The Journal of Engineering Geology
pISSN : 1226-5268 eISSN : 2287-7169

Vol. 33, No. 4, December, 2023, pp. 531-541
https://doi.org/10.9720/kseg.2023.4.531

RESEARCH ARTICLE

시추조사 정보 활용방안에 관한 연구

김진환[1*] · 백 용[2] · 이종현[3] · 이규필[1] · 김우석[1]

[1]한국건설기술연구원 지반연구본부 수석연구원, [2]한국건설기술연구원 지반연구본부 선임연구위원,
[3]한국건설기술연구원 건설산업진흥본부 연구위원

A Study on the Utilization of Drilling Investigation Information

Jinhwan Kim[1*] · Yong Baek[2] · Jong-Hyun Lee[3] · Gyuphil Lee[1] · Woo-Seok Kim[1]

[1]Senior Researcher, Department of Geotechnical Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[2]Senior Research Fellow, Department of Geotechnical Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[3]Research Fellow, Construction Industry Promotion Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Abstract

The most important thing in the 4th industry, AI era, and smart construction era is digital data. Basic data in the civil engineering field begins with ground investigation. The Ministry of Land, Infrastructure and Transport operates the Geotechnical Information Database Center to manage ground survey data, including drilling but the focus is on data distribution. This study seeks to devise a plan for long-term use of the results of drilling investigation conducted for the design and construction of various construction projects. For this purpose, a pilot area was set up and a 'geotechnical design parameters digital map' was created using some geotechnical design parameters from the drilling investigation data. Using the developed algorithm, a digital map of friction angle and permeability coefficient for the hard rock stratum in the pilot area was created. Geotechnical design parameters digital map can identify the overall condition of the ground, but reliability needs to be improved due to the lack of initial data input. Through additional research, it will be possible to produce a more complete geotechnical design parameters digital map.

Keywords: drilling investigation, geotechnical design parameters, algorithm, digital map

초 록

4차 산업, AI 시대, 스마트건설 시대에 가장 중요한 것은 디지털 데이터다. 토목 건설 분야의 기초 데이터는 지반조사로부터 시작된다. 시추조사를 포함한 지반조사 데이터 관리를 위해 국토교통부에서는 국토지반정보 통합DB센터를 운영하고 있으나 데이터의 유통에 초점이 맞추어져 있다. 본 연구는 각종 건설공사의 설계, 시공을 위해 수행하였던 시추조사 결과를 장기적으로 활용하는 방안을 마련하기 위해 시범지구를 설정하고 시추조사 자료 중, 일부 지반설계정수를 이용하여 '지반설계정수 디지털 맵'제작하였다. 개발한 알고리즘을 이용하여 시범지구 경암 지층에 대한 마찰각과 투수계수 지반설계정수 디지털 맵을 제작하였다. 지반설계정수 디지털 맵은 지반의 전체적인 상태를 파악할 수 있으나 입력되는 초기 데이터가 부족하여 신뢰성 보완이 필요하다. 추가 연구를 통해 보다 완성된 지반설계정수 디지털 맵을 제작할 수 있을 것이다.

주요어: 시추조사, 지반설계정수, 알고리즘, 디지털 맵

OPEN ACCESS

***Corresponding author:** Jinhwan Kim
E-mail: goethite@kict.re.kr

Received: 8 November, 2023
Revised: 30 November, 2023
Accepted: 6 December, 2023

Ⓒ 2023 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/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

지반조사는 토목구조물, 건축구조물 및 시설물의 설계에 필요한 지반정보를 획득하고 설계정수를 산정하기 위한 조사를 말한다. 조사 단계에 따라 예비조사, 본조사, 추가조사로 나눌 수 있다(MLIT, 2021). 시추조사는 본조사 단계에서 수행되는 조사로 지반의 상태를 직접 확인 할 수 있다. 시추코어 관찰을 통해 시추주상도를 작성하며 시추과정에서 현장시험 및 채취한 시료를 이용하여 실내실험을 수행하여 지반공학적 특성을 파악한다. 지반공학적 특성은 지반설계정수로 표현된다. 점착력, 내부마찰각, 변형계수, 포아송비 등 실내실험을 통해 설계에 필요한 지반특성을 산정하게 된다.

4차 산업혁명과 AI 시대를 맞아 데이터의 중요성이 어느 때 보다 강조되고 있다. 토목건설 분야에서도 데이터의 중요성은 피할 수 없는 시대의 흐름으로 볼 수 있다. 토목건설 분야의 기초 데이터는 지반조사로부터 시작된다. 우리나라에서는 각종 건설공사를 위해 수행하였던 지반조사 결과를 일회성으로 소비하지 않기 위하여 전산화하여 관리한다. 건설기술진흥법, 지하안전관리에 관한 특별법 및 지반조사성과 전산화 및 활용에 관한 지침에 근거하여 국토교통부의 소속기관, 산하기관, 지자체 및 건설공사를 수행하는 공공기관의 지반조사 결과는 '국토지반정보 통합DB센터'에 등록해야 하며 등록된 정보는 각종 공사의 입지선정, 타당성조사, 설계 및 학술연구 등에 활용할 수 있도록 제공되고 있다(Fig. 1)(MLIT, 2019, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b).

Fig. 1. Geotechnical information database system website (www.geoinfo.or.kr).

최근에는 국내 주요 대도시에서 발생한 지반침하 사고와 피해로 인하여 지반조사의 중요성이 부각되고 있으며 지하시설물 등 각종 구조물 관리를 체계적이고 효과적으로 관리하기 위하여 기존에 조사하였던 지반조사 결과의 활용 방안에 대한 연구가 진행되고 있다(Gang et al., 2019; Ji et al., 2021; Park et al., 2022). Gang et al.(2019)은 지반의 액상화 평가에 필요한 지반정보를 분류하고 시추공 DB에서 액상화 발생이 예상되는 지층의 두께를 정의하는 방안을 제시하였다. Ji et al.(2021)은 서울 지하공간의 3차원 지층분류를 위해 인공신경망 기반의 학습모델을 구축하고 가시화 연구를 수행하였으며 연구 결과를 지구통계학적 공간 보간법으로 구축한 3차원 결과와 비교하였다. Park et al.(2022)은 국토지반정보 통합DB센터에 구축되는 정보의 신뢰도를 높이기 위해 AI를 이용하여 입력되는 지반정보의 자동 품질관리 방안을 제안하였다.

영국지질조사소(British Geological Survey, BGS)에서는 영국 지질의 공학적 특성에 해당하는 정보 제공을 위해 BGS Civils Datasets을 제공하고 있다. BGS Civils Datasets은 1:50,000 지도 기반으로 Bulking volume, Corrosivity(Ferrous), Discontinuities, Engineered fill, Excavatability, Foundation conditions, Strength, Sulfate/sulfide potential의 총 8개 레이어로 구성되어 있다. 사용자가 공학적 특성 정보에 신속하게 접근하여 각종 지하구조물 설계 계획, 비용 계산 등에 활용

할 수 있도록 GIS shape 파일을 받을 수 있다(BGS, 2023). BGS Civils에서 제공하는 정보 중, Excavatability와 Strength 샘플 자료를 Fig. 2에 나타내었다. 샘플 정보로 제공된 자료에서 Excavatability 지표의 경우, Ripping, Power tools, Hand tools의 세 영역으로 구분하였으며 Strength의 경우, Soft, Firm, Stiff, Very stiff, Very weak, Medium strong의 여섯 구간으로 구분하여 제시하고 있다.

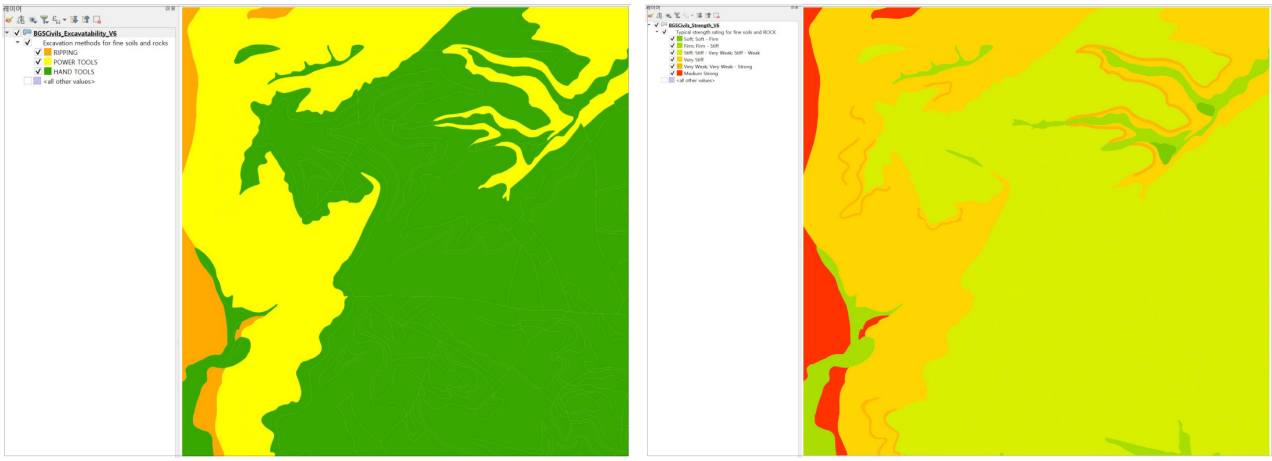

Fig. 2. British Geological Survey (BGS) Civils sample datasets (left: excavatability, right: strength).

국내외 많은 연구자들은 기조사된 지반조사 정보를 관리하고 활용할 수 있는 방안을 도출하기 위해 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 지반조사 정보를 활용하기 위한 방안으로 '지반설계정수 디지털 맵' 제작을 검토하였다. '지반설계정수 디지털 맵'은 지반조사 과정에서 실내외 실험을 통해 도출된 마찰각, 점착력, 투수계수 등 지반설계정수를 지질도와 같은 지도 형식으로 표현한 것을 의미한다(Fig. 3). 이를 위해 특정 지역의 건설공사를 위해 수행되었던 지반조사 보고서를 입수하여 시추공의 위치정보, 지층정보와 해당 시추공에서 수행한 실내외 실험 결과로부터 도출된 지반설계정수를 정리하였다. 시추공 위치를 기반으로 일정 거리로 격자를 정의하고 격자를 대표하는 지반설계정수 대푯값을 정하기 위한 알고리즘을 결정하고 이를 이용하여 지반설계정수 디지털 맵을 제작하였다.

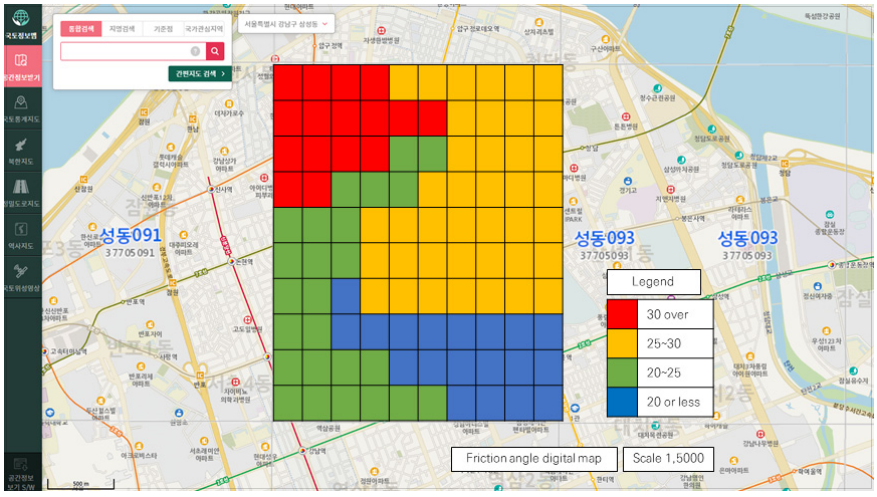

Fig. 3. Conceptual illustration of geotechnical design parameters digital map.

지반설계정수 디지털 맵 구현 알고리즘 결정

본 연구에서는 지반설계정수 디지털 맵 격자의 대푯값 결정을 위해서 관심 대상 지층의 두께를 고려할 수 있도록 가중평균(Weight average)을 적용하였다. 기본적인 개념은 Fig. 4와 같다. 격자 내에 분포하는 연암층(soft rock)의 지반설계정수 대푯값을 결정할 경우, 지층의 두께가 두꺼울수록 해당 격자 내에 연암층이 더 많이 분포할 수 있다. 따라서 가중평균은 일반적인 산술 평균과 달리 대상 지층의 두께 영향 요소를 더 반영할 수 있다.

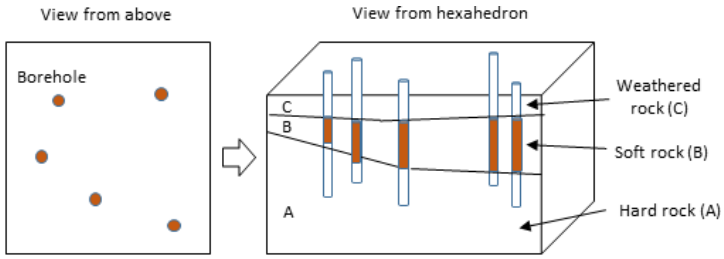

Fig. 4. Conceptual illustration of weighted average application.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다. 대상 지역을 $n \times m$개로 격자화 하고, 격자 $A(i,j)$ 내 k개의 시추공을 추출하여 각각의 시추공에 대한 가중치 $p(x_{(i,j,l)})$와 관찰 값 $x_{(i,j,l)}$을 관찰 한다(여기서 l은 1부터 k). 연암층의 두께를 고려한 격자의 대푯값은 다음과 같이 기댓값 $E(A_{(i,j)})$ 으로 표현할 수 있다(식 (1), Fig. 5).

$$E(A_{(i,j)}) = \sum_{l=1}^{k} x_{(i,j,l)} p(x_{(i,j,l)}) \tag{1}$$

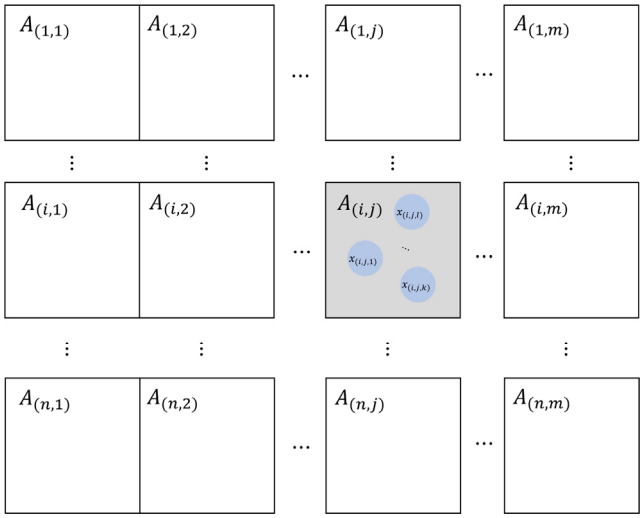

Fig. 5. Figure of weight average application to determine representative value.

예를 들어, 격자 $A(i,j)$에서 다섯 개의 시추공에 대하여 실험을 통해 연암층의 마찰각을 도출하였을 때, 격자 $A(i,j)$에서의 마찰각의 대푯값은 다음과 같이 구할 수 있다(식 (2), Table 1).

$$E(A_{(i,j)}) = \sum_{l=1}^{5} x_{(i,j,l)} p(x_{(i,j,l)}) = 34 \times \frac{3}{28} + 30 \times \frac{7}{28} + 30 \times \frac{7}{28} + 35 \times \frac{5}{28} + 32 \times \frac{6}{28} = 31.75° \quad (2)$$

Table 1. Example of representative value determination using weight average

	Observation ($x_{(i,j,l)}$, °)	Thickness of soft rock ($p(x_{(i,j,l)})$, m)
Borehole 1	34	3/28
Borehole 2	30	7/28
Borehole 3	30	7/28
Borehole 4	35	5/28
Borehole 5	32	6/28

격자 내에 지반설계정수 데이터가 충분히 있을 경우, 앞서 설명한 알고리즘을 이용하여 대푯값을 결정할 수 있다. 하지만, 격자 내에 데이터가 적거나 없는 경우가 많이 있기 때문에 본 연구에서는 가중 평균 알고리즘을 기본으로 K-최근접 이웃(*K-Nearest neighbor, K-NN*) 알고리즘과 R-반경(*R-Radius, R-R*) 알고리즘을 사용하였다. 먼저, 다음과 같이 격자 중심점으로부터 시추공까지의 거리함수를 고려할 수 있다. 격자 $A(i,j)$의 중심을 $c_{(i,j)}$라고 할 때, 두 점 사이의 거리함수를 $d(x,y)$로 나타낼 수 있으며, 유클리디안 거리함수($d(x,y) = \sqrt{\sum(x_i - y_i)^2}$)로 표현할 수 있다. K-최근접 이웃 알고리즘은 아래 식 (3)으로 표현된다.

$$E(A_{(i,j)}) = \sum_{x \in X} x p(x) \quad (3)$$

$X = \{x_{(i,j,l)} \mid d(c_{(i,j)}, x_{(i,j,l)}) < d(c_{(i,j)}, x_K)\}$, x_K는 K번째로 $c(i,j)$와 가까운 데이터이다. 예를 들어 $K = 3$일 때, Fig. 6(left)과 같이 대푯값을 알고자 하는 격자 중심의 가장 가까운 3개의 지점의 데이터를 사용한다. R-반경 알고리즘의 경우, 식 (3)에서 X를 $X = \{x_{(i,j,l)} | d(c_{(i,j,)}, x_{(i,j,l)}) < R\}$와 같이 정의할 수 있다. R이 320이면, Fig. 6(right)과 같이 $c_{(i,j)}$와의 거리가 320보다 작은 모든 지점의 데이터를 사용한다. 여기서 거리는 유클리디안 거리이다.

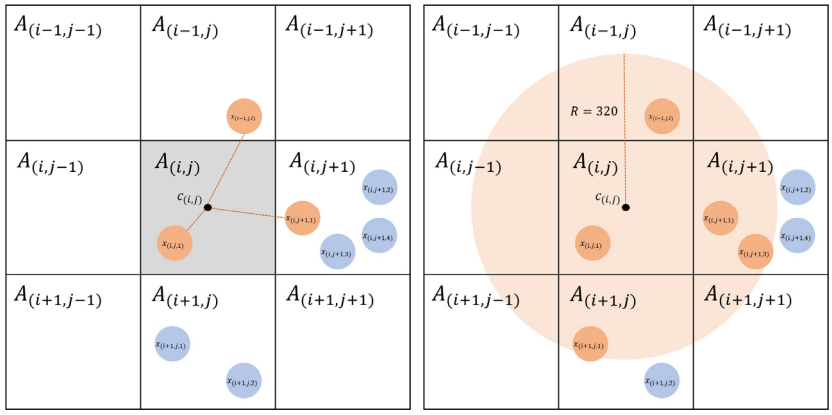

Fig. 6. Determination of representative value when data is small (left: *K-NN*, right: *R-R*).

시범지역 지반설계정수 디지털 맵 제작

지반은 일반적으로 하나의 층으로 되지 않고 암반의 강도에 따라 경암, 보통암, 연암, 풍화암, 풍화토 등으로 구분된다. 지반설계정수 디지털 맵도 지층 별로 제작되어야 한다. 본 연구에서는 시범지역으로 '영동대로 지하공간 복합개발' 사업지구로 정하였고(Fig. 7의 Pilot area) 해당지역 지반조사 보고서를 입수하여 지층을 구분하고 시추공 별 지반설계정수 데이터를 정리하였다(Fig. 8). 입수한 지반조사 보고서 명은 '현대자동차부지 특별계획구역 복합시설(Global Business Center, GBC) 신축사업 지반조사보고서(2016.11)'이며 87공의 시추공 정보가 있다.

지반설계정수 디지털 맵을 제작하기 위해 대상으로 정한 지반설계정수는 '단위중량, 마찰각, 점착력, 변형계수, 포아송비, 투수계수, 횡방향 지반반력계수, 압밀계수, 절리면전단강도, 저류계수'이다. 입수한 지반조사 보고서에는 상당부분 데이터가 없는 경우가 많다. 경암 지층의 마찰각 데이터는 9공, 투수계수 데이터는 7공에서 구할 수 있었다. 데이터가 부족하기 때문에 지반설계정수 디지털 맵을 제작하는 데 있어 주로 데이터 미구축 구간 대푯값 결정을 위한 알고리즘을 적용하였다.

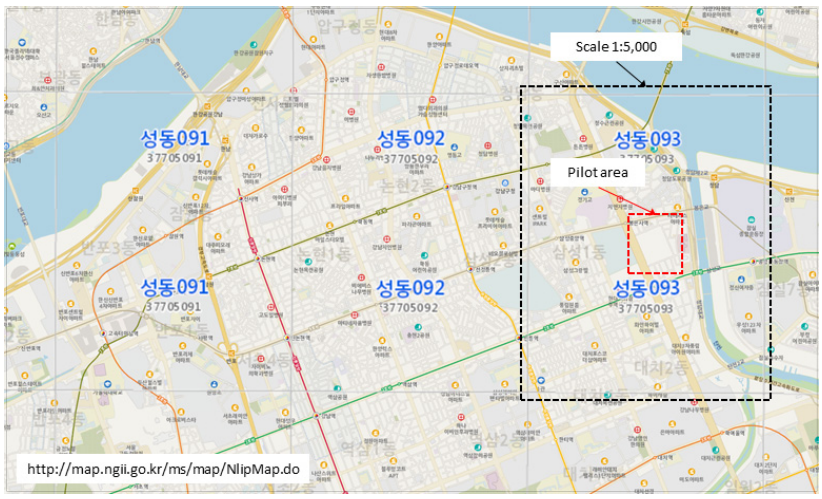

Fig. 7. Pilot area of geotechnical design parameters digital map (red box).

						지층 심도(m)								
							퇴적층							
No.	시추공번호	X	Y	지반표고(EL. +m)	조사심도(GL. -m)	매립층	점성토	모래	자갈	풍화토	풍화암	연암	보통암	경암	합계
1	BP-01	545979.022	205465.833	17.69	40	8.5		11.5	3					17	40
2	BP-02	545999.806	205514.024	17.7	40	6.7	2.1	10.9						20.3	40
3	BP-03	545957.617	205532.27	17.94	40	8		11.7					10	10.3	40
4	BP-04	545955.819	205659.242	17.95	100	11.5		2.9					4.9	80.7	100
5	BP-05	545909.392	205679.872	17.9	40	7.8		7.8	2.7			12.4	9.3		40
6	BP-06	545862.971	205698.637	17.8	40	4.7		9.8	5	0.7	19.8				40
7	BP-07	545816.75	205717.069	17.78	40	4.5		10.3	4.7				14	6.5	40
8	BP-08	545903.485	205451.992	16.85	42	4	10	3.7	2.3			20.3		1.7	42
9	BP-09	545824.776	205487.204	17.09	50.5	6.5	4.8	7.2	1.3	1.5		27		2.2	50.5
10	BP-10	545789.853	205513.448	18.35	40	7.5	3.1	5.4	4.5			7.6	5	6.9	40
11	BP-11	545908.629	205498.247	17.75	51.5	11	3	5.8	0.4			28.8		2.5	51.5
12	BP-12	545830.431	205521.41	18.32	40	8	3.7	4.3	4.5			9	10.5		40
13	BP-13	545799.244	205535.026	18.27	50	7.3	3.2	5.7	4.5			6.3	10.6	12.4	50
14	BP-14	545752.384	205555.303	18.28	100	7.3	3	6	2.3			14	27.6	39.8	100
15	BP-15	545733.893	205601244	17.5	42.8	5.5		9.5	3			3	18.8	3	42.8
16	BP-16	545929.866	205547.734	17.76	40	10.5		8.2	0.8			7.1	13.4		40
17	BP-17	545742.445	205632.849	17.51	55	5.3		8.9	7.1			26.3	7.4		55
18	BP-18	545752.838	205660.962	17.46	40.3	5.3		8.4	6.1				10.7	9.8	40.3
19	BP-19	545938.265	205614.378	17.82	40	11		5.5	1					22.5	40
20	BP-20	545890.892	205034.334	17.91	46	8.5		6.5	4.2			20	6.8		46
21	BP-21	545868.51	205644129	17.91	41	8		7.5	4.3			3.2	18		41
22	BP-22	545844.82	205655.058	17.97	40	8		11.9				3.1	3	14	40
23	BP-23	545823.546	205663.221	17.9	100	7		8.5	5.3			2.5	19.7	57	100
24	BP-24	545888.927	205690.189	17.96	40	7.8		5.2	6.7			3.1	11.2	6	40
25	BP-25	545841.531	205706.732	17.68	40	6.5		8.2	4.3			5.1	11.7	4.2	40
26	BP-26	545788.426	205731.119	17.86	50.5	7.5		7	6.3			20.4	9.3		50.5
27	BP-27	545804.022	205762.752	17.75	40	7.5		6.1	5.4			7.6	13.4		40
28	BP-28	545830.113	205752.989	17.75	40	7.6		6.1	1.1			25.2			40
29	BP-29	545851.599	205737.303	17.83	45.4	4.6		9.2	2.9			18.1		10.6	45.4
30	BP-30	545876.818	205732.95	17.73	40	8.6		3.9	3.5			10.1	5	8.9	40
31	BP-31	545900.679	205722.206	17.82	43	7		5.8	4.2			1.8	12.2	12	43
32	BP-32	545922.598	205710.603	17.82	40	8	2	3.8	3.2			5.4	2.9	14.7	40
33	BP-33	545964.095	205693.865	17.83	40	13.5		1.5	2.2				4.6	18.2	40
34	BP-34	546059.058	205653.926	19.32	40	1.4							7.7	30.9	40

						지층 심도(m)								
							퇴적층							
No.	시추공번호	X	Y	지반표고(EL. +m)	조사심도(GL. -m)	매립층	점성토	모래	자갈	풍화토	풍화암	연암	보통암	경암	합계
35	BP-35	546046.098	205619.38	19.33	40	2.1						1.4	21	15.5	40
36	BP-36	546015.253	205631.769	19.34	100	0.9							15.3	83.8	100
37	BP-37	545986.145	205644.793	19.36	50	1.6							3.9	44.5	50
38	BP-38	545878498	205666.661	18.07	50	8.5		5.9	5.1			5.8	16.3	8.4	50
39	BP-39	545786.778	205676.348	17.98	55	5	1.5	7.3	7.7			10.8	15.1	7.6	55
40	BP-40	545731.588	205561.273	18.86	50.1	7.5		8.7	3.4			10.5	2.4	17.6	50.1
41	BP-41	545786.715	205536.681	18.62	100	10.5		12.5	7			39.3	8.9	21.8	100
42	BP-42	546018.818	205575.174	19.45	54.5	1.4			1.3				15.8	36	54.5
43	BP-43	546004.96	205543.353	18.9	50	4		5.5	6.4					34.1	50
44	BP-44	545982.769	205492.395	17.84	50	7.8		14.6		0.6	1.3	6.7		19	50
45	BP-45	545962.157	205445.065	18.43	50	11		11	2			3.5	7.5	15	50
46	BP-46	545927.509	205460.153	17.98	50	11.5		9.5	1				11.5	16.5	50
47	BP-47	545873.358	205466.241	17.87	50	7.8		8.2	5.8			6.7	16.5	5	50
48	BP-48	545843.684	205469.658	17.87	50	24						13		13	50
49	BP-49	545805.427	205511.091	18.16	50	8.5	5	5.5	1.5		1			28.5	50
50	BP-50	545772.348	205527.724	18.32	50	8.5		8.5	3.5	1		6	14.4	8.1	50
51	BP-51	545745815	205539.278	19.05	52	8	4.4	4.3	4	0.3		28		3	52
52	BP-52	545720.296	205550.392	19.25	50	7.6	4.8	7.4		2.2		12	6	10	50
53	BP-53	545745.272	205607.744	18.9	55	7.4		8.5	5.4	0.4		33.3			55
54	BP-54	545775.185	205698.681	16.93	54	5.3		8	5.5			17.5	6	11.7	54
55	BP-55	545885.32	205722.627	18.13	50	5.5		6.9	5.6			12	10	10	50
56	BP-56	545975.012	205595.512	20.79	50	1.4		2.6		2.3		3	22.7	18	50
57	BP-57	545944.585	205570.489	17.47	50	11		6.5	2				9.5	21	50
58	BP-58	545944.231	205499.471	17.88	50	11			9.5			1		28.5	50
59	BP-59	545060.016	205519.194	10.27	61	13.5		0.5				24	15		61
60	BP-60	545903.387	205565.741	18.69	56.5	8.3		12.2					7.5	28.5	56.5
61	BP-61	545827.869	205627.231	17.61	50	7.4		10	3.2			13.4	16		50
62	BP-62	546029.41	205644.281	19.43	80	1					0.1	7.1	25.9	45.9	80
63	BP-63	545986.777	205662.847	20.09	80	5.5					0.2	5	6.2	63.1	80
64	BP-64	545944.144	205681.413	17.7	80	9.7		7			1.5	3.3	8.5	50	80
65	BP-65	546013898	205608.662	20.75	80	4.3					0.2	17	12	46.5	80
66	BP-66	545971.205	205627.09	20.64	80	4.5		2.3				14.7	16.5	42	80
67	BP-67	545928.633	205645.794	17.6	80	9		8	1.5	0.5		2.8	6	52.2	80
68	BP-68	545833.206	205589.45	10.57	100	2		8	4.9		0.2	25.9	9	50	100

Fig. 8. Sample summary of ground survey data in pilot area.

K-최근접 이웃 알고리즘의 경우, 지정된 격자의 중심점에서 인접한 시료 중 n개의 지정된 수량만을 유효한 데이터로 처리하였다. 다만, 데이터 표본의 분포가 적을 경우 격자 중심으로부터 너무 먼 거리의 표본도 고려될 수 있으므로 제한반경을 두고 표본수를 지정할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 격자 중심점으로부터 표본수를 3개소로 지정하였고 검색 제한반경을 200 m로 설정하였다. *R*-반경 알고리즘은 지정된 격자의 중심점에서 지정한 거리 내의 표본을 모두 유효한 데이터로 처리하도록 하였다. 인접한 지역 내에서의 데이터를 고려하므로 데이터 표본의 분포에 따라서 유효한 데이터가 많을 수도 있고 전혀 없는 경우도 있다.

앞서 설명한 알고리즘을 고려하여 지반설계정수 디지털 맵 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 초기화면을 아래 그림에 나타내었다(Fig. 9). 프로그램 사용법에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다. '자료입력' 버튼을 클릭하면 파일열기 대화상자가 표시되어 사전에 정리한 시추공 정리 엑셀 자료를 선택할 수 있으며 시추공 위치를 화면에 표시한다(Fig. 10). 그 다음 사전에 정의한 지반설계정수 항목과 지층 종류를 선택한다(Fig. 11). 인접수량지정(*K-NN*) 또는 반경(*R-R*) 알고리즘을 선택하고 '디지털 맵 생성' 버튼을 누르면 격자 최대, 최소 대푯값을 여섯 단계로 색상을 구분하여 디지털 맵을 도시하게 된다(Figs. 12 and 13).

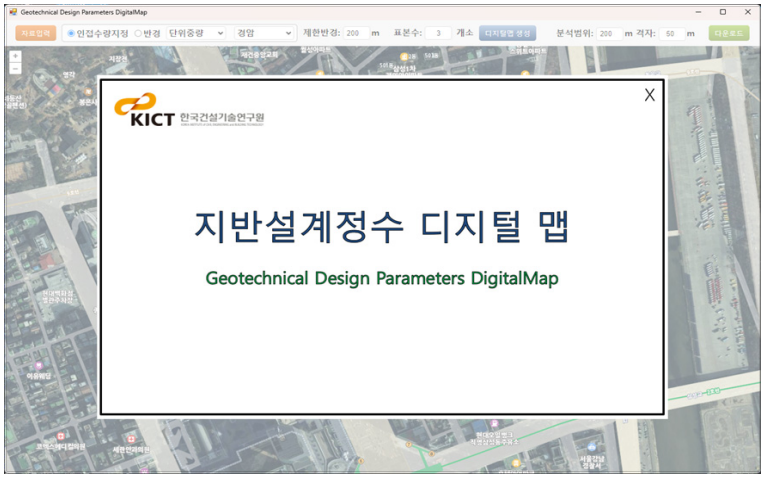

Fig. 9. Initial screen of geotechnical design parameters digital map.

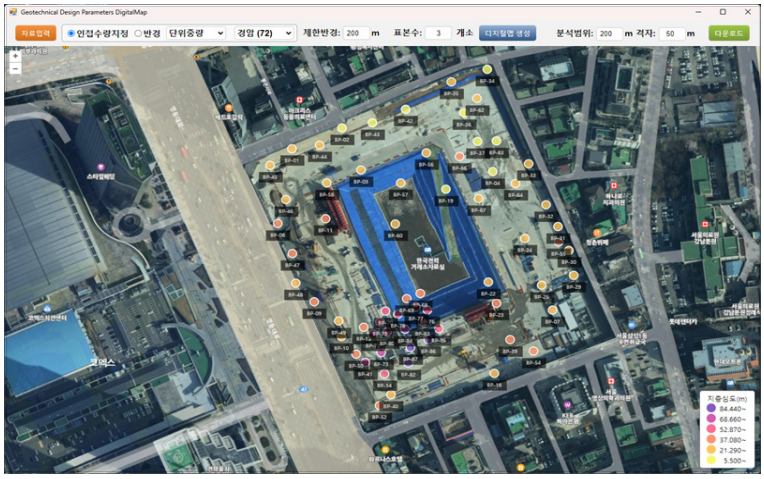

Fig. 10. Display screen of borehole location.

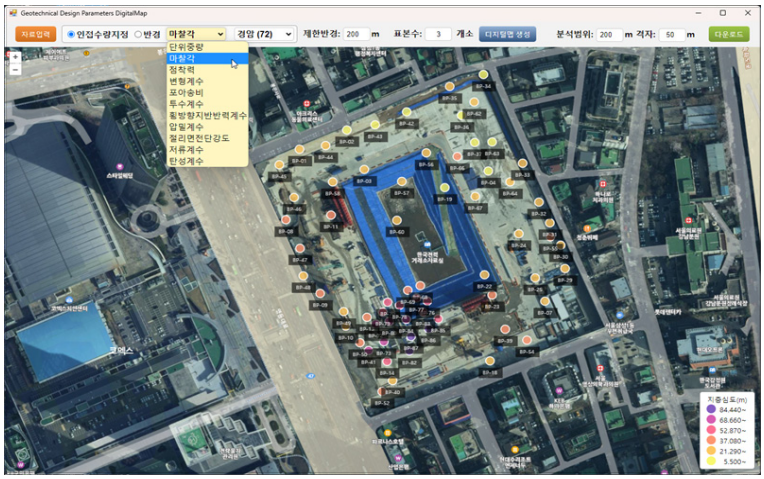

Fig. 11. Selection of geotechnical design parameters for digital map.

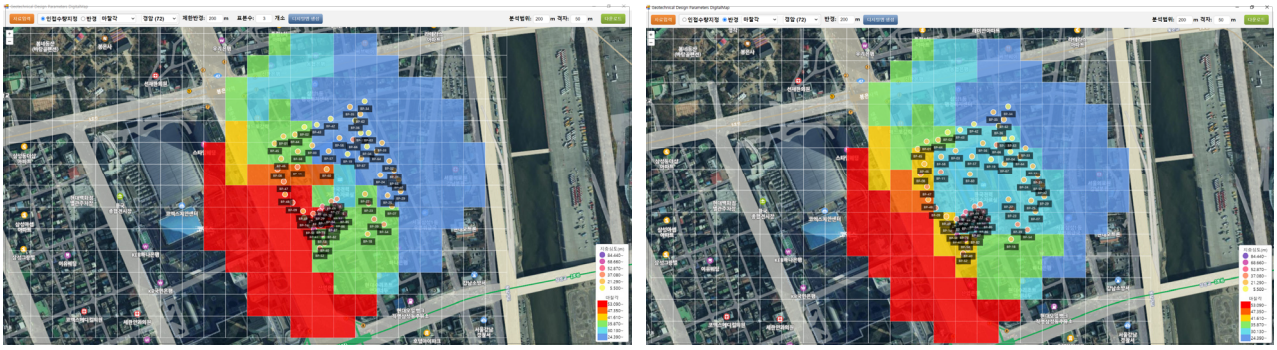

Fig. 12. Digital map of friction angle (hard rock, left: *K-NN*, right: *R-R*).

Fig. 13. Digital map of permeability coefficient (hard rock, left: *K-NN*, right: *R-R*).

토의 및 결론

본 연구에서 샘플로 제시한 지반설계정수 디지털 맵은 경암 지층의 마찰각과 투수계수이다. 경암의 마찰각은 시추공 9공에 데이터가 있었으며 투수계수 데이터는 시추공 7공에 있었다. 각각의 알고리즘으로 도시한 마찰각과 투수계수 디지털 맵은 큰 차이를 보이지는 않는다. 다만, 디지털 맵 도시를 위해 사용되는 데이터가 모여 있는 구간에서는 반경 내 사용

되는 데이터의 개수, 값에 따라 가중 평균 대푯값이 달라져 약간의 차이가 발생한다(Fig. 14).

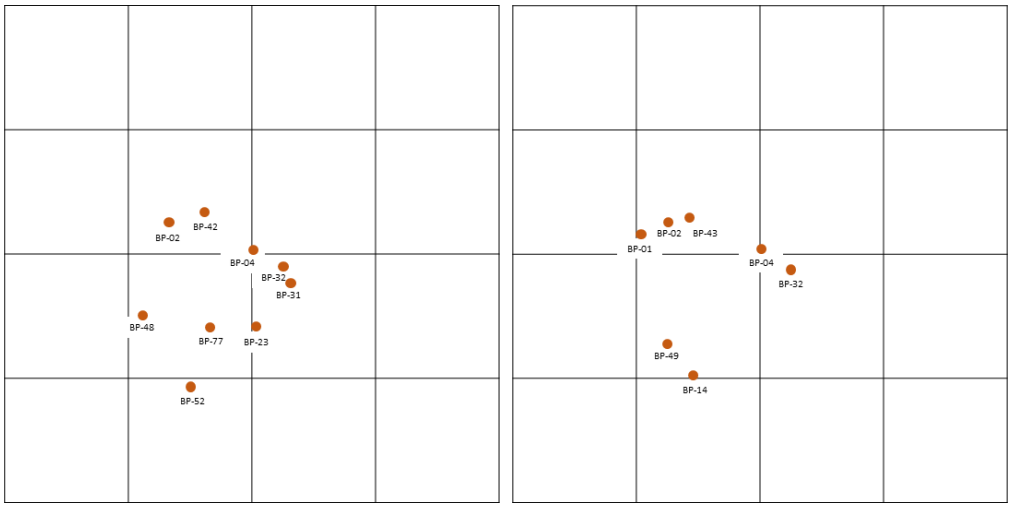

Fig. 14. Location of boreholes used in creating digital maps (left: friction angle, right: permeability coefficient).

실내외 실험으로 구한 마찰각, 투수계수 값(지반조사 보고서 자료, 시추공 데이터로 정의)과 지반설계정수 디지털 맵 프로그램을 이용하여 구한 격자의 마찰각과 투수계수 대푯값(알고리즘 데이터로 정의)을 정리하였다(Tables 2 and 3). 지반설계정수 디지털 맵을 이용하여 격자의 마찰각 가중 평균 데이터를 구했을 때, 시추공 데이터와 유사한 경우도 있으나 일부 결과는 시추공 데이터와 큰 차이를 보였다. 이는 격자 내 시추공 데이터와 격자 중심점 주변에 분포하는 다른 시추공 데이터와의 값 차이가 크기 때문에 나타난 결과이다. 투수계수의 경우도 유사한 경향을 확인할 수 있다.

현재 개발된 지반설계정수 디지털 맵 프로그램은 초기 버전으로 앞으로 많은 개선이 필요하다. 프로그램의 신뢰성 및 활용도를 높이기 위해서는 입력되는 시추공의 지반설계정수 데이터가 많아야 한다. 신뢰성 높은 디지털 맵을 제작하기 위해 필요한 구축되어야 할 데이터의 규모를 제안하기 위해 가상 데이터를 이용한 시뮬레이션 방안을 검토해볼 수 있다. 향후, 지반상태를 전반적으로 파악할 수 있는 지반설계정수 디지털 맵을 개발할 수 있도록 데이터 확보 방안, 알고리즘 보완 등을 추진할 것이다.

Table 2. Comparison of borehole data and algorithm data for hard rock friction angles

Borehole number	Friction angle (°) measured by experiment (*a*)	Friction angle calculated by algorithm			
		K-NN (*b*)	*a-b*	*R-R* (*c*)	*a-c*
BP-02	39	36.43	2.57	36.78	2.22
BP-04	27.8	28.00	-0.20	32.60	-4.80
BP-23	26.8	37.08	-10.28	34.39	-7.59
BP-31	24.4	27.37	-2.97	32.05	-7.65
BP-32	32	28.00	4.01	32.05	-0.05
BP-42	26.9	29.22	-2.32	29.49	-2.59
BP-48	58.8	57.83	0.97	53.02	5.78
BP-52	58.1	40.58	17.52	42.62	15.48
BP-77	57.4	33.65	23.75	34.73	22.67

Table 3. Comparison of borehole data and algorithm data for hard rock permeability coefficient

Borehole number	Permeability coefficient (μm/s) measured by experiment (*a*)	Permeability coefficient calculated by algorithm			
		K-NN (*b*)	*a-b*	*R-R* (*c*)	*a-c*
BP-01	0.0339	0.04	-0.006	0.046	-0.012
BP-02	0.04	0.04	0.000	0.046	-0.006
BP-04	0.0467	0.043	0.004	0.045	0.002
BP-14	0.0498	0.055	-0.005	0.055	-0.005
BP-32	0.0286	0.043	-0.014	0.043	-0.014
BP-43	0.0421	0.04	0.002	0.045	-0.003
BP-49	0.0613	0.05	0.011	0.05	0.011

지반설계정수 데이터 지속적인 확보 방안의 일환으로 시추코어 관리 체계 수립을 고려해볼 수 있다. 미국의 경우, 각종 프로젝트 수행과정에서 취득한 시추코어를 체계적으로 관리, 분석하고 있으며(Snyder et al., 2016) 우리나라도 한국광해광업공단 국가광물정보센터에서 광산개발을 통해 수집한 시추코어를 보관하고 코어 이미지를 스캔하여 데이터를 구축하고 있다(Fig. 15). 시추코어 관리 과정에서 지반설계정수를 데이터를 취득하기 위한 실험 절차를 추가하여 관리한다면 지반설계정수 디지털 맵의 신뢰성과 활용도를 높이는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 이는 향후 연구추진 과정에서 정책적으로 추진할 부분에 대해 논의가 필요하다.

각종 토목건설 공사 설계를 위해 수행되는 시추 지반조사 데이터는 일회성으로 사용되고 사장되는 경우가 많다. 본 연구에서는 시추 지반조사를 통해 구한 지반설계정수를 디지털 맵의 형식으로 표현하여 활용할 수 있는 방안을 검토하였다. 이를 위해 시범지구로 정한 지역의 지반조사 보고서를 입수하여 지반설계정수 데이터를 정리하였다. 지반설계정수 데이터가 지도 형식으로 표현될 수 있도록 알고리즘을 결정하고 프로그램을 개발하였다. 개발된 지반설계정수 디지털 맵은 시범지구의 전반적인 지반 분포 현황을 볼 수 있다. 하지만 입력된 지반설계정수 데이터가 적어 시추공 데이터와 알고리즘 데이터 간에 차이가 많이 발생하였다. 지반설계정수 디지털 맵의 신뢰성 및 활용성을 높이기 위해서는 보완이 필요하며 추후 연구 계획을 수립함에 있어 검토되어야 할 사항으로 판단된다.

Fig. 15. Domestic and overseas drilling core management cases.

사사

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20230096-001, 지반분야 재난재해 대응과 미래 건설산업 신성장을 위한 지반 기술 연구(3/3)).

References

BGS (British Geological Survey), 2023, Datasets (BGS Civils), Retrieved from https://www.bgs.ac.uk/geological-data/datasets.

Gang, B.J., Hwang, B.S., Kim, H.S., Cho, W.J., 2019, Soil depth information DB construction methods for liquefaction assessment, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 20(3), 39-46 (in Korean with English abstract).

Ji, Y., Kim, H.S., Lee, M.G., Cho, H.I., Sun, C.G., 2021, MLP-based 3D geotechnical layer mapping using borehole database in Seoul, South Korea, Journal of The Korean Geotechnical Society, 37(5), 47-63 (in Korean with English abstract).

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2019, Guidelines for computerization and use of ground investigation results (in Korean).

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2021, Ground design standards, ground investigation (in Korean).

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2022a, Act on construction technology promotion (in Korean).

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2022b, Special act on underground safety management (in Korean).

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2023a, Geotechnical information DB system, Retrieved from https://www.geoinfo.or.kr.

MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2023b, Ground design standards, ground investigation (in Korean).

Park, K.H., Kim, J., Lee, S., Kim, M.K., Lee, K.R., Han, J.T., 2022, A study on the quality control method for geotechnical information using AI, Journal of The Korean Geotechnical Society, 38(11), 87-95 (in Korean with English abstract).

Snyder, N., Bartholomay, R., Hodges, M., McLing, T., 2016, Sample and core curation plan, U.S. Department of Energy.