



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2019년 2월  
석사학위 논문

전라남도 구례·순천·여수 지역의  
안산암 주상절리 형태분석

조선대학교 대학원

지구과학과

정 형 은

전라남도 구례·순천·여수 지역의  
안산암 주상절리 형태분석

Morphological Analysis of Columnar joints on Andesite  
at Gurye, Suncheon, Yeosu in Jeollanam-do

2019년 2월 25일

조선대학교 대학원

지구과학과

정 형 은

# 전라남도 구례·순천·여수 지역의 안산암 주상절리 형태분석

지도교수 안 건 상

이 논문을 이학석사학위 신청 논문으로 제출함

2018년 10월

조선대학교 대학원

지구과학과

정 형 은

## 정형은의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수

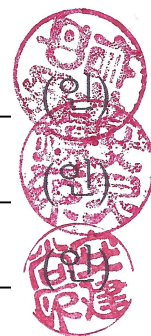
박 영 신

위 원 조선대학교 교수

안 경 진

위 원 조선대학교 교수

안 건 상



2018년 11월

조선대학교 대학원

## 목 차

I. 서론.....	1
1. 연구 배경.....	1
2. 주상절리 형성 이론.....	3
2. 연구 동향.....	7
3. 연구방법 및 연구방향.....	10
II. 연구지역의 지질.....	12
1. 전라남도 구례군.....	15
2. 전라남도 순천시.....	28
3. 전라남도 여수시.....	40
III. 주상절리 형태분석.....	47
1. 구례지역 주상절리.....	49
2. 순천지역 주상절리.....	53
3. 여수지역 주상절리.....	58
1) 구봉산 지역.....	58
2) 향일암 지역.....	63
IV. 암석화학.....	67
1. 주성분원소.....	67
1) 암석의 분류.....	67
2) 화학조성의 변화.....	71

V. 결론 및 토의.....74

【참고문헌】 .....76

## List of Tables

Table 1. Columnar joint site with names, geographical location in the study area.....	48
Table 2. Measurement of columnar joint in Gurye site.....	49
Table 3. Measurement of columnar joint in Suncheon site.....	53
Table 4. Measurement of columnar joint in Yeosu(YS-1).....	58
Table 5. Measurement of columnar joint in Yeosu(YS-2).....	63
Table 6. Major elemental analyses(wt%) of columnar joints in study area.....	68



## List of Figures

Figure 1. Location of columnar joint in South Korea·····	2
Figure 2. A Schematic illustration of colonnade and entablature·····	4
Figure 3. Schematic formation of cracks at cooling surface on thermal contraction model·····	5
Figure 4. Drying cracks in a mixture of corn starch and water(height: 5 cm)·····	7
Figure 5. Schematic drawing of the different geological contexts and geometries of columnar joint·····	8
Figure 6. Symbols of columnar joint·····	9
Figure 7. Location of the study area in Korea·····	11
Figure 8. Location of the study area in Jeollanam-do·····	13
Figure 9. The geology map of study area·····	14
Figure 10. Location of the study area in Gurye·····	16
Figure 11. The geology map of study area in Gurye·····	16
Figure 12. Photographs of Gurye area(GR-1)·····	17
Figure 13. Photographs of Gurye area(GR-2)·····	18
Figure 14. Photographs of Gurye area(GR-3)·····	19
Figure 15. Photographs of Gurye area(GR-4)·····	20
Figure 16. Photographs of Gurye area(GR-5)·····	21
Figure 17. Photographs of Gurye area(GR-6)·····	22
Figure 18. Photographs of Gurye area(GR-7)·····	23
Figure 19. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-2)·····	24
Figure 20. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-3)·····	25
Figure 21. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-4)·····	26
Figure 22. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-5)·····	27
Figure 23. Location of the study area in Suncheon·····	29
Figure 24. The geology map of study area in Suncheon·····	29
Figure 25. Photographs of Suncheon area·····	30
Figure 26. Photographs of Suncheon area(SC-1)·····	31

Figure 27. Photographs of Suncheon area(SC-2)·····	32
Figure 28. Photographs of Suncheon area(SC-3, SC-4)·····	33
Figure 29. Photographs of Suncheon area(SC-5)·····	34
Figure 30. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-1)·····	35
Figure 31. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-2)·····	36
Figure 32. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-3)·····	37
Figure 33. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-4)·····	38
Figure 34. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-5)·····	39
Figure 35. Location of the study area in Yeosu·····	41
Figure 36. The geology map of study area in Yeosu·····	42
Figure 37. Photographs of Yeosu area(YS-1)·····	43
Figure 38. Photographs of Yeosu area(YS-2)·····	44
Figure 39. Microphotographs of andesite on the Yeosu(YS-1)·····	45
Figure 40. Microphotographs of andesite on the Yeosu(YS-2)·····	46
Figure 41. Photographs of Columnar joint in Gurye area·····	50
Figure 42. Photograph and sketch of measured columnar joint in Gurye area·····	51
Figure 43. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Gurye·····	52
Figure 44. Photographs of Columnar joint in Suncheon area·····	54
Figure 45. Photograph and sketch of measured columnar joint in Suncheon area·····	55
Figure 46. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Suncheon···	57
Figure 47. Photographs of Columnar joint in Yeosu area(YS-1)·····	59
Figure 48. Photograph and sketch of measured columnar joint in Yeosu area(YS-1)·····	61
Figure 49. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Yeosu(YS-1)·····	62
Figure 50. Photographs of Columnar joint in Yeosu area. (YS2)·····	64
Figure 51. Photograph and sketch of measured columnar joint in Yeosu area.(YS-2)·····	65
Figure 52. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Yeosu(YS-2)·····	66

Figure 53. Total alkali vs. SiO<sub>2</sub>(wt%) diagram(TAS) with analyses of rocks in study area.....69

Figure 54. AFM diagram for study area(Irvine and Baragar, 1971). Symbols are shown in Fig. 54.....70

Figure 55. Harker variation diagrams for rocks in study area.....71

Figure 56. Total alkali vs. SiO<sub>2</sub>(wt%) diagram(TAS) in study area, Jeju-do(island), Mudeung-san(Mt.).....75

## ABSTRACT

### **Morphological analysis of Columnar joints on Andesite at Gurye, Suncheon, Yeosu in Jeollanam-do**

Jung, Hyeongeun

Advisor : Prof. Ahn Kunsang Ph. D.

Department of Earth Science

Graduate School of Chosun University

Columnar joints are developed and observed in Muncheok-myeon (Gurye-gun), Haeryong-myeon (Suncheon-si), Hyangiram and Gubong-san (Yeosu-si) at eastern Jeollanam-do. Muncheok-myeon (Gurye-gun) has columnar joints of hexagonal shape with average length of polygon side 30cm and angle of between adjacent edges of  $111^{\circ} \sim 120^{\circ}$ . Haeryong-myeon (Suncheon-si) has columnar joints of hexagonal shape with average length of polygon side 30 ~ 40cm and angle of between adjacent edges of  $111^{\circ} \sim 130^{\circ}$ . Mt. Gubong-san (Yeosu-si) has columnar joints of pentagonal shape with average length of polygon side 30~40cm and angle of between adjacent edges of  $111^{\circ} \sim 130^{\circ}$ . Hyangiram (Yeosu-si) has columnar joints of pentagonal shape with average length of polygon side 31~50cm and angle of between adjacent edges of  $101^{\circ} \sim 130^{\circ}$ .

Principal component analysis of rocks composing columnar joints showed  $\text{SiO}_2$  contents of 55.02 wt% ~ 60.90 wt%. As shown in TAS, all the rocks in the study area correspond to the andesite area, and most of them are Sub-Alkali series.

The Gurye area is formed by the intrusion of andesite between the sedimentary layers. Columnar joints show a narrower width from the

bottom to the top. The Suncheon area has a columnar joint shape with a considerable height and constant direction. This is believed to be due to the intrusion of large magma at the time of creation and to present the current columnar joints through sequential cooling without any other factors. The Hyangiram (Yeosu-si) area has a lower  $\text{SiO}_2$  content but a larger length of polygon side than other sites in the study area. Compared to other columnar joints in the study area, it seems that the cooling has progressed slowly. As additional cooling progressed, contraction continued within the columnar joints and small columnar joints would have formed inside the larger columnar joints.

Most of the regions where active researches on the columnar joint are mostly mafic volcanic rocks. There is almost no research andesite columnar joint in Korea.

The purpose of this study is to investigate the columnar joint developed in intermediate rock, to help the accumulation of data, and to promote scientific research and tourism industry.

## 국문초록

전라남도 동부 지역에 해당하는 구례군 문척면 금정리 일대, 순천시 해룡면 일대, 여수시 구봉산 및 돌산읍 금오산 향일암 일대에는 주상절리가 발달, 관찰된다. 구례군 문척면 금정리 일대에는 폭 평균 30cm, 기둥면 사이의 각이 평균  $111^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 를 보이는 6각형 형태의 주상절리가 발달한다. 순천시 해룡면 일대에는 폭 평균 30cm, 기둥면 사이의 각이 평균  $101^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 를 보이는 6각형 형태의 주상절리가 발달한다. 여수시 구봉산 일대는 폭 평균 30~40cm, 기둥면 사이의 각이 평균  $111^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 를 보이는 6각형 형태의 주상절리가 발달한다. 돌산읍 금오산 향일암 일대는 폭 평균 31~50cm, 기둥면 사이의 각이 평균  $101^{\circ} \sim 130^{\circ}$ 를 보이는 5각형 형태의 주상절리가 발달한다.

주상절리를 구성하는 암석들을 주성분원소 분석을 통하여 TAS도에 도시한 결과,  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 55.02 wt% ~ 60.9 wt%로 연구 지역 모두 안산암 영역에 해당하며, 대부분 Sub-Alkali계열에 도시됨을 알 수 있다.

구례 지역은 퇴적층 사이로 안산암이 관입되어 형성된 것으로 정상을 향해 수렴하는 경향을 보인다. 순천 지역은 큰 규모의 마그마 관입이 일어나 일정한 방향성을 보이며 냉각이 된 것으로 유추된다. 여수 향일암 지역은 다른 연구 지역에 비해  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 낮지만 폭이 큰 것으로 보아 상대적으로 냉각속도가 느림을 추정할 수 있다. 이 때 냉각이 진행되면서 내부 수축이 계속 일어나 작은 규모로 절리가 형성되었다고 생각된다.

세계적으로 주상절리 연구가 활발하게 이루어지는 지역은 대부분 염기성 화산암이다. 우리나라에서도 안산암 주상절리에 대한 연구가 거의 전무한 상태이다.

본 연구를 통해 중성암에 발달한 주상절리에 대해 조사, 정리하여 자료 축적에 도움을 주고 학술답사 및 관광산업을 촉진시키는 효과를 주고자 한다.



# I. 서론

## 1. 연구 배경

주상절리는 마그마의 분출 또는 관입 그리고 화산쇄설물의 퇴적과 같은 화산활동으로 형성된 것으로 초기의 고온 상태의 물질이 냉각하는 과정에서 생성된다(손정모, 2016). 주상절리는 화산활동에 의하여 형성되는 것 알려져 있지만 화산활동이 있다고 해서 주상절리가 형성되는 것은 아니다. 특히, 일반인에게 주상절리라 하면 수직방향의 곧은 균열이 생긴 것을 모두 주상절리로 생각하며, 어두운 색을 보이는 현무암에서만 발견되는 것으로 인식되고 있다. 그러나 주상절리의 형성과정을 이해하면, 물리적인 힘에 의하여 생기는 절리와는 다른 과정을 거치며 형성된다는 점을 알 수 있다. 또한, 무등산 주상절리대, 청송 주왕산 주상절리, 변산반도 적벽강 일대 등의 사례에서 알 수 있듯이 현무암질 암석에서만 주상절리가 형성되는 것이 아닌 다양한 암석에서 주상절리가 형성될 수 있다는 사실도 알 수 있다.

외국의 잘 알려진 주상절리대로는 북아일랜드의 Giant's Causeway, 스코틀랜드 스타파섬의 Fingal's Cave, 미국 캘리포니아의 Devils Postpile, 와이오밍의 Devils Tower, 그리고 아이슬란드의 Reynisfjara 등 세계 곳곳에서 다양한 형태로 발견되고 있다(손정모, 2016). 우리나라에서 주상절리가 관찰되는 지역은 북한지역을 제외한 남한지역에서 68곳에 분포한 것으로 알려져 있다(안건상, 2014b). 우리나라에 분포한 대부분의 주상절리는 남부지역에서 관찰된다(Fig. 1).

그러나 이렇게 국내·외 유명한 지역을 제외하고는 주상절리에 대한 연구 및 보전이 제대로 이루어지고 있지 않아 훼손 되거나 사라지고 있는 경우가 많다. 우리나라에서 잘 알려진 주상절리대로는 제주도, 무등산, 한탄강 등이 있다. 이 곳들은 국가지질공원 및 세계지질공원으로 지정되어 지방자치단체 및 관련 부서의 체계적인 관리를 받아 그 형태가 잘 보전이 되어 있고, 교육 및 관광 사업 등에 활발하게 활용되어 사람들에게 많이 알려져 있다. 특히 본 연구 지역 중 한 곳인 여수, 순천의 경우 금오산 향일암 일대를 제외하고





Fig. 1. Location of columnar joint in South Korea(Son, 2016).

는 주상절리가 발견된 곳 대부분이 도로 공사 중 발견 된 곳으로 훼손 가능성이 매우 높은 실정이다.

주상절리는 더 이상 학술적으로만 접근하는 어려운 과학 용어가 아니라 우리 주변의 다양한 환경에서 볼 수 있는 것이 되었다. 이에 이미 개발이 되어 사람들에게 많이 알려진 곳 외에도 다양한 곳에서 발견되는 주상절리에 대한 정보를 알려줘서 중·고등학교 지구과학 수업에서 배운 내용과 연관 지어 화산활동 및 화산 지형에 대해 이해할 수 있는 교육적 효과도 기대해 볼 수 있다. 또한, 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 지역의 화산암은 대부분 염기성암이다. 우리나라에서는 산성암에 발달한 주상절리에 대한 연구(손정모, 2016)는 진행되고 있으나 중성암인 안산암에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다. 본 연구 지역의 주상절리는 중성암에서 발달된 주상절리이며, 접근성도 좋아 관광 산업 및 학술답사에 많이 이용되고 있는 상태이다. 이 연구를 통해 중성암 주상절리의 형태 및 형성 메커니즘을 조사하여 자료 축적에 도움이 되고자 한다.

본 연구에서는 전라남도 동부지역에 해당하는 구례, 순천, 여수 지역 안산암질 주상절리의 암석 및 형태 분석, 화학 분석 등을 통해 주변 다른 지역의 주상절리와 비교하여 주상절리의 생성 환경에 따른 구조에 대해 정리해보고자 한다.

## 2. 주상절리 형성 이론

주상절리에 대한 이해를 위해서는 다음과 같은 내용을 먼저 알아두어야 한다. 주상절리는 화산분출물이 급격하게 식어서 굳어질 때 다각형의 기둥 모양으로 만들어지는 구조로서, 구조적인 형태는 크게 2가지로 나타난다(Fig. 2). 우리가 흔히 주상절리라 부르는 기둥 모양과 기둥 구조 상부 또는 하부에 뒤엀킴 구조가 나타나는 층이 나타나는데, 전자가 컬리네이드(colonnade)이며 후자가 엔테블러취(entablature)이다. 이러한 구조가 나타나는 원인은 대체로 냉각속도의 차이에 기인한 것으로 알려져 있다.

주상절리의 균열은 화산분출물이 냉각하는 과정에서 열수축에 의해 발생한 응력을 해소하는 수단으로 만들어지는 것이며, 냉각이 시작되는 곳에서부터

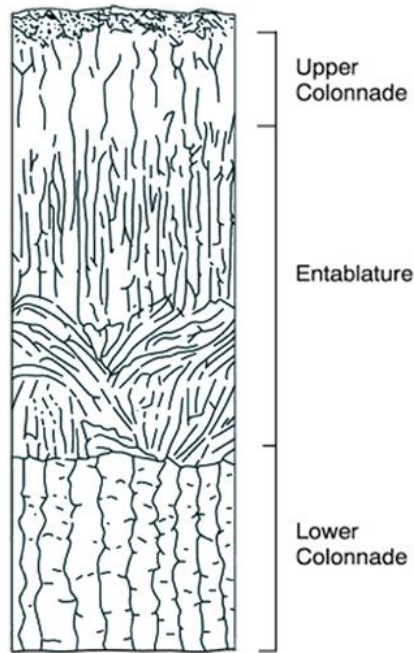


Fig. 2. A Schematic illustration of colonnade and entablature(Son, 2016).

따뜻한 안쪽으로 진행이 되어간다. 수축점은 냉각표면에서 등간격으로 형성되며, 중심을 향하여 수축되며 고화된다. 이 때 두 수축 중심 사이에 응력이 발생하고 냉각이 점차 진행되면 응력도 함께 증가한다. 이 응력이 암석의 인장강도를 초과할 때 응력이 해소 되는데 이 때 균열이 만들어진다. 전체적으로 동일한 표면의 상태를 가지고 있으면, 핵은 같은 거리에서 형성되어 수축하기 때문에, 표면에는 별집모양 같은 6각형 형태의 균열 전면(fracture front)이 만들어 진다(Fig. 3). 주상절리가 불연속적으로 성장하면 기둥면에는 마디층(striae)이라고 하는 특이한 냉각구조가 형성되는데, 두께가 수 cm에서 수십 cm에 이르고, 냉각속도가 느릴수록 커지는 경향이 있다(안건상, 2014b).

주상절리는 화산활동에 의하여 형성되는 것으로 형성과정을 이해하기 위한 노력은 지속적으로 진행되어 왔다. 특히, 주상절리 형성의 과정을 실험을 통해 규명하고자 한 것이 전분 혼합액의 건조실험(Huxley, 1881)이다. 실험을 통하여 주상절리 형성에 대한 전반적인 이해가 유용해졌다. 또한 이를 응용하여 열원과 시료의 거리를 변인으로 두어 실험을 진행하였으며, 결과적으로

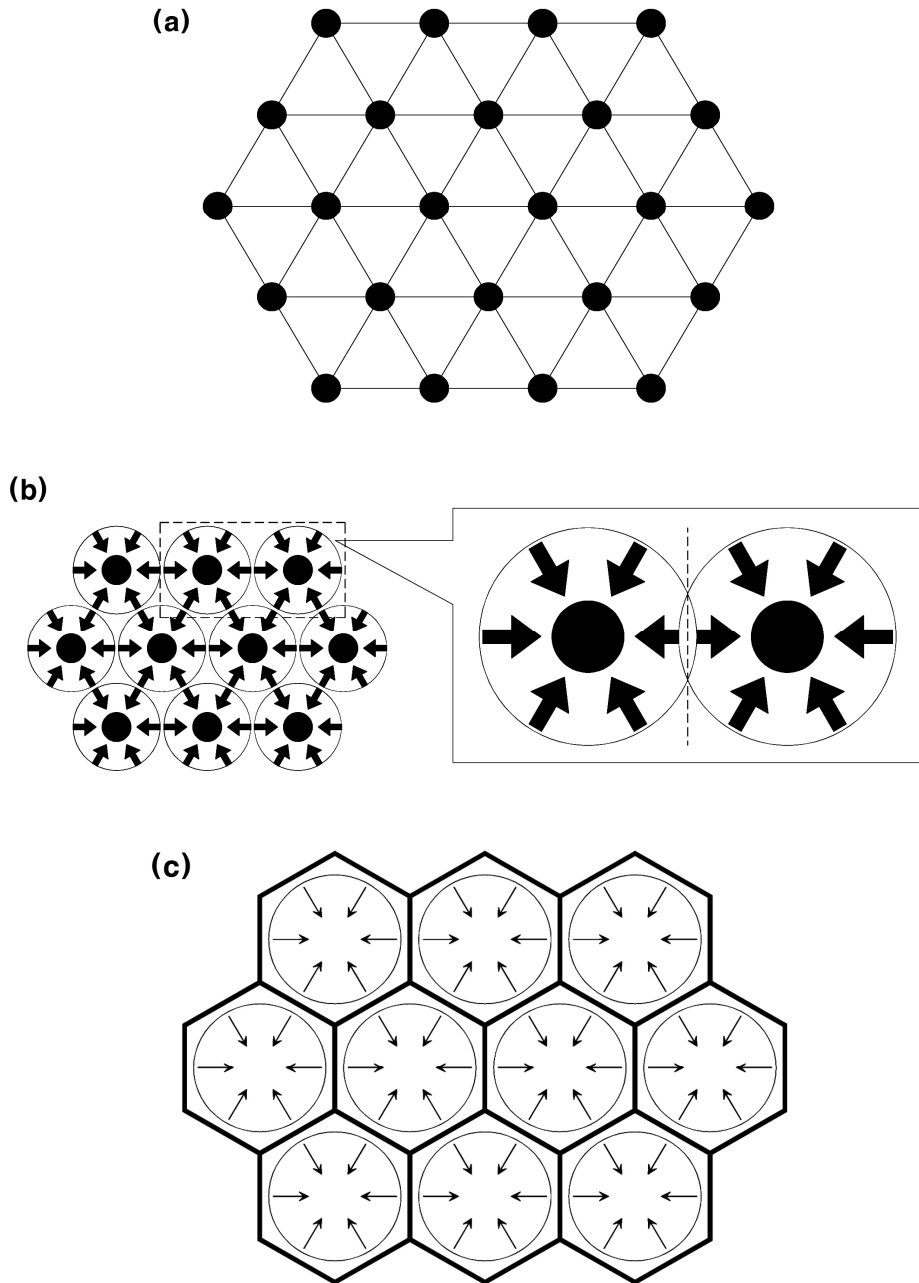


Fig. 3. Schematic formation of cracks at cooling surface on thermal contraction model(modified of Nishiwaki and Hirotsishi, 2009).

냉각 과정에서 주상절리 기둥의 크기의 변화와 엔테블러취 구조가 관찰되었다(Nishimoto *et al.*, 2011; Fig. 4). 이에 앞서 Goehring *et al.*(2006)과 Goehring(2008)은 전분 건조실험을 통하여 램프를 이용해 건조 속도를 조절하여 주상절리 기둥의 크기 변화를 관찰하였고, 이 실험의 결과는 용암의 냉각 속도와 주상절리 기둥의 직경과 관계가 일치한다는 점을 알아냈다.

주상절리의 냉각표면 기복은 주상절리의 굽기와 형태에 커다란 영향을 준다. 주상절리 기둥 방향은 중력방향에 관계없이 등온선에 대해 수직으로 생성되며, 용암 내부는 표면보다 더 천천히 냉각되기 때문에 표면과 물성이 달라 절리는 암석 내부로 가면서 방향이 휘거나 굽기가 달라진다(안건상, 2014b). 두께가 대략 10m 이하인 용암류가 냉각되면, 주상절리는 지면이나 공기와 접촉하는 면에 직각으로 형성된다(Fig. 5(a)). 마그마의 점성에 따라 절리의 직경과 패턴에 차이가 생기는데 용암류의 점성이 크면 끝부분이 흐를 이루면서 부채모양의 주상절리를 형성한다(Fig. 5(b)).

두께가 10~100m 정도로 큰 용암류는 공기와 지면 두 방향의 냉각표면에서 냉각되기 시작한다. 용암 내부가 식어감에 따라 표면에서 만들어진 절리는 내부까지 진행되는데, 이 때 점성이 큰 용암이라면 전면과 측면에서도 냉각이 되어 수평적인 주상절리도 만들어진다. 상하의 냉각표면에서 시작된 절리가 중간에서 만나면 상부와 하부의 열전도가 달라 기둥의 두께가 다르게 나타나는데 내부에서는 Fig. 5(c)와 같이 상하의 주상절리와 방향과 크기가 다른 엔테블러취가 나타날 수 있다(Long and Wood, 1986).

마그마의 화학조성과 휘발성 물질의 함량에 따라서도 주상절리의 형상이 달라질 수 있다. 지질환경에 따라 기둥의 직경(D)이 달라지는데, 지형에 영향 받지 않고 자유롭게 흐르는 용암류의 경우 화학조성에 따라 그 두께가 달라진다. 즉, 산성 마그마는 염기성 마그마보다 더 두껍게 나타난다. 기둥의 두께는 화학조성에도 영향을 받지만 냉각 속도의 영향을 더 많이 받는다. 천천히 식을수록 두께가 굽어지는데, 용암류의 표면 근처에서는 10~20cm 정도로 가늘고, 중심부에 가까워질수록 50cm~1m의 두께로 굽게 나타난다. 화학조성은 주상절리의 길이에도 영향을 미친다(Hetényi *et al.*, 2012).

본 연구에서 사용된 주상절리 형태를 나타내는 용어는 Hetényi *et al.*(2012)

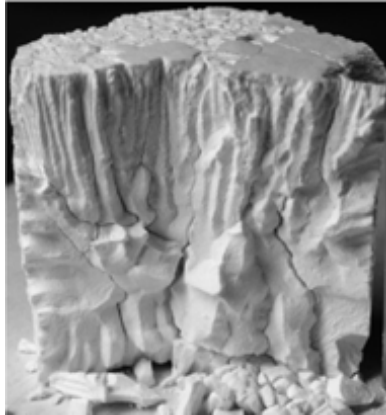


Fig. 4. Drying cracks in a mixture of corn starch and water(height: 5 cm)  
(Nishimoto *et al.*, 2011).

와 Grossenbacher and McDuffie(1995)의 연구를 참고하여 정리한 안건상(2014b)의 연구를 참고하여 다음과 같이 정리하고자 한다. 주상절리를 이루는 기둥의 높이는  $H$ , 기둥면의 폭(가로 넓이)은  $L$ , 다각형의 수를  $N$ , 단면적을  $A$ , 기둥면 사이의 각은  $\theta$ , 최대 직경을  $D$ 로 표기하며, 겉보기 직경은 필요에 따라 D1-D3로 기재하도록 한다(Fig. 6).

### 3. 연구 동향

지금까지 진행 되어 온 주상절리의 연구동향을 살펴보면 크게 형태학적인 측면과 형성학적인 측면으로 나뉘어 볼 수 있다.

형태학적인 측면으로 본 연구로는 다음과 같다. 고정선 등(2005)은 제주도 남부 대포동 해안 일대 및 지삿개 주상절리에 대한 형태에 대한 연구를 통하여, 다각형의 형태는 육면체가 우세하며, 기둥의 최대면 폭은 90~99cm, 서로 인접한 다각형 사이의 각도는  $120^{\circ} \sim 129^{\circ}$ 에서 가장 우세한 분포를 보이며, 약 25만 년 전에 녹하지악 분석구에서 분출한 현무암으로 이루어져 있다고 하였다. 오강호 등(2006)은 전남 남서해안에 분포하는 주상절리 기둥의 길이, 다각형의 형태, 직경과 절리면의 폭, 주상절리면 사이각 등에 대해 분석하였다.

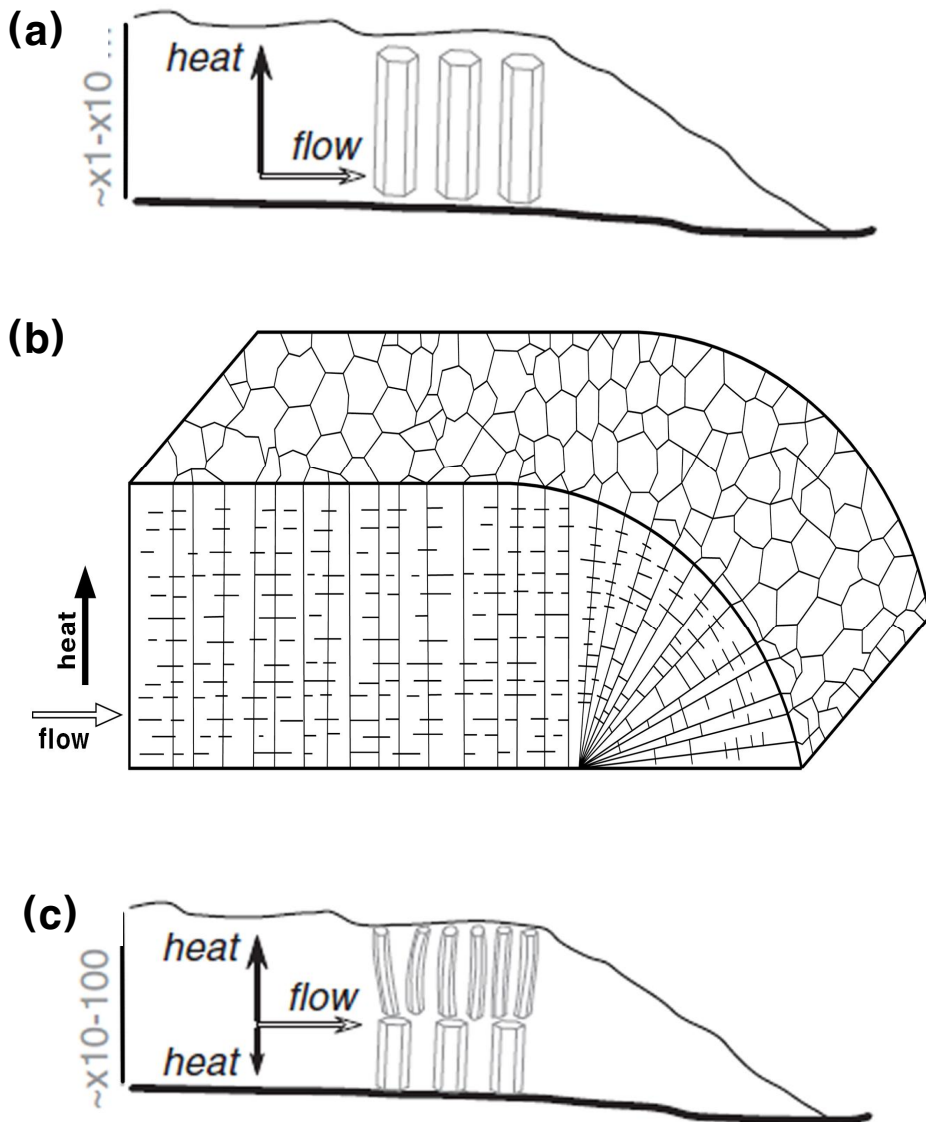


Fig. 5. Schematic drawing of the different geological contexts and geometries of columnar joint (Hetényi *et al.*, 2012). (a) thin lava flow (low viscosity <10m), (b) thin lava flow (high viscosity, <10m), (c) thick lava flow (10-100m)

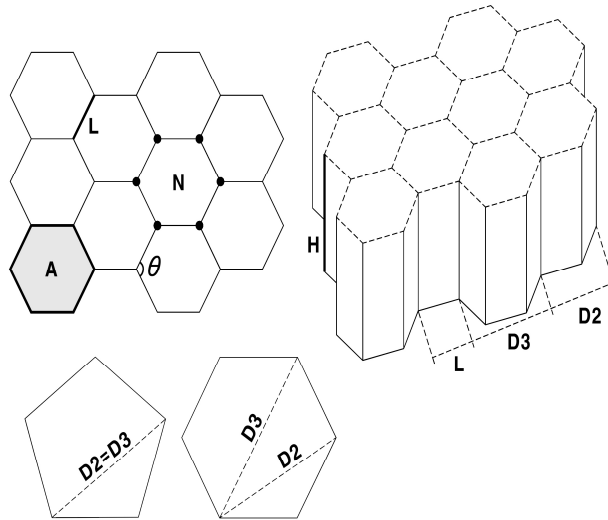


Fig. 6. Symbols of columnar joint(modified Hetényi *et al.*, 2012).

(A: the area of the column in cross section, L: length of a polygon side,  $\theta$ : angle between the adjacent edges, N: the order of the polygon, H: thickness of the magma body , D2 and D3: the apparent distance between two or three edges of the column in side view)

안건상(2014a)은 남한에 존재하는 주상절리의 분포지역과 그들의 형태학적, 암석학적 특징을 연구하였으며, 이 외에 여수지역(정형은과 안건상, 2014), 거제 팔랑포 지역(최원영과 안건상, 2014), 신안 증도 지역(손정모와 안건상, 2015) 주상절리의 형태적인 특징에 대한 연구를 진행하였다. 손정모와 안건상(2016)은 전라남도 고흥지역에 분포하는 주상절리의 형태학적인 특징 및 메커니즘을 연구하였다.

형성학적인 측면에서 본 연구로는 다음과 같다. Huxley(1881)와 French(1922)는 물과 전분을 섞은 혼탁액을 건조하여 수축시켜 다각형의 기둥을 만들었다. 이 실험은 주상절리의 형성과정을 이해하기에 매우 유용하기에 이러한 전분혼탁액을 이용한 실험과 관련한 연구는 최근까지 활발하게 진행되고 있다. Goehring *et al.*(2006)과 Goehring(2008)은 실험을 통해 시료 위에



놓인 램프로 건조 속도를 조절하여 냉각 속도와 주상절리의 직경과의 관계를 파악하였으며, Toramaru and Matsumoto(2004)는 건조 속도가 빠르면 단면적이 작아지고, 건조 속도가 임계치에 도달하기 전까지는 절리가 생성되지 않는다는 것을 밝혀내었다. 진광민과 김영석(2010)은 울산시 정자해수욕장과 경주시 읍천리 해안에 분포하는 수평 주상절리의 형태 및 발달 방향에 대한 분석을 시도한 연구를 통하여, 형성 환경에 따른 주상절리 형태를 파악하였다. 우현동 등(2013)은 울릉도 국수바위 주상절리 연구를 통해, 용암 분출 이후의 냉각과정에 대해 고찰하였으며, 광물학적 조직의 차이점을 중심으로 고온의 암체가 냉각될 때 보이는 전형적인 온도구배를 모델링하였다. 안건상(2014b)은 주상절리의 형성 메커니즘의 연구를 통해 우리나라 주상절리들을 이해하고 활용해야 한다 하였다. 손정모(2016)은 한반도 남부 해안에 분포하는 주상절리의 형태학적 분석을 통해 형성 메커니즘을 규명하고자 하였다.

#### 4. 연구방법 및 연구방향

연구 지역은 전라남도 동부지역의 중성암으로 구성된 주상절리를 대상으로 하였다. 행정구역상으로는 전라남도 구례군 문척면 금정리 일대, 전라남도 순천시 해룡면 일대, 전라남도 여수시 신월동 구봉산 일대 및 돌산읍 향일암 일대이다(Fig. 7).

주상절리의 전체적인 구조 및 형태를 파악하기 위해 야외 조사 시 주상절리의 단면 형태를 관찰 가능한 지역에서 그 크기와 폭, 각도를 측정하였으며, 가장 많이 관찰되는 다각형의 형태를 정리하였다. 또한, 주상절리를 구성하는 암석을 채취하여 박편으로 제작, 편광현미경 하에서 구성광물 및 조직을 관찰하였다.

주상절리를 구성하는 암석의 화학 분석을 위하여, 경상대학교 공동실험실습관 분석지원실의 파장 분산형 X-ray 형광분석기(Bruker AXS사 WD-XRF, 30kV, 170mA) 및 조선대학교 공동장비운영센터의 X-선 형광분석기(Rigaku社 RIX-2000, 50kv 30mA)를 이용하여 주성분 원소를 분석하였다.

측정한 자료와 화학 성분 분석 자료를 통해, 연구 지역에 분포하는 주상절

리의 형태에 대해 분석하였고, 기 조사된 다른 지역의 주상절리와 비교하여 주상절리의 크기와 형태에 영향을 미치는 요인들에 대해 정리, 분석을 해보고자 한다.

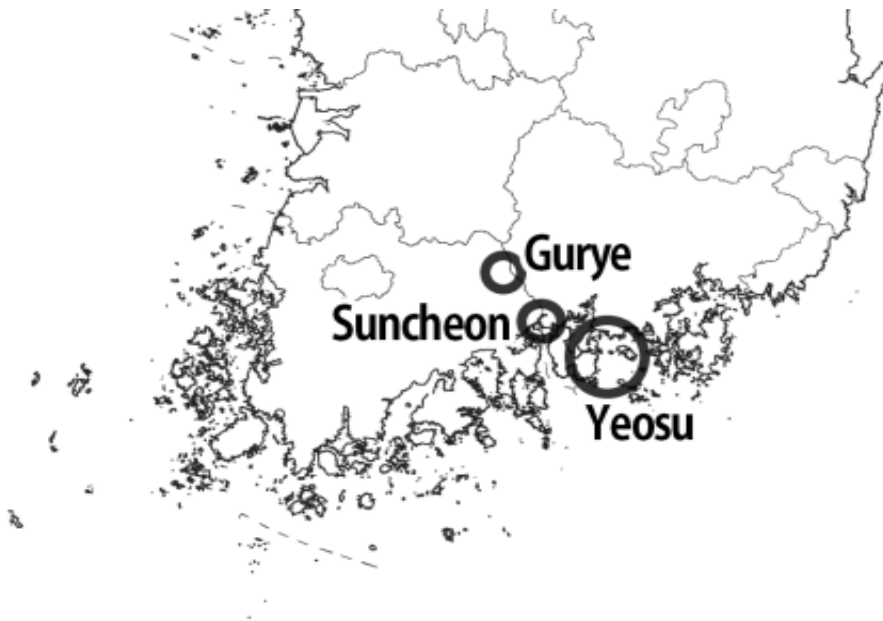


Fig. 7. Location of the study area in Korea.

### Ⅲ. 연구지역의 지질

본 연구지역은 전라남도 구례군 문척면 금정리 일대, 전라남도 순천시 해룡면 일대, 전라남도 여수시 신월동 구봉산 및 돌산읍 향일암 일대이다(Fig. 8). 이 지역은 1:250,000 광주 도폭과 여수도폭, 1:50,000 구례, 하동, 화개, 여수·개도·돌산도·소리도 도폭에 해당한다.

연구 지역을 포함하고 있는 전라남도 동부 지역은 선캄브리아대의 편마암류 및 편암류를 기반으로 중생대 트라이아스기, 쥬라기 및 백악기에 관입한 심성암류와 백악기의 퇴적암류 및 화산암류 그리고 신생대 제4기 충적층 등 다양한 암석이 분포한다(이병주 외, 1997; 최범영 외, 2002; Fig. 9).

구례군 문척면 일대는 중생대 백악기 진안층군에 해당하는 곳으로 역암, 사암, 실트암, 셰일 및 화산암편을 포함하는 다양한 육성 쇄설성 퇴적암과 이를 부정합적으로 덮는 화산암 및 화성쇄설성암으로 구성되어 있다.

순천 및 여수 지역은 중생대 백악기 유천층군 안산암 및 안산암질 응회암으로 이루어져 있다. 안산암류는 관입상과 분출상을 함께 보이며 화산쇄설물과 교호하는 양상으로 산출되고 있으며, 대개 사장석 반정을 갖는 암록색 내지 암회색의 반상 안산암, 반정이 적은 비현정질 안산암, 행인상 안산암 등으로 나뉘어진다. 이 암석의 석기는 lath 상의 사장석 미정(microlite)들이 다소 방향성을 보여주기도 하며 이들 사이에는 간간히 휘석, 녹기석, 녹염석, 철산화물 등이 포함되기도 한다(최범영 외, 2002). 여수를 포함한 한반도 남해안 일대는 중생대 말에 해당하는 백악기 화성활동이 활발했던 곳이다. 여수반도에는 활발한 화성활동의 산물인 경상누층군이 넓게 분포하며, 여수 북부의 봉화산 주변, 돌산읍 중앙부 그리고 화양면 남부해안에는 화성암류가 이들 퇴적암류를 관입하고 있다. 이 중 알칼리장석화강암의 정동구조나 미문상조 직은 지각 얽은 곳에서 형성되었음을 지시한다.

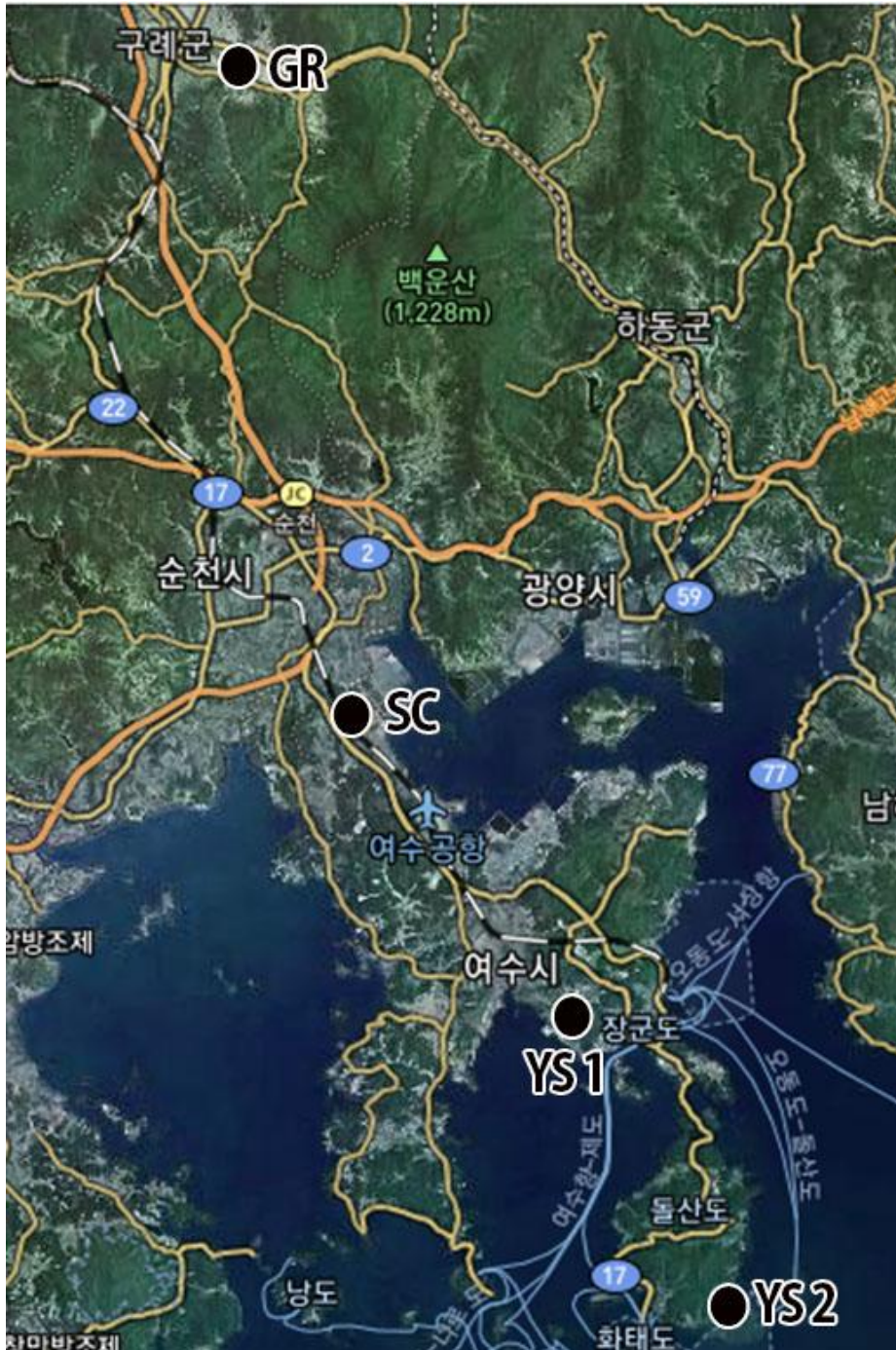


Fig. 8. Location of the study area in Jeollanam-do(modified <http://map.daum.net/>).

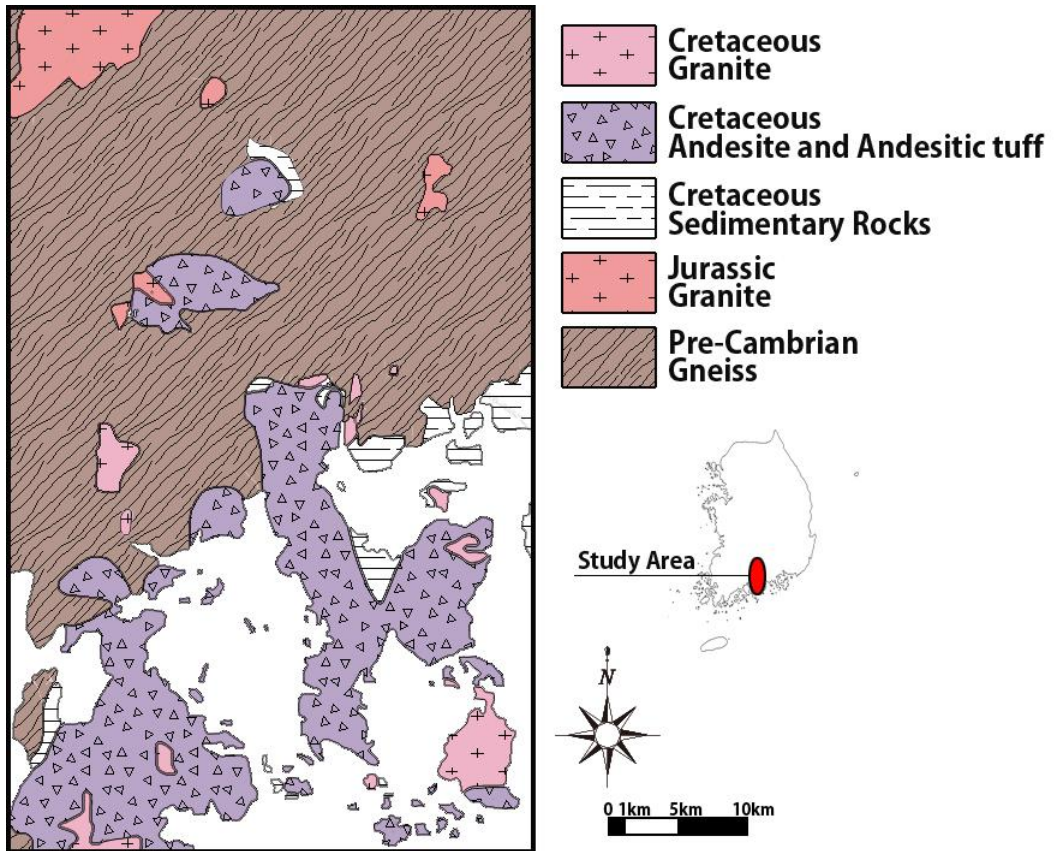


Fig. 9. The geology map of study area(modified Lee *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 2002).

## 1. 전라남도 구례군

본 지역은 1:50,000 구례도폭, 괴목도폭, 화개도폭에 해당하며, 연구 지역인 구례군 문척면 금정리 일대는 구례도폭에 해당하며 선캄브리아의 편마암류가 기저를 이루고 있다(Fig. 10).

본 연구지역의 주요 암체는 선캄브리아시대 편마암류와 중생대 암층이다. 편마암류는 편암류, 세립질 흑운모편마암, 호상편마암, 미그마타이트질편마암, 화강편마암 및 1,800~2,210 Ma의 Pb-Pb 저어콘 연령을 나타내는 반상변정질 화강편마암으로 되어 있다. 이들을 부정합으로 덮고 있는 중생대 암층은 백악기의 퇴적암층인 셰일, 사암과 응회질퇴적암이 있고, 이들을 관입, 분출하고 있는 화산암류인 산성 화성쇄설암, 안산암질암, 유문암 등으로 구성되어 있다(홍승호 외, 1984; 유환수 외, 1993).

연구지역은 전라남도 구례군 문척면 금정리 지역으로, 백악기 퇴적암으로 이루어진 금정리층, 토금층을 백악기 산성 응회암 및 안산암이 관입하고 있으며, 이를 부정합으로 덮는 제4기층으로 구성되어 있다(Fig. 11).

금정리 역암은 문척면 금정리 화정에서는 괴상의 이암 및 실트암(토금층)으로 덮혀 있다. 역암의 기질은 적자색 및 자색의 이질과 사질로 이루어져 있으며, 전체적인 지층은 상향세립화 경향을 보인다. 하부의 역의 구성은 이암 및 실트암이 30~40%까지 차지하고 있으며, 편마암 20~30%, 화강암 20~30%로 구성되고, 소량의 규암과 편암 등도 포함된다(이영엽 외, 2007; Fig. 12).

토금층은 구례군 문척면 금정리 화정마을에서 토금마을까지 개천을 따라 오봉산 남쪽 861번 지방국도 및 오봉산 북쪽 도로 옆을 따라 분포하고 있다. 대부분 이암 및 실트암으로 이루어져 있고, 부분적으로 점이층리를 보이는 사암과 응회암으로 구성되어 있다. 금정리 일대에서는 금정리 역암을 정합적으로 덮고 있다. 이 지층은 주로 적자색의 괴상 이암 및 실트암과, 녹색의 층리 발달 이암 및 실트암으로 이루어져 있으며, 점이층리의 사암과 래필리응회암을 협재한다(이영엽 외, 2007).



Fig. 10. Location of the study area in Gurye(modified <http://map.daum.net/>).

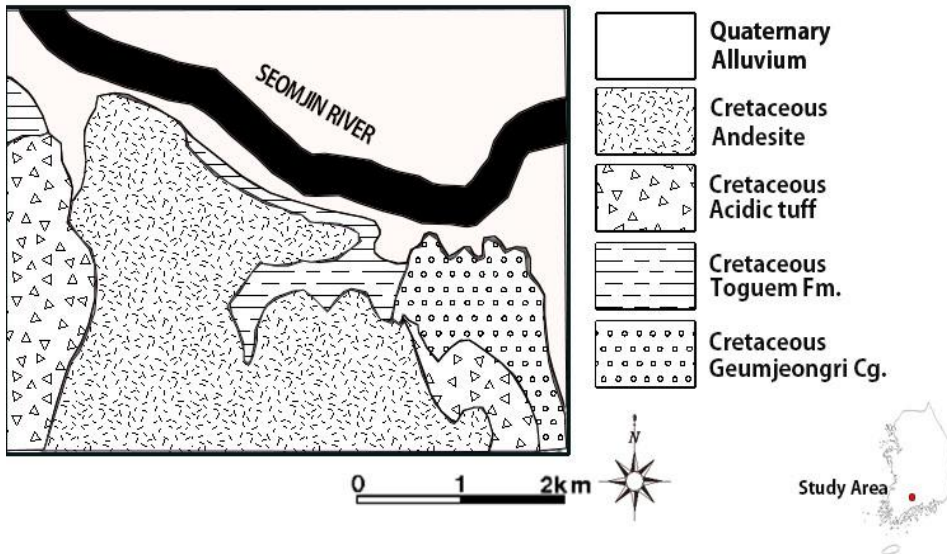


Fig. 11. The geology map of study area in Gurye(modified Lee *et al.*, 2007).



Fig. 12. Photographs of Gurye area(GR-1).

(a) outcrop of conglomerate (b) rocks in outcrop



연구 지역에서 관찰되는 안산암은 주로 암회색을 띠며, 세립의 사장석이 반정으로 나타나며(Fig. 13, 14), 큰 암편(rock fragment)이 암석에 골고루 분포되어 있음이 관찰된다(Fig. 15). 주상절리대 상부는 풍화가 많이 이루어져 작게 부서진 주상절리가 퇴적층에 협재되어 있다(Fig. 16, 17, 18).



Fig. 13. Photographs of Gurye area (GR-2).

(a) outcrop of columnar joint (b) morphology of columnar joint



Fig. 14. Photographs of Gurye area(GR-3).

(a) outcrop of andesite (b) rocks in outcrop



Fig. 15. Photographs of Gurye area(GR-4).

(a) outcrop of columnar joint (b) rock fragment of columnar joint



Fig. 16. Photographs of Gurye area(GR-5).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop



Fig. 17. Photographs of Gurye area(GR-6).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop



Fig. 18. Photographs of Gurye area(GR-7).

금정리 일대에서 채취한 암석의 박편 사진을 보면 주구성광물은 사장석, 휘석 등이며 사장석 반정을 미정질의 사장석 및 석영이 기질부를 이루며 감싸도는 유리기류정질 조직을 볼 수 있다(Fig. 19). 2차 변질 광물로 방해석이 나타나는 것도 관찰할 수 있다(Fig. 20). 사장석은 칼스바드 쌍정 및 알바이트 쌍정이 잘 관찰되며, 사장석 반정을 피하는 것처럼 돌아서 배열되어 있는 조면암상 조직을 볼 수 있다(Fig. 21, 22).

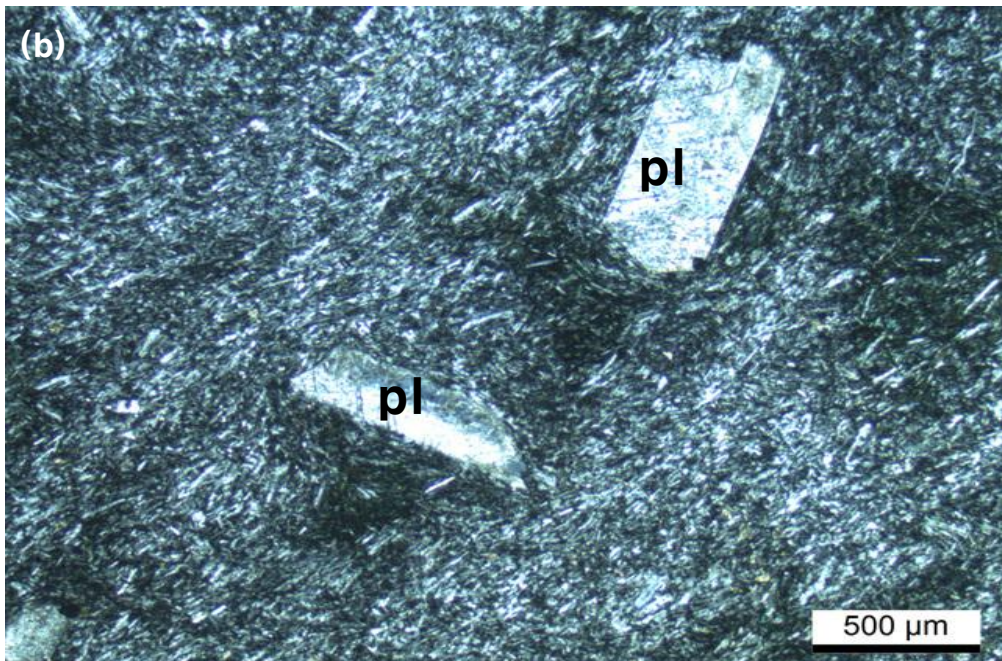
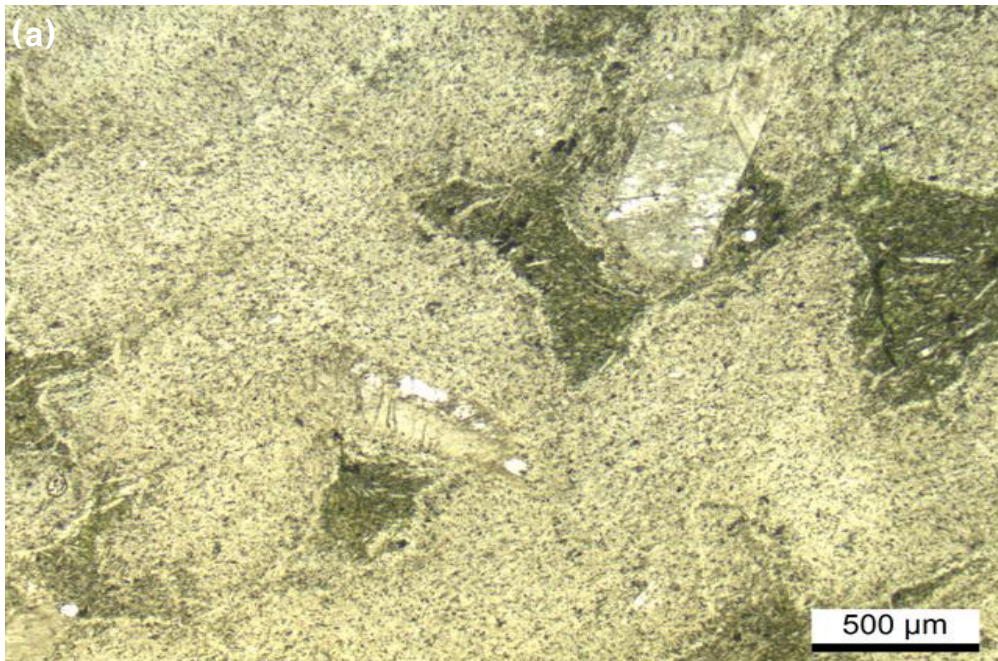


Fig. 19. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-2).

(a): open nicol, (b): cross nicol

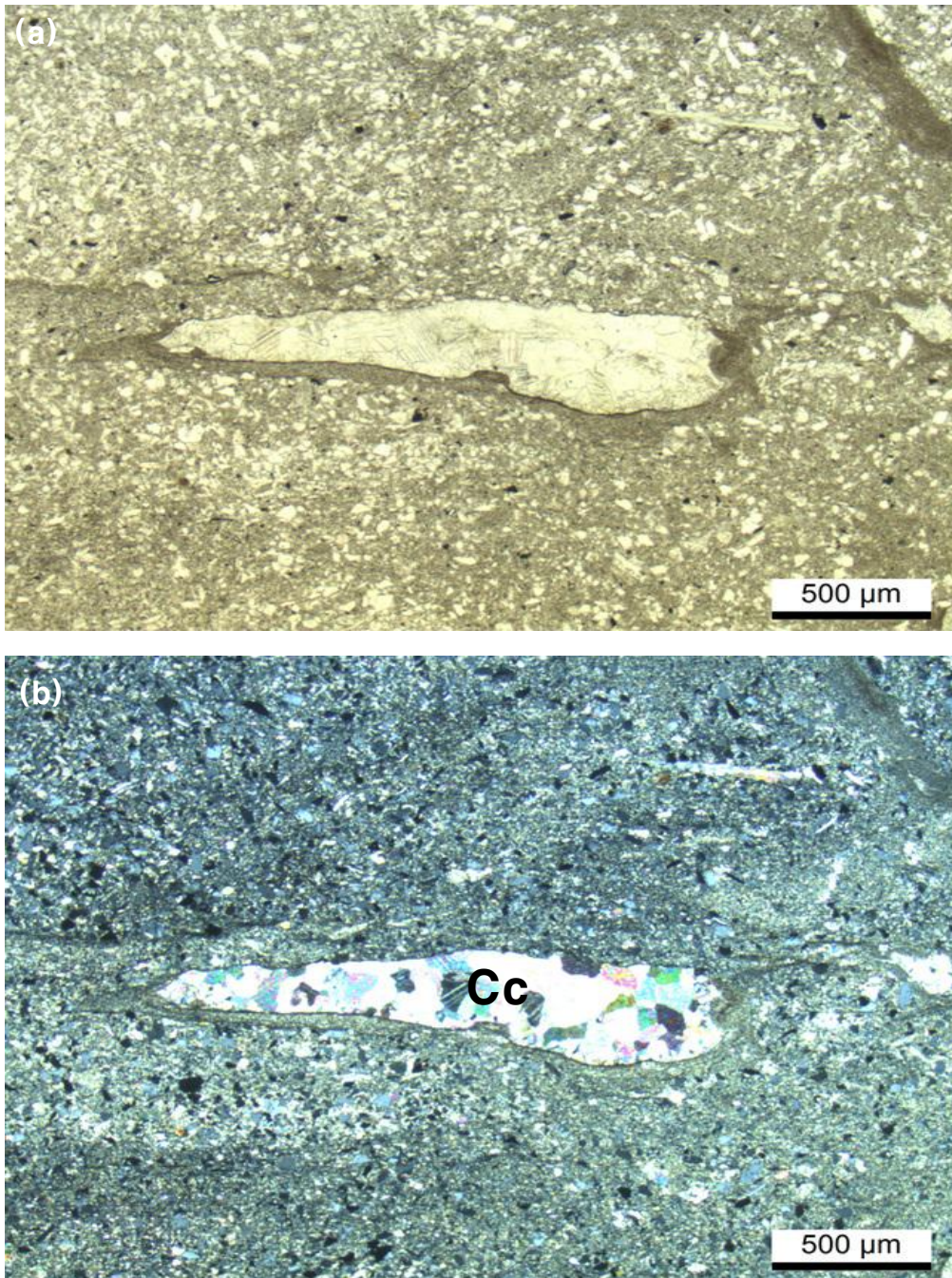


Fig. 20. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-3).

(a): open nicol, (b): cross nicol



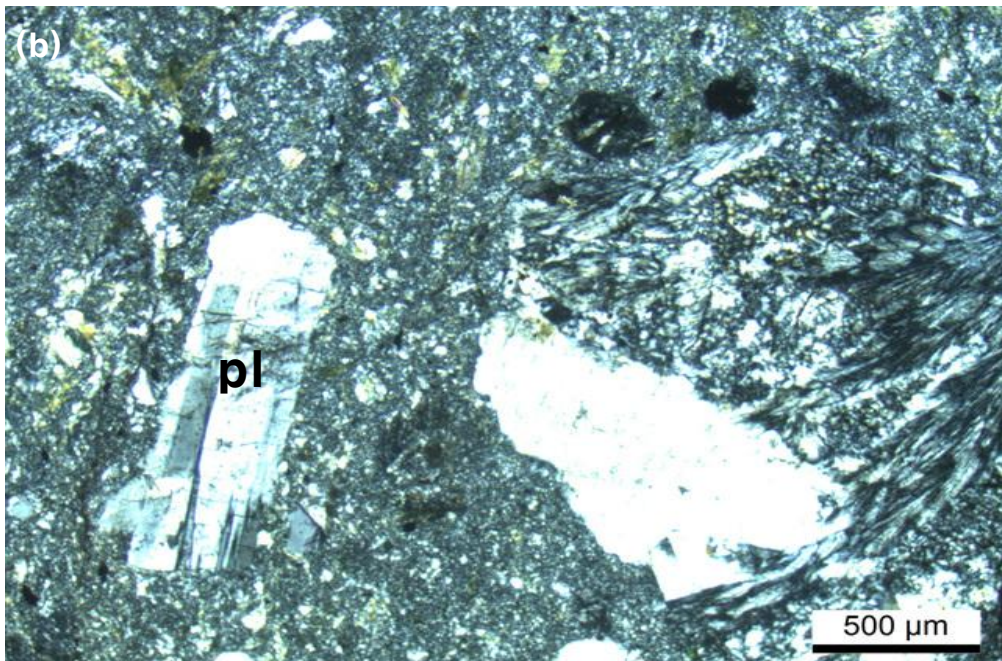
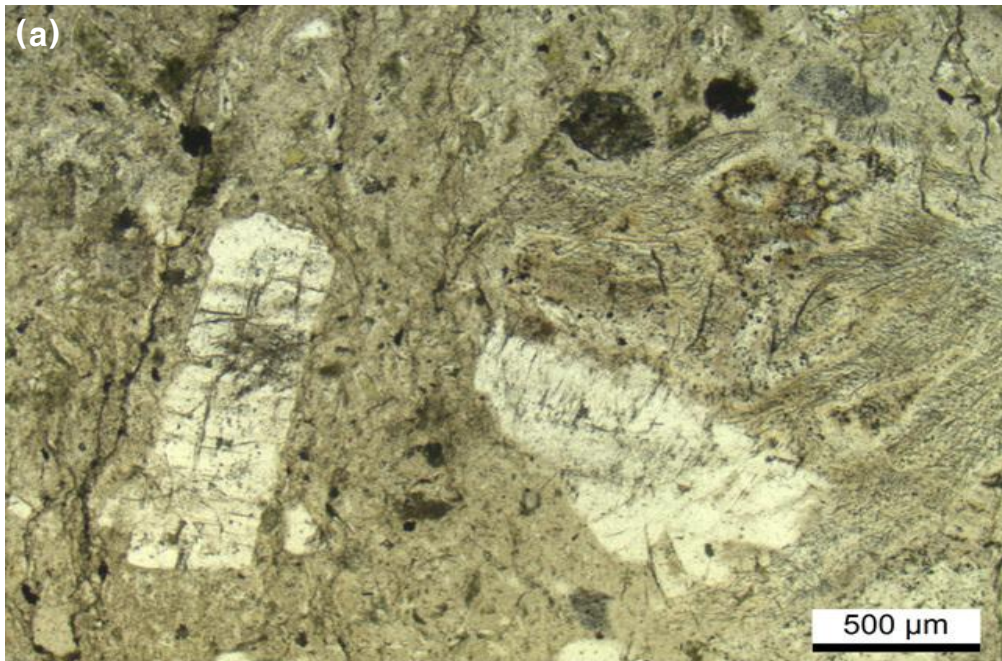


Fig. 21. Microphotographs of andesite on the Gurye area (GR-4).

(a): open nicol, (b): cross nicol

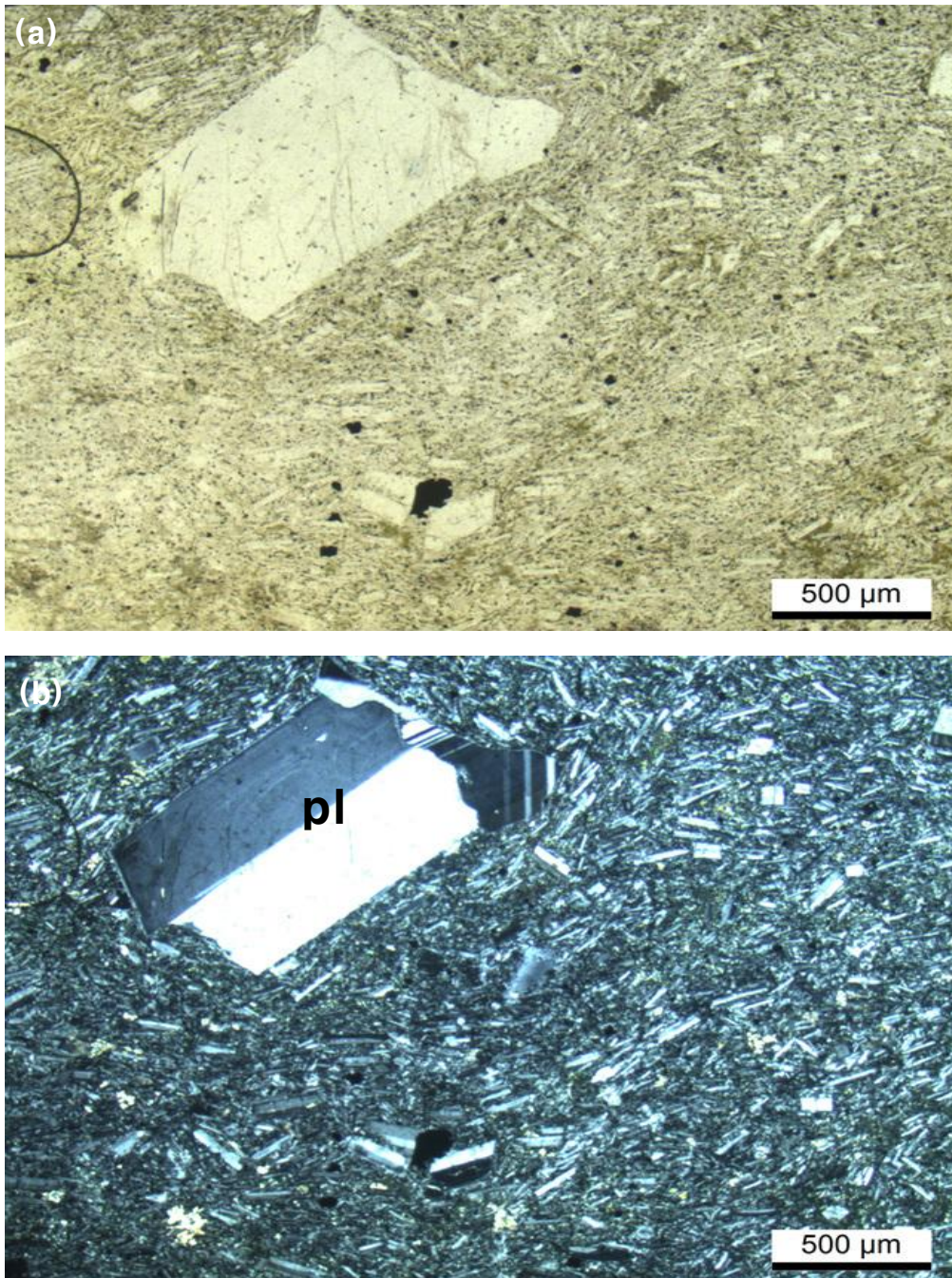


Fig. 22. Microphotographs of andesite on the Gurye area(GR-5).

(a): open nicol, (b): cross nicol

## 2. 전라남도 순천시

본 지역은 1:50,000 순천도폭 및 광양도폭에 해당하며, 연구 지역인 순천시 해룡면 17번 국도 해룡1터널 순천 방향 일대 부근은 광양도폭에 해당하며 대부분 중생대 백악기 안산암 및 안산암질 응회암(Kiv)으로 이루어져 있다(Fig. 23).

이 지역은 백악기 안산암 및 유문암질 응회암이 대부분 분포하는 곳으로 경상계 불국사화강암류인 산성 암맥이 관입을 하고 있다(Fig. 24).

주상절리대의 높이는 약 50m정도로 가까이 가서 관찰한 결과 일정한 방향성을 보임을 알 수 있다(Fig. 25). 이곳의 암석은 암회색을 띠며 치밀한 구조를 나타내고 있으며(Fig. 26, 27), 백색의 장석반정과 휘석 반정이 뚜렷하게 관찰되고 채석의 흔적으로 풍화가 많이 진행되어 변질된 양상을 보인다(Fig. 28, 29).

해룡면 일대에서 채취한 암석의 박편 사진을 보면 사장석의 누대구조가 잘 관찰되며(Fig. 30), 휘석 및 사장석, 각섬석 등이 큰 반정을 보이고 있다(Fig. 31, 32). 사장석을 반정으로 한 반상조직이 나타나며, 하이퍼신, 휘석, 인회석 및 불투명광물등이 관찰된다(Fig. 33, 34).



Fig. 23. Location of the study area in Suncheon(modified <http://map.daum.net/>).

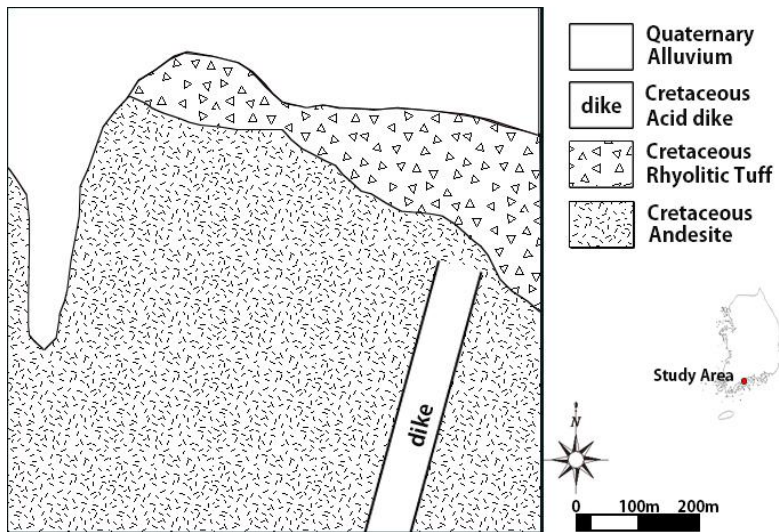


Fig. 24. The geology map of study area in Suncheon(modified Choi *et al.*, 2002).

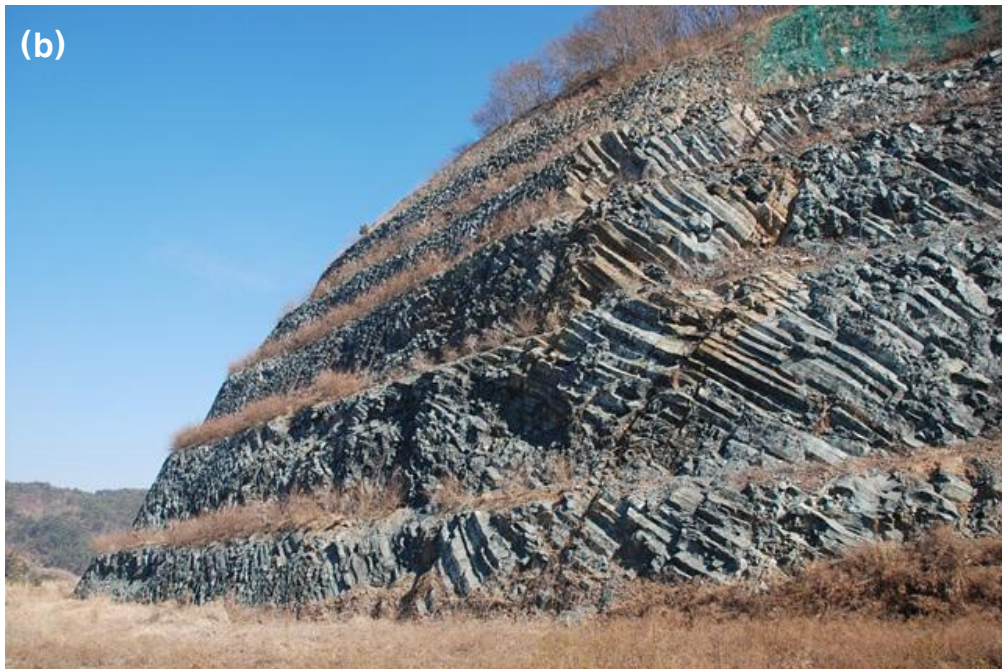


Fig. 25. Photographs of Suncheon area.

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop

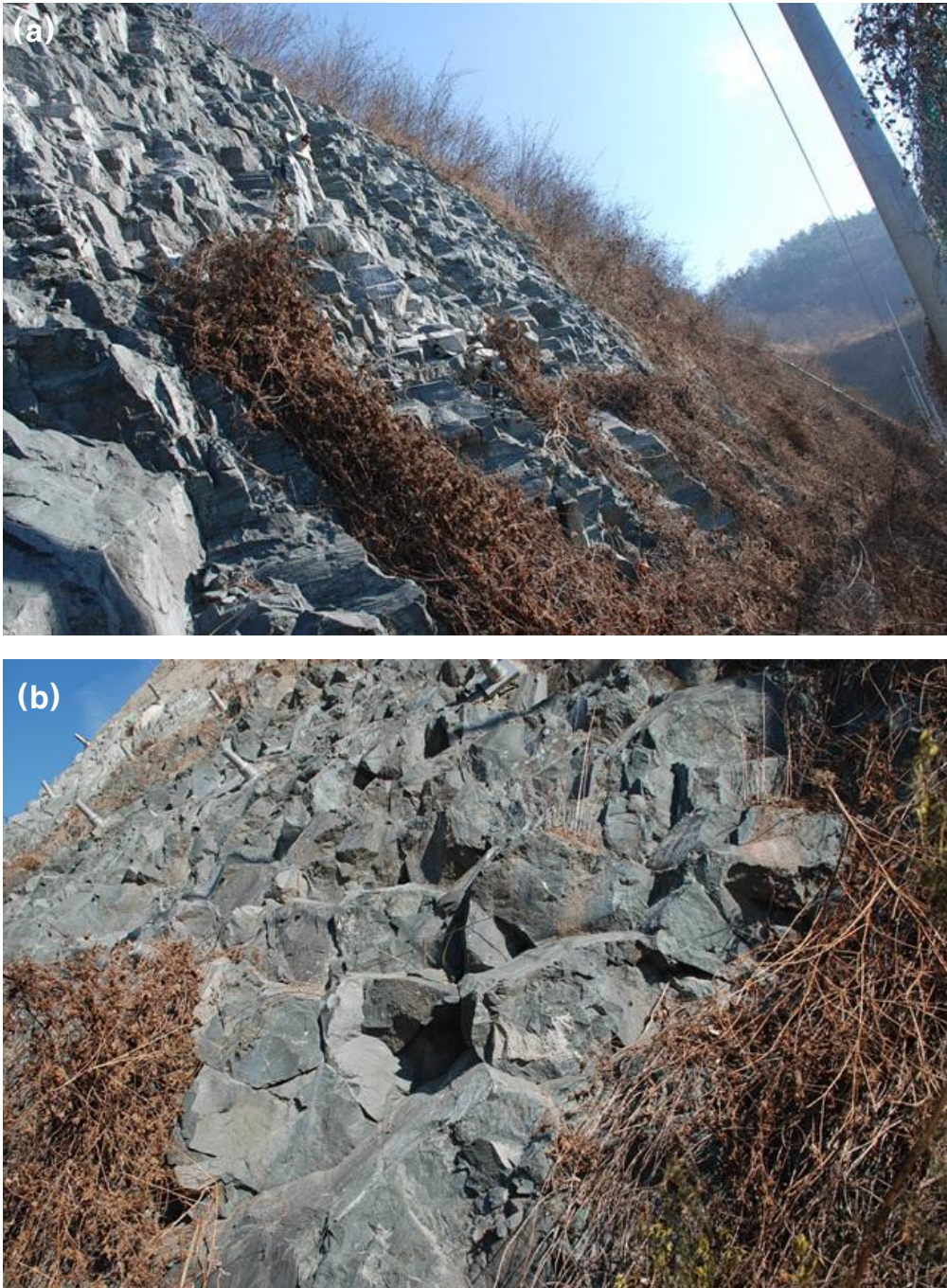


Fig. 26. Photographs of Suncheon area(SC-1).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop



Fig. 27. Photographs of Suncheon area(SC-2).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop



Fig. 28. Photographs of Suncheon area(SC-3, SC-4).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop





Fig. 29. Photographs of Suncheon area(SC-5).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop

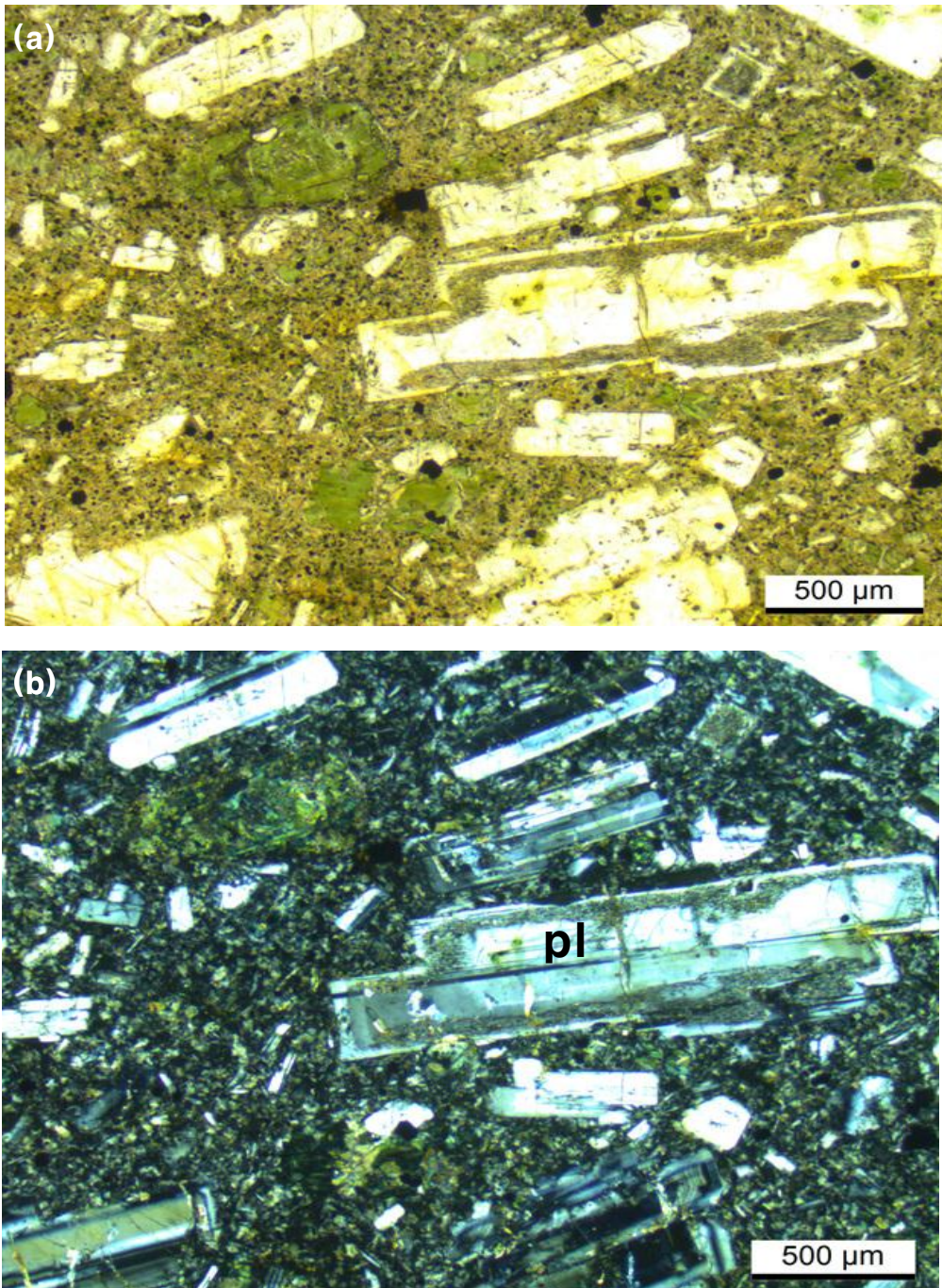


Fig. 30. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-1).

(a): open nicol, (b): cross nicol

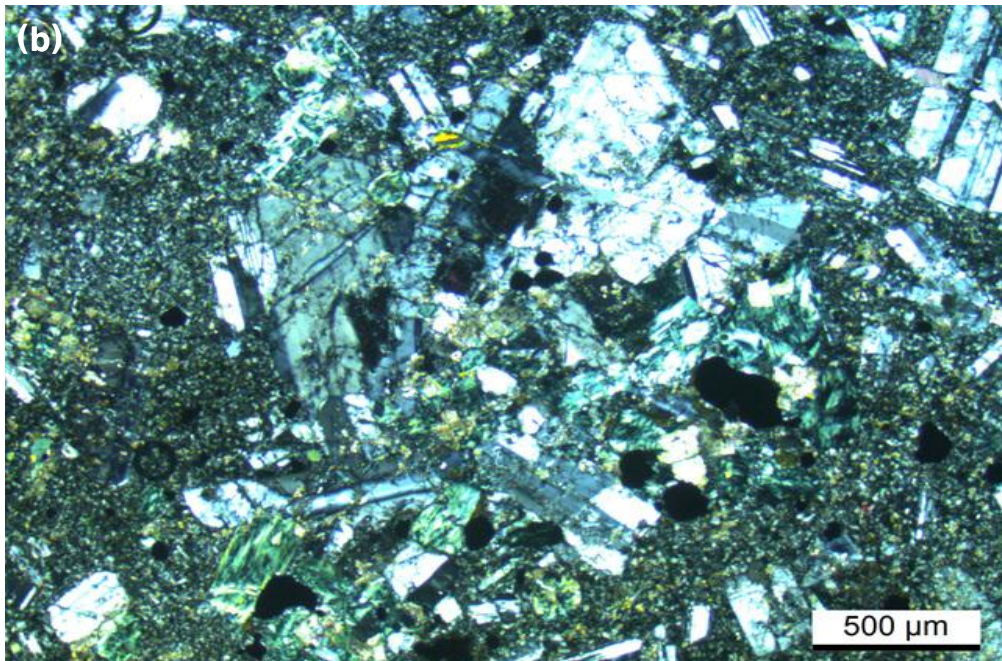
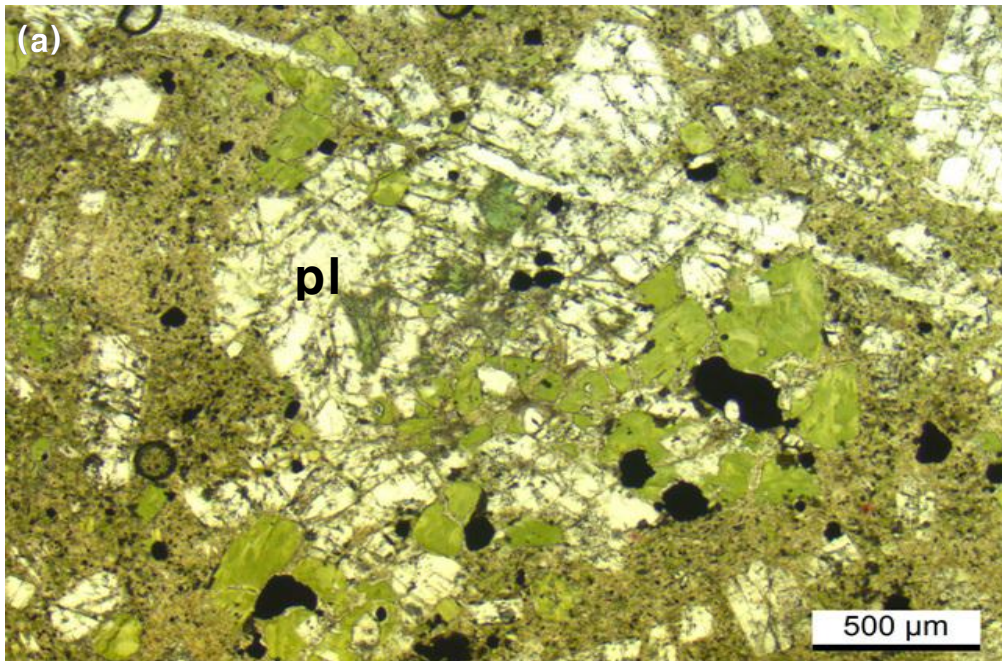


Fig. 31. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-2).

(a): open nicol, (b): cross nicol

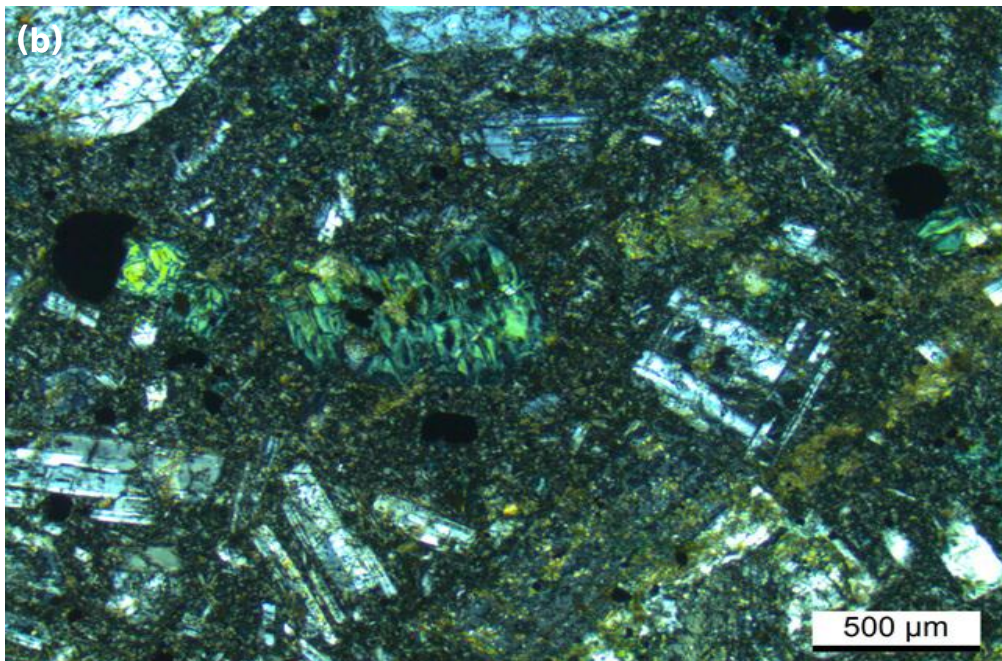
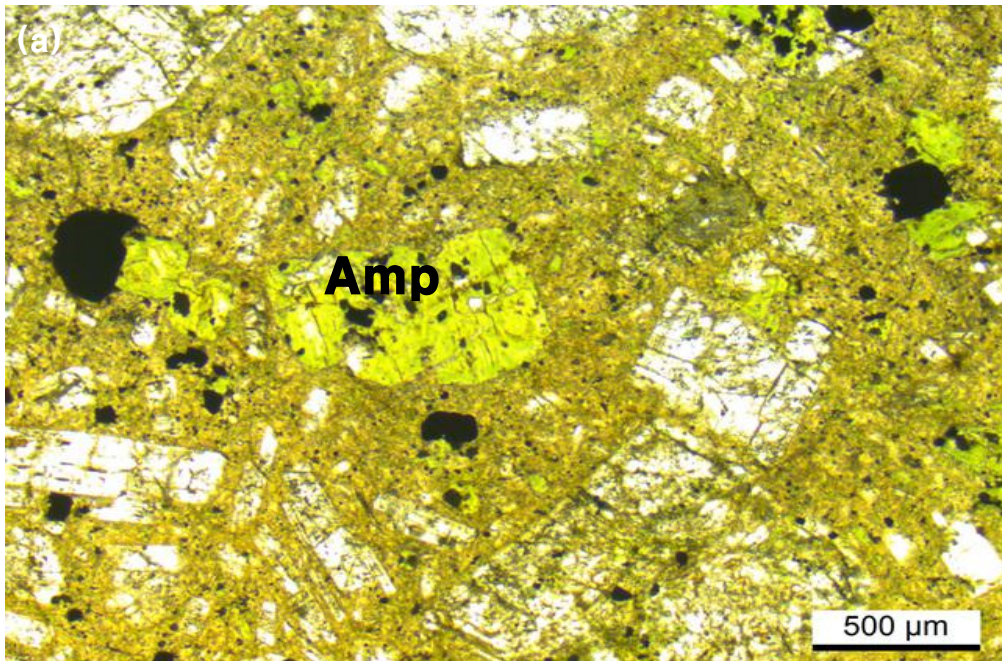


Fig. 32. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-3).

(a): open nicol, (b): cross nicol

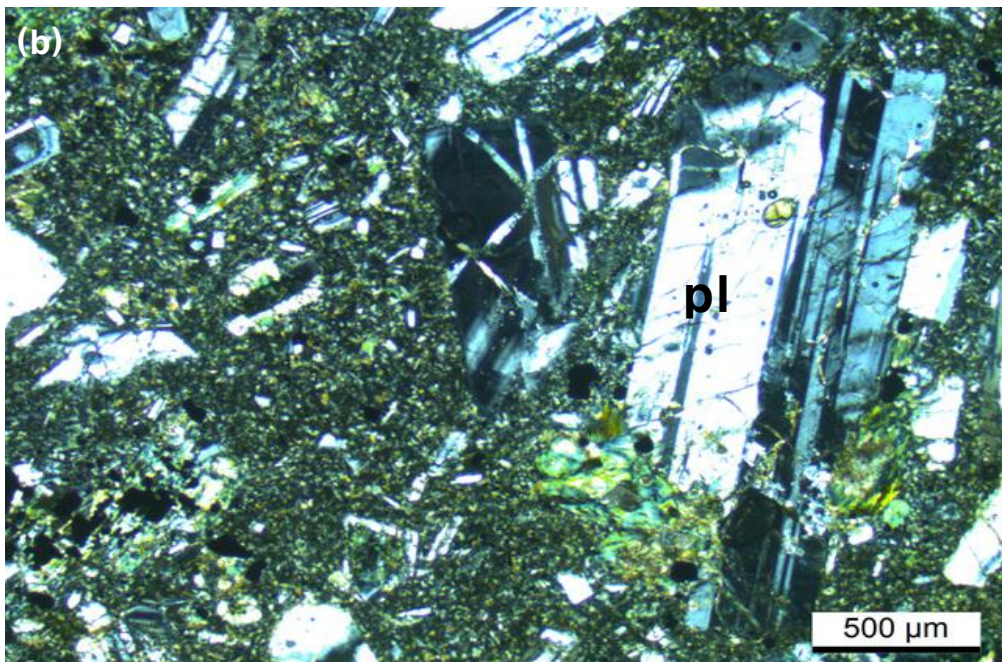
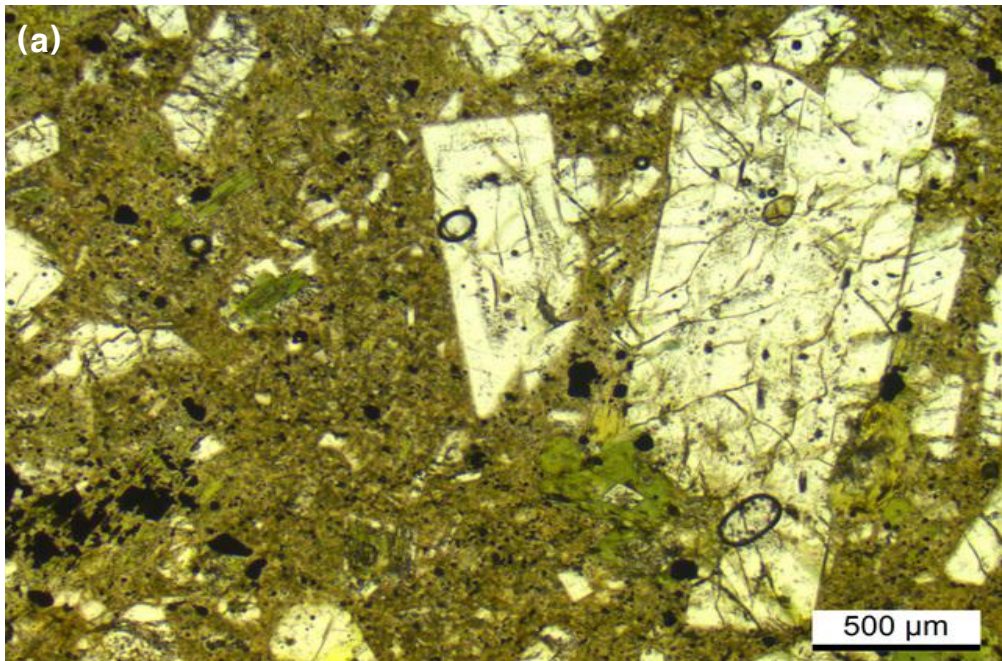


Fig. 33. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-4).

(a): open nicol, (b): cross nicol

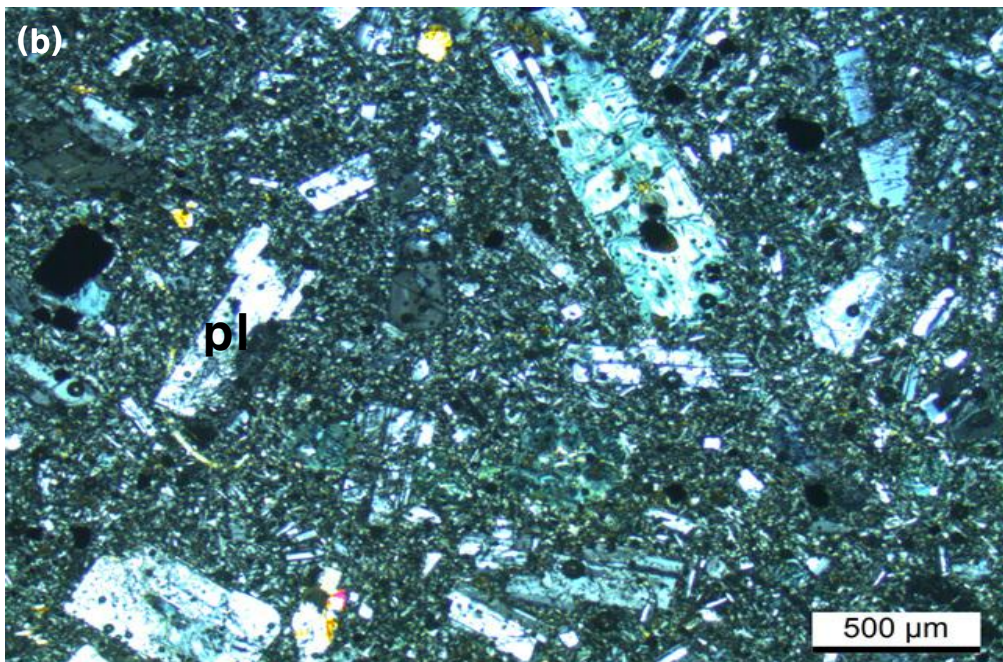
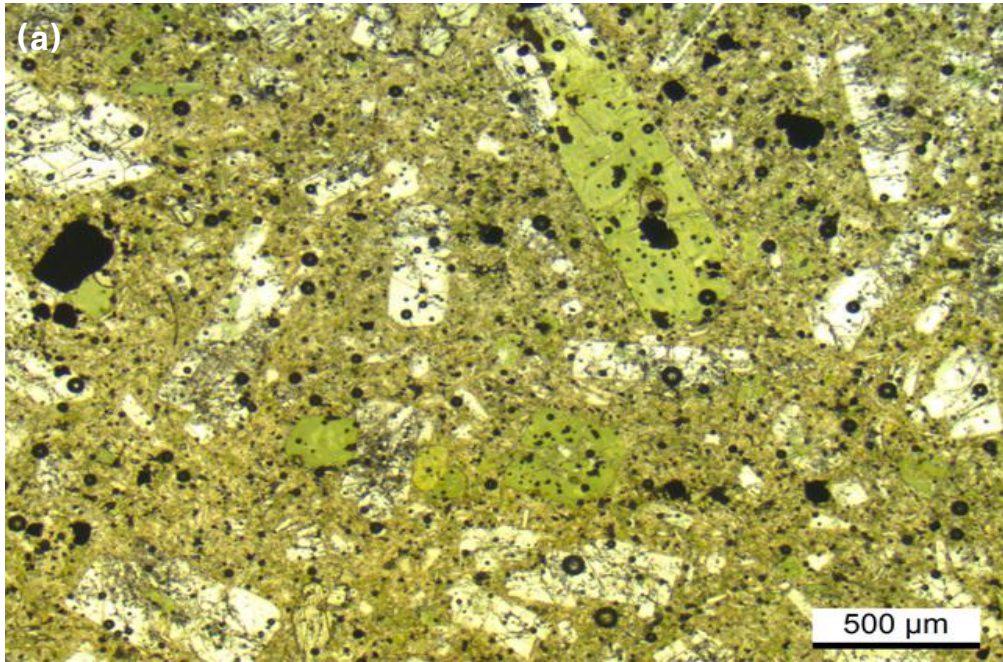


Fig. 34. Microphotographs of andesite on the Suncheon(SC-5).

(a): open nicol, (b): cross nicol

### 3. 전라남도 여수시

연구지역은 1:50,000 여수·개도·돌산도·소리도 도폭에 해당하는 지역으로 (Fig. 35), 하부에서부터 백악기 퇴적암인 신동층군의 하산동층, 화산암류인 유천층군의 안산암질 응회암과 유문암질 응회암이 주로 분포하며 백악기의 화성암류인 유문암, 안산암, 흑운모화강암과 반암류가 관입하고 있으며 이들을 부정합적으로 피복하는 제4기 층적층이 분포한다(송교영과 김현철, 2015; Fig. 36).

구봉산(YS-1)은 높이 388m로, 전라남도 여수시 국동·신월동·여서동·봉산동에 걸쳐 있다. 산의 남동쪽 사면은 급경사를 이루며, 정상에 서면 여수항이 한눈에 들어온다. 지질은 중생대 백악기 화성암인 중성화산암류 및 구봉산응회암으로 구성되어 있다.

구봉산응회암은 여수시 중심가를 포함한 여수도폭의 중동부와 북동부 일대에 분포하는데, 암회색 내지 암청색의 안산암질 내지 석영안산암질 화산력응회암이 주를 이루고 있으며 반자형의 장식반정이 반상조직을 보인다(송교영과 김현철, 2015; Fig. 37).

금오산 향일암(YS-2)은 높이 323m로, 전라남도 여수시 돌산읍 남동단에 위치한다. 산 정상 바위 모양이 거북등을 닮았다 해서 금오산이라 명칭되어 지고 있다. 지질은 중생대 백악기 화성암인 중성화산암류 및 향일암응회암으로 이루어져 있다.

향일암응회암은 개도와 돌산도 도폭에 걸쳐 분포하며, 암회색이나 녹회색을 띠는 안산암질 내지 석영안산암질 화산력응회암과 응회각력암 등으로 구성되어 있으며, 일부에서 현무암질 안산암 또는 안산암질 현무암이 분출하거나 관입하고 있다(Fig. 38).

같은 안산암질 내지 석영안산암질 화산력응회암으로 구성된 구봉산응회암과 향일암응회암의 차이점은 구봉산응회암이 주로 1~2cm 크기의 석영안산암질 암편을 함유하고 있고 층리가 보이지 않을 정도로 두꺼운 괴상의 형태로 산출되며 반자형의 장식반정이 반상조직을 보여주는 안산암질 화산력응회암인 반면, 향일암응회암은 조성성분 차이에 의한 층리가 비교적 많이 관찰되

고 작은 크기이지만 다양한 종류의 화산력 암편과 함께 응회각력암으로 구분 될 정도로 크고 많은 화산각력을 함유하고 있다는 점이다(송교영과 김현철, 2015).



Fig. 35. Location of the study area in Yeosu  
 (YS1 : Mt. gubong, YS2 : Hyangilam, modified <http://map.daum.net/>).



구봉산 일대에서 채취한 암석의 박편 사진을 보면 장석은 자형 내지 반자형으로 알바이트 쌍정이 관찰되며, 기질부는 미정질의 석영과 장석으로 이루어져 있다(Fig. 39).

금오산 향일암 일대에서 채취한 암석의 박편 사진을 보면 석영 및 사장석으로 이루어져 있으며, 석영 주변이 반응연을 보이고 있다(Fig. 40).

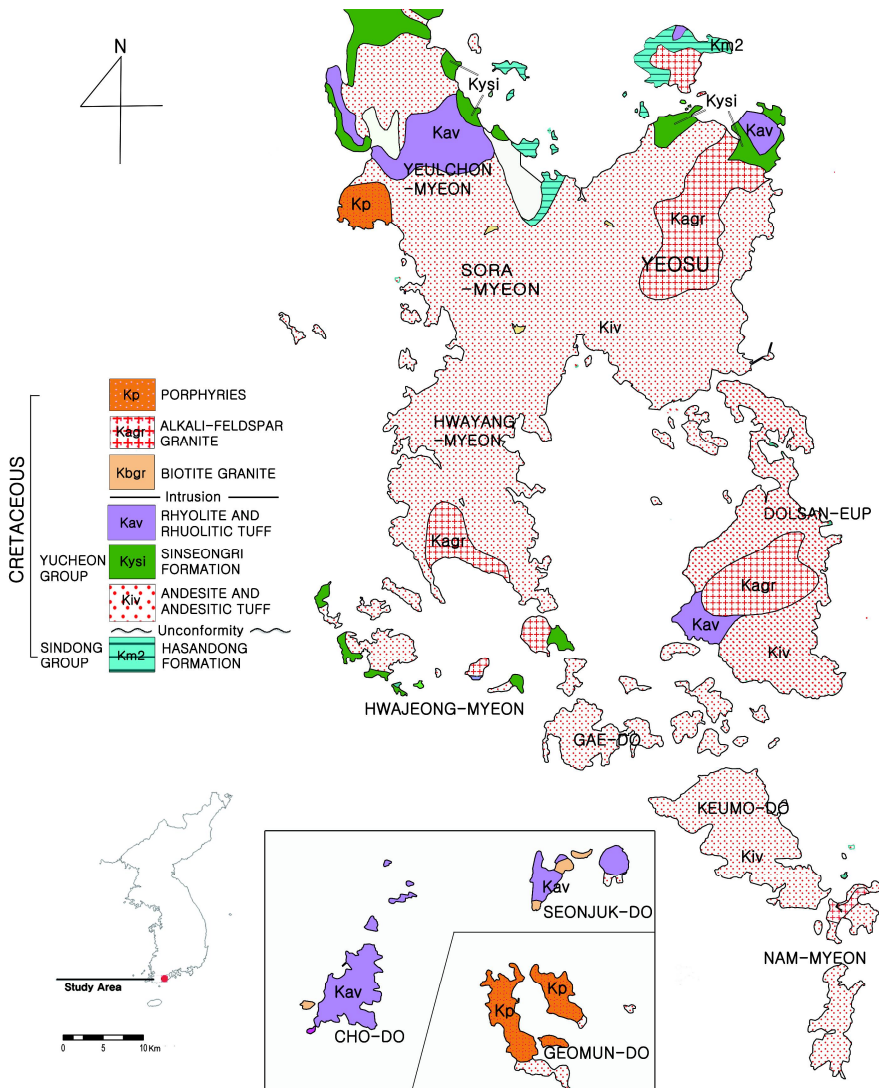


Fig. 36. The geology map of study area in Yeosu



Fig. 37. Photographs of Yeosu area(YS-1).

(a) outcrop of columnar joint (b) rocks in outcrop



Fig. 38. Photographs of Yeosu area(YS-2).

(a) outcrop of columnar joint (b) columnar joint in outcrop

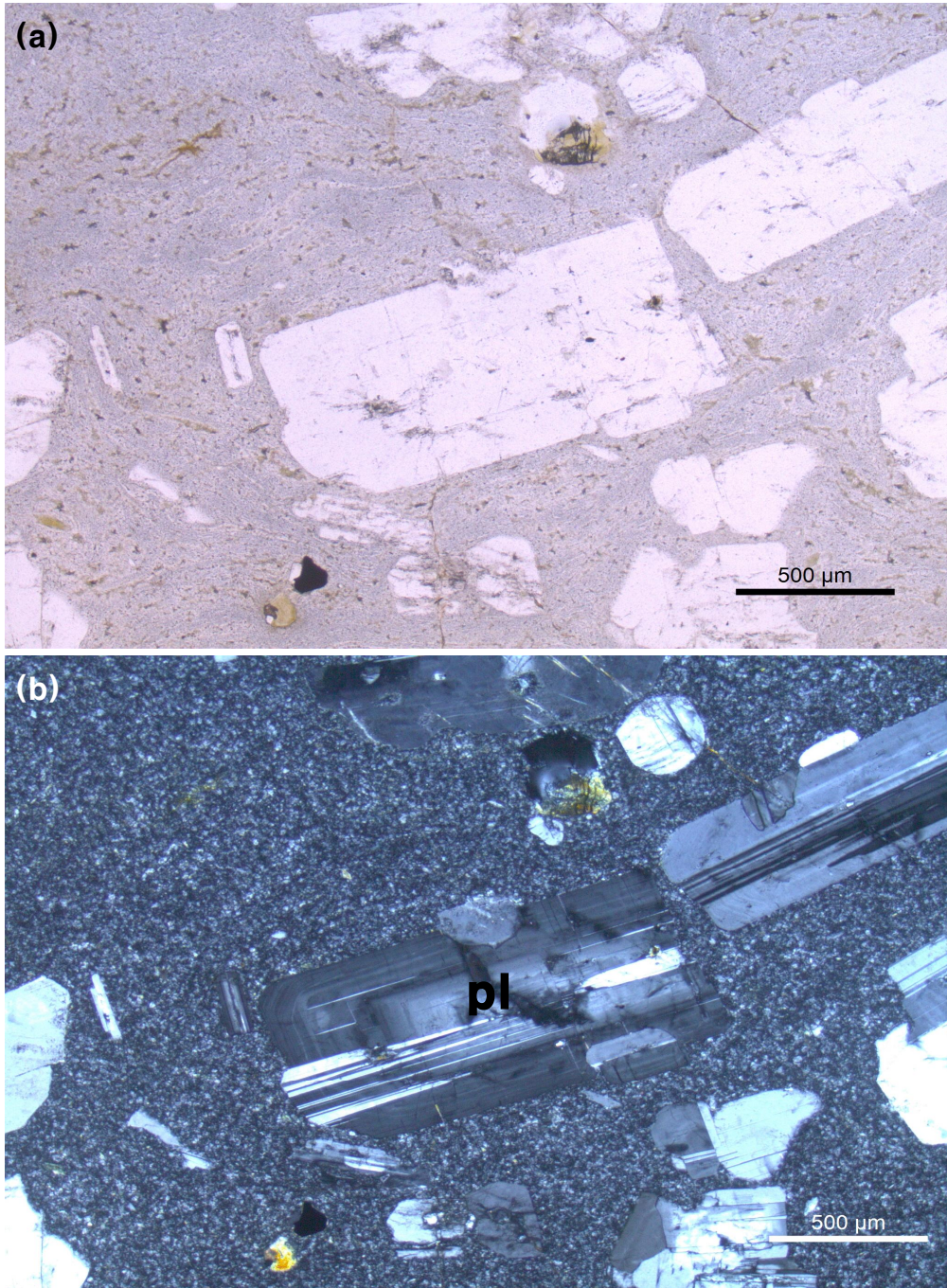


Fig. 39. Microphotographs of andesite on the Yeosu(YS-1).

(a): open nicol, (b): cross nicol

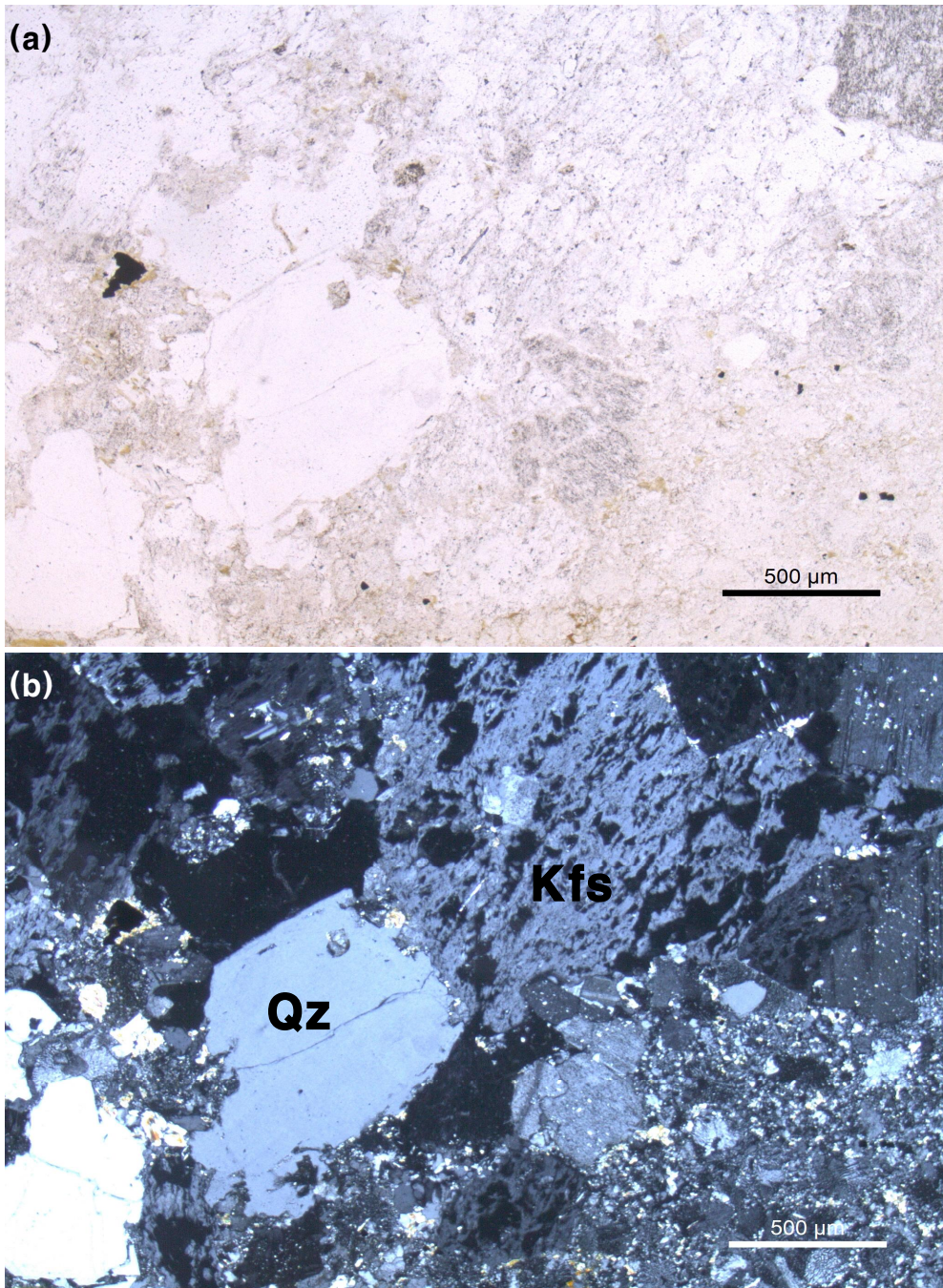


Fig. 40. Microphotographs of andesite on the Yeosu(YS-2).

(a): open nicol, (b): cross nicol

### Ⅲ. 주상절리 형태분석

주상절리의 형태 분석을 위해 각 연구지역의 현장 조사를 통해 주상절리 단면이 노출되는 부분을 직·간접적으로 관찰, 다각형의 수(N), 기둥면의 폭(L) 및 기둥면 사이의 각( $\theta$ )을 측정하였다(Table 1).

용암류가 냉각이 되면 상부 표면부터 수축되기 시작하여 블록으로 나뉘는데, 블록은 세 직선에 의해 나뉘질 때 가장 에너지가 적게 필요하다. 그러므로 용암이 굳어져 블록으로 나뉘지는 가장 최소한의 균열 단위는 3개의 직선이다(Gray, 1986). 냉각 표면에서 형성되는 균열면 사이의 각은 주로 90°(T형)가 많으나, 잘 발달된 현무암 기둥에서는 120°(Y형)이 우세하다.

전분 실험에 의하면, 냉각 속도에 따라 다각형의 모양이 변화됨을 알 수 있는데, 일반적으로 냉각속도가 빠를수록 면의 개수가 적어진다. 다각형은 냉각 표면에서 멀어질수록 육각형 모양의 패턴이 규칙적으로 나타나며, 냉각 속도가 느려지면서 직경이 커진다(Toramaru and Matsumoto, 2004).

이를 정리하면, 냉각률이 높은 표면에서는 상대적으로 기둥면의 폭이 작고 각은 90°에 가깝게 T형을 띠는 오각형 이하의 다각형 형태로 나타나며, 냉각률이 낮을수록 계에서 에너지가 최소화 되는 형태인 육각형의 모양으로 각은 120°에 가깝게 형성되며, 폭은 상대적으로 크게 나타난다.

연구지역의 주상절리 형태를 분석한 결과, 구례, 순천, 여수 지역 모두 대체로 5~6각형이 우세하였으며, 기둥면 사이의 각은 구례가 91°~120°, 순천이 101°~130°, 여수가 111°~130°가 우세한 것으로 다각형의 형태가 5~6각형이 우세한 것과 관련이 있다. 기둥면의 폭은 구례는 21cm~30cm, 순천은 10cm~30cm, 여수는 31cm~50cm가 우세한 것으로 나타났다.

이러한 결과를 종합, 형성과정을 유추하여 보면, 구례 지역은 퇴적층 사이로 안산암이 관입되어 형성된 것으로 보인다. 순천 지역은 대규모 마그마 관입이 일어나 일정한 방향성을 나타내며 냉각된 것으로 생각되며, 여수 항일암 지역은 다른 연구 지역들에 비해 SiO<sub>2</sub>의 함량이 낮지만 폭이 크게 나타나는 것으로 보아 상대적으로 냉각속도가 느렸음을 생각할 수 있다.

Table 1. Columnar joint site with names, geographical location in the study area.

Site name	Latitude	Longitude	Administrative district
GR-01	N35°38'12"	E126°27'42"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-02*	N35°38'12"	E126°27'42"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-03	N35°10'57"	E127°31'05"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-04	N35°10'58"	E127°31'06"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-05	N35°10'58"	E127°31'08"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-06*	N35°10'59"	E127°31'09"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
GR-07	N35°11'00"	E127°31'08"	Muncheok-myeon, Gurye-gun
SC-01*	N34°53'23"	E127°33'20"	Haeryong-myeon, Suncheon-si
SC-02*	N34°53'25"	E127°33'20"	Haeryong-myeon, Suncheon-si
SC-03*	N34°53'26"	E127°33'20"	Haeryong-myeon, Suncheon-si
SC-04*	N34°53'27"	E127°33'20"	Haeryong-myeon, Suncheon-si
SC-05*	N34°53'27"	E127°33'20"	Haeryong-myeon, Suncheon-si
YS-01*	N34°43'30"	E127°42'18"	Shinwoldong, Yeosu-si
YS-02*	N34°35'29"	E127°48'13"	Hwayang-myeon, Yeosu-si

\* is measured columnar joint

## 1. 구례지역 주상절리

이 지역의 주상절리는 구례군 문척면 금정리 오봉산 남쪽 오봉정사길을 따라 올라가면서 볼 수 있다. 주 구성 암석은 안산암 및 안산암질응회암으로 이루어져 있다(Fig. 41). 주상절리 측정은 2곳(GR-2, GR-6)에서 총 30개의 단면을 조사하였다

주상절리 다각형의 수(N)는 4각형이 6%, 5각형이 60%, 6각형이 28%, 7각형이 6%로 5각형이 절반 이상을 차지하며, 기둥면의 폭(L)은 10~20cm가 28%, 21~30cm가 39%, 31~40cm가 23%, 41~50cm가 10%의 빈도율로 10~30cm가 67%로 절반 이상을 차지하고 있다. 기둥면 사이의 각( $\theta$ )은 70°~80°가 7%, 81°~90°가 8%, 91°~100°가 13%, 101°~110°가 34%, 111°~120°가 12%, 121°~130°가 10%, 131°~140°가 8%, 141°~150°가 8%의 빈도율로 91°~120°가 59%로 절반 이상을 차지하고 있다(Table 2, Fig. 42, 43).

Table 2. Measurement of columnar joint in Gurye site.

N	4		5		6		7	
	6%		60%		28%		6%	
L	10 ~ 20cm		21 ~ 30cm		31 ~ 40cm		41 ~ 50cm	
	14%		39%		32%		15%	
$\theta$	70°~	81°~	91°~	101°~	111°~	121°~	131°~	141°~
	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°
	7%	8%	13%	34%	12%	10%	8%	8%





Fig. 41. Photographs of Columnar joint in Gurye area.

(a) outcrop of columnar joint (b) columnar joint in outcrop

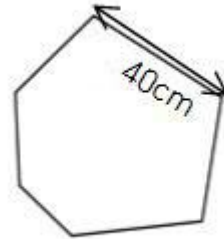
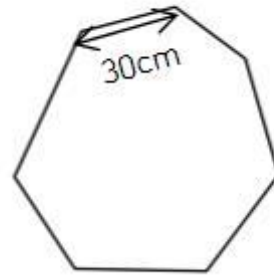


Fig. 42. Photograph and sketch of measured columnar joint in Gurye area.

(a), (b) morphology sketch of columnar joint

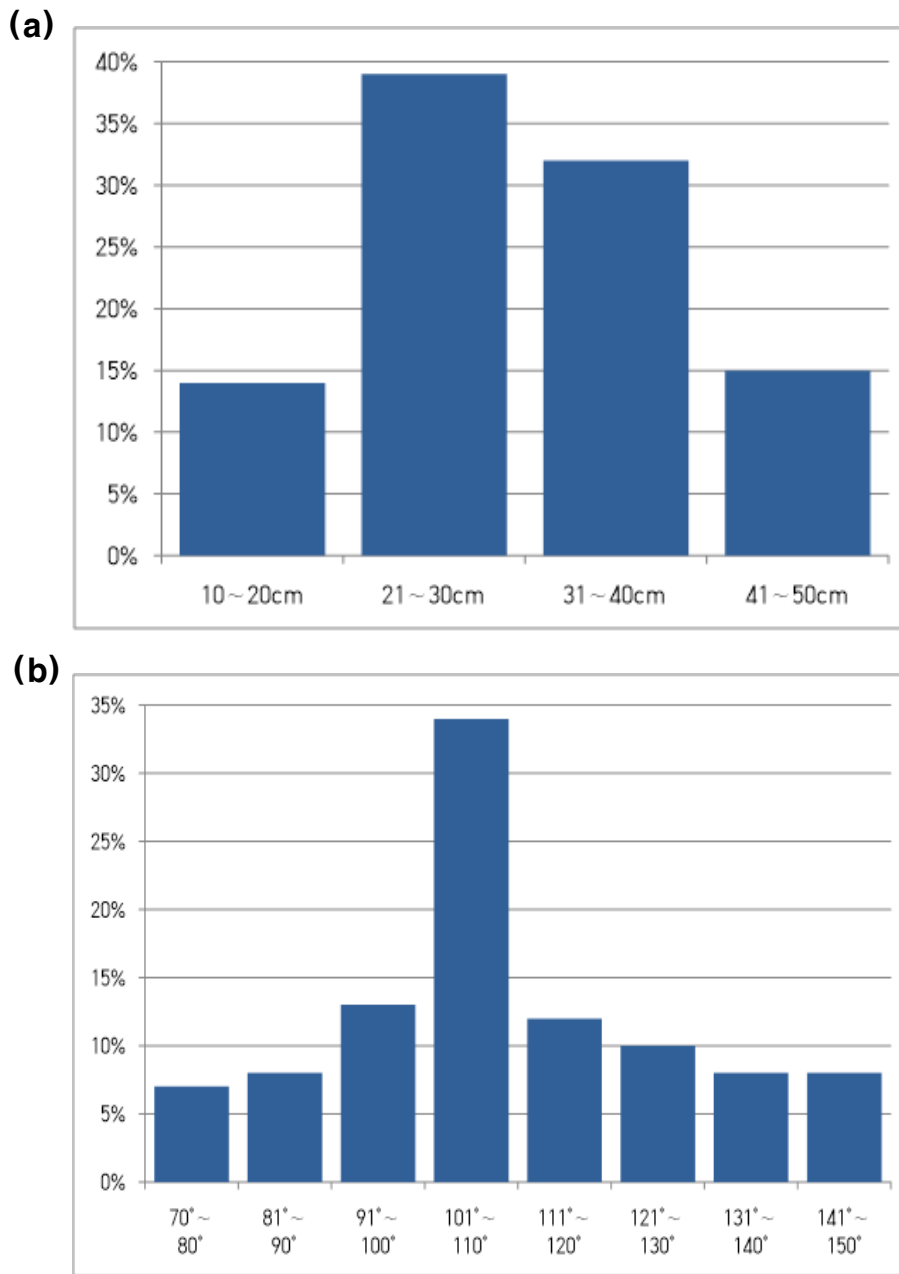


Fig. 43. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Gurye.  
 (a) Length of a polygon side, (b) Angle between the adjacent edges

## 2. 순천지역 주상절리

이 지역의 주상절리는 순천시 율촌면 해룡터널 근처에서 볼 수 있다. 산 한 쪽 면 전부가 주상절리로 이루어져 있으며, 일정한 방향성을 띄고 있다. 주 구성 암석은 조례동안산암으로 암회색 내지 회녹색의 조밀한 안산암으로 이루어져 있다(Fig. 44). 주상절리 측정은 5곳(SC-1, SC-2, SC-3, SC-4, SC-5)에서 총 43개의 단면을 조사하였다.

주상절리 다각형의 수(N)는 4각형이 7%, 5각형이 30%, 6각형이 51%, 7각형이 12%로 6각형이 절반 이상을 차지하며, 기둥면의 폭(L)은 10~20cm가 28%, 21~30cm가 39%, 31~40cm가 23%, 41~50cm가 10%의 빈도율로 10~30cm가 67%로 절반 이상을 차지하고 있다. 기둥면 사이의 각( $\theta$ )은 70°~80°가 11%, 81°~90°가 11%, 91°~100°가 4%, 101°~110°가 11%, 111°~120°가 35%, 121°~130°가 12%, 131°~140°가 8%, 141°~150°가 8%의 빈도율로 101°~130°가 58%로 절반 이상을 차지하고 있다(Table 3, Fig. 45, 46).

Table 3. Measurement of columnar joint in Suncheon site.

N	4		5		6		7	
	7%		30%		51%		12%	
L	10 ~ 20cm		21 ~ 30cm		31 ~ 40cm		41 ~ 50cm	
	28%		39%		23%		10%	
$\theta$	70°~	81°~	91°~	101°~	111°~	121°~	131°~	141°~
	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°
	11%	11%	4%	11%	35%	12%	8%	8%



Fig. 44. Photographs of Columnar joint in Suncheon area.

(a) outcrop of columnar joint (b) columnar joint in outcrop

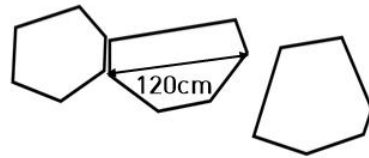
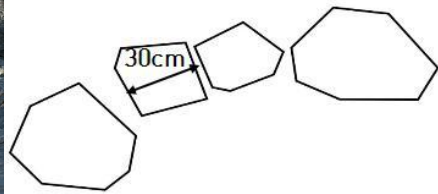
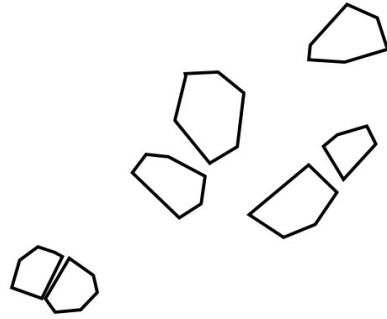


Fig. 45. Photograph and sketch of measured columnar joint in Suncheon area.

(a), (b), (c), (d), (e), (f) morphology sketch of columnar joint

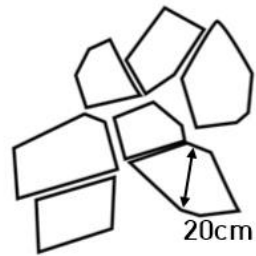
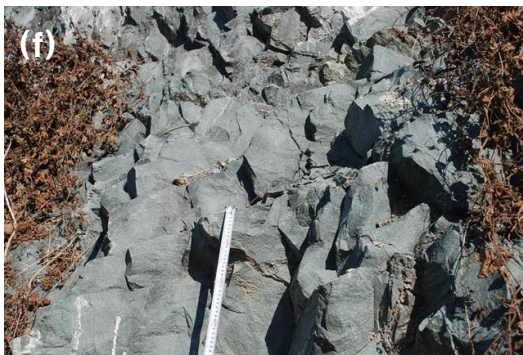
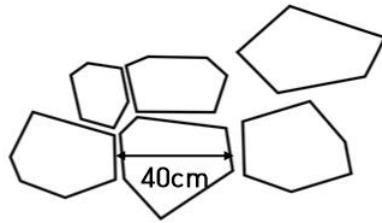
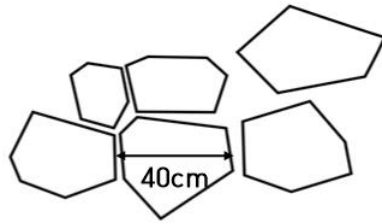


Fig. 45. Continued.

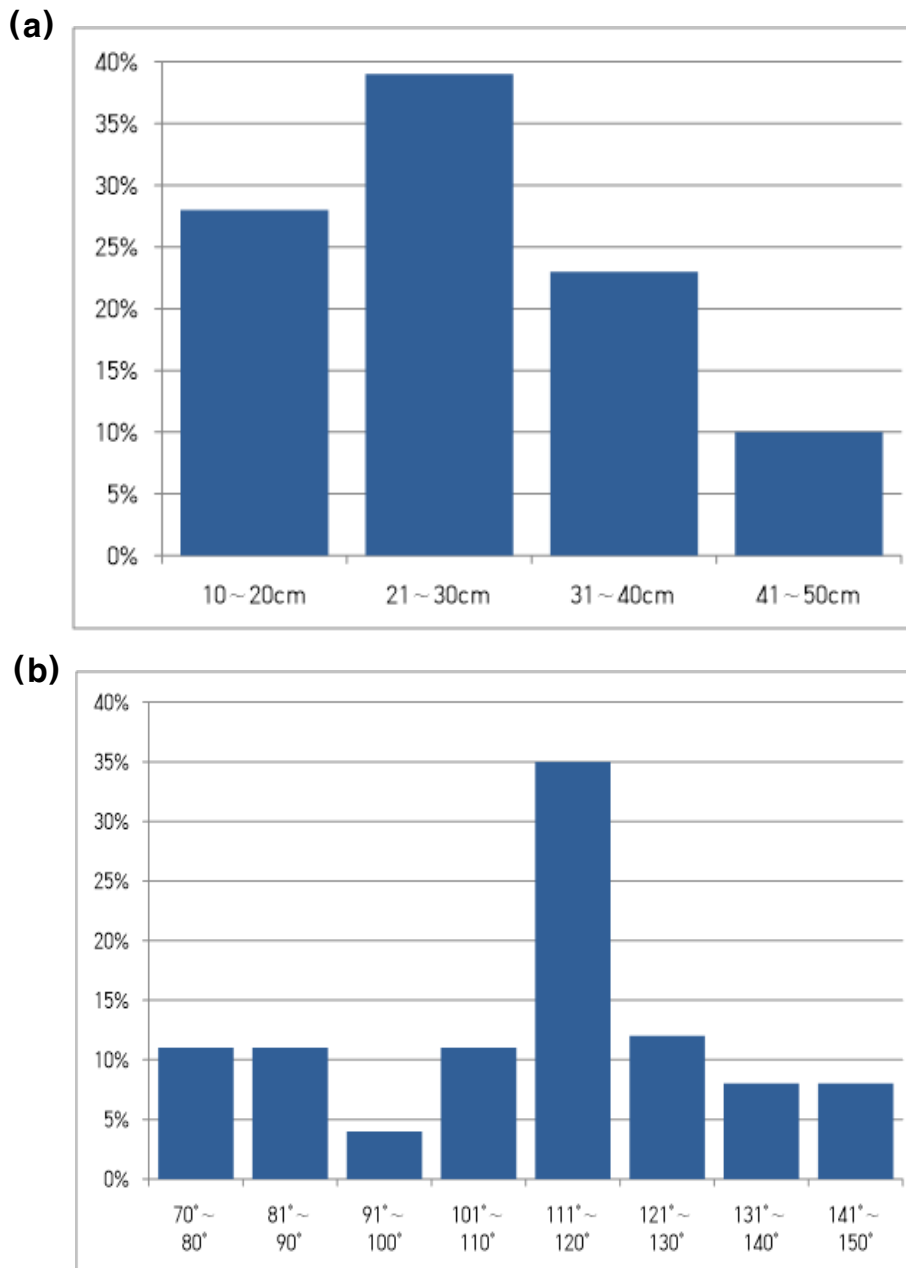


Fig. 46. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Suncheon.

(a) Length of a polygon side, (b) Angle between the adjacent edges



### 3. 여수지역 주상절리

#### 1) 구봉산 지역

이 지역의 주상절리는 높이 388m의 구봉산 등산로를 따라 분포한다. 주상절리 기둥이 덩어리 채 등산로 옆에 쓰러져 있거나, 떨어져 나간 주상절리 파편들이 등산로 계단으로 이용되고 있다. 주 구성 암석은 구봉산응회암으로 기재되어 있으며, 안산암질화산력응회암, 석영안산암질응회암, 안산암을 포함하고 있다(Fig. 47). 주상절리 측정은 등산로를 따라 올라가면서 총 35개의 단면을 조사하였다.

주상절리 다각형의 수(N)는 4각형이 1%, 5각형이 38%, 6각형이 61%, 7각형이 1%로 6각형이 절반 이상을 차지하며, 기둥면의 폭(L)은 10 ~ 20cm가 10%, 21 ~ 30cm가 16%, 31 ~ 40cm가 45%, 41 ~ 50cm가 29%의 빈도율로 31 ~ 50cm가 74%로 대부분을 차지하고 있다. 기둥면 사이의 각( $\theta$ )은 81° ~ 90°가 11%, 91° ~ 100°가 4%, 101° ~ 110°가 11%, 111° ~ 120°가 40%, 121° ~ 130°가 27%, 131° ~ 140°가 7%의 빈도율로 111° ~ 130°가 67%로 대부분을 차지하고 있다 (Table 4, Fig. 49, 50).

Table 4. Measurement of columnar joint in Yeosu(YS-1).

N	4	5	6	7		
	1%	38%	60%	1%		
L	10 ~ 20cm	21 ~ 30cm	31 ~ 40cm	41 ~ 50cm		
	10%	16%	45%	29%		
$\theta$	81°~	91°~	101°~	111°~	121°~	131°~
	90°	100°	110°	120°	130°	140°
	11%	4%	11%	40%	27%	7%



Fig. 47. Photographs of Columnar joint in Yeosu area(YS-1).

(a), (b), (c), (d) pieces of columnar joint in Gubong-san(Mt.)



Fig. 47. Continued.

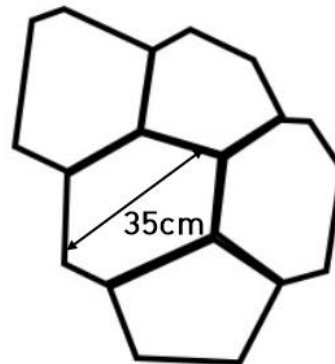
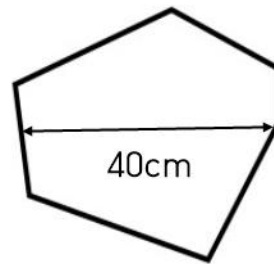
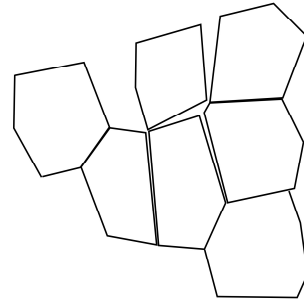


Fig. 48. Photograph and sketch of measured columnar joint in Yeosu area(YS-1).

(a), (b), (c) morphology sketch of columnar joint

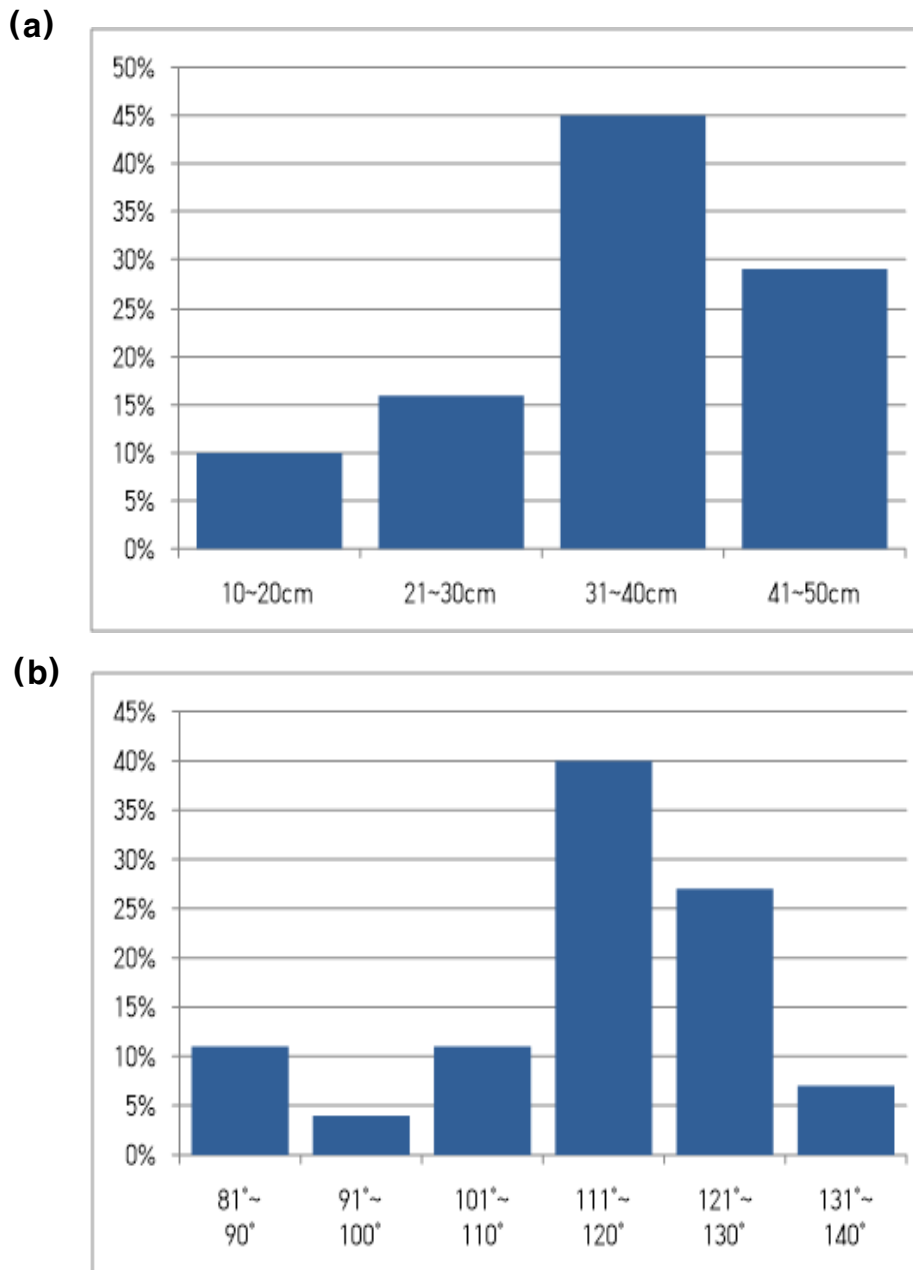


Fig. 49. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Yeosu(YS-1).  
 (a) Length of a polygon side, (b) Angle between the adjacent edges

## 2) 향일암 지역

이 지역의 주상절리는 향일암 정상 부근에서 주로 발견이 되며, 갈라진 균열 모양이 흡사 거북이 등 모양처럼 보인다. 주 구성 암석은 향일암응회암으로 중생대 백악기 유천층군에 속하며, 안산암질화산력응회암, 석영안산암질응회각력암, 안산암을 포함하고 있다(Fig. 50). 주상절리 측정은 향일암 정상 부근에서 총 60여개의 단면을 조사하였다.

주상절리 다각형의 수(N)는 4각형이 3%, 5각형이 52%, 6각형이 32%, 7각형이 13%로 5각형이 절반 정도를 차지하며, 기둥면의 폭(L)은 10~20cm가 5%, 21~30cm가 10%, 31~40cm가 20%, 41~50cm가 43%, 51~60cm가 12%, 61~70cm가 5%, 71~80cm가 4%, 81~90cm가 1%의 빈도율로 31~50cm가 63%로 절반 이상을 차지하고 있다. 기둥면 사이의 각( $\theta$ )은 70°~80°가 5%, 81°~90°가 4%, 91°~100°가 7%, 101°~110°가 13%, 111°~120°가 37%, 121°~130°가 20%, 131°~140°가 7%, 141°~150°가 7%의 빈도율을 보이며 101°~130°가 70%로 대부분을 차지하고 있다(Table 5, Fig. 51, 52).

Table 5. Measurement of columnar joint in Yeosu(YS-2).

N	4		5		6		7	
		3%		52%		32%		13%
L	10~	21~	31~	41~	51~	61~	71~	81~
	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm
	5%	10%	20%	43%	12%	5%	4%	1%
$\theta$	70°~	81°~	91°~	101°~	111°~	121°~	131°~	141°~
	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°
	5%	4%	7%	13%	37%	20%	7%	7%

(a)



(b)



Fig. 50. Photographs of Columnar joint in Yeosu area(YS-2).

(a) outcrop of columnar joint (b) columnar join in outcrop

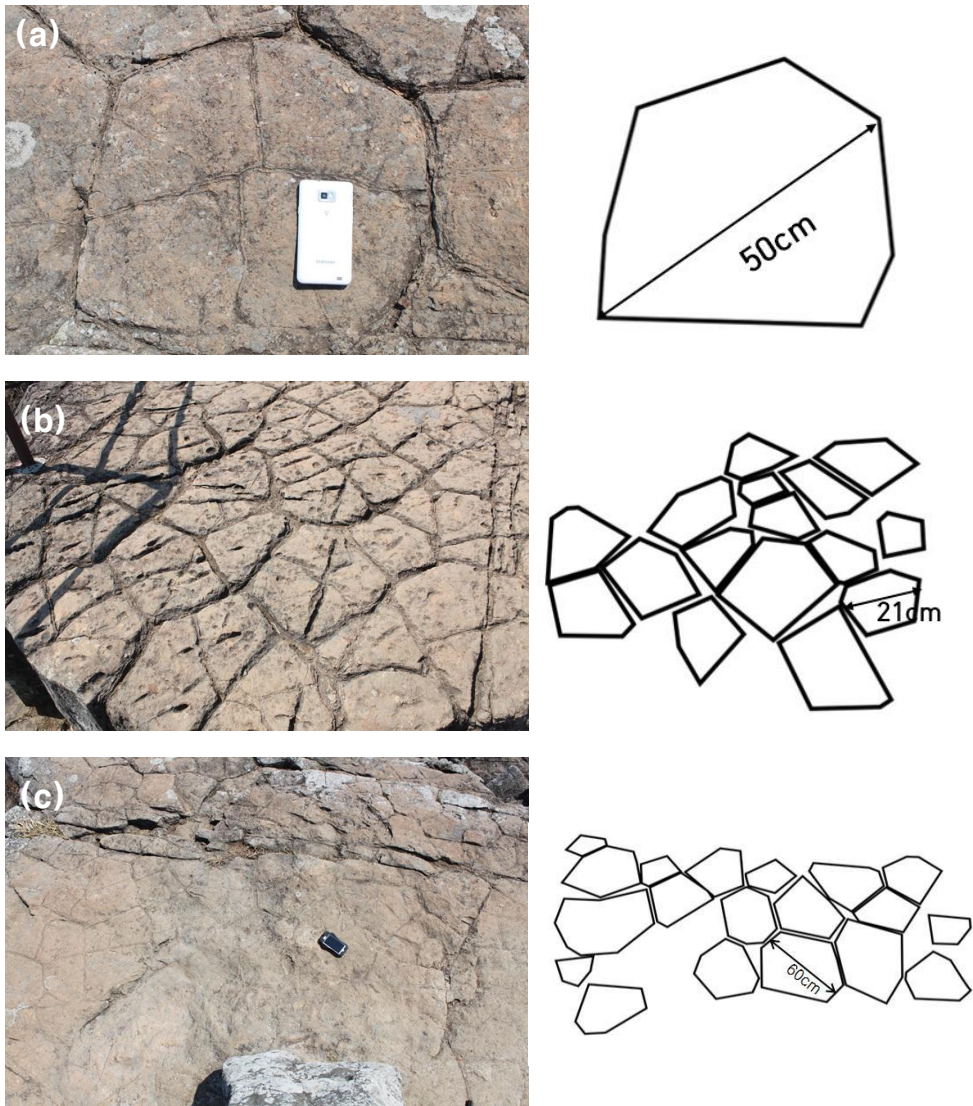
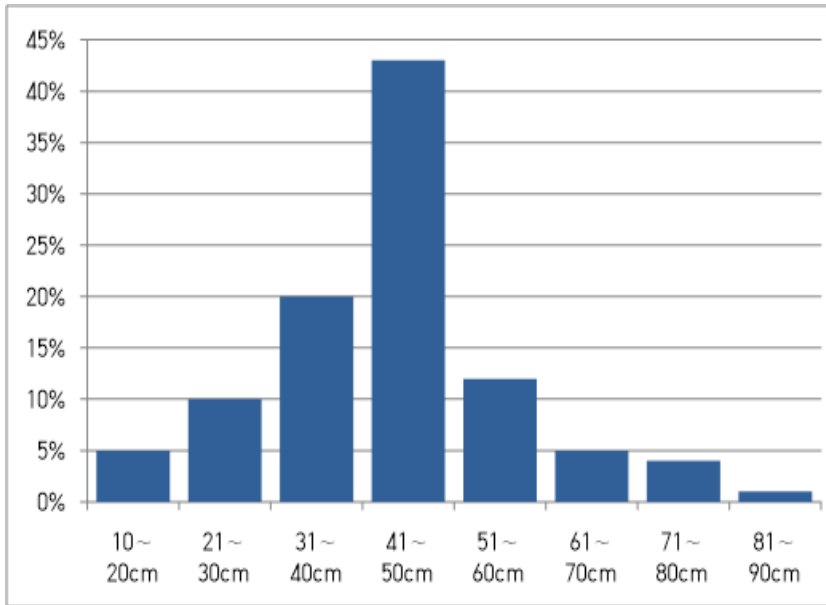


Fig. 51. Photograph and sketch of measured columnar joint in Yeosu area(YS-2).

(a), (b), (c) morphology sketch of columnar joint



(a)



(b)

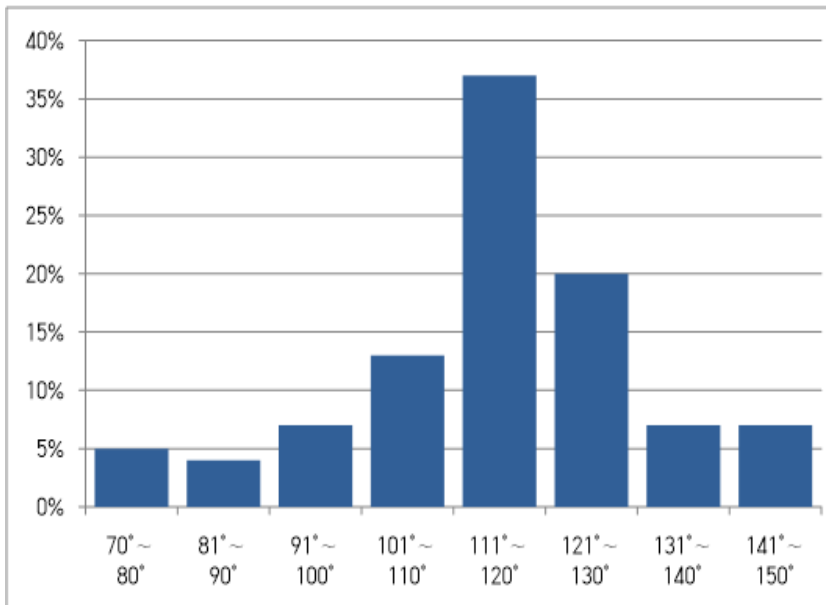


Fig. 52. Frequency(%) of measurement to columnar joint in Yeosu(YS-2).

(a) Length of a polygon side    (b) Angle between the adjacent edges

## IV. 암석화학

연구지역에서 주상절리를 구성하는 암석들의 암석화학적 특성을 파악하기 위해 총 10개의 암석시료에 대해 주성분원소를 분석하였다. 주성분원소 분석은 구례(GR) 지역은 경상대학교 공동실습관 분석지원실의 파장 분산형 X-ray 형광분석기(Bruker AXS사 S8 TIGER, 30kV, 170mA)를 활용하였으며, 순천(SC), 여수(YS) 지역은 조선대학교 공동장비운영센터의 X-선 형광분석기(Rigaku社 RIX-2000, 50kv 30mA)를 이용하였다.

### 1. 주성분 원소

연구지역의 주상절리를 구성하는 암석의 주성분원소 분석결과는 Table 6와 같다. 이 지역의 암석은  $\text{SiO}_2$ 의 값이 55.02 wt% ~ 60.9 wt% 범위를 보인다.

구례(GR) 지역은  $\text{SiO}_2$ 의 값이 56.5 wt% ~ 60.9 wt%, 순천(SC) 지역은 55.9 wt% ~ 59.3 wt%, 여수(YS) 지역은 55.02 wt%로 서로 근사한 값을 보이며, 상대적으로 여수(YS) 지역이 구례(GR) 지역에 비해 낮은 값을 보인다.

#### 1) 암석의 분류

주상절리를 구성하는 암석들을 TAS diagram에 도시하였다(Fig. 53). 연구지역의 주상절리를 구성하는 암석은  $\text{SiO}_2$ 의 값이 55.02 wt% ~ 60.9 wt%로 안산암 영역에 포함된다. 구례(GR) 지역은 조면 안산암 영역과 가깝게 도시되는데, 이는 다른 지역에 비해  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 값이 큰 것 때문으로 해석된다. 연구지역의 주상절리를 구성하는 암석계열은 TAS성분도에서 대부분 Sub-Alkali계열에 도시된다.

연구지역의 암석들은 sub-alkali계열로 분류되기 때문에, 이를 다시 AFM성분도(Fig. 54)에 도시하여 보면,  $\text{SiO}_2$  함량의 증가에 따라  $\text{MgO}$ 와  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가 점진적으로 감소하여  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 쪽으로 수렴하는 경향을 보인다. 이러한 결과는 전형적인 칼크-알칼리 계열(calc-alkaline series)의 모습이다.

Table 6. Major elemental analyses(wt%) of columnar joints in study area.

Sample	GR-2	GR-5	GR-7	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4	SC-5	YS-1
SiO <sub>2</sub>	59.0	60.9	58.4	56.5	58.0	59.3	57.2	56.6	55.02
TiO <sub>2</sub>	0.452	0.555	0.486	0.78	0.78	0.65	0.74	0.88	1.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.0	16.4	17.2	16.59	16.09	16.26	16.25	16.06	17.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.89	6.04	6.41	8.58	8.27	8.57	8.18	9.69	9.28
MnO	0.149	0.133	0.131	0.19	0.15	0.16	0.14	0.17	0.14
MgO	1.23	1.51	1.36	3.33	3.57	3.78	2.96	3.41	2.93
CaO	4.00	4.08	1.78	6.04	6.45	5.67	5.88	5.92	6.90
Na <sub>2</sub> O	4.61	4.91	4.22	2.56	2.63	3.32	2.24	2.91	2.81
K <sub>2</sub> O	1.95	1.42	2.6	1.76	1.59	1.15	3.41	1.66	2.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.211	0.274	0.281	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.24

GR: Gurye, SC: Suncheon, YS: Yeosu

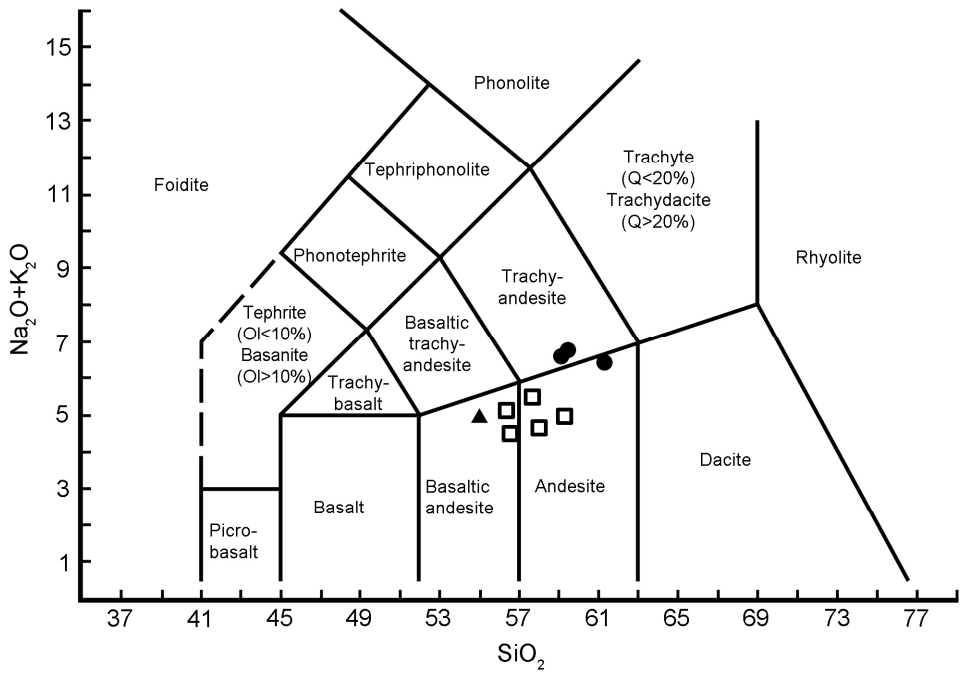


Fig. 53. Total alkali vs. SiO<sub>2</sub>(wt%) diagram(TAS) with analyses of rocks in study area. (●=GR; □=SC; ▲=YS)

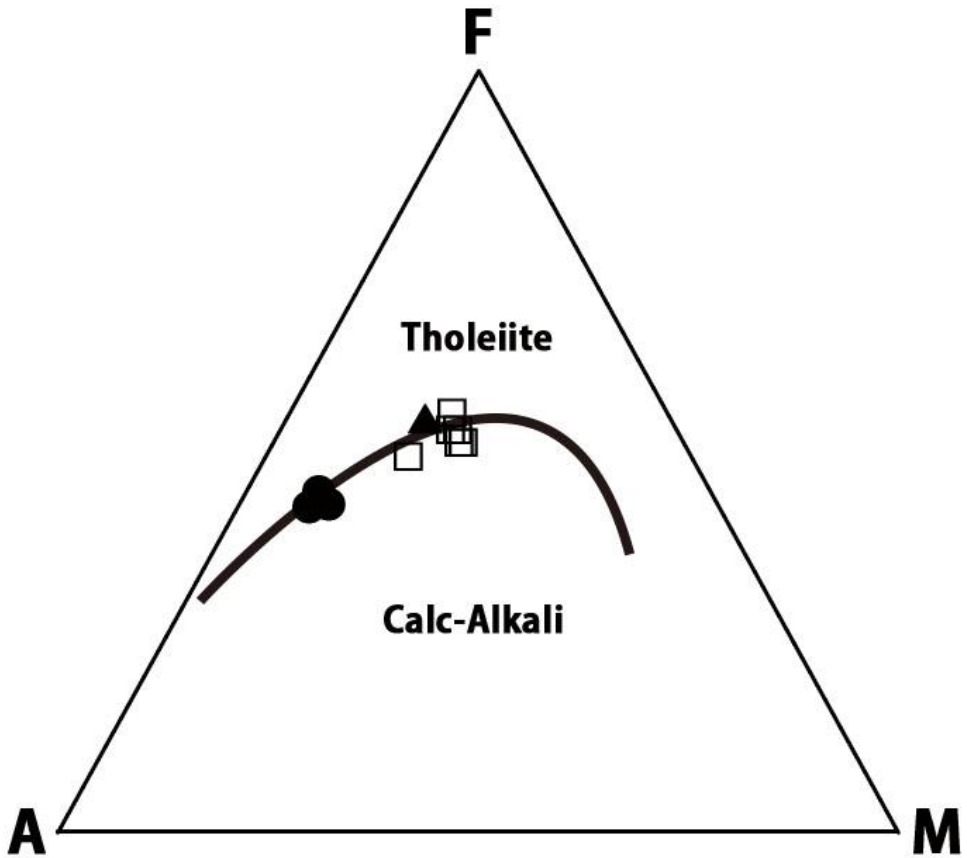


Fig. 54. AFM diagram for study area(Irvine and Baragar, 1971). Symbols are shown in Fig. 53.

## 2) 화학조성의 변화

Table 6의 주성분원소 분석결과를 토대로  $\text{SiO}_2$ 의 함량에 따른 주성분 원소의 함량 변화를 도시하였다(Fig. 55).

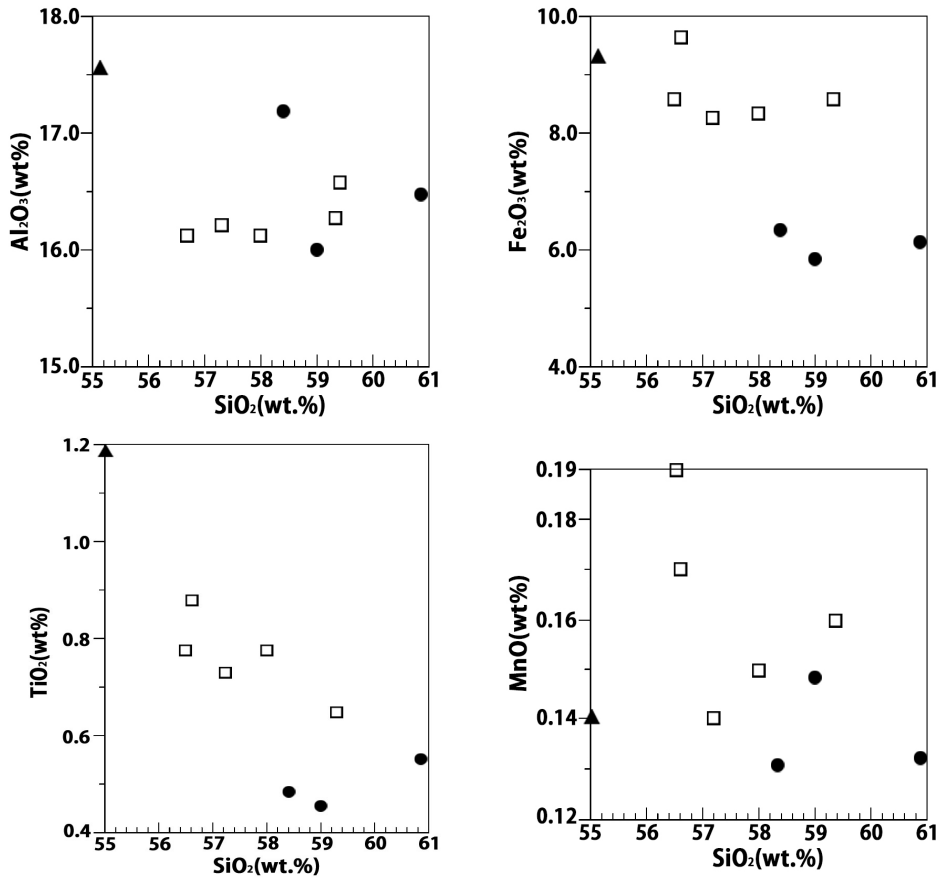


Fig. 55. Harker variation diagrams for rocks in study area. Symbols are shown in Fig. 53.

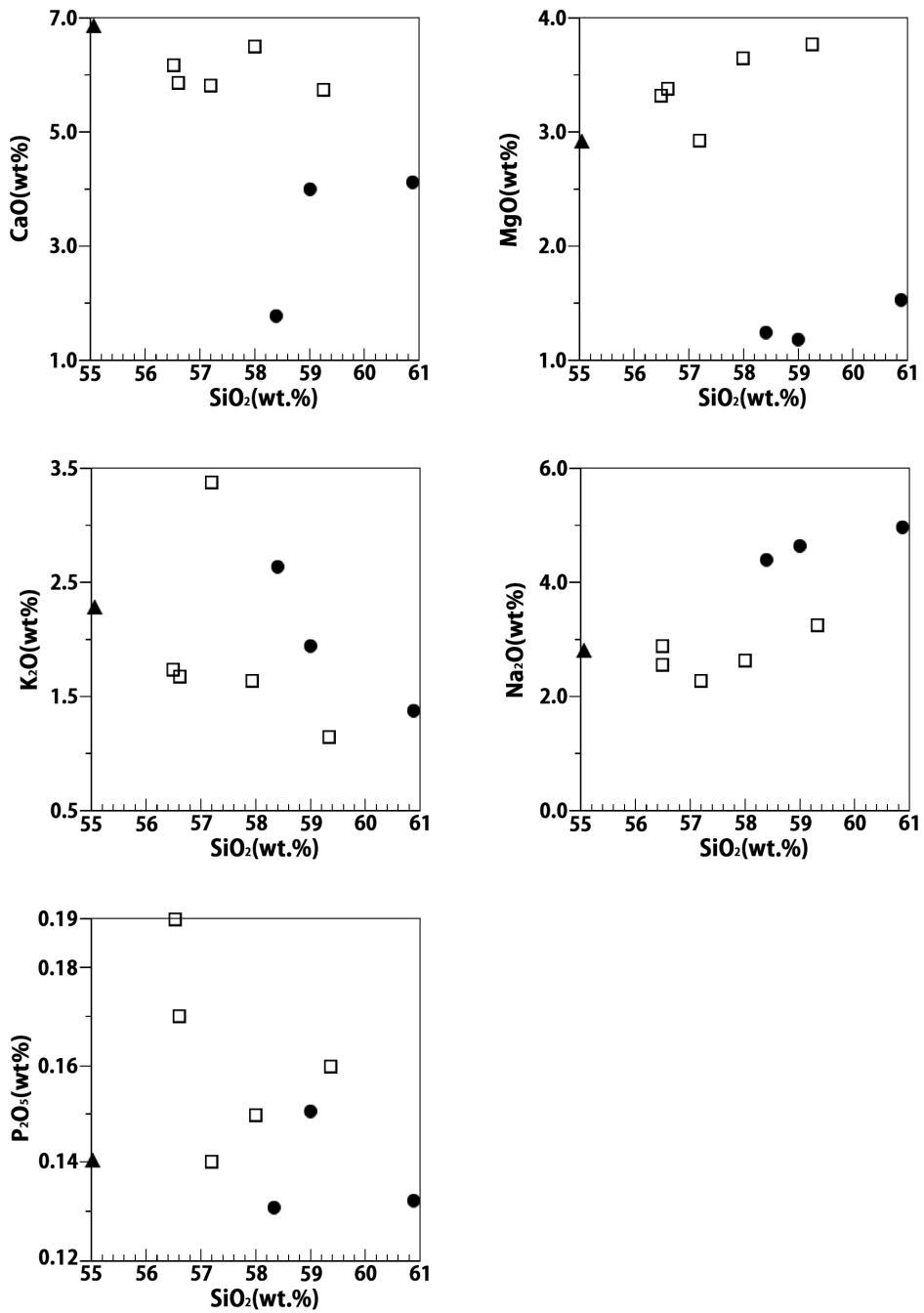


Fig. 55. Continued.

Harker 성분 변화도에서 연구지역의 암석의  $\text{SiO}_2$  성분함량은 55.02 wt% ~ 60.9 wt%의 범위에 해당한다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  함량은 여수지역이 구례, 순천지역보다 높게 나왔으며, 순천은 거의 비슷한 값을 나타냈다.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  함량은 순천, 여수 지역에 비해 구례지역이 훨씬 낮은 값을 나타냈다.  $\text{TiO}_2$ 는 여수가 가장 높은 값을 나타내며, 순천, 구례로 갈수록 값이 낮게 나타났다.  $\text{MnO}$ 는 큰 경향성을 나타내지 않는다.  $\text{CaO}$ 는 여수와 순천이 비슷한 값을 보이며, 구례는 측정 지역에 따라 큰 차이를 보인다.  $\text{MgO}$ 는 여수, 순천에 비교하였을 때, 구례 지역이 낮게 나타난다.  $\text{K}_2\text{O}$ 는 순천 지역에서  $\text{SiO}_2$  함량이 클수록 값이 감소하는 것을 볼 수 있으며,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 구례지역과 순천지역에서  $\text{SiO}_2$  함량이 클수록 값이 증가하는 것을 볼 수 있다.

$\text{SiO}_2$ 의 함량이 증가함에 따라  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 와  $\text{CaO}$ 의 함량 감소는 주로 사장석이 정출되기 때문이며,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 와  $\text{MgO}$ 의 함량 감소는 각섬석과 자철석의 정출 진행 때문이다. 이와 같은 주성분원소의 함량 변화는 전형적인 칼크-알칼리암 계열의 성분 변화 경향과 비슷한 경향을 보이고 있다.



## VIII. 결론 및 토의

전라남도 구례군 문척면 금정리 일대, 순천시 해룡면 일대, 여수시 구봉산 및 돌산읍 향일암에 분포하는 주상절리를 분석, 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 연구지역에 분포하는 주상절리의 형성 메커니즘을 분석하기 위하여, 주상절리를 구성하는 암석들에 대하여 화학분석을 진행하였으며, 단면의 관찰이 가능한 곳에 대하여 주상절리 다각형의 수(N), 기둥면의 폭(L), 기둥면 사이의 각( $\theta$ )을 측정하였다.

2) 연구지역에 분포하는 주상절리의 화학분석 결과  $\text{SiO}_2$  함량이 55.02 wt% ~ 60.9 wt% 의 범위를 보이며, TAS diagram에 도시하면 이 세 지역은 모두 안산암 영역에 해당, 대부분 Sub-Alkali계열에 도시됨을 알 수 있다.

3) 연구지역에서 측정된 주상절리의 전체 빈도수는 다음과 같다. 다각형의 수(N)는 4각형이 4.25%, 5각형이 45%, 6각형이 43%, 7각형이 8%의 빈도율을 보인다. 기둥면의 폭(L)은 10 ~ 20cm가 14.25%, 21 ~ 30cm가 26%, 31 ~ 40cm가 30%의 빈도율을 보인다. 기둥면 사이의 각( $\theta$ )은 70° ~ 80°가 7.6%, 81° ~ 90°가 8.5%, 91° ~ 100°가 7%, 101° ~ 110°가 17.25%, 111° ~ 120°가 31%, 121° ~ 130°가 17.25%, 131° ~ 140°가 15%, 141° ~ 150°가 7.6%의 빈도율을 보인다.

4) 연구지역의 주상절리를 제주도 지삿개 주상절리 및 무등산 주상절리와 비교해 보면 다음과 같다(Fig. 56). 제주도 지삿개 주상절리는 현무암으로 이루어졌으며 6각형이 가장 많이 보였고, 최대 직경은 1.3 ~ 1.4m에서 가장 우세하다(고정선 외, 2005). 무등산 주상절리는 안산암과 데사이트의 경계에 속하는 화학조성을 가지며 주로 5 ~ 6각형을 보이고, 최대 직경의 크기는 1 ~ 1.7m이다(임청완 외, 2015). 연구 지역은 5 ~ 6각형이 가장 많고, 최대 직경은 향일암을 제외한 지역에서 1m이내의 크기를 보였다. 이를 통해 주상절리는 화학 조성 보다는 냉각 속도 및 형성 당시 주변 지형 요건의 영향을 많이 받은 것으로 판단된다.

5) 연구지역별 형성과정을 유추하자면 다음과 같다. 구례 지역은 퇴적층 사

이로 안산암이 관입되어 형성된 것으로 보인다. 순천 지역은 대규모의 마그마 관입이 일어나 일정한 방향성을 보이며 냉각이 된 것으로 보인다. 여수 향일암 지역은 다른 연구 지역과 비교하였을 때  $\text{SiO}_2$ 의 함량이 낮지만 폭이 큰 것으로 보아 상대적으로 냉각속도가 느렸음을 유추할 수 있다. 또 냉각이 계속 진행 되면서 내부에서 수축이 계속 일어나 단면 안에서 작은 규모로 절리가 계속 만들어 진 것으로 보인다.

6) 지금까지 연구가 활발하게 진행되어 온 주상절리는 주로 산성암에 대한 연구로 중성암인 안산암의 연구는 거의 전무한 상태이다. 본 연구를 통해 중성암 주상절리의 형태 및 형성 메커니즘을 조사, 자료 축적에 도움이 되며, 이 세 지역을 학술목적으로 답사하는 이들에게 정밀한 자료를 제공할 뿐만 아니라 관광산업을 촉진시키는 효과를 가져다 줄 것이라 생각한다. 추후 중성암이 분포하고 있는 다른 지역의 주상절리에 대한 연구를 진행하여 좀 더 정확한 자료를 정리해 보고자 한다.

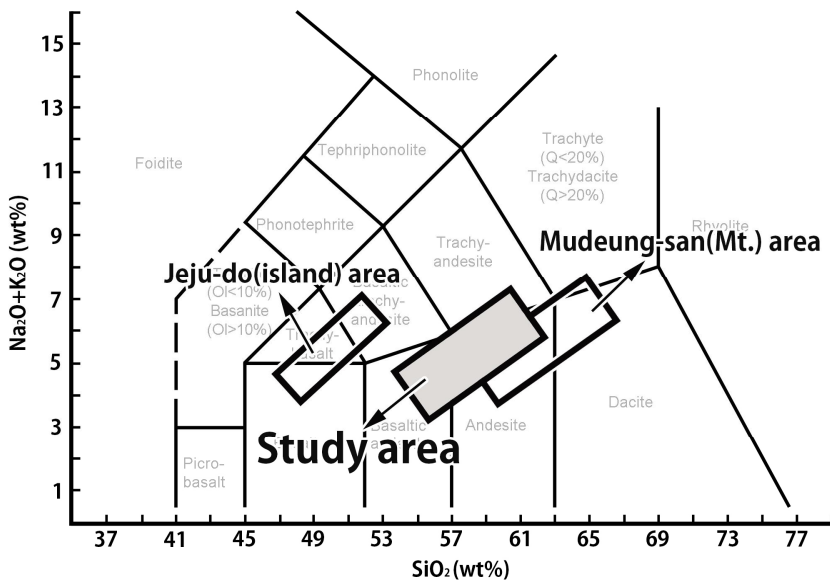


Fig. 56. Total alkali vs.  $\text{SiO}_2$ (wt%) diagram(TAS) in study area, Jeju-do(island), Mudeung-san(Mt.).

## 【참고문헌】

- 고정선, 윤성효, 홍현주, 2005, 제주도 대포동현무암에 발달한 지삿개 주상절리의 형태학 및 암석학적 연구, 암석학회지, 14(4), 212-225.
- 손정모, 2016, 한반도 남부 해안에 분포하는 주상절리의 형성 메커니즘, 조선대학교 대학원, 박사학위논문, 3p.
- 손정모, 안건상, 2016, 전라남도 고흥지역에 분포하는 주상절리에 관한 연구, 한국지구과학회지, 37(6), 332-345.
- 송교영, 김현철, 2015, 한국지질도(1:50,000), 여수·개도·돌산도·소리도 지질조사보고서, 한국지질자원연구원, 6p.
- 안건상, 2014a, 남한에서 주상절리의 분포와 암석학적 특성, 암석학회지, 23(2), 49-59.
- 안건상, 2014b, 우리나라 주상절리에 대한 연구 전략, 한국지구과학회지, 35(7), 501-517.
- 안건상, 손정모, 2015, 전라남도 신안군 증도에 분포하는 주상절리의 특징, 한국도서연구, 27(2), 157-173.
- 오강호, 문병찬, 김해경, 2006, 전남 남서 해안에 분포하는 주상절리의 특징, 한국지형학회지, 13(3), 55-62.
- 우현동, 박진수, 오한솔, 장윤득, 2013, 울릉도 국수바위 주상절리의 형성과정과 자연유산적인 가치, 암석학회지, 22(1), 9-17.
- 유환수, 김용준, 박배영, 1993, 한국지질도(1:50,000), 괴목도폭 지질보고서, 한국자원연구소, 19(52)p.
- 이병주, 김정찬, 김유봉, 조등룡, 최현일, 전희영, 김복철, 1997, 1:250,000 광주 지질도폭 설명서, 과학기술부
- 이영엽, 송준호, 2007, 전남 구례군 백악기 구례분지의 층서 및 퇴적환경, 지질학회지, 43(3), 265-275
- 정형은, 안건상, 2014, 전라남도 순천·여수지역 안산암에서 발달된 주상절리, 한국지구과학회, 2014 한국지구과학회 추계학술발표회논문집, 75-76.
- 진광민, 김영석, 2010, 울산 정자해수욕장과 경주 읍천해안에서 관찰되는 수평 주상절리 (와상절리)의 발달특성 및 관광지질자원으로서의 가치

- 연구, 지질학회지, 46(4), 413-427.
- 최범영, 최현일, 황재하, 기원서, 고희재, 김유봉, 이병주, 송교영, 김정찬, 최영섭, 2002, 1: 250,000 목포·여수도폭 및 설명서, 한국지질자원연구원
- 홍승호, 황상구, 1984, 한국지질도(1:50,000), 구례도폭 지질보고서, 한국동력자원연구소, 22(64)p.
- French, J. W., 1922, II. "The Fracture of Homogeneous Media. Transactions of the Geological Society of Glasgow." 17(1), 50-68.
- Goehring, L., Morris, S. W. and Lin, Z., 2006, An experimental investigation of the scaling of columnar joints, *Physical Review*.
- Goehring, L., 2008, On the scaling and ordering of columnar joints (Doctoral dissertation, University of Toronto).
- Gray, N.H., 1986, Symmetry in a natural fracture pattern: The origin of columnar joint networks. *Computers & Mathematics with Applications*, 12B, 531-545.
- Grossenbacher, K. A., & McDuffie, S. M., 1995, Conductive cooling of lava: columnar joint diameter and stria width as functions of cooling rate and thermal gradient. *Journal of volcanology and geothermal research*, 69(1), 95-103.
- Hetényi, G., Taisne, B., Garel, F., Médard, É., Bosshard, S., & Mattsson, H. B., 2012, Scales of columnar jointing in igneous rocks: field measurements and controlling factors. *Bulletin of volcanology*, 74(2), 457-482.
- Huxley, T.H., 1881, *Physiography: An introduction to the study of nature*, MacMillan and Co., London, UK, 204 p.
- Chungwan Lim, Min Huh, Keewook Yi, Changyeol Lee., 2015, Genesis of the columnar joints from welded tuff in Mount Mudeung National Geopark, Republic of Korea, *Earth, Planets and Space*, 67(152)
- Long, P. E., & Wood, B. J., 1986, Structures, textures, and cooling histories

of Columbia River basalt flows. Geological Society of America Bulletin, 97(9), 1144-1155.

Nishimoto, A., Mizuguchi, T., and Kitsunozaki, S., 2011, Columnar structure and desiccation cracks. Journal of Geological Society of Japan, 117, 183-191.

Toramaru, A., & Matsumoto, T., 2004, Columnar joint morphology and cooling rate: A starch water mixture experiment. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), 109(B2).

<http://mgeo.kigam.re.kr/>

<http://map.daum.net/>