

## 3차원 GIS와 클러스터링 기법을 이용한 지반침하지역에 대한 지반분석

고와라\* · 최선영\* · 윤왕중\*\* · 강문경\*\*\* · 김진희\*\*\*\*

### Analysis of the subsidence area with 3D-GIS and clustering

Wa-Ra Go\* · Sun-Young Choi\* · Wang-Jung Yoon\*\* · Moon-Kyung Kang\*\*\* · Jin-hoi Kim\*\*\*\*

#### 요 약

본 연구에서는 지반공간의 이해를 증진시키기 위하여 지반조사 자료를 통합하기에 용이한 3차원 GIS를 기반으로 하는 접근을 제안하고, 무안의 주거지 밀집지역에서 발생한 지반침하 지역에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구대상 지역은 석회암을 기반암으로 하는 지역이므로 기반암종의 지질적인 구성이 침하발생에 중요한 인자가 된다. 석회암은 지하수로 인해 용식되어 공동을 생성하기 때문에 지하수의 통로가 되는 절리나 파쇄대의 파악이 중요하다. 따라서 유사한 기반암 구성별로 군집화하여 지반을 분류하였으며, 효과적인 지반정보 분석을 위하여 3차원 GIS를 통해 시추공 정보를 가시화하고 통합 분석하였다. 이에 따라 지반정보의 왜곡이 감소되어 지반공간에 대한 효율적인 분석이 가능하게 하였다.

**주요어** : 지반분석, 지반침하, 3차원 GIS, 클러스터링, 지반정보

**ABSTRACT** : An integrated 3D GIS-based approach for understanding underground environment is proposed and applied to a land subsidence in densely populated region. Bedrock and geological discontinues were treated as main factors in this study. Because land subsidence in this study area was caused by cavity owing to dissolved limestone in percolating ground water. Ground was classified according to bedrock types using a clustering method and geological information, N value, and RQD value of boreholes were visualized and integrated by 3D-GIS. Therefore it was possible to recognize underground space easily and analyze the ground information effectively.

**Keywords** : ground analysis, land subsidence, 3D-GIS, clustering, ground information

\* 전남대학교 지구시스템공학과 석사과정 (Master's Course, Geosystem Engineering Dept. Chonnam National Univ.)

\*\* 전남대학교 지구시스템공학과 교수 (Professor, Geosystem Engineering, Chonnam Dept. National Univ.)

\*\*\* 전남대학교 지구시스템공학과 박사과정 (Doctor's Course, Geosystem Engineering Dept. Chonnam National Univ.)

\*\*\*\* 농업기반공사 전라남도 본부 환경지질부 (KARICO, Chonnam, environmental geology Dept.)

## 1. 서론

지반침하는 지표면의 고도의 손실로 일어나는 현상으로 특별히 인구가 밀집한 지역에서 일어나는 경우에 막대한 손실이 우려되므로 지반구조에 정확한 정보와 이해가 필요하다.

지반조사는 지반의 특성을 조사하는 것으로 지하지질조사, 지구물리탐사, 암반공학조사, 지하수조사 등으로 이루어진다. 그러나 이러한 지반조사 자료들을 체계적으로 관리하거나 유지하는 기관이 없기 때문에 이들 자료들은 독립적으로 이용되어왔다.

따라서 지반정보에 대한 데이터베이스를 구축하고 유사한 지반정보를 군집화하여 유사지반으로 분류하는 등의 연구가 수행되었으나, 지반정보를 2차원적인 구조로 표현하여 정확한 정보를 얻기가 어려울 뿐만 아니라 자료의 활용에 많은 제약이 있었다.(김남일, 1995; 이규병, 2000).

지반조사 자료는 지하공간에 대한 자료이므로 3차원적인 위치를 가지며, 이에 대한 물성을 가지고 있기 때문에 공간과 속성정보의 표현이 가능하고 다양한 지반 자료의 통합이 용이한 GIS의 도입이 필요하다. 또한 지반조사 자료의 정확한 공간적인 분포를 파악하기 위해 3차원 시각화의 필요성이 제기되었다. 외국의 경우 Green 등(2002)은 시추공의 정보를 3차원으로 가시화하고 지반정보를 통합하여 karst unit map을 제안하였고, Zhou 등(2003)은 3차원 GIS를 이용하여 지반침하 예측 시스템을 구축하였다. 그러나 국내

에서는 3차원 GIS를 통한 지반정보의 통합 연구가 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 인구 밀집지에 발생한 지반침하지역을 대상으로 연구를 수행하였으며, 지반조사 자료를 효과적으로 이용하기 위해 DB로 구축하였다. 이때 DB의 속성정보로는 지반의 현장상태를 잘 반영하는 시추공 정보를 입력하였다. 그리고 본 연구의 대상지역의 특성에 따라 기반암의 지질적 구성이 중요한 인자이므로 시추공의 기반암 정보를 클러스터링 기법을 적용하여 분류하였다. 그리고 지하구조의 정확한 이해를 위해 3차원 GIS를 통하여 지하정보를 가시화하고 지반정보를 통합하여 연약지대의 파악이 용이하게 하고자 하였다.

## 2. 지반분석

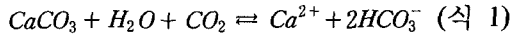
### 2.1 지반침하 이론

지반침하는(Land subsidence)는 자연상태의 지표가 수직 하강하는 움직임을 포괄적으로 표현하는 용어로서 수직적·수평적 변위에 의해 지면자체가 낮아지거나 이동하는 지질적, 수리지질적, 지구조적인 모든 원인에 의해 발생한다.

지반침하는 발생형태에 따라 크게 함몰형(Sinkhole type)과 침하형(Trough type)으로 구분되며 발생규모나 발생원인 등에 따라 다양하게 분류·정의되고 있다.

본 논문의 연구지역이 석회암 공동에 의한 지반침하 지역이므로 석회암 지역의 지반침하 원인과 형태를 살펴보면 다음과 같다.

석회암의 용식에 의한 공동의 형성은 석회암을 구성하는 탄산염( $CaCO_3$ ) 광물이 물( $H_2O$ )과 이산화탄소( $CO_2$ )와 반응하면서 형성된다(Clowes et al., 1987; 식 1).



석회암 지대에서는 용식작용에 의해 동굴이나 공동이 발생되며 그 형태에 따라 돌리네(Doline), 우발레(Uvale), 폴리에(Polije), 라피에(Lapies), 테라로사(Terrarossa)등을 만들어 카르스트 지형을 형성한다.

석회암 공동의 함몰은 주로 침투 통로의 확장 및 공동 상부의 하중에 의하여 발생되는데 침투 통로라 함은 지층의 절리(joint)로서 용해수는 암반내 절리를 따라 이동한다.

절리계를 따른 침하 및 함몰의 원인을 정리하면 다음과 같다(석탄합리화사업단, 1999).

1. 공동상부 강도가 상재하중을 견디기에 불충분 할 때까지 용해 공동 성장으로 인한 아치 간격의 증가
2. 우수나 기타 원인에 의해 아치 상부의 포화도 증가, 부력을 감소시키는 지하수 위의 저하로 인한 아치 상부의 상재하중 증가
3. 지표 근처에서 공동내로 조립토사 침투
4. 구조물이나 매립에 의한 지표하중 증가

이러한 석회암 지역에서 발생하는 함몰은 가장 흔한 형태로 두 가지 유형으로 나누어진다. 점성이 없는 사질토의 경우에는 구성 물질의 유실에 따라 그 침하가

지속적으로 발생하나, 이에 반하여 점성토가 주된 구성 물질을 이루는 경우, 급속한 침하가 발생할 수 있다(Figure 1 참조).



a) Gradually subsidence in sandy.



b) Rapid subsidence in clay

Figure 1. Type of subsidence hole

## 2.2 연구지역 개요

본 연구지역은 전라남도 무안군 무안읍 일월으로 한반도의 서남해안에 위치하며 동경  $126^{\circ} 23' 48'' \sim 126^{\circ} 30' 08''$ , 북위  $34^{\circ} 57' 30'' \sim 35^{\circ} 02' 10''$ 에 해당된다.

본 연구지역은 주거지 밀집지역으로 수차례 지반침하가 발생하여 지반침하 현황 및 원인조사를 위하여 지난 2000~2002년까지 2차례의 지반침하 안전진단 조사가 시행되었다(무안군, 2002; Figure 3 참조).

본 연구지역을 포함하는 무안 지역은 중생대 지각의 진화과정에 커다란 영향을 끼친 전주전단대와 광주단층이 북북동-남남서 방향으로 발달하고 있으며 이 지역의 지질은 대상(帶狀)으로 분포하는 시대

미상의 변성퇴적암류, 이를 관입한 쥬라기의 화강암류, 백악기의 화산암류, 그리고 제 4기층으로 구성된다(황재하, 2000; Table 3 참조).

### 2.3 지반분석 개요

본 연구에서는 지반조사를 통해 얻은 53개의 시추공 자료와 지질도 등의 정보를 DB로 구축하여 지반분석을 수행하였다(Figure 4 참조). 그리고 시추공 정보의 입력은 헤더정보와 검층정보로 나누어서 입력하고, 이는 ArcGIS의 매크로 언어로 작성하여 3차원으로 가시화하였다(Esri, 2000; Table 1, Table 2 참조).

일반적으로 시추공 자료를 분석할 경우 공학적 분류를 통한 자료를 이용하여 지반을 분석한다. 그러나 석회암 용식공동으로 인한 지반침하지역은 공학적인 분류의 시추공 정보를 통해서서는 효과적인 분석을 하지 못하기 때문에 지질적인 분류를 통한 기반암 구성에 따라 클러스터링을 수행하였다(안조범, 2002). 그리고 시추공의 정보를 3차원으로 가시화하여, 지층의 특성을 파악하였다. 또한 석회암을 용식시키는 지하수에 대한 영향을 고려하기 위하여 지하수의 통로가 될 수 있는 절리나, 파쇄대등의 정보를 얻기 위해 시추공의 정보 중 RQD 값의 분포를 통해 암반의 양호도를 살피고, 토질의 대표정수인 N 값을 분석하였다. 이러한 방법을 통해 공간정보의 이해를 증진시키고 효과적인 분석이 가능하도록 하였다(Figure 2 참조).

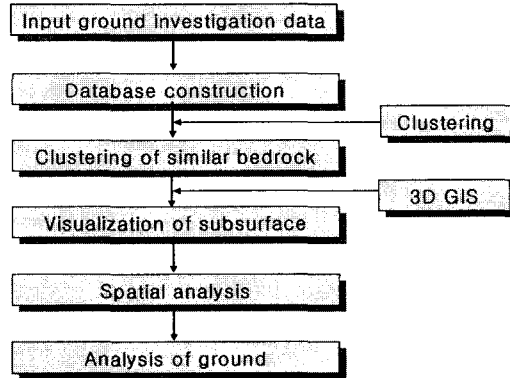


Figure 2. Schematic diagram of the analysis

Table 1. Input header information

시추공번	X좌표	Y좌표	고도	지하수위	기반암 구성
BH-02	152302.5	165907.7	13.5	2.8	LS

Table 2. Input investigation information

BH num	depth	geo cls	eng cls	core leng	비고
BH-02	1.5	충적층	토사	0	시추 시작일: 2000. 12.04
BH-02	5	응회암	풍화토	4.5	
BH-02	16	석회규산염암	연암	11	
BH-02	18	석회규산염암	연암	3	
BH-02	51.5	석회규산염암	연암	32.5	
BH-02	51.5	석회규산염암	연암	32.5	
BH num	depth	n val	depth	RQD	
BH-02	-	-	-	-	
BH-02	-	-	-	-	

Table 3. The structure of strata in study area

Quaternary period	Alluvium
	~ Unconformity ~
Cretaceous	Rhyolitic rocks
	Acidic tuffs
	~ Unconformity ~
Jurassic	Granite
	- Intrusion -
Unknown	Metasediments (inbedded limestone)

3차원 GIS와 클러스터링 기법을 이용한 지반침하지역에 대한 지반분석

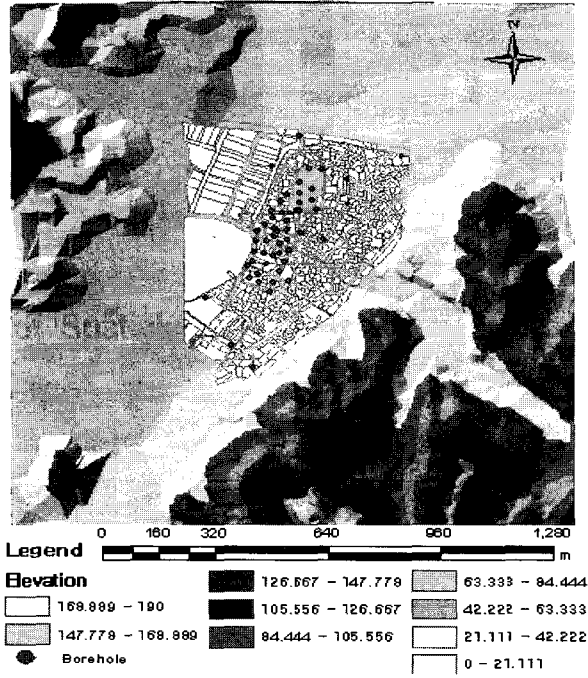


Figure 3. Topographical Map of the study area

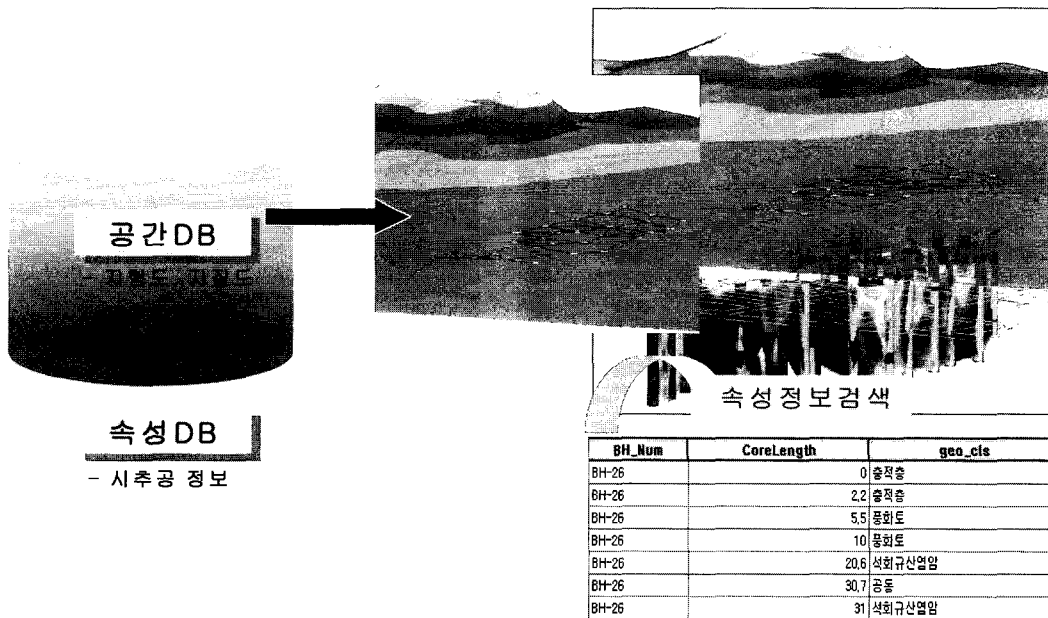


Figure 4. Database construction of ground investigation data

### 2.4 기반암의 군집화

군집분석(cluster analysis)은 어떤 개체나 대상들을 밀접한 사상성(similarity) 또는 거리(distance)에 의하여 유사한 특성을 지닌 개체들을 몇 개의 군집으로 집단화하는 다변량 기법이다. 군집분석은 집단의 수 혹은 집단 구조에 대한 가정이 없으며, 오직 개체들 사이의 사상성 또는 거리에 의하여 군집을 형성하고, 형성된 군집의 특성을 파악하여 군집들 사이의 관계를 분석하는 기법이다. 따라서 군집분석은 어떤 개체나 대상들이 가지고 있는 다양한 특성에 의하여 동질성을 지닌 군집으로 집단화하는 방법이다. 즉 군집분석은 분명한 분류 기준이 없거나 알려지지 않은 상태에서 활용될 수 있는 기법이다(성웅현, 1997).

시추공의 기반암을 클러스터링 하여 유사한 지반의 특징을 분석하고자 k-means 클러스터링 알고리즘을 이용하여 시추공을 분류하였다(Table 4 참조).

Table 4. Algorithm of clustering bedrock

step 1. Input borehole data step 2. Select representative object step 3. Compare representative object with others if (representative bedrock formation = others object bedrock formation) then Add others to cluster included representation object Else step 3. Implement
---

step 1에서는 시추공의 헤더정보에서 기반암 구성 자료를 입력받는다. step 2에서

는 입력받은 기반암 구성자료에서 대표 오브젝트를 선정하게 되며 이는 분류의 기준으로 이용된다. step 3에서는 대표 오브젝트와 나머지 오브젝트들 간의 비교를 수행하여 기반암 구성이 유사한 시추공끼리 클러스터링한다.

기반암 구성의 클러스터링 수행 결과 9개의 그룹으로 나뉘어 진다(Figure 5 참조).

bedrock_formation	count	Cls_ID
LS	25	1
G	10	2
RT:LS	5	3
LS:G:LS	4	4
LS:G	3	5
G:LS	2	6
RT	2	7
G:LS:G	1	8
LS:G:LS:G	1	9

Figure 5. Result of clustering bedrock

연구지역의 기반암 구성은 석회규산염암, 화강암, 유문암질 응회암의 기반암 분포를 보임을 알 수 있다. 이러한 기반암 분포를 살펴보면 석회규산염암은 광주단층에 의해 동쪽이 북북동-남남서 방향으로 직선으로 단속되고 서쪽으로는 후기에 관입된 화강암류와 접촉하고 있는 특성을 보인다. 전반적인 석회규산염암의 분포방향은 북북동-남남서 방향으로 길게 분포하는 특징을 보이고 그 폭은 200-300 m에 이른다(Figure 6 참조).

기반암 분포와 지반침하의 연관성을 분석하기 위하여 기반암 구성도와 지반침하 위치도를 중첩하여 살펴보면 화강암과 석회암의 경계면 부분에서 건물 균열, 지반

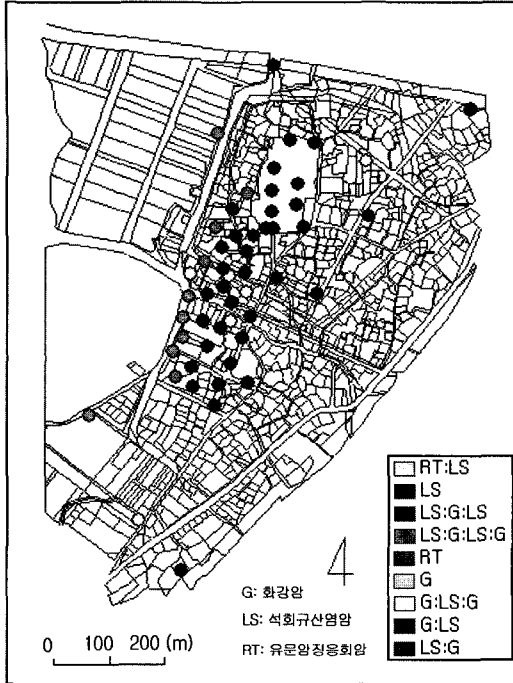


Figure 6. Map of clustering bedrocks

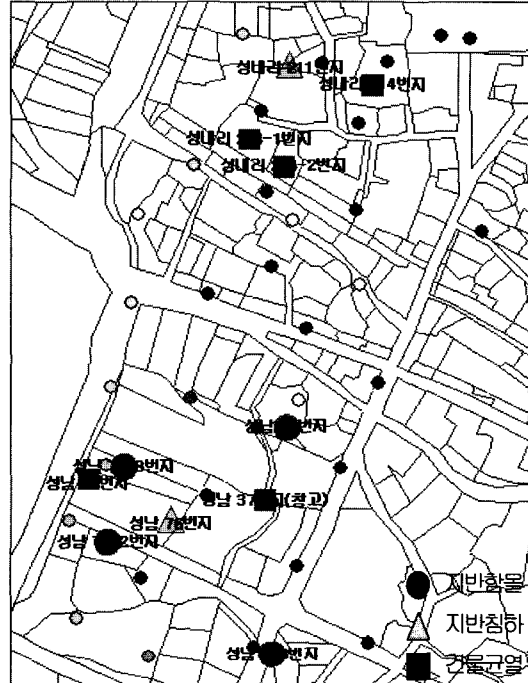


Figure 7. Location of subsidence

침하와 지반함몰이 일어난 것을 알 수 있었다(Figure 7. 참조)

### 2.5 3차원 가시화

지반조사 자료는 공간적인 위치와 물리적 특성을 나타내는 속성을 가지고 있기 때문에 이를 3차원 GIS를 이용하여 지반 분석을 수행하였다. 위에서 제시한 기반암 구성만으로는 지반침하에 관하여 효과적인 분석이 어렵기 때문에 토사층의 정보와 기반암층의 정보를 함께 도시하였다. 그리고 지반의 연약함을 살펴보기 위해서 토질 정수인 N 값과 암질의 양호도를 나타내는 RQD 값을 도시하여 지반의 지질적인 특성과 함께 분석을 시도했다.

### 1) 지질적 분류를 통한 시추공 정보의 3차원 가시화

[Figure 8]와 [Figure 9]를 통하여 석회암 지대에 공동이 분포함을 볼 수 있으며 토사층 하부에 용식공동이 형성되어 있었으며, 토사층의 정보와 암반층의 정보를 상세히 파악할 수 있었다.

BH_Num	CoreLength	geo_cis
BH-26	0	층적층
BH-26	2.2	층적층
BH-26	5.5	풍화토
BH-26	10	풍화토
BH-26	20.6	석회규산염암
BH-26	30.7	공동
BH-26	31	석회규산염암

Figure 8.Attributes of BH-26

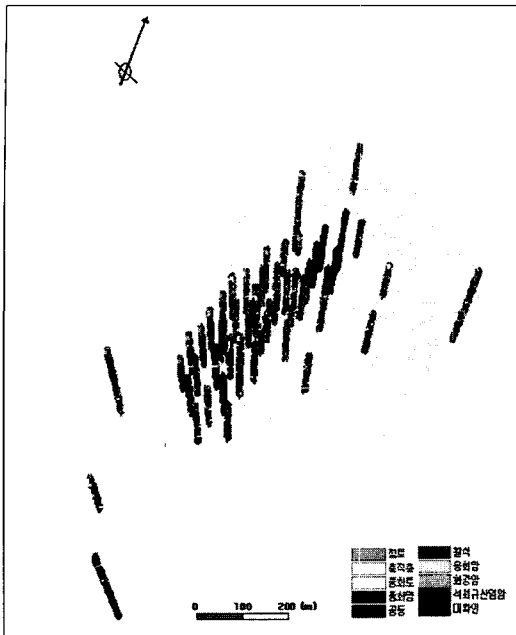


Figure 9. 3D visualization of borehole data using geological classification

## 2) N 값(N value)의 3차원 가시화

표준관입시험은 흙의 연경, 혹은 현장 상태의 상대치를 알기 위한 N 값의 측정과 교란된 시료의 채취를 목적으로 한다. N 값은 표준관입시험의 채취시료를 관찰하여 지층 구성의 정성적 강도, 변형, 함수량, 혼입물 등의 정보와 N 값의 심도 분포에서 지반의 연경도나 구성 상태를 알 수 있으며, 지지층의 평가, 압밀층이나 액상화층 등을 판단 할 수 있고 지하수위나 투수성, 대수층 등에 대한 정보도 얻을 수 있다(과학기술부, 2001).

N 값은 중량 64Kg의 추를 76 cm의 높이에 서 자유낙하시켜 시험용 샘플러를 지반에 30cm 관입시키는데 필요한 타격횟수로 정의하고 있다(KS F 2318, ICSMFE; 식 1 참조).

$$N_{값} = \text{타격횟수} / 30\text{cm} \quad (\text{식 1})$$

본 연구에서는 [Table 5]에 의해 다섯 단계로 나누어 N 값의 3차원 분포도를 가시화하였다. [Figure 10]과 같이 연구대상지역의 토사층은 대체로 보통 이상의 값의 분포를 보이며 그 상태는 대체적으로 양호한 것으로 판단된다.

Table 5. Relationship of N value and relative density, internal friction angle in sand

N value	Relative density	color
0-4	very loose	red
4-10	loose	orange
10-30	medium	yellow
30-50	dense	green
more than 50	very dense	blue

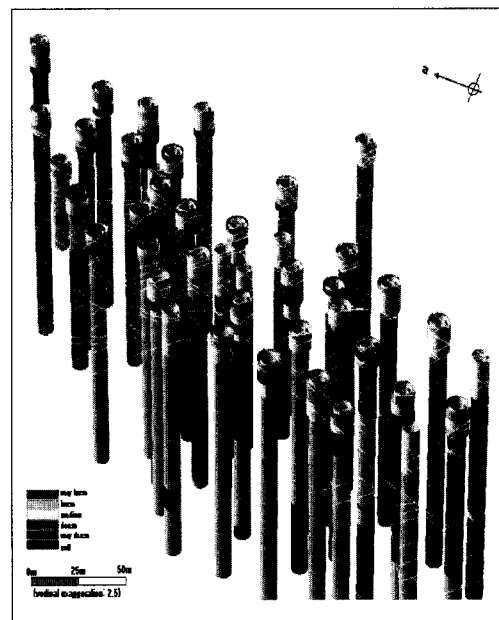


Figure 10. Distribution of N value & geological classification



### 3) RQD(Rock Quality Disignation) 의 3차원 가시화

RQD(Rock Quality Designation)란 Deere가 제안한 코어의 채취상태(균열상태)를 나타내는 지표로서 구경이 75 mm인 NX 규격이상의 BORING CORE에서 [식 2]와 같이 RQD 값을 산정한다.

$$RQD = \frac{10cm\text{이상인회수암석의길이의총합}}{\text{굴진전장}} \times 100(\%)$$

(식 2)

RQD(Rock Quality Density)는 코어 채취율로서 균열의 상태를 나타내고 있기 때문에 암반의 양호도를 표시하는 기준으로 삼고 있으며 RQD 값이 클수록 암질이 좋

다는 것을 나타낸다. 본 연구에서는 RQD 값의 분류에 따라 암질의 양호도를 3차원으로 가시화 하였다(Figure 11 참조).

지층정보와 RQD 값의 정보를 통합하여 나타낸 결과, 석회규산염암과 화강암이 동시에 나타나는 시추공이나 그 접촉부에 위치한 공은 RQD 값이 특별히 낮은 분포를 보이고 있었다. 이러한 RQD 값의 분포로 보아 이 지대는 파쇄대가 상당히 발달된 것으로 사료된다. 석회규산염암 지대는 상부의 RQD 값이 낮게 나타나는데 이는 토사 및 풍화대와 접하고 있는 기반암 상부가 상대적으로 지하수와와의 접촉의 가능성이 많기 때문인 것으로 사료되며 이러한 특성을 지닌 석회암 지대는 용식공동으로 발달의 가능성이 있음을 추정할 수 있었다(Figure 11 참조).

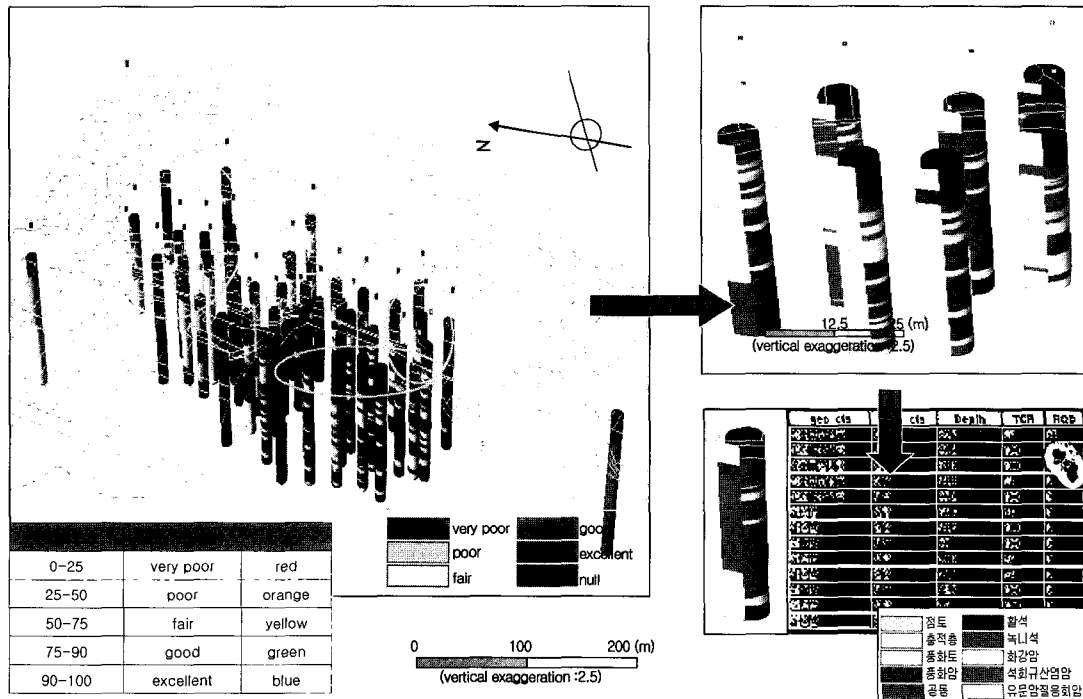


Figure 11. Distribution of RQD & geological classification

### 3. 결 론

본 연구에서는 지반침하에 대한 연구를 수행하고자 지반의 현장 상태를 잘 반영하는 시추공의 정보를 입력하여 DB로 구축하였고, 이를 3차원으로 표현하기에 용이한 구조로 입력하여 지반조사 자료의 효과적인 이용이 가능하도록 하였다.

그리고 대용량으로 입력되는 시추공 정보에 대하여 군집화를 수행하여 유사한 기반암별로 집단화를 하였다. 이를 통해 신속하게 기반암의 분포를 파악할 수 있었으며, 이와 지반침하 지역과의 공간분석이 용이하였다.

지반공간에 대한 정확한 이해를 위해 지반조사 정보를 3차원으로 가시화한 결과 토층과 암반의 지층정보를 정확하게 파악할 수 있었고, 지반정보의 효율적인 통합이 가능하여 연약지대에 정보를 얻기가 수월 하였다.

향후에는 다양한 탐사 자료의 추가를 통해 지상의 상재하중 등에 관한 정보를 통합하는 지반분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

과학기술부, 2001, 구조물의 안전성과 경제성을 높이기 위한 지반조사 자료의 D/B구축과 시스템 운영에 관한 연구

무안군, 2002, 성남주거지 지반침하지구 정밀안진단조사 보고서

석탄합리화사업단, 1999, 삼척탄전 지반침하 실태 분석 및 향후 대책

성용현, 1997, 응용 다변량 분석, 탐진

안조범, 2002, 지반침하지역 지반조사 자료의 통합해석을 위한 전문가시스템 개발, 전남대학교 박사학위 논문

이규병, 2000, 시추공 정보의 클러스터링 기법을 이용한 지반분석 시스템의 개발, 인하대학교 석사학위 논문

황재하, 2000, 무안지질도폭보고서, 한국자원연구소, NJ52-2-06-2

Clowes, A. and Comfort, P., 1987, Process and Landform, Oliver and Boyd

ESRI, 2000, Programming ArcInfo with visual Basic for Application

Green, A. J et al., 2002, Karst unit mapping using geographic information system technology, Mower County, Minnesota, USA, environmental Geology, 5:457-461

Raper, J., 1989, Three Dimensional Application in Geographic Information Systems, Taylor & Francis

Zhou, W. and Maerz, N. H., 2003, Implementation of multivariate clustering methods for characterizing discontinuities data from scanlines and oriented boreholes, computers & geosciences, 28:827-839