

중국 북동부 대흥안령 지역 중생대 화산암류에 대한 암석화학적 특성 연구

윤성효¹ · 원종관² · 이문원³ · 林强⁴

부산대학교 사범대학 지구과학교육과¹

강원대학교 자연과학대학 지질학과²

강원대학교 사범대학 과학교육과³

中國 長春科技大學⁴

Study on the Geochemical Characteristics of the Mesozoic Volcanic Rocks in Da Hinggan Ling Area, Northeast China

Sung-Hyo Yun¹ · Chong-Kwan Won² · Moon-Won Lee³ · Qiang Lin⁴

¹Department of Earth Sciences Education, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea.

²Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon, 200-710, Korea

³Department of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon, 200-710, Korea

⁴Department of Geology, Changchun University of Science and Technology, Changchun, China

Abstract: We studied petrological and geochemical characteristics of the Mesozoic volcanic rocks in the Da Hinggan Ling area, northeast China, and discussed tectonic settings and origin of the Mesozoic volcanic rocks in northeast Asia. Volcanic rocks in Da Hinggan Ling area are composed of alkaline to subalkaline basalt-basaltic andesite-andesite-dacite-rhyolite, showing typical BAR(basalt-andesite-rhyolite) association. However, most of the volcanic rocks are basaltic and rhyolitic in composition, and andesitic rocks are relatively rare, which shows bimodal characteristics. Rb, Ba, Th and other incompatible element contents in the volcanic rocks are enriched, but the contents decrease with increasing the compatibility. REEs are fractionated and REE patterns of volcanic rocks are characterized by a high LILE/HFSE. On the tectonomagmatic discriminant diagram of Hf-Th-Nb, they fall into the fields for subduction-related destructive plate margin basalts and its differentiates. We suggest that the tectonomagmatic setting of Da Hinggan Ling area was located at the continental margin arc related with subduction environment during the Mesozoic time or may be derived from mantle plume contaminated geochemically from subducting slabs, although it is, at present, within the Asia continent.

Key words: Da Hinggan Ling, Mesozoic volcanic rocks, petrochemistry.

요약: 중국 북동부 대흥안령(大興安嶺) 지역 중생대 화산암류의 암석화 및 전체적인 암석화학적 특징을 파악하고, 동북아시아 지역의 중생대 화산암대의 지체구조적 환경 비교 및 성인 연구를 하였다. 주성분 화학조성의 특징은 주로 알칼리-서브알칼리계 열의 현무암-현무암질 안산암-안산암-테사이트 및 유문암 조성을 보이고, 전형적인 BAR(현무암-안산암-유문암)의 암석조합을 나타낸다. 그러나, 각 화산분출 단위에서는 산성의 유문암질 성분과 염기성의 현무암질 성분이 많은 반면, 중성 성분이 비교적 결여되어 있는 바이모달 특징을 나타낸다. 미량원소 함량 조성의 전반적인 특징을 보면, Rb, Ba, Th 등 불호정성원소들이 부화되어 있으며, 불호정성이 작아지고 호정성이 증가할수록, 즉 Cr, Ni로 갈수록 그 함량이 감소하는 특징을 보인다. 또, 희토류원소가 상당히 분화되어 있으며, LREE, Rb, Ba, Th, K 등 불호정성원소의 함량이 높으며, LILE/HFSE 비가 높은 특징을 보인다. Hf-Th-Nb 성분도에서도 본 지역의 화산암류들은 판이 침강 섭입하는 판경계부에서 생성된 마그마로부터 유래하는 조구적 위치에 도시된다. 이는 현재 대흥안령 지역의 지체구조적 위치가 아시아 대륙내부에 위치하나, 화산암류가 형성될 당시에는 지판이 섭입하는 대륙호 환경이었거나 또는 이미 침강섭입된 판으로부터 지구화학적인 혼입된 맨틀 플룸의 영향을 받았음을 추측할 수 있다.

주요어: 대흥안령, 중생대 화산암, 암석화학

서 론

중국 동북지역 대흥안령 지역의 중생대 화산암은 그 규모나 그것이 위치해 있는 지체구조적 위치가 많은 학자들의 관심을 끌고 있으며, 인접한 러시아 원동, 시베리아, 몽고, 서남일본 및 한반도의 중생대 화산암과 함께 환태평양 아주대륙(亞洲大陸) 동북연변부의 거대한 화산대를 구성한다(Mukul *et al.*, 1991; Renne and Basu, 1991).

중국 대흥안령 산맥 및 만주 일원의 화산암류 및 퇴적분지에는 주로 쥐라기말-백악기초기의 화산암류 및 심성암류가 분포하고 있다. 한반도 및 서남일본에는 백악기말기-제3기초기의 화산암류들이 분포하여 대흥안령산맥에서 만주를 거쳐 한반도 및 일본열도 쪽으로 감에 따라 화산암류의 연대가 젊어지고 있는 것으로 밝혀지고 있다.

이와 같이 동북아시아에서 중생대-제3기초의 화성활동을 지체구조운동과 관련시켜 볼 때, 한반도와 중국 대흥안령 산맥의 두 지역이 지체구조상의 위치가 다른 것으로 생각되며, 암석학 및 지구화학적 차이를 보일 것으로 사료된다. 중국 대흥안령 산맥 및 만주일원의 중생대 화산암류는 그 분포면적이 280,000km²에 이르는 광범위한 지역으로 중국의 자원개발 정책상 주로 지하자원 탐사 및 개발을 목적으로 지질도가 발간되었으나, 암석학 및 지구화학적 측면의 체계적인 연구는 미비한 상태이다.

본 연구에서는 중국 대흥안령 지역의 후기 쥐라기-초기 백악기 화산암류의 암석학 및 전체적인 암석화학적 특징을 파악하는 것이 주목적이며, 동북아시아 지역의 중생대 화산암대의 지체구조적 환경 비교 및 성인 연구를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

본 연구를 위한 야외조사는 중국 장춘지질학원 林 强 교수팀과 함께 1995년 7월 30일에서 8월 9일까지 10일간, 1996년 7월 25일부터 8월 2일까지 9일간 2차에 걸쳐 대흥안령 산맥지역 및 수분하(綏芬河)-하얼빈 지역에서 실시하였으며, 실내연구를 위한 시료를 채취하였다. 암석화학적 특징 파악을 위한 분석은 기초과학 지원연구소 서울분소의 XRF를 이용하여 주성분 분석을 실시하였으며, 미량성분 및 희토류원소의 분석은 ICP-AES 및 ICP-MS를 이용하여 분석하였다.

대흥안령 지역의 중생대 화산암류 및 화산층서

대흥안령 화산암대의 주 활동시기는 후기 쥐라기에서 초기 백악기로, 중국 동북지역에서 화산활동이 가장 활발하였던 시기이며, 대체로 북북동 방향으로 분포하는 거대한 화산암대를 형성하고 있으며 그 서쪽 부분은 몽고지역내에 위치하고 분포면적은 약 900,000km²에 달한다. 주목해야 할 것은 그 화산암대의 시공간적 분포가 타원형 환상(環狀)구조를 한다는 것이다. 환상구조의 내부에는 초기 백악기(K-Ar 전암연대는 130~95Ma)의, 환상구조의 동쪽 바깥부분은 후기 쥐라기(160~130Ma)의, 서쪽 바깥 부분(몽고 지역내)은 170~138Ma의 화산암이 분포한다(Pruner, 1987; Hong *et al.*, 1995). 그러므로 환상구조의 외측부에서 내부로 감에 따라 그 화산암 층서는 점차적으로 젊어지는 경향을 보인다(林 强 등, 1996). 대흥안령 지역의 중생대 화산암 분포(Fig. 1)는 길이 약 1,700km, 폭이 900km로 북북동 방향으로 신장된 타원형의 환상 화산암대이며 그 서쪽 부분은 몽고 동부에까지 연장되고, 몽고의 페름기-트라이아스기의 환상 화산암대의 동쪽 부분과 서로 중첩된다. 환상 화산암대의 서쪽, 즉 몽고동부의 후기 쥐라기(일부 중기 쥐라기 포함) 현무암-유문암 바이모달(bimodal) 화산암계(Hong *et al.*, 1995)와 동북 대흥안령 동쪽 사면의 후기 쥐라기 화산암류는 대칭적으로 산출되며, 그 중심부는 초기 백악기 화산암 분포지역이며, 바깥쪽으로부터 안쪽으로 감에 따라 그 화산활동의 시간이 점차적으로 젊어지는 향심구조계(向心構造系)를 형성한다.

대흥안령 지역의 중생대 화산암류를 북부와 남부지역으로 구분하여 층서를 살펴보면 다음 Table 1과 같다.

대흥안령 북부지역의 후기 쥐라기의 타무랑고우층의 화산암류는 주로 현무암-조면현무암안산암질 화산암류로 구성되며, 소량의 유문암질암을 가지는 바이모달한 양상을 나타낸다. 지상평층 화산암류와 차이무창층 화산암류는 주로 현무암질 안산암으로 구성되며, 무위층 화산암류는 유문암질암류로 구성된다. 초기 백악기의 상쿠리층과 이레크트층 화산암류는 각각 유문암질 및 현무암질 화산암류로 구성된다. 대흥안령 남부지역에서는 후기 쥐라기의 만커트웨보층은 주로 유문암질 화산암류로, 마니투층 화산암류는 현무암질-현무암안산암질

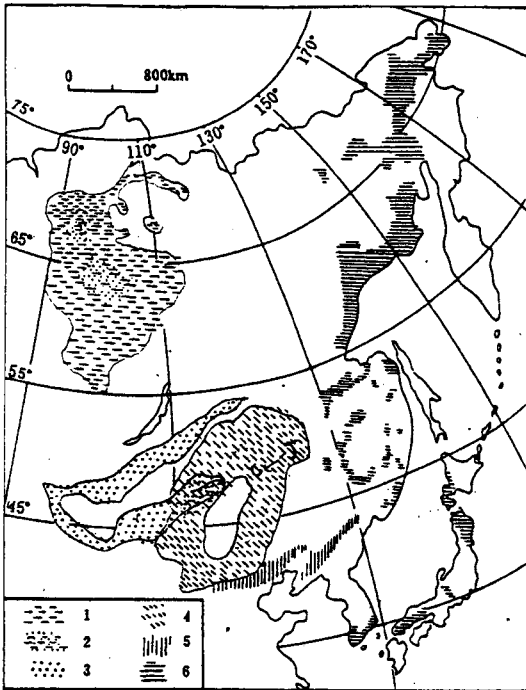


Fig. 1. Simplified index map of Mesozoic volcanic rocks in northeastern Asia (modified from Lin Qiang *et al.*, 1996). 1 and 2; Siberian ring volcanic belt (1; late Permian volcanic rocks, 2; Early Triassic volcanic rocks), 3; Mongolian Permian to Triassic volcanic belt, 4; Da Hinggan Ling Late Jurassic to Early Cretaceous volcanic belt, 5; Early Jurassic to Early Cretaceous volcanic rocks, 6; continental margin NNE-trending Cretaceous volcanic belt.

화산암류로 구성되고, 바이잉가오라오층은 유문암질 화산암류가 우세하게 차지하며, 초기 백악기의 메이러투층 화산암류는 현무암질 화산암류로 주로 구성된다 (郭洪中과 張招崇, 1992).

화산암류의 암석기재

대흥안령 지역의 화산암류를 현무암류, 현무암질 안산암류, 안산암류, 테사이트암 및 유문암질암류로 구분하였으며, 각 화산암류에 대한 암석기재적 관찰 내용은 아래와 같다.

현무암류

현무암: 현무암은 흑색, 회흑색을 띠며, 치밀괴상, 기공상, 반상구조를 나타내고, 기질은 쉘레이아이트조직 (tholeiitic texture) 또는 입간(粒間)조직(intergranular

Table 1. Stratigraphy of the Mesozoic volcanic rocks in the Da Hinggan Ling area, northeast China.

	Northern Area	Southern Area
Early Cretaceous	Yilikede Formation	Meiletu Formation
	Shangkuli Formation	
Late Jurassic	Murui Formation	Baiyingaolao Formation
	Qiyimuchang Formation	Manitu Formation
	Jiziangfeng Formation	Manketouebo Formation
	Tamulangou Formation	

texture)을 나타낸다. 반정의 대부분은 감람석과 보통회석이며, 몇몇 암석 중에는 사장석(라브라도라이트) 반정을 볼 수 있다. 반정의 함량은 암석 중의 약 10% 내외를 차지한다. 반정 감람석은 자형의 단주상 또는 입상이며, 입경은 약 0.8~1.5mm이다. 회석 반정의 대부분은 주상이며, 길이는 1.0~2.0mm로 서로 다르다. 사장석 반정은 장주상이며, 주의 길이는 대부분 1.5mm 이하이다. 이런 종류의 암석분포는 매우 작고, 현무암질 안산암과 긴밀하게 같이 나타나는 몇개의 층군 중에서 나타난다.

현무암질 응회암: 현무암질 응회암은 위에서 말한 현무암과 성분, 조직상 매우 유사하나, 현무암과 구별되는 것은 주체를 이루는 암석 중에 약 10~30%의 화산쇄설암을 함유하는 것이다. 이러한 쇄설물은 소량의 현무암 암설(岩屑)과 파쇄된 감람석, 휘석과 사장석 결정편으로 구성된다. 이 암석의 산출은 매우 작으며, 현무암과 밀접하게 산출된다.

현무암질 안산암류

현무암질 안산암: 본 암은 회흑색, 녹흑색을 띠며, 치밀 괴상이다. 반상조직을 나타내며, 기질은 인터서탈조직, 입간조직을 보여주고, 반정은 대부분이 휘석과 사장석으로 구성되며 소량의 암석중에서 감람석과 각섬석을 볼 수 있다. 휘석은 보통회석이고, 주상으로 주의 길이는 0.8~1.2mm이고, 각섬석과 감람석 반정은 입경이 일반적으로 0.3~1.0mm이며, 각섬석은 가장자리가 불투명광물로 변질된 암화(暗化)현상을 볼 수 있고, 감람석은 녹니석화현상을 볼 수 있다.

조면현무암질 안산암: 본 암은 회흑색, 약간 자색(紫色)을 띠며, 치밀 괴상이다. 반상조직을 나타내며, 기질은 조면암질 조직을 보통 볼 수 있다. 반정은 감람석, 휘석

과 소량의 K-장석으로 구성되며, 그 입경은 0.5~1.5mm로, 크고 작은 것 등 다양하다. 기질부는 미정상 K-장석, 사장석과 소량의 휘석, 불투명광물 등으로 구성되며, 국부적으로는 긴밀하게 배열한 K-장석, 사장석 미정중에 소량의 휘석, 자철석 등이 충진한 조면암질-입간조직을 나타낸다.

안산암류

안산암: 본 암은 회색, 회흑색, 자회색을 띠며, 치밀 괴상이며 반상조직을 보여준다. 기질은 펠로택시틱조직을 나타내며, 반정은 주로 사장석과 각섬석으로 구성되나, 휘석과 흑운모도 때때로 나타나며, 몇몇 화산암 분지에서는 감람석 반정도 볼 수 있다. 유색광물 반정의 총 함량은 일정하지 않으며, 일반적으로 2~25%를 차지하나, 어떤 암석에서는 약 25~50%를 차지한다. 사장석 반정의 함량은 일반적으로 5~10%이며, 반정으로 나타나는 사장석은 대부분 자형의 장주상이며 길이는 0.5~8.0mm로 일정하지 않고 누대구조를 나타내기도 한다. 각섬석 반정은 자형 주상으로 주의 길이는 0.5~5.0mm이며 암석 중의 각섬석 반정은 정도가 같지 않은 암화현상을 나타낸다.

안산암질 응회암과 각력암: 대부분 흑회색 또는 흑회록, 흑회자색을 띠며, 각력의 색도 다양하다. 치밀 괴상 구조를 하며 또 각력상 구조를 한다. 화성쇄설의 함량은 일정하지는 않으며, 입도도 큰 차이가 있고 같지 않은데 이런 변화는 화산암상과 밀접한 관계가 있다. 화성쇄설 중 결정편, 유리편의 입경은 보통 2.0mm 이하이다. 안산암 각력의 직경은 작은 것은 2~10mm, 큰 것은 3~5cm이고, 어떤 것은 10cm에 이르는 집괴암질이며 화성쇄설 함량은 20~70%이다. 화성쇄설 암산암은 종종 화성쇄설 주변을 둘둘 감는 일정한 방향으로 배열한 미정 사장석 성분이 조면암질 조직을 한 기질을 나타내기도 한다. 그리고, 안산암질 석질 응회암, 결정편 응회암과 각력암은 흑회색, 회록색, 회자색을 띠며, 치밀 괴상이며 각력상 구조를 한다. 화성쇄설은 안산암편, 결정편과 소량의 유리편으로 구성된다. 결정편 중에는 사장석이 가장 많고 그 다음은 각섬석이며, 때때로 휘석, 흑운모, 알칼리장석, 석영 등을 볼 수 있다. 사장석, 각섬석, 휘석 결정편은 대부분 파쇄된 연변부의 특징을 가진다. 화구상에 가까운 소수 암석에서의 화성쇄설은 길게 압축 신장되어 비교적 잘 발달한 유동구

조를 가진다.

데사이트암류

데사이트: 본 암은 회록색, 암록색, 회자색을 띠며, 치밀 괴상 구조를 한다. 경하에서 반상조직, 조면암질, 은미정질, 현미입상조직 등을 나타낸다. 반정 중에는 사장석(An_{12-28})이 가장 많고, 그 다음은 각섬석, 석영과 알칼리장석이며, 때때로 흑운모도 볼 수 있다. 반정 함량은 일반적으로 암석의 5~15%를 차지하고, 몇몇 암석에서는 25% 내외를 차지한다. 사장석 반정은 대부분 자형의 주상이며, 길이는 1~3mm에 이르며 누대구조는 발달해 있지 않고, 견운모화작용이 보편적이다. 각섬석 반정도 자형 장주상이며, 길이는 보통 0.8~2.5mm이고 대부분 암화현상, 녹리석화작용을 받았다. 알칼리장석 반정은 자형 단주상으로 고령토화작용을 받았고 입경은 0.5~2.0mm이다. 석영 반정은 대부분 만곡 융식형이며, 입경은 일반적으로 1.0mm 정도이다.

데사이트질 응회암과 각력암: 본 암은 회색, 회자색, 회록색을 띠며, 괴상, 각력상 구조를 한다. 대부분이 화성쇄설류로서, 화성쇄설의 입경, 함량 등은 일정하지 않고 각력급 쇄설은 데사이트로 주 구성되며, 응회질 쇄설은 결정편과 암편이 주이며, 각력급 쇄설의 직경은 일반적으로 1~3cm이며, 응회질 쇄설의 입경은 대부분 0.5~2.0mm 사이이며 화성쇄설 함량은 20%부터 65%로 일정하지 않다. 결정편 중에는 정장석이 가장 많고 그 다음은 소량의 석영, 알칼리장석과 유색광물 각섬석이며 때때로 휘석, 운모 등도 볼 수 있다. 화구상 근처의 응회암과 화산각력암 중에는 그 양이 적지 않은 소성 유리편과 소성 암편을 볼 수 있고, 이런 소성 화성쇄설은 길게 압축 신장되어 있는 유택시틱조직을 나타내는 전형적인 용결구조를 나타내기도 한다.

유문암류

유문암: 본 암은 대부분 회색, 회백색, 자회색을 띠며, 치밀 괴상 또는 유문구조를 한다. 경하에서 반상조직을 하며, 기질조직의 유형은 다양하며 주요한 것은 현미입상조직, 현미구립조직 등이다. 반정은 주로 석영, 알칼리장석과 사장석으로 구성되고, 때때로 소량의 흑운모 반 정도 볼 수 있다. 반정의 총함량은 일반적으로 5~30%를 차지한다. 석영 반정은 자형 또는 융식 만입상이고 입경은 보통 0.5~3.0mm이고, 사장석은 자형 주상

이며 주의 길이는 일반적으로 0.6~3.0mm이고, An_{7-15} 이고 누대구조는 미약하며, 취편쌍정이 보편적이며 견운모화작용을 받았다. 알칼리장석은 길이 1.0mm이하의 단주상이며 고령도화작용을 보통 받았다. 암석 중에 함유된 '반정상' 구과가 발달한 구과상유문암과 유리질 조직, 진주상 조직을 가진 진주암도 때때로 관찰된다.

유문암질 응회암과 각력암: 본 암은 회색, 자회색이 대부분이며, 소량 각력용암은 잡색이며 괴상구조, 유문구조를 보통 볼 수 있다. 화성쇄설이 많고 입경의 대소 변화는 화산암상의 변화에 따라 변한다. 화성쇄설중 각력급은 주로 유문암이며, 그 직경은 일반적으로 0.2~15cm이고, 응회급 쇄설은 석영, 사장석, K-장석이 위주이고 그 입경은 보통 0.2~2.0mm이다. 화성쇄설물의 함량이 높지 않은 응회암 혹은 각력암 중의 교결작용을 받은 용암류와 유사한 암상에는 유문암의 조직, 구조 특징을 볼 수 있다. 화성쇄설물의 함량이 다소 많은 용결응회암 또는 용결각력암 중에는 교결작용을 받은 산성용암의 화성쇄설을 둘러싸는 것이 잘 발달하여 유문구조를 나타낸다. 응회암 중의 화성쇄설 입경은 보통 0.3~1.5mm이고, 보통 결정편으로 석영, 알칼리장석과 Na-사장석이며, 암편은 대부분 유문암이며, 유리편은 주로 산성유리이다. 결정편, 암편, 유리편의 함량 비례는 일정하지 아니하며, 그 함량 변화에 따라 유문암질 석질-결정응회암, 유문암질 결정응회암, 유문암질 유리-결정응회암, 소량의 유문암질 유리응회암, 그리고 종종 용결응회암도 볼 수 있다. 화산각력암 중의 쇄설 입경은 5~15mm이며 주로 유문암으로 구성된다. 용결응회암중에는 소성 유리편으로 주로 구성되며, 때때로 소량의 결정편 혹은 암편을 가지며, 유리편이 압축 신장되어 있는 유택시틱조직을 나타낸다.

암석화학적 특성

화산암류의 화학조성을 알아보기 위하여 주로 용암류를 연구 대상으로 시료를 채취하였으며, 화성쇄설암류에서는 외래광물립과 암설의 함량이 많아 마그마의 성분을 대표할 수 없는 것으로 판단되어 배제하였다.

주성분원소

대홍안령 지역 중생대 화산암류의 주성분 원소 분석

치는 Table 2와 같다.

주성분 화학조성의 특징으로 볼 때, 주로 서브알칼리 계열의 현무암-현무암질 안산암-안산암-데사이트 및 유문암 조성을 하며, 국부적으로 알칼리현무암과 조면안산암이 나타나고, 전체적으로 현무암에서 유문암까지의 넓은 성분 영역을 나타내며, 전형적인 BAR(현무암-안산암-유문암)의 암석조합을 나타낸다. 그러나, 각 산분출 단위에서는 산성의 유문암질 성분과 염기성의 현무암질 성분이 많은 반면, 중성 성분이 비교적 결여되어 있는 바이모달 특징을 나타낸다.

본 역 화산암류의 암석계열을 분류하기 위하여 Irvine and Baragar(1971)의 구분선을 적용하면, SiO_2 에 대한 Na_2O+K_2O 의 비교 그림에서 대부분의 화산암류는 비알칼리암계열에 도시되나, 대홍안령 북부지역 화산암류 중의 타무랑고우층, 치이무창층과 이레키투층의 일부 현무암질암류는 알칼리암류의 영역에 분산되어 도시된다(Fig. 2). 한편 AFM성분도에서는 알칼리계열의 현무암질암류가 칼크-알칼리 마그마계열에서 약간 벗어나는 것을 제외하고는, 비알칼리암계열의 대부분이 전형적인 칼크-알칼리 마그마계열의 분화 경향을 나타낸다(Fig. 3). SiO_2 에 대한 K_2O 의 성분도에서 염기성-중성 화산암류는 다소 분산되어 나타나나, 대부분이 high-K의 영역을 벗어나 그 위에 도시되어(Fig. 4) 이들 화산암류가 K_2O 함량이 상대적으로 많이 부화되어 있는 특징을 나타낸다. 이는 성숙된 조산대의 중성화산암류가 일반적으로 볼 수 있는 medium-K 또는 high-K 영역에 도시되는 것에 비하여 뚜렷한 차이를 보인다.

분화지수로 SiO_2 를 사용하여 각 산화물의 변화 경향(Fig. 5)을 살펴보면, 전체적으로 SiO_2 가 증가함에 따라, TiO_2 , Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , MnO, MgO, CaO, P_2O_5 는 점진적으로 감소하며, K_2O 는 증가하는 양상을 보이며, Na_2O 는 거의 일정한 값을 가지는 양상을 나타낸다. 특히 MgO는 SiO_2 함량이 50~55wt% 영역에서 급격하게 감소하는 경향을 보여주며, 그 이상에서는 감소율이 약간 둔화되어 감소하는 경향을 보인다. 이는 감람석이나 휘석 결정이 결정화되면서 분별되었음을 의미한다. CaO도 MgO와 유사한 경향을 나타내며 감소하는 데, 이는 사장석이나 단사휘석의 분별작용으로 해석할 수 있다. TiO_2 의 양은 현무암질암에서는 2.1~0.8wt%의 높은 값을 가지나, 유문암질암으로 감에 따라 점진적으로 감소하는 경향을 잘 나타낸다.

Table 2. Representative major element abundances (wt. %) of the Mesozoic volcanic rocks in the Da Hinggan Ling area, northeast China.

Sample	J3tm		J3j		J3q		K1s		K1y		J3m		J3mn		J3b		J3ml		
	403-7	405-1	404-1	453-a3	453-2	453-a6	450-2	450-8	448-1	448-2a	448-5a	405-1	433-6	433-8	445-1	445-5	445-6	456-5	
SiO ₂	51.94	52.92	56.61	74.75	52.28	55.34	56.60	76.96	55.44	54.97	52.97	74.15	58.51	62.53	57.72	76.04	75.36	76.18	55.74
TiO ₂	1.60	1.14	1.14	0.17	1.35	1.28	1.26	0.21	1.66	1.55	0.68	0.20	0.89	0.83	0.94	0.12	0.20	0.15	1.00
Al ₂ O ₃	14.84	18.26	15.86	13.58	16.56	17.32	16.13	11.86	16.39	15.67	16.24	13.43	16.56	16.13	16.74	12.91	13.43	13.09	17.11
Fe ₂ O ₃	6.48	5.79	4.46	0.99	4.07	3.34	5.24	0.75	5.48	5.02	5.81	1.14	4.84	3.95	4.19	0.93	0.66	0.61	4.76
FeO	2.50	2.89	2.68	0.89	3.54	3.49	2.03	0.67	3.29	3.04	3.49	1.03	4.35	2.37	2.52	0.84	0.59	0.54	2.86
MnO	0.13	0.14	0.09	0.10	0.14	0.09	0.11	0.06	0.11	0.16	0.11	0.04	0.14	0.10	0.08	0.07	0.05	0.07	0.13
MgO	3.74	4.12	1.73	0.10	3.32	2.56	3.12	0.12	1.63	3.28	2.11	0.22	2.19	1.32	2.53	0.19	0.18	0.15	3.46
CaO	7.09	7.58	5.05	0.23	5.61	5.40	5.29	0.22	5.49	6.16	5.72	0.48	3.10	3.11	4.03	0.36	0.45	0.38	6.97
Na ₂ O	2.35	3.80	3.64	3.20	4.55	5.04	3.80	3.07	4.01	3.80	3.78	3.61	4.33	5.07	4.46	3.39	3.46	3.81	2.98
K ₂ O	2.71	1.40	2.82	5.24	2.66	1.54	3.13	4.99	3.02	2.85	3.11	4.85	2.30	2.19	2.27	4.54	4.64	4.51	2.32
P ₂ O ₅	0.95	0.35	1.19	0.03	0.64	0.40	0.42	0.03	0.79	0.72	0.85	0.03	0.19	0.22	0.29	0.02	0.05	0.02	0.33
H ₂ O ⁺	-	1.33	-	-	2.32	2.23	2.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂ O ⁻	-	2.06	-	-	0.59	0.11	0.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	-	0.16	-	-	2.35	1.79	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L.O.I.	5.05	-	2.01	0.68	-	-	-	1.31	0.44	2.27	2.40	0.73	3.97	1.88	3.97	0.98	0.87	0.40	2.08
Total	99.67	101.94	99.92	100.05	99.98	99.93	100.60	100.03	99.91	99.47	99.96	100.02	100.06	99.95	100.03	99.57	100.01	99.97	100.06

J3tm, Tamulangou volcanics; J3j, Jixiangfeng volcanics; J3q, Qiyimuchang volcanics; K1s, Shangkuli volcanics; K1y, Yiliakede volcanics;

J3m, Manketouebo volcanics; J3mn, Manitu volcanics; J3b, Baiyingshaolao volcanics; J3ml, Meilietu volcanics

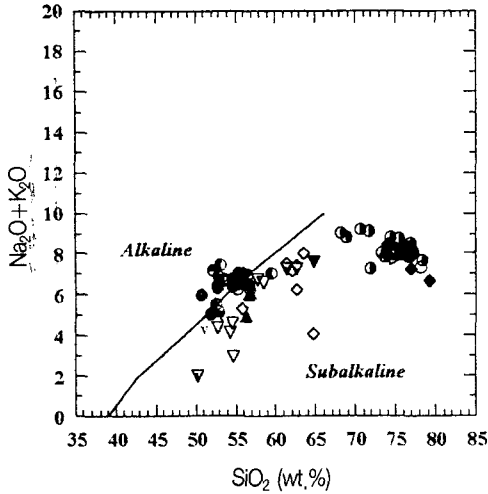


Fig. 2. TAS diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China. [Symbols] ●&○, Tamulangou volcanics; ●, Jixiangfeng volcanics; ○, Qiyimuchang volcanics; ●, Shangkuli volcanics; ●, Yiliekedede volcanics; ◆, Manketouebo volcanics; v, Manitu volcanics; ▼&▲, Baiyingaolao volcanics; ◇, Meiletu volcanics.

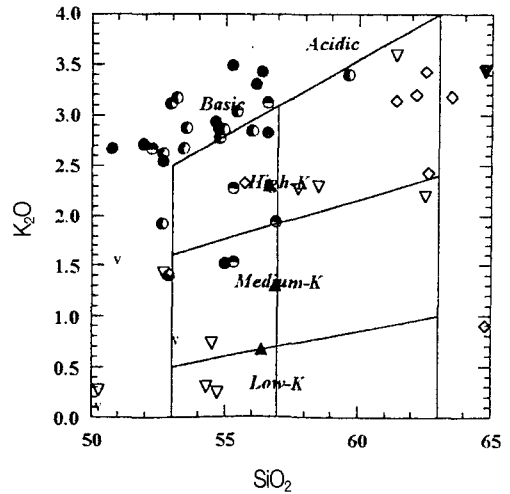


Fig. 4. K₂O-SiO₂ diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China. Symbols are the same as those in Fig. 2.

미량원소 및 희토류원소

본 역 화산암류에 대한 미량원소 및 희토류원소 조성을 Table 3에 나타내었다.

Sr의 함량은 현무암질암류에서 1,200ppm~300ppm의 조성 범위를 나타내나, 유문암질암류로 감에 따라

점진적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이와 반대로, Rb은 현무암질암류에서는 대체로 100ppm 이하의 낮은 값을 가지나, 유문암질암류로 감에 따라 그함량이 200ppm 이상으로 증가하는 경의 상관을 나타낸다.

미량원소 함량 조성의 전반적인 특징을 고찰하기 위하여 초생맨틀값(Sun and McDonough, 1989)으로 표준화한 거미성분도에 도시(Fig. 6)하면, Rb, Ba, Th 등 불호정성 원소들이 부화되어 있으며, 불호정성이 작아 지고 호정성이 증가할수록, 즉 Cr, Ni로 감에 따라 그 함량이 감소하는 특징을 보인다. 특히 현무암류에서의 함량 특징은 판내부 알칼리현무암류와 매우 유사한 경향을 나타낸다. 즉 희토류원소가 상당히 분화되어 있으며, LREE, Rb, Ba, Th, K 등 불호정성 원소의 함량이 높으며, LILE/HFSE 비가 높은 특징을 보인다.

희토류원소 함량을 콘드라이트값(Nakamura, 1974)으로 표준화한 성분 변화도(Fig. 7)에서 현무암질암류는 유문암질암류에비하여 상대적으로 LREE의 비가 높으나, HREE의 비는 대체로 유사하다. 그리고 현무암질암류는 약한 Eu 부(-) 이상을 나타내나, 유문암질암류에서는 뚜렷한 Eu 부(-) 이상을 나타낸다.

대홍안령지역의 현무암류는 고도의 친석원소의 부화, 희토류원소의 강렬한 분별을 나타내며, LREE와 Rb, K, Ba, Th 등의 강한 불호정성 원소 농도가 중국 동북 지구 신생대 알칼리현무암과 대양도알칼리현무암보다

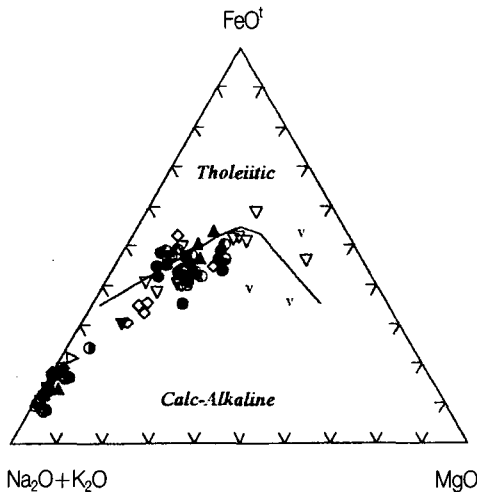


Fig. 3. AMF diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China. Symbols are the same as those in Fig. 2.

Table 3. Trace element and rare earth element abundances(ppm) of the Mesozoic volcanic rocks in the Da Hinggan Ling area, northeast China.

Sample	403-7	403-7	405-1	460-3	404-1	453-a3	453-2	453-a6	450-2	450-8	450-a1	448-1	448-2a	448-5a	405-1	433-6	433-8	433-14	445-1	445-6	456-5	
Y	—	18.85	—	—	19.64	16.47	18.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rb	69.60	23.40	55.02	181.93	67.40	31.70	66.40	181.49	220.40	217.40	63.48	67.85	67.35	174.61	77.01	53.76	52.80	134.86	161.38	169.29	46.99	
Sr	788.7	892.0	888.4	61.0	747.0	1138.0	764.0	26.3	21.0	13.2	1015.4	934.9	930.2	84.4	281.8	498.1	607.0	16.7	39.1	22.7	779.4	
Zr	368.8	143.0	487.5	121.9	367.0	186.0	384.0	240.9	174.4	239.6	343.3	314.5	191.6	169.4	51.4	62.9	83.8	63.9	135.9	118.5	68.9	
Nb	18.79	6.80	31.93	10.22	16.00	8.60	16.00	36.64	23.76	25.84	18.62	9.95	13.19	7.37	2.56	3.20	3.33	8.28	12.73	11.50	4.87	
Th	2.61	18.40	5.83	15.78	16.80	15.90	15.70	36.97	36.43	36.92	6.06	5.46	6.05	15.58	2.47	3.76	5.23	18.37	22.05	21.06	2.71	
Ni	340.01	18.50	275.43	96.08	38.10	37.40	37.50	45.57	29.79	33.19	389.04	358.98	377.43	95.13	324.74	265.78	258.80	21.56	40.65	42.70	358.06	
Cr	—	32.70	—	—	77.40	61.00	61.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Hf	7.95	3.70	10.80	3.88	7.10	4.40	6.80	9.60	7.43	9.90	7.69	7.14	4.86	4.88	1.12	1.30	1.55	3.29	5.50	4.61	1.25	
Ta	1.00	0.90	2.69	0.41	1.50	0.90	1.60	3.01	1.82	2.28	3.92	0.79	0.94	0.35	0.15	0.18	0.18	0.84	1.02	0.87	0.14	
Co	20.33	26.80	24.37	1.53	23.00	23.60	22.20	0.56	0.52	0.75	27.22	24.23	22.53	2.32	28.43	13.46	17.02	0.40	0.84	0.99	19.98	
Ba	998.5	656.0	878.0	532.3	713.0	621.0	1041.0	73.7	41.9	33.4	942.2	917.9	880.7	718.4	337.5	497.2	672.2	56.7	98.6	67.0	665.7	
La	59.97	19.87	86.80	32.66	62.26	28.35	56.83	51.16	43.47	40.61	62.15	60.69	63.77	35.36	14.93	16.95	23.64	22.86	25.87	19.15	21.26	
Ce	133.39	43.56	195.67	59.18	125.60	62.41	121.70	116.86	101.47	98.58	128.94	124.88	131.50	71.99	29.67	37.06	51.87	55.47	62.70	47.17	45.55	
Pr	16.68	5.97	23.49	7.42	14.35	7.49	14.17	13.95	11.80	10.86	14.92	14.59	15.36	8.49	4.05	4.70	6.45	5.09	5.69	4.12	5.79	
Nd	69.09	25.52	95.81	26.11	56.34	30.94	53.40	47.43	41.65	38.51	58.14	56.42	58.72	31.81	15.63	18.67	24.09	14.72	18.30	12.33	23.59	
Sm	12.38	5.13	16.24	4.86	9.11	5.62	8.66	10.41	9.54	8.38	9.98	9.83	10.23	6.19	3.71	3.86	4.97	2.83	3.42	2.65	4.92	
Eu	3.08	1.44	3.78	0.48	2.22	1.61	2.06	0.25	0.21	0.19	2.26	2.38	2.42	0.74	1.13	1.13	1.22	0.12	0.27	0.24	1.47	
Gd	10.31	4.34	12.10	3.93	6.60	4.39	6.29	9.00	8.26	6.89	7.38	7.26	7.13	5.39	2.80	3.17	3.51	2.62	3.01	2.33	4.29	
Tb	1.25	0.57	1.36	0.60	0.78	0.59	0.72	1.35	1.26	1.08	0.79	0.82	0.85	0.81	0.39	0.39	0.47	0.48	0.51	0.43	0.57	
Dy	6.57	3.51	6.53	3.61	4.14	3.05	4.03	8.57	7.46	6.21	4.16	4.29	4.13	4.71	2.06	2.16	2.53	2.81	3.10	3.26	3.40	
Ho	1.10	0.66	1.01	0.72	0.76	0.58	0.74	1.60	1.46	1.18	0.66	0.69	0.71	0.89	0.38	0.37	0.46	0.52	0.66	0.71	0.64	
Er	3.01	1.80	2.55	2.47	1.75	1.44	1.59	4.91	4.23	3.65	1.85	1.88	1.93	2.67	1.16	1.11	1.43	1.94	2.09	1.95	1.85	
Tm	0.42	0.25	0.34	0.29	0.25	0.20	0.23	0.64	0.53	0.47	0.24	0.24	0.20	0.34	0.18	0.16	0.22	0.32	0.33	0.39	0.20	
Yb	2.46	1.63	1.86	1.91	1.46	1.20	1.34	4.56	4.24	3.39	1.24	1.32	1.34	2.13	0.86	0.82	1.06	2.18	2.28	2.45	1.31	
Lu	0.33	0.25	0.26	0.36	0.23	0.22	0.23	0.65	0.55	0.41	0.20	0.24	0.19	0.37	0.14	0.13	0.17	0.29	0.26	0.35	0.25	

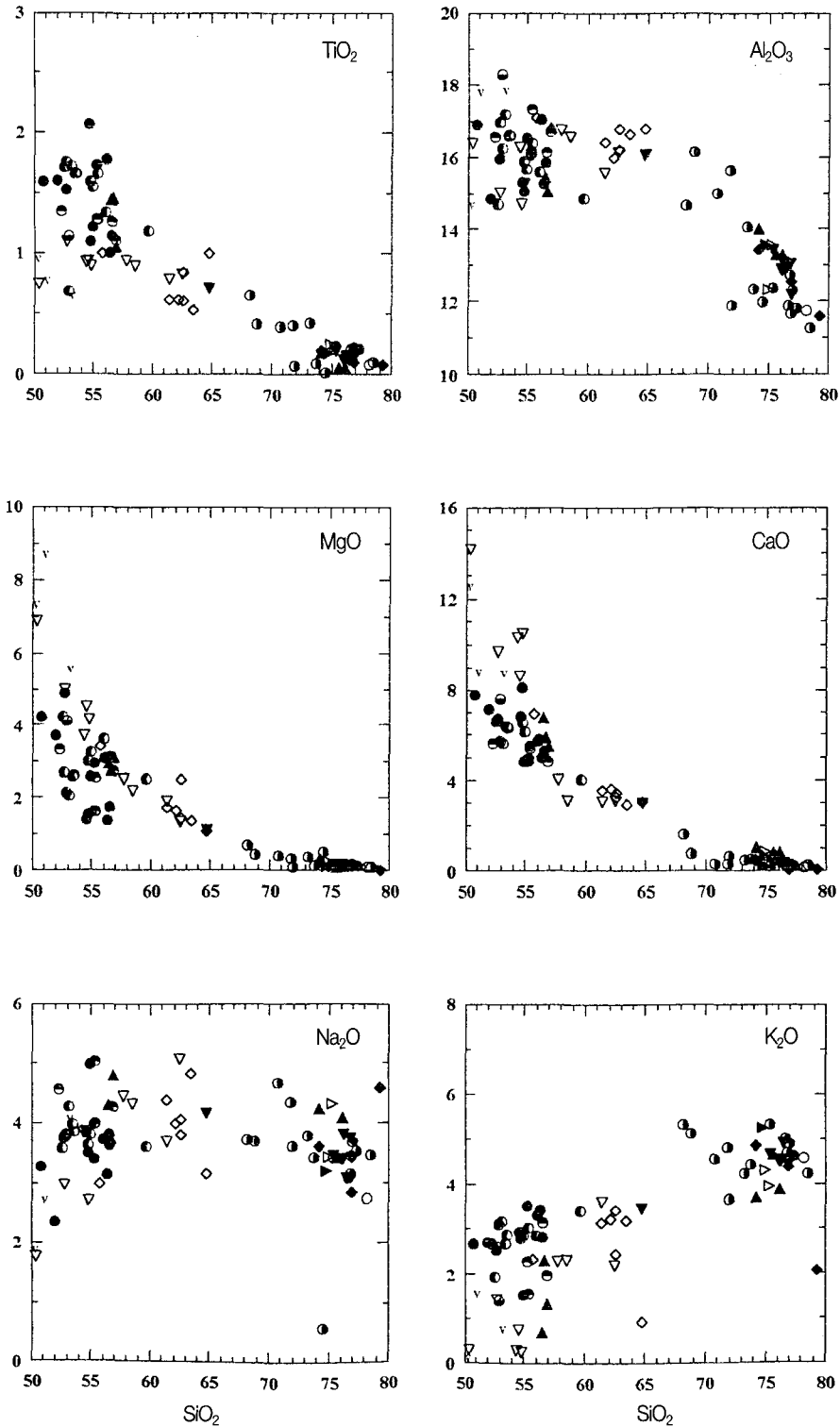


Fig. 5. Harker variation diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China. Symbols are the same as those in Fig. 2.

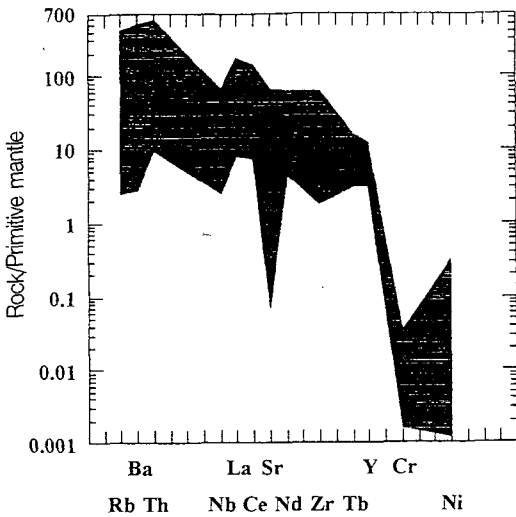


Fig. 6. Spider diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China.

높다(林 强 등, 1996).

화산암류의 지체구조적 위치

Pearce 등(1984)은 화강암류로부터 미량원소 조성 함량을 이용하여 생성될 당시의 암석구조적 위치를 판단해 주는 가장 효과적인 원소는 Rb, Y, Nb 등이라고 하였으며, 이들로부터 판별도를 고안해 내었다. Nb에 대한 Y+Nb의 판별도에서 본 역의 화산암류 중 유문암질암류는 대부분이 화산호의 영역에 도시된다. 그리고, 화산암류의 구조적 위치를 잘 표시할 수 있는 Wood(1980)에 의한 Hf-Th-Nb 성분도에서도 본 역의 화산암류들은 지판이 침강 섭입하는 판경계부(destructive plate margin)에서 생성된 마그마로부터 유래하는 구조적 위치에 도시된다(Fig. 8).

또한, La에 대한 Nb의 성분도(Fig. 9)에서도, Nb의 함량이 증가할수록 La의 함량도 증가하는 정의 상관관계를 보이며, 대부분이 조산대화산암류의 영역에 도시된다.

일반적으로 Rb/Zr비와 Nb는 성숙한 도호(arc)로 갈수록 증가하는 데(Brown *et al.*, 1984), 원시적 도호 및 대륙호, 일반적인 대륙호와 성숙된 대륙호의 순으로 그 값이 증가한다. 이 판별도(Fig. 10)에서 대홍안령지역의 화산암류를 도시하여 보면, 다소 분산되나 대부분이 일반적인 대륙호의 영역에 도시됨을 볼 수 있다.

성인 고찰

대홍안령 지역의 현무암류는 고도의 친석원소의 부화, 희토류원소의 강렬한 분별을 나타내며, LREE와 Rb, K, Ba, Th 등의 강한 불호정성원소 농도가 중국 동북 지구 신생대 알칼리현무암과 대양도 알칼리현무암보다 높다(林 强 등, 1996). 현무암류는 비교적 낮은 Sr초생비($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045 \sim 0.7050$, 미발표자료)와 친석원소의 고도의 부화는 대홍안령 중생대 현무암류가 부화형 맨틀(enriched mantle)에서 기원하였음을 시사하며, 동시에 희토류원소가 고도로 분별되고, 또 비교적 낮은 Nd초생비($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.51110$, 미발표자료)를 나타낸다. 이런 낮은 Nd초생비와 낮은 Sr초생비의 특징으로부터 부화형 맨틀 기원지는 현무암질 마그마가 생성되기 직전에 형성되었다고 볼 수 있다. 다시 말하면, 아주대륙 하부의 부화형 열맨틀플룸이 화산활동 직전에 형성되었다.

이상을 종합하면, 대홍안령지역의 중생대 화산활동의 특징은 아래와 같다.

첫째, 화산암의 시공분포는 환대상(環帶狀)이며 향상 구조계를 한다. 둘째, 알칼리계열 현무암의 LREE와 불호정성원소의 농도는 대양도알칼리현무암류보다 높다. 셋째, 대홍안령화산암대의 후기 쥬라기-초기 백악기의 맨틀 플룸 기원지는 상대적으로 부화된 형이었음을 암시한다. 넷째, 현무암류는 보편적으로 HFS원소인 Nb, Ta가 결핍되어 있다. Nb과 Ta이 맨틀 150~300km 심도에서 불호정성을 나타내지만 그 심도보다 얕은 곳에서는 호정성 성질을 나타내는 지구화학적 특징(Ringwood, 1990)에 근거하면, 기원지에서의 용융이 발생하는 심도는 150km보다 작고, 또 시간에 따라 그 용융심도가 점차적으로 높아졌을 가능성이 있다.

이미 잘 알려진 바와 같이, 아시아대륙은 시베리아판, 화북(華北)판, 타림판, 양자관과 그들 사이의 여러 개의 소판(micro-plate)들이 고생대말기와 중생대초기에 합쳐져서 만들어진 것이다. 이것으로부터 말하자면, 아시아대륙은 지구상에서 가장 젊은 대륙이다. 고(古)아시아 지역에서의 시베리아판, 화북판 및 동북지체군(terrane)은 고생대에 대양암석권의 침강 섭입과 대륙판들의 충돌 병합과정을 지나, 고생대말-중생대초에 이르러 하나의 통일적인 동아시아대륙을 이루었다. 이러한 과정에서 화북판의 북쪽 연변을 따라 합쳐지기 시

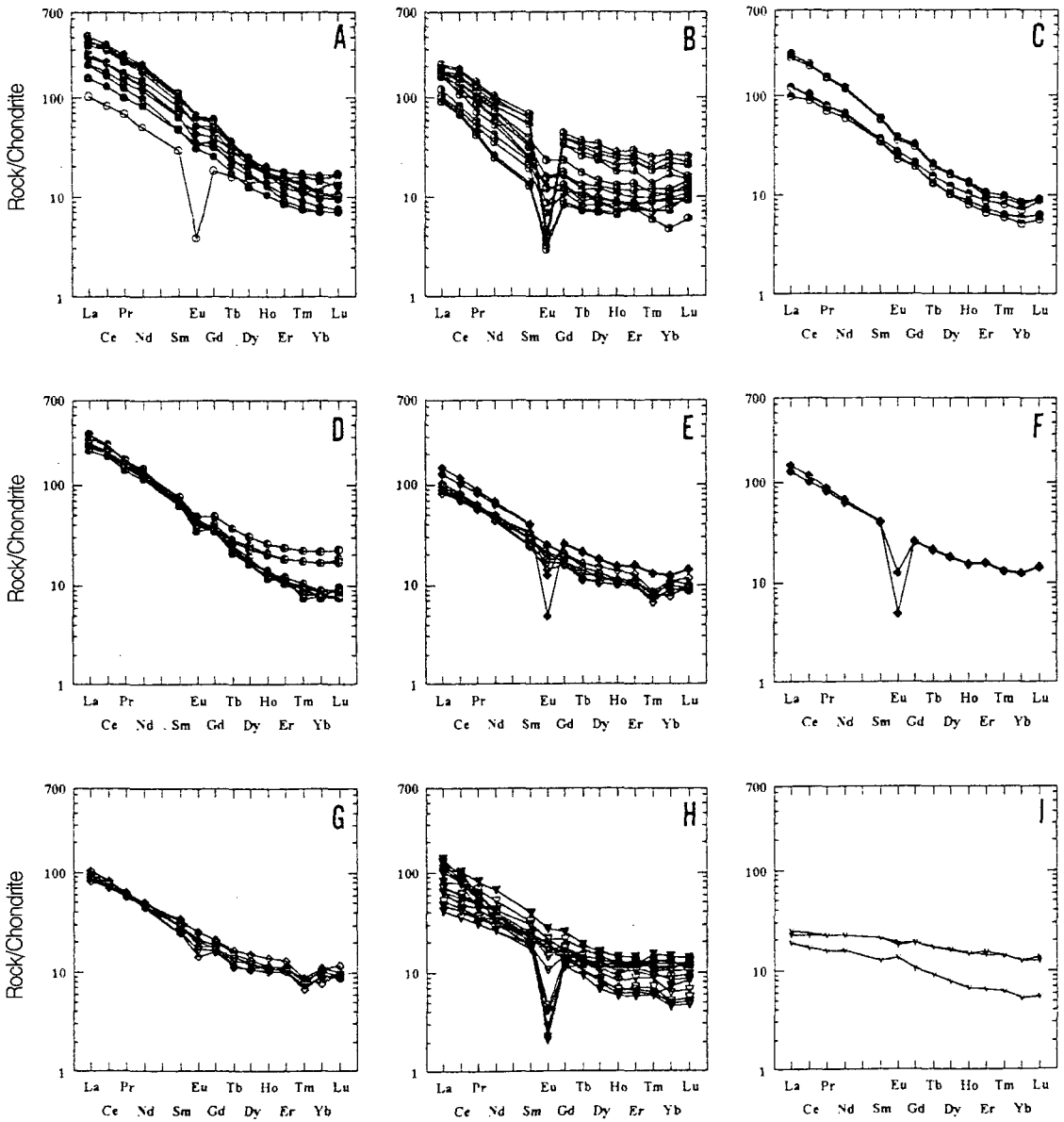


Fig. 7. Chondrite normalized REE diagram for the volcanic rocks from the Da Hinggan Ling area, NE China. A, Tamulangou volcanics; B, Jiziangfeng volcanics; C, Qiyimuchang volcanics; D, Shangkuli volcanics; E, Yilikede volcanics; F, Manketouebo volcanics; G, Manitu volcanics; H, Baiyingaolao volcanics; I, Meiletu volcanics.

작하였으며, 화북판과 몽고습곡대는 후기 페름기에 합쳐져서 하나가 되었다(Pruner, 1987). 또, 동북지체군이 합쳐진 시기는 석탄기-페름기이다. 몽고-오호츠크습곡대 초기-중기 쥬라기의 마지막 해퇴(趙越 등, 1994), 페름기-백악기초의 구조변형과 마그마 활동 및 중국-몽고 변경지역의 거대한 트러스트 구조(鄭亞東 등, 1990)

등으로부터 후기 쥬라기~초기 백악기에는 화북판과 고유라시아판이 최종적으로 합쳐진 단계임을 시사한다(馬醒華과 楊振宇, 1993). 판의 고지자극 중합(重疊)의 시대가 지질증거로부터 나타나는 판간의 병합시기보다 약간 젊게 나오는 것을 고려하면, 동북아시아대륙은 실제로 후기 페름기-초기 트라이아스기에 형성되었다. 만

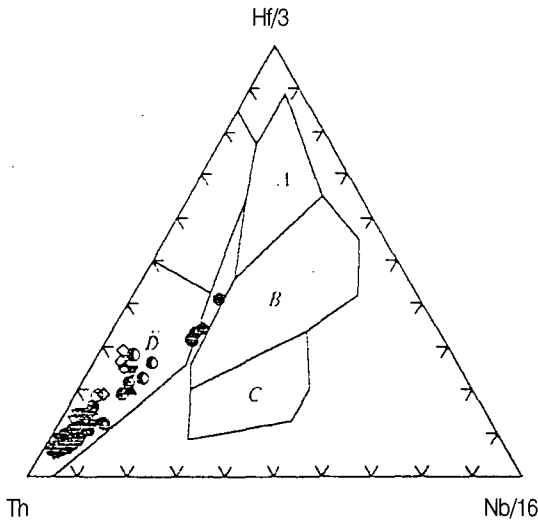


Fig. 8. Hf-Th-Nb diagram, A, N-MORB; B, P-MORB; C, within plate basalt; D, destructive plate margin and its differentiate. Symbols are the same as those in Fig. 2.

일 몽고에서 중국 동북지역까지 후기 고생대-트라이아스기 알칼리화강암대의 출현 (Hong *et al.*, 1995)을 고려하면 이 시간은 더욱 일찍다는 것을 나타낸다.

대륙판이 서로 합쳐지는 과정 중에 대륙판들 사이의 대양암석권은 필연 침강섭입작용을 거쳐 맨틀 심부로 돌아갔을 것이며, 맨틀물질 대순환의 동력학 과정에 들어간다. 지진과 토모그래피(tomography) (Maruyama,

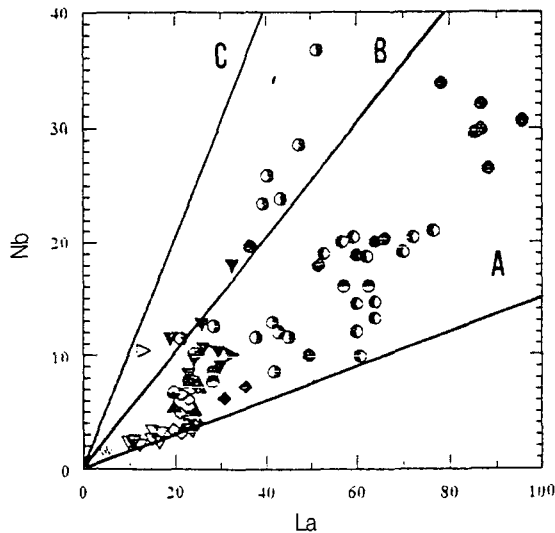


Fig. 9. Nb-La diagram, A: orogenic andesites, B: N-MORB, C: E-MORB. Symbols are the same as those in Fig. 2.

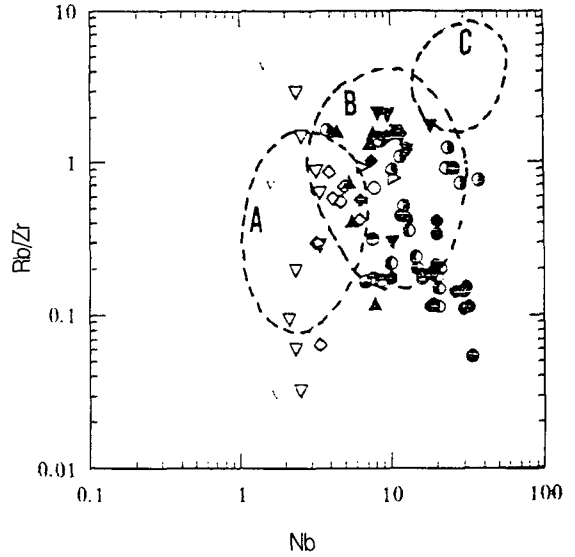


Fig. 10. Rb/Zr-Nb diagram, A, primitive island arc and continental arc; B, normal continental arc; C, mature continental arc. Symbols are the same as those in Fig. 2.

1994)에 근거하면, 아시아대륙 밑의 600~1,700km와 2,600~2,900km의 2개의 심도에 P와 고속이상대(高速異常帶)가 존재하는데, 전자는 670km 불연속면을 가로 걸치고, 후자는 맨틀과 외핵의 경계면 상에 위치한다. 해양저 지자기띠의 연령 분포에 근거하여 계산해 보면, 지나간 180Ma 동안 대륙판의 침강섭입 위치와 양은 환태평양지역과 테티스지역에 한정되며, 이것은 바로 지진과 토모그래피에서 볼 수 있는 심부맨틀 P와 고속 이상대의 위치와 일치한다(丸山茂徳 등, 1993). 이것으로 맨틀 P와 고속이상대는 침강섭입하여 아래로 내려간 대양암석권 판의 잔류물을 대표한다고 생각한다. 그런데, 아시아대륙 심부의 외핵 윗면의 고속이상대의 분포는 간단히 지난 180Ma 동안 태평양판의 침강섭입으로 해석하기에는 불가능하다. 이 하부 맨틀과 외핵과의 경계면상의 큰 P와 고속이상대는 마땅히 고아시아 지역의 많은 고대륙지판이 충돌 병합하여 통일된 아시아 대륙을 형성하는 과정 중에 하부맨틀로 떨어져 들어간 결과라고 해야 한다. 후기 페름기에서 초기 트라이아스기는 북반구의 대륙판이 서로 새롭게 합쳐져서 유라시아대륙을 형성한 전환점이며, 이 시기에 고아시아 지역의 해양암석권이 가라앉아 맨틀심부에 침몰하였다.

아시아대륙 하부 외핵 윗면 길이 4,000km, 두께 1,000km의 P와 고속이상대(Maruyama, 1994)는 고아시아

아 지역의 폐합(閉合) 과정 중에 하부 맨틀로 내려간 대양판의 잔류체이다. 고아시아 지역 대양지판의 침강 섭입은 약 450Ma에 시작하였으며, 판의 맨틀 중의 침강속도가 일정하다고 가정하면, 대략 250Ma(후기 페름기)에 고아시아 지역 대양판이 1,300km 심도에 침입하였을 가능성이 있다. 그런데, 670km 불연속면에서의 상변이(相變遷) 밀도효과로 침강판은 불연속면 위에 쌓여서 수평방향으로 신장된다. 정제된 지판이 모여 비교적 큰 체적의 거석(megaliths)을 형성할 때, 중력함몰로 계속 맨틀심부로 떨어져 들어간다. 하나의 매우 큰 대륙 형성과정 중에 이렇게 모인 판이 하부 맨틀을 향하여 떨어지는 것(열맨틀플룸)은 필연적으로 맨틀 열조직의 교란을 일으키고(丸山茂徳 등, 1993; Maruyama, 1994), 평형을 유지하기 위하여 물질이 하부 맨틀로부터 상부로 상승한다(열맨틀플룸). 이것은 모여진 지판의 중력붕락과 열맨틀 플룸의 활동이 한쌍으로 일어난다는 것을 말한다. 이런 류의 열 교란은 주요하게 2개의 열경계층, 즉 670km 불연속면과 맨틀과 외핵 경계면에서 발생한다. 250Ma에 아시아대륙이 통일되어 형성될 때, 아시아대륙 하부의 670km 불연속면 상에 모여서 형성된 거석은 중력붕락 발생 중이었으며, 아울러 열 교란을 일으켜 위로 솟아오르는 열맨틀플룸을 형성하였다.

670km 심도에 정제하여 형성된 대양판과 맨틀암석은 하나의 계열의 지구화학적 과정을 발생한다. 우선 현무암질 해양지각암석은 석류석으로 주로 구성되는 에크로자이트로 변화하고, 그 밀도는 하부 맨틀감람암보다 약간 낮으므로, 지속적으로 맨틀암석과 반응한다. 거석의 중력붕락으로 생긴 하부 맨틀의 위로 솟아오르는 물질(열맨틀플룸)은 상당량의 열량과 휘발성 성분이 많은 유체를 위로 이동시켜, 그 위를 덮고 있는 현무암질 해양지각의 부분용융을 발생시킨다. 이런 용융 물질은 REE와 불호정성원소가 고도로 부화되어 있고, 또 에크로자이트와 마그마 체계 중에서 LREE는 HREE에 비하여 더 높은 불호정성을 나타내기 때문에, LREE가 부화되고, 동시에 Rb, Ba, K, Sr, Th, U, Zr, Hf 등 불호정성원소가 강렬하게 부화된다(Roden and Murthy, 1987; Ringwood, 1990). LREE와 불호정성미량원소가 부화된 용융체가 그 위를 덮고 있는 상대적으로 결핍된 상부 맨틀감람암에 주입되어, 부화된 용융체와 결손 맨틀암석은 교대반응을 일으켜 불호정성원소가 부화된

부화형 맨틀 기원지를 만든다. 이런 부화형 맨틀암석은 하부맨틀에서 솟아오르는 다이아피어(diapir) 형태로 상승하여 동북아시아의 중생대 화산암의 맨틀기원지-부화형 열맨틀플룸을 만들었다. 동북아시아대륙내 환상화산암대의 지구화학적 특징을 보면, 위에서 말한 부화형 맨틀기원지의 형성과정이 불균질하며, 그 부화 정도는 초기에서 후기로 갈수록 점진적으로 강해지는 것을 알 수 있다.

요약하면, 현재 대홍안령 지역의 지체구조적 위치는 아시아대륙 내부에 위치하나, 화산암류가 형성될 당시(후기 쥐라기-초기 백악기)에는 동아시아대륙을 형성하기 위하여 대륙들이 모이면서 그들 사이의 대양판들이 섭입하는 대륙호의 환경이었거나, 또는 후기 쥐라기 이전에 이미 침강섭입된 판으로부터 지구화학적으로 혼연된 맨틀 플룸의 영향을 받았음을 추측할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 한·중 국제공동연구(과제명: 한반도와 중국 대홍안령 산맥에서의 중생대 화성활동의 연구, 과제번호: 9504049) 연구비와 부산대학교 기성회재원연구비의 지원으로 이루어졌으며, 본 논문을 읽고 발전적인 토의를 해 주신 한국자원연구소 진명식 박사와 유익한 조언과 수정을 해 주신 경북대학교 이윤종 교수, 경상대학교 좌용주 교수 그리고 한국 해양연구소의 이종의 박사에게 감사드립니다.

참고문헌

- 郭洪中, 張招崇, 1992, 遼寧西部中生代火山岩的基本特徵. 岩石鑛物學雜誌, 11(3), 193-204.
- 林强, 葛文春, 孫德有, 吳福元, 元鍾寬, 尹成孝, 李文遠, 1996, 東北地區中生代火山岩的大地構造意義, 中國國家自然科學基金報告書, 1-10.
- 馬醒華, 楊振宇, 1993, 中國三大地塊的衝突併合與古歐亞大陸的重建. 地球物理學報, 36(4), 476-488.
- 鄭亞東, 王世致, 王玉芳, 1990, 中蒙連界區新發現的特大型推覆構造及伸展變質核雜岩. 中國科學 B, 12, 1299-1305.
- 趙越, 楊振宇, 馬醒華, 1994, 東亞大地構造發展的重要轉折, 地質科學, 29(2), 105-119.
- Brown, G.C., Thorpe, R.S. and Webb, P.C., 1984, The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. J. Geol. Soc.

- London, 141, 413-426.
- Hong, D., Huang, H. and Xiao, Y., 1995, Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance. *Acta Geologica Sinica*, 8(1), 27-39.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- Maruyama, S., 1994, Plume tectonics. *J. Geol. Japan*, 100(1), 24-49.
- Mukul, S., Asish, R.B. and Nesterenko, G.V., 1991, Nd-Sm isotopes, petrochemistry and origin of the Siberian flood basalts, USSR. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1183-1192.
- Nakamura, N., 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 757-775.
- Renne, P.R. and Basu, A.R., 1991, Rapid eruption of the Siberian traps flood basalts at the Permo-Triassic boundary. *Science*, 253(12), 176-179.
- Ringwood, A.E., 1990, Slab-mantle interaction 2: Petrogenesis of intraplate magma and structure of the upper mantle. *Chem. Geol.*, 82, 187-20.
- Roden, M.F. and Murthy, V.R., 1987, 地 交代作用, 地質地球化學, 5, 27-37.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretations of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 956-983.
- Pruner, P., 1987, Paleomagnetism and paleogeography of Mongolia in the Cretaceous, Permian and Carboniferous: -preliminary data. *Tectonophysics*, 139, 155-167.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes in magmatism in the ocean basins. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 42, 313-345.
- Wood, D.A., 1980, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, 11-30.
- 丸山茂徳, 深尾良夫, 大林政行, 1993, Plume構造, 科學, 5, 27-37.