

무등산지역 화산암류에서 산출되는 사장석의 광물학적 연구

A Minerological Study of Plagioclase in Volcanic Rocks from the Mt. Mudeung Area

박 병 규 (Byung-Kyu Park)¹ · 김 용 준 (Yong-Jun Kim)¹ · 김 윤 중 (Youn-Joong Kim)^{2,*}

¹ 전남대학교 지구환경과학과

(Department of Earth and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju, Korea)

² 한국기초과학지원연구원 전자현미경팀

(Electron Microscopy Teams, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea)

요약 : 무등산지역에서 산출되는 화산암은 화순안산암, 무등산데사이트, 도곡유문암으로 구성되며 이들 화산암류는 공통적으로 사장석 반정을 포함하고 있다. 광학현미경 하에서 관찰된 사장석의 반복 쌍정 중 대부분은 알바이트 쌍정이며 일부가 페리클라인 쌍정을 보인다. 사장석들은 EPMA 분석 결과 화순안산암은 Ca 함량이 많은 안데신에, 무등산데사이트는 안데신에서 올리고클레이스에, 그리고 도곡유문암은 거의 순수한 알바이트에 해당한다. 광학현미경 하에서 판단이 어려운 알바이트와 페리클라인 쌍정은 전자현미경의 회절도형에서 쉽게 구분할 수 있다. 연구지역의 화산암에서 산출되는 사장석은 중간조성의 사장석이지만 빠른 냉각속도에 의해 생성되었기 때문에 상분리가 일어나지 않아 [100] 방향의 전자회절도형에서 e-reflection이 나타나지 않는 것으로 사료된다.

주요어 : 무등산화산암, 사장석, 전자회절도형, e-reflection

ABSTRACT : Volcanic rocks from the Mt. Mudeung area which are composed of Hwasun andesite, Mudeungsan dacite and Togok rhyolite contain plagioclase phenocrysts in common. Majority of the repeated twins observed in optical microscopy are albite twin and some are pericline twin. EPMA studies of plagioclases from Hwasun andesite, Mudeungsan dacite and Togok rhyolite indicate calcic andesine, andesine-oligoclase, nearly pure albite, respectively. Albite twin and pericline twin can be easily distinguished through TEM diffraction patterns, which is quite difficult by optical microscopy. Plagioclases in volcanic rocks from the Mt. Mudeung area do not show e-reflection in [100] electron diffraction patterns, probably because of their high cooling rate, which inhibited phase separations during cooling.

Key words : Mt. Mudeung volcanic rock, plagioclase, electron diffraction pattern, e-reflection

*교신저자: y-jkim@kbsi.re.kr

서 론

무등산 지역은 광주광역시 동부와 전남 화순군 서부 및 담양군 남부지역이 만나는 곳에 위치한 무등산(1,187 m)과 그 주위 지역을 포함하는 곳으로, 본 연구지역은 무등산의 남서측인 화순을 중심으로 이루어졌다. 무등산지역은 선캠브리아기의 편암암체를 기저로 이를 부정합으로 덮는 평안계 변성퇴적암층과 이들을 관입하는 트라이아스기 화강암, 그리고 상기한 모든 암층을 관입 또는 부정합의 관계로 덮는 백악기 화성쇄설암-퇴적암-화강암으로 이루어져 있다. 암석학적 연구는 광주지질도폭(김규봉 외, 1990)과 동북지질도폭(김봉균과 박병권, 1966) 조사에서 비교적 자세히 수행되었으며, 화성암체에 대한 연구는 김윤중 외(1993, 2002)에 의해 수행되었다. 이 지역의 화산암류를 중심으로 한 암석화학적 연구(박병규 외, 2003) 또한 수행되었다. 본 연구의 중심은 무등산 지역에 분포하는 화산암으로 주로 화순안산암, 테사이트, 도곡유문암 등으로 이루어져 있으며 이들 암석의 주성분원소 및 미량원소 변화경향이 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 거의 직선상으로 증가 혹은 감소하며, 칼크-알칼리계 열의 분화경향을 보이고 공통적으로 사장석 반정을 포함하고 있다(박병규 외, 2003). 보통 intermediate structure를 가지는 An₂₃~An₇₃을 중간조성 사장석(Deer *et al.*, 2001)이라 부르는데 본 연구지역의 암석에서 나타나는 사장석들은 알바이트와 중간조성 사장석들로 이루어져 있다.

일반적으로 사장석의 구조는 An 함량과 생성 당시의 환경에 따라 특징적인 구조를 보이며 사장석의 전자회절도형에서 나타나는 각각의 회절점들을 분석함으로써 사장석의 구조와 화학성분의 해석이 가능하다(김윤중 외, 2004). 그 동안의 연구에 의하면 중간조성 사장석(An₂₃~An₇₃)의 가장 중요한 특징 중의 하나가 X-ray 단결정 사진이나 전자회절도형에서 satellite reflection (혹은 e-reflection)이 나타나는 것으로 이러한 사장석을 e-plagioclase라 명명하였다(Smith and Brown, 1988; Deer *et al.*, 2001). e-plagioclase의 실제 구조는 매우 복잡하여 연구자들 사이에 많은 논란이 일고 있으며, 이러한 복잡성의 원인으로 크게 Ca-Na modulation (Korekawa and Jagodzinski, 1967), Si-Al density modulation (Megaw, 1960; Tagai *et al.*, 1980)이 X-ray 연구에 의해

제안하였고, albite-like band (혹은 lamella)와 anorthite-like band가 서로 반복되는 변조 구조(modulated structure)로서 고분해능 TEM 연구에 의해 제안되었다(Kitamura and Morimoto, 1977; Nakajima *et al.*, 1977). 상기한 변조 구조는 열역학적으로 준안정상이라기 보다는 안정상이기 때문에 저온에서 안정적으로 형성된 사장석에서는 광범위한 산출을 가질 뿐만 아니라 e-plagioclase를 산출하는 사장석 전체의 화학조성, 생성 온도와 압력 및 이들의 변화 속도 등 지질환경에 따라 각 band의 화학성분, 구조, band의 두께 및 방향성이 변화하기 때문에 장석이 형성 환경을 예측하는데 중요한 자료로 이용될 수 있음을 제기하였다(Carpenter, 1994). 그러나 band의 두께가 보통 수 nm에서 수십 nm에 달하며 삼차원적인 배열을 갖기 때문에 고성능 TEM을 사용하더라도 이들의 전체적 형상을 관찰하기 어려워 아직 그 실체를 파악하지 못한 상태이다.

연구지역의 미세한 외형(lath shaped) 사장석들은 대부분 화산암이 지표나 지표부근을 용류할 때 생성된 것으로 추측된다. 따라서 기본적으로 급냉하는 조건에서 빠른 결정화작용으로 생성되었으므로 상기한 e-plagioclase와 다른 구조적 특징을 보일 것으로 사료되어 광학현미경과 전자현미경(EPMA, TEM)을 통하여 점검하고자 하며, 특히, e-reflection의 유무를 TEM을 통해 확인하고자 하였다.

연구방법

각 암석별로 비교적 신선하고 풍화의 정도가 가장 약한 암석을 대상으로 박편을 제작하여 그 중 편광현미경을 통해 EPMA 시편을 정하였으며, EPMA (Cameca X-100)분석은 사장석에 대하여만 실시하고 이들 분석치에서 분석치가 양호한 사장석에 대하여 TEM 시편을 제작하였다.

TEM 시편제작은 EPMA 박편제작 후 추가작업으로 인한 파손을 막기 위해 washer를 붙인 후 절단기를 사용하여 3 mm 디스크로 만들고 두께가 약 10 μm가 되도록 dimpling (Model 656, Gatan)을 하였다. 마지막으로 Ar 이온에 의한 ion-milling (PIPS, Model 691, Gatan)으로 중앙에 구멍을 내었다. 박편을 유리 slide에 부착시킬 때는 crystal bond와 같이 열을 가하면 다시 녹을 수 있는 제품을 사용하여야 하며 EPMA 분석을

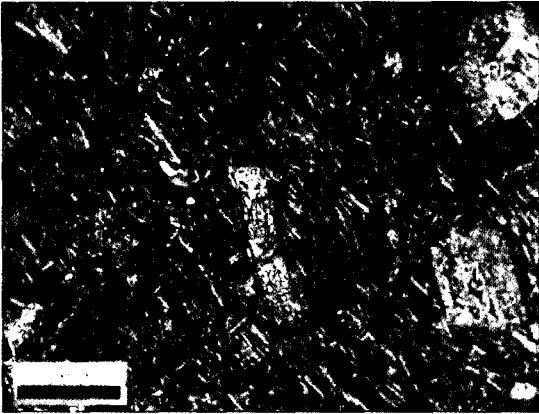


Fig. 1. An optical micrograph of Hwasun andesite. Note euhedral plagioclase phenocrysts and a few scattered microphenocrysts of plagioclase. Pl: plagioclase.

위한 탄소 코팅에서 너무 높은 열이 발생하여 기포가 생기지 않도록 주의해야 한다. Washer는 target 광물이 정 중앙에 오도록 위치를 잡아야 하나 target이 작을 경우 ion-milling 작업 시 생기는 구멍으로 인해 target 광물이 없어질 우려가 있을 경우는 이를 감안하여 위치를 잡아야 한다. PIPS 작업은 초기에는 가속전압을 약 4 kV (7°)로 1시간 작업 후에 3.5~3 kV 가속전압으로 마무리 하였다. 만약 EPMA 박편을 충분히 얇게 만들었다면 dimpling 없이 바로 다음 단계인 ion-milling으로 넘어갈 수도 있다. 일반적으로 박편의 두께는 석영으로 판별이 가능하므로 편광현미경하에서 석영이 하얗게 보이는 정도가 대략 35 μm에 해당된다. TEM 장비로는 에너지 여과 기능이 있는 Carl Zeiss사의 EM912Ω (120 kV)와 FEI사의 Tecnai F20 (200 kV)을 이용하였다.

EPMA 분석 중 total 값이 99.5% 이하인 부분은 보통 풍화나 시편 준비 중의 scratch로 인한 data로 간주하여 시편을 다시 제작하거나 포기하게 된다. 본 실험 중 현미경이나 EPMA의 영상(BSE image)에서 풍화나 scratch가 확인되지 않은 깨끗한 부분에서도 total 값이 99.5% 이하인 부분이 나타나 이를 TEM에서 확인해 본 결과 부분적으로 대략 40 nm 길이의 침상결정의 견운모로 되어 있는 부분을 확인할 수 있었다. 이 같은 경우 아무리 시편을 잘 만든다 할지라도 EPMA 분석치의 total 값은 99.5%를 넘기 힘들 것으로 사료된다. 따라서 어떤 시편의 분석치 값

이 충분하지 못할 경우 고배율에서 시편의 변질 여부를 확인하는 작업이 필요하다.

연구결과 및 토의

화산암류에 대한 암석기재

화순안산암

화순안산암은 암록색 내지 황갈색을 띠며 미립질의 반상조직을 보이는 화산암으로서 사장석, 유리질 물질과 녹니석화된 흑운모로 구성되며, 석기는 미세한 외형(lath shaped)을 보이는 사장석들이 미약한 방향성을 보이거나 대체로 흩어져 있어 유리기류정질(hyalopilitic)이나 피로테시틱(pilotaxitic) 조직을 이룬다(그림 1). 주구성광물은 사장석, 흑운모와 유리질이며 부구성광물은 각섬석, 저어콘 등으로 구성되어 있다. 유리질 물질과 흑운모는 다소 변질되어 있고 비교적 큰 사장석은 변질되어 결정 중앙부가 미립의 고능석과 방해석 입자 등을 함유하고 있다. 사장석 반정은 비교적 큰 결정으로, 석기는 미세한 외형의 결정(대략 0.15 mm × 0.02 mm)과 유리질로 이루어져 있다. 반정의 크기는 매우 다양하고 대부분 자형으로 알바이트나 페리클린 쌍정을 보이는데 일부 결정은 미약한 누대구조를 보인다.

무등산데사이트

무등산데사이트는 회색 내지 암회색을 띠고 풍화면은 적회색을 띠는 반상구조의 용암류로서 반정은 대부분 사장석이고 간혹 석영, 각섬석이 함유되어 있으며 안산암을 포획하기도 한다. 구성광물은 주로 사장석, 석영, 각섬석이며 간혹 소량의 흑운모를 포함하기도 한다. 석기는 유리질이며 미약한 용결구조를 보인다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 접촉부가 변질된 부분도 있으며 반복 쌍정을 보이고 누대구조를 보이기도 한다(그림 2). 사장석 반정은 반투명의 회백색을 띠며 그 크기는 대부분 1~2 mm이나 드물게 5 mm에 달하는 것도 관찰된다. 석영은 주로 타형이며 1 mm 이하의 세립으로 나타난다. 각섬석 반정은 장주상의 자형결정으로 1 × 3 mm 정도의 크기를 가진다.

도곡유문암

도곡유문암은 담홍색을 띠며 대부분 유상구조



Fig. 2. An optical micrograph of Mudeungsan dacite. Note zoned phenocrysts of plagioclase and quartz in a fine-grained groundmass. Pl: plagioclase, Bt: biotite, Amp: amphibole.

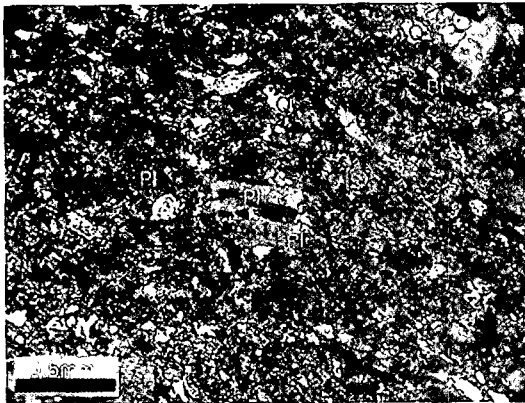


Fig. 3. An optical micrograph of Togok rhyolite. Phenocrysts of plagioclase and fine grain quartz are arranged in the flow direction. Pl: plagioclase, Q: quartz, Bt: biotite.

가 잘 발달되어 있는 유문암으로서, 유상구조는 대개 2~5 mm 두께의 홍색대와 담색대의 교호로 이루어져 있다. 주구성광물은 사장석과 흑운모, 부구성광물은 자철석과 금홍석 등으로 구성되며 유동구조를 이루는 홍색대는 은정질 내지 유리질이, 백색대는 주로 미정질의 석영으로 이루어져 있으며 이차적으로 형성된 구과상구조(spherulitic texture)가 유동구조를 따라 발달되어 있는 부분도 관찰된다. 도곡유문암은 작은 사장석, 흑운모를 함유하고 있으며 사장석들은 유동구조를 따라 모여 있는 부분도 관찰되며 반정의 크기도 0.1~1 mm로 다양하다(그림 3). 대부분의

사장석 결정은 반복쌍정을 보이며, 변질을 받은 부분은 쌍정의 경계가 불확실하다.

사장석에 대한 기재

사장석 쌍정

사장석 쌍정에 대한 법칙은 일반적으로 다양하며 Tobi (1987)는 10가지의 쌍정 법칙을 언급하였다. 이러한 쌍정은 조성면(CP: composition plane)과 쌍정축(TA: twin axis)의 관계에 따라 3개의 그룹(normal law, parallel law, complex law)으로 묶을 수 있다(표 1). 이들 중 알바이트(albite) 쌍정과 페리클라인(pericline) 쌍정은 조성면이 각각 (010), (001)이나 [100]에 수직으로 잘린 경우 광학현미경에서 lamellar가 반복적으로 나타나는 특징을 보여 이들을 편광현미경 하에서 구별하기가 쉽지 않다. 이 둘을 구분하기 위해서는 관찰된 결정의 광학적 방향성에 대한 확인이 필요하다. 사장석 쌍정의 광학적 방향성은 universal stage를 이용하여 조성면의 방향을 비교적 쉽게 결정할 수 있다(Takahashi, 2002). Spindle-stage를 이용할 경우 벽개면, 결정면 및 면각을 활용해야 하는데 일반적으로 사장석은 {010}, {001} 벽개면이 발달하고 α 와 γ 각이 대략 90°, β 각은 116°를 보인다. 알바이트와 페리클라인 쌍정은 조성면의 위치가 (010), (001)이기 때문에 만약 [010]에 수직으로 잘린 경우에서 lamellar가 반복된 쌍정을 보인다면 이는 페리클라인 쌍정이며 [100]에 수직으로 잘리고 알바이트와 페리클라인 쌍정이 동시에 나타날 경우 조성면이 직교 관계에 있으므로 이를 확인할 수 있다. 위와 같은 방법으로 하여 결정면이 잘 보존된 반정을 대상으로 분석한 결과 화순안산암과 무등산데사이트의 반복 쌍정은 대부분 알바이트 쌍정이며 일부가 페리클라인 쌍정을 보이고 간혹 두 쌍정이 같이 나타나는 경우도 관찰된다. 도곡유문암의 경우 사장석 반정들이 풍화를 받아 결정면을 인지할 수 없어 구별이 힘들다. 화산암의 석기나 풍화로 인해 결정면이 확인하지 않을 경우 광학현미경 하에서 이들을 판단하기는 어렵다.

사장석의 쌍정을 통하여 화학조성을 규명할 수 있는데 그림 4에서 보는 것처럼 (010)에 거의 수직으로 잘린 알바이트 쌍정의 소광각은 좌회전 24°, 우회전 21°로 Michel-Levy 도표에서 An₄₈에 해당하는데 이는 EPMA 분석값인 An₄₆과 유사하

Table 1. Plagioclase twinning laws according to composition plane (CP) and twin axis (TA). (After Tobl, 1987)

Composition Plane (CP)	Normal Law	Parallel Law Twin Axis (TA)	Complex Law Twin Axis (TA)
(010) (//cleavage)	albite (lamellar)	Carlsbad [001]	albite-Carlsbad normal to [001] in (010)
(001)(//cleavage)	Manebach	Acline [010]	[100]
		Ala A	
rhombic section	Pericline (lamellar)		
(021) (diagonal to cleavages)	Baveno		

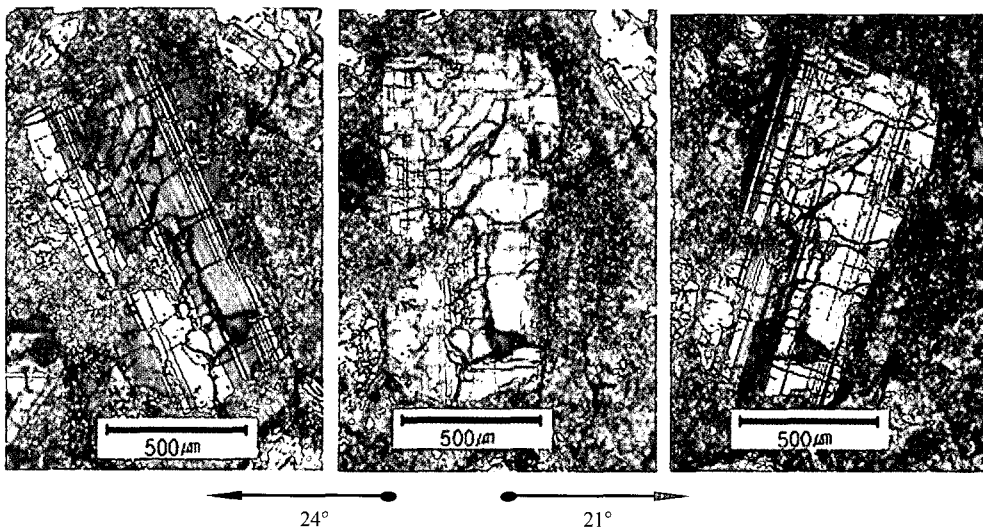


Fig. 4. Extinction angles in albite twin cut normal to (010) (from Mudeungsan dacite).

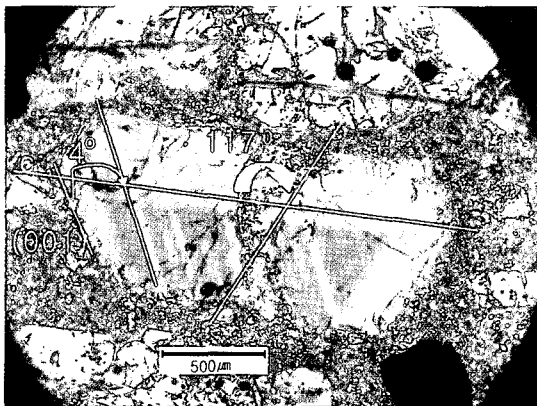


Fig. 5. The rhombic section angle in pericline twin (from Mudeungsan dacite).

다. 페리클라인 쌍정의 경우 rhombic section 각을 이용하여 화학조성을 규명하는데 그림 5에서 사장석은 결정의 c축과 cleavage가 이루는 각이 117°로 단위격자에서 β 가 이루는 각에 해당됨을 알 수 있다. 즉 결정은 b축에 수직하게 잘린 면임을 알 수 있으며 (001)면과 twin lamellae가 이루는 각, rhombic section 각(σ)이 4°로 안데신에 해당되며 이는 EPMA 분석값 An_{48} 의 안데신과 일치한다.

전자현미경관찰

EPMA 관찰

화순안산암에서 사장석은 단성분이 주로 An_{41}

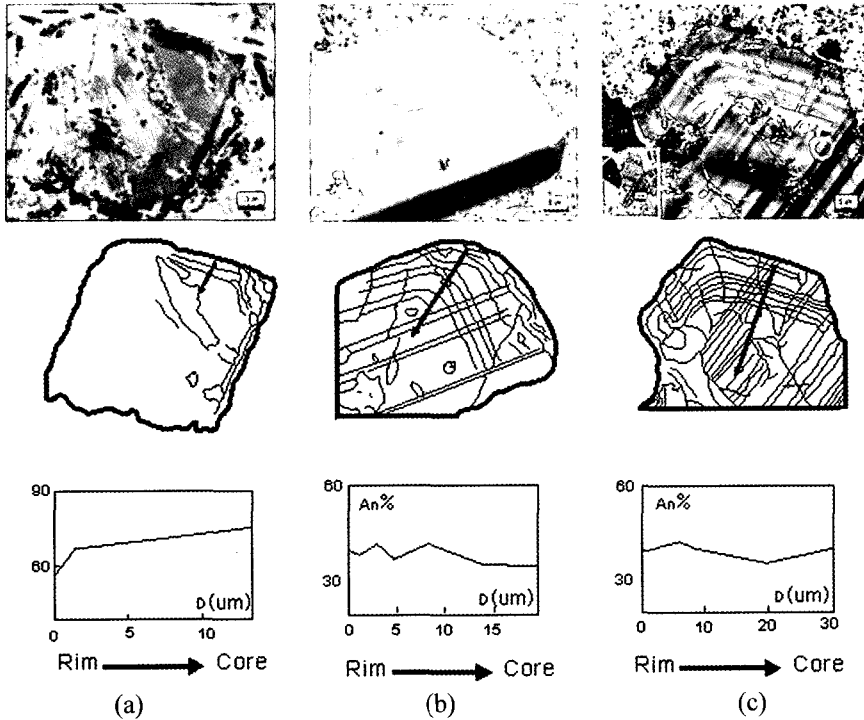


Fig. 6. Zoning in plagioclase phenocrysts: (a) Normal zoning, Hwasun andesite; (b) Oscillatory zoning, Mudeungsan dacite; (c) Oscillatory and reverse zoning, Mudeungsan dacite.

~An₆₀의 화학조성을 가지고 있어 안데신에서 라 브라도라이트에 해당되는 범위를 보이나 일부에서는 An₆₀이 넘는 값도 누대구조의 중심부에서 나타난다. 미약한 누대구조를 보이는 부분은 중심에서 가장자리로 갈수록 An의 함량이 낮아지는 정상누대구조를 보인다(그림 6a).

무등산데사이트의 사장석은 An₂₀~An₄₀의 화학조성을 가지고 있어 올리고클레이스에서 안데신에 해당하며 누대구조를 보이는 것들은 화순안산암의 사장석에 비해 비교적 그 경계부가 확연하며 정상적인 누대구조를 보이는 것이 대부분이나 반복누대구조(oscillatory zoning)를 보여주는 경우도 있다(그림 6b). 이러한 반복누대구조는 잔류된 고체들 사이에서 사장석이 초기에 성장한 것으로 해석하고 있다(Bateman and Chappell, 1979; Chappell *et al.*, 1987). 또한 반복누대구조와 비슷한 양상을 보이면서도 중심부가 가장자리보다 덜 calcic한 역전된 누대구조를 보이는 것도 있다(그림 6c). 무등산데사이트의 전체 암체 두께는 광주지질도폭(김규봉 외, 1990)에서 대략 600 m

Table 2. Average compositions of plagioclases from the Mt. Mudeung area

Sample Number	Hwasun Andesite		
	md14	hs 11	hs21
EPMA Point	25	16	57
An(%)	65.88	53.10	53.39
Ab(%)	30.14	45.20	38.90
Or(%)	3.965	1.73	3.15
Sample Number	Mudeungsan Dacite		
	md61	md76	
EPMA Point	5	22	
An(%)	35.10	33.51	
Ab(%)	57.90	59.99	
Or(%)	2.89	6.51	
Sample Number	Togok Rhyolite		
	hs6	hs7	
EPMA Point	11	23	
An(%)	1.77	3.40	
Ab(%)	88.08	92.64	
Or(%)	10.13	3.98	

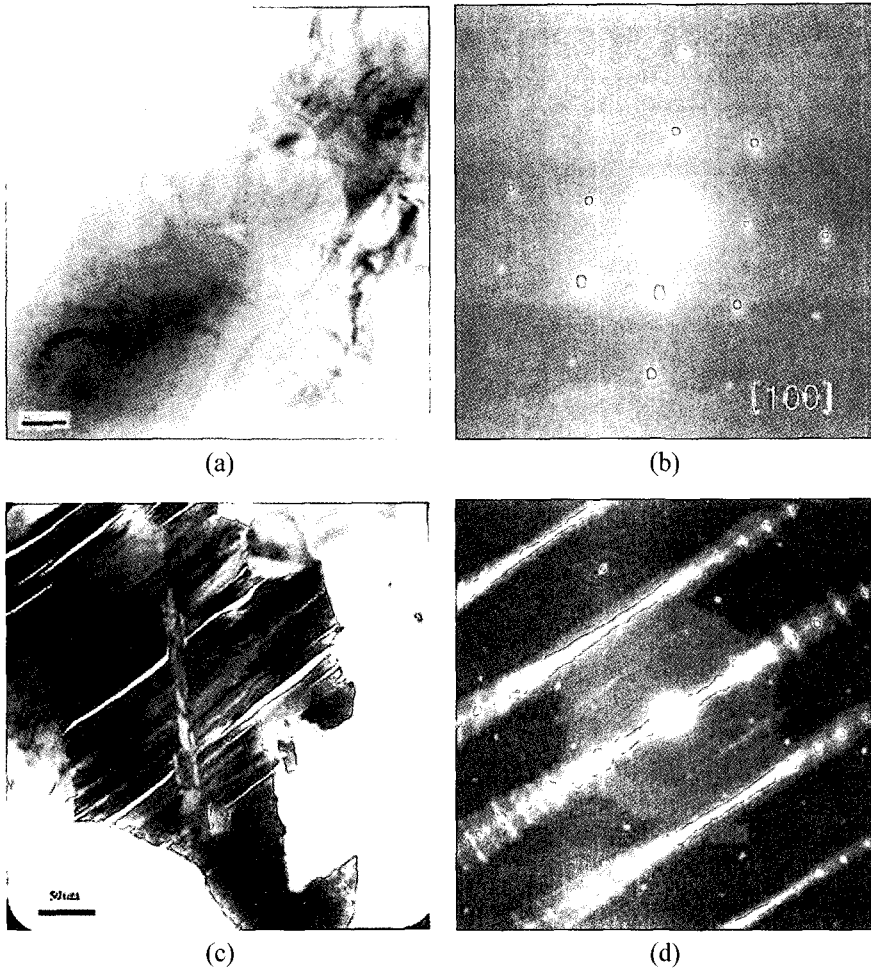


Fig. 7. Electron micrographs and electron diffraction patterns of plagioclase in Hwasun andesite. Note absence of e-reflections in (b) and the irregular twin boundary in (c).

에 달하는 것으로 보았다. 또한 광학현미경 관찰에서 유리질의 기질이 용결구조를 보이는 부분도 관찰할 수 있다. 이러한 사실로 미루어 보아 무등산데사이트가 분출하여 충분한 두께로 쌓인 후 부분적으로 암층에 남아있는 열에 의해 재용결작용을 받은 것으로 사료된다. 변질된 부분에서는 K의 함량이 많아지는데 이는 변질부가 견운모(sericite)화 되었기 때문으로 사료된다.

도곡유문암에서 사장석은 $An_{1.7} \sim An_{3.4}$ 의 화학조성을 가지고 있어 비교적 순수한 알바이트에 해당하나 $Or_{3.9} \sim Or_{10.1}$ 로 비교적 높은 K 함량을 보인다. 이는 사장석의 견운모화에 기인한 것으로 생각된다.

종합적으로 연구지역의 사장석은 일반적인 암석의 사장석보다는 calcic한 쪽에 속하며 각 암석의 사장석(표 2)은 분화산물의 연속성에 비해 그 값의 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 암석의 명명에 있어서 보다 더 세분화시키는 작업이 필요하거나 혹은 지각의 혼염이 수반되어 산성의 마그마로 진화(Hwang and Kim, 1994)했을 가능성을 생각해 볼 수 있다.

TEM 관찰

화산안산암의 사장석은 화학조성으로 보았을 때 안데신에 해당하는 사장석으로 쌍정이 없거나(그림 7a) 혹은 경계면이 불규칙하고 부분적으로

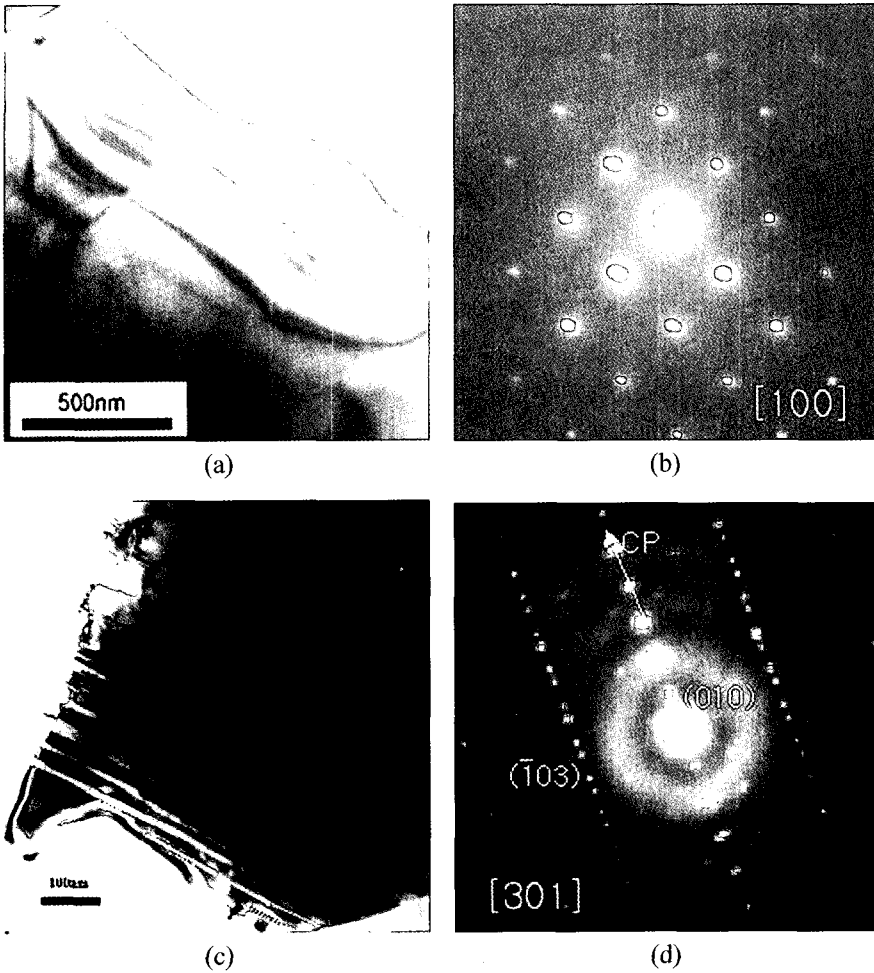


Fig. 8. Electron micrographs and electron diffraction patterns of plagioclase in Mudeungsan dacite. Note absence of e-reflections in (b) and the regular twin boundary in (c). CP: composition plane.

파쇄된 형태의 쌍정을 보이는(그림 7c) 두 부분으로 특징 지워진다. 불규칙한 경계면으로 인해 상응하는 전자회절도형(그림 7d)은 투과빔을 중심으로 회절점들이 회전된 듯한 형태를 보인다. 그러나 중간 조성의 사장석에서 나타나는 e-reflection의 존재 유무를 파악하기 위한 [100] 방향의 전자회절도형(그림 7b)에서는 e-reflection이 나타나지 않음을 확인하였다.

무등산테사이트의 사장석은 올리고클래스에서 안테신에 해당하는 사장석으로 화순안산암의 사장석에 비해 쌍정의 조성면이 보다 확연히 구분되며 관찰 시료에서는 대략 10 nm의 간격을 보인다(그림 8c). 쌍정이 있는 부분의 전자회절도형

(그림 8d)의 분석 결과 조성면이 (010)면을 가지는 알바이트 쌍정임을 알 수 있다. 쌍정면이 화순안산암에 비해 규칙적인 경계를 보이는 것은 무등산테사이트가 화순안산암에 비해 상대적으로 안정된 지질환경, 특히 열적 응력(thermal stress)이나 파쇄 등 기계적 응력(mechanical stress)이 적은 환경에서 형성되었음을 시사한다. [100] 전자회절도형(그림 8b)은 무등산테사이트도 화순안산암의 사장석처럼 e-reflection이 나타나지 않음을 보여준다.

도곡유문암의 사장석은 EPMA분석을 통해 보았을 때 An 값이 약 5% 미만으로 거의 순수한 알바이트에 해당하는 것으로 화순안산암이나 무

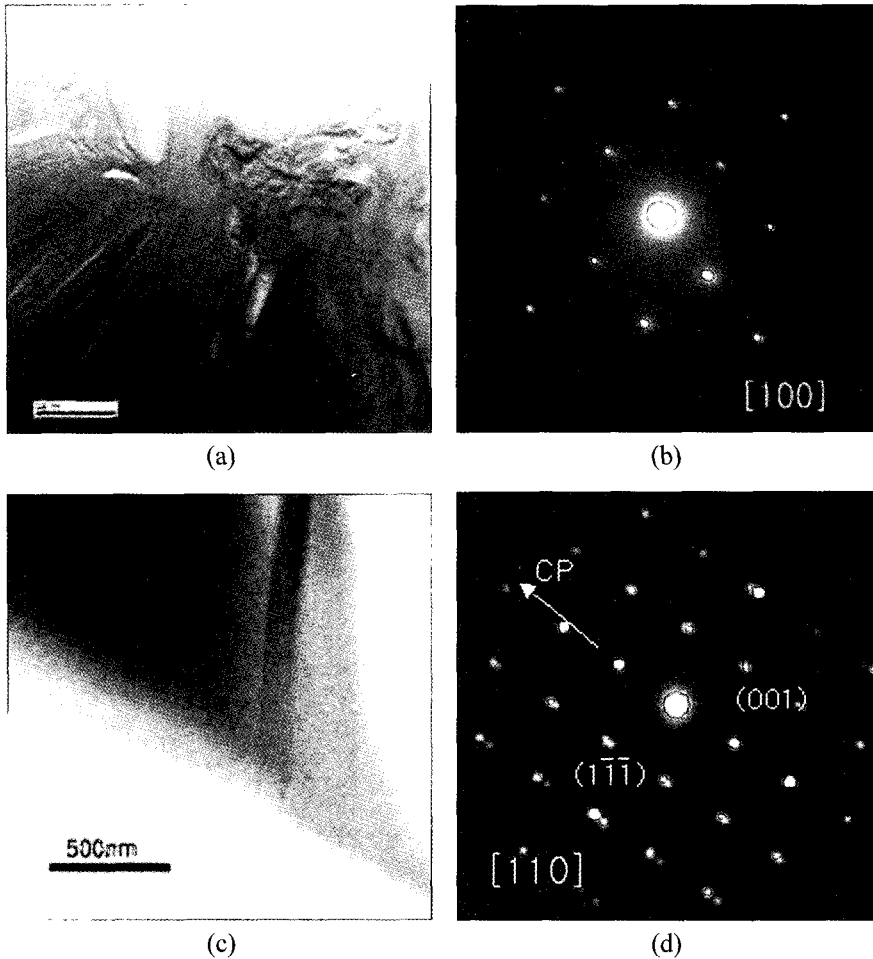


Fig. 9. Electron micrographs and electron diffraction patterns of plagioclase in Togok rhyolite. Note absence of e-reflections in (b). CP: composition plane.

등산데사이트에 비해 쌍정의 발달이 미약하다. 그림 9c에서 관찰된 쌍정은 전자회절도형(그림 9d)을 통해 (001) 조성면을 가진 페리클라인 쌍정임을 알 수 있다. 사장석 쌍정 중에서 석기나 풍화로 인해 결정면의 경계가 모호한 반정들은 광학현미경 하에서 판단이 어려웠으나 전자현미경의 회절도형을 얻어 조성면(CP)을 확인함으로써 쉽게 알바이트 쌍정과 페리클라인 쌍정을 구분할 수 있었다.

본 연구지역의 사장석은 중간조성의 사장석이지만 전자회절도형에서 e-reflection이 관찰되지 않는 것은 장석을 산출하는 화산암의 특성 상 빠른 냉각 속도 때문에 albite-like band와 anorthite-like band로 상분리가 일어날 만큼 충분히 안정

적인 조건이 형성되지 않았기 때문이라고 사료된다.

결론

본 연구지역의 화산암은 화순안산암, 무등산데사이트, 도곡유문암으로 분화과정을 잘 대변해주고 있으며 이들 화산암류에서 공통적으로 산출되는 사장석은 중간조성의 사장석부터 거의 순수한 알바이트에 해당하는 사장석으로 다음과 같은 특징을 보인다.

1) 화순안산암과 무등산데사이트에서 나타나는 사장석 반정의 반복 쌍정은 대부분 알바이트 쌍정이고 일부가 페리클라인 쌍정을 보이나 도곡유문암의 반복 쌍정은 풍화로 인해 결정면이 모호

하여 판단이 어렵다.

2) 화순안산암의 사장석은 Ca 함량이 많은 안데신에 속하고, 무등산데사이트의 사장석은 안데신에서 올리고클레이스에 해당하며, 도곡유문암의 사장석은 거의 순수한 알바이트에 해당한다.

3) 무등산데사이트는 다양한 누대구조를 보이는 사장석 반정들과 부분적으로 용결구조를 가지며 석기로 구성되어 있다. 이는 상당량의 무등산데사이트 용암이 분출하여 충분한 두께로 쌓여 부분적으로 재용결작용을 받은 결과로 사료된다.

4) 사장석 반복 쌍정 중 광학현미경에서 판단이 어려웠던 석기나 결정면이 변질된 반정의 경우라도 TEM의 전자회절도형을 얻으면 알바이트 쌍정과 페리클라인 쌍정을 쉽게 구분할 수 있다.

5) 화순안산암의 사장석 쌍정면이 무등산데사이트의 사장석 쌍정면에 비해 불규칙한 경계를 보이는 것은 상대적으로 불안정한 지질환경, 특히 열적 응력(thermal stress)이나 파쇄 등 기계적 응력(mechanical stress)이 큰 환경에서 형성되었음을 시사한다.

6) 연구지역에서 산출된 사장석은 대부분 중간 조성의 사장석이지만 [100] 전자회절도형에서 e-reflection이 나타나지 않는 것은 비교적 빠른 냉각속도로 인해 상분리가 일어나지 않았기 때문이라고 사료된다.

사 사

바쁘신 시간을 내어 논평 및 원고의 교정에 애써주신 윤성효 교수님, 김진섭 교수님 및 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

김규봉, 이병주, 황상구 (1990) 한국지질도 광주지질도 폭(1:50,000) 및 설명서. 한국동력자원연구소, 45p.
 김봉균, 박병권 (1966) 한국지질도 동북지질도폭(1/50,000) 및 설명서. 상공부 국립지질조사소, 30p.
 김용준, 오민후, 박재봉 (1993) 광주화강암체에 대한 암석화학적 연구. 자원환경지질, 20, 83-96.
 김용준, 박재봉, 박병규 (2002) 무등산지역의 화강암체에 대한 암석화학적 연구. 한국암석학회지, 11, 214-233.
 김윤중, 이영부, 박병규, 이정후 (2004) 전자회절도형을 이용한 장석의 구조 분석에 대한 고찰. 한국광물학회지, 17, 177-187.

박병규, 김용준, 김윤중 (2003) 무등산지역 화산암류의 암석화학적 고찰. 2003년도 대한자원환경지질학회 춘계 학술발표회 논문집, 전남대학교, 191-193.
 Batemann, P.C. and Chappell, B.W. (1979) Crystallization, fractionation, and solidification of the Tuolumne Intrusive Series, Yosemite National Park, California. Bull. Geol. Soc. Am., 90, 465-482.
 Carpenter, M.A. (1994) Subsolidus phase relations of the plagioclase feldspar solid solution: In Parsons (ed.) Feldspars and Their Reactions. Kluwer Academic Publishers, 221-269.
 Chappel, B.W., White, A.J.R., and Wyborn, D. (1987) The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. J. Petrol., 28, 1111-1138.
 Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J. (2001) Rock-Forming Minerals, Vol. 4A, 2nd eds., Framework Silicates: Feldspars. The Geological Society, London, 972p.
 Hwang, S.K. and Kim, S.W. (1994) Petrology of Cretaceous volcanic rocks in the Milyang-Yangsan area, Korea. II: Petrogenesis, Jour. Geol. Soc. Korea, 30, 563-577.
 Kitamura, M. and Morimoto, N. (1977) The superstructure of plagioclase feldspars. A modulated, coherent structure of the e-plagioclase. Phys. Chem. Minerals, 1, 199-212.
 Korekawa, M. and Jagodzinski, H. (1967) Die Satellitenreflexe des Labradorits. Schweiz Min. Petr. Mitt., 47, 269-278.
 Megaw, H.D. (1960) Order and disorder. III. The structure of the intermediate plagioclase feldspars. Schweiz Min. Petr. Mitt., 40, 184-202.
 Nakajima, Y., Morimoto, N., and Kitamura, M. (1977) The superstructure of plagioclase feldspar. Phys. Chem. Minerals, 1, 213-225.
 Smith, J.V. and Brown, W.L. (1988) Feldspar Minerals. Springer-Verlag, 828p.
 Tagai, T., Joswig, W., and Korekawa, M. (1980) Die Bestimmung der Al/Si-Verteilung Mittels Neutronenbeugung in einem Plagioklas An68, Z. Krist., 151, 77-89.
 Takahashi, Y. (2002) Practical method of determining plagioclase twinning laws under the microscope. Bull. Geol. Surv. Japan, 53, 795-800.
 Tobi, A.C. (1987) A guide to plagioclase twinning, and an urge to further research on its petrological significance. Schweiz Min. Petr. Mitt., 67, 127-136.

2005년 3월 2일 원고접수, 2005년 9월 20일 게재승인.