

## 울산 이진리 미문상화강암의 암석학적 및 지형학적 특성 연구

김선웅 · 김항목 · 황병훈 · 양경희 · 김진섭\*

부산대학교 지질환경과학과

### Petrologic and Geomorphologic Characteristics of Micrographic Granite in the Ijin-ri Area, Ulsan

Sun-Woong Kim, Haang-Mook Kim, Byoung-Hoon Hwang, Kyounghee Yang and Jin-Seop Kim\*

Department of Geological Science, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**요약:** 울산시 이진리 지역에 분포하는 미문상 화강암에 대한 암석학적 특징이 지형형성에 미치는 영향을 분석하였다. 연구지역의 화강암은 대부분 담갈색 내지 회백색을 띠며, 1~2 mm 내외의 중립 내지 세립의 석영 및 정장석으로 구성되어있다. 대부분 석영과 정장석이 연정을 형성하여 미문상 조직을 보인다. 미문상화강암이 분포한 연구지역에는 인셀베르그, 토르, 타포니, 나마와 같은 미지형이 관찰된다. 연구지역의 북측에는 타포니가, 남측에는 나마가 주로 발달해 있으며, 연구지역 전역에 걸쳐 플루팅 코어와 레이즈드 림이 나타난다. 미문상 화강암의 조직적 특징을 분류기준으로 하여 외대(A)와 내대(B)로 구분하였으며, 미문상 조직이 내대에서 외대로 갈수록 뚜렷해지는 경향을 보였다. 지형학적 특징이 이에 부합하여 나타난다. 즉, 외대의 지형학적 특징은 범바위 같은 타포니로 이루어진 미지형이 주로 나타나며, 내대는 차일암과 같은 대(platform)로 대표되는데 이는 암석학적 특성이 관련된 것으로 판단된다. 연구지역 전역에 걸쳐 나타나는 플루팅 코어, 레이즈드 림 등의 특이지형은 미문상 화강암의 성인과 관련된 정동의 발달과 연관되어 있으며, 타포니, 나마 등의 미지형 형성에도 기원적인 요소로 작용했던 것으로 해석된다. 암석의 입도와 정동의 분포 상태 등의 조직적 차이가 미지형의 발달에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

**핵심어:** 미문상 화강암, 미아롤리틱 정동, 타포니, 토르, 나마, 플루팅코어

**Abstract:** This study illustrates the relationship between the petrographic characteristics of micrographic granite and the topographic features around Ijin-ri. Light-brown to light-gray granite is composed of intergrown fine-grained quartz + orthoclase, displaying micrographic textures. Mirolitic cavities are abundant. Many micro-landforms including tor, tafoni, and gnamma occurred in the micrographic granite of the study area. Tafoni is dominant in the north and gnamma is dominant in south. From our study of the occurrence and textural properties, two alteration zones were clearly identified; one is an external zone (A) characterized by abundant of small sized mirolitic cavities and the other is an internal zone (B) having them less than zone A. The former is dominant in north, and the latter is dominant in south. Particular geomorphologic features such as fluting cores and raised rims are present in the Ijin-ri area. This suggests that development of mirolitic cavities played an important role in the formation of the various geomorphologic features. Consequently, the petrogenesis of the micrographic granite is related to geomorphologic features in the external zone typified by abundant tafoni such as the tiger rock, and the formation of a platform as micro-landforms is influenced by the textural differences of host rock in the internal zone.

**Key words:** micrographic granite, mirolitic cavities, tafoni, tor, gnamma, fluting core

\*Corresponding author

Tel: 051-510-2253

E-mail: jsekim@pusan.ac.kr

## 서 언

우리나라 화강암의 조직과 관련된 성인 연구는 이미 많은 학자들에 의해 진행되어 왔으며(이상만, 1972; 이준동, 1987, 1991; 이종익, 1992; 김규한과 이화정, 1996; 좌용주, 1997; 황병훈, 1995, 2004; 이준동과 황병훈, 1999; Lee, 1991), 화강암의 풍화 미지형과 그 형성원인에 관한 연구는 최근에야 활발히 진행되고 있다(장호, 1983; 김주환, 2002; 조기만과 좌용주, 2005; 권동희, 2007). 그러나 이는 대부분 화강암의 일반적인 지형형성 작용과 미지형의 형성 기구 즉, 풍화작용 등의 외부적 요인에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 다양한 풍화과정을 거쳐 현재의 미지형이 형성되는 데에 대한 연구초점은 지형형성에 작용하는 기후적인 요소나 침식에 집중하여 다방면에서 진행되고 있다. 그러나 마그마의 고화에 의해 형성되는 화강암의 조직적 특징에 따른 지형형성에 관한 연구는 거의 없다.

울산광역시 울주군 온산읍 이진리 일대의 소규모 두각지(headland)에 발달해 있는 차일암과 범바위 그리고 그 주변의 지형 경관을 지질학적 특성을 고려하여 지형학적 특성과의 관련성을 조사·분석하였다. 이진리 해안에는 미문상 화강암(micrographic granite)이 분포하며 이 화강암 지역에 형성되는 미지형은 다른 암석의 그것보다 현저한 다양성을 보이므로 특이한 형상을 나타내고 있다.

이진리의 화강암은 동해와 접하고 있어 바다로부터 불어오는 몬순의 영향으로 습윤한 기후 환경 하에 놓여 있어 풍화가 용이하여 심층풍화 되어 있다. 화강암은 지하 심부에서 형성되어 지표로 드러나면서 풍화과정을 겪게 된다. 연구지역 일대에 분포한 미문상 화강암은 단층이나 파쇄대의 형성에 따른 압력감소로 인해 마그마가 빠져 나와 빠른 속도로 고상선이 떨어지는 과냉각에 의해 석영과 장석이 동시에 형성되는 천소관입양상(Lee, 1991)과 불균질 혼합, 연성변형작용 그리고 용식작용으로 형성될 수 있다고 하였다(황병훈, 2004). 남해일대와 울산지역에서 대규모의 미문상 화강암을 관찰할 수 있다.

본 연구는 울산 이진리 지역의 미문상 화강암을 대상으로 하여 암석기재적 특징과 미지형을 비교분석하여, 암석학적 특성이 미지형 형성에 어떤 영향을 끼치는지에 대한 것을 파악하고자 한 것이다. 이러한 연구는 마그마의 진화과정에 따른 암석의 조직적 차

이가 지형경관의 형성에 주는 영향과 이에 따른 지형학적 환경에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

## 연구방법

연구지역의 전체적인 위치파악과 전반적인 지질분포 확인을 위하여 지질도폭(1:50,000)과 지형도(1:25,000)를 분석하였다. 또한 지질구조를 파악하기 위하여 위성영상을 분석하였으며, 수치지형자료(DEM)를 분석하여 전체 지질구조적 특성을 파악하였다. 암석학적 특징을 파악하기 위해 야외에서 채취한 10여 개의 시료에 대하여 박편제작 및 현미경 관찰을 실시하였다. 이중 대표적인 신선한 시료에 대하여 부경대학교 X선 분석실의 XRF (SHIMADZU, XRF-1700)와 서울의 한국기초과학지원연구원 서울분소에서 ICP-MS (Elan 6100/Perkin Elmer) 분석을 실시하여 화강암의 미량성분 원소의 조성을 분석하였다. 이를 토대로 하여 암석기재적 특징과 다양한 전암 화학분석치를 이용한 지구화학적 특징을 이용하여, 화강암의 성인을 규명하였으며, 특히 미문상조직과 미아롤리틱 정동(miarolitic cavity)의 성인을 밝혔다.

연구지역 일대 해안 지형의 개별적인 조사(형상, 규모, 형성과정)를 실시하였다. 연구지역의 일반적인 화강암 풍화지형에 대한 내용을 조사하고, 연구지역에 나타나는 다양한 풍화지형의 종류 및 특징을 비교분석하며, 이들의 성인을 규명하였다.

## 일반지질

연구지역은 울산광역시 울주군 온산읍 이진리 산 55-9, 68번지 주변 해안일원으로 북위 35°25'25.9부터 35°26'19.6까지, 동경 129°21'21.0부터 129°22'17.6까지가 해당되며, 행정구역상 울산광역시 울주군 온산읍 이진리에 해당된다. 연구지역의 지질은 거의 백악기-제3기 화강암질 암석으로 구성되어 있다.

본 논문에서 사용된 도폭조사보고서로 1:50,000 방어진도폭(박양대와 윤행대, 1968)으로 이것에 의해 일반지질, 지질구조, 광상학적 보고가 선행되었다.

연구지역의 지질은 백악기 하양층군의 퇴적암류와 이들을 관입한 백악기말 내지 제3기초의 불국사 화강암류에 속하는 화강암, 그리고 이들을 피복하는 충적층으로 구성되어 있다(Fig. 1). 퇴적암류는 화강암의 관입에 의하여 호은펠스화 되어 있다. 연구지역은 대

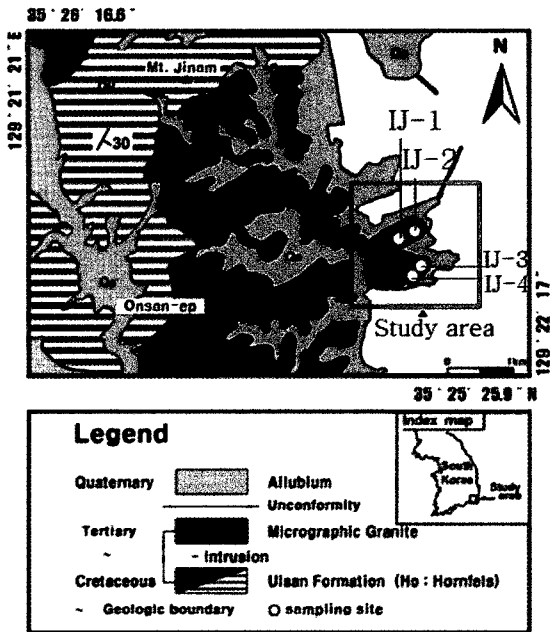


Fig. 1. Geological map of the study area (Modified from Hwang et al., 2004).

부분 화강암으로 구성되어 있으며, 약간의 층적층이들을 피복하고 있다.

황병훈(2004)에 의하면 미분상 화강암은 주로 연구 지역의 중앙부에 소규모 암체로 나타나며, 기장, 좌천 지역에도 소규모 암체로 분포하고 있다. 이것의 색은 담갈색 내지 담홍색을 띠고, 입자의 크기는 극히 세립질이며, 현미경하에서 석영과 정장석의 미분상 조직이 잘 관찰된다. 화강암의 유색광물의 함량은 0.3% 이하로 주로 흑운모로 구성되어 있고 미분상 연정의 크기와 반정의 함량정도에 따라 다양한 양상을 보인다.

### 암석학적 특성

화강암은 대부분 담갈색 내지 회백색을 띠며, 1~2 mm 내외의 중립 내지 세립의 석영 및 정장석으로 구성되어 있다. 유색광물로는 소량의 흑운모가 함유되어 있으나, 거의 1~2% 내외로 아주 함량이 적다. 석영과 정장석은 대부분 연정을 형성하여 미분상 조직

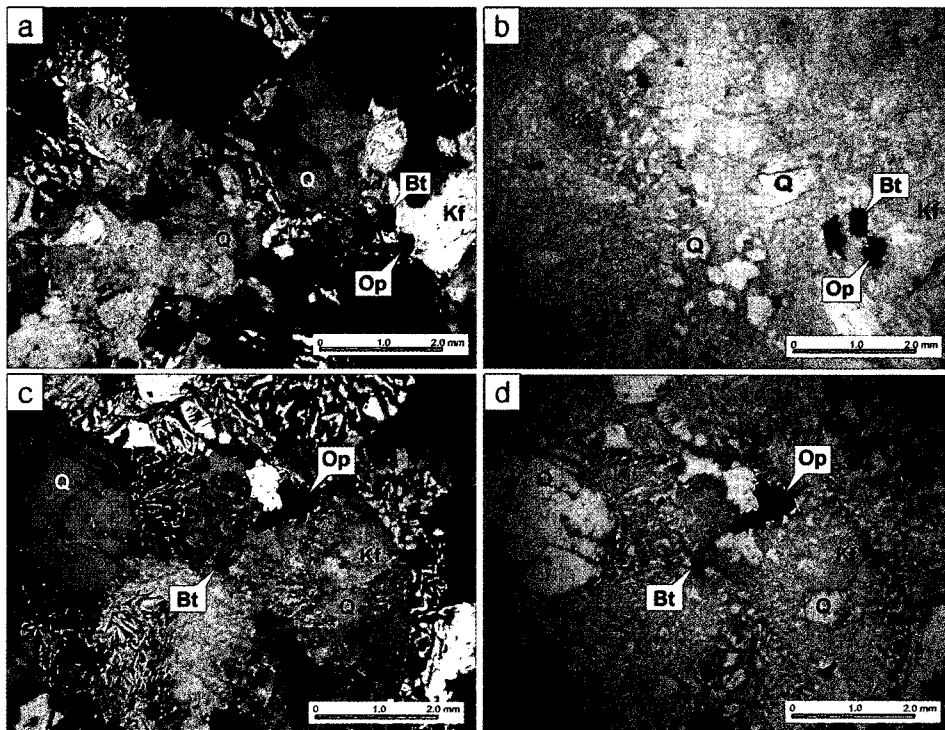


Fig. 2. Photomicrographs showing characteristic textures of micrographic granite in the study area: closed nicol (a), open nicol (b) of the previous picture, micrographic and perthitic textures (c): closed nicol and open nicol of the previous picture, c (d). Q: quartz, Kf: K-feldspar, Bt: biotite, Op: opaque mineral.

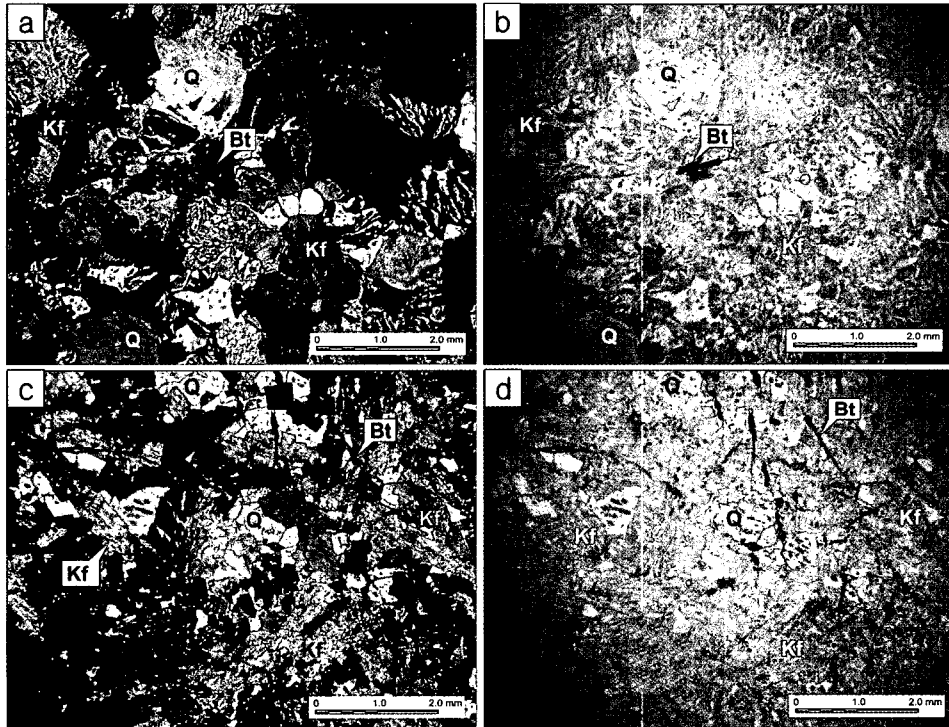
을 보인다. 연구지역 화강암은 미아롤리틱 정동이 많이 발달해 있으며, 대부분의 정동 속에는 자형의 석영 및 정장석 결정이 성장해 있는 특징을 보인다.

### 현미경관찰

연구지역의 화강암 10 여개에 대하여 박편제작 및 현미경관찰을 실시하였으며, 이중 4 개 시료(Ij-1, 2, 3, 4)에 대하여 경하에서의 특징을 기술하였다. 대부분의 박편시료에서 주로 석영과 정장석으로 구성되어 있음이 관찰되었으며, 이들은 미문상 조직을 보이는 것이 특징이다. 유색광물로는 1% 내외의 흑운모가 함유되어 있으며, 간혹 불투명광물과 함께 나타난다.

연구지역 화강암의 주구성 광물은 주로 석영과 페타이트질 장석으로 구성되어 있으며, 특히 석영과 정장석이 연정으로 나타나는 미문상 조직을 잘 보여준다(Fig. 2, 3). IJ-1 시료는 석영과 정장석이 1~2 mm 내외의 반자형 내지 타형으로 나타나며, 거의 대부분이 미문상조직의 연정으로 나타난다. 유색광물로는 흑

운모가 0.5 mm 이내의 작은 결정으로 극소량 함유되어 있으며, 간혹 불투명광물도 함께 나타난다(Fig. 2a, 2b). IJ-2는 대부분 2~3 mm 내외의 석영 반정이 고루 분포하고 있다. 전체적으로 미문상 조직을 띠는 석영과 정장석의 연정이 우세하며, 간혹 용식된 석영의 단결정이 관찰된다. 유색광물로는 0.3 mm 내외의 흑운모가 극소량 함유되어 있으며, 1 mm 정도의 불투명광물과 함께 수반되어 나타나기도 한다(Fig. 2c, 2d). IJ-3은 일부 석영과 정장석의 문상조직을 육안으로도 관찰할 수 있으며, 유색광물의 함량은 매우 낮다(Fig. 3a, 3b). IJ-4는 육안으로 거의 식별이 힘들 정도로 작은 세립 석영결정이 산재되어 있으며, 일부 석영과 장석의 연정으로 추정되는 부분이 있으나, 변질작용으로 인해 미문상조직을 식별하기는 어렵다(Fig. 3c, 3d). 일부 광물들 내에 침상의 흑운모들이 불규칙한 방향성을 가지며 성장하고 있다. 연구지역 화강암에 모드분석을 실시한 결과를 QAP 삼각도에 도시하면(Table 1, Fig. 4), 대부분 사장석 함량이 10% 이내로 알칼리장석 화강암의 영역에 도시된다.



**Fig. 3.** Photomicrographs showing characteristic textures of micrographic granite in the study area micrographic textures: closed nicol ( $\times 20$ ) (a), open nicol of the previous picture, a (b), fine grained granite textures: closed nicol (c) and open nicol of the previous picture, c (d). Q: quartz, Kf: K-feldspar, Bt: biotite, Op: opaque mineral.

**Table 1.** Modal compositions of the micrographic granite in the study area

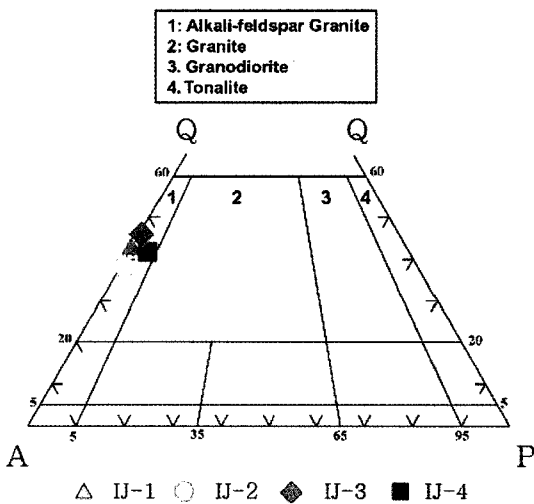
| Rock          | Ij-1   | Ij-2   | Ij-3   | Ij-4   |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Quartz        | 37.60  | 38.10  | 36.00  | 35.20  |
| K-feldspar    | 60.30  | 59.70  | 61.10  | 62.80  |
| Plagioclase   | 0.50   | 1.25   | 1.00   | 0.60   |
| Biotite       | 0.40   | 0.20   | 0.55   | 1.10   |
| Chlorite      | 0.00   | 0.10   | 0.15   | -      |
| Opque mineral | 0.70   | 0.30   | 0.70   | 0.30   |
| Others        | 0.50   | 0.35   | 0.50   | -      |
| Total         | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

**Table 2.** Major element oxides(wt.%) and CIPW normative minerals of the micrographic granite in the study area

| Rock                           | Ij-1  | Ij-2  | Ij-3  | Ij-4  |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 75.41 | 77.12 | 77.28 | 77.22 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.79 | 12.47 | 12.83 | 12.48 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.20  | 0.11  | 0.12  | 0.11  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.96  | 0.67  | 0.25  | 0.78  |
| MnO                            | 0.03  | 0.04  | 0.04  | 0.03  |
| MgO                            | 0.20  | 0.03  | 0.01  | 0.00  |
| CaO                            | 0.66  | 0.21  | 0.15  | 0.21  |
| Na <sub>2</sub> O              | 4.17  | 4.30  | 3.54  | 4.30  |
| K <sub>2</sub> O               | 3.95  | 4.41  | 4.39  | 4.30  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.05  | 0.01  | 0.00  | 0.00  |
| L. O. I                        | 0.59  | 0.53  | 1.12  | 0.32  |
| Total                          | 99.01 | 99.89 | 99.74 | 99.75 |

| CIPW normative minerals |      |       |       |       |
|-------------------------|------|-------|-------|-------|
| Q                       | 34.7 | 34.71 | 40.07 | 35.18 |
| Or                      | 23.8 | 26.26 | 26.34 | 25.6  |
| Ab                      | 35.8 | 36.59 | 30.35 | 36.57 |
| An                      | 3.0  | 0.99  | 0.76  | 1.05  |
| C                       | 0.6  | 0.25  | 2     | 0.36  |
| Hy                      | 1.4  | 0.71  | 0.15  | 0.84  |
| Mt                      | 0.3  | 0.17  | 0.08  | 0.19  |
| Il                      | 0.4  | 0.21  | 0.23  | 0.21  |
| Ap                      | 0.1  | 0.02  | 0     | 0     |
| D.I                     | 94.3 | 97.56 | 96.96 | 97.35 |



**Fig. 4.** Q-A-P diagram of the granitic rocks in the study area (Streckeisen, 1977). Symbols: red triangle, IJ-1; yellow circle, IJ-2; green diamond, IJ-3; blue square, IJ-4.

**주성분원소**

연구지역 화강암의 화학조성을 알아보기 위하여, 비교적 신선한 시료(IJ-1, IJ-2, IJ-3, IJ-4)에 대하여 X-선 형광분석을 실시하였으며, 주성분 산화물 분석치(wt.%)과 CIPW norm 광물 조성을 Table 2에 나타내었다.

본 화강암의 분석치를 다양한 화성암의 성인 판별도에 도시해 보면(Fig. 5), 연구지역 화강암을 형성한 마그마는 비알칼리 계열의 칼크-알칼리 계열에 해당된다. 또한 알칼리 포화도에서는 피알루미나 영역에 도시되며, I-형 화강암류에 해당되는 것으로 나타난다.

또한 연구지역 화강암의 CIPW norm 광물 성분을 Q-Ab-Or 삼각도에 도시해보면, 0.5~2 kb의 저압을 나타낸다(Fig. 6a). 경상분지 내 백악기말 내지 제3기초

화강암류들이 대부분 이런 낮은 압력 하에서 형성된 천소관입암의 특징을 나타내며, 특히 연구지역 화강암과 유사한 미분상조직을 나타내는 화강암류에 이런 낮은 압력의 영향이 잘 나타나는 것으로 알려져 있다(진명식, 1981; 이종익, 1992, 1994; Jin, 1980, 1985; Jin et al., 1981; Hong, 1987; Lee, 1991). Q-Ab-Or 삼각도에서 구한 압력을 이용하여 화강암질 마그마의 고화온도를 추정하여보면, 평균 1kb의 수증기압 하에서 740~820°C의 온도를 나타낸다(Fig. 6b). 따라서 본 연구지역 미분상 화강암은 마그마의 분화말기에 형성된 것으로 매우 낮은 압력 하에서 형성된 화강암임을 알 수 있다.

**지형학적특성**

**화강암 지형**

화강암은 일반적으로 지하심부에 존재 할 때는 풍화침식에 강한 면을 보이나, 지표에 드러나면서 수분과의 접촉빈도가 높아 질 경우, 다른 암석에 비해 풍

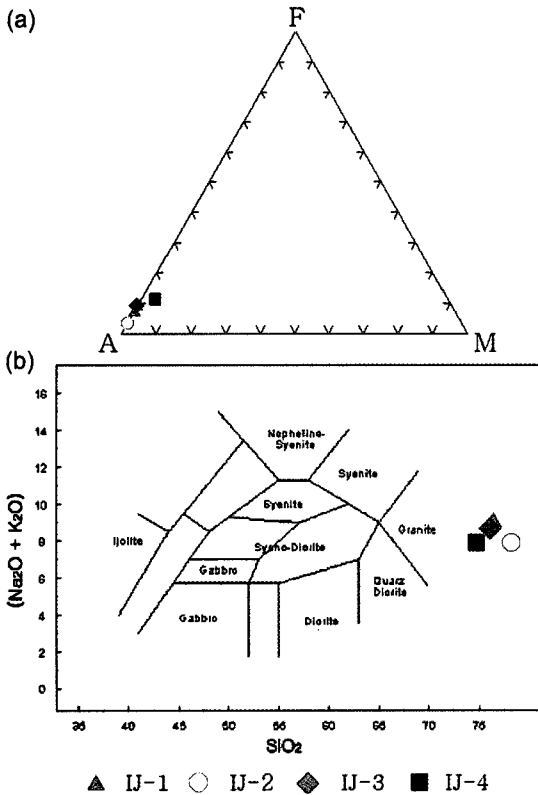


Fig. 5. AFM and TAS diagrams of the micrographic granite in the study area. Symbols are same as those in Fig. 4.

화정도가 높아진다. 현재 우리나라에서 발견되는 화강암은 그 형성시기에 따라 중생대 쥐라기 말에 관입한 대보 화강암과 중생대 백악기 말기에 관입한 불국사 화강암의 두 가지 유형으로 구분된다.

화강암 풍화지형에 관한 연구는 주로 풍화혈에 집중하고 있으며 이는 기후변화와 관련하여 해석되고 있다. 현재 발견되는 화강암 풍화지형은 과거 기후를 반영한 화석지형으로 해석되고 있으나, 최근 연구를 통해 현재의 기후 환경 하에서도 지속적으로 성장하고 있는 것으로 연구되었다. 장소에 따른 풍화지형의 형성속도가 다른 점을 근거로 하여 과거의 화석지형이 아닌 현재(Recent)만으로도 충분히 발달 가능하다 (박경근, 2007).

**이진리 해안의 지형**

이진리 해안의 북쪽으로 온산항 제 1부두와 울산 신행만이 발달하며, 동쪽 해안에는 암석해안이 길게

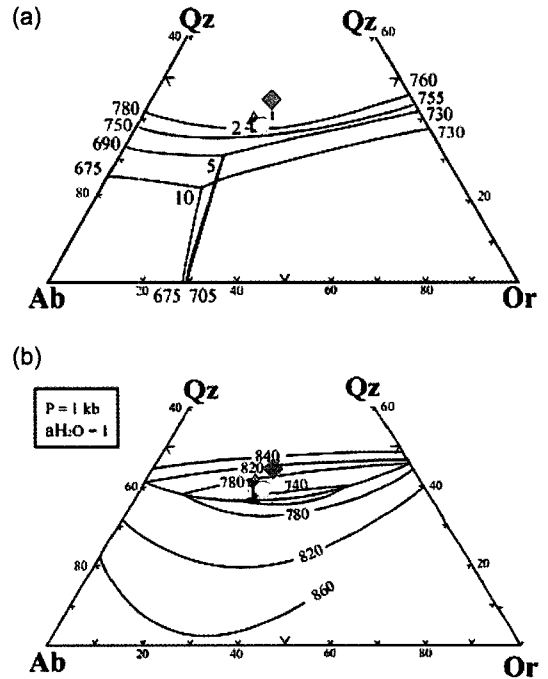


Fig. 6. (a) Normative Q-Ab-Or triangular diagram showing presumption of pressure and (b) isobaric equilibrium diagram of the system Q-Ab-Or showing presumption of temperature in 1kb pressure (Tuttle and Bowen, 1958). Symbols and abbreviations are the same as those in Fig. 5.

연장되며 좁은 만입에 자갈해안이 그리고 이곳과 연장하여 범바위 해안과 차일암 해안에 암석해안이, 남 쪽에도 암석 해안이 발달하고 있다. 해발 10m부근에 해성 단구면이 발달하고, 40~50 m 고도에 단구면이 발달하고 있다. 심층 풍화에 따른 토양화가 진전되어 암설이 제거되면서 핵석이 지표에 노출되어 인셀베르 그 지형이, 그리고 토르가 도처에 산재하고 있어 전형적인 화강암 풍화 지형이 형성되어 있다. 해안선의 길이는 약 3.7 km에 이르며, 토양은 화강암의 풍화토로서 사질~사력질 또는 사질양토이나 대체로 해안에 위치한 단구면에는 염분이 침투하여 염류토가 분포한다.

**미지형분석**

연구지역의 기반암인 미문상 화강암에는 물리적 풍화작용인 하중제거에 의한 신장력의 작용으로 층상절리가 발달되어 있으며, 연구지역 주변에 분포하는 울산 및 동래단층 등의 대단층대의 발달에 의해 수반된

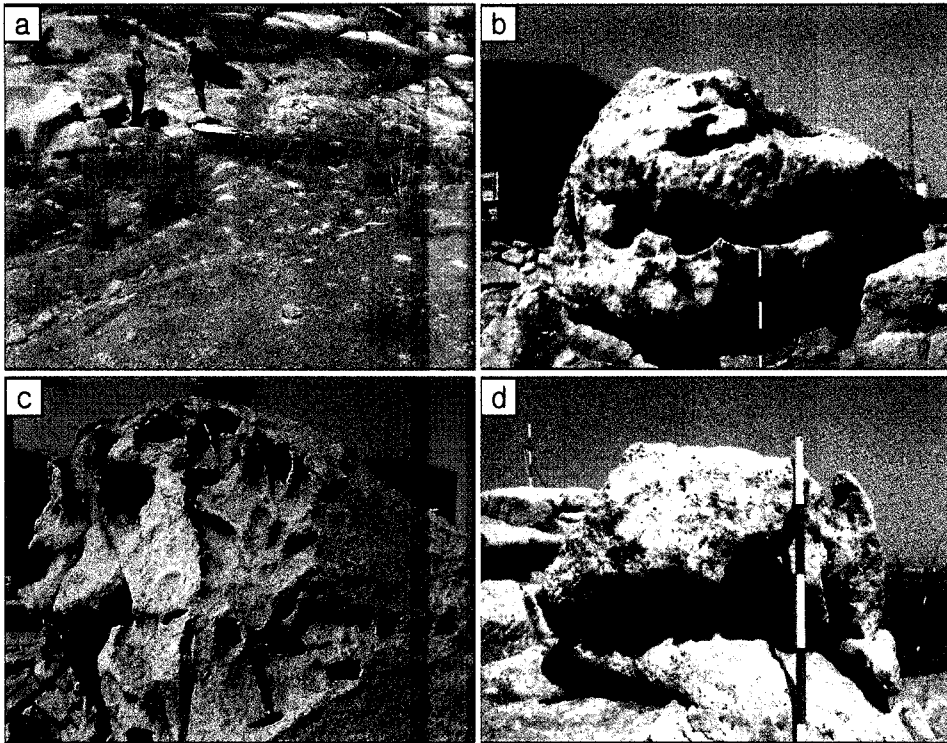


Fig. 7. Characteristic features of microlandform at Ijin-ri showing weathered core stone(a) and Beom ba-wi(b, c, d).

것으로 사료되는 전단절리들이 수직 방향으로 잘 발달되어 있다. 이런 수직 및 수평 절리들의 발달은 화강암의 절리면을 따라 수분의 침투와 결정성장 및 동결쇄기작용, 그리고 식생의 작용 등으로 차별적인 침식이 진행되고, 절리면으로부터 풍화가 진행되어 풍화잔류물인 화강암 핵석을 형성하게 된다(Fig. 7a).

토르는 심층풍화에 의해 풍화를 적게 받아 잔류된 둥근 기반암들이 모여서 남아있는 지형을 말하며, 연구지역에서 토르는 기후작용이론에 부합되어 형성된 지형으로 판단된다. 이는 1단계-심층풍화에 의한 핵석의 발달, 2단계-핵석의 노출에 의한 토르 발달의 순서를 가진 것으로 생각되며, 심층풍화의 시기가 근본적으로 달랐다는 견해에 따른 것으로 1단계에는 장석 풍화에 유리한 제 3기말 또는 제 4기 간빙기 동안 온난다습한 기후 하에서 절리 면을 따라서 차별적인 화학적 심층풍화로 토양모재와 핵석이 발달하고, 2단계에서는 제 4기 홍적세 주빙하 시기동안 한랭한 반건조기후 하에서 기계적인 풍화에 의해 토양모재의 제거로 토르가 노출된다는 것이다(조기만, 2004). 연구지역의 토르의 형성 과정도 기반암인 화강암이 심

층풍화 이후 잔류된 핵석들이 그 자리에 남아 쌓여서 형성된 것으로 판단된다. 따라서 토르 형성에는 절리군이 가장 큰 영향을 미쳤던 것으로 사료된다. 또한 토르의 원마도는 semi-round 형이 가장 많으며, 형태는 주상형인 tower형과 table hill 형이 주로 분포하고 있다.

연구지역에 나타나는 타포니는 매우 다양한 양상으로 나타나는 복합형에 해당되며, 특히 해안가에 위치하고 있으므로 해수에 의한 염풍화작용이 가장 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 연구지역의 동부 해안가에 위치하는 범바위는 타포니에 의해 형성된 지형이다(Fig. 7b, c, d).

연구지역의 타포니의 형성의 기원은 Fig. 8의 나머의 형성의 원인과도 그 기원이 같다고 판단된다. 동결과 용해 등의 물리적인 풍화가 작용할 때 이는 차별침식으로 기반암에서 이탈 할 가능성이 있으며 석영이 위치한 정동은 그 크기에 상관없이 성장하여 주변의 정동과 함께 하나의 벌집구조를 형성하고 내부가 풍화되면서 하나의 타포니로 발달하게 된다.

이진리 해안의 타포니가 다양한 양상으로 관찰되는

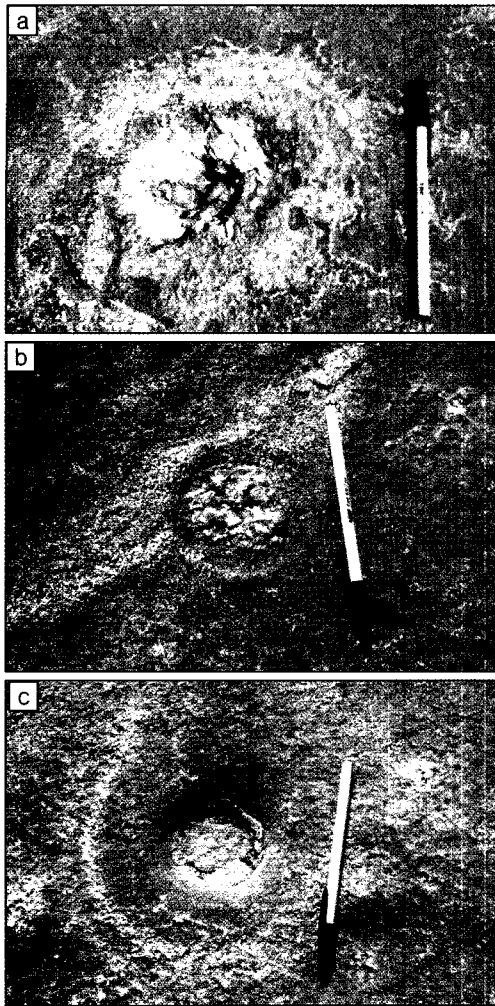


Fig. 8. Gradual stages for the development of gnamma, a→b→c process of change in a miarolitic cavity.

것은 연구지역의 타포니의 발달과정에서 초기, 중기, 후기의 단계가 모두 관찰되기 때문이다. 이러한 타포니는 미문상 화강암의 형성 시 가장자리에 위치했다고 판단되는 연구지역의 북동쪽에서 여러 개가 관찰되었으며, 연구지역의 중앙부로 진출 할수록, 그 개체 수가 현저히 줄어들었다. 이는 미아롤리틱 정동의 존재와 암석적 특성이 연구지역의 타포니 형성과 관련이 있음을 의미한다.

연구지역에는 pit형과 pan형(Fenn, 1979) 등 다양한 형태의 나마가 분포하고 있다. 이들은 화강암 표면에 해수가 고이게 되고, 증발에 의한 건조와 습윤의 반복으로 형성된 것으로 사료된다. 또한 현재에도 나마

내에는 해수의 증발에 의한 염의 침전물이 관찰되고 있어 염풍화작용도 함께 수반되는 것으로 보인다(Fig. 9a, b).

그루브는 토르 혹은 인셀베르그의 암벽면을 따라 수직으로 발달한 받고랑 형태의 풍화미지형이다. 그루브가 극단적으로 발달하면 서로 다른 그루브는 결합되면서 암석면은 평탄화 되는데, 이때 침식에 강한 부분이 돌출되어 잔존하는 것을 플루팅 코어라고 한다(Fig. 9c). 연구지역 내의 미문상 화강암은 마그마 분화말기에 형성된 것으로 사료되며, 따라서 마그마의 결정화 마지막에 산출되는 휘발성물질로 채워진 기포들이 빠져나오게 된다. 이들 기포들은 마그마 방의 상부에 밀집하게 되며, 마그마가 고화된 후 화강암 내에 많은 정동을 형성하게 된다. 또한 이들 정동 내에는 후기 열수용액에서 성장된 것으로 사료되는 자형의 석영 및 정장석이 정동의 뿌리부분으로부터 빈 공간내로 성장하고 있다. 따라서 이들이 각질풍화를 포함하는 다양한 풍화작용을 받게 될 때, 정동의 뿌리부분은 모암보다 풍화에 강한 저항력을 가지게 되고, 화강암 표면에 불룩한 유두모양의 형태를 만들게 되는 것이다.

연구지역 화강암 내에는 후기에 공급된 반화강암 암맥(aplitic dike)과 석영맥(quartz vein)이 관입하고 있다. 이들은 결정이 아주 치밀 견고하여 모암인 결정이 큰 화강암보다 풍화에 강한 저항력을 가지게 되므로, 역시 불룩한 형태의 긴 능선을 화강암 표면에 돌출 시키게 된다(Fig. 9d).

### 암석학적 특성과 지형형성의 관련성

지형학은 오늘날 우리가 보는 사막, 해안선, 빙하, 계곡 등의 형태를 기재하고, 그들의 형성원인, 과거의 변화기록과 현재의 변화를 연구하는 분야이다. 지형은 지구조운동과 같은 대규모 요인에서 침식과 퇴적에 이르는 여러 인자에 의해 형성될 수 있으며, 사구와 염습지 발달과정에서 식물의 역할이나 산호초 형성과정에서 산호와 조류의 역할처럼 생물적 요인에 의해서도 영향을 받는다. (이수재 외, 2003)

지형은 지표면의 겉모양을 나타내는 것이며, 지질은 그 겉모양을 구성하고 있는 암석자체를 지시한다. 지형은 지표면의 기복에 중점을 둔 반면, 지질은 지각까지 고려한다. 지구의 내부구조와 작용(지각의 구조, 마그마생성, 판 이동 등)을 알아야 외형적인 현상



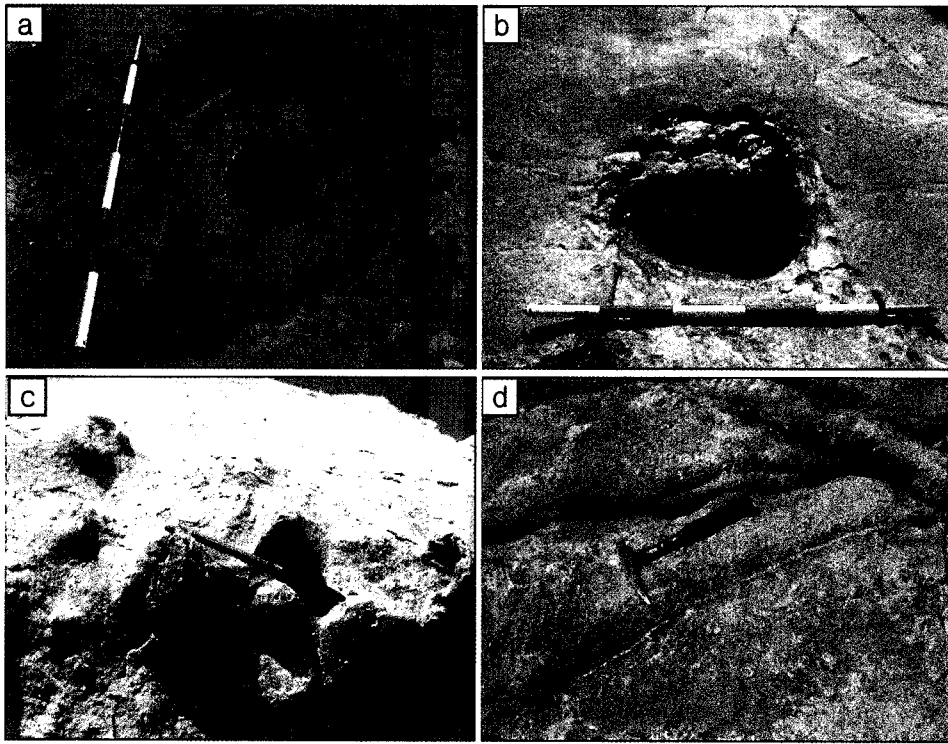


Fig. 9. Characteristic features of microlandform at Ijin-ri type of Pan (a), type of pit (b), fluting core (c) and raised rim by differential erosion(d).

을 보다 더 정확히 알 수 있다고 생각된다.

본 연구를 통하여 우리는 암석의 성인과 관련된 조직적 특성이 외형적인 지형 형성에 영향을 준 것임을 발견할 수 있었다. 즉, 미문상 화강암에 발달하는 미아롤리틱 정동의 분포 차이로 인해 미지형의 종류가 달라지는 것으로 판단된다. Fig. 10에서 미문상 화강암 내의 정동의 분포양상에 따라 외대(zone A)와 내대(zone B)의 두 개의 지역으로 나누었다. 외대에는 크기가 작은 정동이 다량으로 분포하고 있으며, 경하에서 미문상 조직도 뚜렷하게 나타난다. 내대에는 정동의 분포가 많지 않으며 미문상 조직도 선명하게 나타나지 않는다. 이것은 아마도 미문상 화강암이 관입 정지할 때, 마그마 챔버의 상부 혹은 주변부에 기포가 많이 밀집되는 것으로 그 차이를 해석할 수 있을 것이다. 즉, 외대가 마그마 챔버의 상부 혹은 주변부로, 내대가 마그마의 중심부로 대비될 것으로 판단되며, 전자가 연구지역의 북측, 후자가 남측에 해당된다. 따라서 본 연구지역의 북측에 타포니가 많이 발달하는 것은 정동의 분포가 많았기 때문이며, 남측에 타포니보다는 나마가 많이 발달할 수 있었던 것은 정동

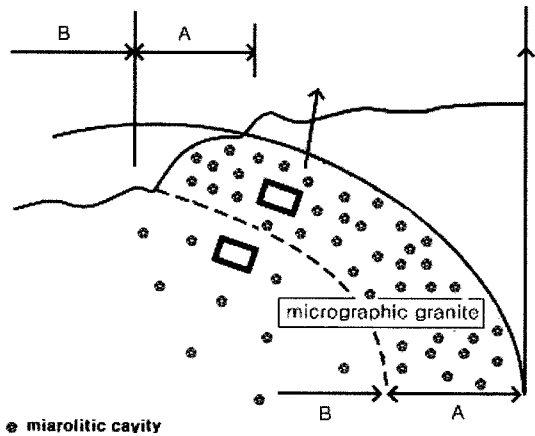


Fig. 10. Topographic features related to magmatism micrographic granite - A (external zone), micrographic granite - B (internal zone).

의 분포가 적었기 때문으로 유추할 수 있을 것이다. 따라서 우리는 이 연구를 통하여 정동의 형성이 미지형 형성에 지대한 영향을 준 것으로 판단할 수 있다.

결론적으로, 본 연구를 통하여 지질학적인 특성, 세

부적으로 암석학적인 특성이 반영되어 나타나는 지형을 분석하며 다음을 고려하게 되었다.

첫째, 본 연구지역의 미지형 형성의 기원은 정동의 발달과 연관이 있다.

둘째, 연구지역 화강암의 미문상 조직은 연구지역을 동서로 양분하는 선을 기준으로 하여 남에서 북으로 갈수록 뚜렷해진다.

셋째, 위의 두 가지 사항으로 미루어 생각해 볼 때, 암석학적 특성은 이지역의 미지형 형성에 구체적으로 반영되고 있다.

연구지역의 미지형인 타포니, 나마 그리고 플루팅 코어의 분포가 정동의 분포양상과 거의 일치하고 있다. 이는 정동의 발달이 미지형 형성의 기원이 되고 있다는 본 연구 결과에 따른다. 연구지역의 미문상 화강암은 연구내용을 토대로 확인 할 수 있듯이 화강암의 형성 위치 등의 암석학적 특성이 미지형의 형성에 반영되고 있다고 생각된다. 그러나 타포니와 나마 등의 미지형의 형성이 기후, 염풍화 등의 기타 지형형성요인에 대한 기존의 해석이 폭넓게 연구되고 있으므로 정동의 분포양상으로 한계를 지을 수는 없으며, 이에 대한 연구가 다각도에서 진행되어야 할 것이다. 그리고 국지적인 연구결과를 전체 지질환경에 적용할 수 없으므로 지질학적 특성을 조사하여 지형경관을 유추하거나, 지형경관 그리고 미지형을 조사하여 지질학적 특성을 예측 할 수 있도록 하기 위해서는 장기간에 걸친 자료의 수집과 시료의 채집이 선행되어 정확한 연구결과를 도출하여야 할 것이다.

## 결 론

암석의 형성에 관여하는 환경요소들은 암석의 조직에 그 특징을 반영하게 되고, 기반암이 풍화·침식에 의해 드러나게 되면서 그 특징들은 각기 다른 지형환경을 형성하게 된다. 본 연구는 울산시 온산읍 이진리 해안지역에 분포하는 미문상 화강암에 대하여 암석학적 특성과 지형 형성과의 관련성을 밝히기 위하여 암석의 산출상태, 경하관찰, 지화학적 특성분석, 미지형관찰 및 특이지형 분석을 실시 하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 화강암은 대부분 담갈색 내지 회백색을 띠며, 1~2mm 내외의 중립 내지 세립의 석영 및 정장석으로 구성되어 있고, 이 광물들은 대부분 연정을 형성하여 미문상 조직을 보인다.

2. 연구지역 내의 미문상 화강암은 마그마 분화 말기에 형성된 지화학적 특징을 나타내며, 따라서 마그마의 결정화 마지막에 산출되는 휘발성물질로 채워진 기포들이 마그마 방의 상부 또는 주변부에 밀집되어 고화된 후 정동을 형성하게 된다. 또한 이들 정동 내에는 후기 열수용액에서 성장된 것으로 사료되는 자형의 석영 및 정장석이 정동의 뿌리부분으로부터 빈공간내로 성장하고 있다.

3. 본 연구지역에는 토르, 타포니, 나마와 같은 미지형이 관찰된다. 연구지역 북측을 중심으로 타포니가 다수 발달해 있고, 남측으로는 나마가 다수 발달해 있다. 특이지형으로 연구지역 전역에 플루팅 코어와 레이즈드 림이 발달해 있다.

4. 미문상 화강암의 조직적 특징과 정동의 분포양상을 분류기준으로 하여 외대(A)와 내대(B)로 구분하였으며(Fig. 10), 연구지역의 남에서 북으로 갈수록 내대에서 외대로의 특징이 나타났다. 미문상 조직이 B에서 A로 갈수록 뚜렷해지고 정동의 분포가 많아지는 경향을 보였으며, 지형학적 특징이 이에 부합하여 B에서 A로 갈수록 풍화표면이 거칠어지고, 타포니의 수가 증가하였다. 외대의 지형학적 특성은 범바위와 같은 타포니가 많은 미지형, 내대는 차일암과 같은 대(platform)로 대표되며, 이는 암석학적 특성이 관련된 것으로 보인다.

5. 연구지역에 플루팅 코어, 레이즈드 림 그리고 자갈해안 등의 특이지형이 발달하고 있다. 이는 미문상 화강암의 성인과 관련된 정동의 발달과 관련이 있으며, 타포니, 나마 등의 미지형 형성에도 기원적인 요소로 작용하는 것으로 판단된다. 미문상 화강암의 성인적 특징이 미지형 발달에 반영되고 있다. 암석의 입도와 정동과 같은 조직적 차이가 미지형의 발달에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문의 심사과정에 원고를 읽고 세세한 지적과 유익한 보완을 해 주신 이종익 박사님과 이미정 박사님께 감사드립니다.

## 참고문헌

권동희, 2007, 한국의 화강암 풍화지형 연구성과와 과제. 지형학회지 14, 21-31.

- 김규환, 이화정, 1996, 경상퇴적분지내에 분포하는 소위 마산암에 대한 암석성인연구. 자원환경지질, 29, 529-541.
- 김주환, 2002, 화염사 부근의 지형과 지질. 지리학연구, 36, 71-87.
- 박경근, 2007, 화강암 풍화미지형의 연구동향과 과제. 지리학논총 26, 84-100.
- 박양대, 윤형대, 1968, 한국지질도(1:50,000) 방어진도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 24p.
- 반용부, 2005, 울산광역시 온산읍 이진리 범바위·차일암 주변 해안일원 지형조사보고서, (사)자연사·미래 환경학회. 6-75.
- 이상만, 1972, 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무 교수 송수기념논문집, 195-219.
- 이수재 외, 2003, 보존가치가 있는 지형·지질의 대상설정에 관한 연구. 한국환경정책평가연구원, 3-27.
- 이종익, 1992, 경상분지 남부에 분포하는 천소 관입 화강암류에 대한 광물학적, 기체 암석학적 연구. 지구과학회지, 13, 176-199.
- 이종익, 1994, 경상분지 남부의 천소관입 화강암류에 대한 주성분원소 지구화학. 지질학회지, 30, 482-496.
- 이준동, 1987, 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울대학교 이학박사학위논문, 116p.
- 이준동, 1991, 경남 진동-마산 일대의 화강암류에 관한 암석학적 연구. 지구과학회지, 12, 230-247.
- 이준동, 황병훈, 1999, 경주 남산-토함산 일원의 화강암류에 관한 암석학적 연구. 지구과학회지, 20, 80-95.
- 장 호, 1983, 지리산지 주능선동부의 주빙하지형. 지리학논총, 18, 31-50.
- 조기만, 2004, 화강암과 석조문화재에 관한 지형·지질학적 연구. 경상대학교 이학박사 학위논문, 40-80.
- 조기만, 좌용주, 2005, 석조문화재의 석재공급지에 관한 연구-익산 지역에 대한 지형학적 및 암석학적 접근. 암석학회지, 14, 24-37.
- 좌용주, 1997, 남해지역 금산 미분상화강암에 대한 암석기재. 지구과학회지, 18, 426-432.
- 진명식, 1981, 남한의 백악기 화강암류에 관한 암석학적, 지화학적 연구. 서울대학교 이학박사 학위논문, 144p.
- 황병훈, 1995, 경주 남산-토함산 일원의 화강암질암체에 관한 암석학적 연구. 부산대학교 이학석사 학위논문, 70p.
- 황병훈, 2004, 경상분지 남부지역의 화강암질암체에 대한 암석학, 동위원소 및 성인. 부산대학교 이학박사 학위논문, 309p.
- Lee, J.I., 1991, Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyeongsang basin, Korea: Origin of micrographic granite. Ph D. Thesis, University of Tokyo, 197p.
- Fenn, M., 1979, On the origin of graphic intergrowths. GSA Abs. with prog., v11, 424.
- Hong, Y.K., 1987, Geochemical characteristics of Pre-cambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., 20, 35-60.
- Jin, M.S., 1980, Geological and isotopic constraints of the Jurassic and the Cretaceous granites in South Korea. J. Geol. Soc. Korea, 16, 205-215.
- Jin, M.S., 1985, Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary granitic rocks in southern Korea-I Major elements geochemistry-. J. Geol. Soc. Korea, 21, 297-316.
- Jin, M.S., Kim, S.Y., and Lee, J.S., 1981, Granitic magmatism and associated mineralization in the Gyeongsang Basin. Mining Geol., 31, 245-259.
- Streckeisen, A., 1977, To each plutonic rock its proper name. Earth Science Review, 12, 1-33.
- Tuttle, O.F., and Bowen, N.L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system of NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. Mem. Geol. Soc. America, 74p.
- Twidale. C.R., 1982, Granite landforms. Elsevier, Amsterdam. 224p.

2009년 6월 29일 접수

2009년 7월 3일 심사개시

2009년 8월 13일 채택