

서울시 북동부의 서울화강암에 대한 불연속면의 특성

Properties of Discontinuity for the Seoul Granite in the Northeastern Part of Seoul City

정 상 원(Cheong Sang Won)

충북대학교 과학교육학부

정 상 용(Chung Sang Yong)

부경대학교 환경지질학과

요약 / ABSTRACT

서울시 북동부의 서울화강암에 대한 불연속면의 특성을 수락산과 불암산 지역으로 구분하여 비교, 분석하였다. 본 연구에서는 암석의 공학적 특성 중 터널과 도로 건설시 중요하게 취급하여 측정된 요소는 다음과 같다: 1) 절리의 방향성, 2) 절리간격, 3) 절리밀도, 4) 암석의 일축압축강도. 이 중 절리의 방향성, 절리간격과 절리밀도는 선조사법, 원형조사법, 그리고 면적조사법을 이용하여 야외에서 직접 측정될 수 있는 요소이나, 암석의 일축압축강도의 측정에는 원래 암석의 시추코아 표본이 필요하지만 이번 연구에서는 간단히 응용할 수 있는 대비공식을 이용하여 계산하였다. 측정된 대표적인 절리의 방향성은 두 지역에서 모두 3조의 방향성이 나타났다. 즉 2조의 수직정방절리와 저각으로 경사하는 1조의 판상절리였으며, 서로 매우 유사한 방향성을 갖는다. 측정된 절리밀도는 0.039-0.066/cm 이었으며, 면적조사법으로 측정된 평균절리길이는 1.30-4.52m, 평균절리간격은 10.3cm에서 최대 59.6cm로 측정된 조사선의 방향에 따라 변화가 심하다. 또한 슈미트해머 타격값에 근거한 절리면의 일축압축강도는 217 MPa에서 335 MPa로 강한 압축으로 판명되었다.

주요어 : 서울화강암, 공학적 특성, 절리, 슈미트해머 타격값, 일축압축강도

Properties of discontinuity for Seoul Granite in northeastern part of Seoul City were analyzed by dividing structural domains into Surak and Bulam Mtn. areas. Important parameters measured among several engineering properties of a rock during tunnel excavation and road construction are as follows: 1) Orientation of joint, 2) joint spacing, 3) joint density, and 4) uniaxial compressive strength. Orientation, spacing, and density of joints can be directly measured during field investigation using scanline survey, circle-inventory method, and window survey. Uniaxial

compressive strength of the rock was calculated by a simple correlation equation although it is originally necessary to prepare core samples in measuring it. Major orientations of joints measured from both areas are 3 sets of joints with different orientations. In other words, they are 2 sets of orthogonal joint and 1 set of sheet joint that is dipping at low angle, and have very similar orientations in both areas. Joint densities in both areas range from 0.039 and 0.066/cm, and average joint length are between 1.30 and 4.52m. Average joint spacing also has values from 10.3cm up to 59.6cm, and shows significant difference along specific orientation of scanlines measured. Values of uniaxial compressive strength calculated on the basis of Schmidt hammer rebound values range from 217 to 335 MPa, which indicates very strong rock type by classification of wall strength.

Key words : Seoul Granite, engineering properties, joint, Schmidt hammer rebound value, uniaxial compressive strength.

서론

서울과 경기도 일대에는 철원-포천-동두천-의정부-서울-안양으로 이어지는 큰 구조선을 따라서 북북동-남남서 방향의 중생대 대보화강암이 대상으로 분포하고 있다. 이 화강암은 등립상-조립질의 흑운모 화강암으로서 한반도의 지체구조상 경기육괴에 해당되며, 또한 경기 편마암 복합체의 하나인 선캠브리아기의 호상편마암을 관입한 암체이다(홍승천외, 1982; 한국지질도, 1995; 대한지질학회, 1999; 이병주외, 1999).

조사지역은 서울북동부와 경기도 남양주시의 일부로서 구성암석은 대부분 흑운모 화강암으로 구성되어 있으며, 최근 서울외곽순환도로 건설공사의 일환으로 터널과 도로가 건설 중에 있다(한국도로공사, 1997). 하지만 조사지역의 서울화강암(대보화강암)에 대한 지질학적인 연구는 도록 제작 시 연구된 바 있으나, 이 화강암의 지질 공학적 특성에 관한 연구는 아직 미흡한 편이다(한국도로공사, 1997; 서울고속도로(주), 2001). 기반암의 중요한 지질 공학적 특성에는 절리의 방향성(orientation), 절리간격(spacing), 연속성(persistence), 절리의 표면 거칠기(roughness), 틈새(aperture), 충전물(filling), 절리밀도(density) 및 암석의 일축압축강도(uniaxial compressive strength) 등이 있으며 이들 요소들은 터널과 도로 건설시 사전에 일차

적으로 측정해야 할 기본적인 요소이며 또한 암반의 강도, 지하수의 상태(지하수압과 지하수유동)와 더불어 암체의 등급을 분류하는데 중요한 요소이다(Bieniawski, 1976; Priest, 1976; Priest and Hudson, 1981; Priest, 1993; Brady and Brown, 1993).

본 연구는 서울 외곽 순환고속도로(일산-퇴계원) 터널 통과에 따른 수리변동분석을 목적으로 조사 지역의 기반암에 대한 여러 가지 지질공학적 특성을 지역별로 비교, 분석하여 터널의 굴착이나 도로 공사시 발생할 수 있는 안정성 문제 및 주변 환경에 끼칠 수 있는 중요한 암반의 특성을 연구하고자 하며, 암석의 물리적 성질에 영향을 끼치는 중요한 요소 중 절리의 방향성, 절리간격, 절리밀도 및 암석의 일축압축강도 등을 측정하거나 또는 계산하였다. 절리의 방향성, 절리간격 및 절리밀도 측정을 위하여 선조사법(scanline survey), 원형조사법(circle-inventory method), 또는 면적조사법(window survey)을 사용하여 야외에서 직접 측정하였으며, 암석의 일축압축강도의 측정에는 간단한 응용 공식을 이용하여 계산하였다. 상기한 암석의 지질공학적 특성 중 Pahl(1961)에 의한 면적 측정방식과 그리고 슈미트해머를 이용한 암석의 일축압축강도 측정법은 국내에 많이 소개되지 않은 암석의 공학적 특성에 대한 측정방법이다.

서울시 북동부의 서울화강암에 대한 불연속면의 특성

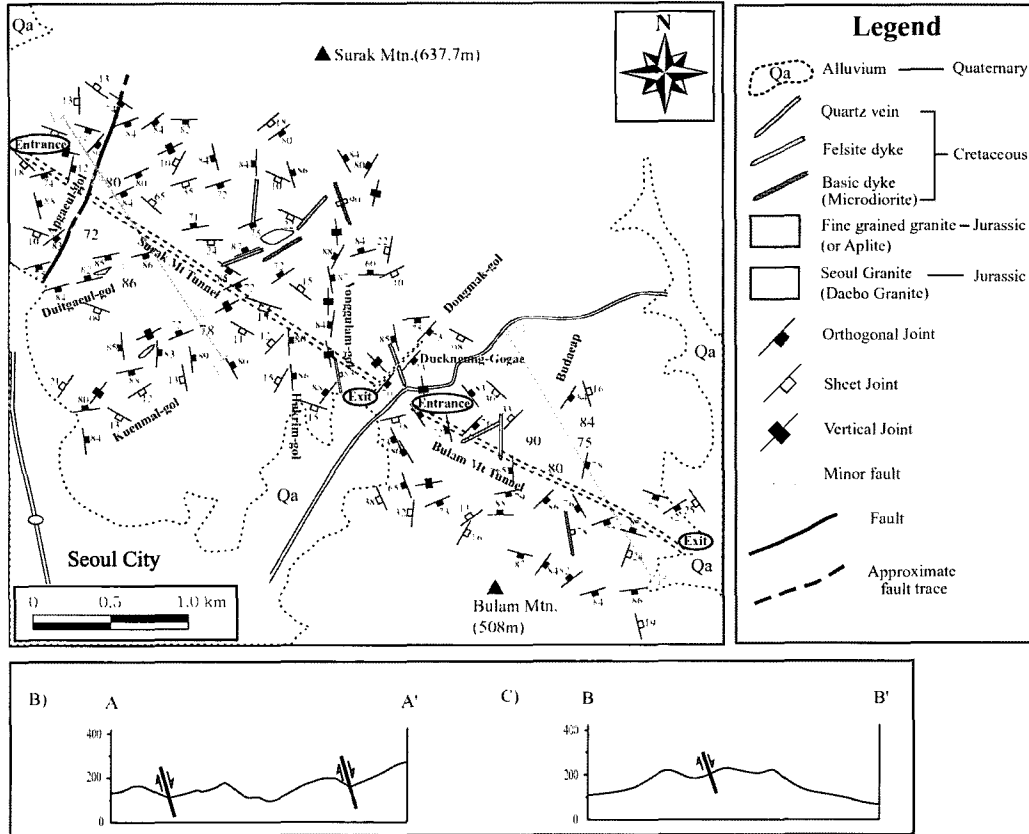


Fig. 1. Geologic map and cross sections showing locations of measuring engineering rock properties in study area. A) Geologic map, B) geologic cross section along A-A', and C) geologic cross section along B-B'(vertical exaggeration in both cross sections above, (B) and (c): 1.5X).

위치 및 지질개요

조사 지역은 행정 구역상 서울특별시 북북동지역(노원구 상계동 지역)과 경기도 남양주시 별내면 덕송리 지역으로 서울특별시 노원구 상계동과 경기도 남양주시 덕농고개를 잇는 구조선을 중심으로 상부의 수락산지역과 하부의 불암산지역으로 구조를 구분하였다. 수락산지역은 서울특별시에 속하지만 불암산지역의 북서방향의 일부는 서울특별시에, 그리고 남동지역의 일부는 경기도 남양주시에 속한다. 또한 조사지역은 국립지리원 발간(1997년 12월) 1:25,000의정부 지형도(도협번호 NJ 52-9-12-1, 의정부)의 남동부에 해당되며, 경위도상으로는 동경 127° 03' 21" 에서 127° 0

6' 49" 와 북위 37° 39' 31" 부터 37° 41' 53" 에 해당하는 지역이다(Fig. 1).

조사지역은 지질학적으로 경기 육괴의 서울 화강암이라 부르는 대보 화강암으로 대부분 이루어져 있으며, 또한 한국지질도(1:250,000) 서울-남천점 도폭(이병주의 6인, 1999, 도엽번호 NI52-9 서울, NI52-5)의 일부 지역에 속하며 한국지질도(1:50,000) 의정부 도폭에 해당되나 아직 의정부 도폭 (1:50,000)은 미발간상태이다.

수락산과 불암산을 포함한 조사지역은 선캠브리아기의 호상편마암을 관입한 중생대 유라기의 대보화강암이 대부분을 점유하고 있다(Fig. 1). 이 화강암은 호상편마암을 관입할 당시에 포획된 모암을 많이 함유하고 있으며, 이 포획암은 장경 수

cm에서 최대 100cm의 크기로 대체로 타원형을 이루며 대체로 풍화에 저항이 강해 화강암내 돌기 모양으로 돌출되어 있다. 하지만, 지역에 따라 화강암보다 풍화에 저항이 약하여 오목하게 들어간 포획암도 소수 관찰된다. 포획암은 대부분의 조사지역에서 고루 분포하는 것으로 사료된다. 세립질 화강암(또는 반화강암)은 화강암과 달리 석영, 장석, 운모의 결정이 매우 작으며(1~2mm 이내), 흑운모의 양이 현저히 적어 흰색으로 보이며 풍화작용으로 매우 얼은 붉은색을 띠며 매우 단단하다. 또한 세립질 화강암은 조사지역에 소규모로 분포하는 것으로 생각되며, 화강암과의 접촉부 역시 접이적이다. 규장암맥과 염기성 암맥, 그리고 석영맥 등의 암맥들이 상기한 서울화강암과 세립질 화강암을 모두 관입하고 있다.

위에 상기한 모든 암층을 부정합으로 덮고 있는 신생대 제 4기의 충적층이 저지대를 따라 분포하고 있다. 조사지역에 분포하는 암층들의 총괄적인 지질계통을 시대별로 표시하면 Table 1과 같다.

Table 1. Geologic sequence in study area.

제 4기	충적층	←부정합
백악기	석영맥	
	규장암맥 염기성암맥(미섬록암맥)	
쥬라기	세립질화강암	←관입
	대보화강암	←관입

서울화강암

서울화강암은 조사지역의 대부분을 점유하고 있으며(Fig. 1) 선캠브리아기의 호상흑운모편마암을 관입하고 있고 주변의 호상흑운모편마암에 비해 풍화에 저항이 강해 고지대를 형성하고 있다. 이 화강암은 우리나라 중부에 긴 대상으로 분포하며 저반을 이루는 대보 화강암이라 명명된 암체의 일부로 중생대 쥬라기에 기반암을 광범위하게 관입한 것으로 알려져 있다.

조사지역에 나타나는 서울 화강암은 서울-의정부-동두천-포천-기산으로 이어지는 북북동-남남서 방향의 긴 대상분포를 하며 나타나는 화강암질 저반의 남부에 해당된다. 방사성 동위원소에 대한 암석의 절대 연령 측정결과 대부분 1억 6천 만년에서 2억년전에 생성된 것으로 조사지역 주변의 서울 화강암에 대한 연령측정 결과는 Table 2와 같다. 대부분의 구성광물은 육안상 구분할 수 있는 조립질로서 석영, 사장석, 정장석, 흑운모가 주성분 광물이며 부성분 광물로는 인회석과 적철석등 불투명 광물이 존재하나 그 양은 매우 적다. 석영과 사장석, K장석은 최대 직경 2cm의 거정질인 경우도 발견된다.

서울 화강암은 대부분의 노두에서 대체로 3방향의 절리를 포함하고 있으나, 지역에 따라 4방향의 절리를 포함하는 곳도 다수 관찰된다. 세 방향

Table 2. Radiometric isotope ages of plutonic rocks around study area(see Hong et al., 1982; Lee et al., 1999).

도폭명(또는 지역명)	지 명	절대연령(백만년)	참 고 문 헌
포천	경기도 포천시 포천읍	165	Veder(1968)
독도	경기도 양주군 불암산	202	Veder(1968)
의정부	경기도 의정부시	157	김옥준(1971)
서울	서울시 홍래동	160 ± 10	박명권(1972)
안양	경기도 시흥군 관악산	171	김옥준(1971)
서울화강암	서울	158±1	Fullagar and Park(1975)
관악산 화강암	관악산	168.8±4.7	Kwon and Cheong(1995)

의 절리 중 2방향은 수직 정방절리이고 나머지 1 방향은 판상절리이다. 수직 정방 절리는 서로 고 각으로 교차하는 수직절리로서 절리의 방향성과 경사의 통계 조사 결과 대부분 75~90°의 경사 각을 갖는 것으로 밝혀졌다. 판상절리는 대부분 일정한 방향성이 없이 10~30° 각도로 저경사하며 풍화작용의 영향으로 박리현상이 발달되어 있는 것이 특징적이다. 이러한 판상절리는 대체로 경사가 급한 고지대에서는 저지대에서 보다 높은 각도로 경사지며, 수직 정방 절리와 함께 발달하고 있는 판상절리는 산사태의 주요 발생원인이 될 수 있으므로 터널 시공시 또는 도로건설시 주의가 필요한 것으로 판단된다.

이 화강암의 편광현미경 관찰 결과 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 불용해성 물질 또는 소량의 금속성 광물 등이 관찰되나 대부분 장경 1~2cm의 크기의 석영, 사장석과 장경 0.5cm 내외의 흑운모가 주요 구성광물이며 소량의 백운모 등을 함유하고 있다. 화강암의 야외 관찰 시 핑크빛을 띄는 광물은 장경 1~2cm 크기의 정장석이 밝혀졌으며 흰색을 띄는 광물은 사장석과 소량의 K-장석인 정장석과 미사장석인 것으로 밝혀졌다. 정장석과 사장석은 뒷개울골에서 최대 장경 2.5cm인 경우도 발견되며, 핑크빛을 띄는 장석은 계곡에서 산 정상으로 올라갈 때 점이적으로 흰색으로 바뀌는 경향이 있으며, 이는 이 화강암의 풍화현상으로 이해할 수 있다. 이러한 풍화현상은 현미경 관찰결과를 통하여 정장석과 사장석 주변에 풍화산물인 다량의 견운모가 형성되었음으로도 알 수 있다.

불연속면의 연구방법

불연속면의 방향성(Orientation)

조사지역에 나타나는 불연속면은 절리구조와 단층구조, 그리고 석영맥, 규장암맥과 염기성암맥이 있으며, 불연속면의 방향성은 조사선에 교차하는 모든 불연속면의 주향과 경사를 측정하였으며 또한 노두 발달 상태가 불량한 곳에서는 조사선의 방향과 무관하게 단지 불연속면의 주향/경사를 측정하여 스테레오 투영망과 장미도표를 사용하여 불연속면의 방향성을 분석하였다. 이를 위해

컴퓨터 프로그램인 DIPS(Ver 3.1)를 이용하였으며 스테레오 투영망에 투영한 결과 최대 집중군을 분석하여 여러 조로 구성된 절리군의 최대 집중 방향을 결정하였다. 이 때 절리군의 최대 집중 방향은 조사지역의 주절리의 방향을 지시한다. 불연속면의 방향성은 원래 조사선의 방향을 고려한 분석(weighted analysis)과 조사선의 방향을 고려하지 않은 분석(unweighted analysis)으로 구분할 수 있으나, 이번 조사시 조사선의 방향을 고려하지 않은 방법으로 분석하였다. 불연속면의 방향성 분석은 암석의 공학적 특성 중 가장 중요한 요소 중의 하나이다.

절리간격(Joint Spacing)

절리 간격을 조사하기 위해서는 아래와 같은 3가지 다른 유형의 절리 간격 측정법이 있으나 본 연구지역은 노두 발달 상태가 매우 양호하며 또한 절리군의 방향이 일정하기 때문에 측정에 편리한 수직 절리군 간격을 이용하였다.

1) 총 절리 간격(total spacing): 특정한 위치와 방향성을 고려한 조사선을 따라 인접한 불연속면의 간격(X_t).

2) 특정 절리군 간격(set spacing): 특정한 방향의 절리군에 대해 조사선을 따라 측정된 절리간격(X_d).

3) 수직 절리군 간격(normal set spacing): 특정한 절리군의 방향에 수직인 조사선을 따라 측정된 절리군 간격(X_n).

일반적으로 불연속면의 간격은 음의 지수분포를 가지는 것으로 알려져 있으며(Priest, 1976; Priest and Hudson, 1981), 이 경우 확률 밀도 함수는 평균 절리간격($= \frac{1}{\lambda}$)을 이용하여 아래의 식(1)으로 구한다.

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \text{ 평균간격} = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

불연속면의 강도(Wall Strength)

불연속면은 암반내의 발달하는 풍화작용에 일차적인 영향을 받으며 또한 불연속면을 따라 열

수 변질 작용이 우세하게 진행된 면으로 지질해머의 타격시험에 의한 조사나 슈미트 해머의 타격 시험 및 암반의 풍화 등급의 기재(ISRM, 1981) 등의 방법을 이용하여 암석의 강도를 판단한다.

Deere and Miller(1966)와 Aufmuth(1994)에 의하면 암석의 일축 압축강도는 슈미트 해머의 타격 값(Schmidt hammer rebound value)과 매우 유사한 대비관계가 있음을 보여주었다. 따라서 불연속면의 일축 압축강도는 이번 야외 조사시 슈미트 해머의 타격 시험에 의한 타격 값을 이용하였으며, 이는 암석의 일축압축강도를 구하기가 매우 쉽고, 편리하며, 또한 암석의 시추코아 시료를 구하기 어려울 때 많이 이용한다(Cheong and Lee, 1998).

불연속면의 조사결과 및 토의

총 16개소의 선조사와 6개소의 원형조사, 그리고 1개소의 면적조사를 수행하였으며, 앞서 설명한 불연속면의 여러 가지 공학적 특성 중 불연속면의 방향성, 불연속면의 간격과 불연속면의 연장성은 다른 공학적 특성보다 더 중요하므로 이들 요소를 중점적으로 분석하여 이들 통계적인 자료를 전 지역에 응용될 수 있도록 주요 수치값과 평균값 등을 기재하였다. 절리군의 밀도를 측정하기 위해 6개소의 지역을 선정하여 원형조사법을 수행하였으며 대표적인 절리의 밀도를 측정하고 그

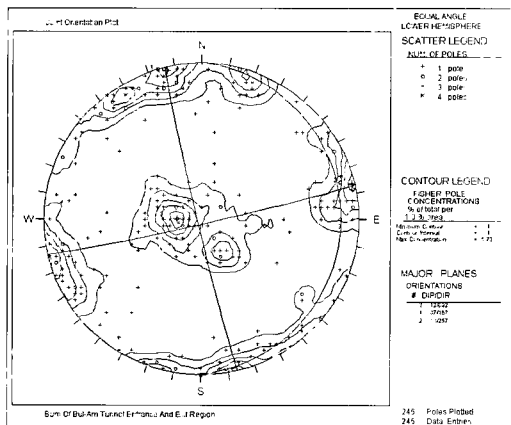
값을 서로 비교하여 분석하였다. 또한 노두 상태가 아주 양호한 지역에서 대표적인 절리군을 포함하는 상세한 Fracture Map을 작성하여 면적조사를 수행하였다.

절리군의 방향성

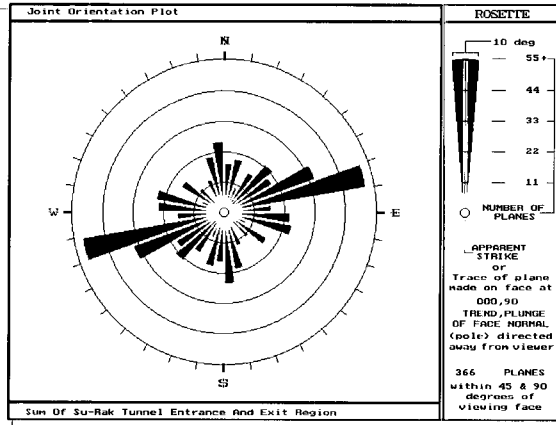
대표적인 절리군의 방향성을 구하기 위해 수락산지역과 불암산지역으로 구조구를 구분하여 가장 우세한 절리군의 방향성을 구하였다. 측정된 모든 불연속면의 주향 및 경사에 대한 자료는 조사선의 방향을 고려하지 않은 방법을 사용하여 분석한 결과 입체 투영망에서 3개의 주 방향성이 나타났다. 수락산지역의 면구조 자료에 대한 분석 결과 3개의 최대 집중점은 경사각/경사방향(Dip/Dip direction)으로 표현할 때 각각 86/160, 87/080 그리고 12/206으로 나타났다(Fig. 2). 즉, 두 방향의 수직 정방절리는 86°에서 87°의 고각도로 경사하고 있는 규칙절리이고, 나머지 하나의 절리는 일정한 방향성 없이 매우 낮은 각도로 경사하는 판상절리임이 밝혀졌다. 또한 이들 방향성을 장미도표로 작성하여 입체 투영망의 결과와 비교 분석한 결과 이들 방향성은 서로 유사하다는 것을 나타낸다. 장미도표의 분석시 45° 이상의 절리군만 분석하였다.

또한 불암산지역의 분석 자료에 의하면 최대 집중점은 87/167, 88/257, 그리고 12/092의 면구조가 가장 우세하게 나타났다(Fig. 2). 이 지역에서의

(a)



(b)



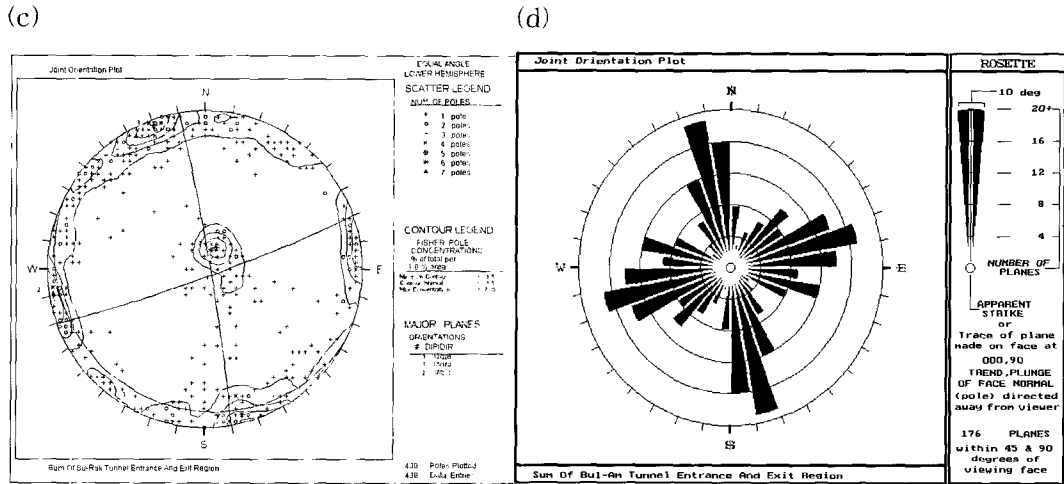


Fig. 2. Plot of structural data from Surak and Bulam Mtn. areas. a) Plot of poles to all discontinuities in Surak Mtn. area. b) Rose diagram showing orientation of all discontinuities in Surak Mtn. area. c) Plot of poles to all discontinuities in Bulam Mtn. area. d) Rose diagram showing orientation of all discontinuities in Bulam Mtn. area.

방향성 분석 역시 세 개의 최대집중점이 나타났으며 그중 두 개의 절리는 고각도로 경사하는 수직정방절리였으며, 나머지 하나는 저각으로 경사하는 판상절리임이 밝혀졌다. 장미도표로 분석한 결과 주 절리의 방향은 $N10^{\circ} \sim 20^{\circ} W$ 와 $N70^{\circ} \sim 80^{\circ} E$ 방향으로 입체 투영망으로 분석한 결과와 매우 유사한 결과를 얻었다.

수락산지역과 불암산지역에서의 특정 절리군의 방향성에는 큰 차이를 보여주지 않는다. 그리고 면적조사법 측정시(수락산 터널 입구부) 수집한 자료에 의한 방향성 분석에서의 최대 집중점은 87/349와 82/068로 나타났으며 이 역시 두 개의 수직정방절리임이 밝혀졌다. 이 수직정방절리의 방향성은 수락산지역과 불암산지역에서의 특정절리군의 방향성과 거의 일치한다.

선조사법(Scanline Survey)

선조사는 암반의 노두상태가 양호한 지역에서 16개소의 대표적인 지역을 설정하여 실시하였다. 그 중 노두상태가 매우 양호한 용골암골에서 실시한 선조사법의 결과 절리간격의 평균은 10.0cm이었으며 이때 절리의 평균 빈도수, $\lambda=10.0/m$ 로

측정되었다(Fig. 3).

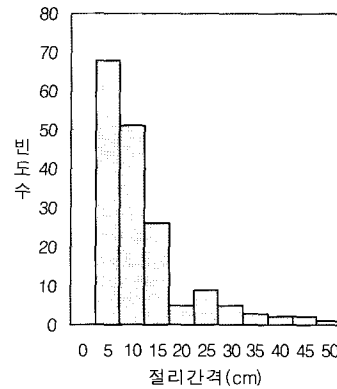


Fig. 3. Results of scanline survey performed in Yonggulam-gol of Surak Mtn. area.

절리사이의 간격에 대한 분석도 역시 수락산지역과 불암산 터널지역으로 구분하여 분석하였다(Fig. 4). 조사지역에서 측정된 절리사이의 간격은 대체로 10.0-59.6cm로 나타났지만, 수락산 터널 입구①, 큰말골②에서와 용골암골, 그리고 부대앞계곡②에서 측정된 절리간격은 10.0-15.1cm로 매

정상원, 정상용

우 낮으며 특히 큰말골②에서와 용굴암골에서 측정된 절리간격은 각각 10.0cm와 10.3cm로 극히 낮은 값을 보여준다(Table 3). 큰말골②의 절리간

격은 단층대를 따라 규칙절리의 발달이, 그리고 용굴암골에서의 절리간격은 규칙절리의 주향과 평행한 절리군에 기인한다

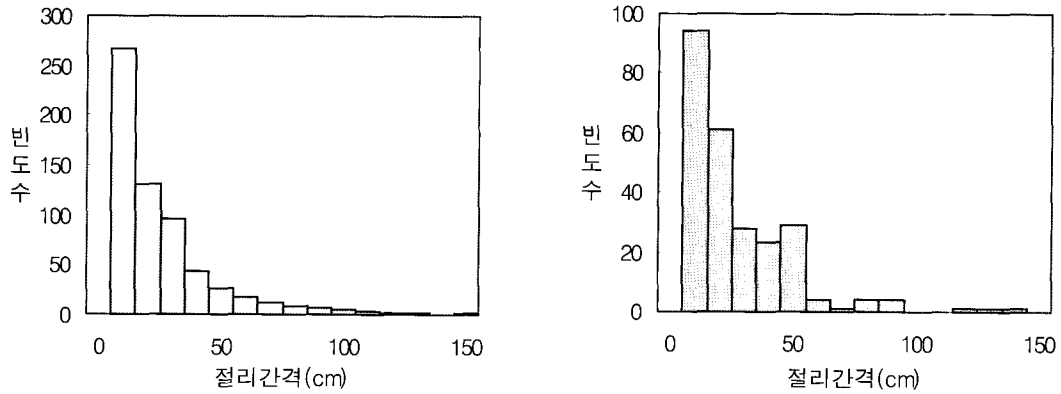


Fig. 4. Relation between joint spacing and frequency in Surak (left) and Bulam Mtn. (right) areas.

Table 3. Results of scanline survey in study area (Joint spacing in this study indicates normal set spacing, X_n).

	위치	선조사 방향	선조사 총길이(cm)	평균절리 간격(cm)	절리의 빈도수(λ)
수락산 지역	1. 앞개울골	N12° E	741.0	25.6	3.906
	2. 앞개울골	N08° E	606.0	27.5	3.636
	3. 앞개울골	N70° E	1311.0	59.6	1.678
	4. 큰말골①	N85° E	1615.5	29.4	3.401
	큰말골②	N12° W	543.5	10.3	9.970
	5. 학림골	N80° W	596.5	28.4	3.521
	6. 수락터널입구①	N12° E	620.6	15.1	6.623
	수락터널입구②	N78° W	776.0	35.3	2.833
수락터널입구③	NS	597.0	23.0	4.348	
불암산 지역	7. 용굴암골	N30° W	1726.2	10.0	10.000
	8. 동말골	N45° E	656.0	18.7	5.348
	9. 터널입구부	N56° E	394.5	18.8	5.319
	10. 터널중앙부	N12° W	491.0	49.1	2.037
불암산 지역	11. 터널출구부	N10° W	387.0	19.4	5.155
	12. 부대앞계곡①	N56° W	764.6	16.6	6.024
	부대앞계곡②	N72° E	370.4	13.7	7.299

서울시 북동부의 서울화강암에 대한 불연속면의 특성

원형조사법(Circle-Inventory Method)

절리의 밀도 분포를 구하기 위해 조사지역에서 6개소의 대표적인 지역을 선정하여 절리 밀도 분포를 비교 분석하였으며(Davis and Reynolds, 1996), 원형 조사 역시 조사지역을 수락산지역과 불암산지역으로 구분하여, 암반의 노두 상태가 양호한 6개소에서 실시하였으며, Table 4는 원형 조사법을 이용하여 절리밀도를 구한 결과를 나타낸다. 원형 조사법의 분석 결과 전 지역에서 낮은 절리 밀도의 결과를 보여주고 있다. 또한 압개울골(1)과 수락산 터널 입구부에서 측정된 절리간격 중 주절리에 수직인 절리간격은 각각 10.3 과 15.1cm 이었으며, 부절리에 수직인 절리간격은 각각 29.4와 35.5cm로 측정되었다. 이것은 주절리 사이에 분포하는 부절리의 간격이 주절리간격에 비하여 상대적으로 넓다는 것을 나타내며, 주절리가 조밀하게 분포하고 있음을 지시한다.

면적조사법

면적조사법을 수행하기 위해 대표적인 절리군을 포함하는 1개소의 지역(수락산 터널 입구부)을 선정하여 절리군의 방향성과 절리의 연장성에 대한 통계자료 수치를 얻었다. 절리의 연장성을 분석하기 위해 면적 조사법을 실시했으며 이를 위해 조사창(face window)의 너비(w)와 높이(h) 그리고 조사창 내에 포함된 3조의 절리군을 다음과 같이 측정하였다(Priest, 1993).

- 1) 조사창내에 포함된 절리군(Contained : n_c).
- 2) 조사창을 어느 한 방향으로 절단하는 절리군(Dissect : n_d).
- 3) 조사창의 양쪽을 관통하는 절리군(Transect : n_t).

그리고 그 각각의 절리군의 합을 구하고 Pahl (1981)에 의해 제안된 식(2)으로 평균 절리 길이(mean trace length)를 측정하였다.

$$n = n_c + n_d + n_t \quad (n = \text{절리의 총 개수})$$

$$\theta_c = \frac{n_c}{n}, \quad \theta_t = \frac{n_t}{n}$$

$$\mu_L = \frac{wh(1 - \theta_c + \theta_t)}{(w \cos \phi + h \sin \phi)(1 + \theta_c - \theta_t)} \quad (2)$$

ϕ 는 절리의 방향성과 조사창의 높이 사이에 형성된 각도

$$\mu_e = \text{mean trace length}$$

분석결과 수락산 터널입구지역에서 측정된 절리의 개수는 모두 300개 이상이였으나 면적조사법을 수행하기 위해 특정절리군의 방향과 개수를 개별적으로 측정하였다(Table 5). 주절리의 주향이 N22°W인 경우, $n_t = 6$, $n_e = 61$, $n_d = 9$ 로 평균절리의 길이는 1.28m로 밝혀졌으며, 주절리의 주

Table 4. Results measured by circle-inventory method (see Fig. 1 for locations)

	측정지역	원형창 반경(R) (cm)	절리길이의 합(cm)	절리밀도 (/cm)	절리간격(cm)	
					주절리에 수직	부절리에 수직
수락산 지역	1. 앞개울골(1)	150	3903	0.055	10.3	29.4
					-	-
	2. 앞개울골(2)	150	2753	0.039	-	-
	3. 큰말골	150	3638	0.051	-	-
	4. 터널입구부	150	3783	0.054	15.1	35.3
-					-	
5. 용굴암골	150	4722	0.067	10.3	-	
불암산 지역	6. 터널출구부	140	4056	0.066	19.4	-

향이 N79°E인 경우는 $n_f=6$, $n_e=56$, $n_d=9$ 로 평균절리의 길이는 1.69m 이었으며, 그리고 주절리의 주향이 EW인 경우는 $n_f=4$, $n_e=19$, $n_d=8$ 로 평균절리의 길이는 4.52m로 측정되었다. 주절리의 주향이 EW인 경우, 평균절리 길이는 다른 방향의 절리보다 우세하게 측정되었는데 이것은 이 지역에서 EW주향의 절리가 규칙절리이었음을 나타낸다. Table 5는 수락산 터널입구에서 실시한 면적조사법에 의한 자료조사결과를 보여 준다.

Table 5. Results measured by window survey near Appgaeul-gol in Surak Mtn. area(see Fig. 1 for location).

내 용	앞개울골부근	
주절리군의 수	3	
주절리 방향	1. N22°W	1.28m
	2. N79°E	1.69m
	3. EW	4.52m

암석의 일축압축강도(Uniaxial Compressive Strength)

암석의 일축압축강도를 측정하기 위해서는 암석의 시추 코아 시료로 직접 실험하는 직접 측정 방법이 있으나 이번 조사에서는 Aufmuth(1994)에 의해 제안된 간단한 대비 방법으로 계산하였다. 이 방법은 암석의 일축압축강도의 측정이 빠르고, 쉬우며 암석의 시추 코아 시료가 필요치 않는 등 측정에 편리한 측면이 있으므로 현장 여건상 슈미트 해머를 이용한 아래의 대비공식(3)을 이용하여 구하였다. 슈미트 해머의 타격값(R)은 각 노두에서 12회 수행하여 그 중 최소값과 최대값을 제외한 나머지 10회의 산술 평균값을 구한 후, 또한 타격각도에 대한 강도 보정을 실시하여 계산하였다.

$$C = 1.675 + 1.348 \text{ Log } (R \cdot r_a) \quad (3)$$

C : 암석의 일축압축 강도 (psi)

R : 슈미트 해머의 타격값

r_a : 건조상태의 암석의 밀도 (g/cc)

조사지역 서울 화강암의 특정 절리면에 대하여 계산된 일축압축강도는 217 MPa에서 335 MPa의 강도를 갖는 것으로 계산되었다. 한편 한국도로공사의 토질조사보고서(1997)에서 실시한 4개의 코아시료의 일축압축강도는 140 MPa에서 214 MPa로 슈미트 해머의 타격 시험에 의하여 구한 암석의 일축압축강도보다 낮은 값으로 측정되었다. 이러한 차이는 암석의 밀도, 채취한 코아시료의 심도와 크기, 그리고 절리면의 상태 즉 풍화의 정도, 절리간격 또는 절리면 사이의 충전물 등에도 큰 영향을 받기 때문인 것으로 해석하였다(Table 6). 특히 불암산 터널 입구부에서 측정된 암석의 일축 압축강도는 다른 지역에서 보다 상대적으로 낮은 값을 나타내는데 이것은 이 지역에서 암석의 풍화정도가 더 심했기 때문인 것으로 해석된다. 조사지역의 화강암에서 측정된 일축압축강도는 매우 높은 값을 얻었으며 따라서 조사지역의 암질은 강하고 양호한 암석임을 지시한다.

Table 6. Uniaxial compressive strength of granite calculated by Schmidt Hammer rebound values in study area(Suppose that average dry rock density in granite is 2.65 g/cm³).

		주절리의 방향성	평균 타격값	일축압축 강도 (MPa)	
수락산 지역	터널 입구부	터널 입구	50°E/80°E	61.4	312
			EW/74°S	64.7	335
		20°W/88°E	63.6	327	
		앞개울골 상부	74°E/90°	59.8	301
			52°W/88°E	60.4	305
	40°W/10°W		64.0	330	
	터널 출구부	동막골 입구	40°E/70°E	60.3	305
			45°W/90°	60.0	303
		용굴암골 입구	08°E/12°W	63.4	326
			20°W/18°W	63.4	326
75°E/70°W			61.3	312	
		12°E/73°E	6.4	312	
불암산 지역	터널 입구부	38°W/83°E	49.0	230	
		20°E/72°E	51.7	248	
		48°E/30°W	46.9	217	
	터널 출구부	-	-	-	

결 론

본 연구는 서울 외곽 순환고속도로(일산-퇴계원) 터널 통과에 따른 수리변동분석의 일환으로, 철원-포천-동두천-의정부-서울-안양으로 이어지는 큰 구조선을 따라서 북북동-남남서 방향의 중생대 서울화강암 중 서울시 북동부에 위치한 서울화강암에 대한 정밀 야외지질조사를 실시하였으며 수리변동분석에 필요한 암반 공학적 특성과 관련된 결론은 다음과 같다.

1) 조사지역 내에 발달하는 대표적인 지질구조는 화강암내에 잘 발달된 절리구조이며, 절리구조는 전지역에서 고루 발달된 3조의 절리군으로 구성된다. 2개의 서로 직각으로 교차하는 수직 정방절리와 일정한 방향성이 없고 저각도로 경사하는 1조의 판상절리이다. 수락산지역의 2조의 수직 정방절리의 Dip / Dip direction은 각각 86/160과 87/080이고, 1조의 판상절리의 방향은 12/206이었으며, 불암산지역의 2조의 수직 정방절리의 Dip / Dipdirection은 각각 87/167과 88/257이고, 1조의 판상절리의 방향은 12/092이었으며, 수직 정방절리와 의 판상절리의 Dip / Dip direction은 두 지역에서 큰 차이가 없는 것으로 알려졌다. 하지만 급경사의 산사면에 나타나는 판상절리는 고각도로 경사하기도 한다. 수락산지역과 불암산지역의 절리 방향성 비교에서 서로 상이한 점이 발견되지 않으며 모두 주향과 경사에 있어 매우 유사한 특징을 가지고 있다.

2) 화강암의 지질공학적 특성을 통계적으로 분석한 결과 절리밀도는 0.039~0.066/cm로 측정되었으며, 면적조사법으로 측정된 절리의 평균길이는 대체로 1.3~4.52m, 평균절리간격은 10.3cm에서 최대 59.6cm로 방향에 따른 변화가 심하다. 절리길이가 긴 절리는 대부분 규칙절리의 방향과 일치한다. 절리간격은 Close - Moderate 단계로 등급은 각각 III에서 II에 속한다(ISRM, 1981). 또한 Schmidt 해머 타격 값에 근거한 절리면의 일축압축강도는 217 에서 335 MPa으로 매우 양호하지만, 실제 코아시료로 측정된 값(140-214 MPa)보다 큰 값을 얻었다. 이러한 차이는 암석의 밀도, 채취한 코아시료의 크기와 심도, 그리고 절리면의 발달 상태에 기인한 것으로 해석하였다.

참 고 문 헌

대한지질학회, 1999, 한국의 지질, 시그마프레스, 802 p.

이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식, 1999, 서울-남천점 지질도폭 설명서 (1:250,000), 한국지질도, 64 p.

서울고속도로(주), 2001, 서울외곽순환(일산-퇴계원) 고속도로 북한산 국립공원 터널통과에 의한 수리변동분석 보고서, 415 p.

한국도로공사, 1997, 토질조사보고서, 469 p.

한국지질도, 1995; 한국자원연구소(1:1,000,000).

홍승천, 이병주, 황상기, 1982, 한국지질도 (1:50,000), 한국동력자원연구소, 44 p.

Aufmuth, 1994, Lecture note of Dr. Watters in University of Nevada, Reno,

Bieniawski, Z. T., 1976, Rock mass classifications in rock engineering, Exploration for rock engineering, 1, 97-106.

Brady, B. H. G. and Brown, E. T., 1993, Rock mechanics for underground mining, 2nd edition, Chapman & Hall, 571 p.

Cheong, S. and Lee, C. Z., 1998, The Determination of Rock Mass Rating(RMR) with joint spacing and its relation to slope stability, Journal of Korean Earth Science Society, 19, 641-648.

Davis, G. H. and Reynolds, S. J., 1996, Structural geology of rocks and regions, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc, 776 p.

Deere, D. V. and Miller, R. P., 1966, Engineering classification and index properties for intact rocks, Air Force Weapons Laboratory, Research and Technology Division, Air Force Systems Command, Kirkland Air Force Base, New Mexico, echnical Report, No. AFWL-TR-65-116, 307 p.

ISRM, 1981, Rock characterization for testing and monitoring, ed., E. T. Brown, 201 p.

Pahl, P. J., 1981, Estimating the mean length of

- discontinuity traces, Int. Jour. Rock Mech. and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 18, 221-228.
- Priest, S. D., 1976, Ground movement caused by tunnelling in chalk, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 61, 23-39.
- Priest, S. D., 1993, Discontinuity Analysis for Rock Engineering, Chapman & Hall, 473 p.
- Priest, S. D. and Hudson J. A., 1981, Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 18, 183-197.
-

정 상 원 (Cheong, Sang Won):

충북 청주시 흥덕구 개신동 48번지
충북대학교 사범대학 과학교육학과
(Department of Science Education,
Chungbuk National University, Cheongju,
Chungbuk, 360-763)
e-mail: cheong1@dreamwiz.com

정 상 용 (Chung, Sang Yong):

부산광역시 남구 대연3동 599-1번지
부경대학교 자연대학 환경지질과학과
(Department of Environmental Geosciences,
Pukyong National University, Pusan,
608-737)
e-mail: chungsy@pknu.ac.kr