

서울일대 암반을 대상으로 한 Geotechnical Information System (GTIS)의 개발 및 활용 (2)

김정엽¹⁾ · 전효택²⁾ · 박형동³⁾

A Development and utilization of Geotechnical Information System (GTIS) of the Rock Mass in Seoul Metropolitan Area (2)

Jung-Youp Kim, Hyo-Taek Chon and Hyeong-Dong Park

ABSTRACT Geotechnical Information System (GTIS) for efficient management of three dimensional borehole data has been developed. Geotechnical maps in the vicinity of Bulkwangdong, Seoul station, Itaewon, Han river near Yuido, and Jungrangchon were constructed by Kriging method. In Bulkwangdong and Jungrangchon area where boundary between granite and gneiss is present, gneiss has been more weathered than granite, but in Seoul station and Itaewon area where the boundary is also present, granite has been more weathered than gneiss. It has been inferred that when Seoul granite intruded, the strength of gneiss in Bulkwangdong and Jungrangchon area was lowered by the attitude of foliation plane than in Seoul station and Itaewon area, so the gneiss has been easily fractured and weathered in Bulkwangdong and Jungrangchon area. Geotechnical map in the vicinity of Yuido showed that there is an NW-SE trend weakness zone that might be affected by major faults under Han river and it is expected that the fault zone may be present in construction area of Kyoungbu Highspeed Railway that lies below the Han river like the Subway Line No. 5.

1. 서 론

지하철, 지하유류비축기지과 같은 지하구조물의 건설이나, 대형 건축물의 건설을 위한 지반조사로서 시추조사는 가장 기본적인 것이라 할 수 있다. 국내에서 지반조사를 위한 시추조사가 언제부터 수행되었는지 알려지고 있지는 않지만 현재 기록으로 남아 있는 가장 오래된 대규모의 지반조사보고서는 수도권 지하철 1호선 건설을 위해 1971년 작성된 지질조사보고서이다.^{1,2)} 이후 수도권에서는 지하철 2~8호선, 경부고속전철 등의 대규모 사업이 수행되면서 수많은 시추조사가 실시되었다. 그러나 이와 같은 대형 건설사업을 위한 시추공 자료들은 건설 당시에만 사용되었을 뿐 이후 자료의 보존 및 관리가 되지 않아 기존의 자료가 있는 지역임에도 불구하고 이후에 수행되는 사업을 위해서 또다시 같은 지역에

시추조사를 수행한 예를 흔히 볼 수 있다. 또한 시추공 자료들은 체계적으로 정리되지 못한 채 지질조사보고서에 수록되어 왔으며 이에 따라 현장에서도 시추공 자료를 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 문제점들은 시추공 자료가 4차원적인 data속성을 지니고 있기 때문에 발생한다. 시추공 자료는 X, Y, Z 좌표, 즉 3차원 좌표공간에 속성 값이 주어지는 자료이기 때문에 자료의 처리과정이 난해하고 이에 따라 자료의 시각화가 힘들다. 공간상의 자료처리와 관련하여 1980년대 이후 GIS (Geographical Information System)가 급격히 보급되며 관심을 끌었지만 이와같은 기존의 GIS는 근본적으로 지표상의 지형공

1) 선경건설 연구소

2) 서울대학교 공과대학 자원공학과 교수

3) 배재대학교 자원환경공학과 전임강사

간 정보를 대상으로 하는 2차원적인 자료처리라는 한계를 갖고 있다. 이에 따라 최근에는 GIS로는 해결할 수 없는 지하공간의 개발이나 지하수오염 등의 문제가 급증하면서 이를 해결하기 위하여 3차원 공간상의 자료처리를 위한 GIS (Geoscientific Information System)의 개념이 도입되어 선진국에서는 실용화 단계에 이르고 있지만³⁾, 아직 국내에는 GIS라는 용어조차 소개되지 못하고 있는 실정이다.⁴⁾

이에 따라 이 연구에서는 국내에서 가장 많은 시추공이 굴착된 서울 일대의 시추공 자료들을 대상으로 체계적으로 관리하고, 효과적으로 시각화하여 지하구조물을 설계할 때 기본 자료로 쓰일 수 있으며, 시공현장에서 손쉽게 사용할 수 있는 Geotechnical Information System (GTIS)을 개발하고자 하였으며, 개발된 GTIS를 이용하여 서울일대 암반의 지질공학적 특성을 규명하고자 하였다.

2. 연구대상지역의 지형 및 지질

2.1 지형

서울특별시 지형적으로 광주산맥의 남서 연장 점 감부(漸減部)에 해당되며 전반적으로 노장년기의 지형 특성을 나타내고 있다. 북쪽은 북한산, 북동쪽은 수락산, 도봉산, 남쪽은 관악산, 서쪽으로는 김포평야가 위치해 전체적으로 큰 분지의 지형을 이루고 있다. 시의 중앙부에는 남산이 있고 남산과 북악산 사이에 청계천이 동으로 흐르고 있으며, 태백산에서 발원하는 한강은 시의 동서를 관통하고 있다. 한강의 지류로서 북안에는 중랑천, 불광천이 합류하고 남안에는 안양천과 탄천이 합류한다.

2.2 지질

경기육괴의 북서부에 위치하고 있는 서울시 일대의 지질은 선캠브리아기의 변성암류(경기편마암복합체), 중생대의 화성암류, 그리고 이들을 모두 부정합으로 덮고 있는 제4기의 하성층으로 구성되어 있다 (Fig. 1). 선캠브리아기에 속하는 경기편마암복합체는 퇴적기원 변성암으로서 호상 혹은 편마암, 화강암질 편마암 그리고 운모 편암 등으로 구분되며, 이들은 광역변성작용, 화강암화작용 및 열변성작용 등 여러 단계의 중첩변성을 받아 지질계통 수립에 많은 어려움이 있다. 화강암류는 암석조직에 의해서 반상조직을 띠는 반상 화강암과

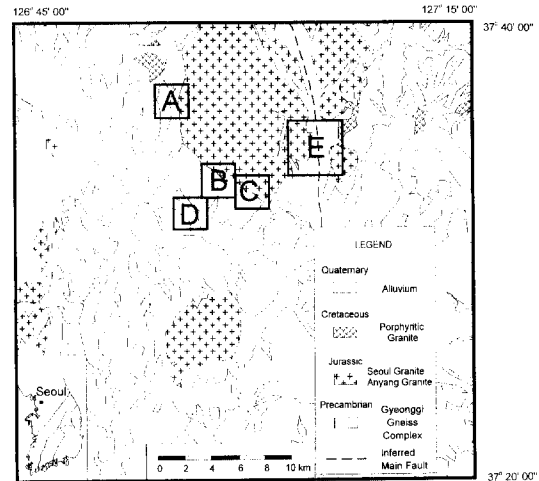


Fig. 1. Geologic map of the Seoul area⁵⁾. Five squares are studied areas.

- A: Bulkwangdong B: Seoul station
C: Itaewon D: Yuido and Mapo
E: Jungrangchon

혹은도 화강암으로 구분되며 전자는 암주상으로 구과발동과 망우리고개 부근에 소규모로 분포하고 후자는 저반상으로 서울시 북측과 관악산을 구성하는 규모로 산출된다. 제4기 퇴적층은 홍적세의 홍적층과 현세의 충적층으로 구분되며, 주로 한강 연안에 분포한다.^{6,9)}

3. GTIS의 활용 사례

3.1 불광동 일대

GTIS를 이용하여 불광동 일대의 지질공학도를 작성하였다. 불광동 일대는 지하철 3호선과 지하철 6호선의 루프구간이 교차하는 곳으로서, 편마암과 화강암의 접촉부위이다. 이 지역의 지형도와 지질도를 비교하여 보면 동쪽의 화강암 지대는 높은 지형을, 서쪽의 편마암 지대는 낮은 지형을 보여 암종의 변화에 따른 뚜렷한 지형적 특성을 보이고 있다. 지질공학도를 작성한 구간에 해당하는 시추공수는 총 55개이며, 이 중 편마암 지역이 47개, 화강암 지역이 8개이다 (Fig. 2, Fig. 3).

115 m 철도표고에서 단면도를 작성하여 본 결과 남동쪽에 있는 편마암과 화강암의 접촉 부위에서 풍화등급 및 RQD의 급격한 변화가 관찰되며 BB'단면에서 이러한 현상은 더욱 뚜렷이 나타난다 (Fig. 4). 반면 편마암만으로 이루어진 AA'단면을 작성한 결과 A에서

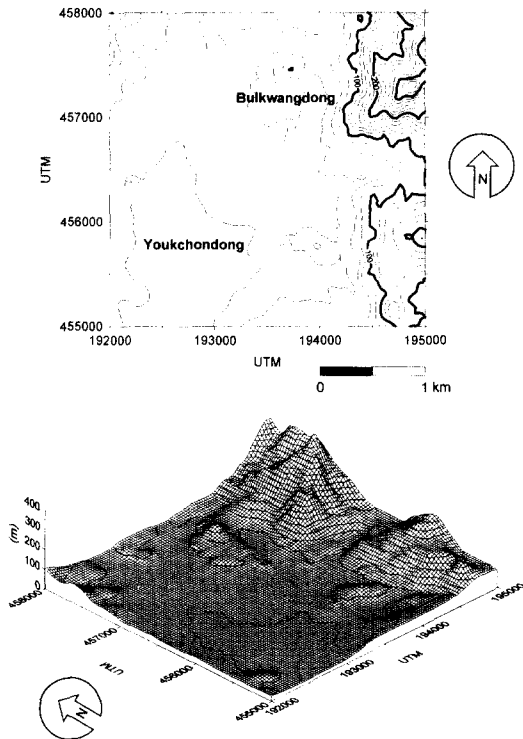


Fig. 2. Digital elevation model in the vicinity of Bulkwangdong.

A'으로 가면서 점차 지형이 높아지고 이에 따라 심부에서는 slightly weathered 단계의 암반이 나타나지만 RQD는 매우 낮은 상태이다. 이러한 현상은 화강암이 관입하면서 주위 편마암에 많은 파쇄대를 발생시켰기 때문으로 추정된다. 또한 평면도의 남서부인 A지점에서는 풍화심도가 깊고, RQD가 거의 0인 상태가 나타나는데, 이는 불광천 단층대의 모습을 보여주는 것으로 추정된다.

3.2 서울역 일대

서울역 일대는 지하철 1호선, 지하철 4호선, 지하철 5호선과 경부고속전철이 통과하는 구간으로 지질공학도를 작성한 구간내의 시추공은 모두 136개이다. 이 중 화강암 지역이 87개, 편마암 지역이 48개, 편암 지역이 1개로서 지도상의 북서쪽에서 남동방향으로 화강암과 편마암의 접촉부위가 존재한다. 이 지역의 지형은 남동쪽의 남산과 북서쪽의 안산을 제외하고는 거의 대부분이 낮은 평지이며 지질의 영향을 크게 받지 않은 것으로 나타난다 (Fig. 5, Fig. 6).

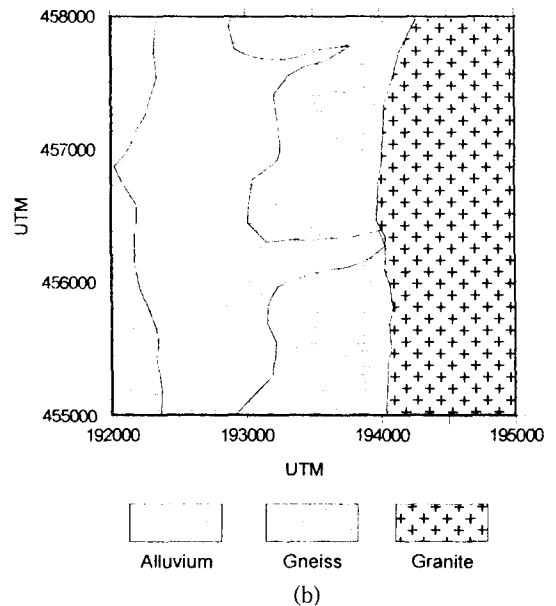
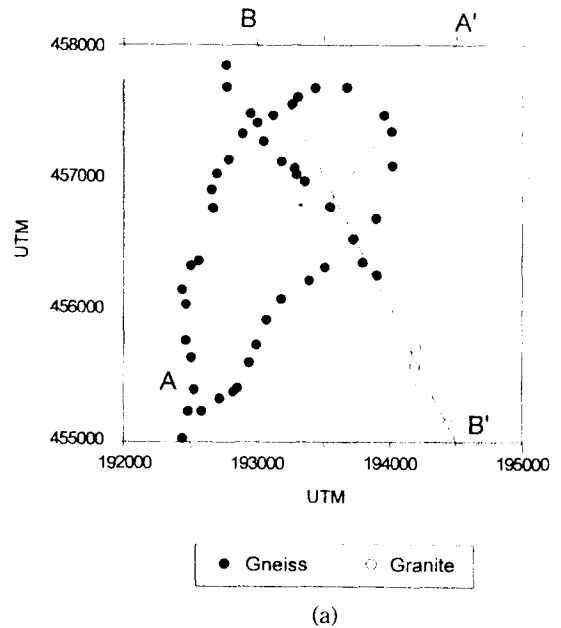


Fig. 3. Borehole location map with the trace of vertical sections to be plotted (a) and geologic map (b) in the vicinity of Bulkwangdong.

철도표고 105 m에서 지질공학도를 작성한 결과 전반적으로 남서부에 신선한 암체가, 북동쪽에 풍화암체가 나타나는 것으로 관찰되며, AA'단면도와 BB'단면도를 작성하여 본 결과 이러한 현상은 더욱 뚜렷이 나타난다 (Fig. 7). 이와 같은 현상은 불광동 일대에 있는 화

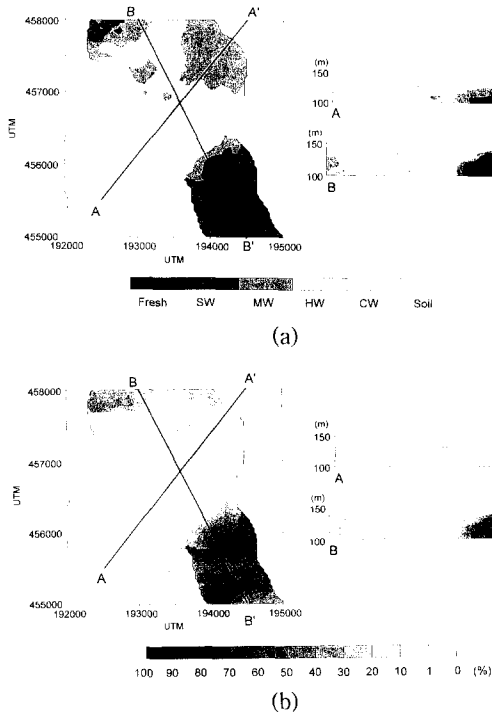


Fig. 4. Weathering grade map (a) and RQD map (b) in the vicinity of Bulkwangdong.

강암과 편마암의 접촉상태와는 전혀 다른 양상으로 불광동 일대에서는 화강암 관입체가 주변의 편마암에 비하여 대단히 신선한 상태인 반면 서울역 일대에서는 화강암의 풍화심도가 편마암에 비하여 깊게 나타난다. 연암층을 예로 들면 서울역 일대의 편마암 지역에서는 지표면으로부터 약 10 m 하부에 존재하는 반면, 화강암 지역에서는 약 20~30 m 하부에 존재하여 암종간의 풍화심도가 큰 차이를 보여주고 있다.

3.3 이태원 일대

이태원 일대는 지하철 3호선, 지하철 5호선과 지하철 6호선이 통과하는 구간으로 지질공학도를 작성한 구간 내의 시추공은 모두 68개이다. 이 중 편마암 지역이 19개, 화강암 지역이 49개로서 서울역 일대와 비슷하게 북서에서 남동방향으로 편마암과 화강암의 접촉부위가 존재하며 남동쪽에는 한강이 흐른다. 이 지역은 서쪽의 남산등 낮은 산과 구릉이 많이 존재하는 것이 특징이며 지질조건과의 특별한 상관성은 발견되지 않는다 (Fig. 8, Fig. 9).

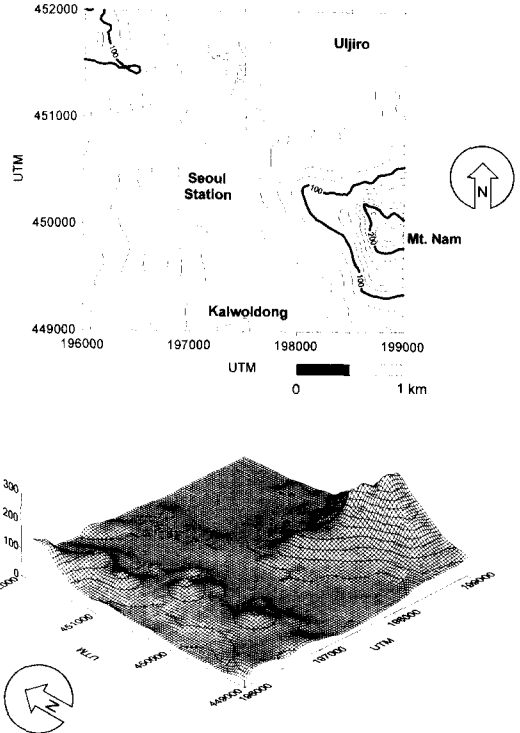


Fig. 5. Digital elevation model in the vicinity of Seoul station.

철도표고 120 m에서 평면도를 작성하여 본 결과 거의 대부분의 지역에서 slightly weathered 상태를 보이고 있으나 북동쪽과 남동쪽에서 심한 풍화대가 나타나고 있다 (Fig. 10). 남동쪽은 한강변으로서 지형이 낮아지면서 총적층에 의해 나타난 현상으로 판단된다. 반면 북동쪽의 풍화대는 명확한 원인이 평면도에는 나타나지 않아 AA'단면을 작성하였다. AA'단면은 중앙부에서 편마암과 화강암의 접촉부위가 있는 단면으로서 화강암 쪽에서 더 깊은 풍화심도를 보여 서울역 일대의 풍화단면과 비슷한 경향을 보이고 있다.

3.4 여의도부근 한강하저터널구간

지하철 5호선 및 경부고속전철은 한강을 교량이 아닌 하저터널 방식으로 통과하게 된다. 지하철 5호선의 한강하저터널은 여의도 북단에서 마포에 이르는 구간이며, 경부고속전철은 용산에서 여의도 동쪽에 이르는 구간이다. 이 지역 일대의 지형은 북서-남동방향으로 흐르는 한강이 중앙부에 위치하며, 북동부에는 마포구 산천동에 있는 해발 76.7 m의 야산이 존재할 뿐 나머

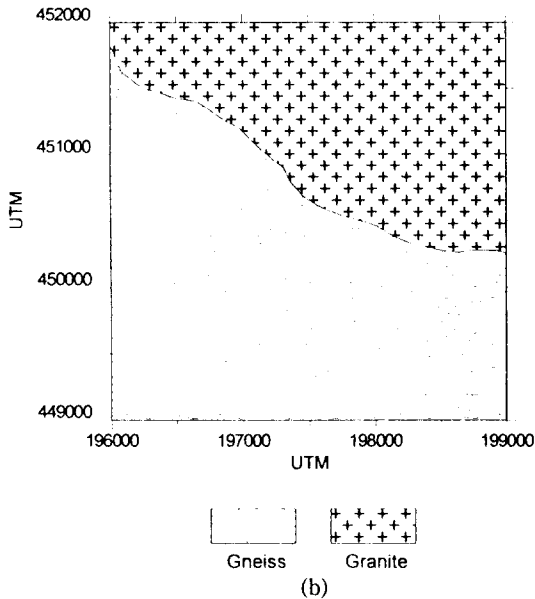
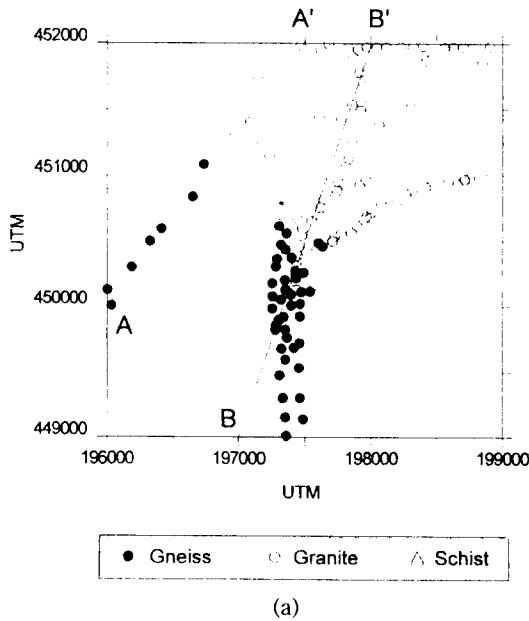


Fig. 6. Borehole location with the traces of vertical sections to be plotted (a) and geologic map (b) in the vicinity of Seoul station.

지는 모두 해발 20 m 정도의 평지인 특성을 갖는다. 지질은 한강변의 충적층과 편마암층으로 이루어져 있지만, 충적층의 하부에도 편마암이 존재하여 지질공학도를 작성한 구간내의 시추공 44개에서 파악된 암종은 모

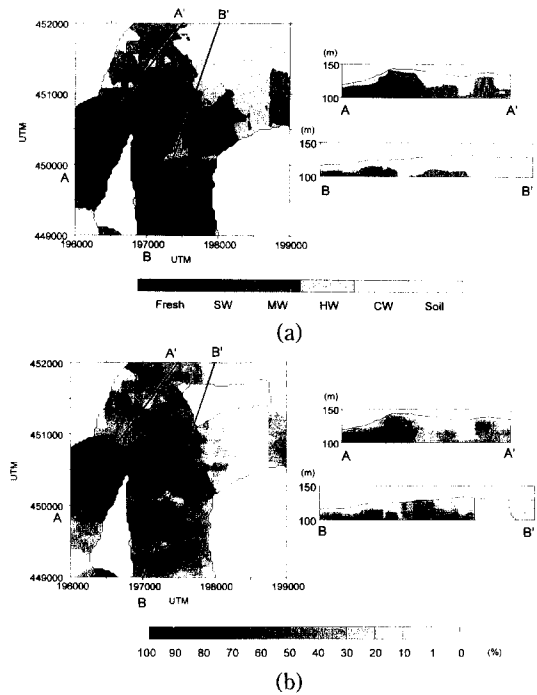


Fig. 7. Weathering grade map (a) and RQD map (b) in the vicinity of Seoul station.

두 편마암이다 (Fig. 11, Fig. 12).

AA', BB' 단면을 작성한 결과 한강의 북쪽에 비하여 남쪽이 전반적으로 풍화심도가 깊고, RQD가 낮은 경향을 보인다. 철도표고 80 m에서 평면도를 작성한 결과 위의 두 단면에서 관찰된 파쇄대가 북서-남동 방향의 방향성을 갖는 것으로 관찰된다 (Fig. 13). 이러한 현상은 지하철 5호선 한강하저터널에서 측정된 단층이 여의도쪽에서 주로 N30°W/40°NE가 우세한 것으로 보고된 바 있어,¹⁰⁾ Fig. 13에 나타난 지하철 5호선 한강하저터널과 경부고속전철 한강하저터널 구간을 연결하는 파쇄대의 방향성은 한강에 존재하는 단층의 주된 방향성을 의미하는 것으로 판단된다. 이러한 N30°W 계열의 불연속면들은 지하철 5호선 한강하저터널구간에서 NS~N30°E 계열의 절리군과 함께 거의 예외 없이 흑연층이 협재하고 흑연층의 경면 (slickensided plane) 화로 인한 전단강도, 마찰저항의 감소로 굴착시 암반 파괴를 발생시키는 주요원인이 되었다.¹¹⁾

경부고속전철 한강하저터널 구간의 하저터널 통과 심도에서 계산된 31개의 RMR 측정치는 최소 16점, 최고 54점, 평균 34.2점으로 암질상태는 매우불량 (very

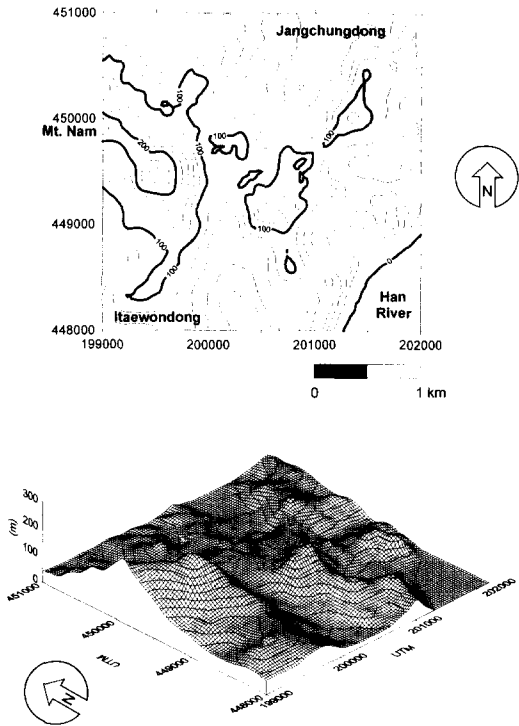
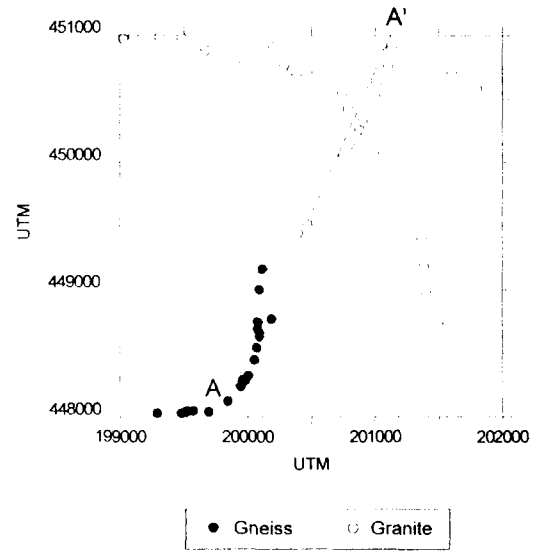


Fig. 8. Digital elevation model in the vicinity of Itaewon.

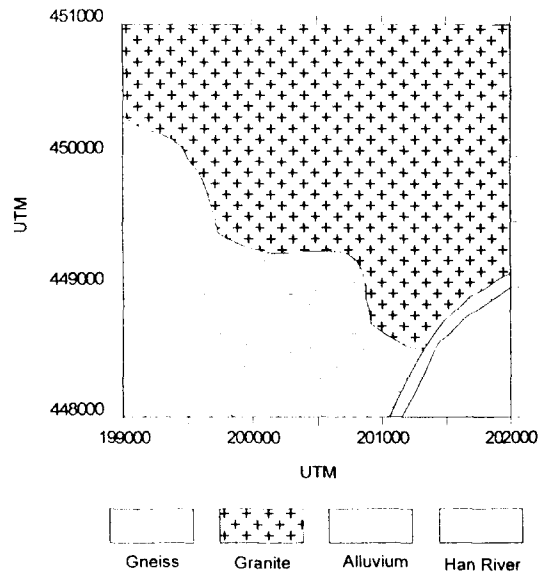
poor)~보통 (fair)인 것으로 보고되었으며, 6개 지점에서 측정된 Q value는 0.055~2.500으로서 extremely poor~poor에 이르는 상태로 보고되었다.¹²⁾ 이처럼 시공계획중인 경부고속전철 한강하저터널 구간에서는 국지적으로 단층으로 인한 심한 풍화-파쇄대를 만날 것이 예상되며 이러한 구간에서는 막장의 붕괴를 막기 위하여 지하철 5호선 한강하저터널의 sta.20K495 m~20K580에서 적용된 주입범위 7.95 m의 111공 차수그라우팅 패턴¹⁰⁾과 같은 보강공법이 적용되어야 할 것으로 판단된다.

3.5 중랑천

지하철 7호선은 강북구간에서 중랑천을 따라 진행하게 되는데, 중랑천은 서울일대에서 알려진 규모가 가장 큰 단층이나 이는 항공사진에 의한 관측과 직선적인 계곡지형으로 추정된 단층이다 (Fig. 14). 군자동-중곡동-면목동-상봉동을 연결하는 중랑구 일대의 지하철 7호선 구간은 편마암과 화강암의 접촉부위로서 노선이 지나가면서 계속적으로 편마암과 화강암이 서로 교대하



(a)



(b)

Fig. 9. Borehole location with the traces of vertical sections to be plotted (a) and geologic map (b) in the vicinity of Itaewon.

며 나타나고 있으며, 지하철 5호선이 마장동에서 군자동을 향해 지나가며 중랑천을 직교하고 있어 지질공학적으로 관심이 큰 지역이다 (Fig. 15).

시추조사시에 파악된 암종을 지질도와 비교하면 몇 가지 차이점이 발견된다 (Fig. 15). 첫째, 지질도에는

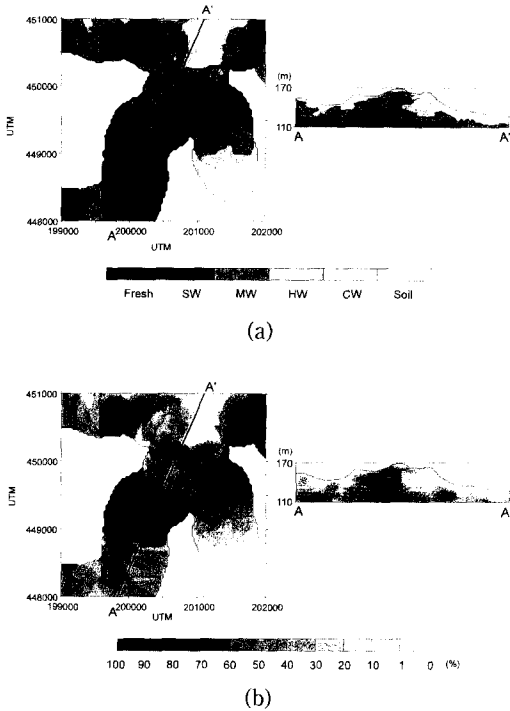


Fig. 10. Weathering grade map (a) and RQD map (b) in the vicinity of Itawon.

남동쪽에 편암이 존재하는 것으로 나타나지만, 시추보고서에는 편암암으로 보고된다. 이러한 현상은 국내 지반조사보고서의 전반적인 문제점으로서 편암을 편암암으로 기재하는 경향이 많기 때문에 나타난 현상으로 추정된다. 이러한 추정은 GTIS에 입력된 2037개의 시추공 중 편암으로 판명된 것이 불과 10개에 불과하며, 지하철 6호선 이태원구간에서 현장관찰을 실시한 결과 국부적으로 편암이 관찰되었으나 지반조사보고서에는 편암암으로 기재된 사실 등이 뒷받침한다. 둘째, 시추조사시에 발견된 면목동, 상봉동 일대에서 화강암과 편암암이 계속 교차하며 나타나는 현상은 지질도에는 나타나지 않는데 이는 지질도에 해당지역이 충적층으로 나와있기 때문이다. 현재까지 발견된 서울지역의 지질도에는 많은 부분이 충적층으로 덮여있어 그 기반암을 알 수 없는 경우가 많다. 따라서 이러한 지역은 GTIS를 이용하여 충적층 하부의 기반암에 대한 정보를 계속 구축하여 추후 활용할 수 있도록 하여야 한다.

이 지역의 평면도를 철도표고 100 m에서 작성한 결과 마장동 일대와 상봉동 일대에서 심한 풍화-파쇄대가

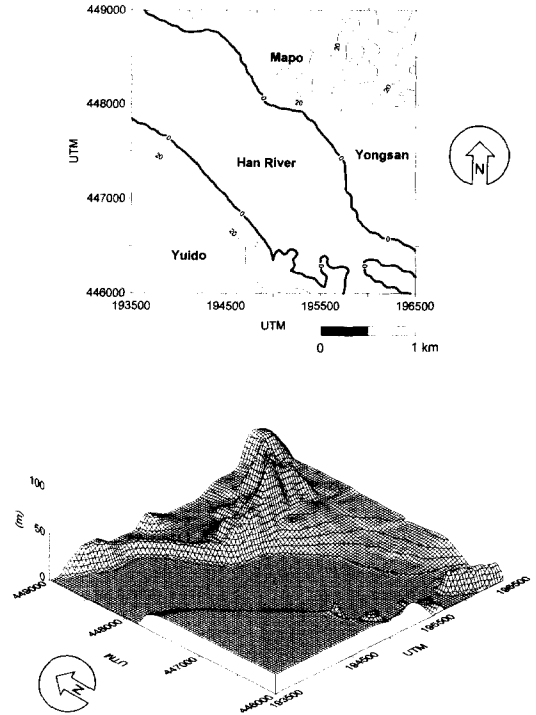


Fig. 11. Digital elevation model in the vicinity of Yuido and Mapo.

관찰된다 (Fig. 16). AA'단면을 작성한 결과 마장동에서 발견된 풍화-파쇄대는 중랑천을 가로질러 오면서 나타난 현상으로서 중랑천 가상단층의 모습을 보여주고 있는 것으로 판단된다. 중랑천의 우측에 있는 A' B'단면을 작성한 결과 용마봉 서측과 군자동 일대에서는 매우 신선한 암반이 나타나는 반면 중곡동, 면목동, 상봉동에서는 심한 풍화-파쇄대가 나타난다. 이러한 현상은 용마봉 일대의 화강암이 관입하면서 주변 편암, 편마암을 심하게 파쇄시켰기 때문에 나타난 현상으로 추정된다. 이 지역은 서울화강암체의 동쪽 경계부에 해당하는 지역으로서 서울화강암체의 서쪽 경계부인 불광동 일대에서 발견된 바와 같이 편마암과 화강암이 남북방향의 접촉면을 가질 경우 편마암이 심하게 풍화-파쇄되는 현상과 일치한다.

3.6 서울일대 암반의 종합적 해석

불광동, 서울역, 이태원, 중랑천 일대의 풍화특성을 종합해 보면 편마암과 화강암의 접촉 경계가 남북방향인 불광동과 중랑천 일대에서는 화강암이 편마암에 비

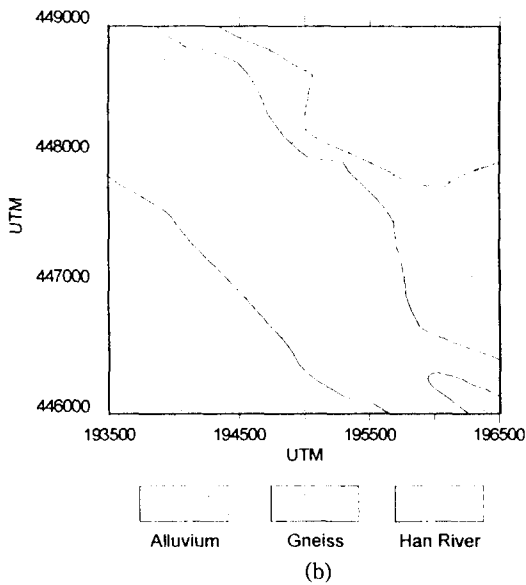
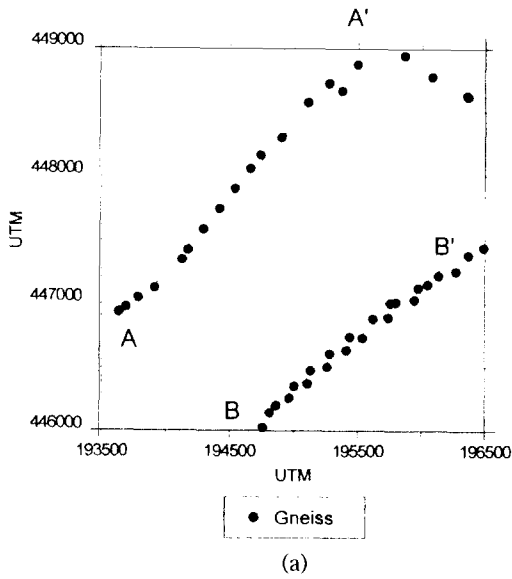


Fig. 12. Borehole location with the traces of vertical sections to be plotted (a) and (b) geologic map in the vicinity of Yuido and Mapo.

하여 신선한 상태를 보이는 반면, 접촉 경계가 북서-남동 방향인 서울역, 이태원 일대에서는 편마암이 화강암에 비하여 신선한 상태를 보이고 있다. 일반적으로 변성암 지역은 오랜 지질시간동안 열과 압력을 많이 받았으므로 많이 풍화되어 있다고 가정하기 쉽다. 그러나 이러한 일반적인 가정으로 설명되지 않는 서울역, 이태

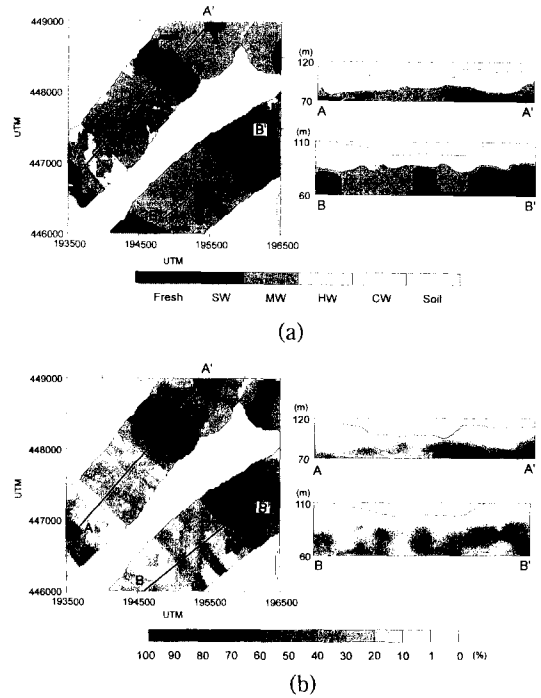


Fig. 13. Weathering grade map (a) and RQD map (b) in the vicinity of Yuido and Mapo.

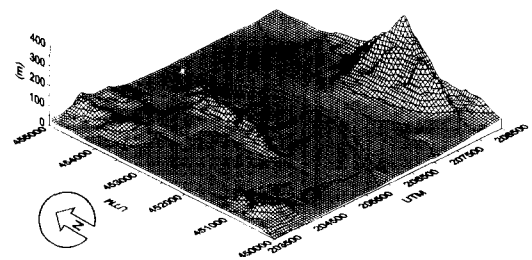
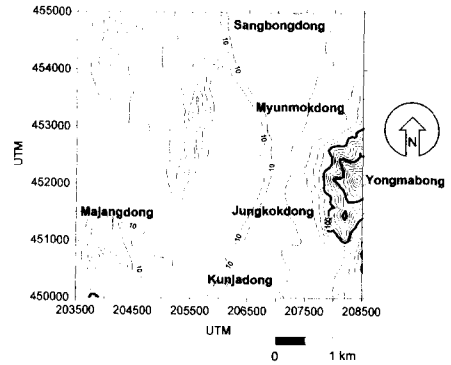


Fig. 14. Digital elevation model in the vicinity of Jungrangchun.

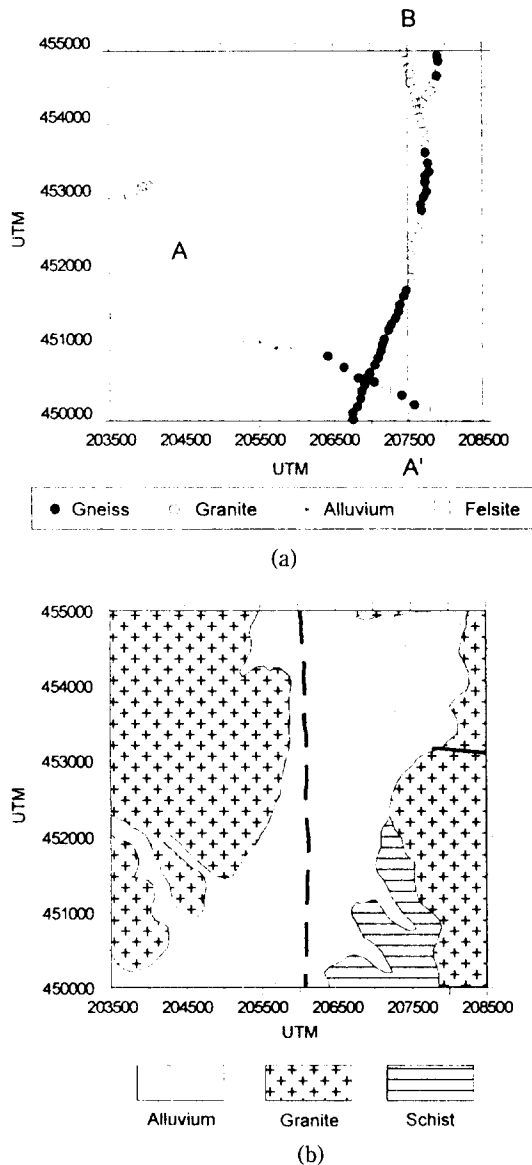


Fig. 15. Borehole location with the traces of vertical sections to be plotted (a) and geologic map (b) in the vicinity of Jungjangchun. Solid line represents fault and broken line represents inferred fault.

원 지역에서는 변성암 내부에 존재하는 조직구조의 일정한 방향성과 응력방향과의 관계를 원인으로 추정해 볼 수 있다. 편마암내에 존재하는 엽리는 화강암의 관입 이전에 작용한 광역적인 응력에 의하여 생성된 것으로서, 화강암이 관입하기 이전에도 존재하던 연약면이

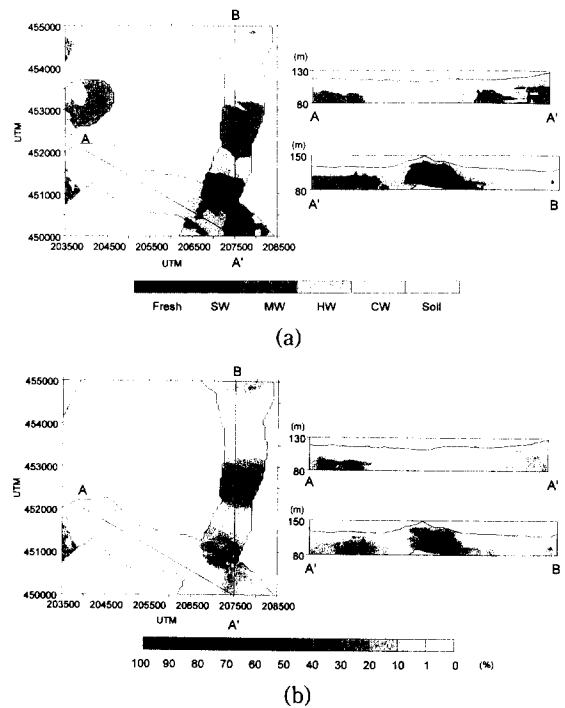


Fig. 16. Weathering grade map (a) and RQD map (b) in the vicinity of Jungjangchun.

다. 불광동 부근의 박석고개에서 관찰된 편마암체 면구조의 방향은 경사방향이 $110^{\circ} \sim 115^{\circ}$, 경사각은 60° 내외로 보고되고 있으며,¹³⁾ 여의도-마포간의 지하철 5호선 한강하저터널 공사구간에서 나타난 편마암체의 엽리의 주된 경사방향은 $90^{\circ} \sim 110^{\circ}$, 경사각은 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 로 나타나고 있다.¹⁰⁾ 불광동 일대와 서울역 일대를 포함하는 서울도폭 지질도⁸⁾에 의하면 편마암체의 주된 면구조는 대체로 경사방향은 $110^{\circ} \sim 130^{\circ}$, 경사각은 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 가 우세하다. 즉, 서울일대 편마암체내에 존재하는 엽리면은 평균적으로 $120^{\circ}/45^{\circ}$ 의 방향성을 갖는다고 할 수 있다.

화강암체가 관입하면 편마암체는 화강암과 편마암의 접촉면에 수직인 방향으로 압축응력을 받게 된다.¹⁴⁾ 따라서 불광동과 중랑천 일대에서는 화강암과 편마암의 접촉면이 남북방향이므로 작용하는 편마암체에 작용하는 압축응력은 동서방향이 되지만, 화강암과 편마암의 접촉면이 $N60^{\circ}W-S60^{\circ}E$ 방향인 서울역과 이태원 일대에서는 편마암체에 작용하는 압축응력이 $N30^{\circ}E-S30^{\circ}W$ 방향이 된다.

이러한 현상을 연약면이 존재하는 이방성 암석의 압

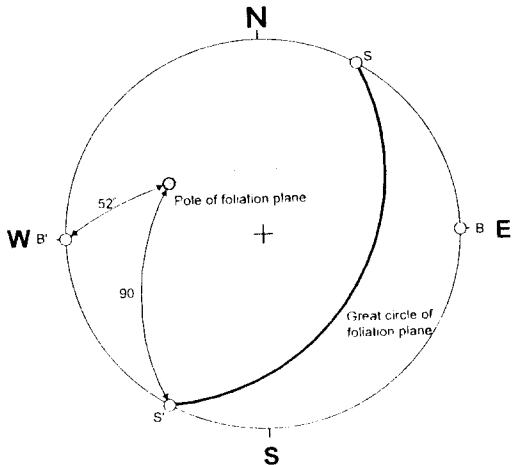


Fig. 17. Stereographic projection (lower hemisphere) showing the angle between the pole of foliation plane and the orientation of the compressive stress induced by granite intrusion.

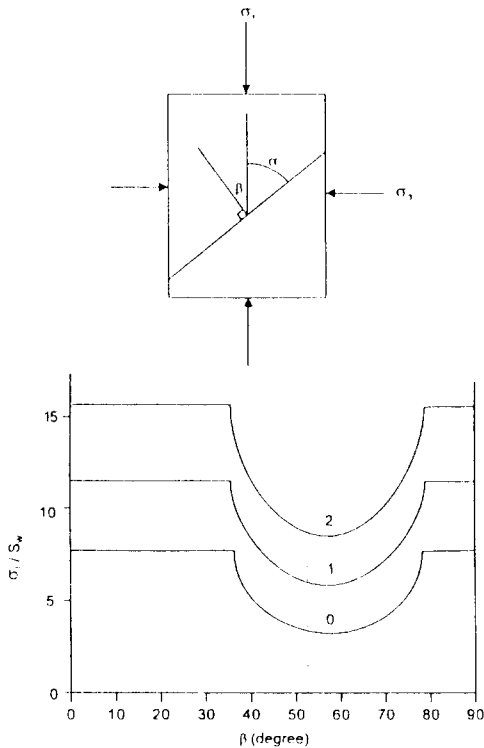


Fig. 18. Influence of planar anisotropy on axial strength σ_1 , for samples with normals to planes of weakness oriented at angle β from σ_1 , where S_w of shear strength of plane of weakness. Numbers on curves indicated tests at different confining stresses¹⁵⁾.

축시험과 연관지어 고려해 볼 수 있다. 불광동과 중랑천 일대에서는 BB'축을 따라 압축응력이 작용하므로, stereographic projection을 이용하여 계산하면 엽리면의 수직 축 (pole) 과 압축응력의 방향이 이루는 각은 52°가 되고, 서울역과 이태원 일대에서는 SS'축에 압축응력이 작용하므로 엽리면의 수직축과 압축응력의 방향이 이루는 각은 90°가 된다 (Fig. 17). 따라서 불광동과 중랑천 일대에서는 편마암내에 존재하는 연약면은 강도를 현저히 감소시키는 각을 이루는 반면, 서울역과 이태원 일대에서는 강도를 그다지 감소시키지 않는 각을 이루게 된다 (Fig. 18). 이러한 원인으로 인해 서울 화강암이 관입될 때 불광동과 중랑천 일대에서는 편마암체가 많이 파쇄되었고 따라서 표면적이 증가하면서 화학적 풍화작용의 속도가 증가하게 되었으며, 서울역과 이태원 일대에서는 편마암체에 많은 파쇄대를 발달시키지 못했기 때문에 오늘날까지 비교적 신선한 모습을 보이는 것으로 해석해 볼 수 있다.

4. 결 론

1. 화강암과 편마암의 접촉지역인 불광동, 서울역, 이태원, 중랑천 일대에서 GTIS를 이용하여 풍화등급 및 RQD의 상태를 조사한 결과 불광동과 중랑천 일대에서는 화강암이, 서울역과 이태원 일대에서는 편마암이 더 신선한 상태를 보이고 있다. 이러한 현상은 화강암 관입 이전에 편마암체에 존재하던 엽리가 화강암 관입시 압축응력이 작용할 때 관입방향에 따라 편마암의 강도를 상대적으로 감소시켰기 때문으로 추정된다.

2. 여의도 부근의 한강하저터널구간에 대해 GTIS를 이용하여 풍화등급 및 RQD의 상태를 조사한 결과 건설 예정인 경부고속전철 한강하저터널구간에서는 현재 건설중인 지하철 5호선 한강하저터널 구간에서 이미 발견된 대규모의 단층-파쇄대가 연장되어 발견될 것으로 예상된다.

3. GTIS는 3차원 공간상의 지질공학적 자료를 처리하는데 대단히 효과적이며, 기존의 지반조사 자료 활용, 지하공간의 3차원적 해석을 위한 입력변수 선정 등에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 예상된다.

사 사

이 연구는 에너지 지하저장 및 암반공학 연구센터와

전략광물 자원연구센터의 후원으로 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시 지하철건설본부, 1971, 수도권 고속전철 제1호선 (서울역 - 종로5가) 지질조사보고서
2. 서울특별시 지하철건설본부, 1971, 수도권 고속전철 제1호선 (종로5가 - 청량리) 지질조사보고서
3. Turner, A.K., 1992, Three-dimensional modeling with geoscientific information system, Kluwer Academic Publishers, 443p.
4. 김정엽, 전효택, 박형동, 1995, 서울일대 암반을 대상으로 한 Geotechnical Information System(GTIS)의 개발 및 활용 (1), 터널과 지하공간, v.5, pp.336~346
5. 박형동, 1990, Engineering Geology and Geotechnical Properties of Seoul Granite, 서울대학교 대학원 석사학위 논문, 80p.
6. 국립지질광물연구소, 1975, 한국지질도 안양도폭
7. 한국동력자원연구소, 1981, 한국지질도 뚝섬도폭
8. 한국동력자원연구소, 1982, 서울도폭
9. 한국동력자원연구소, 1982, 둔전도폭
10. 박남서, 1995, 한강하저 터널에서의 지반상태에 따른 보강공법, 한국암반역학회 및 대한지질공학회 학술발표회 논문집, pp. 27-40
11. 대한지질공학회, 1993, 서울지하철 5호선 하저터널 연약대구간 막장조사 현황 및 지반보강대책
12. 한국철도기술협력회, 1993, 서울-부산간 경부고속전철 제1공구 실시설계 지질조사 보고서
13. 서울지하철건설주식회사, 대우엔지니어링, 1980, 지하철 3.4호선 지질조사보고서 (2차)
14. Price, N.J. and Cosgrove, J.W., 1990, Analysis of geological structures, Cambridge University Press
15. Jaeger, J.C. and Cook, N.G.W., 1976, Fundamentals of rock mechanics, 2nd ed, Chapman & Hall, 585p.