

지반의 지질공학적 특성분석을 위한 GIS 활용 연구

김 윤 종*·김 원 영*·유 일 현*

GIS technology for geotechnical estimation of ground foundation

Youn-Jong Kim*·Won-Young Kim*·Il-Hyon Yu*

요 약

지반의 지질공학 특성분석을 위하여는 일반적으로 여러 방법들에 의하여 얻어진 다양한 지질공학 자료들이 각각 독립적으로 처리, 분석되며, 그렇게 분산되어 재처리, 가공된 자료들을 기초로 지반 설계가 이루어지고 있다. 금번 연구에서는 이러한 지질공학 자료들을 GIS에 의하여 설계된 환경지질정보시스템(Environmental Geologic Information System) 내에서 하나의 종합적 데이터베이스로 구축하여 지반의 지질공학 특성을 3차원적으로 분석할 수 있게 하였다. 이를 위하여 많은 양의 환경지질, 지질공학 정보들이 수치화 및 분석 과정을 거쳐 본 시스템 내에서 재생산되었다. 최종적으로 작성된 지반의 지질공학 특성 분석도(Geotechnical Estimation Index Map)는 지반의 안정성 및 기초 처리를 위한 1차 분석 도면이며, 개발사업이 수행되는 지역의 토지 이용 계획이나 지질공학적 문제점을 해결하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

ABSTRACT : GIS technique was applied to identify the geotechnical characteristic of subsurface in a study area, and has produced a Geotechnical Estimation Index(GEI) map. Groundwater level, soil depth & weathered zone, and engineering properties of soils & rocks, were incorporated in the map through GIS. EGIS(Environmental Geologic Information System), developed by ARC/INFO GIS system, was used for this work. Environmental geologic database by EGIS was verified to be effective in analysis of engineering geological properties of the subsurface. Quantitative analysis of environmental and geotechnical

* 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 30, Kajung Dong, Yusong Ku, Taejon, Korea, Tel. (042)868-3057)

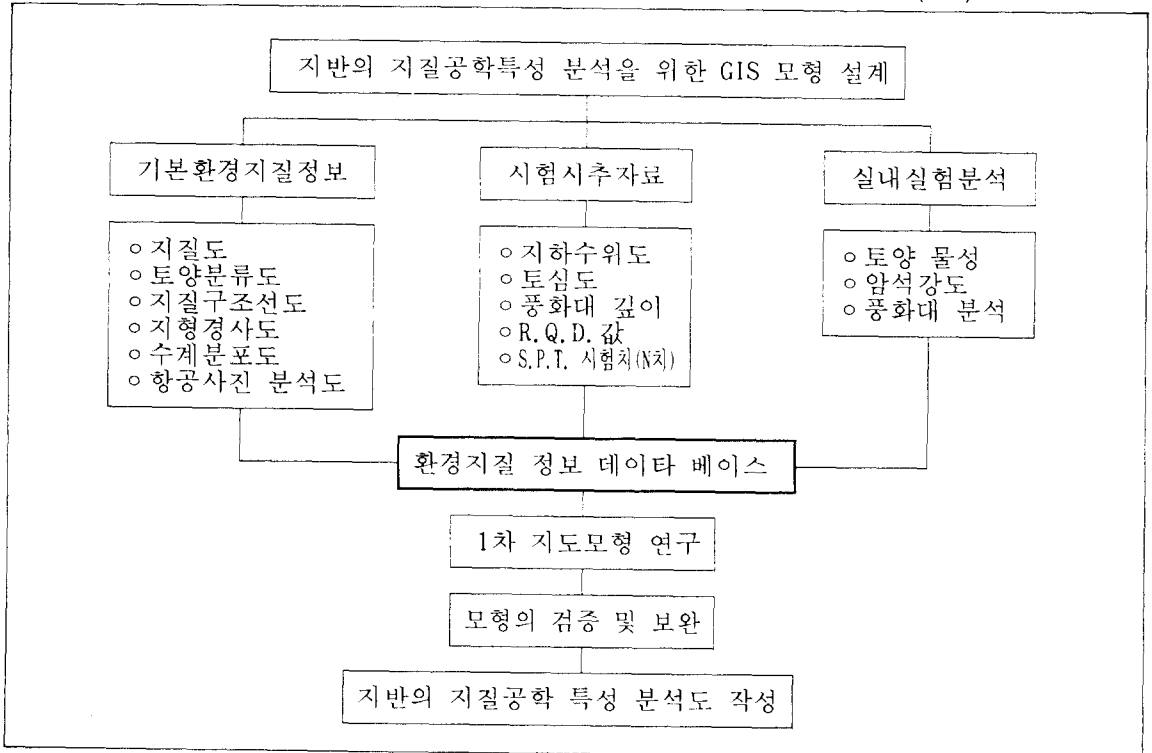
information enable to develop a scoring system of GEI model, which was developed through evaluation of each geological factor with respect to the other factors.

서 론

지반의 지질공학 특성 분석을 위하여 필요한 초기 지질자료들은 일반적으로 3종류로 크게 구분된다(Table 1). 기본 환경지질 정보들은 지질도, 토양 분류도, 지질 구조선도, 지형 경사도, 및 수계 분포도 등이 포함되며, 연구 목적에 따라 그 축적 및 조사 범위 등이 정하여진다. 시험 시추는 지하 지질정보를 얻기 위한 것으로 지하수위, 토심, 풍화대, R.Q.D. (Rock Quality Designation) 및 S.P.T. (Standard Penetration Test)의 N치 등의 정보들이 중요하다. 동시

에 지질공학도 작성을 위하여 지표의 토양과 암석들에 대한 물성 및 공학적 성질(강도) 등도 포함되어야 한다. 이와같이 분산되어 처리되고 있는 막대한 양의 환경지질 및 지질공학 정보들을 동시에 체계적으로 분석하기 위하여 금번 연구에서 환경지질 정보시스템(EGIS)을 구현시켰다. ARC/INFO GIS 시스템을 본체로 하는 본 환경지질 정보시스템은 자료의 입력, 분석, 출력의 3개 주요 부속 시스템으로 구성되며, 다량의 분산된 지질공학 자료들을 3차원적으로 동시에 처리시킬 수 있다. 금번 연구에서 작성된 지반의 지질공학 특성 분석도는 당 연구 그룹에서 현재 수행중인 환경지질조사 및

Table 1 Flow chart for the analysis of Geotechnical Estimation Index(GEI)



환경지질도작성 기법연구(한국자원연구소, 1992, 1993)의 중간 목적도이며 종합 환경지질도는 국토 종합 개발계획도, 자연 재해 예방도, 환경오염 분석도(김운종의, 1990) 등이 포함된다. 금번 연구지역은 지리 좌표상 동경 127° 42' 30" ~ 127° 50' 50", 북위 37° 37' 30" ~ 37° 42' 30"을 점하며 전체 면적 약 100km²에 이른다. 지형은 전체적으로 낮은 지역을 이루며, 구릉과 구릉 사이로 소규모 계곡들이 발달되어 있으며 한강변으로 남하하면서 낮은 평야 지대를 형성하고 있다. 이러한 지리, 지형적 이유로 본역은 현재 신도시 건설을 위하여 대단위 토목공사 등이 시행되고 있으며, 금번에 작성한 지반의 지질공학 특성 분석도가 좋은 자료로써 활용되기를 기대한다.

지반의 지질공학적 특성분석을 위한 GIS 모델

Table 2는 본 연구를 위하여 사용된 GIS 기본 자료층들이다. 지하 지질정보 획득을 위하여는 본역에서 시행된 약 270공의 시험시추자료(한국토지개발공사, 1990~1991)로부터 지하수위, 토심, 및 풍화대 두께, R.Q.D., S.P.T. 등의 정보가 재정리되어 환경지질 정

Table 2 Data layers for Geotechnical Estimation Index(GEI)

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Geological map 2. Soil classification 3. Topographic map 4. Drainage map 5. Groundwater level map 6. Soil depth map 7. Completely weathered depth map (Basement level map) 8. Engineering geological map |
|--|

보시스템내에서 시추 데이터베이스를 구축시켰다. Fig.1은 시험 시추자료 및 기본 환경지질 정보들로부터 얻어진 연구지역의 대표적 지질단면도이다(Fig.3-(A)의 AA'). 본 지질구분은 지질공학도 작성을 위한 분류이며, 흑운모 편마암이 주 분포를 이루는 지표의 암석들은 대부분 HW-CW(Highly to Completely Weathered rocks)의 풍화 정도를 보이며, 전체적인 풍화대 두께는 약 30~40m 정도를 보여 주고있다. Table 3은 연구지역 지반의 지질공학 특성(Geotechnical Estimation Index: GEI) 분석을 위한 1차 GIS모형의 요약이며(Carver, S. T., 1991), 본 모델을 위하여 선택된 2차 GIS 자료층은 지하수위(groundwater level), 지질공학단위(engineering geological unit), 토심(soil depth), 풍화대 심도(CW depth)이다. 실제로 위의 4가지 특성이 지반의 지질공학적 특성 규명을 위하여 아주 중요하며, 다른 지질공학적 요소들의 추가는 좀더 정확한 분석에 도움이 될 수 있다(Goodchild, M. F., 1991; 김운종의, 1993). 그들 각각에 대한 요약 설명은 아래와 같다. 또한 본 연구에서 사용된 DEM(Digital Elevation Model)은 지형도(1/25,000)에서 등고선을 직접 추출한 형태 자료이며(Fig. 3-(A)), 지형분석(경사, 기복 등)을 위하여서는 TIN(Triangulated Irregular Network)형태의 자료로 변환하여 처리되었다. TIN은 자료구조가 복잡한 단점이 있으나 선이나 격자모양의 DEM에서 분석하기 어려운 지형적 특성들을 잘 나타낼 수 있으며 벡터자료를 처리하는 GIS시스템에서는 필수적이다. 실제로 DEM의 정확도를 측정하는 것은 상당히 어려운 문제(U.S.G.S./NMAS: National Map Accuracy Standard, 1987)이며 본 연구를 위하여 제작된 DEM의 기계상(Hardware) 누적된 최대 오차치는 0.0095inch로써 만족할 만한 정확도를 보여 주었다.

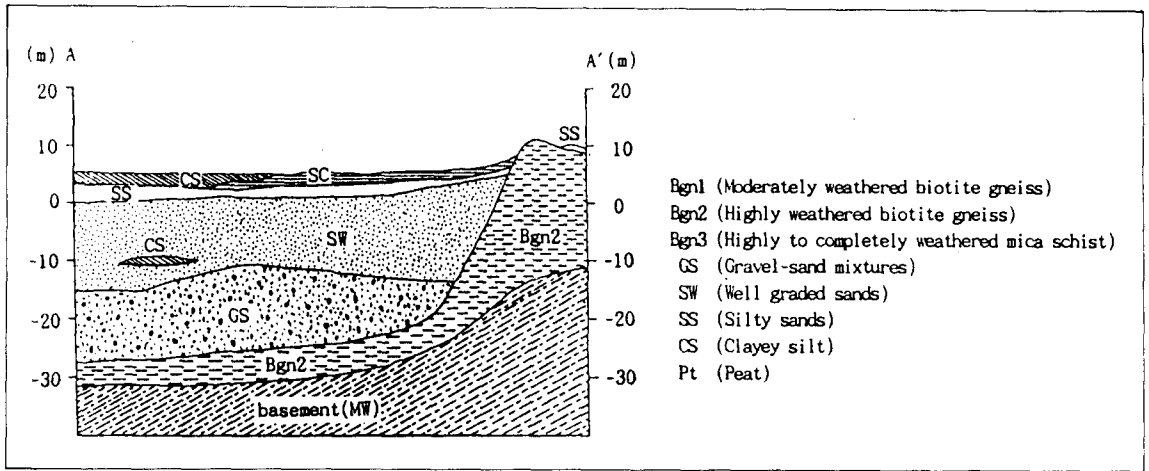


Fig.1 Geological cross section (AA') of the study area

Table 3 Summary of rating and weight system for GEI

NO	data layer	rating	weight	source data
1	Groundwater level	1 - 10	4	boring data
2	Engineering geological units	1 - 10	2 - 4	field survey, laboratory test
3	Soil depth	1 - 5	2	boring data
4	Completely weathered depth	1 - 6	3	boring data, laboratory test

지하수위도 (Fig. 3-(B))

본 도면 작성을 위하여 연구지역에서 시행된 시험 시추자료를 회귀분석(regression analysis)을 이용하여 산출된 기본 수식(Fig. 2, $Y=0.92X-1.75$; X: 지형등고, Y: 지하수위)

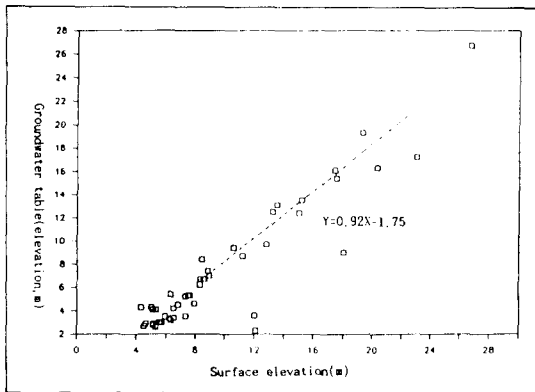


Fig.2 Groundwater table vs. surface elevation

이 활용되었다. 실제로 넓은 지역에 대하여 균일한 지하 지질정보를 얻은 것은 불가능하다. 본역에서 실시된 시험 시추자료들도(Fig. 3-(A)) 연구지역의 중심부에만 국한되어 시행되었으므로 북서부 및 남동부의 넓은 지역에 대한 지하 지질정보는 거의 전무하였다. 물론 수학적 내삽법도 활용이 가능하나, 이를 위하여는 불규칙한 다소의 지하 지질정보가 필요하며, 본 연구지역에서는 해당되지 않았다. 이러한 이유로 금번 연구에서 활용된 회귀분석에 의한 지하수 위치도 작성은 만족할만한 결과를 얻었으며, 한강과 인접한 관계로 남서부 주변은 아주 높은 지하수위가, 그리고 북서부의 구릉지역은 약 30-50ML의 불규칙한 분포를 보이고 있다. 이와같은 분석을 기초로 지하수위에 따른 등급(rating)이 8등급(1-10)으로 구분되었으며 한강 주변의 지하수 구배가 완만

Table 4 Scoring system for GEI model in the study area

(1) 지하수위 (Groundwater level)

번호	지하수위 (msl)	등급 (rating)	가중치 (weight)
1	3이하	10	4
2	3-4	9	
3	4-5	8	
4	5-8	7	
5	8-20	6	
6	20-40	5	
7	40-60	4	
8	60이상	3	

(2) 지질공학단위 (Engineering geological units)

번호	지질공학단위	등급 (rating)	내용	가중치 (weight)
1	Bgn1	1	(MW)	2
2	Bgn2	2	(HW)	
3	Bgn3	3	(HW-CW)	
4	SS	4	(silty-sand)	4
5	CS	5	(clayey silt)	
6	SC	8	(silty clay)	
7	Pt	10	(peat)	

· MW : Moderately weathered rock
 · HW : Highly weathered rock
 · CW : Completely weathered rock

(3) 토양 깊이 (Soil depth)

번호	토양깊이 (m)	등급 (rating)	가중치 (weight)
1	0-5	1	2
2	5-10	2	
3	10-15	3	
4	15-20	4	
5	20이상	5	

(4) 풍화대 깊이 (Completely weathered zone)

번호	풍화대깊이 (m)	등급 (rating)	가중치 (weight)
1	0-5	1	3
2	5-10	2	
3	10-15	3	
4	15-20	4	
5	20-25	5	
6	25이상	6	

하고 넓은 지역은 1m 단위로, 그리고 지형 경사가 적당히 상승하는 구릉 구역은 약 20m 단위로 구분하였다(Table 4-(1)).

지질공학단위 (Fig. 3-(C))

본역에서는 암석과 토양의 물성 및 지질 공학적 특성에 따라 7가지 단위로 분류하였으며, 연구 지역에 분포하는 흑운모 편마암을 3단위로, 그리고 제 4기 퇴적층(토양)을 대상으로 4단위로 구분하였다. 암석들은 주로 풍화정도에 따라서, 토양은 그 구성물질에 따라서 공학적 성질을 달리한다. Bgn1은 MW(Moderately Weathered)의 흑운모 편마암으로써 본 연구지역에서는 가장 신선한 암석이다. Bgn2, Bgn3는 HW-CW(Highly to Completely Weathered)의 정도를 보이는 거의 완전 풍화암으로 구성되어 있다. 또한 제 4기층들을 구성하는 토양들은 SS(silty sands), CS(clayey silt), SC(silty clay), Pt(peat) 등으로 그들의 두께는 시추자료에 의하면 1~10m의 분포를 보이고 있다. Table 4-(2)는 이러한 지질공학단위를 그들의 특성 분류에 따라 분석된 등급표이며 1~10의 분포를 가진다.

토양 깊이 분석도 (Fig. 4-(A))

한강 주변에 우세한 미사양토, 점토질 토양 및 충적층은 다소 차이를 보이나 전체적으로 그 두께가 약 10m 내외를 보이며, 지역에 따라 20여 미터에 달하는 곳도 있다. 이러한 상부 토양은 실제 기초 공사시 대부분 제거되며, 극히 일부가 남게 된다. Table 4-(3)의 등급표는 단지 토심 두께에 따른 등급 구분이며, 지반 안정적 측면에서 상기와 같은 토양 구성물질들은 얕을수록 좋을 것이다.

풍화대 심도 분석도 (Fig. 4-(B))

시추자료로부터 분석된 본 정보는, 표준

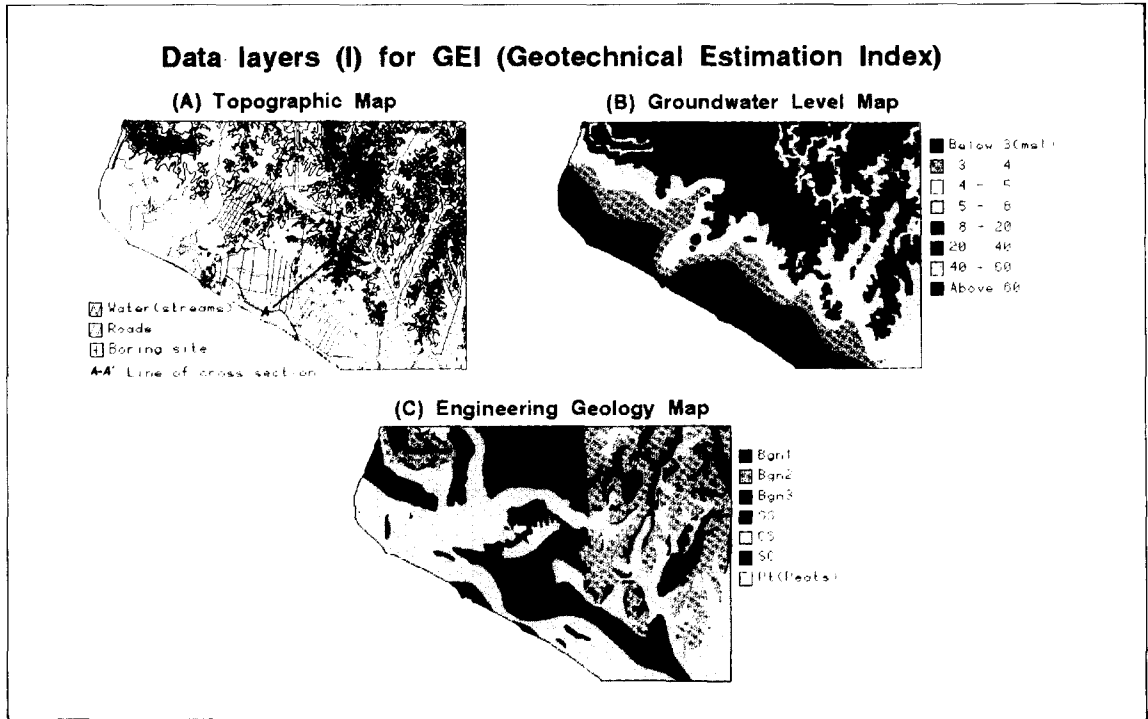


Fig.3 GIS data layers (I) for GEI analysis

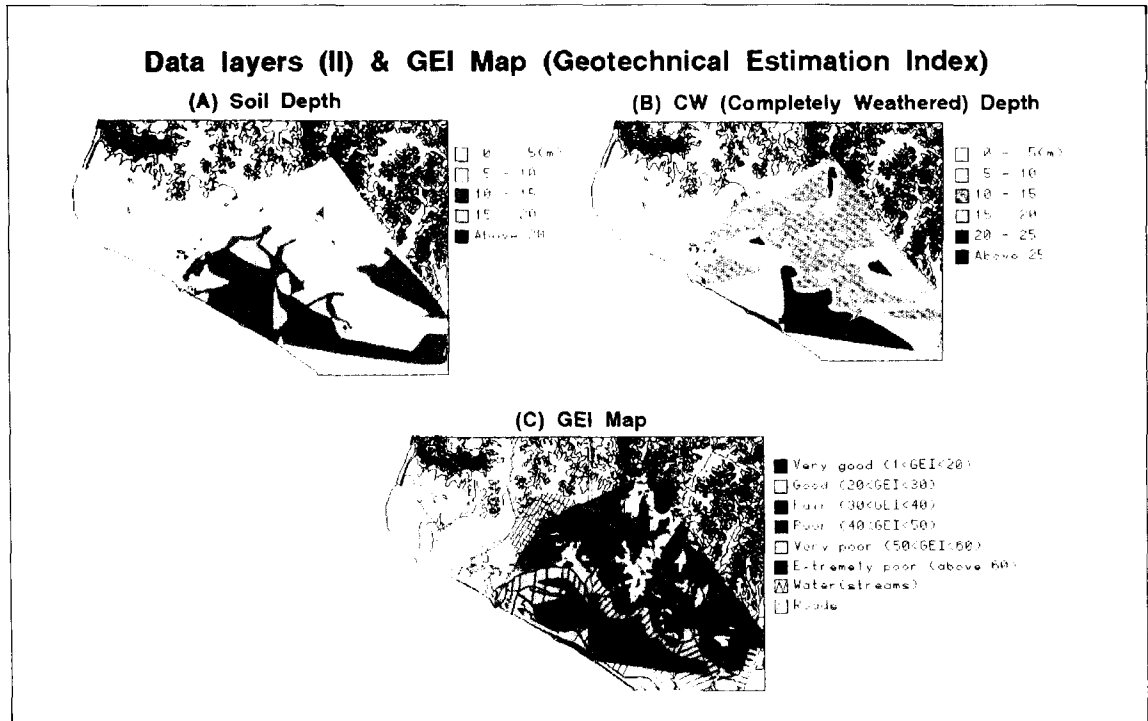


Fig.4 GIS data layers(II) and GEI map

관입치(N치)와 밀도, 풍화 정도에 따라 다음과 같이 분류하였다(Bell, F.G., 1987); 표토층: N=20이하(보통조밀), 풍화토층: N=20-50(상부는 보통 조밀하고 하부는 매우 조밀), 풍화암층: N=50/15(매우 치밀한 밀도), 기반암층(연암): 다소 풍화받음(암편상으로 코아의 일부 회수). 여기서 풍화대 깊이는 전체 풍화암층 깊이, 즉 지표에서 기반암까지의 심도를 이야기한다. 전체적으로 약 20~30m의 분포를 보이나, 한강 주위는 기반암의 위치가 약 -7ML이며, 시추자료의 코아 회수(R.Q.D.)도 상당히 불량한 분포를 보여주고 있다. Table 4-(4)는 상기 분석을 기초로 나누어진 등급표이며, 1-6의 분포를 나타내고 있다.

GEI (Geotechnical Estimation Index) 분석도 작성

GIS를 이용한 지반의 지질공학적 특성 분석을 위해서는 앞장에서 분석된 GIS 모델(Table 4)에 의하여 개발된 등급 시스템에 따라 각각의 자료층들이 시스템내에서 체계적으로 중첩되어야만 한다. 본 연구의 벡터구조 다각형 지도중첩은 새로운 형태의 속성을 가지는 지도를 생성시킬 수 있으며, 마지막 생성된 최종 도면은 중첩되는 각 도면들의 속성을 모두 포함한다. 중첩하는 과정도 여러가지의 알고리즘이 사용되고 있으나 본 연구에서 이용된 "INTERSECT"는 교집합의 의미가 부여되는 것으로서 도면들이 서로 중첩되어지는 부분에 한하여 그들의 지형요소가 결합된다. 최종적으로 생성되는 모든 다각형들에 대하여 GEI(Geotechnical Estimation Index)가 각 요소들의 등급과 가중치의 곱으로 계산되었으며, 그 범위는 14-70(Table 5)의 분포를 보여주었다. GEI의 값이 높을수록 지반의 안정성이 불량한 것으로 분류된다. GEI의 구분을 위

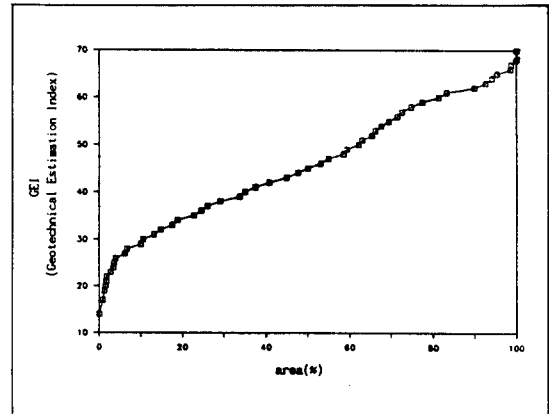


Fig.5 Percentage cumulative curve(area vs. GEI)

Table 5 Area percentage of GEI

GEI	area(%)	description	remarks
1 < GEI < 20	1.48	very good	MIN(GEI) : 14 MAX(GEI) : 70
20 < GEI < 30	9.12	good	
30 < GEI < 40	24.4	fair	
40 < GEI < 50	27.2	poor	
50 < GEI < 60	19.2	very poor	
60 이상	18.6	extremely poor	
Total	100(%)		

하여 GEI의 누적 면적 분포도(Fig.5)가 그려졌으며 그 곡선상에서 변화를 보이는 변곡점들이 추출되어 Table 5와 같이 6구분되었다. Fig. 4-(C)는 이러한 분석 과정을 거쳐 작성된 최종적 지반의 지질공학 특성 분석도(GEI map)이다.

결론

지반의 지질공학적 특성 분석을 위하여 여러 종류의 많은 환경지질 및 지질공학 자료들이 GIS를 이용하여 구현된 환경지질 정보시스템(EGIS) 내에서 체계적으로 종합 처리되었다. 많은 전문가들이 동시에 한 시스템 하에서 다양한 분석작업을 수행할 수 있는 것이 GIS의 장점이며, 그를 위하여 시범 지역을 대상으로 금번 연구에서 실현된

환경지질 정보 데이터베이스의 활용성이 다시 한번 증명되었다. 지질공학 분석을 위한 일부 자료취득의 문제점과 그들을 GIS 데이터베이스내에 구현시키는 작업들에 대한 부분적인 보완을 거친후, 본 환경지질 정보시스템은 앞으로 GIS 전문가 시스템(expert system)으로 발전하여야만 될 것이다. 금번에 개발된 GEI 수치는 지역의 지질공학조건에 따라 변동될 수 있는 상대적인 수치이며, GIS 모델의 기본 자료층들에 기반 분석을 위한 새로운 자료들의 추가는 이러한 분석의 정확도를 더 높일 것이다. 환경지질 정보 시스템을 이용하여 작성된 GEI 도면은 앞으로 지역의 개발계획 및 토지이용을 위한 중요한 자료로써 활용될 수 있으며, 이러한 GIS 응용기술들은 국토의 자연자원 관리 및 지질재해 예방을 위하여 적극 이용되어야만 할 것이다.

참 고 문 헌

- 고양 중산 1.2지구 택지개발사업 토질 조사 보고서, 1991. 한국토지개발공사.
- 김윤종, 김원영, 유일현, 1993. 지질 재해 분석을 위한 GIS 응용연구, 한국 GIS 학회지, 제 1권 제 1호, pp.89-94.
- 김윤종, 김원영, 1991. Sarma 방법을 이용한 암반 사면 안정성 연구, 한국지구과학회지, 제12권 제1호, pp.14-24.
- 김윤종, 김원영, 유일현, 백중학, 이현우, 류중희, 1990. 쓰레기 매립장 부지선정을 위한 GIS 활용연구, 대한원격탐사학회지, 제6권 제2호, pp.135-151
- 일산 신도시 특수구조물 조사설계용역 토질 조사보고서, 1991. 한국토지개발공사.
- 일산 새주택 도시개발사업 토질 조사보고서, 1990. 한국토지개발공사.
- 자유로건설 사업조사 설계용역 지질 조사보고서, 1990. 한국토지개발공사.
- 고양군 정밀 토양도(1/25,000), 1978. 농촌진흥청.
- 홍승호, 이병주, 황상기, 1982. 서울도폭지질도, 한국동력자원연구소.
- 환경지질도 작성기법연구(I), 1992. 한국자원연구소.
- 환경지질도 작성기법연구(II), 1993. 한국자원연구소.
- Afrouz, A.A., 1991. Rock mass classification systems and modes of ground failure, CRC Press, pp.1-25
- Bell, F.G., 1987. Ground engineer's reference book, Butterworths Press, pp.9/1-9/34.
- Carver, S.J., 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographic information systems, I. J. G. I. S., Vol.5, No.3, pp.321-339.
- Goodchild, M.F., 1991. Integrating GIS and environmental modeling as global scales, GIS/LIS '91 proceedings, Oct.-Nov.1991. Atlanta Georgia, pp.117-126.
- Kim, Y. J., Kim, W. Y., Yu, I. H., Seo, D. J., and Yang, Y. K., 1992. Analysis of regional geologic(landslides) hazards using GIS technology, XVII ISPRS Congress, Washington, August, 1992.
- Robinove, C. J., 1986. Principles of logic and the use of digital geographic information systems, U.S. Geological Survey Circular 977.
- U.S.G.S/NMAS, 1987. Large Scale Mapping Guidelines, USGS Open File Report 86-005, Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and the American Congress of Surveying and Mapping.