

건설공사에 수반되는 지질조사 방법에 대한 제안 : 한반도 동남부 지역을 중심으로

A Proposal of Geological Investigation method Concomitant with Ground Construction : In the Light of Southeast Korean peninsula.

류춘길¹⁾, Choon-Kil Ryu, 김성욱²⁾, Sung-Wook Kim, 이현재³⁾, Hyun-Jae Lee, 정성교⁴⁾, Seong-Gyo Chung

¹⁾ 부산대학교 지질학과 박사과정, Doctoral course, Dept. of Geology, Busan National Univ.

²⁾ 동아대학교 건설기술연구소 연구원, Research Institute of Construction Technology, Dong-A Univ.

³⁾ 지반정보연구소, Institute of Ground Information Co., Ltd.

⁴⁾ 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dong-A Univ

SYNOPSIS : Engineering geological studies were conducted for igneous rocks in southeast Korean peninsula. The purpose of the study is to establish zoning in view of engineering geology in ground construction. For engineering geological implication, lithology, lineament structure and discontinuities were surveyed and analysed. Using constructed data, We compared geological and engineering geological characteristics and made out the detailed engineering geological map. The map responses engineering characteristics such as weathering degrees, discontinuity systems of different rock types.

Key words : engineering geology, zoning, lithology, engineering geological map, discontinuity system, weathering degree.

1. 서 론

건설공사를 위한 지반조사에 수행되는 지질조사 중 많은 부분들은 선행 조사된 지질도의 내용을 조사 지역에 적용하는 단계에 머물러 있으며, 개별적으로 실시되는 지질조사의 결과들을 지질도에 일치시키려는 경향이 있다. 현재 발간되어 있는 지질도는 지난 수 십년에 걸쳐 작성된 것으로 그 동안 제안된 새로운 이론과 진보된 분석방법을 반영하지 못하고 있으며 조사내용은 암석의 지질학적 성인 및 층서(stratigraphy)와 자원활용 측면이 강조되어 있다. 반면 건설을 위한 조사와 설계는 암석이 가지고 있는 공학적인 특성이 더욱 중요한 요소이므로 그 목적에 부합하는 지질조사는 필수적이다.

연구지역은 한반도의 조구조구(tectonic province)에서 경상분지 밀양지괴의 동남단에 위치하며 한국지질도 (1/50000) 양산도폭의 남단에 해당한다. 지질시대와 층서는 중생대 백악기의 경상누층군에 해당하며 지질 구성은 하부로부터 퇴적암류와 이를 관입 및 분출한 산성 및 중성 화산암류, 그리고 백악기 말에서 제3기 초에 걸쳐 광범위한 심성관입활동을 일으킨 불국사관입암류로 대별된다. 연구지역은 북북동 방향의 양산 단층과 동래 단층이 인접하여 발달하고 있어 단열계는 직, 간접적으로 단층대의 영향권 내에 포함됨을 알 수 있다. 양산도폭에 따르면 화산암류는 주사산안산암질암과 원효산합각력안산암질암에 해당하며, 불국사 관입암류는 흑운모화강암로 구성되어 있다.

2. 연구방법

구성암석의 산출상태, 광물조성 및 조직상의 특징을 기재하고 그 특성을 고찰하였다. 암상(lithology)의

기재는 rock color chart(GSA, 1991)와 AGI data sheet(AGI, 1982)를 이용하여 암석의 색과 구성 물질의 함량비를 판정하였다. 암석기재학적 특징을 파악하기 위하여 각 암석을 대표할 수 있는 노두로부터 채취된 시료로부터 암석 박편과 분말시료를 제작, 편광현미경, SEM, XRD 분석을 실시하였다. 화강암류에 대해서는 모우드 분석(modal analysis)을 실시하여 조직상의 특징과 함께 암상 세분의 기초 자료로 활용하였다. 노출 상태가 양호한 암체에 대해 풍화 및 절리, 단층 등의 불연속면 특성을 중심으로 기재학적인 관점에서 지질공학적 암반 특성을 고찰하였다. 현장 조사에 있어서 basic geotechnical description(ISRM, 1981)과 rock discontinuities characterization(ISRM, 1978)의 지침을 기초로 암반 특성을 관찰, 기재하였다.

연구지역과 같이 광역적 규모의 취성 전단대(brittle shear zone)는 단층과 직접적으로 관련된 단열계가 분포할 것으로 예상된다. 연장길이가 1km 이상 되는 선구조선을 대상으로 방위각은 1°, 연장길이는 m 단위까지 측정하고, 방향별 빈도수와 총길이를 계산하여 선구조선의 균집방향분석을 실시하였다.

지각에 우향이동에 의한 외력이 동시에 작용했을 경우 형성되는 전단단열계는 그림 1과 나타난다. 각각의 단열은 힘의 작용 방향과 평행한 Y-전단 단열(Y shear fracture; Y), 힘의 작용 방향과 15°미만의 교각을 가지는 리델단열(Riedel's fracture; R), 힘의 방향과 5°미만의 교각으로 형성되는 P-전단 절리(P shear fracture; P), 힘의 방향과 45°미만의 교각을 형성하는 전단 장력절리(shear tension fracture; T)와 리델 단열에 대하여 60°의 공액형(conjugate pattern)의 리델 공액단열(Riedel's conjugate fracture; R')로 구분된다(Davis, 2000; Price and Cosgrove, 1990). 지표에서 관찰되는 불연속면과 선구조선의 방향성을 전단단열계와 대비하여 각 단열의 성격을 고찰하였다.

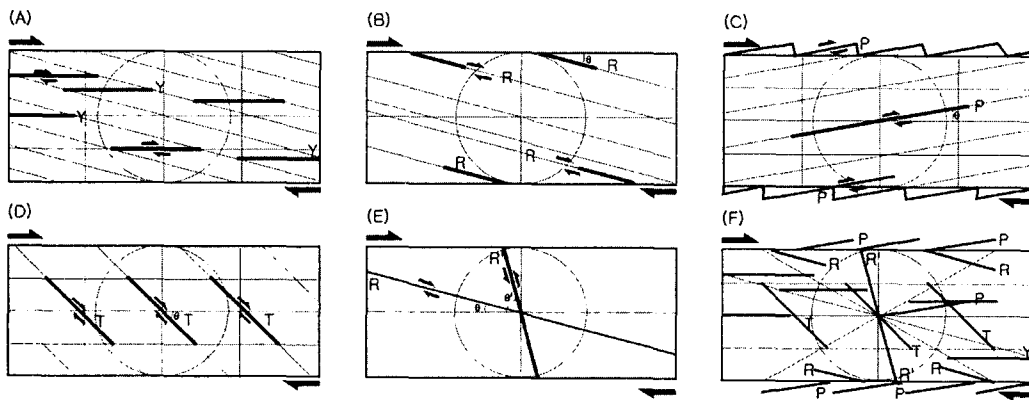


그림 1. 전단단열의 종류. (A)Y 전단단열, Y, $\theta = 0$, (B)Riedel 전단단열, R, $\theta \leq 15^\circ$, (C)P 전단단열, P, $\theta \leq 5^\circ$, (D)Tention 전단단열, T, $\theta \leq 45^\circ$, (E)Riedel 공액전단단열, R', $\theta \leq 90 - \theta$, (F)노두에서 관찰되는 일반적인 단열의 형태

3. 결과 및 고찰

3.1 선구조선

선구조선을 판독, 분석을 위해 10×10km의 정방형으로 분석 대상구역을 설정하고 수치지형고도자료(digital elevation model)를 작성하였다. 수치지형고도자료는 가상 태양의 고도각을 수평면으로부터 40°, 태양 방위각을 W, N45°W, N 그리고 N45°E의 4방향으로 가정하고 Lommel-Seeliger법을 적용하여 작성한 4매의 전산음영기록도를 대상으로 하였다.

연구지역의 광역선구조는 북북동, 북동, 북서 방향이 빈도수와 연장성에 주도적인 선구조로 나타난다 (그림 2). 이와 같은 선구조의 분포

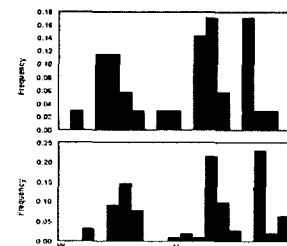


그림 2. 선구조선의 방향에 대한 빈도수(상)와 연장성(하)

는 양산단층과 동래단층의 주향이동단층운동에 따른 것으로 추정된다. 상기 선구조선은 Y-전단단열, R-전단단열, R-공액단열, T-단열에 해당하며 이들 단열 중 Y-전단단열, R-전단단열, T-단열은 운동의 성격상 주 단층과 같은 운동방향을 가진 단열로 연장성이 뛰어난 특징이 있는 반면 R-공액단열 (R'-전단 단열)은 운동의 방향이 좌향이동으로 연장성이 발달하지 못한 경우가 일반적이며 지표에서 관찰되는 특징과도 일치된다.

3.2 지질학적 특성

연구결과 대상 지역의 지질은 하위로부터 안산암(그림 3의 A), 석영안산암질 응회암류 (그림 3의 B, C), 석영안산암(그림3의 D) 등의 화산암류와 이를 관입하고 있는 화강암류, 염기성 암맥 그리고 상기 지층들을 부정합으로 피복하고 있는 제4기 봉적층의 순으로 구성되어 있다. 석영안산암질 응회암류는 부석질 화산력응회암이 주로 산출하고 소량의 응회암이 협재되어 있다. 화강암류는 광물조성과 조직상의 특징에 따라 반상화강암류와 미문상화강암으로 분대된다. 반상화강암류는 염기성 포유체의 유무에 따라 반상화강암(그림 3의 E)과 포유체(enclave)를 함유한 반상화강암(그림 3의 F)으로 세분된다.

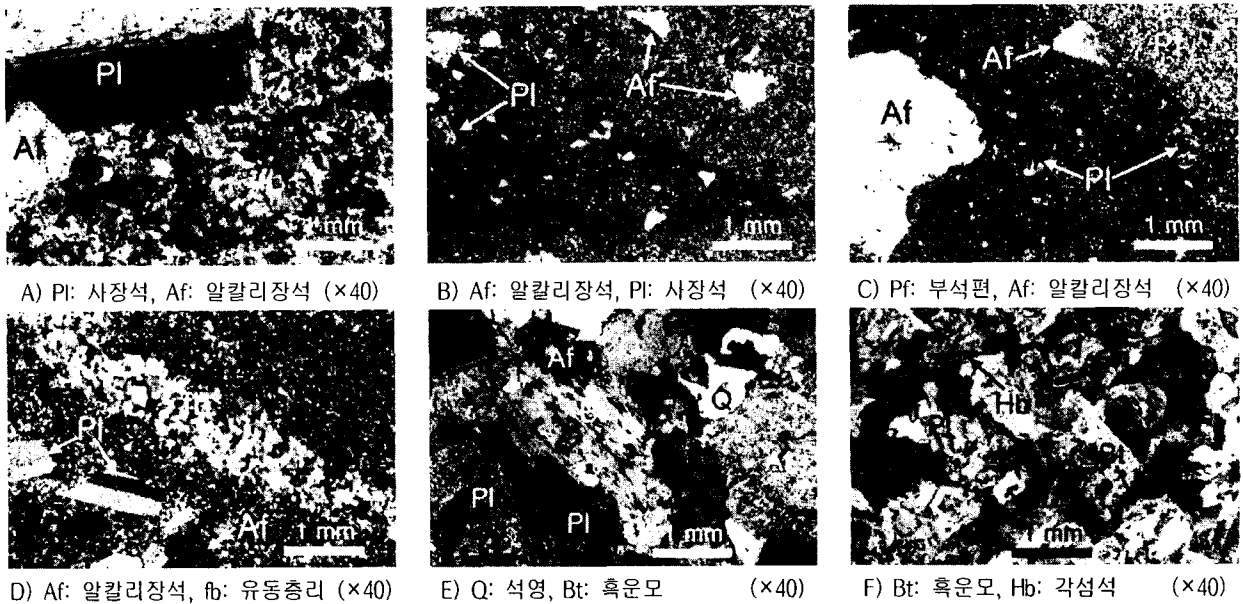


그림 3. 연구지역 구성암석의 현미경 사진 (A:안산암, B:응회암, C:부석질화산력응회암, D:석영안산암, E:반상화강암, F: 포획화강암(enclave-rich porphyritic granite))

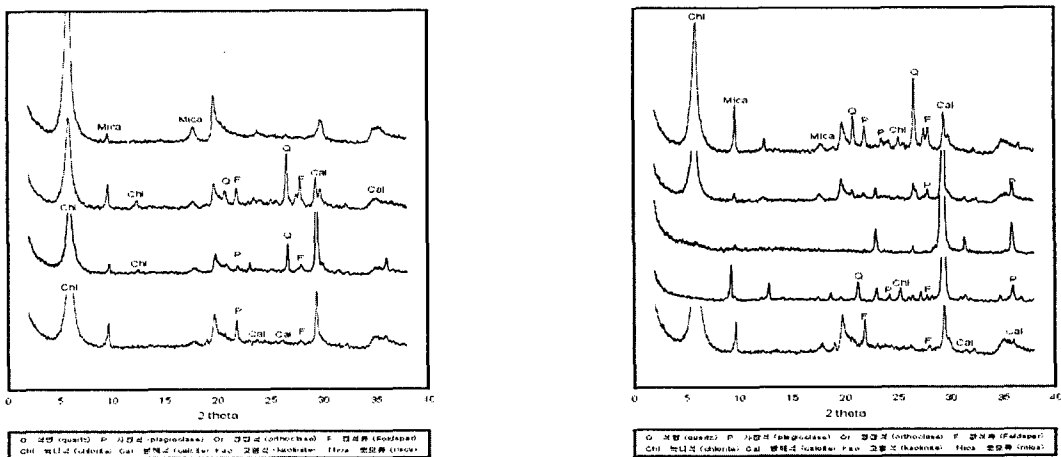


그림 4. 반상화강암(좌)과 포획화강암(enclave-rich porphyritic granite), (우)의 X-선 회절분석도

선행연구에서 구성암석은 주사산안산암질암, 원효산합각력질안산암질암 및 흑운모화강암으로 구분되며 이러한 분대는 구성 광물을 중심으로 분류한 것이며 상기의 암석 구분은 공학적인 특성을 반영할 수 있도록 암석의 조직을 중심으로 재분류하였다. 화산암류에 해당하는 안산암질암(선행연구)의 대부분은 석영안산암 내지 석영안산암질응회암으로 판명되었다. 석영안산암과 석영안산암질응회암은 암석의 공학적 특성에서 안산암질암에 비해 양호하며 특히 풍화 변질에 대한 저항력이 안산암에 비해 우세하며 부분적으로 열접촉변성작용으로 혼펠스화되어 암반의 상태는 매우 양호할 것으로 추정된다.

선행연구의 흑운모화강암은 조직과 포유체의 유무에 따라 구별이 되며 암반의 공학적 특성을 고려할 때 포유체를 함유하는 화강암은 입도와 조직에서 분명한 차이를 보여주며 이러한 차이는 암석 및 암반의 강도 특성과 밀접한 연관성을 가지게 된다. 현지 암반의 경우 반상화강암과 포유체를 함유한 포획화강암의 풍화정도는 육안으로도 현저한 차이를 보이며, 특히 반상화강암에서는 녹니석, 운모류와 같은 풍화산물과 방해석도 상당량 관찰된다(그림 4).

3.3 지질공학적 특성

지표에 노출된 39개 지점의 노두에서 불연속면에 대한 기재를 하였으며 지질학적 특성과 관련하여 지질공학적 특성을 고찰하였다. 연구지역에서 양산단층 인접부(서부지역)는 석영안산암과 석영안산암질응회암류가 분포하며 탈유리화에 의한 재결정 작용과 후기 화강암류의 관입에 의한 접촉변성작용으로 암석 자체는 양호한 강도 특성을 가진다. 그러나 양산 단층과 인접하여 상당 부분이 심하게 파쇄되어 있고 풍화 및 변질되어 나타난다. 양산 단층대와 거의 평행한 Y-전단과 이와 거의 수직으로 사교하는 북서 방향의 R'-전단의 선구조선이 주로 발달하나, 노두 단위의 불연속면 특성에서는 북서 방향의 R'-전단을 지시하는 절리군이 보다 우세하게 발달하고 있다.

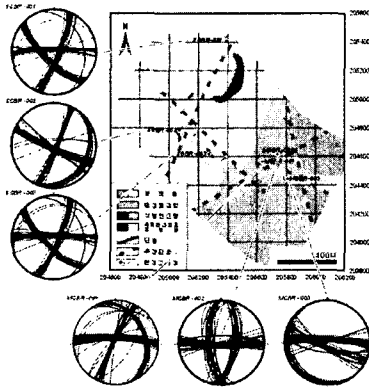


그림 5. 노두로부터 측정된 절리의 방향과 지질

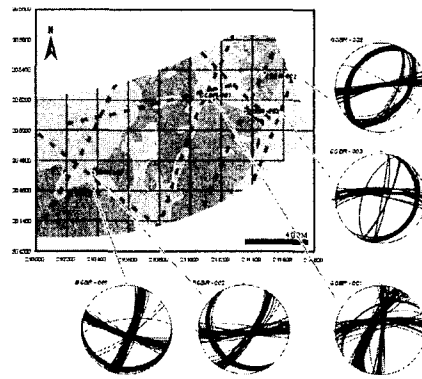


그림 6. 노두로부터 측정된 절리의 방향과 지질

양산단층에서 멀어짐에 따라 구성암석은 석영안산암질응회암류가 넓게 분포하며 화강암류의 관입에 의한 변성작용으로 혼펠스(hornfels)화 되어 있다. 또한 유리질 물질이 탈유리화(devitrification) 되어 미립의 석영, 장석으로 결정화됨에 따라 접촉변성작용의 영향과 함께 풍화에 대한 저항력이나 암석 단위의 강도면에서 우수한 특성을 보이고 있다. 선구조선은 북북동 방향의 Y-전단과 북서 방향의 R'-전단이 발달하고 있어 양산단층인접부와 유사한 방향성을 지시하며 노두에서 관찰되는 불연속면은 Y-전단에 비해 R'-전단의 절리군이 우세한 분포를 보여준다 (그림 5).

동래단층 인접부(동부지역)는 미문상화강암과 반상화강암이 기반을 형성하며 특히 미문상화강암은 풍화에 강한 알칼리 장석, 석영 등의 우세한 광물 조성과 세립질이라는 조직적 특성으로 인해 타 화강암류에 비해 양호한 강도 특성을 보인다. 불연속면은 동래 단층대와 평행한 Y-전단과 북서 방향의 R'-전단의 선구조가 발달하고 있다. 불연속면의 방향성에서는 위 전단 방향을 지시하는 절리군 뿐만 아니라 동북동 방향의 T-전단을 지시하는 절리군이 발달하기도 한다 (그림 6).

그림 7은 연구지역의 중앙부의 결과로 양산단층과 동래단층의 사이에 위치한다. 산정부에 소규모의

안산암과 반상화강암이 산출하며 포획화강암이 전역을 점하고 있다. Y-전단 방향의 단층대를 따라 염기성 암맥군(dike swarm)이 발달한다. 포획화강암으로 구성된 서부지역은 전체적으로 약간 풍화(slightly weathered, SW) 등급의 풍화 정도를 보이며 불연속면 간격이 조밀한 부분에서는 보통 풍화(moderately weathered, MW)의 등급이 관찰된다. 불연속면은 동부지역으로 갈수록 Y-전단의 절리군이 우세해지는 경향성을 보인다. 중앙부는 반상화강암이 산출되는 구간으로서 포획화강암 보다 불량한 암반 특성을 보인다. 전반적으로 약간 풍화(slightly weathered, SW) 등급의 암반이 우세하며 보통 풍화(moderately weathered, MW) 등급의 영역이 상당 부분을 점하고 있으며 이에 따라 강도 특성에서도 포획화강암에 비해 다소 떨어지는 값을 보인다. 이는 두 암체가 유사한 광물 조성과 암석 조직을 가지고 있으나, 입도 특성에서는 반상화강암이 보다 조립인 것에서 기인된 것으로 사료된다. 선구조선 분포에 있어서는 동북동 방향의 T-전단과 서북서 방향의 R'-전단의 선구조선이 주로 발달하는 구간이나, 측정된 불연속면의 방향성에서는 선구조와는 다소 상이한 경향을 보인다. 즉, 전체적으로 연구 지역에 다소 드물게 나타나는 P-전단 방향의 절리군이 우세하게 나타나고 있음이 확인되고 있다.

동부지역은 단층의 분포가 집중되어 있는 구간으로 이로 인해 전체적으로 불균질한 암반 특성을 보인다. 풍화 등급으로는 약간 풍화(slightly weathered, SW) 등급이 우세하나 절리간격이 조밀해지는 부분에서는 보통 풍화(moderately weathered, MW) 등급의 암반이 발달한다. Y-전단의 선구조가 발달하며 동북동 방향의 T-전단과 서북서 방향의 R'-전단이 부수적으로 분포한다. 불연속면은 선구조 분포와 유사하며, Y-전단과 R'-전단의 절리군이 가장 우세하다.

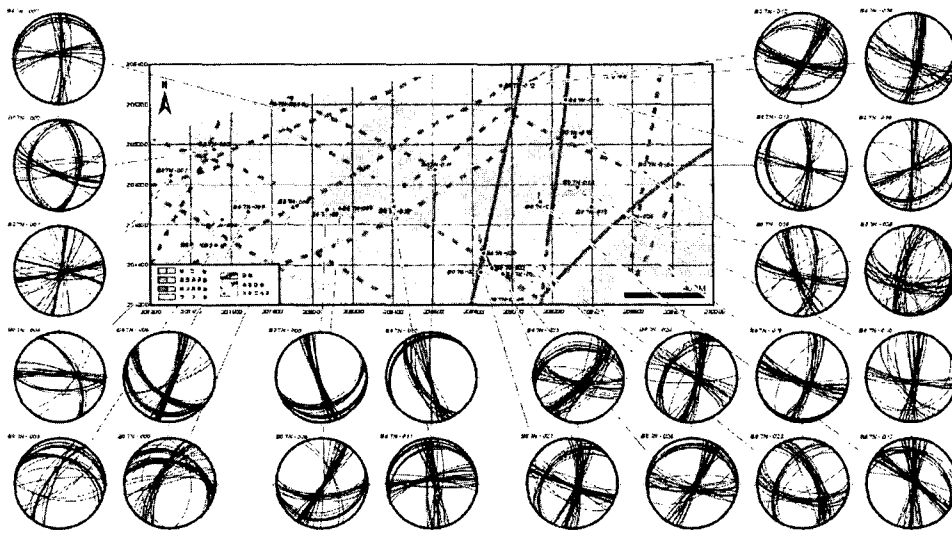


그림 7. 연구지역 중앙부에 분포하는 노두로부터 측정된 절리의 방향과 지질

상기의 연구에서 획득된 불연속면은 주향이동단층에 의해 형성되는 전단 단열계와 동일한 분포를 보여준다. 연구지역에서 북북동 방향으로 발달하는 양산단층과 동래단층은 수평 응력(외력)으로 작용하였으며 이 단층운동에 의해 여러 방향의 단열들이 발생한 것으로 추정된다. 연구지역의 단열은 크게 Y-전단, R-전단, R-공액전단, T-전단이 빈도수에서 우세하며 이들 전단단열은 위치에 따라 빈도수에서 차이를 보여준다. 양산단층의 과쇄대에 부분에서 주 응력과 평행한 방향의 Y-전단이 우세하며 단층에 멀어짐에 따라 서북서 내지 북서 방향의 R'-전단(R-공액전단)의 빈도수가 증가한다. 양산단층과 동래단층의 사이의 중앙부 지점은 Y-전단, R-단열, R'-단열, T-단열이 비슷한 빈도수를 나타내며, 서부의 동래단층에 인접하면서 외력과 평행한 Y-단열이 주도적인 단열로 변화된다. 한편 외력과 같은 성격(우향주향이동)을 가진 Y-단열과 R-단열, T-단열은 주단층인 양산단층과 동래단층이 활동시기 동안 지속적으로 성장하여 연장성이 우수한 반면 상이한 운동 성격(좌향주향이동)을 가진 R'-전단의 경우 양산단층과 동래단층의 활동에 따라 하나의 선구조로 발달하지 못하고 단속적인 형태를 가지게 되었던 것으로 해석된다.

3.4 지역경계(zoning)의 설정

연구에서 수행된 암석 분대, 불연속면의 해석, 선구조선 분석, 지구화학 분석을 토대로 지질도를 작성하였으며 이를 기초로 설계 및 제반 조사를 위한 지역경계(zoning)를 설정하였다. 표 1에서 Zone 1은 단층에 인접한 부분으로 구성 암석은 석영안산암, 석영안산암질응회암이며 단열계는 양산단층의 특성이 잘 반영한다. Zone 2는 석영안산암과 열변성작용에 의한 혼펠스로 구성되며 단열계는 양산단층의 영향이 남아있으나 그 영향이 줄어드는 경향을 보여주는 지역으로 위치에 따라 주도적인 단열의 방향이 다르게 나타난다. Zone 3은 R-공액전단단열이 주 단열에 해당하며 해당하며 Zone 4는 반상화강암과 포획화강암으로 구성되며 Y-전단단열, R-전단단열, R-공액전단단열, T-전단단열이 혼재되어 나타난다. Zone 5는 불균질한 암상을 보여주며 Y-전단단열이 우세한 지역에 해당한다. Zone 6 동래단층에 인접한 부분으로 동래단층과 나란한 방향의 Y-전단단열이 지배적이며, Zone 7은 동래단층의 파쇄대에 수렴하는 부분으로 단층의 특성이 반영되고 있는 부분이다.

표 1. 지역별 암상 및 단열특성.

구 분	주요 단열	암상
ZONE 1	Y-전단단열	석영안산암 석영안산암질응회암
ZONE 2	R-공액전단, Y-전단단열	석영안산암질응회암 혼펠스
ZONE 3	R-공액전단, T-전단단열	포획화강암
ZONE 4	각 단열 혼재	반상화강암 포획화강암
ZONE 5	Y-전단단열 R-전단단열	불균질
ZONE 6	Y-전단단열	미분상화강암 반상화강암
ZONE 7	Y-전단단열	반상화강암

4. 결론

한반도 동남부 지역에서 지질학적 특성과 지질공학적인 특성을 고려한 지질도를 작성하였으며 이것으로부터 지역경계를 설정하였다. 이렇게 구분된 지역경계들은 서로 다른 암석과 단열계의 특성, 풍화정도 등의 지질공학적 요소를 반영하는 것으로서 건설공사에 있어 지질공학적인 특성을 반영하는 지질조사가 요구된다.

참고문헌

1. 이민성, 강필중(1964), "한국지질도-양산도폭(1:50,000)", 국립지질조사소.
2. American Geological Institute(1982), "AGI data sheets".
3. Davis, G. H., Bump, A. P., Garcia, P. E., and Ahlgren S. G.(2000), "Conjugate Riedel deformation band shear zone", Journal of Structure Geology, v. 22, pp. 169-190.
4. ISRM(1978), "Commission on standardization of laboratory and field tests. Suggested methods for determining quantitative description of discontinuities in rock masses", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., v. 15, pp. 319-368.
5. ISRM(1981), "Commission on classification of rocks and rock masses. Basic geotechnical description of rock masses", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., v. 18, pp. 85-110.
6. Price, N. J. and Cosgrove, J. W. (1990) "Analysis of geological structure", Cambridge Press.
7. The Geological Society of America(1991), "Rock-color chart".