

지구통계학적 기법을 이용한 연약 지반 분포 추정

정진¹ · 장원일[†]

(원고접수일 : 2011년 8월 1일, 원고수정일 : 2011년 9월 15일, 심사완료일 : 2011년 11월 14일)

Estimation of Distribution of the Weak Soil Layer for Using Geostatistics

Jin Jeong¹ · Won-Il Jang[†]

요약 : 해상풍력발전단지 건설 시 기초지반이 해상 점성토층의 지반일 경우 플랜트 자체 하중의 영향과 풍력과 같은 외부 모멘트 영향으로 인해 침하 발생을 야기할 수 있기 때문에 연약지반 분포를 파악하는 것은 풍력플랜트 입지를 위해 매우 중요한 사항이다. 이러한 연약지반 분포를 파악하는 방법은 시추조사 방법이 가장 최적의 방법이지만, 현장의 여건이나 경제적 제약이 큰 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 현재 지구통계학적 방법을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 풍력 플랜트 설치를 가정한 해상 영역을 설정하여 지구통계학적 기법을 통하여 연약 지반층 두께 분포의 추정을 연구 수행하였다. 연약 지반층은 표준 관입시험치의 결과를 이용하여 구분하였으며, 지구통계학적 기법은 정규크리깅과 순차가우시안 시뮬레이션을 이용하여 결과를 비교하였다. 그 결과 비슷한 영역에서 최대 점성토의 두께를 가지는 영역이 나타남을 파악할 수 있었으며, 그 결과의 불확실성을 정량적으로 평가할 수 있었다.

주제어 : 지구통계학, 연약 지반, 정규 크리깅, 순차 가우시안 시뮬레이션

Abstract: When the offshore wind power plant is planned to construct, it is important for the wind farm site to figure out the distribution of the weak soil layers that might cause subsidence by the impact of the external moment from the wind plant's load and an oscillating wind load. Coring test is the optimistic method to figure out weak soil layers, but this method have some problem such as condition of the in-situ or economical limitation. In order to make up for the weak points in coring test, the researches using the geostatistics methods is actually done. In this study, setting a fixed coastal area that offshore wind plants construct firstly and Estimation of distribution on the thickness of the weak soil layer through the geostatistic method is conducted. The weak soil layer is sorted by result of the Standard penetration test, geostatistic method is used to ordinary kriging and sequential gaussian simulation and compared to both method's result. As a results of study, we found that both methods show similar estimations of deep weak soil layer and we could evaluate quantitatively the uncertainty of the result.

Key words: Geostatistics, Weak soil layers, Ordinary kriging, Sequential gaussian simulation

1. 서론

화석에너지로 인한 지구온난화 문제 대두 이후 풍력 발전 시장이 본격적인 성장기에 진입하고 있다. 이러한 풍력발전은 풍속, 소음, 경관 등의 문제

로 육상 풍력발전이 한계에 이룸에 따라 점차적으로 해상풍력에 많은 관심이 집중되고 있다. 해상은 육지에 비해 바람의 높이나 방향, 난류에 따른 풍속변화가 적은 특징을 가지며, 풍차에 대해서는 소

[†] 교신저자(한국대학교 에너지자원공학과, E-mail:jwy@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4438)

¹ 한국해양대학교 해양에너지자원공학과

음이 육상만큼 문제가 되지 않기 때문에 100m/sec를 초과하는 고속화와 대형화가 진행되고 있는 추세이다[1-2].

해상풍력발전의 개발에 있어서 가장 중요한 것 중 하나는 해상에 구조물을 설치하는 것이다. 해상 구조물의 기초는 육상기초와 달리 지반의 강도가 매우 약한 연약지반이며 시공 시 해저지반의 기초에서 침하가 발생할 수 있기 때문에 해저 지반의 환경을 파악하는 것은 매우 중요한 사항이 된다[3]. 대상 지반의 성질을 파악하는 데 가장 정확한 방법인 시추조사의 경우, 현장의 사정이나 비용 등의 문제로 충분한 시추가 이루어지지 못하는 경우가 많이 발생하게 된다. 따라서 이러한 미시추구간의 암반물성을 추정하기 위해서 최근 크리깅(Kriging)과 같은 지구통계학적 기법의 이용이 증가하고 있다[4]. 크리깅은 알고 있는 지점에서의 값을 기준으로 공간간의 거리의 상관성을 통해 미지의 지점의 값을 파악할 수 있는 매우 유용한 방법이지만 자료의 통계량과 공간구조를 유지할 수 없으며, 예측의 불확실성을 정량적으로 평가할 수 없는 단점을 갖고 있다. 이와는 달리 조건부 시뮬레이션(conditional simulation)은 주어진 자료의 평균과 분산을 유지하면서 자료를 생성해 내는 기법으로 주어진 자료의 공간적 상관관계가 반영되면서 자료의 불균질성을 묘사할 수 있는 기법이다. 또한 크리깅이 결정론적인 하나의 값만을 예측하는데 비해 조건부 시뮬레이션은 시뮬레이션을 수행할 때마다 다른 값을 생성해 내는 추계학적(stochastic)특성을 이용하여 예측 값의 불확실성을 정량화 할 수 있다[5].

이에 본 연구에서는 대규모 해상시추가 이루어진 현장을 선정하여, 해상풍력 발전 설비를 위한 경우를 가정하여 지반침하를 발생시킬 수 있는 연약지반 분포 추정을 지구통계학 방법 중에서 대표적으로 사용되고 있는 정규 크리깅(Ordinary Kriging)과 조건부 시뮬레이션인 순차 가우시안 시뮬레이션(Sequential Gaussian simulation, SGS)을 이용하여 추정 값을 비교하고 추계학적 불확실성을 고찰하였다. 추정의 변수로 사용된 지반요소로는 표준 관입 시험(Standard penetration test, SPT)의 N치를

이용하였으며, N치 10이하인 해상 점토층을 연약 지반으로 설정하여 수직 지반구간에서의 전체적인 연약 지반층의 두께와 기초 설계 지점인 표면으로부터 심도 20m 이상에서의 두께를 case연구로 설정하여 진행하였다.

2. 지구통계학

2.1 베리오그램

베리오그램은 일정한 거리에 있는 자료들의 유사성을 나타내는 척도로 식(1)과 같이 정의된다. 정의된 수식에서 알 수 있듯이 베리오그램은 일정 거리 h 만큼 떨어진 두 자료들 간의 차이를 제공하는 것의 기대 값이다. 따라서 거리가 가까우면 그 값들이 비슷하므로 베리오그램은 일반적으로 작게 나타나고 거리가 멀어질수록 그 값이 크게 나타난다.

$$2\gamma(h) = E[(z(x) - z(x+h))^2] \quad (1)$$

여기서 h 를 지연거리 또는 분리거리라 하며 두 자료 간에 떨어져 있는 거리를 말하며, $Z(x)$ 는 이미 알고 있는 2차원 공간좌표 상에서 분석하고자 하는 대상 변수 값을 의미하며, 코어링의 위치를 말한다. 편의상 베리오그램의 반에 해당하는 값을 반베리오그램(semivariogram)이라 하며 자기공분산과 매도그램 그리고 베리오그램은 모두 일정거리만큼 떨어진 공간자료들의 유사성을 나타내지만 계산의 편의상 또는 전통적으로 공간자료의 상관성 분석을 위해 반베리오그램을 많이 사용해 오고 있다. 분리거리 h 만큼 떨어진 자료수가 n 개 일 때, 반베리오그램은 식 (2)로 계산할 수 있다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \quad (2)$$

크리깅을 이용하여 미조사 구간의 자료 값을 예측하기 위해서는 모든 분리거리 h 에 대한 베리오그램 $\gamma(h)$ 가 필요하며, 이를 구하기 위해서는 실제 현장자료로부터 얻게 된 관심의 변수값으로 계산된 실험적 베리오그램을 베리오그램의 변동도를 수식적으로 표현할 수 있으며, 가장 잘 대표할 수

있는 이론적 베리오그램을 결정해야 한다. 일반적으로 이론적 베리오그램 모델로는 구형모델(spherical model), 지수모델(exponential model), 가우시안모델(gaussian model) 등이 가장 많이 사용된다. 따라서 베리오그램 모델은 실험적 베리오그램을 정확하게 나타내는 이론베리오그램의 모델을 선택하는 것이 매우 중요하며, 이론적 베리오그램을 구성하고 있는 너깃 C0, 문턱값(C+C0), 상관거리 a의 세 모수를 적절히 조합하여야 한다. 정의된 각 모수에 따른 구형모델, 지수모델, 가우시안모델은 각각 식 (3), (4), (5)로 계산할 수 있다.

$$\gamma(h) = C_0 + C[1.5 \frac{h}{a} - 0.5(\frac{h}{a})^3] \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-\frac{3h}{a})] \quad (4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C[1 - \exp(-\frac{3h^2}{a^2})] \quad (5)$$

2.2 크리깅

임의의 기지 값으로 부터 미지의 값을 추정할 경우 내삽법 및 외삽법을 사용하여 추정하는 방법이 기존에 널리 사용된 분석방법이다. 그러나 가중치나 최소자승법에 의한 기존 추정방법은 상호자료의 연관성이 무시된 채 독립적인 요소들을 취합하여 일정한 관계성을 구성하므로 이웃하는 점들간의 고유특성이 반영되지 않은 상태로 나타나게 된다. Kriging은 최선의 선형 불편 추정자(BLUE:best linear unbiased estimator)개념을 적용하는 통계분석 방법으로서 추정 값은 주변자료들의 선형조합에 따른 상관성으로부터 구해지는데, 오차의 분산이 최소화되고, 잔류오차가 0이 되는 추정자이다. 보통 대상지역내의 한 점 Z(x0)에 대한 미지의 참값 Z(x0)에 근접된 추정 값 $\bar{Z}(x_0)$ 는 주변의 n개의 기지 값들 Z(xi) i=1,2,3,,n을 사용하여 각 점들에게 배분된 가중치 Wi로부터 선형 조합하여 추정할 수 있으며, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, Z(xi)는 공간상에 분포하는 표본자료 값이고, Wi는 Z(xi)에 해당되는 가중치이며, $\bar{Z}(x_0)$ 는 크리깅에 의한 추정치를 의미한다.

$$\bar{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n W_i Z(x_i) \quad (6)$$

2.3 순차 가우시안 시뮬레이션

순차 시뮬레이션은 식 (7)과 같이 주어진 n개의 위치에서의 다변량 분포(multivariate distribution)함수를 n개의 단변량 조건부 분포(univariate distribution)함수의 곱으로 표현할 수 있다는 것에 기초한다[6].

$$\begin{aligned} & f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; z_1, z_2, \dots, z_n) \\ &= f(x_1; z_1) \times f(x_2; z_2 | z(x_1) = z_1) \times \dots \\ & \times f(x_n; z_n | z(x_n) = z_n, \alpha = 1, 2, \dots, n-1) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)에서 n은 자료의 개수이며, Zα는 위치 α에서의 값을 의미한다. 따라서 n개의 주어진 자료를 사용하여 하나의 확률변수 Z1을 생성하고, n개의 자료와 첫 번째 값(Z1)을 생성하고, n개의 자료와 첫 번째 값(Z1)을 모두 주어진 자료로 가정하여 두 번째 확률변수 Z2를 생성하며, 이와 같은 과정을 마지막 분포까지 반복하면 하나의 순차 시뮬레이션이 완료되는 것을 의미한다. 또한 이름에서 알 수 있듯이 주어진 자료가 정규분포를 따를 때 적용이 가능한 방법이다.

3. 현장 자료의 적용

3.1 현장자료 수집 및 분석

본 연구에서 부산시 OO부두에서 시행된 시추자료를 사용하였다. 실제 국내에서는 해상 풍력설치가 시행된 사례가 부족하며, 대부분의 해상 지질과 관련된 사업이 매립지 및 교각건설이 주를 이루고 있다. 이에 따라 매립토의 영향으로 인한 선행압밀이 충분히 진행되었거나, 시추의 형태가 선형성의 형태를 가짐에 따라 초기해양특성을 잘 보일 수 없다고 판단하여 비교적 장방형태의 광역적인 시추가 이루어진 영역을 연구의 대상으로 선정하였다. 또한 표본 집단의 수가 많을수록 모집단의 특성을 잘 구현할 수 있으므로 정확한 정규근사치를 확보하기 위해 주변 시추 사업 자료를 추가로 활용하였다. 연구에 수행된 시추공의 수는 총 41개이며, 연구 지역의 시추조사지역의 분포는 Fig.1과 같

다. 이 중 붉은 지점으로 표시된 구간은 시행시기가 다른 시추작업의 위치를 보여주고 있으며, 16개의 구역으로 나누었을 때 1번, 4번, 13번, 14번 구역에서의 시추자료는 존재하지 않아 변동리 영역에서의 정확성은 다른 영역보다 신뢰도가 낮을 것으로 판단된다. 시추 데이터에서 획득된 주상도를 바탕으로 연약지반층의 두께 분포는 Figure 2와 같이 4분위법을 통한 분석 결과 중앙 값, 최소 값 및 최대 값이 14.1m, 1.5m, 29.5m로 나타났다. 또한 이에 따른 분산 및 표준 편차등의 연구 지역의 기초통계학적 결과는 다음 Table 1과 같이 평균 점토의 두께, 분산 및 표준편차는 14.76m, 57.02, 7.55로 나타난 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상의 값들이 정규 분포화를 가지는가에 대한 정규성

Table 1: Basic statistics value of thickness on the weak soil layer

Space Range (meter)			
Spacing range X		Spacing range Y	
796.63		640.98	
Statistics of weak soil layer thickness			
Average (m)	14.76	Skewness	0.25
Variance	57.02	Kurtosis	-0.72
Standard deviation	7.55		

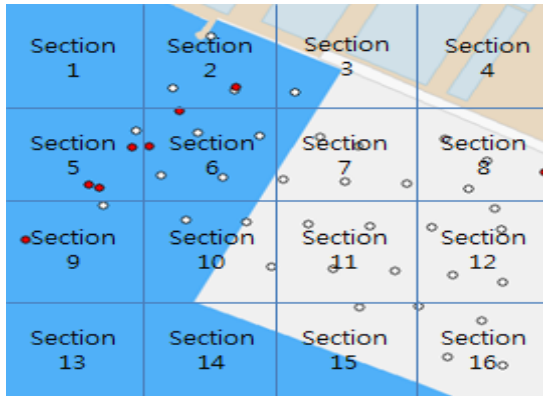


Figure 1: Location of study area and coring site

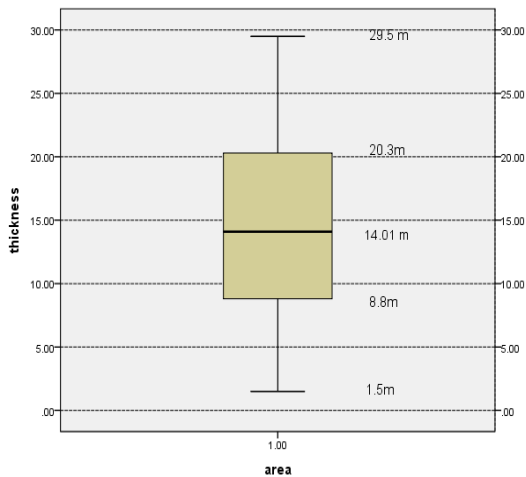


Figure 2: box plot of thickness on the study area

Table 2: Result in test of normality on thickness

Kolmogorov - Smirnova		
Statistics	Degree of freedom	Significance probability
0.08	41	0.20
Shapiro-Wilk		
Statistics	Degree of freedom	Significance probability
0.97	41	0.33

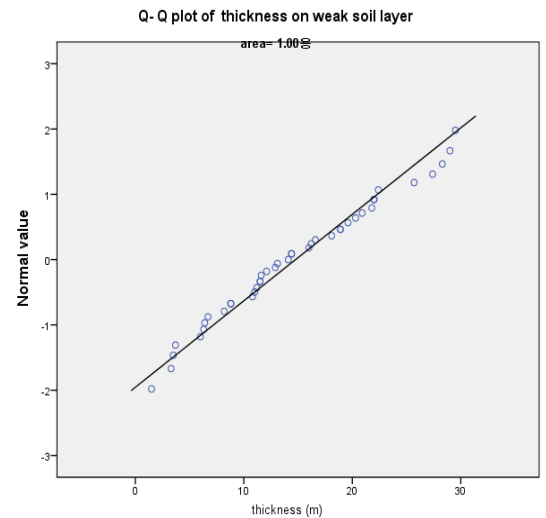


Figure 3: Q-Q plot of thickness on weak soil layer

검증의 경우 전문 통계 프로그램인 SPSS를 통해 수행하였다. 그 결과는 Table 2와 같이 Kolmogorov - Smirnov test 와 Shaorp - wilk test를 통해 유의수준 95%를 통해 분석한 결과 0.200, 0.338로 나타나 유의수준 0.05에서 두 검정 결과 모두 귀무가설을 기각할 수 없으므로 정규분포를 따른다는 것을 확인할 수 있다. 정규 값을 가지는 결과들 간의 비교치인 Q-Q plot의 경우 Figure 3과 같이 최소 값과 최대 값을 보이는 부분을 제외한 대부분의 구역이 정규성을 보이는 것을 확인할 수 있다.

3.2 실험 베리오그램 및 이론 베리오그램 작성

현장자료에 대한 실험변동도와 이론변동도를 작성하면 Figure 4와 같다. 일반적으로 현장자료의 값은 다소 불규칙적인 베리오그램을 가지게 되며, 이를 이론 베리오그램이라는 비교적 단순한 수식을 이용하여 나타내게 되는데, 본 연구에서는 가장 일반적으로 많이 사용하고 있는 지수모델(exponential model), 구형모델(spherical model), 가우시안 모델(Gaussian

model)을 적용하였으며, 각 모델의 베리오그램 설정 값은 Table 3과 같이 정리하였다. 이론 베리오그램에 따라 크리깅에 대한 결과 값이 달라지므로, 가장 적합한 이론 베리오그램을 설정하기 위해 회귀 제곱합(sum of squares of regression error, SSR), 총 편차 제곱합(sum of squares of total deviation, SST)을 이용하여 결정계수(coefficient of determination, R^2)를 구하는 것이 일반적 이지만, 가장 적합한 베리오그램을 선택하여 적용하여도 예측에서의 신뢰도가 정확하지 않기 때문에 베리오그램과 크리깅의 적합도를 통합적으로 수행할 수 있는 크리깅 교차검증을 수행하는 방법으로 진행하였다.

3.3 크리깅 수행을 통한 예측

크리깅의 수행은 크게 N치 10이하의 연약지반 전체 두께의 Case1과 구조물 설치에 핵심지역이라고 판단되는 표고면 기준에서 심도 20m이하에서 기반암 사이인 Case2의 두 그룹으로 설정하여 크리깅을 수행하였다.

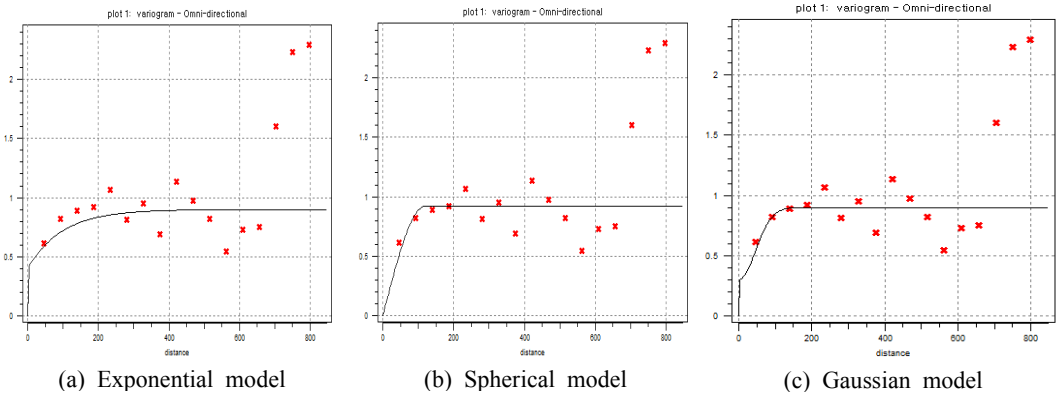


Figure 4: Experimental and theoretical variogram model for the field data

Table 3: Experiment and theoretical variogram model for the field data

Case	Variogram Type	lag number	lag separation	lag tolerance	Negget Effect	Sill	Range
Case 1	Exponential	17	47	22	0.40	0.50	295.63
	Spherical				0.00	0.92	111.86
	Gaussian				0.30	0.60	111
Case 2	Exponential	10	80	40	0.55	0.66	520
	Spherical				0.55	0.66	688
	Gaussian				0.55	0.66	528

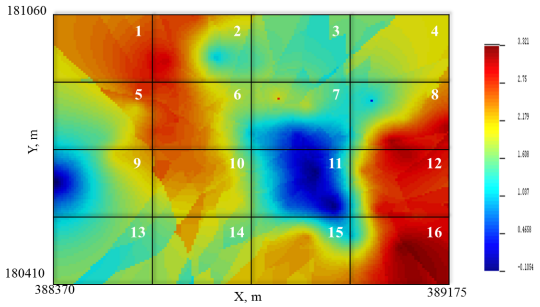


Figure 5: Kriging of thickness on entire weak Layer

Figure 5는 전체 지층에 대한 연약층의 전체 두께를 나타내는 Case 1의 결과를 보여준다. 각 지점에서의 값들이 작게 나타나는 것은 정규분포화를 위한 로그 변환을 수행한 결과이기 때문이다. 연약지반의 두께가 가장 크게 차지하는 지점은 12, 16의 구역이며, 25m의 두께를 보이는 것으로 나타났으며, 연약 지반층의 두께가 적은 7,11번 구역을 제외하고 10m 내외로 연약지점이 분포하는 것을 확인할 수 있다. 반면 20m 이하 심도에서는 베리오그램 모델 적용에 따라 Figure 6과 같이 나타나, 전체 지층에서의 결과와 반대로 6, 7, 11 구역에서 연약지반층이 두껍게 나타나는 것을 확인할 수 있

으며, 연약지반 층이 8m 이상의 두께를 가지는 것을 확인할 수 있다.

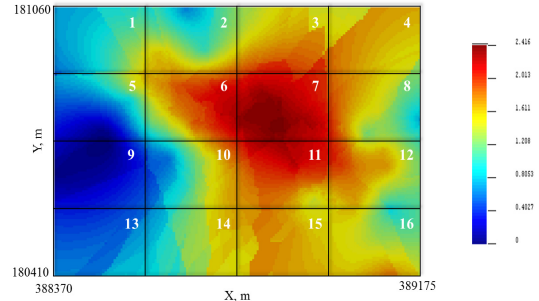
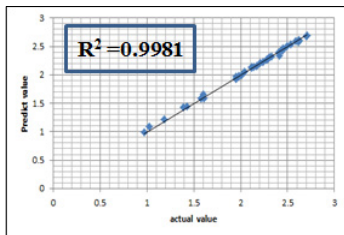


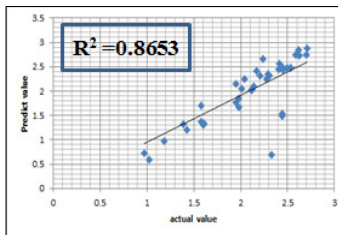
Figure 6: Kriging of thickness on weak Layer under the 20meter

이는 수직적인 분포에서 연약 지반층이 표고에서 20m 사이의 심도에서 집중적인 분포를 가짐을 예측할 수 있다. 따라서 전체 점토층의 두께가 크게 나타난 구역은 20m심도 이하에서 부분적으로 기반암에 닿아 있거나 근접해 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 결과를 통해 볼 때 구조물의 설계에 있어서 7,8번 구역이 구조물 입지에 있어서 침하의 영향을 미칠 수 있기 때문에 더욱 고심도

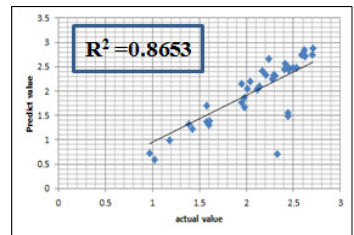
Case 1. cross validation of kriging value on general weak layers



(a) Exponential model

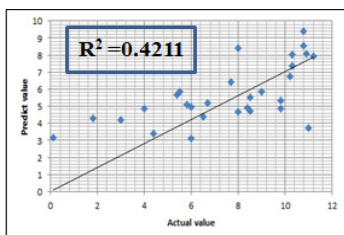


(b) Spherical model

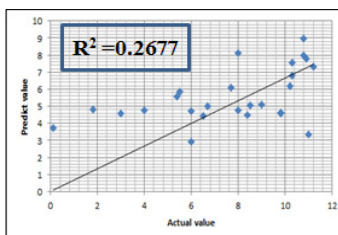


(c) Gaussian model

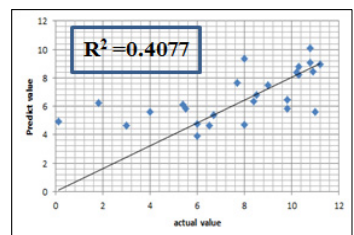
Case 2. cross validation of kriging value on weak layers under the 20m



(a) Exponential model



(b) Spherical model



(c) Gaussian model

Figure 7: Result of cross validation for each model

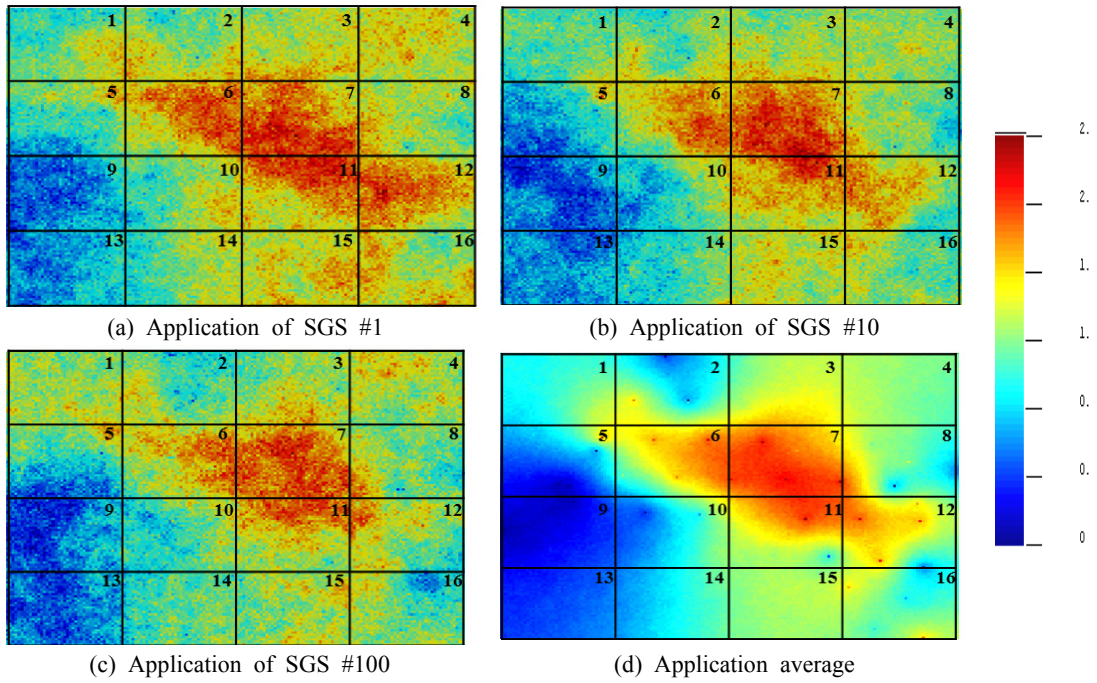


Figure 8: Application of Sequential Gaussian Simulation

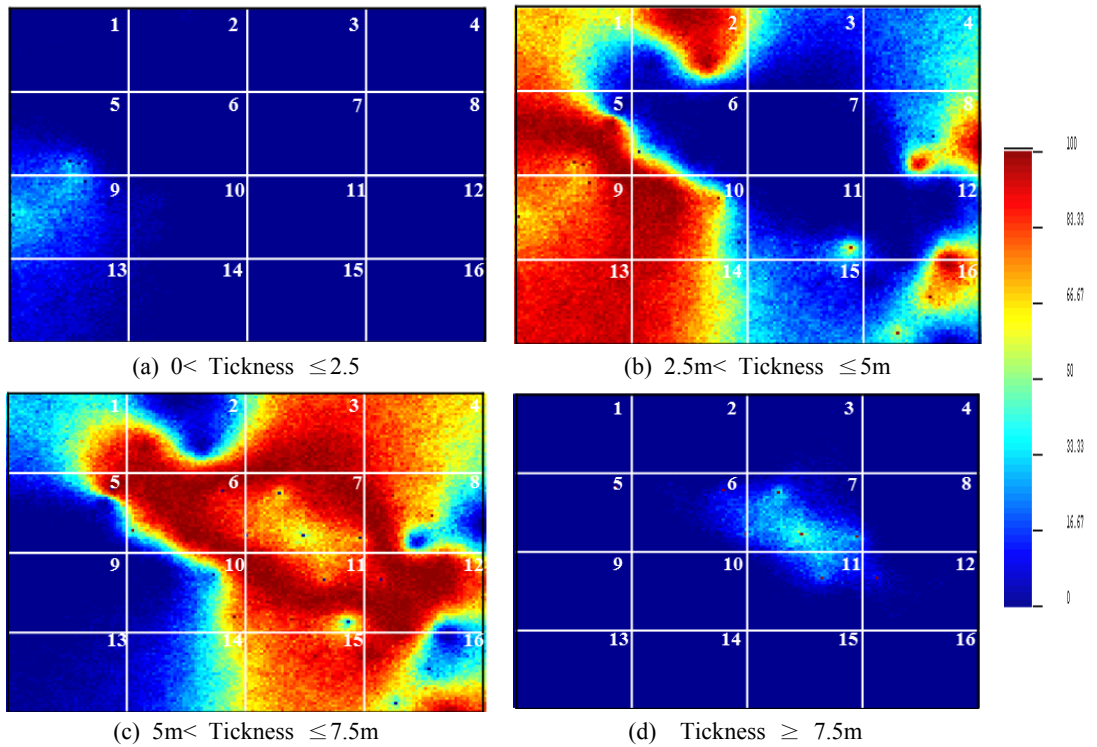


Figure 9: Uncertainty on weak soil layer under the 20m from DL

의 시추와 보강설계가 필요할 것으로 판단할 수 있다.

3.4 교차검증을 통한 신뢰성 검증

각각의 결과를 바탕으로 이러한 크리깅의 결과가 신뢰할 수 있는 결과인지를 파악하기 위해 검증의 방법이 필요하다. 지구통계학적 기법에서의 교차검증의 경우 실제 시추지역에서의 값을 통해 예측된 값을 역해석의 원리로 예측 값을 바탕으로 실제 값을 예측하여 결과의 비교가 얼마나 일치하는가를 판단하는 교차검증의 방법이 많이 적용되고 있다. 이러한 방법을 통해 각 배리오그램의 모델에 따른 크리깅의 값을 교차 검증한 결과는 다음 Fig.7과 같이 Case 1의 결과에서 exponential 모델을 통한 크리깅의 결과가 가장 신뢰도가 높은 결과를 가지며, 0.9981의 정확도를 가지는 것으로 나타났다.

Case 2의 경우에는 Case 1의 결과보다 결과 값이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 순차 가우시안 시뮬레이션을 이용한 불확실성 측정

불확실성이란 각 수행의 기간 동안 얼마나 동일한 값이 나타나는가에 대한 확률분포로 나타낼 수 있으며, 크리깅 결과가 예측 값을 포함한 모든 결과를 편향되지 않는 최소 오차에 대한 결과로 나타내는 특성을 가지고 있기 때문에 다소 완만한 그림이 나타나는 한계를 가지게 되므로 불확실성의 평가가 필요하다. 따라서 순차 가우시안 시뮬레이션을 이용하여 심도 20m인 Case 2의 불확실성을 파악하였으며, 순차가우시안 시뮬레이션의 결과를 도출하기 위해 전체영역에서의 Node의 수를 120,000개로 설정, 100회의 실현을 수행하였다. 이에 따른 결과는 Fig. 8 과 같이 수행된 100개의 실현 중 1회, 10회, 전체 실현 결과의 평균을 나타내었다. 실제 실현된 결과 값을 살펴볼 때, 크리깅에 비해 8m 이상의 연약지층을 가진 공간의 분포가 비교적 좁은 분포로 나타나는 경향을 가지고 있으며, 실현 횟수별로 분포의 면적이 다소 상이한 결과를 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

다만 7번, 11번 구역의 경우 모든 실현과정에서 연약 지반층이 가장 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 100회의 과정을 통해 획득된 결과 값들의 데이터들을 종합하여 아래와 같이 두께별 결과는 Figure 9와 같이 0m, 2.5m, 5m, 7.5m의 4개 구간으로 경계 값을 설정하여 불확실성을 파악해 보았으며, 전체적으로 60%이상 결과들이 2.5m~7.5m에서 분포하는 결과를 보이며, 가우시안 시뮬레이션의 결과와 비슷한 양상으로 전개되는 것을 확인할 수 있다. 7번 구역은 50%내외의 확률분포로 7.5m 이상의 연약지층을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 7번 구역의 경우 풍력 플랜트 단지를 설정하기 위해서는 대규모의 연약지반 개량공법이 필요할 것으로 판단되며, 5번, 9번 구역으로의 건설이 가장 경제성에 유리할 것으로 판단되어 진다.

5. 결 론

본 연구에서는 해상 구조물의 안정성 및 지반침하의 문제를 야기할 수 있는 해상 연약지층의 두께분포를 예측하기 위해 현장 시추자료의 표준 편차 시험치를 이용하여 크리깅을 적용하였고, 크리깅과의 불확실성을 비교 및 평가하기 위해 순차 가우시안 시뮬레이션을 수행하였다.

그 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 전체 지층의 심도에 대한 두께 측정의 결과 전체 지층의 심도의 영향을 분석한 결과 점토층의 두께가 큰 지역의 분포가 상이한 영역으로 나타났으며, 전체 지층의 분석에서는 12,16구역에서 가장 크게 나타났으며, 20m 이상의 심도에서는 7번구역이 가장 큰 연약지반층을 가지는 것을 확인함으로써 지역적인 층후상에 이방성이 존재할 것으로 판단된다.

(2) 크리깅의 오차분산의 최소화로 현실적인 영향성이 떨어지는 한계를 고려하여 불확실성을 평가할 수 있는 순차 가우시안 분석의 결과는 7번 구역에서 가장 큰 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

(3) 지층 두께의 불확실성을 파악한 결과 60%이상의 결과들이 2.5m~7.5m에서 분포하는 결과를 보이며, 가우신안 시뮬레이션의 결과와 비슷한 양상으로 전개되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 section 5,9에서는 2.5m의 연약지반층을 가지며, 33%의 확률분포를 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 7.5m의 지층은 7번구역에서 50%내의 확률분포로 7.5m 이상의 연약지층을 가지는 것을 확인할 수 있다.

(4) 크리깅을 이용하여 지구통계학적 기법으로 작성된 연약지반 분포도는 해상시설물 입지 선정 및 보강의 기본 자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 과제(결과물)는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

This work is the outcome of a Manpower Development Program for Marine Energy by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM)

참고문헌

- [1] 서동일, 장원일, 신성렬, 임중세, 윤지호, “해상 풍력시스템의 기초침하에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, vol. 31, no. 8, pp. 1020-1027, 2007.
- [2] 유현중, 임중세, 신성렬, 장원일, 윤지호, “해상 풍력발전단지 건설 시 해양미고결지반 물성 파악을 위한 실험연구”, 한국마린엔지니어링학회지, vol. 32, no. 2, pp. 365-373, 2008.
- [3] 강윤경, 장원일, “인공신경망을 이용한 DCM 처리된 연약지반 침하에 대한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, vol. 34, no. 6, pp. 914-921, 2010.
- [4] 구청모, 홍창우, 전석원, “조건부 모사 기법을 이용한 암반등급의 예측 및 불확실성 평가에 관한 연구”, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, vol. 16, no. 2, pp. 135-145, 2006.

[5] 최종근 (2007), 지구통계학, 시그마프레스, 서울.

[6] M, Johnson, Multivariate Statistical Simulation, Wiley, 1987.

저 자 소 개



정 진(鄭鎭)

2010년 한국해양대학교 에너지자원공학과 졸업(공학사), 2010-현재 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 석사과정



장원일 (長元一)

1977년 서울대학교 공과대학 자원공학과 졸업(공학사), 1980년 서울대학교 대학원 자원공학과(공학석사) 2008년 전남대학교 공과대학 자원공학과 졸업(공학박사) 1982- 현재 한국해양대학교 해양과학기술대학 에너지자원공학과 전임교수