

변동경향성 제거 전후의 수리지질학적 시계열분석 결과 비교

임흥균 · 최현미 · 이진용*
강원대학교 지질학과

Comparison of Hydrogeological Time Series Analysis Results Before and After Detrending

Hong-Gyun Lim · Hyun-Mi Choi · Jin-Yong Lee*
Department of Geology, Kangwon National University

ABSTRACT

In this study, we compared the analysis results before and after the detrending for the data. According to the comparison results, correlation functions were not much changed while autocorrelation and spectral density functions were largely varied. Especially, time series data with a long-term variation trend showed a distinctive difference. This study demonstrated a usefulness of the detrending for a further analysis.

Key words : Time series analysis, Detrending, Auto-correlation, Spectral density, Cross-correlation

1. 서 론

시계열분석은 연속적으로 측정된 자료를 통계적으로 해석하여 수리지질학적 조건과 특성을 이해하는 분석법으로 지하수 연구에서 여러 기작의 상관성을 연구하는데 사용되고 있다(이진용 · 이강근, 2002; 하규철 외, 2006; 이봉주 · 문상호, 2008; 정지민 외, 2010; Jo and Lee, 2010). 여기서 적지 않은 연구자들이 변동경향성을 제거하지 않은 자료를 이용하여 시계열분석을 실시하고 있다. 하지만 최근에는 변동경향성을 제거한 자료를 이용하는 연구자도 점차 많이 증가 하고 있는 추세이다. 변동경향성 제거는 이미 많은 연구자들에 의해 중요성이 인식되어 시계열 분석에서 많이 적용되고 있다(Molénat et al., 1999; Matsoukas et al., 2000; Hanson et al., 2004; Li and Zhang, 2007). 시계열 분석에 있어 원자료의 변동경향성을 제거하는 것은 장주기(long term)의 자연적 혹은 인위적인 영향 즉, 주기성을 제거하는데 의미가 있다(Molénat et al., 1999; Hanson et al., 2004). 하지만 실제로 많은 수리지질 관련 논문에서 변동경향성 제거에 대한 명확한

설명이 없으며 그에 따라 시계열 해석결과에 어떤 영향을 미치는지 알기가 쉽지 않다.

Jo and Lee(2010)는 변동경향성을 제거하지 않고 연구한 사례로서 해안 지하 LPG 저장 공동에서 획득한 수리자료의 시계열 분석을 통해 지하 저장공동의 수리지질학적 조건과 특성을 이해하고 저장공동의 장기간 안정적 운영에 미치는 영향을 연구한 바 있다. 본 연구에서는 Jo and Lee(2010)에서 수행한 시계열 분석의 수리자료를 이용하여 변동경향성 제거 전후의 결과를 비교·분석하였다. 이를 통하여 변동 경향성 제거가 시계열분석 결과해석에 있어 실질적으로 어떠한 차이점을 보이는지 명확하게 판단하는데 연구목적이 있다.

2. 연구지역 및 연구방법

2.1. 연구지역

본 연구에서 이용한 수리자료는 Jo and Lee(2010)가 인천광역시 남구 서해상에 위치하는 지하 LPG 저장공동에서 취득하여 분석한 자료이다(Fig. 1). 연구지역의 지하

*Corresponding author : hydrolee@kangwon.ac.kr

원고접수일 : 2010. 11. 19 심사일 : 2011. 4. 18 게재승인일 : 2011. 4. 22
질의 및 토의 : 2011. 6. 30 까지

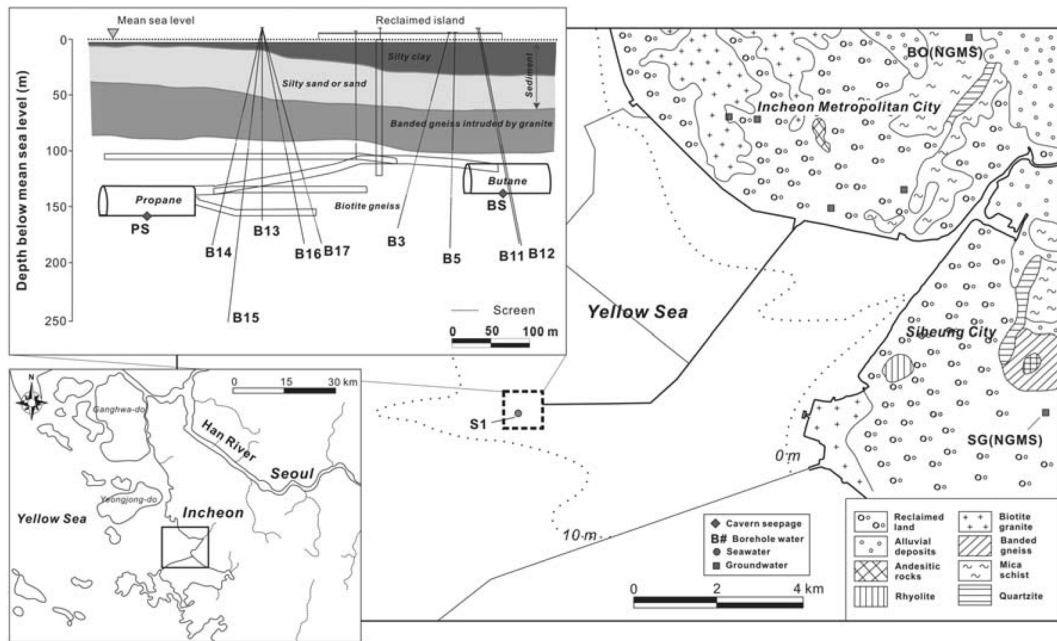


Fig. 1. Location of the studied undersea cavern showing monitoring borehole and wells in and around the caverns. The figure was modified from Lee and Cho (2008).

LPG 저장 공동은 2000년 6월에 건설되었고 해안선에서 약 8 km 떨어진 곳에 위치하며 평균수심은 약 10 m 내외이다(지오그린21, 2006). 지하 LPG 저장공동 동쪽 인천지역의 지질은 하층으로부터 선캠브리아기 편마암류가 최고기층이며 이를 관입한 백악기의 화강암을 제4기 해성 퇴적층이 부정합으로 피복하고 있다(최위찬 외, 1995). LPG 저장공동 부근의 지질은 화강편마암이 우세하며 대부분 매립토와 충적층이 피복하고 있으며, 매립토 하부에는 투수성이 매우 낮은 실트질 점토로 구성되어 있다. 실트질 점토층은 부탄 공동에서 프로판 공동으로 갈수록 얇아지고 그 하부에는 실트질 모래 또는 모래퇴적층과 편마암이 기반암으로 위치한다. 저장공동 지표는 매립토와 불투수층의 이스팔트로 되어 있어 직접적인 강수침투가 어렵다(Lee and Cho, 2008). 저장공동 주변의 지하수위는 다양한 인자에 의해 영향을 받는다. 계절적인 변동은 대부분 강수와 연관되어 있으며 계절적 변동에 따른 오일과 LPG 사용에 의한 공동 운영압(operating pressure)의 변화 또한 매우 중요한 지하수위 영향인자이다(Ko et al., 2002). 암반공동의 경우 강우는 일정 지연시간(time lag)을 두고 영향을 미치고, 조수위(tidal level) 또는 해수위(seawater level)도 공동 주변 지하수위에 많은 영향을 준다(Lee and Cho, 2008; Lee et al., 2003). 이외에도 클로킹 또는 인위적, 자연적인 요인에 의해 발생하는 단열

(fracture)의 변화도 수리지적 특성에 영향 요인이 된다(한충용 · 강주명, 1997; Lee et al., 2008). 이 밖에 상세한 연구지역의 특징은 Lee and Cho(2008)를 참고할 수 있다.

2.2. 연구방법

Jo and Lee(2010)는 2000년 7월부터 2006년 9월까지 측정된 연구지역의 공동 유출수량(carven seepage), 조수위(tidal level), 강수량(precipitation), 지하수위(groundwater level) 수리지료를 획득하였다. 공동 유출수량과 조수위, 강수량의 경우 일일(daily) 측정을 실시하고 지하수위의 경우 주간(weekly) 측정을 실시하였다(Jo and Lee, 2010). 주간 측정을 실시한 지하수위의 여러 관측점 중 B3, B5, B11, B12, B13, B14, B15, B16, B17, BO, SG에서 얻어진 수리지료를 이용하였다. 이를 정리하여 수리지료의 변동경향성 제거 전후에 대한 기초통계자료를 나타냈다(Table 1). 이를 통하여 변동경향성의 제거 전후를 그래프에 도시하여 비교하였다(Fig. 2). 또한 변동경향성 제거 전후의 수리지료를 이용하여 시계열 분석에서 일반적으로 연속적인 수리지료의 시계열적 특성을 파악하기 위해 많이 사용되는 자기상관(auto-correlation), 스펙트럼 밀도(spectral density), 교차상관(cross-correlation) 분석을 이용하여 각 항목별로 변동경향성 제거 전후의 시계열 특성

Table 1. Comparison of basic statistics of cavern seepage, tidal level, site precipitation and water level fluctuation

| Original data | | | | Detrended | | | |
|---------------|------------------|--------|--------|-----------|------------------|------|--------|
| Interval | Time series data | Mean | Median | Interval | Time series data | Mean | Median |
| Daily | Propane | 2563 | 2321 | Daily | Propane | 0.00 | -24.49 |
| | Butane | 192 | 165 | | Butane | 0.00 | -0.61 |
| | Precipitation | 4 | 0 | | Precipitation | 0.00 | -3.65 |
| | Tidal level | 5 | 5 | | Tidal | 0.00 | 0.01 |
| Weekly | B3 | 1.61 | 3.57 | Weekly | B3 | 0.00 | 0.66 |
| | B5 | -17.07 | -16.79 | | B5 | 0.00 | 0.13 |
| | B11 | -3.90 | -3.54 | | B11 | 0.00 | 0.06 |
| | B12 | -7.80 | -7.24 | | B12 | 0.00 | 0.09 |
| | B13 | -22.11 | -22.26 | | B13 | 0.00 | 0.00 |
| | B14 | -15.55 | -15.49 | | B14 | 0.00 | 0.08 |
| | B15 | -20.27 | -20.33 | | B15 | 0.00 | -0.03 |
| | B16 | -21.52 | -21.52 | | B16 | 0.00 | 0.05 |
| | B17 | -34.88 | -33.79 | | B17 | 0.00 | 0.17 |
| | BO | 9.30 | 9.40 | | BO | 0.00 | -0.10 |
| SG | 6.19 | 6.13 | SG | 0.00 | -0.08 | | |

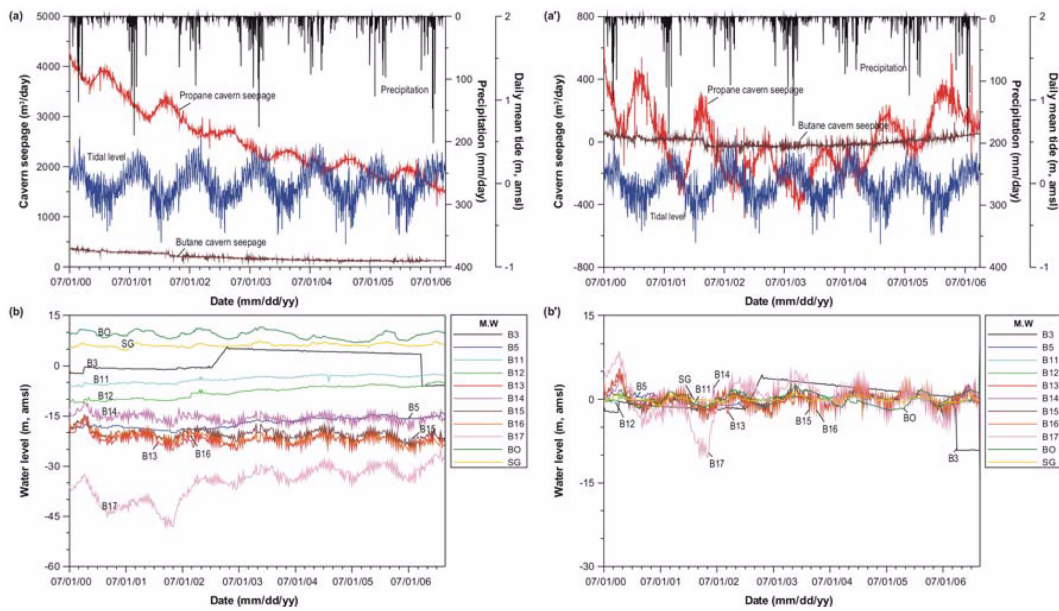


Fig. 2. Cavern seepages, tidal level and precipitation as some selected monitoring wells for January 1, 2000-September 29, 2006. The figures (a) and (b) are modified from Jo and Lee (2010), and the figures (a') and (b') are the detrended data.

함수를 비교분석하였다. 자기상관 및 스펙트럼 밀도함수, 교차상관함수를 계산하는 이론적 방법은 기존에 여러 연구(Davis, 1986; Larocque et al., 1998; 이진용 · 이강근, 2002; 이봉주 · 황세호, 2008)를 참고한다. 변동경향성 제거 방법에는 선형회귀직선을 제거하는 방법, 사인곡선 (sinusoidal) 경향을 제거하는 방법과 이동평균법 등과 같이 여러 가지 방법이 있으며 이를 목적에 맞게 선택하여 사

용한다(Hu et al., 2001). 본 연구에서 말하는 변동경향성 제거는 선형회귀직선의 함수를 제거하는 방법으로 간단한 설명은 아래와 같다.

$$Y_d = Y_{raw} - Y_{reg} \tag{1}$$

여기서 Y_d 는 변동경향성이 제거된 시계열(detrended time series data), Y_{raw} 는 원래의 시계열(original time series

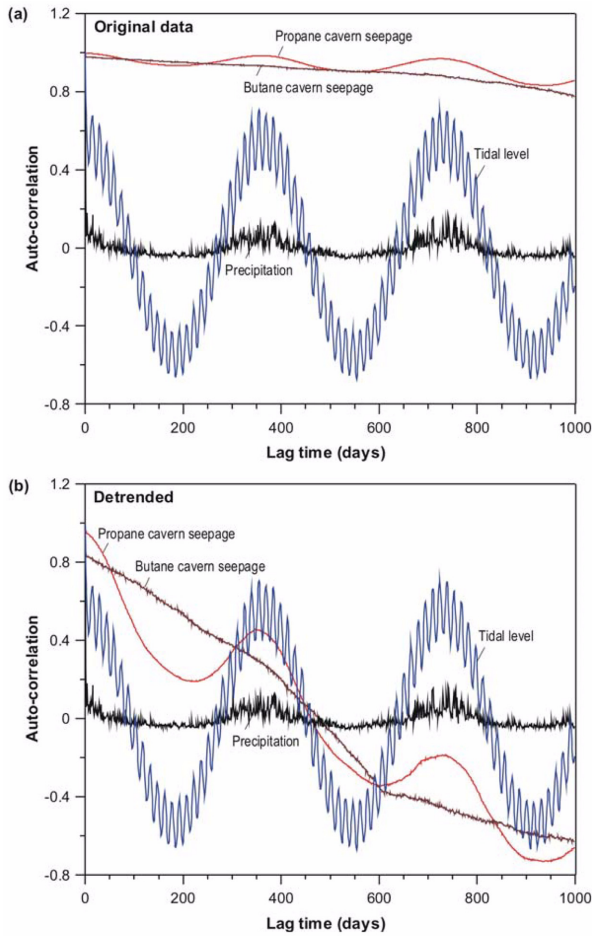


Fig. 3. Functions of (a) auto-correlation of original data and (b) auto-correlation of detrended data of daily cavern seepages, tidal level and site precipitation.

data), Y_{reg} 는 선형회귀직선(linear regression)의 함수이다. 변동경향성 제거란 기존의 시계열에서 선형회귀직선의 함수 값을 빼주는 것으로 시계열분석에서의 변동경향성 제거가 가지는 목적은 장주기의 자연적 혹은 인위적인 영향을 제거하는데 있다(Molénat et al., 1999; Hanson et al., 2004).

3. 결과 및 토의

3.1. 일일(daily) 측정 결과 비교

3.1.1. 자기상관함수 및 스펙트럼 밀도함수

Jo and Lee(2010)의 수리자료를 이용하여 일일 프로판, 부탄 공동의 유출수와 일일 강수량, 일일 조수위의 변화 특성을 분석하기 위해 변동경향성 제거 전후의 자료를 자기상관함수와 스펙트럼 밀도함수를 통해 비교분석하였다.

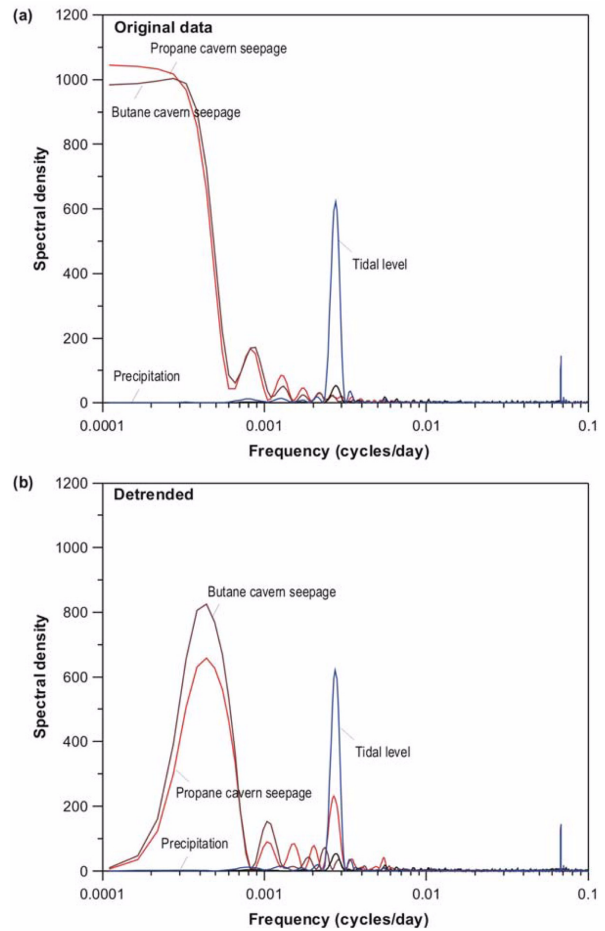


Fig. 4. Functions of (a) spectral density of original data and (b) spectral density of detrended data of daily cavern seepages, tidal level and site precipitation.

자기상관함수 분석결과 변동경향성 제거 전의 자기상관함수에서 프로판 공동과 부탄 공동의 유출수량은 긴 지연시간(time lag)에 대해 천천히 감소하는 강한 자기상관성을 나타내며 장주기를 가지고 있었다. 그리고 강수량과 조수위의 경우는 짧은 지연시간에 대해 빠르게 0에 도달하는 약한 자기상관성을 나타내며 단주기를 가지는 것을 관찰할 수 있다(Fig. 3(a); Jo and Lee, 2010). 반면 변동경향성 제거 후의 자기상관함수는 프로판과 부탄의 공동 유출수량의 경우 변동경향성 제거 전보다 빠르게 감소하며 상대적으로 약한 자기상관성을 가지는 것을 볼 수 있다(Fig. 3(b)). 강수량과 조수위의 경우는 변동경향성의 제거 전후의 변화가 매우 작은 것으로 나타났다.

스펙트럼 밀도함수 분석결과 변동경향성 제거 전의 스펙트럼 밀도함수에서 비교적 장주기를 가지는 프로판과 부탄 공동의 유출수량의 주기성은 뚜렷이 나타나지 않았

Table 2. Results of auto-correlation and spectral density for cavern seepages, tidal level and site precipitation

| Original data | | |
|------------------------|-----------------|------------------------|
| Time series data | Time lag (days) | Regulation time (days) |
| Propane cavern seepage | >>1000 | 523.8 |
| Butane cavern seepage | >>1000 | 491.95 |
| Tidal level | 80 | 0.0409 |
| Precipitation | 34 | 0.0108 |
| Detrended | | |
| Time series data | Time lag (days) | Regulation time (days) |
| Propane cavern | 461 | 0.1729 |
| Butane cavern | 476 | 0.2295 |
| Tidal level | 80 | 0.0002 |
| Precipitation | 34 | 0.0012 |

다. 단주기를 가지는 조수위와 강수량의 경우 주기성이 명확히 나타나는 것을 볼 수 있다(Fig. 4(a)). 반면 변동경향성 제거 후의 스펙트럼 밀도함수에서는 제거 전 보다 상대적으로 명확한 주기가 나타난다(Fig. 4(b)). 강수량과 조수위의 경우는 자기상관함수와 마찬가지로 변동경향성 제거 전후의 차이가 매우 작았다.

프로판과 부탄 공동의 유출수량의 경우 변동경향성 제거 전의 지연시간은 1,000일 이상이었으며 변동경향성 제거 후는 프로판 공동 유출수량은 461일, 부탄 공동 유출수량은 476일로 큰 차이가 나타났다(Table 2). 반면 조수위와 강수량의 지연시간은 변동성제거 전후가 각각 80, 34일로 같은 값이 나타났다. 변동경향성 제거 전의 조절시간은 프로판 공동 유출수량, 부탄 공동 유출수량, 강수량, 조수위가 각각 528.8, 491.95, 0.0409, 0.0108일로 나타났으며 제거 후는 각각 0.1729, 0.2295, 0.0002, 0.0012일로 나타났다. 즉, 강수량과 조수위에 비해 장주기를 가지는 프로판과 부탄 공동의 유출수량에서 변동경향성 제거에 의한 지연시간과 조절시간의 변화가 크게 나타나지만 상대적으로 단주기를 가지는 조수위와 강수량에서는 지연시간과 조절시간의 변화가 작은 것으로 나타났다. 이는 프로판과 부탄 공동의 유출수량이 계절적인 변동이나 장기적인 주기성을 가지지 않고 감소하는 경향성을 보여주기 때문이다.

3.1.2. 교차상관분석

강수량과 조수위에 대한 프로판과 부탄의 공동 유출수량의 교차상관분석 결과를 변동경향성 제거 전후로 비교 분석하였다. 강수량을 입력(input)으로 하고 프로판과 부탄 공동의 유출수량, 조수위는 출력(output)으로 한 교차상관분석을 실시하여 비교하였다(Fig. 5). 지연시간은 조

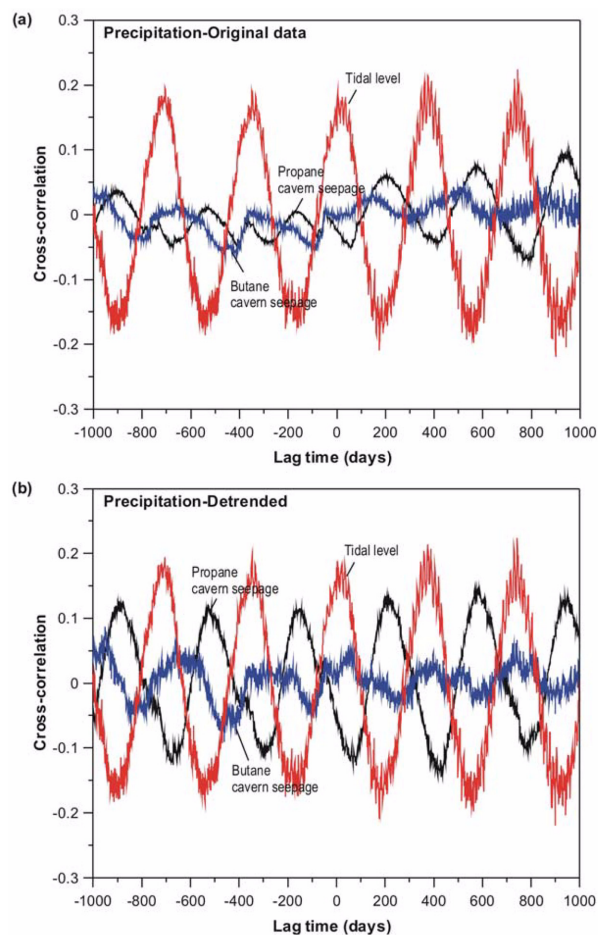


Fig. 5. Functions of (a) cross-correlation of original data daily cavern seepages and (b) cross-correlation of detrended data daily cavern seepages with site precipitation.

수위의 경우 변동경향성 제거 전후가 3일로 같고 프로판과 부탄 공동의 유출수량의 경우 제거 전이 각각 196일,

Table 3. Time delays and maximum cross-correlations of cavern seepages and tidal level with site precipitation

| Original data | | |
|------------------------|-------------------|---------------------------|
| Time series data | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Propane cavern seepage | 196 | 0.06 |
| Butane cavern seepage | 142 | 0.03 |
| Tidal level | 3 | 0.19 |
| Detrended | | |
| Time series data | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Propane cavern seepage | 209 | 0.13 |
| Butane cavern seepage | 49 | 0.06 |
| Tidal level | 3 | 0.19 |

Table 4. Time delays and maximum cross-correlations of cavern seepages with tidal level

| Original data | | |
|------------------------|-------------------|---------------------------|
| Time series data | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Propane cavern seepage | 194 | 0.20 |
| Butane cavern seepage | 134 | 0.09 |
| Detrended | | |
| Time series data | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Propane cavern seepage | 227 | 0.39 |
| Butane cavern seepage | 24 | 0.05 |

142일, 제거 후가 각각 209일, 49일로 나타났다(Table 3). 최대 교차상관값의 경우 조수위는 변동경향성 제거 전후가 0.19로 같았으며 프로판과 부탄 공동의 유출수량은 제거 전이 0.06, 0.03, 제거 후는 0.13, 0.06로 나타났다.

조수위를 입력으로, 프로판과 부탄 공동의 유출수량을 출력으로 한 교차상관분석을 실시하여 비교하였다(Fig. 6). 지연시간은 프로판 공동 유출수량의 경우 변동경향성 제거 전이 194일, 제거 후가 227일로 증가하였고 부탄 공동 유출수량의 경우 제거 전은 134일, 제거 후는 24일로 감소하여 나타났다(Table 4). 최대 교차상관값의 경우 프로판 공동 유출수량은 변동경향성 제거 전이 0.20, 제거 후가 0.39로 나타났으며 부탄 공동 유출수량은 제거 전이 0.09, 제거 후가 0.05로 나타났다. 결론적으로 변동경향성 제거 전후의 일일 측정 자료에 대한 교차상관분석을 비교분석한 결과 상대적으로 장주기를 가지는 자료인 프로판과 부탄 공동 유출수량은 최대 교차상관값과 지연시간에서 큰 변동이 나타나는 반면 단주기를 가지는 자료인 조수위에 대해서는 매우 작은 변동이 있음이 나타났다. 이는 계절적인 변화를 보이는 조수위와는 다르게 프로판과 부탄 공동 유출수량은 감소 경향성을 보여주기 때문이다.

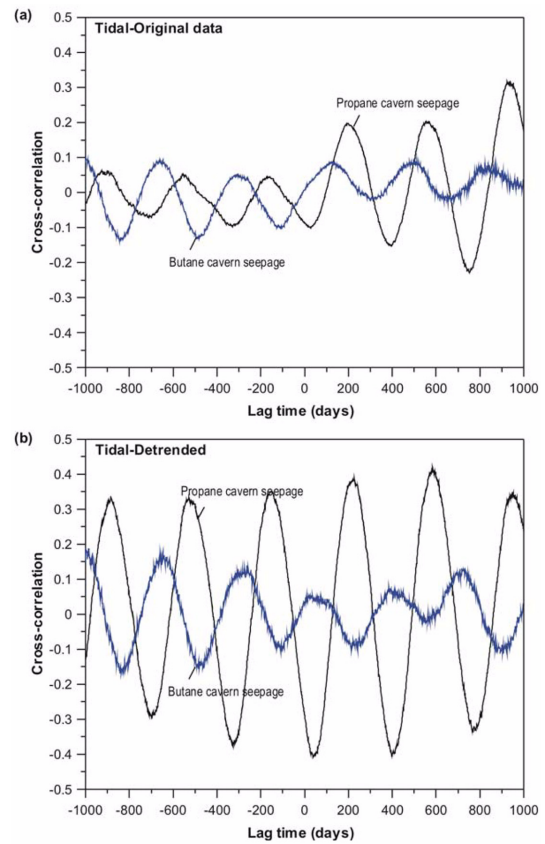


Fig. 6. Functions of (a) cross-correlation of original data daily cavern seepages and (b) cross-correlation of detrended data daily cavern seepages with tidal level.

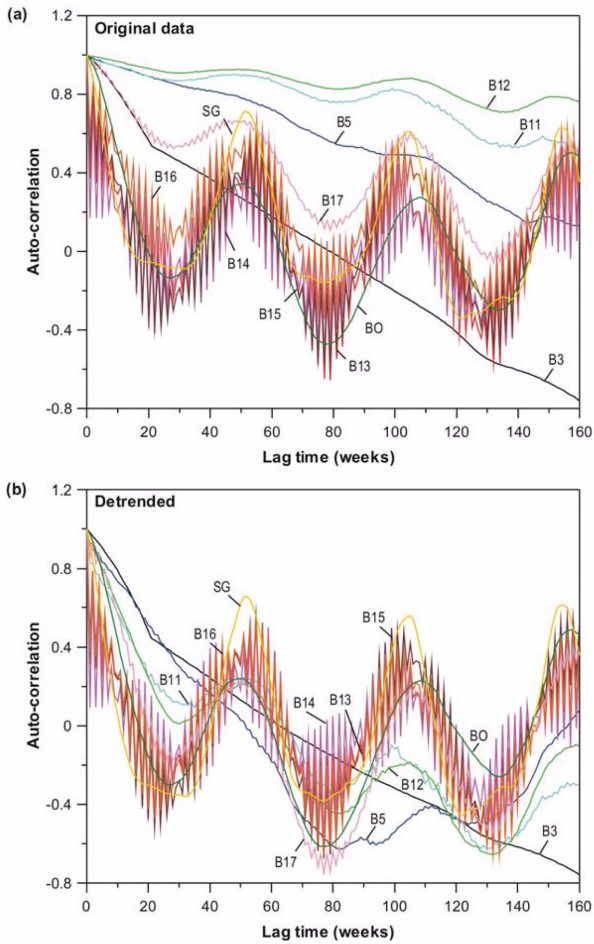


Fig. 7. Functions of (a) auto-correlation of original data and (b) auto-correlation of detrended data of weekly measured water levels of monitoring wells in and around cavern.

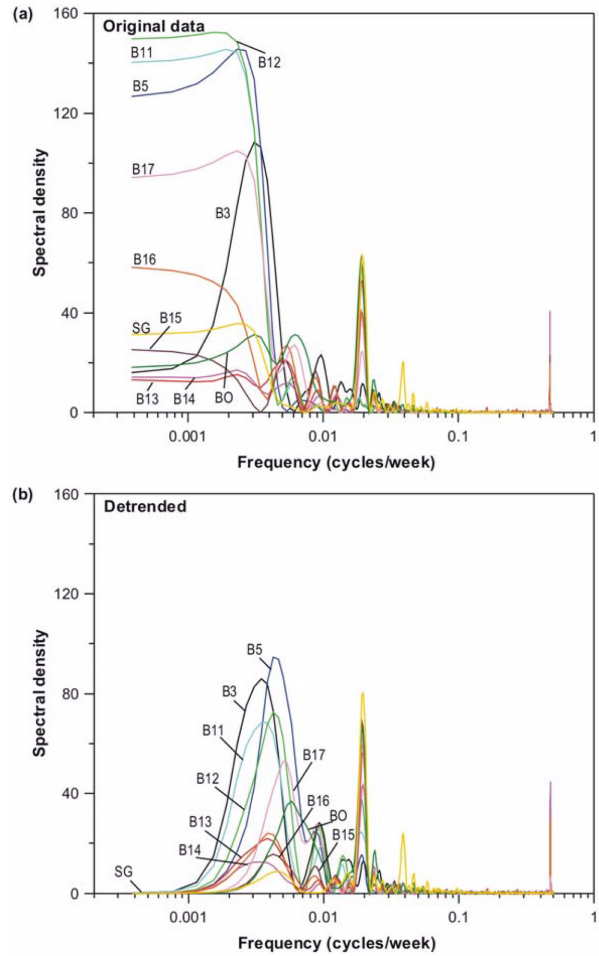


Fig. 8. Functions of (a) spectral density of original data and (b) spectral density of detrended data of weekly measured water levels of monitoring wells in and around cavern.

3.2. 주간(weekly) 측정 결과 비교

3.2.1. 자기상관분석 및 스펙트럼 밀도함수

주간 수위 측정 결과를 이용하여 변동경향성 제거 전후의 자기상관함수와 스펙트럼 밀도함수를 비교분석하였다. 자기상관함수 결과에서는 상대적으로 장주기를 가지는 A 그룹(B3, B5, B11, B12)과 단주기를 가지는 B 그룹(B13, B14, B15, B16, B17, BO, SG)으로 크게 분류된다. 변동경향성 제거 전의 경우, A 그룹은 긴 지연시간에 대해 천천히 감소하는 강한 자기상관성을 보여주고 상대적으로 단주기를 가지는 B 그룹은 비교적 짧은 시간에 0에 도달하는 약한 자기상관성을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 7(a); Jo and Lee, 2010). 반면 변동경향성 제거 후의 경우, A 그룹은 변동경향성 제거 전에 비하여 상대적으로 빠르게 감소하는 약한 자기상관성을 나타내었으나 B 그룹의 경우 변동경향성 제거 전후의 변화가 매우 작았다(Fig. 7(b)).

스펙트럼 밀도함수 비교분석 결과 변동경향성 제거 전의 스펙트럼 밀도함수에서는 일일 측정 자료와는 다르게 비교적 단주기를 가지는 B 그룹에서도 명확한 주기성이 나타나지 않았다(Fig. 8(a)). 이는 일일 측정 자료에서 비교적 단주기를 가지는 조수위와 강수량 보다 상대적으로 B 그룹이 장주기를 가지기 때문이다. 그 결과로 변동경향성 제거 후 상대적으로 A 그룹과 B 그룹 모두 명확한 주기성이 나타났다(Fig. 8(b)).

지연시간의 경우 A 그룹의 변동경향성 제거 전은 B3이 79주, B5, B11, B12 모두 160주 이상으로 나타났으나 변동경향성 제거 후에는 52~64주로 감소했고 범위 폭도 좁아진 것으로 나타났다(Table 5). B 그룹의 경우 지연시간이 변동경향성 제거 전 14~128주였으며 변동경향성 제거 후 11~20주로 감소하였다. 조절시간은 A 그룹의 경우 변동경향성 제거 전이 7.97~70.15주의 범위로 나타났고

Table 5. Results of auto-correlation and spectral density for monitoring wells

| Original data | | | |
|------------------|------------------|-------------------------|--------|
| Time series data | Time lag (weeks) | Regulation time (weeks) | |
| Group A | B3 | 79 | 7.97 |
| | B5 | >160 | 63.38 |
| | B11 | >>160 | 70.15 |
| | B12 | >>160 | 14.86 |
| Group B | B13 | 14 | 6.57 |
| | B14 | 14 | 7.16 |
| | B15 | 16 | 12.65 |
| | B16 | 20 | 29.09 |
| | B17 | 128 | 47.07 |
| | BO | 20 | 9.13 |
| | SG | 15 | 15.62 |
| Detrended | | | |
| Time series data | Time lag (weeks) | Regulation time (weeks) | |
| Group A | B3 | 63 | 0.0217 |
| | B5 | 52 | 0.0053 |
| | B11 | 64 | 0.0155 |
| | B12 | 62 | 0.0070 |
| Group B | B13 | 14 | 0.0049 |
| | B14 | 12 | 0.0036 |
| | B15 | 14 | 0.0007 |
| | B16 | 14 | 0.0034 |
| | B17 | 20 | 0.0006 |
| | BO | 17 | 0.0005 |
| | SG | 11 | 0.0004 |

*Group A: Long-cycle data

**Group B: Short-cycle data

변동경향성 제거 후에는 0.0070~0.0217주 범위로 감소하였다. B그룹은 변동경향성 제거 전이 6.57~47.07주, 제거 후가 0.0004~0.0049주 범위로 크게 감소하였다. 즉 변동경향성을 제거 후에는 조절시간의 범위가 A, B그룹 모두 크게 감소하였으며 범위 또한 매우 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 B그룹이 비교적 감소하는 경향성을 보이지만 A, B그룹 모두 장기적인 주기성이나 계절적인 변동성을 가지지 않기 때문이다.

3.2.2. 교차상관분석

주간 수위 측정 결과를 이용하여 강수량에 대한 각 관정별 수위 변화와 조수위의 교차상관성을 파악하고 변동경향성 제거 전후 결과를 비교하였다. 강수량을 입력으로, 각 관정별 수위를 출력으로 간주하여 교차상관함수를 구한 결과는 A, B 두 개의 그룹으로 비교하였다(Fig. 9). 지연시간의 경우 A그룹의 B3이 변동경향성 제거 전이

27일, 제거 후가 13일로 크게 감소하여 나타났을 뿐 나머지 관정에서는 변동경향성 제거 전후가 같은 값이 나타났다(Table 6). 일반적으로 강수량은 교차상관성이 작기 때문에 변동경향성을 제거하여도 큰 변화가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

최대 교차상관값의 경우 변동경향성 제거 전 A그룹은 0.05~0.1, B그룹은 0.15~0.23으로 나타났으며 제거 후에는 A그룹이 0.06~0.2, B그룹이 0.17~0.25로 나타났다(Table 6). 변동경향성 제거 전 각 그룹의 최대 교차상관값의 평균은 A그룹이 0.0725, B그룹이 0.19로 0.1175의 차로 나타났다. 반면 변동경향성을 제거한 경우 최대 교차상관값의 평균은 A그룹이 0.15, B그룹이 0.22로 0.07의 차를 보였다. 즉 최대 교차상관함수의 경우 변동경향성을 제거했을 때 그 값의 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다.

조수위를 입력으로, 각 관정별 수위를 출력으로 간주하여 교차상관함수를 구한 결과를 A, B 두 개의 그룹으로

Table 6. Time delays and maximum cross-correlations of monitoring wells with site precipitation

| Original data | | | |
|------------------|-----|-------------------|---------------------------|
| Time series data | | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Group A* | B3 | 27 | 0.05 |
| | B5 | 6 | 0.10 |
| | B11 | 5 | 0.07 |
| | B12 | 6 | 0.07 |
| Group B** | B13 | 6 | 0.23 |
| | B14 | 6 | 0.21 |
| | B15 | 6 | 0.22 |
| | B16 | 6 | 0.16 |
| | B17 | 6 | 0.15 |
| | BO | 7 | 0.15 |
| | SG | 6 | 0.21 |
| Detrended | | | |
| Time series data | | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Group A | B3 | 13 | 0.06 |
| | B5 | 6 | 0.20 |
| | B11 | 5 | 0.15 |
| | B12 | 6 | 0.19 |
| Group B | B13 | 6 | 0.25 |
| | B14 | 6 | 0.23 |
| | B15 | 6 | 0.24 |
| | B16 | 6 | 0.21 |
| | B17 | 6 | 0.22 |
| | BO | 7 | 0.17 |
| | SG | 6 | 0.22 |

*Group A: Long-cycle data, **Group B: Short-cycle data

Table 7. Time delays and maximum cross-correlations of monitoring wells with tidal level

| Original data | | | |
|------------------|-----|-------------------|---------------------------|
| Time series data | | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Group A* | B3 | 30 | 0.19 |
| | B5 | 1 | 0.13 |
| | B11 | 0 | 0.14 |
| | B12 | 0 | 0.12 |
| Group B** | B13 | 1 | 0.51 |
| | B14 | 1 | 0.50 |
| | B15 | 1 | 0.51 |
| | B16 | 1 | 0.42 |
| | B17 | 1 | 0.33 |
| | BO | 7 | 0.47 |
| | SG | 8 | 0.48 |
| Detrended | | | |
| Time series data | | Time delay (days) | Maximum cross-correlation |
| Group A | B3 | 28 | 0.22 |
| | B5 | 3 | 0.26 |
| | B11 | 0 | 0.36 |
| | B12 | 1 | 0.39 |
| Group B | B13 | 1 | 0.53 |
| | B14 | 1 | 0.53 |
| | B15 | 1 | 0.56 |
| | B16 | 1 | 0.53 |
| | B17 | 5 | 0.50 |
| | BO | 7 | 0.49 |
| | SG | 8 | 0.55 |

*Group A: Long-cycle data, **Group B: Short-cycle data

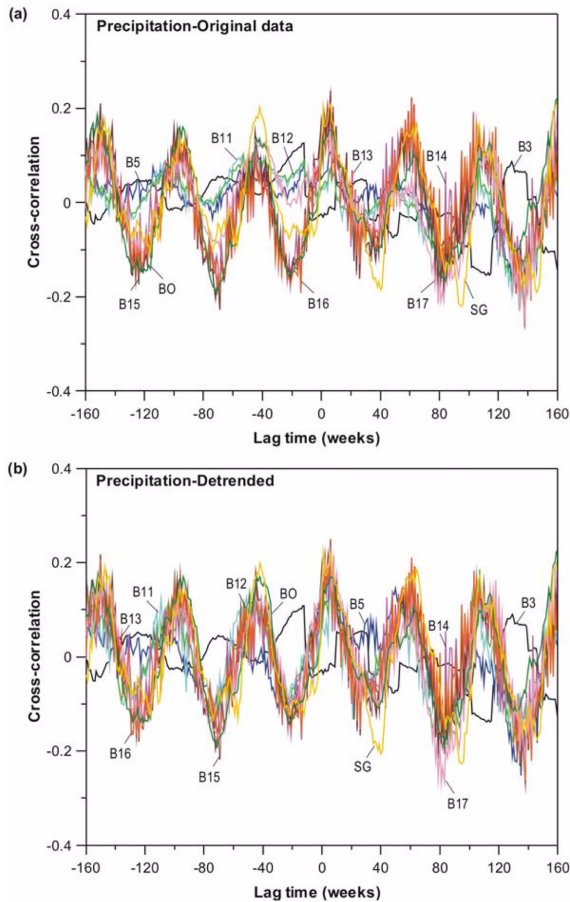


Fig. 9. Functions of (a) cross-correlation of original data weekly measured water levels and (b) cross-correlation of detrended data weekly measured water levels with site precipitation.

비교하였다(Fig. 10). 지연시간의 경우 A그룹이 변동경향성 제거 전이 0~30일, 제거 후가 0~28일로 다소 감소하였으며 B11의 경우 변동경향성 제거 전후 모두 0일로 나타났다(Table 7). B그룹의 경우 변동 경향성 제거 전이 1~8일, 제거 후가 1~8일로 범위가 같은 것으로 나타났으며 B17에서만 제거 전이 1일, 제거 후가 5일로 변화하였다. 조수위의 변화 또한 강수량과 마찬가지로 교차상관성이 작기 때문에 변동경향성 제거의 효과가 상대적으로 작게 나타나는 것으로 사료된다.

최대 교차상관값의 경우 변동경향성 제거 전 A그룹은 0.12~0.19, B그룹은 0.33~0.51로 나타났으며 제거 후에는 A그룹이 0.22~0.39, B그룹이 0.49~0.56로 나타났다(Table 7). 비교적 단주기를 가지는 B그룹의 최대 교차상관값은 거의 변화가 없었다. 변동경향성 제거 전 각 그룹의 최대 교차상관값의 평균은 A그룹이 0.145, B그룹이 0.46로 0.315의 차로 나타났다. 반면 변동경향성을 제거한 경우

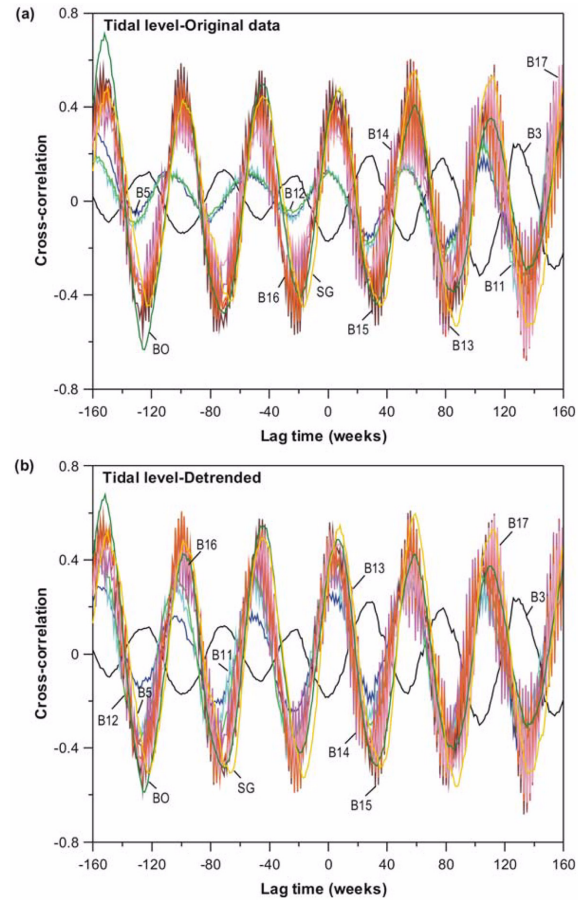


Fig. 10. Functions of (a) cross-correlation of Original data weekly measured water levels and (b) cross-correlation of detrended data weekly measured water levels with tidal level.

최대 교차상관값의 평균은 A그룹이 0.3075, B그룹이 0.5271로 0.2196의 차를 보였다. 즉 강수량과 조수위에 대한 최대 교차상관값의 경우 변동경향성을 제거했을 때 그 값의 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다. 이는 계절적인 변동성을 보이는 조수위와는 다르게 A, B그룹 모두 불규칙한 변동을 보이기 때문이다.

4. 결 론

변동경향성 제거 전후의 수리지질학적 시계열분석 결과를 비교하기 위하여 일일 측정 자료(LPG 지하 저장공동 유출수량, 조수위, 강수량)와 주간 측정 자료(지하수위)를 이용하여 자기상관분석과 스펙트럼 밀도분석 그리고 교차상관분석을 실시하였다. 그 결과 자기상관함수와 스펙트럼 밀도함수 부분에서 장주기를 가지는 함수에서는 변동경향성 제거 전후에서 명확한 변화가 나타났으며 단주기

를 가지는 함수에서는 비교적 차이가 작았다. 교차상관분석의 경우에는 변동경향성 제거 전후 상대적으로 장주기를 가지는 자료의 최대 교차상관값이 증가하는 효과가 있었으나 단주기를 가지는 자료는 최대 교차상관값이 거의 변화하지 않았다. 즉 변동경향성을 제거하면 결과해석에는 큰 차이를 보이지 않지만 상대적으로 장주기를 가지는 자료에 대해서는 좀 더 명확한 결과 해석이 가능하다. 하지만 시계열분석에서 변동경향성을 제거하는 것은 시계열 분석을 실시하는 연구자의 목적에 따라 선택하여 실시하는 것이 바람직하다. 예를 들면 단순히 수위나 수온 등과 같은 변동양상을 파악하고 비교하기 위한 목적의 시계열분석에서는 변동경향성 제거를 실시해야 한다. 반면 장기적인 주기성이나 계절적인 변동성과 같은 일정한 주기성을 파악하기 위한 것이라면 변동경향성을 제거하지 않아야 정확한 결과해석이 가능할 것이다. 그렇기 때문에 변동경향성 제거는 각 자료의 주기성, 자기상관성, 상호상관성이 갖는 의미를 이해하고 연구하고자 하는 목적에 따라 선택하여 실시해야 한다.

사 사

본 논문은 환경부 “토양지하수오염방지기술개발사업(173-092-010)”에서 지원받았으며 이에 감사드립니다. 좋은 심사의견을 주신 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

이봉주, 문상호, 2008, 시계열 및 요인분석을 이용한 해수침투 특성 평가: 서천-군산지역, 지질학회지, **44**(2), 219-232.
 이봉주, 황세호, 2008, 지하수위 변동 특성에 근거한 해수침투 특성 평가: 영광 백수지역, 지질학회지, **44**(2), 233-240.
 이진용, 이강근, 2002, 강우에 대한 지하수위 반응양상 비교분석: 강원도 원주지역과 경기도 의왕지역, 지하수토양환경, **7**(1), 3-14.
 정지민, 박유철, 조윤주, 이진용, 2010, 강원도 춘천시 천전리 지하수위 변동자료의 시계열 분석, 지질학회지, **46**(2), 171-176.
 지오그린21, 2006, 인천기지 PUMP 고장원인 조사를 위한 이물질 생성원인 분석, 주식회사 E1, p. 104.
 최위찬, 김규봉, 최성자, 윤욱, 진명식, 1995, 김포-인천도폭 지질 조사보고서(축척 1:50,000), 자원개발연구소, p. 34.
 하규철, 고경석, 고동찬, 임병우, 이강근, 2006, 시계열 분석을 이

용한 하천수위에 따른 다심도 관정의 지하수위 변동해석, 자원환경지질, **39**(3), 269-284.

한충용, 강주명, 1997, LPG 지하저장기지 수평 수벽공의 콜로깅 현상 발생시 지하수위 및 주입수량 심출 수량의 변화양상에 관한 실험적 연구, 한국가스학회지, **1**, 101-105.

Davis, J.C., 1986, Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, New York, p. 646.

Hanson, R.T., Newhouse, M.W., and Dettinger, M.D., 2004, A methodology to assess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States, *J. Hydrol.*, **287**, 252-269.

Hu, K., Ivanov, P. C., Chen, Z., Carpena, P., and Stanley, H. E., 2001, Effect of trends on detrended fluctuation analysis, *Phys. Rev.*, **64**(011114), 1-19.

Jo, Y.J. and Lee, J.Y., 2010, Time series analysis of hydrologic data obtained from a man-made undersea LPG cavern, *Eng. Geol.*, **113**, 70-80.

Ko, K.S., Chang, H.W., Kim, T., and Lee, K.K., 2002, Factors affecting the groundwater system around an underground LPG storage cavern, *Quarterly J. Eng. Geol. Hydrogeol.*, **35**, 279-290.

Larocque, M., Mangin, A., Razack, M., and Banton, O., 1998, Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer(Charente, France), *J. Hydrol.*, **5**, 218-231.

Lee, J., Kim, R.H., and Chang, H.W., 2003, Interaction between groundwater quality and hydraulic head in an area around an underground LPG storage cavern, Korea, *Environ. Geol.*, **43**, 901-912.

Lee, J.Y., and Cho, B.W., 2008, Submarine groundwater discharge into the coast revealed by water chemistry of man-made undersea liquified petroleum gas cavern, *J. Hydrol.*, **360**, 195-206.

Li, Z. and Zhang, Y.K., 2007, Quantifying fractal dynamics of groundwater systems with detrended fluctuation analysis, *J. Hydrol.*, **336**, 139-146.

Matsoukas, C., Islam, S., and Rodriguez-Iturbe, I., 2000, Detrended fluctuation analysis of rainfall and stream flow time series, *J. Geophys. Res.*, **105**(D23), 29, 165-129.

Molénat, J., Davy, P., Gascuel-Oudou, C., and Durand, P., 1999, Study of three subsurface hydrologic systems based on spectral and cross-spectral analysis of time series, *J. Hydrol.*, **222**, 152-164.