

지구통계기법과 표면파 다중채널분석을 이용한 포항 지반의 SPT-N value 교차검증

김경오, 한희수*
금오공과대학교 토목공학과

Cross-Validation of SPT-N Values in Pohang Ground Using Geostatistics and Surface Wave Multi-Channel Analysis

Kyung-Oh Kim, Heui-Soo Han*
Department of Civil Engineering, Kumoh Institute of Technology

요약 지반 및 기초의 안정성 평가, 지진의 액상화 평가 등을 위해서 지반강도 및 지하수 높이 등 다양한 지반정보가 필요하다. 대한민국에서 행해지는 표준관입시험(Standard Penetration Test, SPT) 결과는 국토지반정보포털시스템에 등록하게 되어있다. 비시추지역의 지반정보가 필요할 경우, 지구통계기법(Geostatistics)들을 응용할 수 있다. 본 논문은 경험적 베이지안 크리깅(Empirical Bayesian Kriging, EBK)과 역거리 가중치법(Inverse Distance Weighting Method, IDWM)을 이용하여 비시추지역의 지반정보를 구할 경우의 타당성에 관한 것이다. 이 기법들을 이용하기 위해 공간 보간에 범용적으로 적용되는 Esri사의 ArcGIS Pro 프로그램을 사용하였다. 본 해석에 사용된 지구통계기법들의 정확성을 검토하기 위하여, 표준관입시험에서 구한 시추지역 지반의 강도 정수 및 지하수의 높이를 해석기법의 결과와 교차 검증하였다. 또한, 지구물리학적 기법인 표면파 다중채널분석(Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW)조사를 추가 수행하여, 본 해석에 사용된 기법들을 재검증하였다. 포항 북구 지역을 1.0km×1.0km로 분할하여 총 111개의 구역으로 분할하였으며, 경험적 베이지안 크리깅(EBK) 및 역거리 가중치법(IDWM)을 통한 표준관입시험치 및 지하수위에 대한 교차검증을 수행한 결과, 두 기법 모두 적합한 것으로 나타났다. 표면파 다중채널분석(MASW)은 대략적인 구간 영역을 제시하여, SPT N값의 분포양상과 지하수위를 명확히 파악하기 곤란하였다.

Abstract Various geotechnical information is required to evaluate the stability of the ground and a foundation once liquefaction occurs due to earthquakes, such as the soil strength and groundwater level. The results of the Standard Penetration Test (SPT) conducted in Korea are registered in the National Geotechnical Information Portal System. If geotechnical information for a non-drilled area is needed, geostatistics can be applied. This paper is about the feasibility of obtaining ground information by the Empirical Bayesian Kriging (EBK) method and the Inverse Distance Weighting Method (IDWM). Esri's ArcGIS Pro program was used to estimate these techniques. The soil strength parameter of the drilling area and the level of groundwater obtained from the standard penetration test were cross-validated with the results of the analysis technique. In addition, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) was conducted to verify the techniques used in the analysis. The Buk-gu area of Pohang was divided into 1.0 km×1.0 km and 110 zones. The cross-validation for the SPT N value and groundwater level through EBK and IDWM showed that both techniques were suitable. MASW presented an approximate section area, making it difficult to clearly grasp the distribution pattern and groundwater level of the SPT N value

Keywords : Empirical Bayesian Kriging, Inverse Distance Weighting Method, Multichannel Analysis Of Surface Waves, SPT N Value, Groundwater Level

*Corresponding Author : Heui-Soo Han(Kumoh Institute of Technology)

email: hanhs@kumoh.ac.kr

Received September 9, 2020

Accepted October 5, 2020

Revised September 28, 2020

Published October 31, 2020

1. 서론

지반 및 기초의 안정성 평가, 지진의 액상화평가 등을 평가하기 위해서 지반강도 및 지하수 높이 등 다양한 지반정보가 필요하다. 대한민국에서 행해지는 표준관입시험(Standard Penetration Test, SPT) 결과는 국토교통부에서 운영하는 국토지반정보포털시스템 (한국건설기술연구원 위탁운영)에 등록하게 되어있다. 현재 전국의 약 30만공의 (2020년 기준) 시추데이터가 탑재되어 있다.

그러나 대부분의 시추 정보는 도로, 철도, 제방, 대규모 아파트단지 등에 집중되어있다. 비시추지역의 지반해석을 위한 지반정보를 구하기 위해 지구통계기법(Geostatistics)들을 응용할 수 있다. 본 논문은 경험적 베이저안 크리깅(Empirical Bayesian Kriging, EBK)과 역거리 가중치법(Inverse Distance Weighting Method, IDWM)을 이용하여 비시추지역의 지반정보를 구할 경우의 타당성에 관한 것이다. 이 기법들에 따른 지층분포를 추정하기 위해 공간 보간에 범용적으로 적용되는 Esri사의 ArcGIS Pro 프로그램을 사용하였다.

본 해석에 사용된 지구통계기법들의 정확성을 검토하기 위하여, 표준관입시험에서 구한 시추지역 지반의 강도 정수 및 지하수의 높이를 해석기법의 결과와 교차 검증하였다.

또한, 지구물리학적 기법인 표면파 다중채널분석(Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW) 조사를 추가 수행하여, 본 해석에 사용된 기법들을 재검증하였다.

2. 이론적 배경

2.1 지구통계기법

지반 액상화 평가를 위한 지층 분포특성, 지반특성에 따른 액상화 Hazard Map 개발을 위한 방법론적 연구 등은 다양하게 진행되어왔다[1, 2]. 본 연구에 사용된 기법은 경험적 베이저안 크리깅(EBK)과 역거리 가중치법(IDWM)이다. 경험적 베이저안 크리깅은 데이터들의 가중선형조합을 쓰는 다른 크리깅 기법들과는 달리 REML(Restricted Maximum Likelihood)를 이용하여 베리오그램을 계산하며, 베리오그램의 계산은 다음과 같은 단계로 수행된다. 베리오그램은 자기상관이나 자기공분산 혹은 매도그램과 같이 일정한 거리에 있는 자료들의 공간적 유사성을 나타내는 척도이다[3]. 먼저, 입력한

데이터를 통해 베리오그램을 계산하고 계산된 베리오그램에 대해 베이저안 분석을 통한 시뮬레이션을 수행하여 정식화된 베리오그램을 결정한다[3].

결정된 베리오그램을 이용한 크리깅 모델은 0계 고유 확률함수(Intrinsic Random Function-0, IRF-0)를 사용한다. EBK 기법에서 분리거리 h 에 대한 베리오그램 모델은 Eq. (1)과 같다.

$$r(h) = C_0 + b|h|^\alpha \quad (1)$$

여기서, h 는 분리거리, γ 는 베리오그램, b, α 는 계수를 의미한다.

여기서, α 은 power coefficient이며 0.25와 1.75 사이의 값을 가진다[3,4].

역거리가중치법은 공간적으로 가까운 지점 사이의 값은 유사성을 갖게 되고 두 지점 간의 거리가 멀어질수록 유사성이 감소한다는 것에 기초하여 가중치를 적용한 기법 중 하나이다. 따라서 두 지점 간의 거리가 가까울수록 큰 가중치가 적용되고 반대로 두 지점 간의 거리가 멀어질수록 가중치는 적게 적용한다[5,6].

역거리가중치법은 가중치는 거리의 α 승에 반비례한다고 가정하나 이에 수학적 배경을 가지고 있지는 않다. 역거리가중치법을 수식으로 표현하면 Eq. (2)과 같으며, 가중치의 계산에서 예측식이 편향되지 않도록 계산된 모든 역거리의 합으로 나눗셈을 수행한다. 역거리가중치법은 가까운 지점의 영향이 크게 나타나는 Bull's eye 효과가 발생하며, 이를 방지하기 위해 Eq. (3)과 같이 완화거리를 사용해 적용한다.

$$z_0^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i z_i, \quad \lambda_i = \frac{(1/d_i)^\alpha}{\sum_{j=1}^n (1/d_j)^\alpha} \quad (2)$$

여기서, z_0 는 기댓값, λ 는 분산, α 는 계수를 의미한다.

$$\delta = d_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (3)$$

여기서, δ 는 log 거리를 의미한다.

일반적으로 역거리가중치법에 적용되는 승수 α 의 값은 임의로 정해진다. 승수 α 가 0에 가까우면 산술평균의 결과와 같게 되며, 승수 α 가 무한대에 가까워지면 다각형법의 결과와 같아진다. 하지만 특정한 α 값이 신뢰성

이 뛰어난 결과를 제시한다는 수학적인 배경은 없으며, 자료의 분포특성과 물리적 의미 또는 각자의 선도도에 따라 적절한 α 값의 선정이 필요하다.

2.2 교차검증

교차검증(Cross validation)은 지구통계기법이나 다른 기법 등을 통하여 예측된 자료만을 이용하여 본래의 자료를 다시 예측하여 예측기법의 타당성을 검증하는 방법 중 하나이다. 교차검증은 베리오그램과 상관거리 그리고 유효반경, 데이터의 수와 같은 예측값의 영향인자 적절성에 대한 검증을 수행하는 것이며 다음과 같은 순서로 진행된다[7].

- ① 예측기법들을 통한 예측값 산정
- ② 사전에 제시된 데이터 제거
- ③ 동일한 조건(베리오그램 등)으로 예측값을 통한 데이터 추정
- ④ $y = x$ 선을 통한 예측기법의 타당성 평가

예측기법의 타당성을 평가하기 위해 기울기가 1인 직선과 초기 데이터 그리고 예측값을 그래프로 그려 기울기 1인 직선상에서 벗어나는 정도를 보고 평가할 수 있다. 적용된 예측기법이 타당할 경우 기울기가 1인 직선 주위에 데이터가 고르게 분포하게 되며, 타당하지 않을 경우 직선과 무관하게 여기저기 흩어져 분포한다.

2.3 표면파 다중채널분석(MASW)

MASW조사는 별도의 시추 없이 지표면에서 임의로 진동 (전단파)를 발생시켜 이 파의 전달 및 반사 특성을 이용하여 지반 내의 특성을 평가하는 조사 방법이다. MASW 방법은 다중점에서 P파 및 S파 신호를 동시에 획득할 수 있으면 분산 곡선을 이용하여 2차원 단면 작성이 가능하다. MASW 방법을 통해 P파와 S파 속도 단면을 획득한 후에, 암반의 포아송비와 밀도 값을 이용하여 지반의 동적 물성치를 계산할 수 있게 된다.

MASW 탐사원리는 Fig. 1에 보인 바와 같다. 해머나 shotgun과 같은 발진원에서 전파된 직절파, 굴절파, 반사파 및 표면파는 지하 매질을 통해 사방으로 퍼져나가게 되며 이들은 지표상에 배열된 다중 수신기에 도달되어 기록된다.

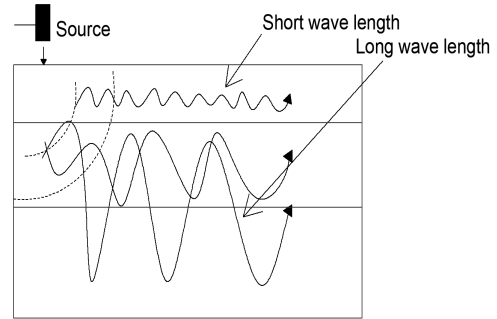


Fig. 1. MASW Exploration principle

3. 해석 지반 현황

3.1 시추자료에 따른 지반 구성

포항 북구 지역을 1.0km × 1.0km로 분할하여 총 111개의 구역으로 분할하였다(Fig. 2 참조). 수집된 시추조사 자료를 이용하여 111개 구역의 대표 지층분포, 지반의 표준관입시험치, 지하수위를 추정하였다.

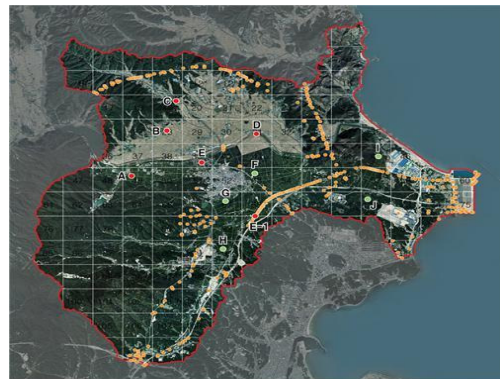


Fig. 2. Division of project target area

지반조사 자료는 국토교통부에서 운영 중인 국토지반정보포털시스템에서 획득하여 분석을 수행하였다[8]. 국토지반정보포털시스템 상에는 전국규모에서 약 240,000건의 시추자료가 데이터베이스화되어 있으며, 본 논문을 위해 포항지역 인근의 시추자료를 이용하였다(Fig. 3 참조). 해석에 이용한 시추자료는 총 2287이며, 대부분의 시추자료는 도심지와 고속국도 그리고 일반국도 건설공사 시 조사된 것이며 해당 시추자료를 통일 분류법 (Unified Soil Classification System, USCS)에 따라

토질을 분류하고, Rippability 등급에 따라 암반을 분류하여 시추자료 데이터의 개수와 점유율을 나타내면 Table 1과 같다. 이 자료들은 다시 기존의 논문들을 이용하여 지반특성 및 지하수특성을 재검증하였다[9~13]. 토사의 경우, 실트질모래(SM)가 37.0%로 가장 많은 자료가 있는 것으로 파악되었고 암반의 경우, 풍화암(WR)이 54.8%로 가장 많은 데이터가 있는 것으로 파악되었다.



Fig. 3. Project target area and distribution of geotechnical survey data

3.2 지반조사자료 분석

3.2.1 심도별 표준관입시험치 분석

Fig. 4는 심도별 표준관입시험치를 분석한 결과이다. 1.5m 구간 단위로 12m 까지 표준관입시험치를 분석한 자료이다. 대부분의 심도에서 표준관입시험치가 0/30 ~ 50/30까지 다양하게 조사되었으며, 이는 제공받은 지반 조사 자료에서 지층정보는 누락되었으나 표준관입시험정보는 포함된 데이터 등이 다수 확인되었기 때문이다.

3.2.2 지하수위 분석

Fig. 5는 지하수위측정 결과의 데이터 분포를 나타낸 것이며, 지하수위가 발견되지 않은 시추공의 경우 데이터 분석에서 제외하였다. 출현심도, 종료심도와 같이 시추조사 심도가 얇아 대부분 5.0m 이하에서 조사되는 것으로 나타났다.

Table 1. Strata classification of drilling data and share

division	state	USCS	amount	percent(%)	
Soil	Grained Soil	Gravel with good particle size distribution	GW	97	1.8
		Gravel with poor particle size distribution	GP	389	7.4
		Silty gravel	GM	600	11.3
		Clay gravel	GC	122	2.3
		Sand with good particle size distribution	SW	69	1.3
		Sand with poor particle size distribution	SP	81	1.5
		Silty sand	SM	1,958	37.0
		Clay sand	SC	155	2.9
	Fine-grained soil	High plasticity silt	MH	28	0.5
		Low plasticity silt	ML	363	6.9
		High plasticity clay	CH	222	4.2
		Low plasticity clay	CL	1,204	22.8
	Subtotal			5,288	100.0
division	state	USCS	amount	percent(%)	
Rock	Weathered rock	WR	1,374	54.8	
	Soft rock	SR	1,012	40.4	
	Moderate rock	MR	28	1.1	
	Hard rock	HR	93	3.7	
Subtotal			2,507	100.0	

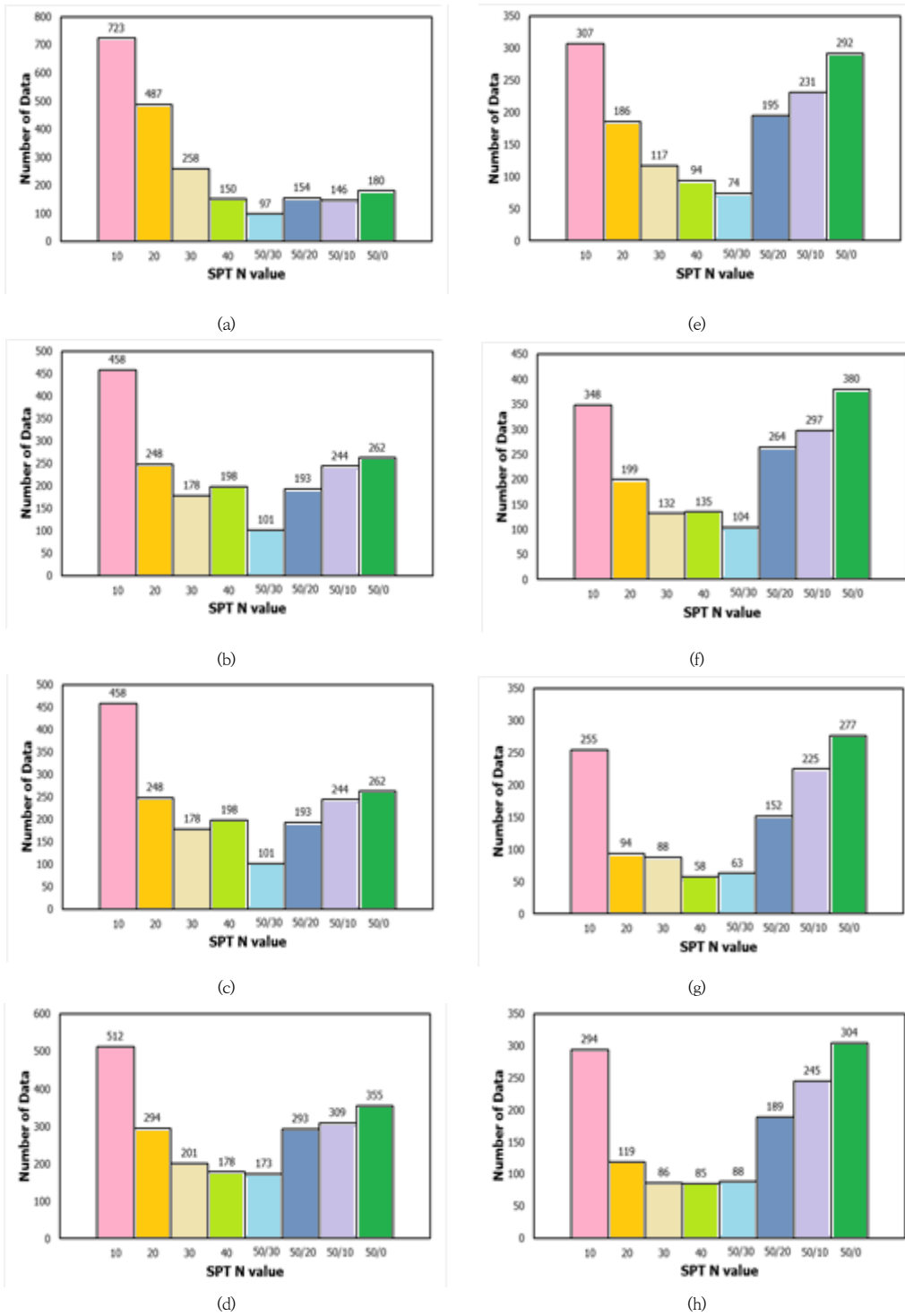


Fig. 4. SPT N value analysis by depth

(a) 0.0 ~ 1.5m (b) 1.5~3.0m (c) 3.0~4.5m (d) 4.5~6.0m (e) 6.0~7.5m (f) 7.5~9.0m (g) 9.0~10.5m (h) 10.5~12.0m

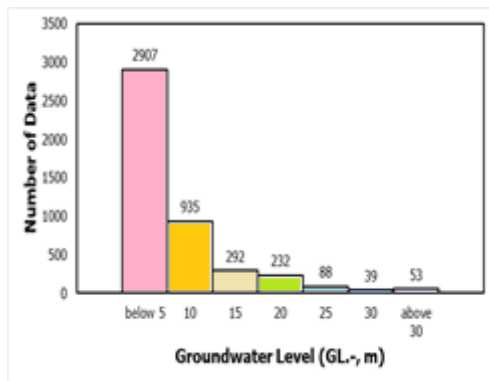


Fig. 5. Data distribution of groundwater level measurement results

4. 경험적 베이저안 크리깅(EBK)

4.1 경험적 베이저안 크리깅(EBK)의 분석 결과

확률론적 기법인 경험적 베이저안 크리깅(EBK) 기법을 이용하여 지반의 표준관입시험치, 지하수위를 추정하였으며, 시추자료와 추정자료를 교차검증(Cross validation)을 수행하여 확률론적 기법의 인자들의 적합성을 검증하였다.

Fig. 6 (a)~(b)는 경험적 베이저안 크리깅(EBK) 기법을 이용하여 심도별 표준관입시험치 추정 결과 및 지하수위를 추정한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 6 (a)은 깊이 에 따른 구간별 해석결과 중 지표로부터 4.5~6.0 m 구간을 나타낸 것이다. Fig. 6 (b)는 지하수위 추정 결과를 나타낸 것이다. 지하수위의 경우 GL.(-)를 기준으로 하여 출현심도, 종료심도 그리고 표준관입시험치와 달리 붉은색의 경우 깊은 심도를 뜻하고 푸른색의 경우 얇은 심도에 지하수위가 발견된 것을 의미한다.

4.2 경험적 베이저안 크리깅(EBK)기법의 교차검증

표준관입시험을 이용한 지반조사 자료와 경험적 베이저안 크리깅(EBK) 기법을 통해 추정한 표준관입시험치, 지하수위를 이용하여 상호 교차 검증을 수행하였다. 교차 검증의 결과는 예측값에 대한 정확도가 아닌 예측기법의 타당성을 분석하는데 그 목적이 있으며, 교차검증결과, 대부분 타당한 것으로 나타났다.

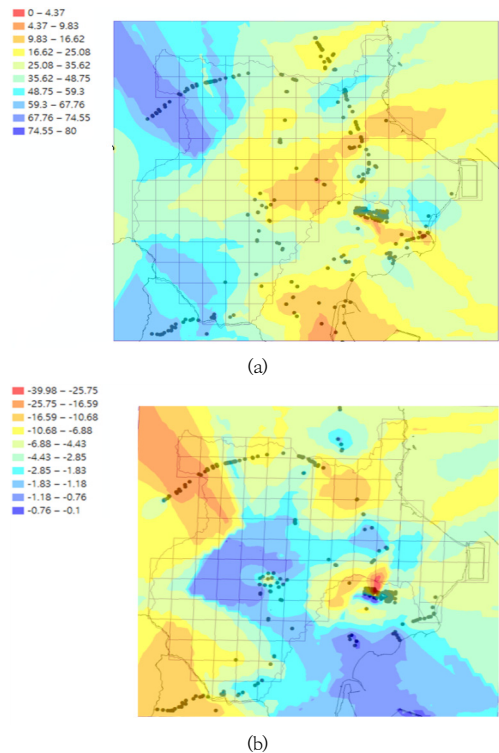


Fig. 6. Results of the EBK technique
(a) SPT N value in 4.5~6.0m section
(b) Groundwater level measurement

4.2.1 표준관입시험치

Fig. 7은 확률론적 기법을 통한 심도별 표준관입시험치의 교차검증 결과를 나타낸 것이다. 지층별 출현심도, 지층별 두께와 달리 모든 심도에서 교차검증 결과 기울기가 1인 직선에 고르게 분포하는 것으로 나타나 EBK 기법이 적정성이 입증되었다.

4.2.2 지하수위

Fig. 8은 경험적 베이저안 크리깅을 통한 지하수위 교차검증 결과를 나타낸 것이다. 기울기 1인 직선에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며 이는 지하수위 추정에 대해 확률론적 기법 중 하나인 경험적 베이저안 크리깅(EBK) 기법이 적절하다는 것을 의미한다.

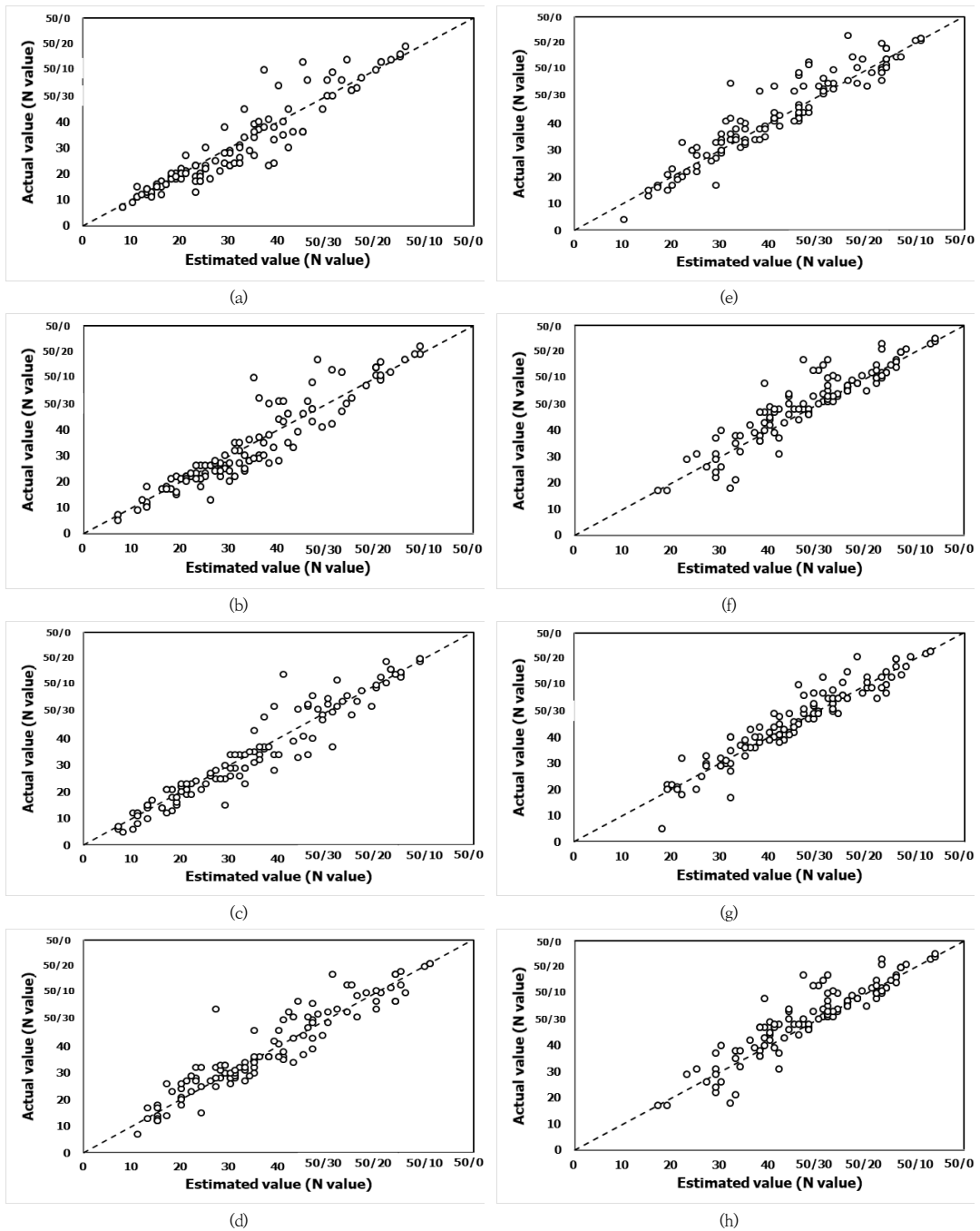


Fig. 7. Results of cross-validation of SPT N values for each depth through probabilistic method
 (a) 0.0 ~ 1.5m (b) 1.5~3.0m (c) 3.0~4.5m (d) 4.5~6.0m (e) 6.0 ~ 7.5m (f) 7.5~9.0m (g) 9.0~10.5m (h) 10.5~12.0m

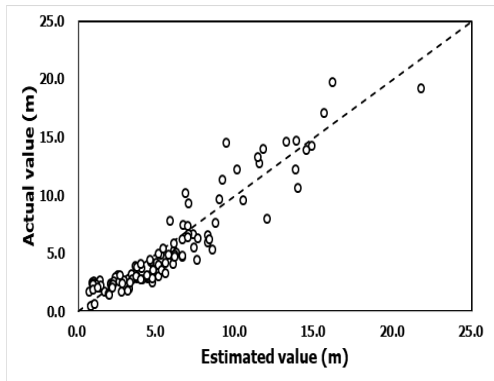


Fig. 8. Results of cross-validation on groundwater for probabilistic descriptions

5. 역거리가중치법(IDW)

5.1 역거리가중치법(IDW)의 분석 결과

결정론적 기법인 역거리가중치법(IDW)을 이용하여 지반의 표준관입시험치, 지하수위를 추정하였으며, 시추 자료와 추정자료를 교차검증(Cross validation)을 수행하여 역거리가중치법의 적합성을 검증하였다. Fig. 9 (a)는 깊이에 따른 구간별 해석결과 중 지표로부터 4.5~6.0m 구간의 예이며, Fig. 9 (b)는 지하수위 추정 결과를 나타낸 것이다.

5.2 역거리가중치법(IDW)의 교차검증

지반조사 자료와 역거리가중치법(IDW)을 통해 추정 한 지층별 출현심도와 종료심도, 표준관입시험치, 지하수위를 이용하여 상호 교차 검증을 수행하였다. 교차검증결과, 표준관입시험치와 지하수위 모두 타당한 것으로 나타났다.

5.2.1 표준관입시험치

Fig. 10은 결정론적 기법을 통한 심도별 표준관입시험치의 교차검증 결과를 나타낸 것이다. 지층별 출현심도, 지층별 두께와 달리 모든 심도에서 교차검증 결과 기울기가 1인 직선에 고르게 분포하는 것으로 나타나 역거리가중치법(IDW)의 타당성이 입증되었다.

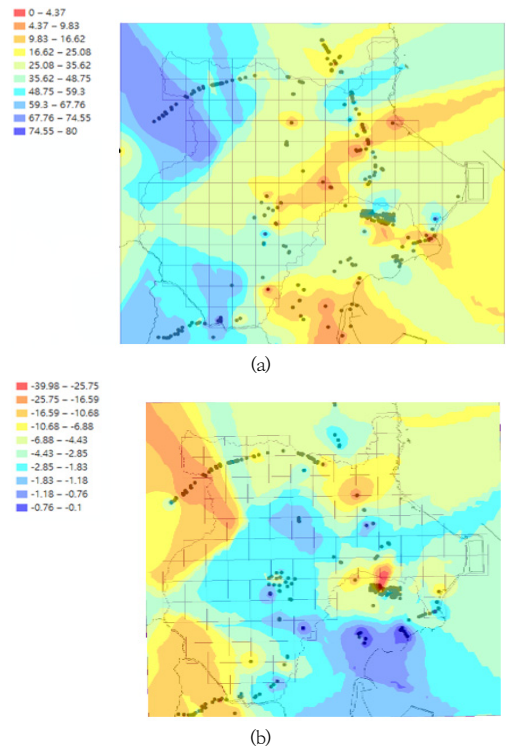


Fig. 9. Results of the IDW technique
(a) SPT N value in 4.5~6.0m section
(b) Groundwater level measurement

5.2.2 지하수위

Fig. 11은 역거리가중치법을 통한 지하수위 교차검증 결과를 나타낸 것이다. 기울기 1인 직선에 고르게 분포하는 것으로 나타났으며 이는 지하수위 추정에 대해 결정론적 기법 중 하나인 역거리가중치법이 적절하다는 것을 의미한다.

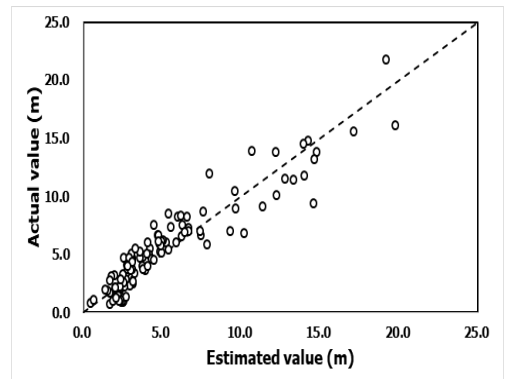


Fig. 11. Results of cross-validation of groundwater level through deterministic method

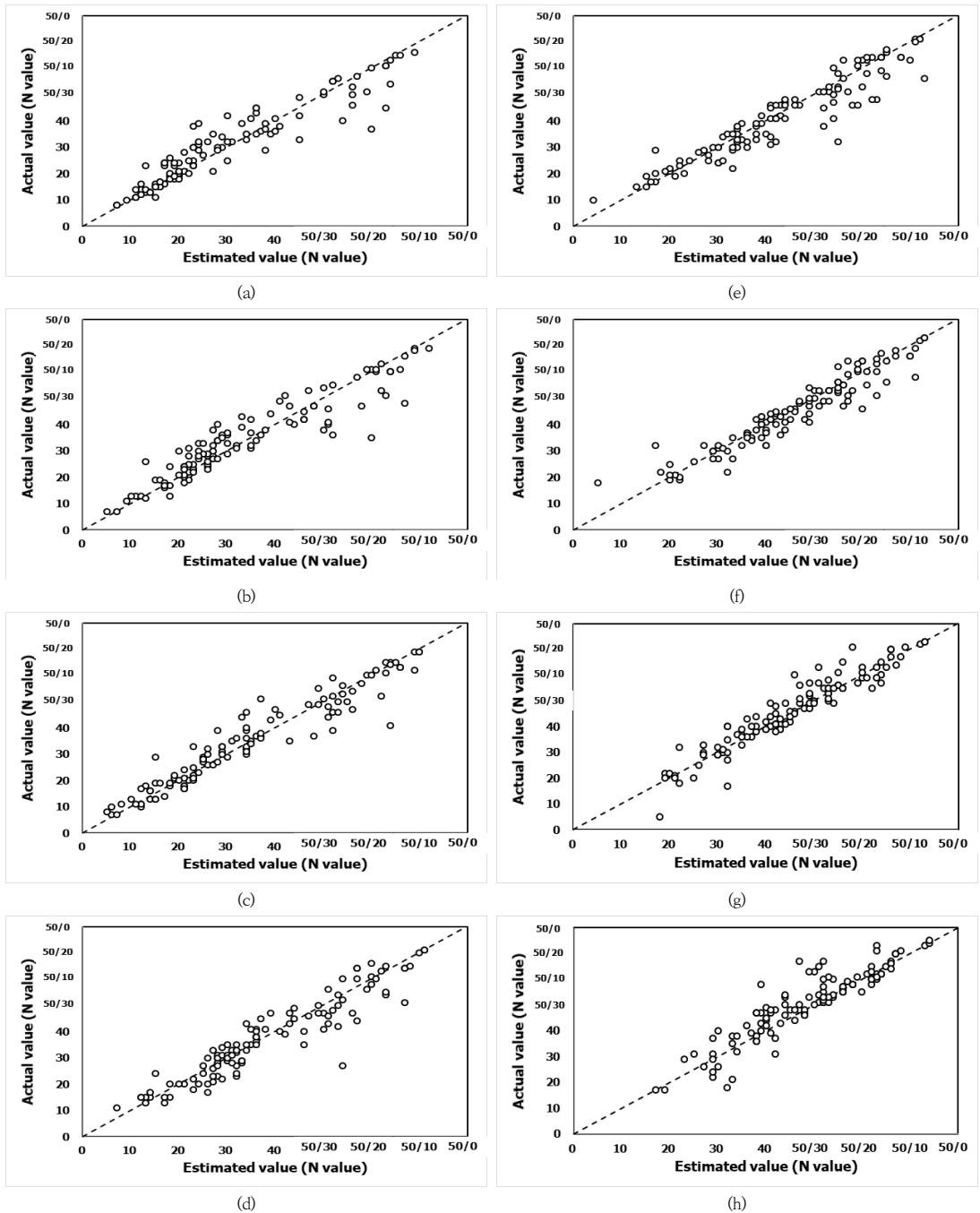


Fig. 10. Results of cross-validation of SPT N values for each depth through deterministic method
 (a) 0.0 ~ 1.5m (b) 1.5~3.0m (c) 3.0~4.5m (d) 4.5~6.0m (e) 6.0 ~ 7.5m (f) 7.5~9.0m (g) 9.0~10.5m (h) 10.5~12.0m

6. 표면파 다중채널분석(MASW)을 통한 지반조사

6.1 MASW를 통한 지반조사

지구물리학적 기법인 MASW (Multi channel Analysis of Surface Waves) 조사를 추가 수행하여, 본 해석에 사용된 기법들을 재검증하였다. 이는 본 해석에 사용된 지구통계기법들의 정확성을 검토하기 위한 것이다.

포항 흥해읍 일대의 10곳에 대하여 MASW 조사를 수행하였다. 본 연구에서는 아래와 같이(점 A~J) 시추데이터가 결여되어있는 지역 10개소를 대상으로 MASW 조사를 수행하였다. (Fig. 12 및 Table 2 참조)



Fig. 13. Geotechnical survey site photo through masw

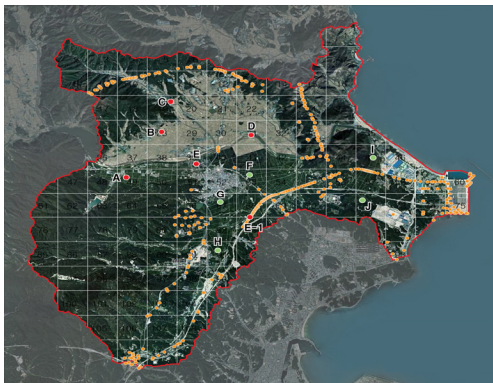


Fig. 12. Drilling DB (National Geotechnical Information Portal System) and additional geotechnical survey locations (10 locations) around Heunghae-eup area, Buk-gu, Pohang-si, Gyeongsangbuk-do

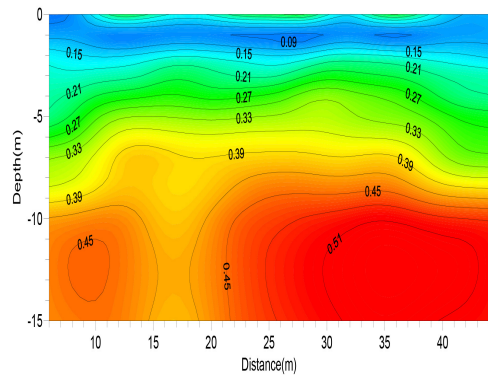


Fig. 14. MASW-01 Inversion section position and shear wave velocity

Table 2. MASW survey location and measurement line length

Name	Central location of exploration measurement line (GRS80)		Measurement line length	Note
	X	Y		
MASW-01	228,044	390,447	46	Rice field
MASW-02	229,415	392,255	46	Rice field
MASW-03	229,553	393,470	46	Rice field
MASW-04	232,257	392,116	46	River
MASW-05	230,247	391,019	46	Field
MASW-06	232,187	390,541	46	Rice field
MASW-07	231,143	389,328	46	Rice field
MASW-08	231,207	387,543	46	Rice field
MASW-09	236,382	391,338	46	Rice field
MASW-10	236,014	389,490	46	Rice field

본 조사에서는 탐사 장비는 일본 OYO사의 McSeis SX series를 사용하였으며 2m 간격으로 배열한 24개의 수신기(Geophone)을 이용하여 한 측선당 46m길이의 자료를 획득하였다. 각 측선마다 25개의 기록을 얻는 것을 원칙으로 하였다. 측선의 수신기와 수신기 사이를 송신점으로 하여 해머링으로 타격하여 탄성파자료를 획득하였다. Fig. 13은 MASW를 통한 지반조사 현장사진을, Fig. 14는 해석 결과를 보여준다.

6.2 MASW 조사결과에 따른 지층별 N-Vs 상관관계

경북 포항시 북구 흥해읍의 행정경계 내부에 1.0kmx1.0km 간격으로 구획하고 국토지반정보 포털시스템 상 시추자료가 없는 지역에 대한 N치를 추정하기 위해 탄성파탐사 자료에서 획득된 심도별 Vs값과 인접한 시추공의 심도별 N값에 대한 상관관계 분석을 위해 MASW 탐사 위치 반경 1km안에 포함되는 시추공의 심도별 N값 자료를 활용하여 Fig. 15 및 Eq. (4)와 같은 결

과를 얻었다. 또한, Table 3은 각 조사위치별 Vs에서 추측한 심도별 N값을 보여준다. $R^2 = 0.53$ 으로 높은 신뢰도는 아니나 대략적인 예측값을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

$$v_s = 90N^{0.2}, N = \left(\frac{v_s}{90}\right)^5; R^2 = 0.53 \quad (4)$$

여기서, v_s 는 탄성파속도, N 은 표준관입시험치를 의미한다.

MASW 조사결과 및 Vs-N값 상관관계 분석을 바탕으로 흥해읍 일대 각 심도별(-1~13m까지 2m간격)로, 추정된 N값 분포를 나타낼 수 있으며, Fig. 16은 포항 흥해읍일대의 GL.-5 및 -7m의 N값 분포를 나타낸다.

표준관입시험치는 정확한 위치에서 시험하여 구한 N값이지만, Fig 14의 MASW를 통한 해석 결과에서 보듯이 MASW는 정확한 위치가 아닌 대략적인 구간 영역을 제시하는 지구 물리적 방법이다. 그러므로 두 지점의 정확한 위치를 판정하기는 곤란하였다. 그러나 Fig. 16에서 제시된 영역의 N값 분포양상과 Fig. 6의 경험적 베이지안 크리깅(EBK) 기법 및 Fig. 9의 역거리 가중치법(IDW) 기법의 N값 분포양상 결과는 다소 유사하다고 할 수 있었다. 즉, 현장 지반의 시추조사 결과를 유추함에 있어, 지구통계기법이 영역의 대략 값을 제시하는 지구 물리적 방법보다 이 경우에는 더 적용성이 있었다.

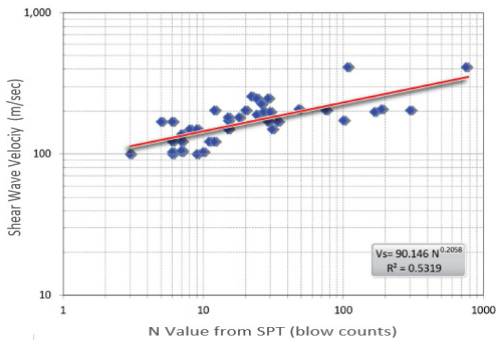


Fig. 15. Relationship between SPT-N value and shear wave velocity (Vs)

Table 3. N value for each depth estimated from Vs for each survey location

Division	N value by depth (Depth GL.-)						
	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m
MASW-A	1.30	73.40	408.54	1043.63	1951.78	3218.60	3385.75
MASW-B	54.55	68.10	296.31	748.11	1635.81	2570.45	2732.47
MASW-C	120.06	9.52	271.86	772.75	937.44	971.39	2565.22
MASW-D	2.68	3.80	2.29	3.15	2.92	2.84	1085.32
MASW-E	80.15	89.99	1238.61	2504.65	1307.06	438.47	1199.66
MASW-F	2.32	7.74	40.76	48.49	42.95	26.91	3.51
MASW-G	51.49	1.59	52.79	85.75	156.15	140.23	4.53
MASW-H	11.86	0.97	16.10	27.40	36.59	48.30	788.22
MASW-I	5.55	0.82	14.59	6.71	4.72	1.37	1835.00
MASW-J	30.05	174.16	607.36	1330.90	2457.51	3756.28	36.06

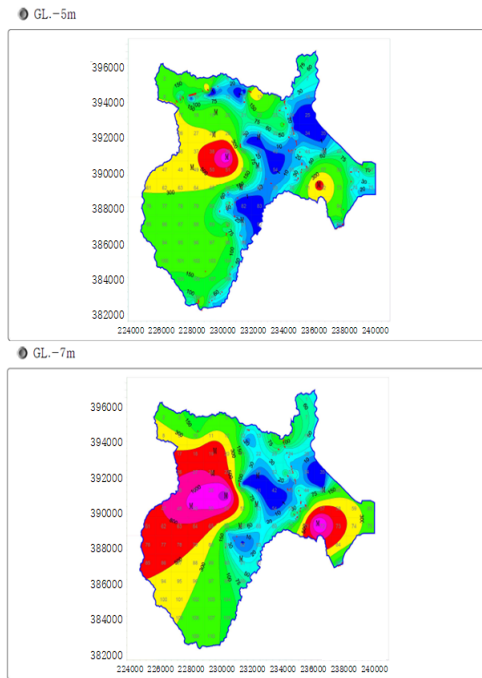


Fig. 16. Distribution of GL-5 and -7m N values in Hongae-eup area

7. 결론

국내에서 행해지는 표준관입시험은 주요 구조물 근처에 집중되어 있다. 본 연구에서는 지구통계기법인 경험적 베이지안 크리깅과 역거리 가중치법을 비 시추지역에 적용하여 구한 지반 정보의 타당성을 검증하였다. 두 기법의 해석 결과를 시추에서 구한 표준관입시험치와 지하수 높이로 검증한 후, 표면과 다중채널분석으로 재검증하였다. 본 연구에서 구한 결론은 다음과 같다.

1. 국토지반정보포털시스템을 통해 과업 대상 영역 인근의 시추자료 2,287개를 분석한 결과, 지층종류는 약 16개로 분류되었으며 대부분의 지층종류와 지하수위는 심도 5.0m 이하의 자료가 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 대부분의 시추조사가 얇은 심도에서만 수행되었기 때문이다. 또한 지층종류에 따른 출현심도와 종료심도는 다양하게 분포하는 것으로 분석되었으며, 이는 연구대상 영역의 지질학적 특성으로 인한 것이다.
2. 연구대상 영역인 포항 북구 지역을 1.0kmx1.0km

로 분할하여 총 110개의 구역으로 분할하였으며, ArcGIS 내의 확률론적 기법(EBK)과 결정론적 기법(IDW)을 이용하였다. 경험적 베이지안 크리깅을 통한 교차검증을 수행한 결과, 적용 기법이 적합한 것으로 나타났다. 역거리 가중치법을 통한 결과 역시 적합한 것으로 판정되었다.

3. 경험적 베이지안 크리깅과 역거리 가중치법을 이용한 지구통계기법을 적용하여 시추지역의 표준관입 시험치와 지하수 높이를 검증한 결과, 두 기법 모두 해당 값들이 기울기가 1인 직선에 고르게 분포하였으므로, 비시추지역의 분석에도 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
4. 이 연구에 사용된 지구통계기법으로 비시추지역의 지반 강도 및 지하수 등에 관한 지반 정보를 유추할 경우 충분한 타당성을 확보할 수 있으며, 현장 및 연구에 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 표면과 다중채널(MASW) 분석 결과, 경험적 베이지안 크리깅 및 역거리 가중치법의 결과와 경향은 유사하였으나, MASW는 해당 영역의 대략적인 값만을 판정할 수 있어, 현장 지반의 시추정보를 유추함에 있어 지구통계기법이 상대적으로 유리하였다.

References

- [1] B. J. Kang, B. S. Hwang, H. S. Kim, W. J. Cho, "Soil Depth Information DB Construction Methods for Liquefaction Assessment", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 20, No. 3, pp.39-46, 2019.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14481/jkges.2019.20.3.39>
- [2] J. K. Kim, J. T. Han, G. H. Park, S. M. Suk, "Development of Liquefaction Hazard Mapping Methods Integrated with 3D Building Model", *The Korean Society for Geo-Spatial Information System*, Vol. 2019, No. 11, pp.187-190, 2019.
- [3] J. K. Choi, *Geostatistics*, p.419, Sigma press, 2013, pp.138-144
- [4] E. H. Iasaks, R. M. Srivastava, "Applied Geostatistics", p.561, Oxford University Press, 1989, pp.102-117
- [5] K. krivoruchko, *Empirical Bayesian Kriging*, ESRI, 2012,
<https://www.esri.com/news/arcuser/1012/empirical-bayesian-kriging.html> [cited 2018 October]
- [6] G. Matheron, *Principles of geostatistics*, Economic geology, Vol. 58, No. 8, pp.1248-1266, 1963.
DOI: <https://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>

- [7] D. Shepard, A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference, New York, USA pp. 517-524.
DOI: <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, KDS 17 00 00 Seismic design in general, Korea Construction Standards Center, Korea, pp.52-68
- [9] K. B. Jung, *A Study on the Engineering Characteristics Behavior of Mudstone in Pohang Area*, Ph.D dissertation, Yeungnam University Graduate School., pp.32-43, 2006
- [10] H, J Lee, *Prediction of Geochemical Characteristics for Groundwaters in Boseong Area using GIS*, Ph.D dissertation, Chonnam National University Graduate School, pp.27-38, 2009.
- [11] C. W. Hong, *Optimal estimation of geostatistical distribution of rock mass rating using genetic algorithm*, Ph.D dissertation, Graduate School of Seoul National University, pp.48-52, 2006
- [12] J. K. Park, J. S. Lee. "Forest Information Mapping using GIS and Forest Basic Statistics", *Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 8, pp.370-377, 2018.
- [13] Y. J. Noh. (2016). "A Comparison Study on Statistical Modeling Methods", *Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 17, No. 5, pp.645-652. 2016.

한 희 수(Heui-Soo Han)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토질 및 기초, 사면안정, 보강토옹벽

김 경 오(Kyung-Oh Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 ~ 현재 : 한국도로공사 근무
- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정

<관심분야>

토질및기초, 보강토옹벽, 토류구조물