

클러스터링과 지구통계학 기법을 이용한 지하공간정보 모델 생성시스템 개발

이상훈^{1*}

Development of Subsurface Spatial Information Model System using Clustering and Geostatistics Approach

Sang-Hoon LEE^{1*}

요 약

지반조사자료 관리를 위한 현재의 DB시스템은 점으로 표현되는 시추조사에 한정되었기 때문에 여타 GIS데이터와의 활용이 제한적이었다. 시추공 자료를 이용한 보간으로 지하의 공간적 분포특성을 찾고자 하는 연구들이 있었지만, GIS와의 상호운영이나 지반공학적 특성을 고려치 못하여 실무적으로 활용하기에는 어려웠다. 본 연구에서는 지반정보DB에서 필요한 지반공학 자료를 추출하여 지하공간정보 모델을 생성하였다. 지반정보 클러스터링 프로그램(GEOCL)을 개발하여 시추공구성(비), 지층분류, 지반강도에 대한 클러스터를 생성하였다. 생성된 클러스터의 공간적 분포를 고려하여 지구통계기법의 하나인 권역 크리깅(권역 크리깅)으로 보간을 수행하였다. 최종적으로 수치표고모형과 통합하여 지하공간정보 모델을 생성하고, 지하공간정보 가시화 프로그램(SSIVIEW)를 통해 3차원으로 가시화하였다. 개발된 지하공간정보 모델은 건설공사의 지반해석과 기초설계에 적극 활용되리라 기대된다.

주요어 : 지하공간정보모델, 지반정보, ISODATA클러스터링, 권역 크리깅, 수치표고모델

ABSTRACT

Since the current database systems for managing geotechnical investigation results were limited by being described boring test result in point feature, it has been trouble for using other GIS data. Although there are some studies for spatial characteristics of subsurface modeling, it is rather lack of being interoperable with GIS, considering geotechnical engineering facts. This is reason for difficulty of practical uses. In this study, we has developed subsurface spatial information model through extracting needed geotechnical engineering data from

2008년 10월 14일 접수 Received on October 14, 2008 / 2008년 11월 10일 수정 Revised on November 10, 2008 / 2008년 11월 12일 심사 완료 Accepted on November 12, 2008

1 한국건설기술연구원 유비쿼터스국토연구실 연구원 Researcher, Ubiquitous Land Implementation Division, Korea Institute of Construction Technology

* 연락처자 E-mail : sanghoon@kict.re.kr

geotechnical information DB. The developed geotechnical information clustering program(GEOCL) has made a cluster of boring formation(and formation ratio), classification of layer, and strength characteristics of subsurface. The interpolation of boring data has been achieved through zonal kriging method in the consideration of spatial distribution of created cluster. Finally, we make a subsurface spatial information model to integrate with digital elevation model, and visualize 3-dimensional model by subsurface spatial information viewing program(SSIVIEW). We expect to strengthen application capacity of developed model in subsurface interpretation and foundation design of construction works.

KEYWORDS : *Subsurface Spatial Information Model, Geotechnical Information, ISODATA Clustering, Zonal Kriging, DEM*

서론

지반조사는 건설공사의 계획부터 설계 및 시공, 유지보수에 이르기까지 건설사업 전반에 걸쳐 공학적 판단근거를 제공한다. 따라서 정확한 지반조사를 통해 지반을 적합하게 평가해야만 구조물의 안정성과 경제성을 높일 수 있다. 지금까지 건설공사 시 필수적으로 지반조사를 수행하여 방대한 양의 성과가 축적되었으며, 이러한 자료는 데이터 모델링하여 지반정보를 구현하고, 이를 데이터베이스화 하여 효율적으로 자료의 구축·관리 및 활용에 관한 연구가 수행되었다(AGS, 1992; 한국건설기술연구원 2000, 2004; 이상훈·장용구 2007).

그러나, 이러한 선행연구는 대부분 관계형 데이터베이스를 기반으로 점(Point)형태의 시추공에 한정되어 있어 활용에 어려움이 많았다. 특히, 지반과 관련된 다른 GIS자료(지질도, 토양도, 수문지질도, 토지현황도 등)와의 통합 분석에는 많은 제약이 있었다. 따라서 점 형태의 시추공 자료의 보간(Interpolation)을 통한 지하공간정보 모델링의 필요성이 제기되었다.

Kumar 등(2000)은 시추공 사이에 보간으로, Wingle 등(1996), Deutsch 등(1997)은 지구통계학적 예측기법을 이용하여 지하공간정보 모델링을 수행하였다. 그러나 이러한 연구는 지질학적 개념에서 단순한 지하의 성층구조 파

악에 집중되었으며, 여타 GIS와의 연동을 고려한 자료구조는 제시하지 못하였다.

또한, 기존의 지하공간모델은 지반공학적 특성을 고려한 데이터의 분류와 분석이 이뤄지지 않았다. 이러한 지반정보 데이터마이닝에 관한 연구는 Lagacherie 등(1997), Bruin(1998) 등에 의해 주로 1m 이내 천심도의 지반조사 자료를 다루는 토양학(Soil science)에서 연구되어 왔으며, 시추조사 자료에 대한 연구는 미진한 상태이다.

국토해양부는 지하국토정보에 대한 인식확산에 따라 제2차 국가지리정보체계 기본계획(건설교통부, 2000)에서 공공부문 GIS활용체계의 하나로 '지반·지질·자원의 시추정보, 지질도, 시험자료, 지하수, 광물자원, 석재 등의 정보를 지하지리정보로 정의하였다. 현재는 전국적인 국토지반정보 DB구축사업을 추진하고 있다(국토해양부, 2008). 따라서, 지하공간정보 모델(지하지리정보)은 기존의 GIS자료와 통합·운영이 가능한 자료구조 형태가 요구되고 있다.

본 연구는 지반조사자료 중 시추자료를 대상으로 지반공학적 특성에 따른 군집화와 지하공간 예측을 위한 점 자료의 보간을 연구하였다. 또한, 관련 GIS자료와 상호연계 및 가시화를 위하여 지하공간모델 자료구조와 관련 프로그램을 개발하였다.

지하공간정보모델 생성시스템 개발

1. 연구방법

본 연구의 진행과정은 표 1과 같다.

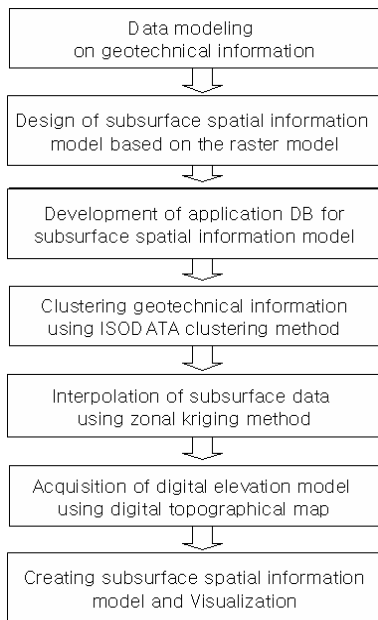


FIGURE 1. 연구 흐름도

지하공간정보 모델 생성을 위하여 먼저 지반조사자료의 데이터모델링 과정을 통해 지반 정보를 생성하고, 유사성에 따라 군집을 생성을 위하여 클러스터링 기법을 적용하였다. 이때 군집화는 시추공의 지층분류를 통해 대표 지층을 구성하는 ‘지층화(Layering)’과정과 유사한 지층특성을 가지는 지역을 묶는 ‘구역화(Zoning)’과정으로 나뉘어 진다.

다음으로 지역적 특수성을 고려한 보간 결과를 얻기 위하여 구역화 군집 결과를 이용하여 소구역을 나누고, 각각 보간을 수행하여 통합하는 지구통계학적 방법의 하나인 권역 크리깅(Zonal Kriging)을 적용하였다. 이렇게 생성된 자료는 수치지형도를 통해 얻어진 수치표고 모형과 함께 하나의 자료구조로 구성되며, 개발된 프로그램을 통해 3차원으로 가시화된다.

2. 지반정보 데이터 모델링

지반조사는 토질 및 암반에서 공히 시추조사(boring) 및 이와 병행 혹은 연속적으로 수행되는 시추 공내시험으로 인식된다(박인석역, 1995). 이는 시추조사가 인적, 물적, 시간적 비용과 함께 자료의 방대함, 신뢰성으로 볼 때 가장 합리적이기 때문이다. 따라서 지반조사자료는 지반의 구성, 즉 지층의 형상 및 관련특성(현장 원위치시험 등)을 기술한 시추주상도와 기타 현장시험, 그리고 샘플채취 후 실내시험을 수행한 지반정수를 기록한 시험양식(기초물리특성, 체분석시험, 투수시험, 압밀시험, 전단시험 등)으로 이루어진다(AGS, 1992; 한국건설기술연구원, 2000). 이를 기초로 지반조사자료의 데이터 객체는 표 1과 같이 일반사항(general), 지층구분(layer), 시료채취 및 원위치시험(sample and in-situ test), 실내시험(indoor test), 범례(remarks)로 분류하였다.

TABLE 1. 지반정보 객체의 분류

Type	Object item
general	project, client, hole no., location, coordination, elevation, cate, depth, casing depth, ground water level, machine, method, driller, inspector
layer	depth, elevation, thickness, casing, symbolic log, soil or rock type, color, description
sampling and in-situ test	fracture Log, TCR/RQD, sample no. & method, depth & sample type, SPT, permeability, Etc
lab test	classification test, consolidation test, unconfined compressive strength test, direct shear test, triaxial compression test, vane test, etc
remarks	sample type(undisturbed, disturbed, core, no sample), sampling method (DS:denison sampler, PS:piston sampler, SC:single core barrel, DC:double core barrel, TC:triple core barrel)

조사된 지반정보 속성자료를 이용하여 지반 정보를 구성하는 객체와 관계를 그림 2와 같이 추출하였다. Project Object는 지반조사를 실시하는 공사명, 기간, 발주처 등 공사 전반에 관한 사항을 기술하며, Hole Object는 Project Object의 상속을 받아 시추공단위의 위치, 지하수위, 시추자 등에 대해 기술한다. 나머지 정보들은 Hole Object의 상속을 받아 지층정보를 기술하는 Layer Object, 그리고 표준관입시험, 콘관입시험 등을 기술하는 In-situ Object, 실내시험을 위한 시료채취정보를 기술하는 Sample Object로 구성되게 된다. 국토해양부에서 운영 중인 지반정보DB포털은 그림 2의 모델링을 기초로 작성되었으며, 본 연구에서는 지반정보DB 포털에서 수집한 자료를 활용하여 지하공간정보 모델을 생성에 적용하였다.

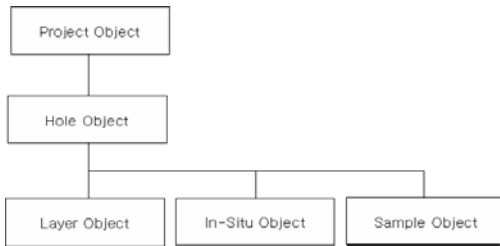


FIGURE 2. 지반정보 객체의 구성

3. 지하공간정보 모델 구조

지하공간정보 모델의 구조로는 래스터 데이터 모델을 선정하였다. 래스터 모델은 지하의 공간적 변이를 표현하는데 용이하기 때문이다. 반면, 벡터 모델을 적용하여 3차원을 표현할 경우 위상구조가 매우 복잡해지기 때문이다. 또한, 지표면 모델링의 결과인 수치표고모델과의 통합을 고려하여 볼 때 동일한 래스터모델을 바탕으로 하는 것이 경제적이기 때문이다. 단, 래스터 모델의 단점인 자료의 양이 방대해진다는 문제는 JPEG2000과 같은 고효율의 압축저장기법을 이용하여 해결가능하며, 벡터모델을 채택하여 3차원 위상을 구축하기 위해 관련정보를

정렬하는데 소요되는 시간보다 적기 때문이다.

지하공간정보의 자료구조모델은 격자 형태로 이루어져 표 2와 같이 행렬형식으로 저장된다. 이때 첫 문단은 층의 개수, 격자의 크기 등을 나타내는 헤더정보이며, 각 층을 나타내는 시작점은 표현대상(해당 지층의 범위)의 왼쪽, 하단부를 원점으로 설정한다.

TABLE 2. 지하공간정보모델의 자료구조

<pre> number of layer number of row, number of column, initial x coordinate, initial y coordinate grid size name 1 of layer attribute of layer (0, 0) in left/bottom depth value(Z(0, 0)), depth value(Z(0, 1)), depth value(Z(0, 2)) (1, 0) in left/bottom depth value(Z(1, 0)), depth value(Z(1, 1)), depth value(Z(1, 2)) : : name 2 of layer attribute of layer (i, 0) in left/bottom depth value(Z(i, 0)), depth value(Z(i, 1)), depth value(Z(i, 2)) (i, 0) in left/bottom depth value(Z(i, 0)), depth value(Z(i, 1)), depth value(Z(i, 2)) : : continue.... </pre>
--

이러한 지하공간정보 모델생성을 위해서는 앞에서 모델링한 DB에서 직접 불러오는 것이 아니라, 활용DB를 생성하여 가공하는 단계를 통해 필요 없거나, 유사한 정보를 통합하도록 군집화 기법을 적용하였다. 이러한 과정은 데이터 생성 단계, 데이터분석·예측의 두 단계로 이루어진다.

데이터 생성단계는 SPT, USCS, Hole Formation이라는 세 가지 벡터 테이블로 구성된다. SPT 벡터는 지층에 대한 가장 세밀한 정보로서 시추공에서 일정깊이(1~1.5m)마다 연약 정도를 나타내는 강도시험 결과를 SPT값으로 나타내고, USCS 벡터는 시추공의 지층을 단위로 하여 각 지층에 대한 통일분류법인 USCS 분류 값을 나타낸다. 그리고 Hole Formation 벡터는 시추공을 하나의 단위로 하여 그 시추공을

이루는 지층의 구성과 그 구성비를 나타낸다. 또한, 데이터 분석·예측 단계에서 생성하는 Cluster Array 벡터는 생성단계의 각 벡터에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 얻어지는 각각의 클러스터 ID를 가지게 된다.

① SPT 벡터

SPT 벡터는 표준관입시험(SPT : Standard Penetration Test)의 결과 값 N치를 표현한 것으로 시험방법은 “중량 64kg의 추를 76cm의 높이에서 자유 낙하시켜 시험용 샘플러를 지반에 30cm 관입시키는 타격회수”(KS F2318 ICSMFE)로 정의하고 있다.(박인석역, 1995) 현장에서는 강도가 높은 지층의 경우 30cm이전에 시험이 종료되므로, 타격회수와 함께 관입깊이를 동시에 표시하고 있다. 그러나 두 가지 방식으로 표현하는 것은 데이터 분석에 용이하지 않기 때문에 아래의 식으로 값(SPT standard value)을 정의하였다.

$$SPT\ standard\ value =$$

$$\frac{N\ value \times 30}{Depth\ of\ penetration}$$

이렇게 표현된 토사의 강도 값을 관련한 위치정보와 함께 표현하기 위하여 표 3과 같이 지반정보 DB에서 데이터를 추출하여 생성하였다.

TABLE 3. SPT 벡터의 구조

Field	Contents	Raw geotechnical information database	
		Table	Field
No	consecutive number	-	-
Hole_Name	name of boring point	Hole_info	hole_name
Layer_Code	number of layer	Layer_info	layer_code
X	x coordination	Hole_info	location_tm_x
Y	y coordination	Hole_info	location_tm_y
Zt	z coordination	Hole_info	el(elevation)
Spt_SV	spt standard value	Spt	depth(test depth)
		Spt	spt_n(N value)
Cluster_ID	cluster id	Spt	spt_depth(penetration depth)
		-	-

TABLE 4. USCS 벡터의 구조

Field	Contents	Raw geotechnical information database	
		Table	Field
No	consecutive number	-	-
Hole_Name	name of boring point	Hole_info	hole_name
Layer_Code	number of layer	Layer_info	layer_code
X	x coordination	Hole_info	location_tm_x
Y	y coordination	Hole_info	location_tm_y
Z_St	z coordination of layer upper	Hole_info	el(elevation)
Z_Ed	z coordination of layer bottom	Layer_info	depth_from
		Hole_info	el
Z_Ct	z coordination of layer middle	Layer_info	depth_to
		Hole_info	el
uscs_V	uscs symbol	Layer_info	uscs_name
Cluster_ID	cluster id	-	-

② USCS Vector

USCS 벡터는 토층의 분류를 나타내는 통일분류법 (USCS : Unified Soil Classification System)의 분류 값으로 “0.074mm를 기준으로 체분석 시 통과율이 50%이하이면 조립토, 그 이상이면 세립토로 구분하며, 입도분포와 세립분의 함유비율에 따라 G, S, W, P, M, C의 기호”를 붙인다. 이때 세립토인 실트(M), 점토(C), 유기질토(O)의 경우에는 액성한계 50%를 기준으로 이하이면 ‘L’, 이상이면 ‘H’를 붙인다. 또한 현장에서는 암반의 분류를 위해 WR(풍화암), SR(연암), MR(보통암), HR(경암), XR(극경암)의 기호를 이용하며, 본 시스템에도 이를 적용하여 지층의 분류 정보를 표현하기 위하여 표 4와 같이 지반정보 DB에서 데이터를 추출하여 생성하였다.

③ Hole Formation 벡터

시추공의 지층구성과 그 구성비를 나타내는 것으로 통일분류법에 따라 ‘:’의 분리자를 이용하여 ‘GW:ML:CL:WR’와 같이 상위지층부터 구성을 정의한다. 또한 구성비는 시추공의 최대심도에 대한 해당지층 두께의 백분율로 정의하였다. 그러나 그 지층의 구성

이 복잡할 경우나 클러스터 생성 시 유사지층 판단을 위하여 표 5와 같은 조건으로 유사지층의 병합을 통해 단순화를 수행한다.

TABLE 5. Hole formation의 병합 조건

Condition 1. If layer formation is less than 5 % of total hole formation, omit this layer formation ex>27:20:3:20:20 - combination -> 27:23:20:20
Condition 2. Unify one symbol omitting second symbol one symbol is gravel(G), sandy(S), clayed(C), organic(O), Rock(R) ex> GW:ML:CL:WR:HR - combination -> G:C:R

TABLE 6. Hole formation 벡터의 테이블

Field	Contents	Raw geotechnical information database	
		Table	Field
No	consecutive number	-	-
Hole_Name	name of boring point	Hole_info	hole_name
Layer_Code	number of layer	Layer_info	layer_code
X	x coordination	Hole_info	location_tm_x
Y	y coordination	Hole_info	location_tm_y
Zt	z coordination	Hole_info	el(elevation)
WL	ground water level	Layer_info	depth_from
Layer_Form	layer formation	Hole_info	WL
Layer_Form_Prop	proportion of layer formation	Layer_info	uscs_name
Sp_Layer-Form	simple layer formation	Hole_Form_vector	total_depth
Sp_Layer-From_Prop	simple proportion of layer formation	Hole_Form_vector	depth_from
Cluster_ID	cluster id	-	depth_to
			Layer_Form
			Layer_Form_Prop

이렇게 표현된 시추공 구성정보를 관련한 위치정보와 함께 표현하기 위하여 표 6과 같이 지반정보 DB에서 데이터를 추출하여 생성하였다.

④ Cluster Array 벡터

Cluster Array 벡터는 표 7과 같이 USCS, SPT, Hole Formation의 세 가지 벡터에서 각 값에 해당하는 개수를 산정하여 클러스터링 분석 시 활용하게 된다.

TABLE 7. Cluster array vector의 구조

Field	Contents	Raw geotechnical information database	
		Table	Field
No	consecutive number	-	-
uscs_Value	uscs value		
uscs_Number	number of uscs symbol	uscs_vector	uscs_name
spt_Value	spt range value		
spt_Number	number of spt value	spt_vector	spt_sv
Hole_Form_Value	hole formation value		
Hole_Form-Number	number of hole formation value	Hole_Form_vector	layer_form

4. 클러스터링을 이용한 지반정보 군집화

클러스터링은 지층의 구성과 그 비를 이용하여(Hole Formation Vector) 수평상의 시추공 분포와 SPT와 USCS자료를 이용하여(SPT Vector, USCS Vector) 수직적인 지층의 특성 분포를 유사한 성질의 클러스터로 나타낸다.

① 대상 자료의 정량화

클러스터링을 수행하기 전에 각 벡터를 초기에 일정기준에 따라 분류해야 하며, 이러한 분류는 지반정보 클러스터링 알고리즘이 통계적으로 이루어지므로 반드시 정량화가 요구된다. 그런데 USCS 벡터의 경우에는 지반공학자의 경험에 의해 지층을 분류한 정성적인 자료이므로 각 토사 혹은 암반간의 유사도를 산술적으로 표현하기 어렵다.

따라서 본 연구에서 지반정보 군집화는 수치 데이터로 표현되어 정량화가 쉬운 SPT 벡터를 기준으로 수행하였으며, 정성적인 특성을 띠는 USCS 벡터의 경우에는 통일분류법 각 대분류 사이에 동일한 유사도를 가지며, 입자가 크고 단단한 순서로 값을 주어 정량화를 가정하였다.

먼저 SPT 벡터에서는 SPT standard value의 단계별 등급을 매긴 기준이 필요하게 된다. Terzaghi와 Peck은 점토를 N값을 30이하에서 연경도를 6단계로 구분하고 있으며, Peck과 Meyerhof는 모래를 N값을 50이하에서 상대밀도를 5단계로 구분하였다

(박인식역, 1992; 일본토질공학회, 1995). 즉, 점토와 모래의 두 가지 토성은 점토의 경우 N값이 주로 30이하의 값을 가지며, 세분화되어 분류가 가능하고, 모래는 N값이 30에서 50사이를 추가하여 분류할 수 있다. N값이 30보다 작다고 하여 점토로 판정하는 것은 성급한 판단이나, 자연지반에서 N값이 작을 경우 모래보다 점토일 가능성이 더 높다는 판단은 내릴 수 있다.

따라서 SPT standard value의 범위결정은 점토 혹은 모래라는 토성판단이 아니라, 분류기준을 제시하는 것이므로 N값이 30보다 작을 경우 모래보다 점토일 가능성이 높으므로 Terzaghi와 Peck의 분류를 따르고, 반대로 30이상일 경우 Peck과 Meyerhof의 분류기준을 따르도록 하여 표 8을 구성하였다.

TABLE 8. SPT 표준시험값의 범위

Level	1	2	3	4	5	6	7
spt standard value range	0-2	2-4	4-8	8-15	15-30	30-50	more than 50

그리고, USCS 벡터의 경우에는 앞에서 언급하였듯이 현장특성을 고려하지 않고 강도가 암반에서 토사로, 토사는 자갈질에서 세립질 순으로 대개 강도가 감소한다는 특성을 가지므로 표 9와 같이 분류하였다. 단 이 기준은 지반공학자가 현장에 특성을 고려하여 유사도와 관계를 재정의하여 사용할 수 있도록 하였다.

TABLE 9. USCS 심볼의 번호

Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Symbol	XR	HR	MR	SR	WR	GW	GP	GM	GC	SW	
Number	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Symbol	SP	SM	SC	ML	CL	MH	CH	OH	OL	PT	ET

② 지반정보 클러스터링 알고리즘

지반정보 클러스터링은 지층은 연속적으로 진행되며, 이러한 진행은 관측점에 수평·수직적 거리에 따라 그 변화가 달라진

다는 전제 하에서 수행된다. 따라서 클러스터의 생성은 거리에 기인하며, 유사도가 높은 클러스터를 묶음으로서 그 지반의 특성을 대표할 수 있다. 이러한 특수성이 유사한 지역끼리 보간을 수행하며, 보간 시에 정확도를 높인다는 장점이 있다.

알고리즘은 크게 두 개로 구분된다. 「알고리즘 1」은 “지층구성 및 구성비를 이용하여 시추공의 군집을 생성(Zoning)”하며, [알고리즘 2]는 지하 강도 및 지층정보를 이용하여 강도정보와 지층분류 군집을 생성(Layering)”한다. 「알고리즘 1」은 Hole Formation 벡터에 해당하는 것으로 2차원 공간의 평면상에 표 10과 같이 이루어진다.

TABLE 10. 알고리즘 1 : 시추공의 지층 구성과 비율 산정을 위한 클러스터링 알고리즘

step 1	Input hole formation vector and parameter
step 2	Select representative formation vector
step 3	Compare representative vector with others If ((representative vector formation = others vector formation) And (representative vector proportion = others vector proportion)) Then Calculate likeness between representative vector and others Add others to cluster included representative vector Else step 3.
step 4	Until addition is not able to, repeat step 2. - step 3.
step 5	Carry out the same process step 2. - step 4. using simple vector formation and proportion
step 6	After compared to each cluster, unify cluster using representative formation and proportion
step 7	Until unification is not able to, decide the last cluster

「알고리즘 1」은 지층구성(비)을 대상으로 그 수가 많지 않고 클러스터가 가변적이므로, 시추공 간의 유사도 산정으로 클러스터링을 수행하였다.

Step 1에서는 지층구성비와 무시 가능한 비율의 임계치를 파라미터로 입력받는다. Step 2에서는 입력받은 자료 중 대표벡터를

선정한다. Step 3, 4는 선정할 대표벡터가 없을 때까지 반복하여 수행한다. 이를 통해 클러스터가 생성되며, 유사도 산정은 1단계로 입력받은 구성지층(Hole Formation) 데이터 사이에 유사도를 작성하며, 2단계에서 구성 지층의 대분류별(자갈질, 모래질, 세립질, 유기질, 암반, 기타)로 간략화하여 유사도를 산정한다. 이에 따른 구성 비율을 통합화하여 다시 대표벡터와 비교하여 유사도를 작성하게 된다. Step 5에서는 구성된 클러스터마다 1단계 유사도 및 2단계 유사도의 두 가지 형태로 대표지층 구성 및 구성비를 비교하는 단계를 수행하여 유사하면 통합이 이루어지고, 더 이상 없으면 중지하게 된다.

「알고리즘 2」는 SPT 벡터와 USCS 벡터에 해당하는 것으로 3차원 공간상에서 표 11과 같이 이루어진다.

TABLE 11. 알고리즘 2 : USCS, SPT 벡터의 클러스터링 알고리즘

step 1	Input spt, uscs vector and parameter(initial cluster number N, threshold, optimum cluster number M)
step 2	Create array vector using data interpretation(grouping formation and proportion and calculate number)
step 3	Calculate average and standard deviation in array vector
step 4	Create initial N cluster using average and standard deviation
step 5	Calculate distance between initial cluster and spt,uscs vector
step 6	If distance is the minimum, allocate spt,uscs vector to cluster
step 7	Compare the number of allocated cluster with threshold If (the number of allocated cluster < threshold) then unify others cluster go to step 3.
step 8	If optimum result is arrived or last number of repeat, decide last cluster

SPT 벡터는 일정깊이별로 시험을 통해 얻어지기 때문에 지하 각 지점의 정보를 대량으로 제공하여 준다. 따라서 대용량 데이터에 적합한 ISODATA 클러스터링을 적용하였다.

Step 1은 USCS · SPT 벡터와 초기 클러스터 개수, 클러스터의 최소 도수 등의 파라미터를 입력한다. Step 2에서는 앞에 정량화과정의 분류기준에 따라 개수를 산정하여 Array 벡터를 생성한다. Step 3에서는 생성한 Array 벡터의 평균과 표준편차를 계산한다. Step 4는 계산된 평균과 표준편차를 이용하여 입력 파라미터인 N개의 초기클러스터를 생성한다. Step 5는 생성된 클러스터와 개개의 데이터 비교를 통해 거리(Distance)를 계산한다. Step 6은 벡터마다 거리가 최소가 되는 클러스터를 할당한다. Step 7은 할당된 클러스터의 도수에 파라미터인 임계치를 비교하여 이보다 작을 경우 다른 가장 유사한 클러스터에 병합하고, Step 3~Step 7의 과정을 반복한다. 임계치 보다 적은 도수가 더 이상 없을 경우 클러스터 병합이 중지되며, Step 8에서 원하는 개수의 클러스터 수에 도달하거나, 최종 반복회수에 도달하면 최종 클러스터로 확정되게 된다. 만일 이를 만족하지 못하면 임계치를 재설정하여 다시 수행하게 된다.

5. 권역 크리깅을 이용한 지반정보보간

클러스터링의 결과 중 Hole Formation 벡터는 시추공의 공간적 분포특성 및 경향성을 나타내는 자료로서, 지표에 노출된 암상특성 조사로 작성된 지질도에 비해 좀 더 상세히 지반의 상태를 표현한다. 본 연구에서는 Hole Formation 벡터의 클러스터별로 수평적인 구역을 생성(Zoning)하고 이를 잘라서(Clipping) 보간을 수행한다. SPT · USCS 벡터는 일반적으로 수직적인 깊이에 따라 그 지층과 강도의 유사성이 증가하므로 깊이에 따라 발견되는 지층이나 강도특성이 달라진다. 따라서 각각의 클러스터별로 보간을 수행하게 되면, 다른 클러스터와 성질뿐만 아니라, 공간적 범위에서도 서로 침범하지 않게 되어 자연스럽게 수직적인 소구역이 형성되어(Layering) 보간을 수행할 수 있다.

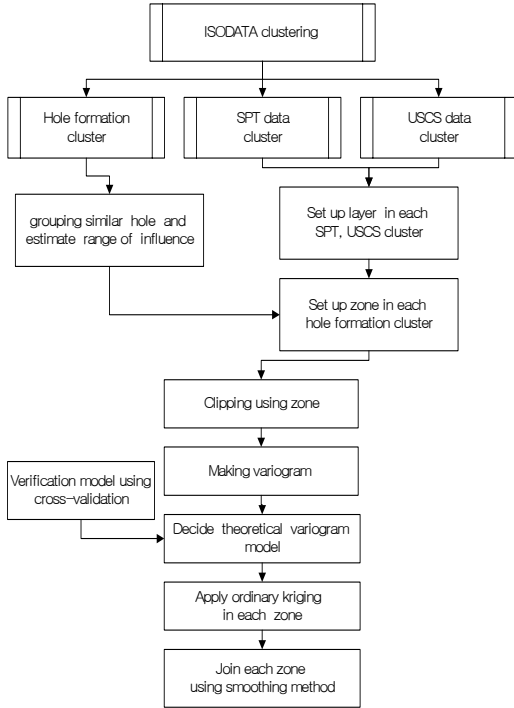


FIGURE 3. 지반정보 군집화 및 권역 크리깅 흐름도

군집화된 자료에는 지구통계학 기법의 하나인 권역 크리깅(Zonal Kriging)을 적용하였다 (Wingle 등, 1996). 각 클러스터 소구역마다 분포특성에 맞는 함수모형을 선정하고, 정규 크리깅(Ordinary Kriging)을 수행하고, 최종적으로 스무딩(Smoothing)기법을 이용하여 소구역을 연결하였다. 상세한 과정은 그림 3과 같다.

이렇게 수행한 보간 결과는 해당지역 수치지형도에서 추출된 DEM자료(USGS, .dem)와 통합을 수행하여 앞에서 언급한 지하지리정보 자료구조에 맞게 작성된다. 대상지역은 USGS 벡터, SPT 벡터로 수행된 지표·지하 모델링 통합결과를 2개씩 생성된다. USGS 벡터의 통합결과는 그 속성으로 USGS 분류값을 가지며, SPT 벡터는 속성으로 SPT standard value의 평균값을 가진다.

지하공간정보 모델생성 및 현장적용

본 연구에서는 지하공간정보 모델을 생성하고, 적용하기 위하여 그림 4와 같이 개발된 군집화 프로그램과 가시화 프로그램을 이용하였다.

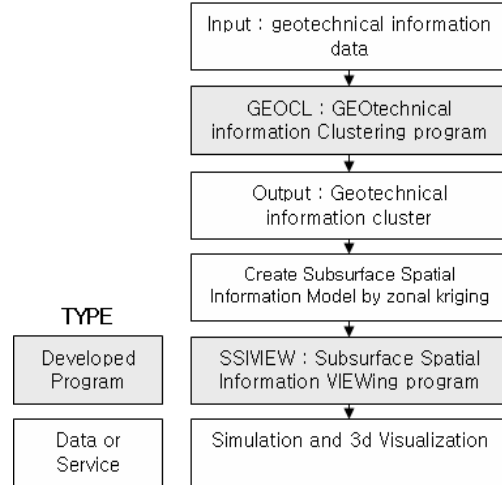


FIGURE 4. 개발시스템과 모델생성 과정

1. 지반정보 군집화 과정

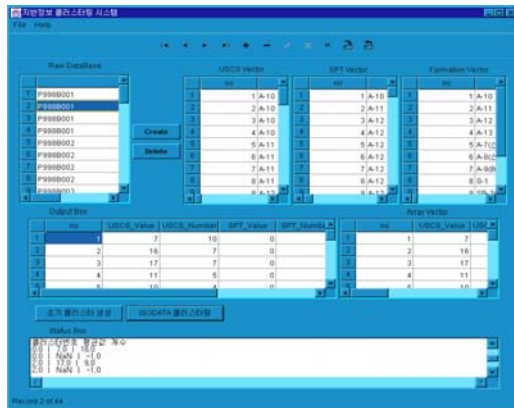


FIGURE 5. 지반정보 클러스터링 프로그램

지반정보 클러스터링 과정을 자동화하기 위하여 그림 5와 같은 지반정보 클러스터링 프로그램 (GEOCL:GEOtechnical information CLustering program)을 작성하였다. 그림 5의 프로그램은 MS Access(.mdb)를 데이터베이스로 활용하여 Hole Formation·SPT·USCS Vector를 불러

들여 각각 「알고리즘 1,2」의 작업을 수행하여 클러스터를 생성하게 된다. 표 12는 SPT · USCS Vector의 평균과 표준편차를 이용하여 클러스터를 생성하는 과정이다.

TABLE 12. USCS 벡터의 클러스터링 과정

step 3 Calculate average and standard deviation	
Average : 11.6, Standard deviation : 5.0	
step 4 Create cluster	
cluster	value
1	1.6 = avg. + st. dev. × 2
2	6.6 = avg. + st. dev.
3	11.6 = avg.
4	16.6 = avg. + st. dev.
5	21.6 = avg. + st. dev. × 2
step 5 Allocate cluster to vector and if minimum distance, calculate number	
cluster	number
1	4
2	10
3	13
4	17
5	0
step 7 Compare threshold with cluster number and unify (below table in case of threshold = 5)	
cluster	number after unify
1	0
2	14
3	13
4	17
5	0
step 8 After repeat step 3~7 decide last cluster	
< last cluster >	
cluster	number
2	14
3	13
4	17

2. 지반정보 권역 크리깅 보간과정

기존의 권역 크리깅의 경우에는 단지 지형적 인자만을 통해 소구역 설정하였으나, 본 연구에서는 지하특성을 반영한 시추공 구성(비) 정보를 이용하여 대상지역의 지층구성에

따른 외곽선을 추출(그림 6)하고, 소구역으로 분리(그림 7)하였다. 대상지역은 전라북도 정읍시 태인면 및 용동면 경계부 일원, TM(중부)(193920,238980)~(196480,240630)에 해당한다.

일반적인 권역 크리깅은 매립지나, 단층지역, 지형조건(강, 해안, 대사면) 등을 기준으로 한다. 그러나 그림 6와 7을 보면 강을 구분하여 다른 지층구성을 보이지 않으며, 오히려 Zone#1과 Zone#2가 다른 지층구성을 보인다. 이는 Zone#2가 인근지형과 달리 용기 지형으로 이뤄졌기 때문이라 추정된다. 이렇게 클러스터링 자료를 활용함으로써 기존처럼 지형적인자만으로 지반의 성향을 성급하게 판단내리는 문제를 보완할 수 있다.

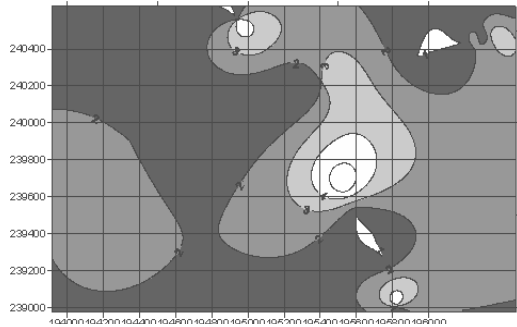


FIGURE 6. 시추공 클러스터의 Contour Map

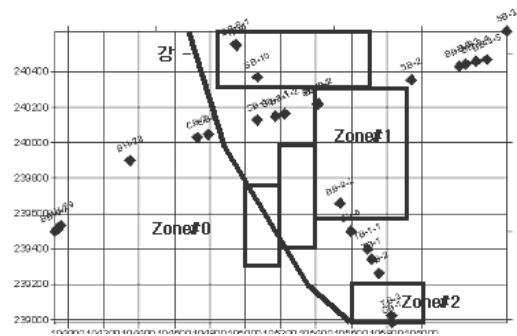


FIGURE 7. Zone의 생성과 Clipping

대상지역으로 소구역을 구분한 후 반베리오그램(Semi-Variogram)을 작성하고 조정(Fitting)을 통해 함수모델을 선정하여 정규 크리깅을 수행한다. 본 연구에서는 상용프로그램으로 안정화된 Surfer 7.0(Golden software, inc)에서

제공하는 크리깅 모듈을 적용하였다. 각 소구역별 보간 결과는 스무딩 기법을 통해 연결하여 전 대상지역을 표현하게 된다. 이렇게 SP T·USCS 백터의 층을 나타내는 각 클러스터마다 작업을 수행하고, 최종적으로 앞에서 언급한 지하공간정보모델 포맷(.ssm)에 맞추어 개발한 지하공간정보모델 3차원 시각화프로그램(SSIVIEW : Subsurface Spatial Information VIEWing program)으로 그림 8과 같이 가시화하였다. 그림 8의 결과는 층과 층사이의 경계를 Contour Map 형태로 표현한 것으로, 단면도 없이도 지하의 어느 위치에서도 지반의 특성정보를 쉽게 파악할 수 있다.

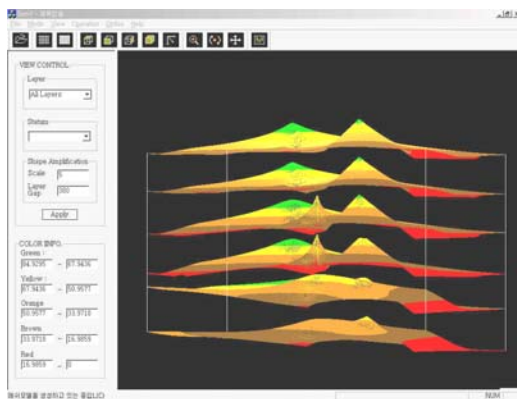


FIGURE 8. USCS 백터 처리결과물의 3차원 가시화

결론

본 연구에서는 지반정보DB에서 주요 지반 특성 자료를 추출하여 지하공간정보 모델을 생성하였다. 이를 위해 지반정보에 클러스터링을 적용하여 시추공구성(비), 지층분류, 지반강도에 대한 클러스터를 생성하고, 이렇게 생성된 클러스터의 공간적 분포를 이용하여 권역 크리깅을 적용하여 보간을 수행하였다. 최종적으로 지형자료(DEM)와 통합하여 지하공간정보 모델을 생성하고, 3차원 가시화를 수행하였다.

지하공간정보 모델은 기존 점 형태의 지반정보를 면 형태로 공간 모델링하여 표현능력

및 다른 GIS자료와의 상호연계를 증진시켰다. 또한, 지반조사자료에 대한 데이터마이닝으로 지반 강도와 같은 물성치를 효과적으로 추출·가시화하여 건설공사의 지반의 해석 및 설계에 효과적으로 활용할 수 있다.

향후 연구에서는 정확도가 높은 시추조사 결과와 3차원 성층구조 표현이 가능하지만, 간접조사인 관계로 정확도가 떨어지는 전기비저항 탐사, 탄성탐사 등 지구물리탐사 결과의 GIS를 이용한 통합 기술개발을 수행할 것이다. 이를 통해 지하공간에 대한 표현과 정확도를 더욱 향상시킬 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 건설교통부. 2000. 제2차 국가지리정보체계 기본 계획(안). 12-13쪽.
- 국토해양부. 2008. 국토지반정보DB구축 사업 최종보고서.
- 박인식 역. Roy E. Hunt. 1995. 지반조사핸드북 (Geotechnical Engineering Investigation Manual). 엔지니어스. 43-45쪽. 76-77쪽.
- 일본토질공학회. 1992. N치와 강도정수의 관계 및 활용. 기술경영사. 1-5쪽. 28쪽.
- 이상훈, 장용구. 2007. 지반정보 분석 및 평가를 위한 웹기반 지리공간정보 시스템 개발. 한국지리정보학회지 10(4):142-152.
- 한국건설기술연구원. 2000. 지반정보 데이터베이스 시스템 개발. 371-597쪽.
- 한국건설기술연구원. 2004. 지반정보DB 활용확산을 위한 기반연구. 건설교통부.
- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists(AGS). 1992. Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data.
- Bruin, S., et al. 1998. Soil-landscape modeling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from a Digital Elevation Model(DEM). Geoderma. pp.17-33.

- Deutsch, C.V. and A.G. Journel 1992. GSLIB : Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press. NewYork.
- Kumar, J. K. and et al. 2000. Subsurface soil-geology interpolation using fuzzy neural network. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Lagacherie, P. et al. 1997. Fuzzy k-means clustering of fields in an elementary catchment and extrapolation to a large area. Geoderma. pp.197-216.
- Wingle, W. L., et al. 1996. Evaluation subsurface uncertainty using Zonal Kriging. ASCE Uncertainty 96' Conference.
- 지반정보DB포털(<http://www.geoinfo.or.kr>) 