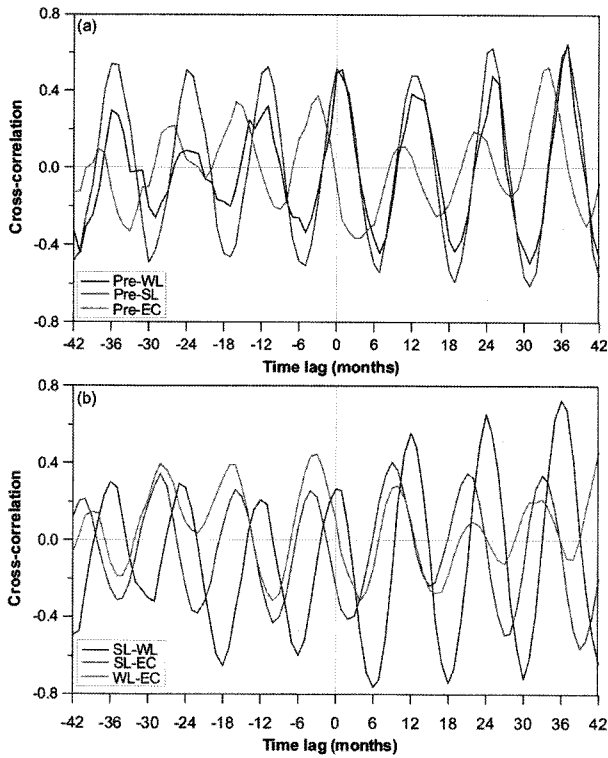


Fig. 3. Cross-correlation among the four parameters (Pre: precipitation, WL: water level, SL: sea level, EC) with time lags.

김경호 외(2009)가 지적한 바와 같이 지구온난화에 따른 해수면 상승은 범지구적으로 발생하는 현상이며 이로 인해 해안지역의 지하수자원의 감소가 예측된다. 향후 지

속적인 모니터링과 연구를 통해 지하수 이용에 따른 영향과 해수면 상승에 따른 영향을 구분하고 정량화하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

김경호, 신지연, 고은희, 고기원, 이강근, 2009, 지구온난화에 따른 제주도 근해의 해수면 상승과 제주도 동부 지역 지하수의 염수대 변화, *지하수토양환경*, **14**(3), 68-79.

이진용, 이명재, 이재명, 안경환, 원종호, 문상호, 조민조, 2006, 국가 지하수관측소 지하수위, 전기전도도 및 수온자료에 대한 모수적 및 비모수적 변동 경향성 분석, *지하수토양환경*, **11**(2), 56-67.

제주특별자치도, 2009, 제주특별자치도 상하수도본부 홈페이지 (www.jejuwater.go.kr).

Church, J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambek, K., Nhuan, M.T., Qin, D., and Woodworth, P.L., 2001, Changes in sea level. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, New York, p. 639-694.

Lee, J.Y., 2009, Time series analysis of hydrologic data obtained from a man-made undersea LPG cavern: implication for hydrogeologic condition. *Engineering Geology* (in revision).

Lee, J.Y., Lee, G.S., and Song, S.H., 2007, An interpretation of changes in groundwater level and electrical conductivity in monitoring wells in Jeju Island. *J. Korean Earth Science Society*, **28**(7), 925-935.