ISSN (Print) 1226-5268 ISSNS (Online) 2287-7169
The Journal of Engineering Geology, Vol.27, No.4, December, 2017, pp. 367-376
https://doi.org/10.9720/kseg.2017.4.367

# 공간통계분석을 이용한 지질구조선 자동화 알고리즘 연구

권오일[1] · 김우석[1]* · 김진환[2] · 김교원[3]

[1]한국건설기술연구원 지반연구소
[2]한국건설기술연구원 복합재난대응연구단
[3]경북대학교 자연과학대학 지구시스템과학부

# A Study on the Automation Algorithm to Identify the Geological Lineament using Spatial Statistical Analysis

**O-Il Kwon[1], Woo-Seok Kim[1]*, Jin-Hwan Kim[2], and Gyo-Won Kim[3]**

[1]Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea
[2]Multi Disaster Countermeasures Organization, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea
[3]School of Earth System Science, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Korea

Received 25 September 2017; received in revised form 28 November 2017; accepted 1 December 2017

최근 전 세계적으로 해저터널 건설이 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서도 본토와 제주도를 연결하기 위한 해저터널 건설에 관심이 집중되고 있다. 해저터널의 안전한 건설을 위해서는 설계 및 시공 단계에서 단층과 같은 지질구조의 파악이 매우 중요하다. 그러나 해저터널의 경우 육상터널과는 다르게 지반조사의 한계로 인하여 지질구조의 분포에 대한 정보를 취득하는데 어려움이 있다. 본 연구의 목적은 지구통계학적 방법을 이용하여 해저지반에 발달하는 대규모 지질구조를 자동으로 도출하는 알고리즘을 개발하는 것이다. 본 연구에서 가장 중요한 것은 최적 이동창의 크기, 최적 공간통계량 종류, 최적 백분위수 기준의 결정이다. 최종적으로 도출된 최적 분석 알고리즘으로 R을 이용하여 사용자 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램은 다양한 공간통계량의 변화를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 공간통계량의 종류와 백분위 기준을 손쉽게 지정할 수 있도록 하여 공간통계량의 변화에 따른 지질구조 분석을 용이하게 하였다. 따라서, 지질구조선 도출 알고리즘에서 공간통계량은 이동분산값, 분위수 기준은 상위 10%, 이동창의 크기는 3 × 3 일 때 대규모 지질구조선의 선형적인 형태가 시각적으로 가장 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히 분위수 기준을 상위 0.5%로 할 경우 등고선 그림에서 오류값들이 거의 제거가 되는 양상을 보여준다.

**주요어:** 지질구조, 해저터널, 공간통계, 자동화 도출

Recently, tunneling under the seabed is becoming increasingly common in many countries. In Korea, there are proposals to tunnel from the mainland to Jeju Island. Safe construction requires geologic structures such as faults to be characterized during the design and construction phase; however, unlike on land, such structures are difficult to survey seabed. This study aims to develop an algorithm that uses geostatistics to automatically derive large-scale geological structures on the seabed. The most important considerations in this method are the optimal size of the moving window, the optimal type of spatial statistics, and determination of the optimal percentile standard. Finally, the optimal analysis algorithm was developed using the R program, which comprehensibly presents variations in spatial statistics. The program allows the type and percentile standard of spatial statistics to be specified by the user, thus enabling an analysis of the geological structure according to variations in spatial statistics. The geotechnical defense-training algorithm shows that a large, linear geological lineament is best visualized using a 3 × 3 moving window and a 10% upper standard based on the moving variance value and fractile. In particular, setting the fractile criterion to the upper 0.5% almost entirely eliminates the error values from the contour image.

**Key words:** geological structure, subsea tunnel, spatial statistics, automation method

*Corresponding author:
ⓒ 2017, The Korean Society of Engineering Geology
*This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons. org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.*

## 서 론

최근 전세계적으로 해저터널 건설이 활발하게 진행되고 있으며, 국내에서도 한국본토와 중국(산둥반도), 일본(큐슈섬) 등 바다를 사이에 둔 인접 국가와의 연결에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 국내 본토와 제주도를 연결하는 국내 해저터널 건설에도 관심이 집중되고 있다. 이러한 해저터널 건설을 위해서는 설계 및 시공 단계에서 지질 및 지반 특성의 파악이 매우 중요하다. 이러한 지질 및 지반 특성을 파악하는 부분 중에서도 단층과 같은 지질구조선 구조의 분포를 파악하는 것이 매우 중요하지만 대심도 해저터널의 경우 육상터널과는 다르게 지반조사의 한계로 인하여 지질구조의 분포에 대한 정보를 취득하는데 어려움이 있다. 육상지역의 경우 선구조 분석 기법을 적용한 연구는 1990년대부터 다수 수행되어 왔었다(Kang et al., 1991; Kim et al., 1996; Han et al., 2006). 또한 Lasndsat TM 자료를 이용하여 자동 선구조 추출 알고리즘을 통한 선구조 분석도 일부 수행된 적이 있다(Kim et al., 1999). 하지만, 국내·외적으로 공간통계 분석을 통한 지질구조선 자동추출기법에 관한 연구를 한 경우는 드물다.

본 연구에서는 대심도 해저지반의 지질조사 한계를 극복하기 위하여, 공간통계학적 방법을 이용하여 해저지반에서 발달하는 대규모 지질구조선을 자동으로 도출하는 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘 개발을 위하여 음향측심 및 해저 수치지형 데이터를 이용하여 얻을 수 있는 지형정보와 지형의 선형적인 발달 특성이 지질구조를 반영한다는 구조지질학 이론을 배경으로 공간통계학적 분석 기법을 적용하였다.

## 지질구조선 도출 알고리즘

지질구조선 도출 알고리즘을 개발하기 위하여 지구통계학(geostatistics) 또는 공간통계학(spatial statistics) 분야에서 사용하는 공간자료에 대한 탐색적 자료분석(Exploratory Data Analysis, 이하 EDA) 기법을 적용하였다. 수치지형도 자료에 대해 그 특징을 나타낼 수 있는 다양한 중심측도와 산포 관련 통계량을 이동창(moving windows)에 적용하여, 지질구조선과의 연관성을 도출하였다. 또한 모의실험을 통해 수치지형도의 격자크기와 함께 이동창의 크기를 최적화하였다. 제안된 최적 알고리즘을 통계분석도구인 R (R-program 및 R-Studio program)을 이용하여 자동화 모듈로 구현하였다(Verzani, 2005). 본 지질구조선 도출을 위한 알고리즘의 기본적인 개념은 Isaaks and Srivastava (1989)가 제시한 예시를 인용하여 단계별로 정리하면 다음과 같다. 첫째, 음향측심 데이터를 활용하여 해저지형을 등간격 격자 형태의 데이터로 변환한다. 둘째, 격자 형태의 데이터를 최적 크기의 이동창으로 만들어, 해당 영역 데이터를 대상으로 공간통계량을 산출한다. 셋째, 공간통계량의 백분위수 기준을 설정하고, 기준에 해당하는 값들만 지도에 표출함으로써 지질구조를 시각화한다. 넷째, 지도상에 시각화된 지질구조 도출 정보를 활용하여 최종적으로 지질구조의 발달을 확정하고 해당 정보를 출력한다. 연구 절차를 구체적으로 기술하면 다음과 같다(Fig. 1).

(1) Step 1 : 다양한 격자별 등고선 정보 추출

수치지형도 또는 등고선지도(contour map)를 격자(grid)로 나누어 위도, 경도와 함께 등고선 값을 수치로 제공한다. 이

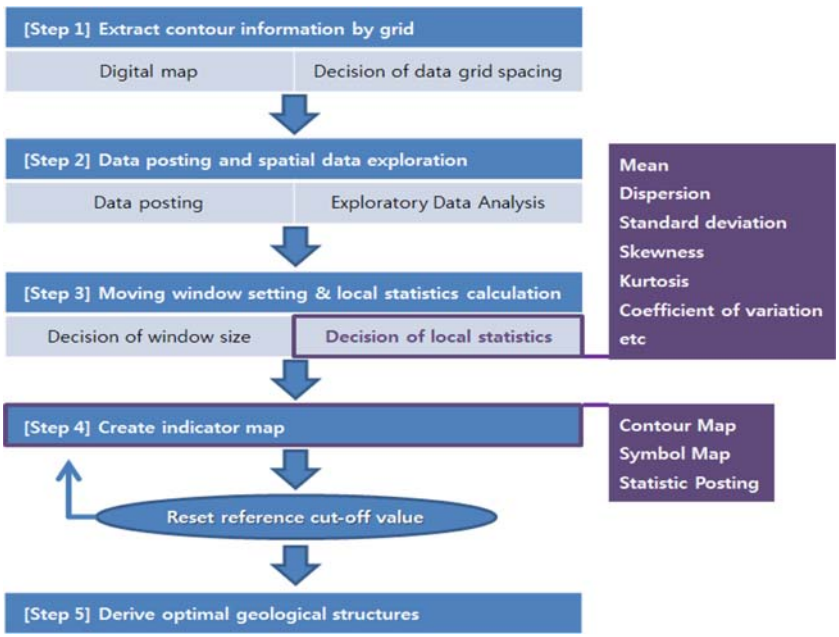
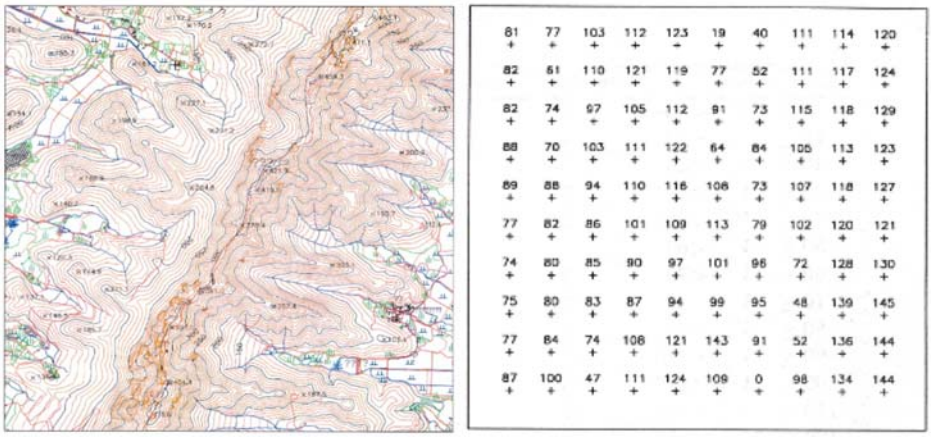
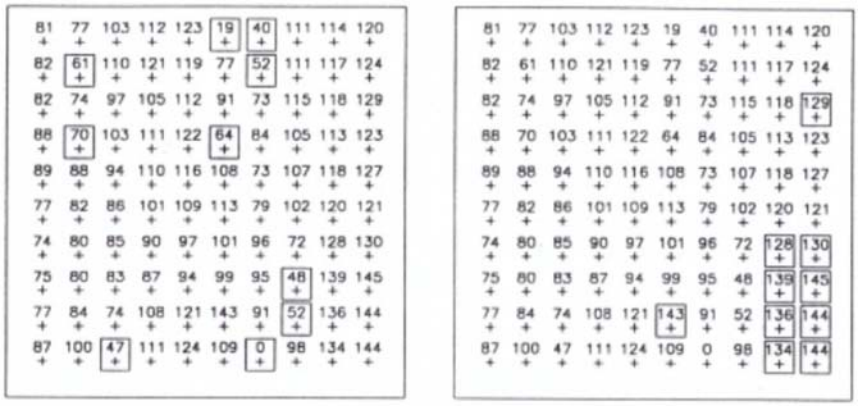



**Fig. 1.** Elicitation procedures for analyses of geological structural lineaments.




(a) Contour data (b) Data posting

**Fig. 2.** Sample contour data and data posting.




(a) Minimum values (b) Maximum values

**Fig. 3.** Minimum and maximum values of sample posted data.

때, 격자의 간격은 10 m, 20 m, 50 m 단위로 제공한다.

(2) Step 2-1 : 데이터 포스팅과 공간자료 탐색

공간 자료에 대한 이해를 위해 격자형 공간 위치상에 자료(등고선)값을 posting 한다. Fig. 2-(a)는 해당지역의 수치지형도이고, Fig. 2-(b)는 등고선값을 공간상에 포스팅한 것이다. 데이터 포스팅은 공간자료를 분석하는데 있어 매우 중요한 단계이다. 이 과정은 데이터의 위치가 잘못되었거나, 데이터에 오류가 포함되었는지의 여부를 파악할 수 있게 한다. 또한 큰 값으로 둘러싸인 작은 값과 그 반대의 경우에 대한 탐색을 수행할 수 있다.

Fig. 3은 최댓값과 최소값을 포스팅된 데이터에 표시한 것이다. Fig. 3-(a)로부터 북-남(north-south)에 위치한 데이터 값의 골(trough)을 발견할 수 있고, Fig. 3-(b)로부터 남동쪽(southeast)에 큰 값이 위치함을 알 수 있다. 이러한 자료에 대한 탐색은 자료에 대한 이해를 도와주며 이후 분석을 올바르게 수행하는데 큰 도움이 된다.

(3) Step 2-2 : 탐색적 자료분석(EDA)

포스팅된 자료에 대한 탐색을 위해 히스토그램(또는 도수분포표), 상자그림(box plot), 정규확률 그림(normal probability plot)등을 그려본다. 아울러 여러 가지 기술통계량으로 자료를 요약한다.

(4) Step 3 : 이동창(moving window) 설정과 국소 통계량 산출

이동창(moving window) 개념을 적용하여 각 창의 데이터로부터 다양한 형태의 국소 통계량(local statistics) 값을 구한다. 예를 들어, 국소통계량으로는 국소 평균(local mean)과 국소 표준편차(local standard deviation) 등을 고려한다. 국소 평균은 공간 자료의 증감에 대한 패턴을 파악하는데 도움이 되고, 국소 표준편차는 공간 연속성(spatial continuity)을

파악하는데 매우 중요한 통계량으로 사용된다. 본 연구에서는 평균과 표준편차 뿐 아니라 다양한 국소 통계량을 구하여 분석하였다.지질구조선 파악을 위해 어떠한 국소 통계량을 사용하는 것이 가장 효율적인가를 찾아내는 것은, 격자의 수준을 정하는 문제와 함께 본 연구의 핵심주제이기도 한다. 많은 양의 모의실험을 통해 최적의 국소 통계량을 제안하고자 한다.

(5) Step 4 : Indicator 맵 작성

앞서 Step 3에서 구한 다양한 국소 통계량 값을 지도상에 맵핑한다. 이 때, 한 유형의 국소 통계량만을 사용할 수도 있으나, 여러 국소 통계량의 정보를 결합하여 지도상에 맵핑할 수도 있다. 예를 들어, 표준편차가 큰 지역을 강조하여 표현하되, 평균고도가 높은 지역은 Indicator 맵에서 제외할 수 있다. 특정 국소 통계량을 사용하여 Indicator 맵을 그릴 때, 다양한 기준값(cut-off)를 적용하는 것은 최적의 지질구조선을 도출하는데 매우 중요하다. 따라서 기준값을 다양하게 변화시키면서 특정통계량에 대한 Indicator 맵을 작성한다. 따라서 Step 4는 다양한 기준값을 적용하여 반복적으로 수행한다.

(6) Step 5 : 최적 지질구조선 도출

국소통계량에 다양한 기준값을 적용하여 Indicator맵을 작성한다. 맵핑된 결과를 통해 최적의 지질구조선을 도출한다. 다양한 기준값에 따라 Indicator 맵의 변화를 확인하여야 한다. 국소 통계량의 기준값이 커지거나 작아짐에 따라 지질구조선의 형태가 달라지는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 기준값을 가장 낮게 적용할 경우 어떠한 특징도 보이지 않을 수도 있고, 어떠한 경우에는 국소 최대값(local maximum)을 적용할 때 특정 방향으로 지질구조선의 경향을 보일 수 있다(Fig. 4). Fig. 4에서는 (g) □V < 105 ppm, ■V ≥ 105 ppm 이상일 때 선적 경향이 보인다.

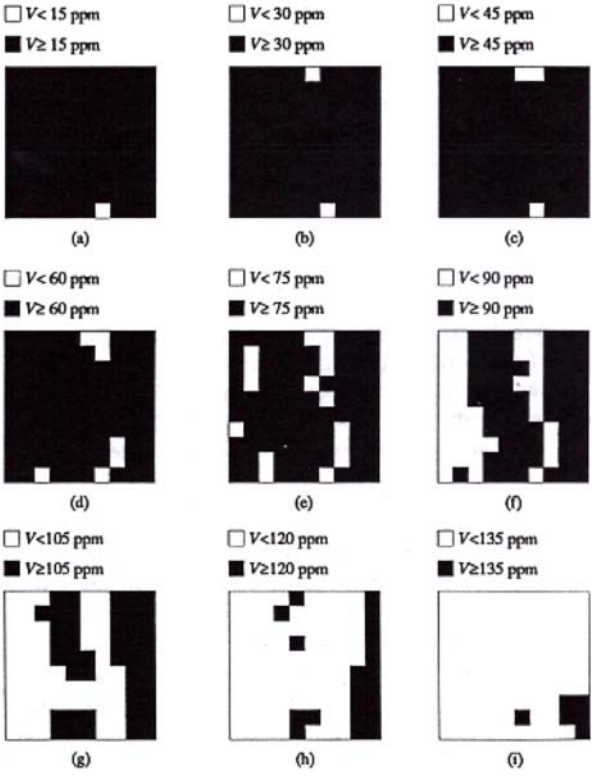



**Fig. 4.** Changes in the shape of geological structural lineaments according to various reference values.

본 연구에서의 관심사인 지질구조선의 경우에도 잘 고안된 국소 통계량에 대해, 적절한 기준값을 적용하여 Indicator 맵을 작성한다면 원하는 지질구조선을 매우 쉽게 찾을 수 있을 것으로 기대한다. Fig. 5은 실제의 자료(1×1 $m^2$의 78,000개의 격자 자료)를 이용하여 Indicator 맵을 작성한 예를 보여주며, 기준값의 변화에 따라 지질구조선이 달라짐을 확인할 수 있다.

## 공간통계학적 분석 기법의 이론적 배경

본 연구에서 공간통계학적 분석을 위하여, Step 3에서 다루어질 국소 통계량의 유형은 매우 다양하다(French et al., 1995; Choi, 2013; Na, 2016). 이들은 공간 자료에 대한 요약 통계량으로 크게 다음의 범주로 나누어진다.

- 위치측도(measure of location): 평균, 중앙값, 최빈값, 최솟값, 최댓값, 제1사분위수, 제3사분위수, 백분위수, 분위수
- 산포측도(measure of spread): 범위, 분산, 표준편차, 사분위수범위(Interquartile Range, IQR)
- 형태측도(measure of shape): 왜도, 첨도, 변동계수(Coefficient of Variation, CV)

이들 통계량에 대한 이론적 배경은 다음과 같이 설명할 수 있다. 먼저 위치측도 (measure of location) 측면에서 평균 $m$은 데이터의 산술평균으로 다음과 같다.

$$m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1}$$

중앙값 $M$은 자료가 오름차순으로 정렬되어 있을 때, 중앙에 위치하는 값이다. 자료의 반은 중앙값보다 작으며, 나머지 반은 중앙값보다 크다. 자료가 $x_1 \le x_2 \le \cdots \le x_n$으로 정렬되어 있을 때, 중앙값은 다음과 같이 계산된다.

$$M = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}} & \text{if } n \text{ is odd} \\ \left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}\right)/2 & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \tag{2}$$

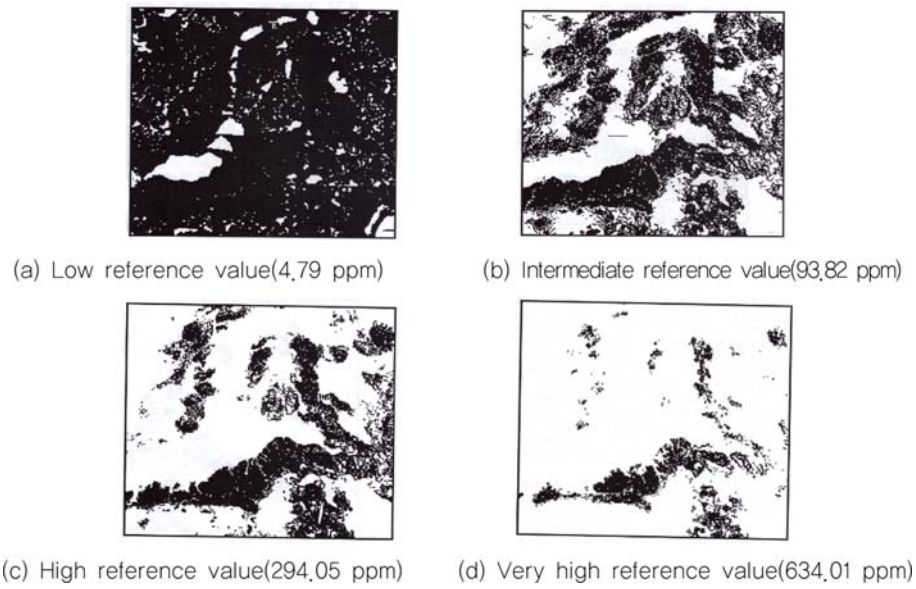



**Fig. 5.** Change in the indicator map according to the reference value.

최빈값은 가장 빈번히 발생하는 자료값이다. 히스토그램에서 막대의 길이가 가장 긴 계급은 최빈값의 위치에 대한 정보를 제공해 주며, 데이터들 중 가장 작은값과 큰값을 각각 최소값과 최대값이라 한다. 제1사분위수과 제3사분위수는 중앙값이 자료를 이등분하는 것과 마찬가지로, 자료를 사등분하는 점을 제1사분위수($Q_1$), 제3사분위수($Q_3$) 라고 한다. 자료가 오름차순으로 배열되어 있을 때, 자료의 1/4은 제1사분위수보다 작고, 자료의 1/4은 제3사분위수보다 크다. 자료를 중앙값을 통해 이등분하거나 사분위수를 통해 사등분하는 것은 보다 확장될 수 있으며, 이를 백분위수(percentiles)라 한다. 예를 들어, 자료의 하위 10% 지점의 값은 제 10번째 백분위수에 해당된다. 중앙값은 제 50번째 백분위수와 동일하다.

산포측도(measure of spread) 측면에서 분산 $\sigma^2$은 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^2 \tag{3}$$

이 값은 관측치가 그들의 평균으로부터의 떨어진 제곱량의 평균값이다. 분산은 제곱량을 계산하므로 이상치에 민감하다. 표준편차 $\sigma$는 분산의 제곱근을 취한 값이다. 표준편차는 관측된 자료의 단위와 동일한 이유로 종종 분산을 대신하여 사용되며, 분위수 범위는 자료의 산포를 나타내는 다른 측도로 사분위수 범위(Inter-quartile Range, 이하 *IQR*)가 있다 사분위수 범위는 제3사분위수와 제1사분위수간의 차이로 다음과 같이 정의된다.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \tag{4}$$

분산 및 표준편차와는 달리 *IQR*은 분포의 중심으로 평균을 사용하지 않으며, 따라서 소수의 자료가 평균에 영향을 크게 미치는 경우에 종종 선호된다.

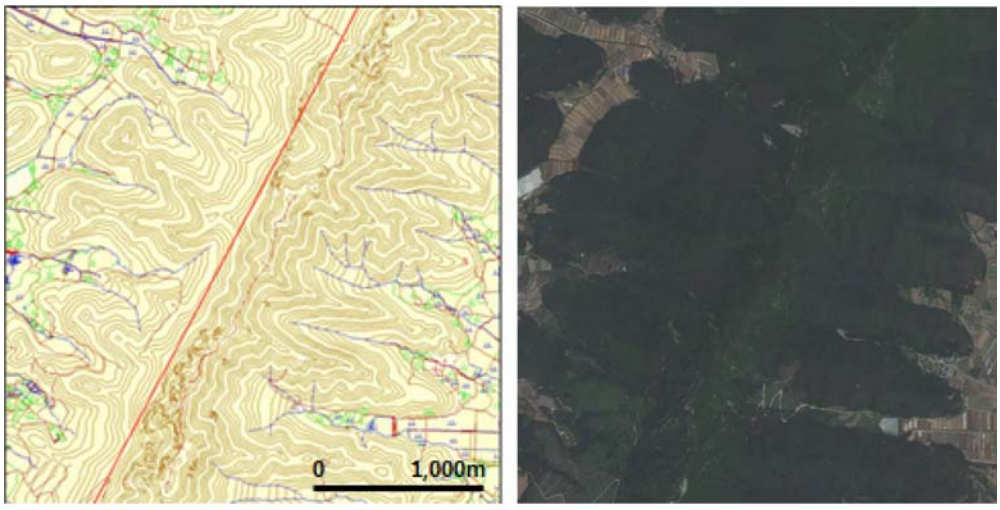
형태측도(measure of shape) 측면에서 왜도 계수는 앞서 소개한 측도들이 반영하지 못하는 히스토그램의 특징 가운데 하나는 대칭성(symmetry)이다. 왜도 계수(coefficient of skewness)는 대칭성을 요약하는 대표적인 측도로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{coefficient of skewness} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^3}{\sigma^3} \tag{5}$$

위 식의 분자는 자료값과 평균 간의 차이의 세제곱한 값의 평균이며, 분모는 표준편차를 세제곱한 값이다. 왜도계수는 평균과 분산 보다 이상치 자료에 더 크게 영향을 받는다. 왜도계수는 자료값과 평균과의 차이에 대해 세제곱을 취하여 구해지므로, 한 개의 큰값이 크게 영향을 미칠 수 있다. 첨도(kurtosis)는 자료의 꼬리부분의 두터움을 나타내는 측도로 다음과 같이 정의 된다.

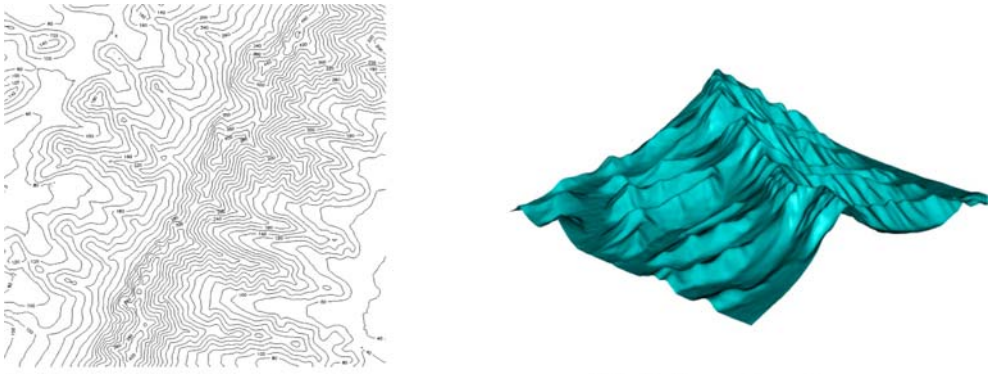
$$\text{kurtosis} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^4}{\sigma^4} \tag{6}$$

자료에 이상치가 다수 포함되어 있다면 첨도의 값은 상대적으로 큰 값을 가지게 된다. 또한, 변동계수 *CV*는 분포의 형태를 묘사하는 측도로 왜도계수에 대한 대안으로 종종 사용되며, 다음과 같이 정의된다.




(a) Topographic map (b) satellite image

**Fig. 6.** Topographic and satellite image for algorithm application.



(a) Topographic contour map (b) 3-D contour image

**Fig. 7.** Contour map compiled by contour extraction.

$$CV = \frac{\sigma}{m} \quad (7)$$

변동계수는 평균의 차이가 큰 두 집단의 산포를 비교하거나, 단위가 다른 두 집단 간의 산포를 비교할 때 유용하게 사용되는 산포의 측도로도 유용하게 사용된다고 볼 수 있다.

## 알고리즘 적용 및 검증

도출된 알고리즘에 대한 분석단계를 검증하기 위한 시범 분석 대상으로 해남지역을 선정하였다. 선정된 지역의 지형도 상에 해당 지역의 지질도를 참조하여 학문적으로 확인된 지질구조선을 표시하였으며(Fig. 6), 선행 연구에서 도출한 선구조 추출 요소별로 분석을 수행하였다(Kwon et al., 2014).

분석 결과 중에서 대표적으로 등고선 밀도차에 의한 선구조 추출 요소에 대한 결과를 기술하면 다음과 같다. 우선 해당 지질구조선이 발달하는 구역을 실측거리 가로 3,000 (m) × 세로 3,000 (m) 영역으로 한정하여 탐색하였다. 데이터 포스팅을 위하여 해당 지역의 등고선 정보만을 추출하고 (Fig. 7-(a)), 이를 이용하여 입체 등고선도로 표현하면 다음과 같다(Fig. 7-(b)). 해당 지역의 지형특징을 파악하기 위해 기본적인 탐색적 분석(EDA)을 실시하였다.

가로, 세로 50 m 단위의 격자 데이터(등고선 자료)에서 5 × 5 크기 이동창의 이동평균 및 이동분산을 산출하여 기본적인 탐색적 분석을 실시하였으며, 다음으로 가로, 세로 10 m 단위의 격자 데이터에서 5 × 5 크기 이동창의 이동평균과 이동분산 값을 분석하였다. Fig. 8에서 (a)는 이동평균의 상위 10% 지점을 붉은색으로 나타낸 것이며, (b)는 하위 10%를 푸른색으로 나타낸 것이다. 또한 Fig. 9에서 (a)는 이동분산의 상위 10% 지점을 붉은색으로 나타낸 것이며, (b)는 하위 10%를 푸른색으로 나타낸 것이다.

다음 단계로, 실제 공간 통계량을 이용한 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 가로와 세로가 각각 3,000(m)인 영역을 대상으로 지형도 데이터를 10(m) × 10(m) 단위의 격자점

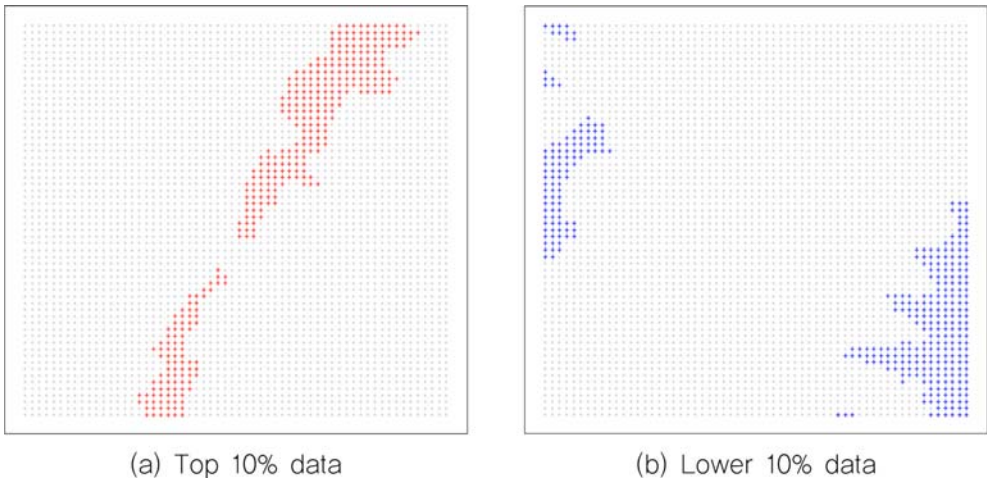



**Fig. 8.** Moving average search result (data grid spacing 10 m posting).

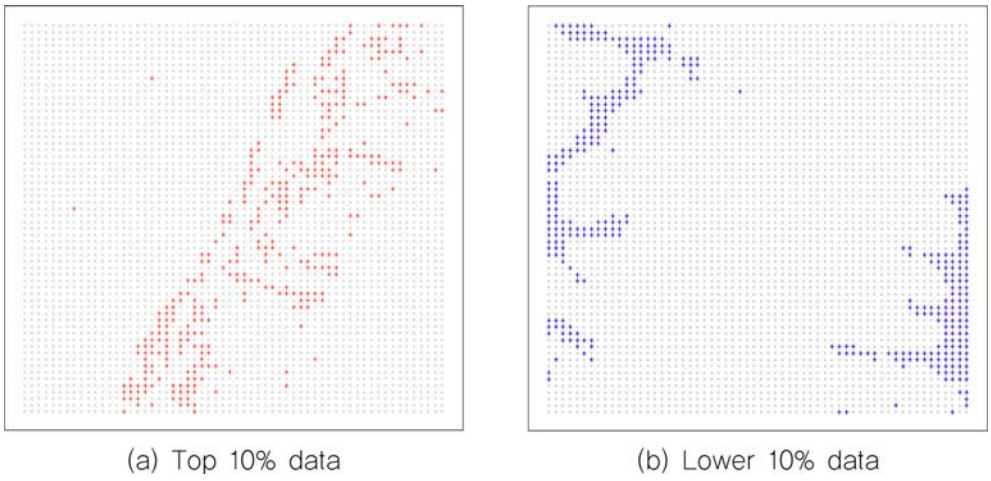



**Fig. 9.** Moving dispersal search results (data grid spacing 10 m posting).

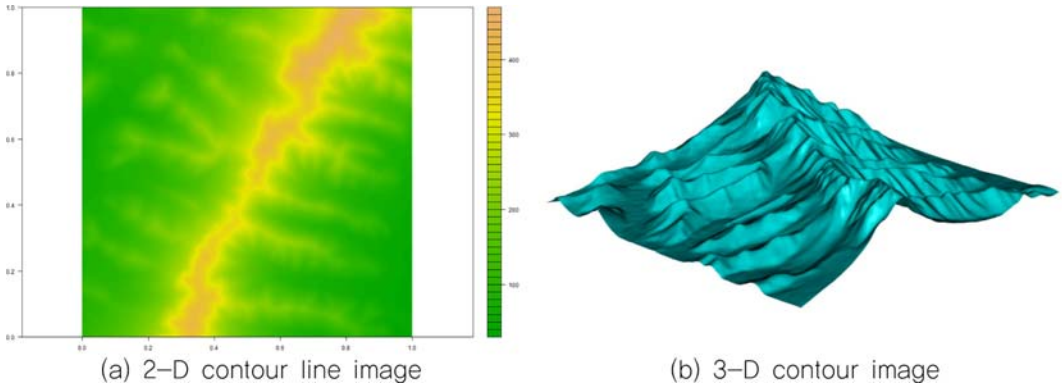



**Fig. 10.** Contour plot of the moving average.

에서 제공된 등고선 평균값 자료에 대해 겹친 이동창을 이용하여 여러 가지 공간통계량(이동평균, 이동분산, 이동 변동계수)을 구하였다. 이동창의 크기는 3×3으로 설정하였다. Fig. 10은 이동평균 값을 산출하여 그 결과로 나타낸 등고선 그림으로 고도에 대한 정보를 잘 나타내고 있다.

Fig. 11은 이동분산 값을 산출하여 그 결과로 나타낸 등고선 그림으로 고도의 분산이 큰 지점을 잘 나타내고 있다. 고도의 분산이 큰 지점이 연결되어 선으로 나타나는 경우

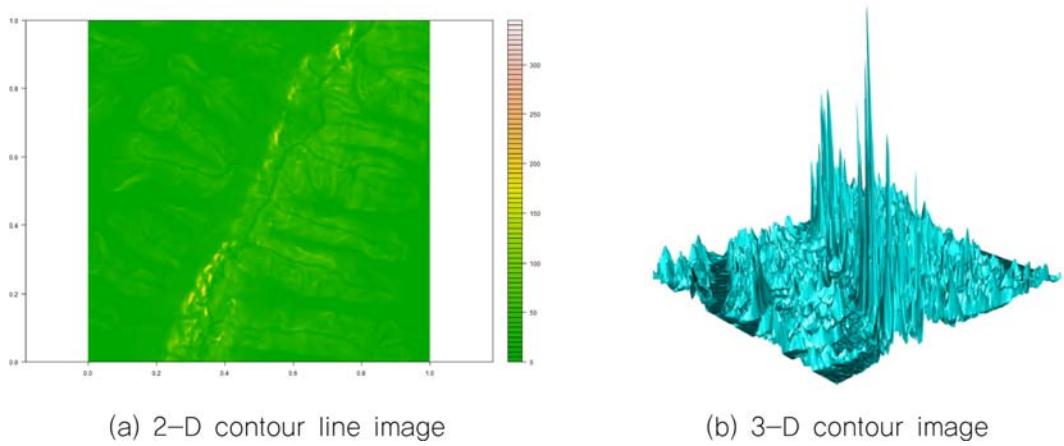



**Fig. 11.** Contour plot of the moving dispersion.

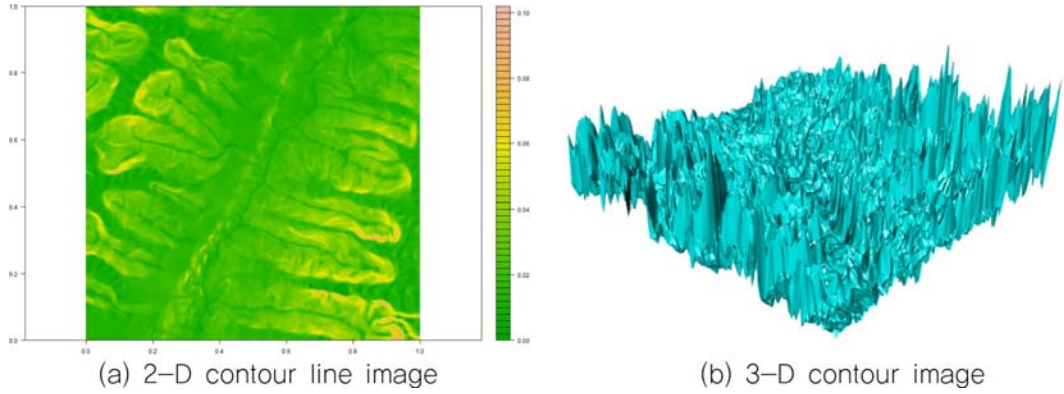



**Fig. 12.** Contour plot of the moving coefficient of variation.

지질구조선(geological lineament)의 현상으로 해석할 수 있다. 또한, Fig. 12과 같이 이동 변동계수 값을 이용하여 나타낸 등고선의 경우 낮은 지역에서 경사가 완만하게 시작되는 부분에서 변동계수가 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 변동계수가 큰 값의 윤곽이 대칭적인 배열로 선적인 형태로 띄면 지질구조선으로 판단할 수 있다.

Fig. 13의 경우, 이동분산 값들을 분위수(quantiles) 기준에 따라 그린 것이다. 분위수의 변화에 따라 구조지질선의 형태가 보다 잘 나타남을 확인할 수 있었다. 특히,분위수 기준 상위 10%일 때 대규모 지질구조선의 선형적인 형태가 시각적으로 가장 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 분위수 기준을 상위 0.5%로 할 경우(Fig. 13(i) 등고선 그림에서 오류값들이 거의 제거가 되는 양상을 보여준다.

## 결 론

지질구조선 도출 알고리즘의 적용 및 검증을 통하여, 이동분산 값들의 분위수 상위 0.5%에 해당하는 값으로 표현한 등고선 그림이 가장 지질구조선의 방향을 잘 나타내 주는 것으로 확인되었다. 이러한 결과를 다양한 배경 그림(지형, 위성사진 등)에 적용하면(Fig. 14), 추가적인 해석 또는 지질구조 파악 의사결정에 활용될 수 있다. 지질구조선의 유형은 매우 다양하므로, 그들의 특성에 맞는 탐지 알고리즘의 개발이 요구되며, 본 연구에서 사용된 공간통계학적 방법을 적용한다면 단순하면서도 성능이 뛰어난 지질구조선의 탐지가 가능할 것이다.

다만, 지질구조선의 특징에 따라, 이를 잘 반영할 수 있는 공간통계량의 개발이 추가적으로 요구되며, 본 연구에서 제시한 방법은 보다 넓은 지역에 대해 적용될 수 있도록 자동화 알고리즘을 일반화 한다고 볼 수 있다. 특히, 지상이 아닌 해저 지역의 경우에는 위성사진 등의 활용 등이 제한적이므로, 본 연구에서 제안한 등고선 정보만을 이용한 지질구조선 도출방법이 단순성, 효율성, 경제성 측면에서 뛰어난 방법이 될 수 있다. 또한, 해저지반을 대상으로 이용가능한 지질구조선 도출 알고리즘의 경우 육상터널의 지질구조선 조사결과의 비교분석, 기존 해저터널 건설시 이용되었던 지질정보를 활용한 역해석 등을 통하여 본 알고리즘의 신뢰도가 향상될 수 있도록 추가적으로 연구가 수행되어야

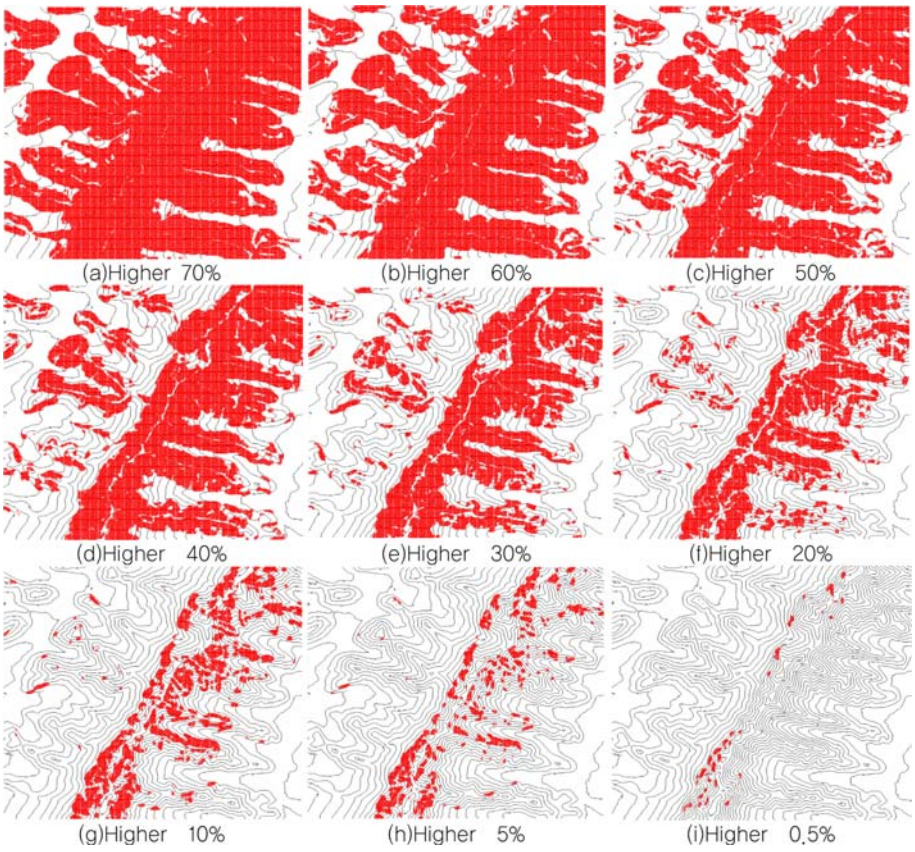



**Fig. 13.** Contour plot according to the size of moving dispersion.

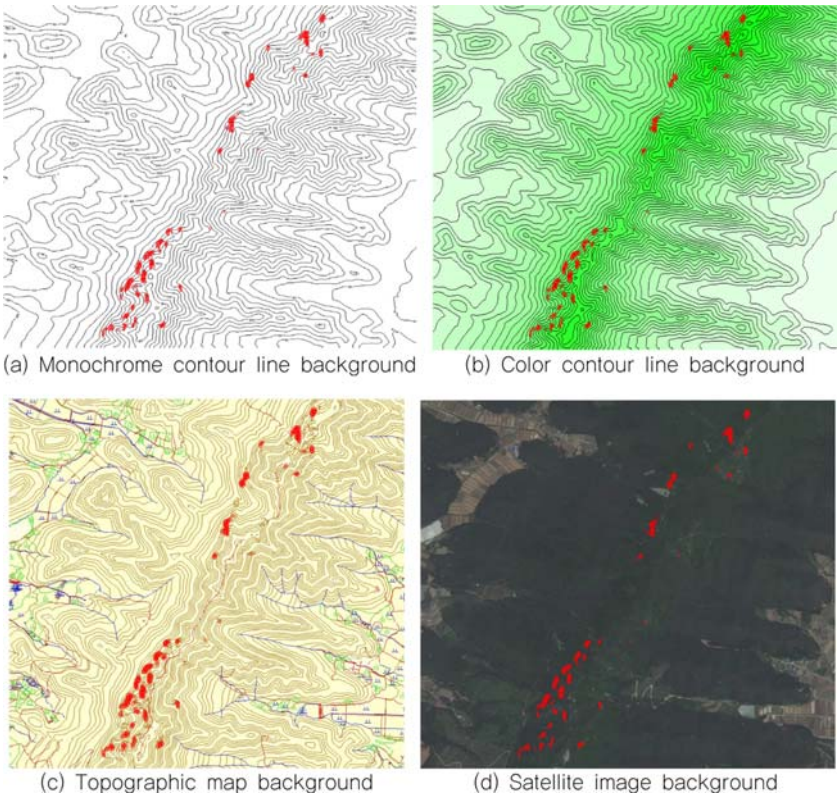



**Fig. 14.** Geological lineament image.

할 것이다.

마지막으로, 본 연구에서 가장 중요한 것은 최적 이동창의 크기, 최적 공간통계량 종류, 최적 백분위수 기준의 결정이다. 이상의 최적 기준을 결정하기 위하여 많은 양의 모의실험을 본 연구를 통하여 수행하였다. 최종적으로 도출된 최적 분석 알고리즘은 R을 이용하여 사용자 프로그램으로 구현하였다. R은 통계분석 도구 중에서 전 세계에서 가장 널리 사용되고 있는 상용 무료 소프트웨어이다. 개발한 프로그램은 다양한 공간통계량의 변화를 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 공간통계량의 종류와 백분위 기준을 손쉽게 지정할 수 있도록 하여 공간통계량의 변화에 따른 지질구조 분석을 용이하게 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부 건설교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발, 13건설연구T01)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## References

Choi, J. G., 2013, Geostatistics, Sigmapress, 436p.

French, J. R., Spencer, T., and Murray, A. L., 1995, Geostatistical Analysis of Sediment Deposition in Two Small Tidal Wetlands, Norfolk, U.K., 11(2), 308-321.

Han, K. B., Lee, B. G., Kim, H. K., and Kang, I. J., 2006, The lineament analysis study using remote sensing technique in the south-eastern of Korean Peninsula, Korean Society of Civil Engineers, KSCE 2006 Civil Expo & Conference, 4211-4214 (in Korean).

Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., 1989, Applied Geostatistics, Oxford University Press, 561p.

Kang, P. C., Cho, M. J., and Lee, B. J., 1991, Lineament and circular/arc structures on Landsat TM imagery, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 7(2), 96-111 (in Korean with English abstract).

Kim, S. W., Won, J. S., Kim, W. K., and Min, K. D., 1999, Lineament analysis in the Euiseong area using automatic lineament extraction algorithm, Economic and Environmental Geology, 32(1), 19-31 (in Korean with English abstract).

Kim, W. K., Won, J. S., and Kim, S. W., 1996, A technique assessing geological lineaments using remotely sensed data and DEM: Euiseong Area, Kyungsang Basin, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 12(2), 139-154 (in Korean with English abstract).

Kwon, O. I., Baek, Y., and Kim, J. H., 2014, Mapping Submarine Bathymetry and Geological Structure Using the Lineament Analysis Method, The Journal of Engineering Geology, 24(4), 455-461 (in Korean with English abstract).

Na, J. H., 2016, R visualization and statistical data analysis, Free academy, 245p (in Korean).

R-program for geostatistics data analysis, Retrieved from www.r-projrct.org.

R-Studio program for visualization and geostatistics analysis, Retrieved from www.rstudio.org.

Verzani, J., 2005, Using R for Introductory Statistics, Champman&Hall/CRC, 500p.

**권오일**
한국건설기술연구원 지반연구소
10223, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0512
Email: kwonoil@kict.re.kr

**김우석**
한국건설기술연구원 지반연구소
10223, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0519
Email: kws@kict.re.kr

**김진환**
한국건설기술연구원 복합재난대응연구단
10223, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0471
Email: thite@kict.re.kr

**김교원**
경북대학교 자연과학대학 지구시스템과학부
41566, 대구광역시 북구 대학로 80(산격동, 경북대학교)
Tel: 053-950-5357
Email: gyokim@knu.ac.kr