

양산단층과 동래단층 사이를 통과하는 지방도의 지질공학적 특성 연구

Engineering Geological Geotechnical Characteristics of Newly Constructed Road between the Yangsan Fault and the Dongrae Fault

이 병 주(Byung-Joo Lee)*

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

선 우 춘(Sun-woo Choon)

한국지질자원연구원 지반안전연구부

요약 / ABSTRACT

양산단층과 동래단층 사이를 통과하여 건설하는 지방도를 포함하는 조사지역에는 중생대 백악기에 분출 및 관입한 안산암질암, 세립질 화강암, 반상 화강암 및 흑운모 화강암이 분포한다. 또한 이 지역은 양산단층과 동래단층 사이에서 북동방향의 명곡단층과 북북동방향의 법기단층이 발달하고 있다.

이 지역의 절리의 특성은 화강암이 분포하는 지역에서 절리의 경사각이 30도 미만의 sheeting joint가 발달하며 이외 경사각이 70도 이상 고각의 절리는 북동방향, 북서 방향 및 거의 동서방향의 3조의 절리군이 발달한다. 이들 절리의 간격은 대개 20cm이상의 보통의 간격상태로 암반이 심하게 파괴되지 않았음을 볼 수 있고, 또한 벽면강도도 일반적으로 100MPa이상으로 원암의 강도와 차이를 보이지 않아 절리가 심하게 변형작용을 받았다고는 볼 수 없다. 따라서 이 지역은 양산단층과 동래단층인 두 대단층의 사이에 위치하는 암반이지만 이들 단층의 손상대(Damage zone)의 범위가 좁아 지반 상태가 비교적 양호한 것으로 판명되었다..

주요어 : 양산단층, 법기단층, 절리군, 벽면강도, 손상대

Fine grained granite, porphyritic granite and biotite granite together with intruded and extruded andesitic rocks are distributed in the study area which is bounded by the Yangsan and Dongrae faults. A new domestic road is being constructed along the area between the two major faults. The NNE trending Bupki fault and NE trending Myungkog fault are also developed within the area cross the road.

The sheeting joints with dips of less than 30 degrees are only developed in the area of granite outcrop. High angle joints can be divided into 3 sets, such as, NE trending, NW trending and nearly

* Corresponding author: bjlee@kigam.re.kr

EW trending joints. The joint space is mostly more than 20cm and the joint compressive strength is more than 100 MPa. These data show that even though the study area is situated between large faults, the ground condition is good because the damage zone of the Yangsan and Dongrae faults is relatively narrow.

Key Words : Yangsan fault, Bupki fault, joint set, joint compressive strength, damage zone

서 론

한반도의 동남부에는 Fig. 1과 같이 북북동 방향의 평행한 단층들이 발달하고 있다. 이들은 소위 양산단층을 포함한 일련의 단층계이다. 이 단층계를 가로 질러 거의 동서방향으로 신설되는 지방도 건설을 위한 지반조사가 실시되었다. 이 지방도는 양산시 신기동에서 시작하여 동쪽으로 동면 월평리까지 이어지는 노선이다. 노선의 시점부와 종점부는 북북동 방향으로 길고 비교적 넓은 골짜기가 발달하며, 시점부는 소위 양산단층대에 의해 형성된 골짜기이며 종점부는 동래단층에 의해 형성된 골짜기인 반면에 시점과 종점의 사이는 험준한 산악지형으로 이루어져 있다. 이 논문의 목적은 양산단층과 동래단층 사이에 위치한 조사 지역이 지질 및 지질구조의 특성을 지질공학적 측면에서 조사 분석하여 이들 두 단층 작용에 의한 손상대(Damage zone)의 범위가 이 지역에 어떻게 영향을 미쳤는지를 알아보기 위한 것이다.

지질개요

상기 노선을 포함하는 그 주변의 광역 지질은 Fig. 2와 같이 양산단층과 동래단층의 사이에 백악기 경상누층군의 최상부인 유천층군의 화산암류와 이를 관입한 불국사 화강암류가 분포하는 곳으로써 기존의 층서개념을 따랐다. 유천층군의 화산암류는 안산암과 이 암석에 협재되는 안산암질 응회암이 분포하며, 불국사 화강암류는 흑운모 화강암, 반상 화강암 및 세립질 화강암으로 구분된다.

1. 안산암질 암류

조사지역의 서쪽부인 노선의 시점부와 동쪽 종점부 부근에는 안산암질 암류가 분포한다. 용암

(lava)류인 안산암의 특징은 장석반정질을 함유하고 있고, 화산쇄설물인 안산암질 응회암도 함께 분포한다(Fig. 2). 이들 안산암질 암류는 백악기 유천층군의 소위 주사산 화산암에 속하는 것들로서 안산암질 용암류인 치밀 안산암은 적갈색으로 산화되어 있거나 용암류 사이에 적갈색 내지는 녹회색의 응회암질 퇴적층이 협재되어 있기도 한다. 용암류는 사장석 반정을 다량 함유한 반상조직을 나타내는 것이 특징이며, 사장석 외에도 휘석 혹은 각섬석 반정이 소량 산출된다. 안산암질 래피리(lapilli)응회암은 2-3cm크기의 암편을 함유하며 부분적으로는 1m 크기의 암편도 협재한다. 이 응회암의 기질은 회록색 내지 담록색을 띠며 사장석 입자를 다량 함유하는 것이 특징이다.

2. 세립질 화강암

조사구역의 양산대학 입구에서 동쪽으로 약 200m 지점에서 안산암과 화강암의 경계가 나타나는데 이곳에서 터널구간의 법기단층이 지나는 곳까지는 세립질 화강암이 주로 분포한다(Fig. 2). 이 화강암의 광물입자는 세립이지만 곳에 따라서는 반화강암과 유사하다. 반화강암은 본 조사구역 북쪽의 언양 자수정광상의 모암으로 알려져 있으며, 이 반화강암 내에 형성된 페그마타이트 포켓에 자수정이 발달해 있다. 이 반화강암은 언양읍 부근에서 관찰되는 반화강암과 거의 같은 암상으로 그 내부에 정동구조(miarolitic texture)와 페그마타이트 포켓을 수반한다. 대자율 값을 보면 화강섬록암이 $10\sim 30\times 10^{-3}$ 정도로 나타나고, 반화강암이 $3\sim 6\times 10^{-3}$ 정도를 보여 이들 모두 자철석계열의 화강암류이다. 현미경의 관찰에 의하면 주구성분광물은 석영 카리장석 및 정장석이며 부성분광물로 흑운모, 각섬석, 녹리석, 인회석 및 불투명광물들로 세립질 입자를 가지며 정동구조를 가지며 안산암의 포획체(Xenolith)를 자주 함유한다.

양산단층과 동래단층 사이를 통과하는 지방도의 지질공학적 특성 연구

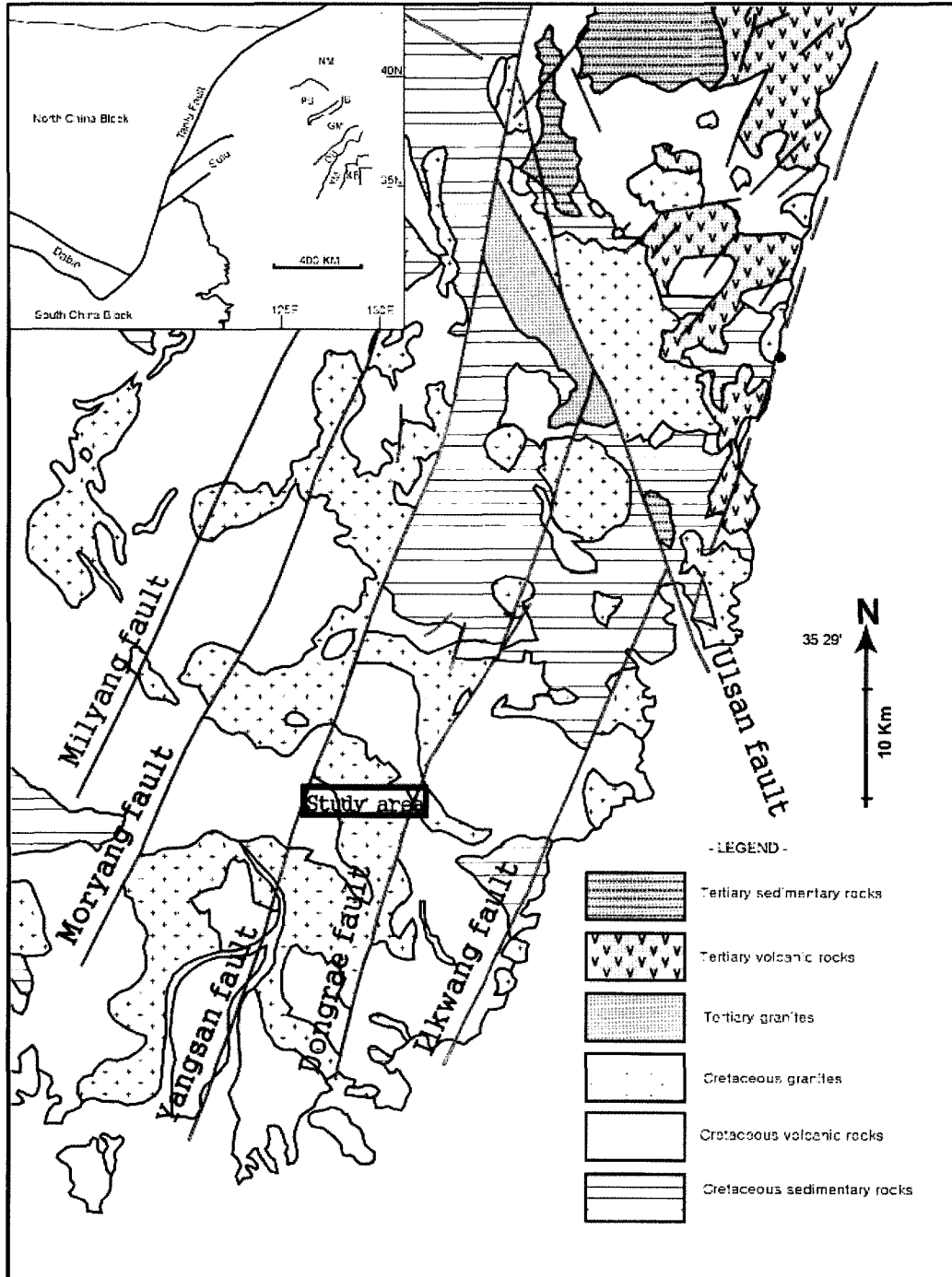


Fig. 1. Regional geological map of the Southeastern part of Korean peninsula and the study area index map (Modified by Chwae etc, 1998)

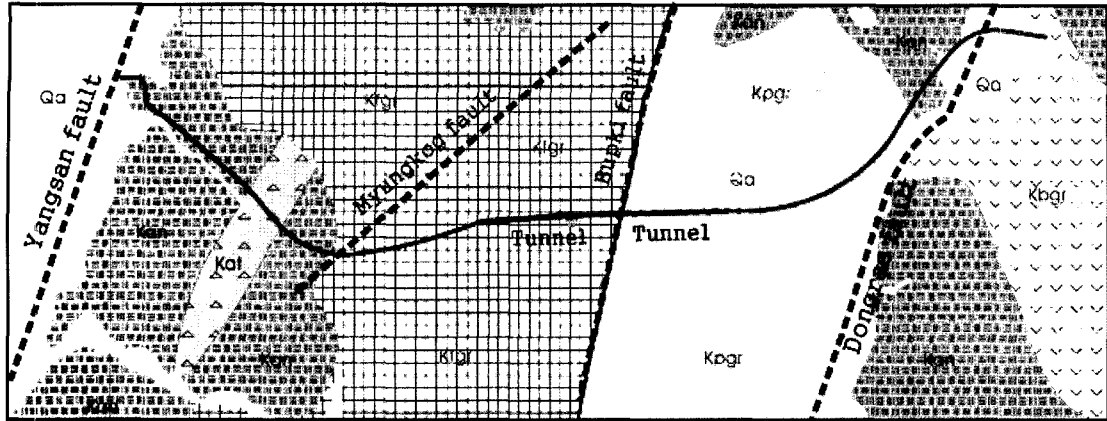


Fig. 2. Geological map of the study area (Kan: andesite, Kat: andesitic tuff, Kfgr: fine grained granite, Kogr: porphyritic granite, Kbg: boittite granite, Qa: Alluvium)

3. 반상 화강암

반상 화강암은 법기단층과 동래단층사이에 분포한다(Fig. 2). 이 화강암은 2-3mm 내외의 장석 반정을 함유하는 반상조직이 특징이며, 석기는 세립질 화강암과 동일하다. 반상화강암은 현미경 관찰에 의하면 주성분광물은 석영, 카리장석 및 정장석이며, 부성분광물로는 흑운모, 각섬석, 녹리석, 인회석, 불투명광물 등이다. 이 화강암은 미사장석의 반정을 가지는 반상조직이 현미경하에서 보이며 석기는 세립질이나 등립질이다.

4. 흑운모 화강암

흑운모 화강암은 노선 상에는 분포하지 않지만 노선 종점부의 동쪽에 분포한다. 이 화강암은 핑크색을 띠며, 주로 세립 내지 중립질이다. 대체로 반상조직을 보이지만 seriate(순열반상) 조직을 나타낸다. 반상조직이 우세한 곳에서는 반암으로 불러도 좋을 정도의 조직을 나타내어 상기의 반상 화강암과 비슷하다. 반정으로 자형의 석영, 사장석, 핑크색 알카리장석, 흑운모 등이 나타난다. 화강섬록암의 포획체와 기타 안산암류의 포획체를 포함하기도 한다.

5. 총적층

모래, 자갈 혹은 점토 등으로 이루어진 제4기 총적층들이 조사 구간의 시점부인 양산천과 종점

부인 수영강 및 두 강을 가로질러 흐르는 북부천 및 다방천을 따라 주로 발달한다. 지형적으로 극히 제한된 지역에 분포하는 고기 하성층들과 계곡 충전 퇴적층들도 여기에 포함된다. 김해-부산의 낙동강 하구지역과 밀양-창원간의 넓은 지역에 걸쳐 총적층이 발달하고 있는데 이 두 지역은 자연생태학적으로도 매우 중요시되는 지역들이다. 그 외에 현 해안선을 따라 현생 사력층이나 벨층이 발달하고 있다.

대 단 층

한반동의 동남부에는 인공위성사진이나 항공사진으로 관찰하면 북북동-남남서(NNE-SSW) 방향의 평행한 선상구조(lineament)가 매우 잘 발달하고 있다. 이들 선상구조는 Fig. 1에서와 같이 서쪽에서부터 밀양단층, 모량단층, 양산단층, 동래단층, 일광단층과 북북서-남남동 방향의 울산단층들이다. 본 조사구역은 양산단층과 동래 단층 사이에 위치하므로 양산단층과 동래 단층의 특성을 각각 기술하면 아래와 같다.

1. 양산단층

한반도 동남부에 발달하는 북북동방향의 몇 조의 평행한 단층들 중에서 단층의 폭이나 연장성이

가장 큰 것이 양산단층이다(Fig. 1). 이 단층은 부산의 낙동강 하구언에서부터 북북동 방향으로 양산, 언양, 경주, 영덕읍 부근을 지나 영해읍과 영덕군 병곡면 병곡리를 지나면서 바다로 연장되다가 다시 후포면소재지에서 거의 북쪽방향으로 연장되어 울진군 기성면 사동리 하사동에서 바다로 연장 되는 것으로 조사되었다. 이 단층을 따라 지형적으로도 역시 뚜렷한 선상구조가 발달되나 하나의 일직선이 아닌 약간씩 방향이 다른 선들로 이어지면서 부산에서 기성면까지 연장된다.

양산단층은 하나의 단층선이 계속 연장되어 분포하는 것이 아니라 몇 개의 평행한 단층들이 간격을 두며 발달하는 단층대이다. 따라서 양산단층의 폭은 전구간에 걸쳐서 매우 불규칙하다. 대체로 단층의 폭은 경주시 남쪽이 그 폭이 넓으며 그 이북은 폭이 좁아지는 현상이 있다. 장천중과 장태우(1998)는 경주 남쪽에서는 양산단층의 폭이 1Km 미만에서 6-7Km의 폭을 가지고, 약 30Km의 주기로 단층폭이 증가하고 감소한다는 규칙성을 제시하였다.

양산단층의 운동사에 대한 여러 학자들의 발표 자료를 요약하면 지금까지 양산단층의 운동에 대해서는 주향이동(Sillitoe, 1977)과 경사이동(Choi and Park, 1985, 김종열, 1988), 등 몇 가지 의견이 있어왔지만 현재는 우수향 주향이동(Simple dextral strike-slip)이라는 견해가 주류를 이루고 있다. 그러나 대단층은 전체단층이 한번의 운동으로 동시에 발달하는 것이 아니라 공간적 및 시기적으로 서로 달리하면서 점차 성장하게 된다. 즉, 양산단층도 한번의 운동에 의해 일시적으로 단층이 형성 되었다기 보다는 적어도 2번 이상의 운동을 한 다중변형(Multiple deformation)의 산물로 해석된다. 이와 같은 견해는 청하지역의 연구(채병근과 장태우, 1994)에서도 잘 보여주고 있으며, 지금까지 양산단층의 우수향주향이동이라는 의견에 반하여 절리연구에 의한 NNW-SSE 및 NE-SW 압축응력장(김상욱과 이영길, 1981), 자기 비등방성구조에 의한 NW-SE 압축과 미세균열에 의한 NW/WNW, NNE/NS 및 NE/ENE 압축응력장(이준동 외, 1993, 이병주와 송교영, 1995) 등의 다양한 응력해석의 연구결과가 이를 뒷받침하고 있다. 이와 같이 양산단층은 몇 차례에 걸쳐

작용한 중복변형의 결과임이 여러 학자들에 의해 주장되고 있다.

2 동래단층

동래단층은 부산광역시 동구 좌천동과 남구 문현동 사이 즉 부산만에서 북북동 방향으로 발달하며, 선구조로는 경주시 외동읍 냉천리까지 연장되는 단층이다. 이 단층 역시 양산단층과 마찬가지로 우수향의 주향이동단층으로 단층의 특성은 상기 양산단층과 같은 양상을 가진다. 동래단층은 양산단층에 비해 기하학적 특성이 밝혀진 바는 없으나, 양산단층과 대동소이한 특성을 가지고 있다.

3 명곡단층 및 법기단층

조사구간 내에는 양산단층과 동래단층이 있으며 그림 3에서와 같이 본 노선은 이글 두 단층 사이에 위치하기 때문에 심한파쇄대가 발달할 것으로 유추되었으나, 단층의 손상대(fault damage zone)를 지나면 심한 파쇄대가 나타나지 않는 것) 본 조사지역의 특성이다. 따라서 노선 내에는 비교적 단층의 폭이나 연장이 크지 않은 2개의 단층이 파악되었으며, 이 단층들은 토목건설 기반지질조사 분야에서 각각을 명곡단층과 법기단층으로 명명하였으며, 법기단층의 연장은 명곡단층보다 길지만 단층폭은 명곡단층과 유사하다(그림 3).

명곡단층은 노선구간에서는 명곡교 동쪽 지점을 통과하며 동북동-서남서방향으로 발달한다. 단층의 연장은 약 2.2Km 정도이며, 단층의 폭은 약 3m 정도로 큰 단층은 아니며, 약 20°의 침강각(plunge angle)을 가지는 사교이동단층(oblique slip fault)이지만 크기는 주향이동에 가까울 수도 있다(Fig. 3). 이 단층은 연장이나 폭이 커지 않아 이 지점을 통과하는 도로의 지질공학적 측면에서는 영향이 매우 적은 것으로 판단된다.

법기단층은 터널구간인 중간지점에서 북북동-남남서 방향으로 대단층과 같은 방향성을 가진다. 이 단층은 지질도(Fig. 2)에서와 같이 그 연장은 명기단층 보다 커서 4km이상이나 폭은 약 5m 정도로 추정된다. 또한 이 법기단층은 북북동 방향으로 길게 연장되며, 야외조사의 노두에서는 이 단층의 실체를 관찰하기 어려웠으나 시추조사에서 확인되었다. 그 결과 시추코아에서 이 단층은 단층

조선(striation)이 단층면에 약 50°의 침강각(plunge angle)을 가지는 큰 사교이동단층으로 판명되었다. 이 단층은 터널의 중간부를 통과하는데 이 단층 구간에서는 RMR 값과 Q값이 감소함에 따라 적절한 지보패턴이 고려되어야 할 지점이다.

불연속면의 분포현황

본 조사구간에 대한 절리 및 단층 등 불연속면들의 발달 분포특성을 알아보기 위해 터널구간을 중심으로 동쪽 구역과 서쪽 구역으로 Fig. 3과 같이 세 구간(Domain)으로 나누어 지질공학적 개념으로 조사 분석을 실시하였다. 각 구간에서 아래에 표시한 벽면강도(JCS)는 현장에서 슈미트 합머로 절리면을 타격하여 산출한 값이다.

1. 구간(Domain 1) 불연속면의 분포현황

1구간은 노선의 시점부에서 터널의 시점구간으로 주로 안산암류가 분포하며(Fig. 2), 약간의 압중의 차이로 신기교 지역과 명곡교 지역으로 나누어(Fig. 3) 불연속면을 조사 분석하였다.

신기교

이 지역은 전체적으로 3개의 절리군이 발달하고 있으며, 가장 발달하는 절리의 방향성은 동남동으로 경사지는 급경사의 절리(119/86)들로 전체의 44%정도를 차지하며, 간격은 19cm내외로 조밀에

서 보통의 간격분포를 나타내고 있다. 제 2군의 절리들은 남남서로 경사지는 급경사의 절리들(207/84)로 전체의 34%정도를 차지하며 평균 간격은 26cm정도로 보통의 간격분포를 나타내고 있다(Table 1). 제 1 및 제2 절리들의 평균길이는 4m 내외로 보통의 연속성을 보이며, 연속성을 나타내는 말단지수는 Tr_x 가 60%대, Tr_d 가 30%대로 절리가 규칙성을 가지면서도 일반적으로 제 3군의 저각의 절리에 의해서 많이 절단되는 것을 관찰할 수 있다(표 1). 제 3군은 저각의 불연속면들로서 남남서(204/13)로 경사지는 절리들로 평균 간격이 28cm 정도로 보통의 간격분포를 나타내지만 분포의 오차가 크게 나타나고 있다. 절리의 평균길이는 2.3m로 낮은 연속성을 보이며, 말단지수는 Tr_x 가 와, Tr_d 가 큰 차이를 보이지 않고 다른 절리들에 의해 절단되는 준규칙성을 띠고 있다.

전체적으로 간격은 조밀에서 보통의 분포를 보이며, 연속성은 수직절리는 규칙성을 띠고 있지만 수평의 절리군에 의해 절단되고 있다. 벽면강도는 110~130MPa로 경암의 암반상태를 나타내며, 거칠기는 JRC 값이 2에서 6정도로 약간 거친 상태를 나타내고 있다. 절리의 연속성은 현지 노두의 크기제한으로 신뢰성이 떨어지지만 큰 노두에서의 연속성이 15m 정도임을 고려할 때 이 절리들은 높은 연속성을 가진다고 유추할 수 있다.

명곡교

전체적으로 2개의 주요 절리군과 2개의 적은 절

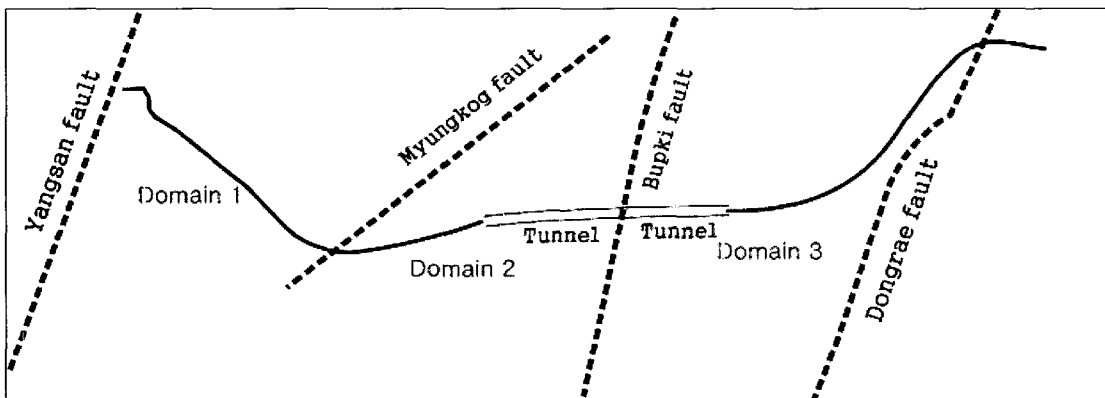
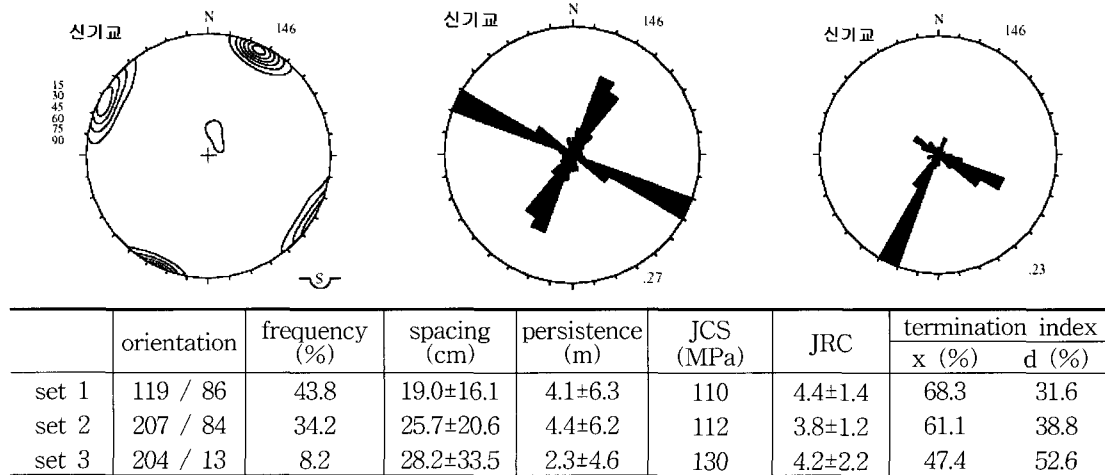


Fig. 3. Fault distribution map and each domain area

Table 1. Characteristics of discontinuous plane at Sinkikyo, domain 1



주) 말단지수 : x; 조사영역을 벗어남, d; 다른 불연속면에 의해 절단, r; 암반중에 사라짐.
 첫 번째 rose diagram은 주향방향을 2번째 rose diagram은 경사방향을 나타냄.

리군이 분포하며, 같은 구간(domain)의 신기교 지역보다는 명곡단층의 영향으로 다소 복잡한 양상을 보이고 있다. 가장 자주 발달하는 절리군은 동남동으로 경사하는 급경사의 절리(116/79)들로 신기교의 제1 절리군과 비슷한 방향성을 가지며, 제2군의 절리들은 남서로 경사하는 급경사의 절리들(222/83)로 2개 절리군이 전체 불연속면 분포의 72% 정도를 차지한다. 제 1 및 2 절리군의 평균간격은 22cm 정도로 보통의 간격분포를 평균길이 2m 이내로 낮은 연속성을 나타낸다. 말단지수는 Tr_x 가 80과 72%, Tr_d 가 20과 28%로 절리가 상당히 규칙성을 가지면서도 다른 절리군에 의해서 절단되고 있음을 나타낸다(Table 2). 제 3절리군은 북으로 경사하는 급경사 절리들(356/85)로 전체 절리분포의 13% 정도를 그리고 제 4절리군은 동북동(067/32)으로 경사하는 저각의 절리들로 전체 절리의 4% 정도만을 차지한다. 평균 간격들은 26cm로 보통의 간격분포를 그리고 평균길이는 2m 내외로 낮은 연속성을 나타내고 있다. 전체적으로 간격은 매우 조밀에서 보통의 분포를 보이지만 평균적으로 보통의 간격분포를 나타내고 있다. 대부분의 절리들이 규칙성을 띠고 있지만 다른 절리군에 의해 절단되고 있으며, 벽면의 강도(JCS)

는 63~121MPa로 보통암 내지 경암의 암반상태를 나타내며, 절리의 거칠기는 평균적 절리의 거칠값(JRC) 4~5 값으로 약간 거친 상태를 나타내고 있다.

2. 구간(Domain 2) 불연속면의 분포현황

제 2구간은 노선중 터널굴착이 계획되는 구간으로 주로 화강암류가 분포하는 곳이다(Fig 2 and 3). 전체적으로 불연속면은 2조(set)의 주요 수직 절리와 2개조의 수평 절리군이 발달하고 있으며, 이중 수평절리는 판상절리로서 지역마다 방향성에 있어 차이를 보이며 복잡한 양상을 나타내고 있다. 가장 발달하는 절리들은 남으로 경사하는 급경사의 절리(180/81)이며, 제 2절리군은 동쪽으로 경사하(지)는 급경사의 절리들(096/85)로 전체분포의 각각 38% 정도를 차지한다. 평균 간격은 20cm 이내로 조밀한 간격분포를 나타내고 있다(Table 3). 절리의 말단지수는 Tr_x 가 62와 77%, Tr_d 가 33과 20%로 절리가 규칙성을 가지면서 다른 절리군에 의해서 절단되고 있다(Table 3). 제 3절리군은 남서로 경사지는 완경사의 절리들(237/22)이며, 제 4 절리군은 북으로 경사지는 완경사의 절리들(002/17)로 전체의 17% 정도를 차지한다. 절리의

Table 2. Characteristics of discontinuous plane at Muyongkogkyo, domain 1

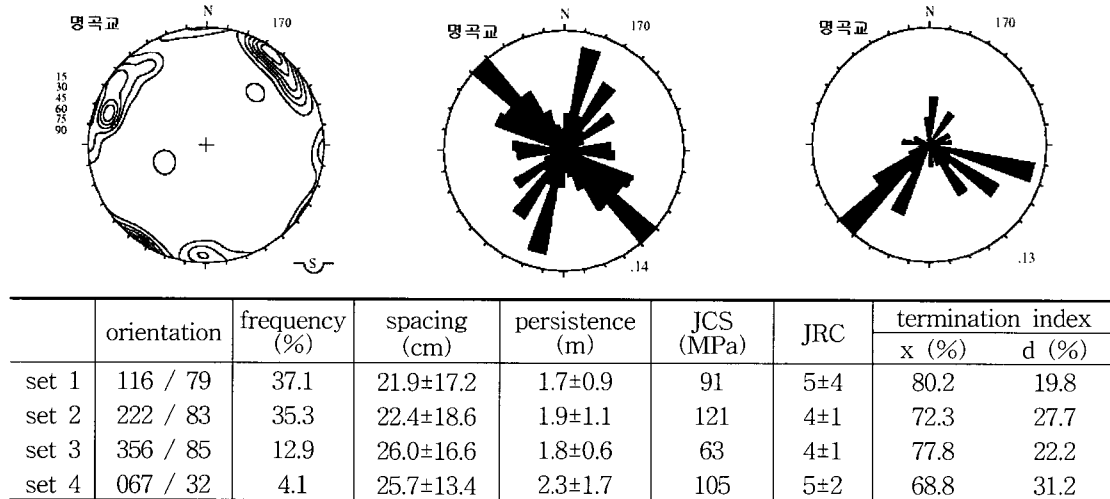
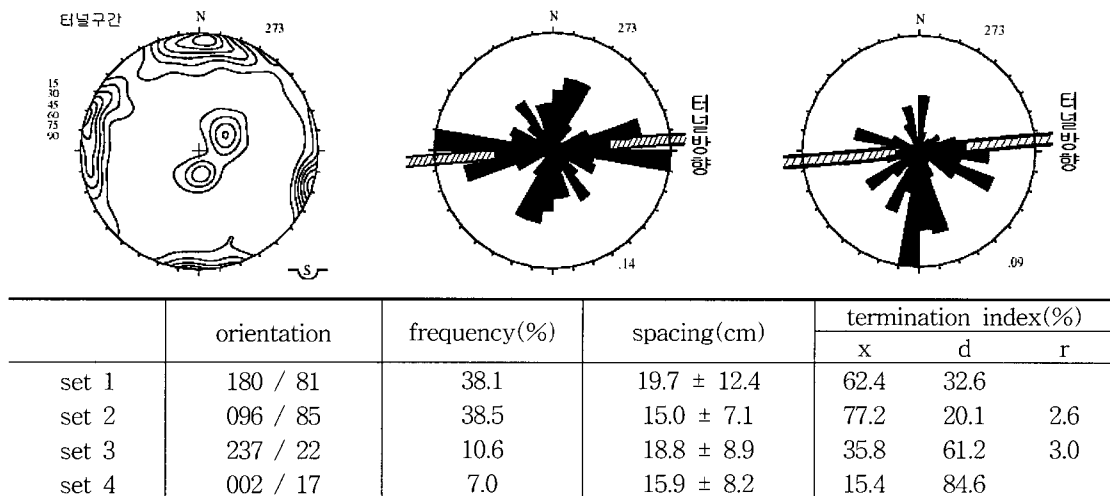


Table 3. Characteristics of discontinuous plane at Tunnel area, domain 2



말단지수들은 Tr_d 가 Tr_x 보다 높아 준규칙성을 가지면서 다른 절리군에 의해서 많이 절단되고 있음을 나타낸다(Table 3).

터널구간 불연속면의 간격분포는 Fig. 4와 같이 음지수함수적인 분포양상을 보이며, 터널구간의 불연속면 간격은 10~20cm의 간격분포가 71%에 이르며, 따라서 이 지역의 평균적인 간격은 조밀한 분포를 나타내고 있다. 수직절리들은 규칙성을 띠

지만 다른 절리군에 의해 절단되고 있으며, 반면에 수평의 절리들은 준규칙성을 가지면서 수직의 절리들에 의해 많이 절단되고 있다. 절리의 길이는 이 구간 조사지역의 노두들이 보다 제한적으로 분포하기 때문에 길이에 대한 자료는 신뢰성을 가질 수 없다. 노두에서 관찰되는 절리들의 벽면강도는 30MPa에서 60MPa 사이로 다른 지역보다 나쁜 암반상태를 나타내지만, 이 지역에서 시추된 코아

상태를 살펴보면 지표의 노두 암반들이 다소 풍화 되어 낮은 값을 보이는 것으로 유추할 수 있다. 절리의 거칠기는 JRC 값이 2~7로 약간 거친 상태를 나타내고 있다.

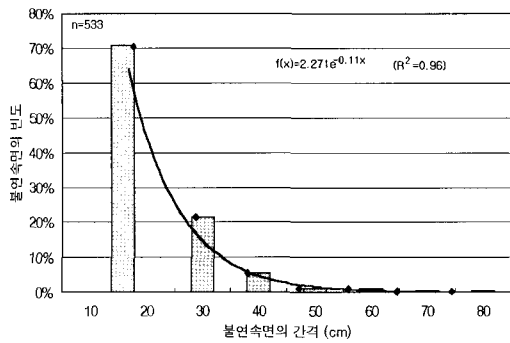


Fig. 4. Relationship between Joint spacing and Frequency at Tunnel area

터널굴진의 예상방향과 불연속면과의 관계는 Fig. 5와 같으며, 제1 및 제4 절리군의 주향방향이 터널방향과 거의 평행하다. 제1 절리군은 절리의 경사가 고각으로서 터널굴착에 가장 나쁜 영향을 주지만, 제 4절리군은 저각의 경사각을 갖기 때문에 큰 영향이 없을 것이다. 제3 절리군은 직교하며 절리의 경사가 고각이고, 제 4절리군은 사교하기 때문에 제 3 및 4절리군은 터널굴착에 큰 영향이 없을 것이다(Fig. 5).

이 구간은 터널부 종점부에서 동쪽인 종점부까지로 주로 안산암과 화강암이 분포하며, 암종에 따라 법기1교 지역과 개곡교 지역으로 나누어 불연속면을 조사 분석하였다(Fig. 2, 3).

3. 구간(Domain 3) 불연속면의 분포현황

법기1교

3개의 절리군이 발달하고 있으며, 제 1절리군은 화강암에서 발달하고 있는 판상절리(sheeting joint)로서 서북서로 경사하는 낮은 경사의 절리(294/72)들로 전체 절리의 38%정도가 분포하며, 평균간격은 21cm 정도로 보통의 간격분포를 나타내고 있다. 절리의 평균길이는 15m 정도로 높은 연속성을 보이고 있다. JCS는 124 MPa인 경암이며, JRC는 9정도의 값으로 거친 상태를 보이고 있다(Table 4). 제 2절리군은 동남동으로 경사하는 수직의 절리들(110/89)로 전체의 39% 정도가 분포하며, 평균 간격은 60cm 정도로 넓은 간격분포를 평균길이는 3.7m로 보통의 연속성을 나타내고 있다. JCS는 76 MPa로 이 절리군보다 상당히 낮은 값을 보이며, JRC는 8정도의 값으로 거친 상태를 보이고 있다. 제 3절리군은 북서로 경사하(지)는 급경사의 절리들(332/86)로, 평균간격이 50cm 정도로 보통의 간격분포를, 평균길이는 2.5m로 낮은 연속성을 보이고 있다. JCS는 98 MPa, JRC는 7정도의 값을 보이고 있다(Table 4).

개곡교

전체적으로 2개의 수직절리와 2개 이상의 수평 절리군이 발달하고 있으며, 이중 수평절리는 판상 절리로서 지역마다 방향성에 있어 다소의 차이를 보이고 있다. 가장 발달하고 있는 절리들은 북으로 경사하는 급경사의 절리(351/86)이며, 제 2절리군은 서쪽으로 경사하는 절리들(286/78)로 두 절리군이 전체 불연속면 분포의 60% 정도를 차지한다.

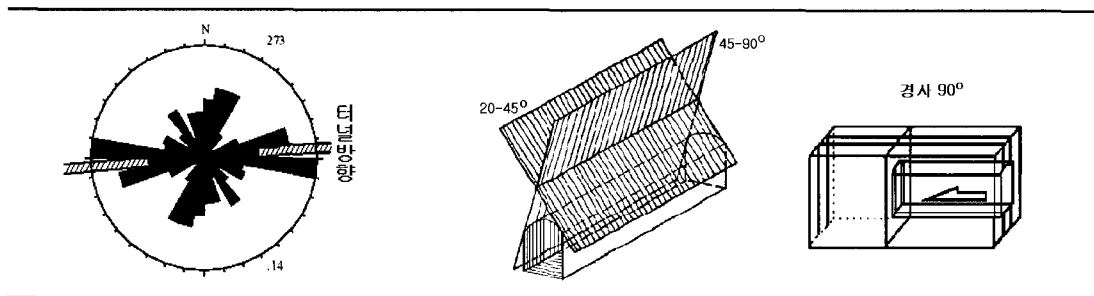


Fig. 5. Relationship between discontinuous plane and tunneling direction

Table 4. Characteristics of discontinuous plane at Pobki 1-kyo, domain 3

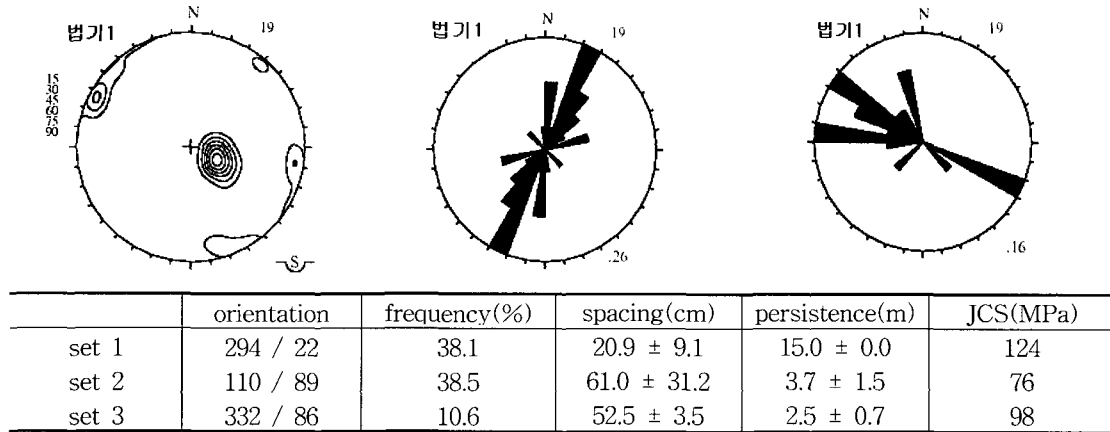
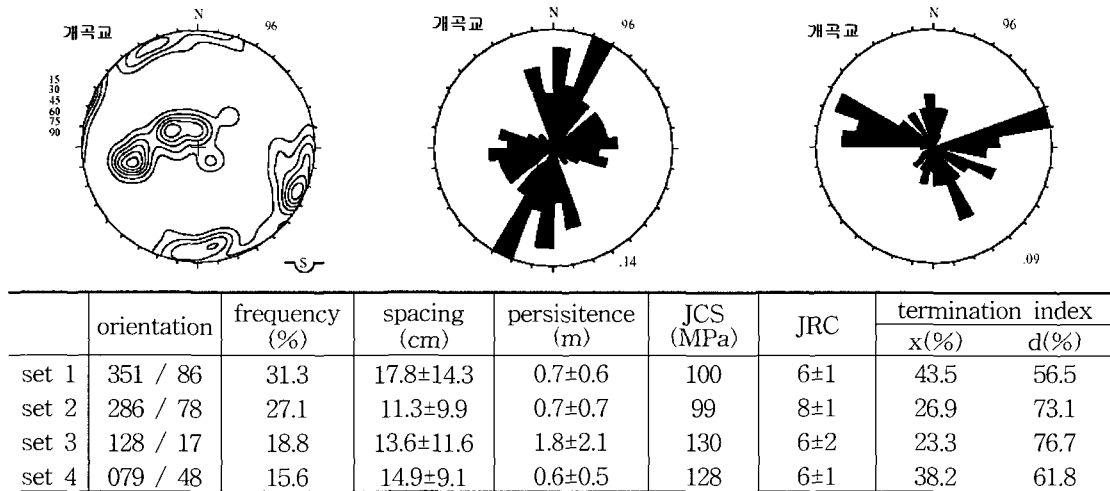


Table 5. Characteristics of discontinuous plane at Gaekogkyo, domain 3



평균간격들은 20cm 이내로 조밀한 간격분포를, 평균길이는 0.7m로 매우 낮은 연속성을 보이고 있다. 말단지수는 Tr_x 가 Tr_d 보다 낮은 값을 나타내어 절리가 준규칙성을 가지면서 다른 절리군에 의해서 절단되고 있다(Table 5). 제 3절리군은 남동으로 경사하는 저각의 절리들(128/17)이며, 제 4 절리군은 동쪽(079/48)으로 경사하는 절리들로 각각 전체 절리분포의 20% 이내이고 평균간격이 15cm 정도로 조밀한 간격분포를 나타낸다. 말단지수 또한 Tr_x 가 Tr_d 보다 낮은 값을 나타내어 절리

가 준규칙성을 가지면서 다른 절리군에 의해서 절단되고 있다(Table 5).

전체적으로 간격은 조밀한 분포를 나타내며, 대부분의 절리들이 준규칙성을 띠지만 다른 절리군에 의해 절단되고 있다. 법기1교의 큰 노두암반에서 관찰되는 판상절리의 연속성이 15m 이상인 점을 고려하면, 이 지역에서의 판상절리의 연속성은 높을 것으로 유추할 수 있다. 벽면강도는 수직절리는 100 MPa이며 수평절리는 130 MPa정도로 경암의 압반상태를 나타내어, 앞에서와 마찬가지로

로 수평절리가 수직절리보다 암질의 상태가 양호함을 알 수 있다. 절리의 평균적인 거칠기(JRC) 값은 4~9를 나타내고 있다.

고찰 및 결론

상기 지방도의 노선이 통과하는 조사지역에는 중생대 백악기에 분출되었거나 또는 관입한 안산암질암, 세립질 화강암, 반상 화강암 및 흑운모 화강암이 분포하며, 한반도의 동남부지역에 북북동 방향으로 서로 평행하게 발달하고 있는 단층들 중에서 양산단층과 동래단층 사이에 위치하고, 또한 북동방향의 명곡단층과 북북동방향의 법기단층이 발달하고 있다. 또한 이 조사지역에 분포하는 대단층의 방향성 분포는 Table 6과 같이 두개조의 세트(set)를 나타내고 있다.

단층위의 불연속면들은 Table 7과 같으며, 이 표는 절리의 형성이 힘에 의한 것이라기보다는 화성암체의 냉각과 관련되어지는 판상절리를 제외한 불연속면들 중에서 각 조사지역마다 방향성이 비슷한 절리군으로 그룹지는 것이다.

Table 7의 A그룹의 절리는 Domain 1에서는 제 1절리군에 속하며 Domain 2와 3에서는 제 2절리군에 속하는 것들로서 북동-남서방향의 최대주응력에 의해 형성되었을 것으로 보이는 대단층의

주향방향(N20°E)에 일치)는 절리로 같은 지구구조작용에 의해 형성된 것으로 추정할 수 있다. 대단층들이 앞에서 언급한 것처럼 우수향의 주향이 동방향인 점을 고려하고 파괴이론에 따르면 명곡단층은 같은 응력에 의해 형성된 다른 파괴면으로 유추할 수 있다. 즉 절리에서 공액절리와 같은 것으로 해석할 수 있다. 이 그룹에 속하는 절리들의 간격은 전체적으로 20cm 전후로 보통의 간격을 나타내고 있다.

B그룹의 절리군들은 명곡교의 동쪽 지역에서 형성되고 있는 절리들로 전체적으로 동서방향으로 발달하는 절리군들이다. 이 방향의 절리들은 조사지역이외의 주변지역에서도 발달하고 있는 절리군이다. 이 그룹의 절리 간격도 전체적으로 20cm 이상으로 보통의 간격을 나타내고 있다.

C그룹은 남동-북서 방향의 절리로서 Domain 1에서만 분포되고 있는 절리로서 안산암지역에서만 분포되고 있는 것을 보아 안산암의 생성과 관계되는 절리로 유추할 수 있다. 절리 간격도 전체적으로 20cm 이상이며 벽면강도도 110-120 MPa로 경암의 값을 보이고 있다.

상기와 같이 대단층이 발달하는 대단층 사이의 중간지역에는 많은 단층이 발달할 것으로 추정되어 지지만, 실제로 대단층 사이에서는 중소 크기의 단층들이 거의 발견되지 않고 있다. 이러한 이유는 앞선 구조작용과 같은 방향의 응력이 작용할 경우

Table 6. Characteristics of the faults

단층의 주향	양산 및 동래 대단층		N20°E	주향이동단층
	법기 단층		N20°E	사교이동단층(plunge angle 50°)
	명곡 단층		N45°E	사교이동단층(plunge angle 20°)

Table 7. Characteristics of the joint sets at each domain

Domain	Domain 1				Domain 2		Domain 3			
지역	신기교		명곡교		터널구간		법기1교		개곡교	
A 그룹	set 1	N29°E	set 1	N26°E	set 2	N06°E	set 2	N20°E	set 2	N16°E
B 그룹			set 3	N86°E	set 1	EW	set 3	N62°E	set 1	N81°E
C 그룹	set 2	N63°W	set 2	N48°W						

에 이미 형성되어 있는 단층이 연약대로 작용하여 다시 변형을 일으키기 쉽기 때문에 그 사이에 있는 구역은 구조작용의 응력이 크게 작용되지 않은 것으로 추정된다. 대단층들은 여러 번의 구조작용에 의해 하나의 단층선이 아니라 단층대 형태로 나타나는 것도 이러한 이유 때문일 것이다.

절리들의 간격들도 보통의 간격상태로 암반이 심하게 파괴되지 않았음을 볼 수 있고, 또한 벽면 강도도 일반적으로 100 MPa 이상으로 원암의 강도와 차이를 보이지 않아 절리가 심하게 변형을 작용을 받았다고는 볼 수 없다. 따라서 이 지역은 양산단층과 동래단층의 사이에 위치하는 암반이지만 이들 두 단층의 손상대(Damage zone)가 조사 구역까지는 영향을 크게 주지 않아 비교적 양호한 지반상태를 가지는 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 (주) 회송지오테크로부터 의뢰 받아 수행한 수탁과제(02-5104)의 일환으로 수행되었다. 이 과제를 수행하도록 의뢰한 김기석 사장님께 감사드리며, 심사과정에서 본 논문을 꼼꼼하게 읽어 많은 부분을 수정 할 수 있도록 도움을 주신 한국자원연구소 최성자 박사님과 부산대학교 손문 박사님께 감사드린다. 또한 본 논문의 심사 과정에서 많은 조언을 주신 부산대학교 함세영 편집위원장님께 심심한 사의를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

김상욱, 이영길, 1981, 유천분지 북부의 암석 및 지질 구조, 광산지질, 14권, 35-49.
 김종열, 1988, 양산단층의 산상 및 운동사에 관한 연구, 부산대학교 대학원, 박사학위논문, 97p.
 김종환, 강필중, 임정웅, 1976, LANDSAT-1 영상에 의한 영남지역 지질구조와 광상과의 관계 연구, 지질학회지, 12권, 79-89.
 이병주, 송교영, 1995, 포항분지내 지각변형 해석, 자원환경지질, 28권, 1호, 69-77.

이준동, 김인수, 윤선, 상기남, 김영화, 1993, 언양지역을 중심으로 한 양산단층에 관한 연구 -특히 파쇄작용과 자기 비등방성 고찰을 중심으로 -, 지질학회지, 29권, 128-144.
 장기홍, 1990, 경상분지 동부 지질발달사, 존국대학교 지구과학연구소 지구과학(지질)분야 학술심포지움, 경북대학교, 1990. 2. 12, pp. 1-3
 장천중, 장태우, 1998, 고응력장 분석을 통한 양산단층의 구조사, 지질공학, 8권, 35-49.
 채병곤, 장태우, 1994, 청하-영덕지역 양산단층의 운동사 및 관련 단열 발달상태, 지질학회지, 30권, 379-394.
 최위찬, 이동영, 이봉주, 류충렬, 최범영, 최성자, 조등룡, 김주용, 이창범, 기원서, 양동윤, 김인준, 김유숙, 유장한, 채병곤, 김원영, 강필중, 유일현, 이희권, 1998, 활성단층 조사평가 연구, 한국자원연구소, 301p.
 Choi, H.I. and Park, K.S., 1985, Cretaceous/Neogene stratigraphic transition and Post-Kyeongsang tectonic evolution along and off the southeast coast, Korea, J. Geol. Soc. Korea, v. 21, 281-296.
 Kang, P.C., 1979a, Geology analysis of Landsat imagery of South Korea(I), J. Geol. Soc. Korea, v. 15, 109-126.
 Kang, P.C., 1979b, Geology analysis of Landsat imagery of South Korea(II), J. Geol. Soc. Korea, v. 15, 181-191.
 Sillitoe, R.H., 1977, Metallogeny of Andean-type continental margin in South Korea: Implication for opening of the Japan sea. In Talwani, M. and Pitman, W.C. (eds), Island arcs, deep sea trench and back-arc basins, Am. Geophy. Union, Maurice Ewing Ser., v. 1, 303-310

투 고 일 2003년 3월 12일
 심 사 일 2003년 3월 13일
 심사완료일 2003년 4월 21일

양산단층과 동래단층 사이를 통과하는 지방도의 지질공학적 특성 연구

이병주

한국지질자원연구원 지질지반정부연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel: 042-868-3042
E-mail: bjlee@kigam.re.kr

선우춘

한국지질자원연구원 지질안전연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel: 042-868-3235
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr