

국립공원 무등산의 지질 형성사와 자연경관

안건상^{1,*} · 허민² · 손정모¹

¹조선대학교 지구과학교육과

²전남대학교 지구환경과학부

요약

본 연구는 무등산국립공원 및 그 주변의 지질과 자연경관이 형성되는 과정을 밝히는데 목적이 있다. 무등산 지역은 선캄브리아기 편마암에서 고생대의 퇴적암, 중생대의 퇴적암과 화성암, 그리고 신생대 제4기 퇴적물로 구성되어 있다. 영남육괴의 일부인 원생대(약 20억년)의 화강편마암은 연구지역을 에워싸고 분포한다. 고생대에 들어와서 연구지역 서부에 형성된 남북방향의 퇴적분지에 고생대층이 퇴적되었다. 고생대층의 하부는 규암과 석회암으로, 상부지층은 평안누층군으로 구성되어 있다. 이 지층에서의 지질명소는 석회동굴과 화순탄전이다. 중생대 쥐라기(170 Ma)에는 화강암질 마그마가 광범위하게 관입하여 연구지역의 북서부를 차지하였다. 화강암체는 곳에 따라 부분적으로 전단변형을 받았다. 백악기에 영동-광주합몰대를 따라 능주분지가 형성되었는데, 구성암은 퇴적암층(오례리층과 장동층), 화순안산암과 도곡유문암((94-92 Ma), 무등산 석영안산암(87-85 Ma), 그리고 원형 균열대를 따라 관입한 미문상화강암(82 Ma)과 암맥의 순으로 형성되었다. 중생대 백악기 암석에서의 지질명소는 장동층의 공룡발자국화석과 아름다운 화순절벽, 무등산 석영안산암에 발달한 주상절리와 암괴류, 그리고 백악기 화강암에 발달한 나마, 토르, 풍화동굴이 있다. 무등산 주상절리는 11만 년 전에서 5만 년 전에 지표에 노출된 후, 수직절벽에서 떨어지고 부서져 암괴류를 형성하였다. 따라서 무등산 지역은 한반도 서남부 중생대 화성활동사의 모델이며, 좋은 지질학습장이다.

주요어: 무등산, 석영안산암, 주상절리, 암괴류, 나마, 중생대 화성활동사, 지질학습장

Kun-Sang Ahn, Min Huh and Jeong-Mo Son, 2014, Geological history and landscape of Mudeungsan National Park. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 1, p. 91-105

ABSTRACT: This study investigates the geological history and landscape formation of the Mudeungsan National Park and its surrounding areas. The geological characteristics of Mt. Mudeung are composed of Precambrian gneiss, Paleozoic sedimentary rocks, Mesozoic sedimentary and igneous rocks, and Quaternary alluvium. The Proterozoic (about 2,000 Ma) granitic gneisses are part of the Ryongnam massif, and distributed over the study area. Paleozoic sequences have been formed in a N-S-trending basin on the western part of the area. The lower part of the terrain is composed of quartzite and limestone while the upper part belongs to the Pyeongan Supergroup. Geosites of the terrain include limestone cave and Hwasun coal field. The Jurassic granites (170 Ma) are extensively emplaced in the half of the north-western area. The areas of granite intrusion have a few narrow shear deformation zones. During the Cretaceous period, the Neungju Basin, which was formed along the Yongdong-Gwangju cauldron, stratigraphically consists of sedimentary rock (Oryeri Formation and Jangdong Formation), Hwasun andesite and Dogok rhyolite (94-92 Ma), Mudeungsan quartz andesite (87-85 Ma), and ring intrusion of micrographic granite (82 Ma) and dikes. Geosites of the terrain include dinosaur footprints and the beautiful Hwasun cliff of the Jangdong Formation, columnar joint, block stream of the Mudeungsan quartz andesite and gnamma, tor and granite cave formed by weathering. The columnar joints of Mudeungsan have been exposed to the ground surface since 110,000 years to 50,000 years ago. The block streams were formed by separation of blocks from vertical cliff. Therefore, this area exemplifies the Mesozoic igneous activity in the south-western Korean peninsula, and can act as an excellent site of geological education.

Key words: Mudeungsan, quartz andesite, columnar joint, block stream, gnamma, Mesozoic igneous-activity history, geological field courses

(Kun-Sang Ahn and Jeong-Mo Son, Department of Earth Sciences Education, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea; Min Huh, Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea)

* Corresponding author: +82-62-230-7348, E-mail: aksahn@chosun.ac.kr

1. 서 언

무등산은 한반도 남서부의 광주광역시 중심에서 동쪽으로 약 10 km 지점에 위치하고 있으며, 경위도 상으로는 동경 126°56′-127°03′, 북위 35°04′-35°11′에 걸쳐있다. 무등산은 소백산맥에 속하며, 정상(해발고도 1,187 m)에는 천왕봉, 지왕봉, 인왕봉 등이 돌출되어 있으나 전체적으로는 완만한 곡선을 이루고 있다.

무등산은 2012년 12월 27일에 대한민국 스물한 번째 국립공원으로 승격 지정됐다. 무등산국립공원은 광역시 내에 위치한 유일한 국립공원이다. 무등산의 국립공원 지정으로 인해 100명 규모의 관리 인력과 등산로 정비, 탐방안내, 수목 병해충방제 등 현장 투입 인력의 증가로 광주를 포함한 담양, 화순지역에 연인원 1만8천명의 일자리 창출이 기대된다. 또한 무등산 국립공원은 매년 1천만 명 정도까지 탐방객

이 늘어나 음식, 숙박, 교통비 등 연간 2천억 원 규모의 경제적 파급효과도 기대된다. 광주광역시는 2014년부터 2017년까지 총 972억 원을 투입해 자연사박물관 1곳, 무등산 지질공원 방문객센터 4곳, 주차장 16곳, 탐방지원센터 28곳, 야영장 3곳, 오토캠핑장 2곳, 청소년수련시설 3곳, 휴게소 6곳, 자연학습장 3곳 등 총 132개 시설을 확충할 계획이다(Gwangju city, 2013)

무등산과 그 일대는 선캄브리아기 편마암과 고생대 퇴적층, 중생대 쥐라기 화강암, 그리고 백악기의 다양한 화산암과 화강암이 분포한다. 연구지역의 화성암에 대한 연구는 Kim *et al.* (1993, 2002)이 있으며, 백악기 퇴적층과 공룡화석에 관한 다수의 연구도 수행되었다(Huh *et al.*, 2003, 2006). 또한 지형과 경관에 관한 연구도 다양하게 이루어지고 있으며(Ahn, 2010, 2013; Oh, 2012), 2013년에는 국가지질공원 등재를 위한 연구가 이루어졌다(Huh *et al.*,

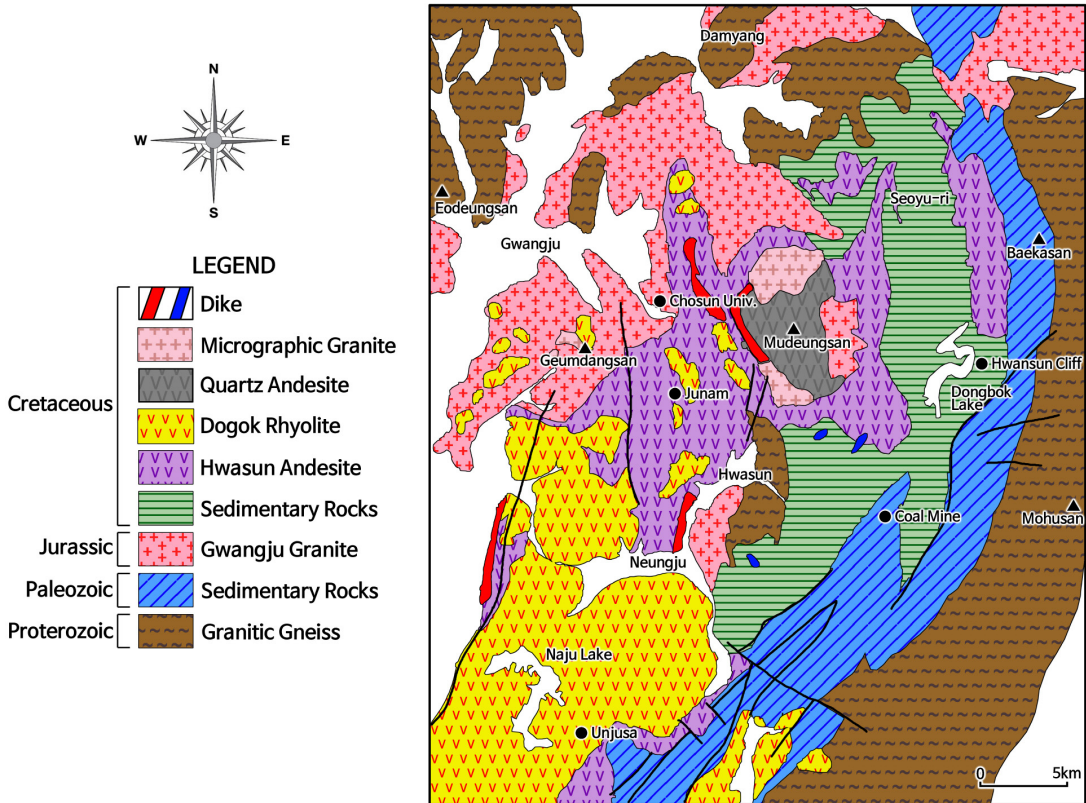


Fig. 1. Geological map of the Mudeungsan National Park and its surrounding areas (modified after Lee *et al.*, 1997 and Choi *et al.*, 2002).

2013). 연구 지역은 한반도 서남부 중생대 화성활동사를 학습할 수 있는 적절한 곳임에도 불구하고, 이에 관한 연구는 미진한 상태이다. 해마다 수가 증가하는 탐방객에게 무등산과 주변암석의 생성과정과 아름다운 지질경관에 대한 이해를 도와줄 지질학적 및 지형학적 연구가 필요하다. 연구의 공간적 범위는 대략적으로 광주호-동북호-나주호-영산강을 외연으로 하는 구역이다.

1.1 일반지질

연구지역은 지질학적으로 옥천습곡대 서남부에 위치한다. 옥천습곡대 서남부에는 호남전단대라는 북동-남서 방향의 뚜렷한 여러 개의 구조선이 발달하며, 이들 구조선을 따라 중생대 백악기 초부터 신생대 제3기초까지 한반도에서는 격렬한 화산활동이 있었다. 한반도 중남부지역에는 대규모의 경상분지 외에도 17개 정도의 백악기 퇴적분지가 분포한다. 경상분지를 제외한 대부분의 퇴적분지는 대규모의 단층 주변에 분포하는데, 특히 옥천습곡대 서남부의 퇴적분지는 북동-남서 방향의 큰 구조선을 따라 소분지가 형성되었다.

능주분지는 광주광역시를 중심으로 직경 약 40 km 크기의 원형 함몰체로, 동쪽에는 안산암과 유문암으로 구성된 무등산 화산암체가, 남부-남서부에는 유문암류로 구성되어 있는 능주화산암체가 분포한다. 이 두 화산암체의 분출물은 화순지역에서 서로 교호하는 산상을 보여준다. 그리고 무등산에는 환상의 암맥군이 특징적으로 관입하고 있다(Cha and Yun, 1988).

연구지역은 선캄브리아기의 화강편마암을 기저로 이를 부정합으로 덮는 평안누층군과 이를 관입하는 중생대 쥐라기 화강암 그리고 상기의 모든 암층을 관입 또는 부정합으로 덮는 백악기 화성쇄설암-퇴적암-화강암류로 이루어져 있다(Kim *et al.*, 2002). 중생대 백악기의 퇴적암류는 주로 화산성 퇴적물로 이루어진 퇴적암류(오례리층, 장동층), 화산암류(화순안산암, 도곡유문암, 무등산 석영안산암)와 관입암류(미문상화강암, 중성-산성 맥암)으로 구성되어 있다. 신생대 4기의 충적층은 무등산 골짜기와 산록 지역에 분포하며 분급이 나쁜 모래와 자갈 등으로 구성되어 있다. 그림 1은 1:25만 광주도폭(Lee *et al.*, 1997)과 목포-여수도폭(Choi *et al.*, 2002)을 기초로 수정한 것이다.

2. 시대별 지질과 경관

시대별로 대표적인 암상을 설명하고, 이 지역에서 지오사이트로 가능한 노두를 제시한다.

2.1 선캄브리아기 편마암류

이 지역 최 하부 지층인 화강암질편마암은 광주광역시를 에워싸고 분포한다. 함몰체의 동쪽-남쪽으로는 화순군 모후산에서 화순 남면, 한천면, 이양면의 주암호 주변에 이르기까지 넓게 분포한다. 북쪽으로는 광산구 어등산에서 북동방향으로 운남동, 수완지구, 첨단지구를 거쳐 장성군 진원면으로, 광주시 북구의 양산동-본촌동-우치동에서 담양군 봉산면으로 연장 분포하는데, 광주IC부근 문흥동 나들목에서 신선한 노두가 관찰된다. 화강편마암은 담회색을 띠는 저반형 조립 내지 중립질 화강암질암으로 부분적으로 연장성이 불량한 엽리를 보여준다. 무등산과 가까운 편마암은 화순읍 만연사 인근에 소규모로 분포한다. 본암의 신선한 노두는 어등산 지역으로서 최근 개발된 골프장 내에 있어 관찰학습이 용이하다(그림 2). 화강편마암의 원암이 형성된 시기는 원생대(1923±13 Ma ~ 2120±10 Ma; Turek and Kim, 1995)이다.

2.2 고생대 지층

고생대 퇴적암류는 주로 연구지역의 서부에서 남부로 호를 이루며 남북방향으로 길게 발달한다. 이 지역의 층서는 하위로부터 용암산층, 설옥리층, 오음리층, 화순층, 한천층, 천운산층으로 구성되는데,



Fig. 2. Outcrop of the Precambrian granitic gneiss at Eodeungsan, Gwangju city.

이들은 백악기의 구봉산층에 의해 부정합으로 피복되었고, 백악기 말 화강암류가 관입하고 있다(Kim and Lee, 1962).

규암으로 구성된 용암산층의 지질시대는 화석 등이 산출되지 않아 정확히 알 수 없으나, 전반적인 지질분포 및 주위 암석과의 상관관계로 미루어 보아 캄브로-오도비스기에 대비된다. 설옥리층은 대부분 탄산염암으로 구성되어 있고 간혹 천매암질암이 협재하고 있다. 설옥리층에 발달한 백아산의 석회동굴(그림 3)은 지하수의 용해에 의해 형성되었으며, 전라남도 지역에서 유일한 석회암 동굴이다. 동굴의 길이는 80 m, 면적은 6,753 m²이며, 내부에는 종유석, 석주, 약 5 m 높이의 폭포가 발달하고 있다. 이 동굴은 국내에 위치한 고생대 석회동굴 중 가장 최남단에 위치하는 석회동굴이다(Huh et al., 2013).

고생대 후기에는 북동-서남 방향으로 긴 퇴적분

지가 형성되어 평안누층군이 퇴적되었다. 고생대 석탄기에는 탄질 셰일을 포함하는 오산리층이 퇴적되었으며, 페름기 후기에서 트라이아스기에 걸쳐 탄층을 포함하는 천운산층(그림 4)이 퇴적되었다(Seo and Paik, 1984).

2.3 중생대 쥐라기 화강암류

중생대에 들어와 한반도에 대보조산운동과 함께 남서-북동방향으로 대규모의 화강암질 마그마가 관입하였다. 이 시기(170±2.3 Ma; Huh et al., 2013)에 무등산 지역에서는 광주화강암이라 불리는 다양한 화강암들이 관입하여, 무등산을 비롯한 광주광역시 의 기반을 이루었다. 광주화강암은 각섬석흑운모-화강섬록암, 반상화강암, 흑운모화강암, 복운모화강암으로 구분된다(Kim et al., 1993). 이들은 균질한 중립내지 조립의 화강암질암이며, 주 구성광물은 석



Fig. 3. Limestone cave at the Backasan, Hwasungun.



Fig. 4. Hwasun coal field at Dongbokmyeon, Hwasungun.



Fig. 5. Outcrop of the Gwangju granite at Chosun university, Gwangju city.



Fig. 6. A core stone of the Gwangju granite at Iseomyeon, Hwasungun.

영, 사장석, 미사장석, 흑운모와 각섬석이고, 부 구성 광물은 저어콘, 인회석, 스펀과 불투명광물이다. 각섬석-흑운모화강섬록암과 흑운모화강암은 광주시 서구 풍암동에서는 회색의 괴상암체로서 관찰되나, 화방산 부근에서는 전단작용을 받아 무수한 소규모의 단층과 뚜렷한 엽리가 발달한다. 본암의 암상은 조선대학교 본관 뒤편에 노출된 200 m에 절벽에서 관찰할 수 있다(그림 5). 화강섬록암은 화순군 이서면 영평리(OK목장 내)에서는 특이한 모양의 핵석으로 관찰된다(그림 6).

2.4 중생대 백악기 퇴적층

우리나라 백악기에는 거대한 육성퇴적분지에 경상분지가 형성되어 경상누층군이 퇴적되었다. 이시기에 옥천습곡대에서는 북동-남서 방향의 광주-영동함몰대 내에 여러 개의 소규모 분지들이 형성되었다. 무등산지역은 육성퇴적분지인 능주분지에 해당한다.

능주분지 중앙부에는 호수가 발달하였고, 주변부에는 층적평원이 전개되었다. 분지 내에서는 층상범람에 의해 활발한 퇴적작용이 일어났으며, 분지가 장자리에서는 활발한 화산활동의 결과로 응회암이 퇴적되었다. 이 지역 백악기 퇴적층은 크게 하부의 오례리층과 상부의 응회암층(만월산층, 장동응회암, 적벽응회암)으로 나눌 수 있다(Kim and Park, 1966; Son and Kim, 1966).

오례리층의 하부는 역암, 사암, 셰일 등으로 구성되며, 상부는 응회암으로 구성된다. 대표적인 응회암층인 장동응회암은 횡적 및 종적으로 암상의 변화

가 나타나는데, 분지의 남서쪽으로 갈수록 응회암층이 발달되고, 북동쪽으로 갈수록 흑색셰일, 회색셰일, 세립질 사암 등이 우세하게 나타난다. 이는 당시 화산 분출 활동의 위치가 남서쪽에 위치하였음을 의미하는 것으로 여겨진다(Kim and Park, 1966).

또한 퇴적당시 호수주변의 분지는 건조 내지 아건조한 기후조건에서 공룡 및 익룡과 동물의 서식처로서의 역할을 하였다. 장동층에서는 약 60개 이상의 공룡 보행열을 포함한 1500여개의 잘 보존된 공룡 발자국 화석이 보고되었는데(그림 7), 그 중 대부분이 육식공룡(수각류)의 발자국이다(Huh *et al.*, 2003, 2006; Hwang *et al.*, 2006). 최근 익룡 발자국 화석이 보존된 전석 2개가 발견되었다(Kim *et al.*, 2012).

전남 화순군 이서면에서는 응회암층(적벽응회암과 장동응회암)으로 이루어진 아름다운 화순적벽을 볼 수 있다. 화순적벽(그림 8)은 동북담 상류의 장항리에 있는 이서적벽과 보산리에 있는 보산적벽, 창랑리 물염마을에 있는 물염적벽 등이 유명하다.

2.5 중생대 백악기 화산안산암

중생대 백악기 중엽에 무등산을 중심으로 북동-남서 방향으로 광범위한 안산암질 화산활동이 시작되었다. 화산활동 초기에는 마그마를 공중으로 폭발시키거나 화산쇄설류를 만들어 주로 안산암질 화산력 응회암을 형성시켰고, 후기에 접어들면서 안산암질 용암이 집중적으로 분출되었다(94.3±1.3 Ma; Kim, personal communication). 이들은 현재 무등산의 몸체를 이루고 있다.



Fig. 7. A dinosaur footprint of the Jangdong formation at Hwasungun.



Fig. 8. A rhyolite cliff at Hwasungun (photo by Gong, W.G.).

초기에 형성된 화산력응회암은 광주광역시 지원 동에서 화순읍 북서부에 걸쳐 광범위하게 분포한다. 광주와 화순의 경계부인 주남마을 입구에서 관찰되는 화산력응회암은 녹회색 또는 자갈색을 띠는 5-10 mm 내외의 담녹색 암편과 부석 등을 함유하는 화산력응회암이다(그림 9).

안산암질 용암은 여러 차례 분출한 용암층으로 신선한 부분은 암녹색에서 암회색 또는 보라색에서 붉은 갈색을 나타낸다. 안산암질용암은 광주광역시 남구와 동구를 지나는 제2순환로 절개지에서 쉽게 관찰된다. 또한 중심사 주변의 계곡이나 운림동 동산마을 하상, 소태IC에서 주남마을 사이의 도로변에도 신선한 암석이 노출되어 있다. 안산암질 용암에는 방해석 암맥과 함께 다양한 크기와 형태의 행인이 관찰된다.

타원형과 찌그러진 형태의 백색 행인은 옥수, 녹색의 행인은 대부분 녹염석으로 이루어져 있다(그림 10).

2.6 중생대 백악기 유문암

무등산의 남서쪽에는 수직절벽으로 둘러싸인 돛상의 지형이 형성되어 있으며, 유사한 지형은 서구의 금당산에서도 관찰된다. 이들은 백악기(92.7±0.9 Ma; Kim, personal communication)에 화성쇄설물이 공중으로 폭발하여 쌓인 이후 용암이 흘러나와 형성된 산성 화성암체이다. 이 유문암은 무등산 남서부인 능주지역에 광범위하게 분포한다.

무등산에 분포하는 도곡유문암은 담홍색을 띠며 대부분 유상구조가 발달된 유문암으로 특징적으로

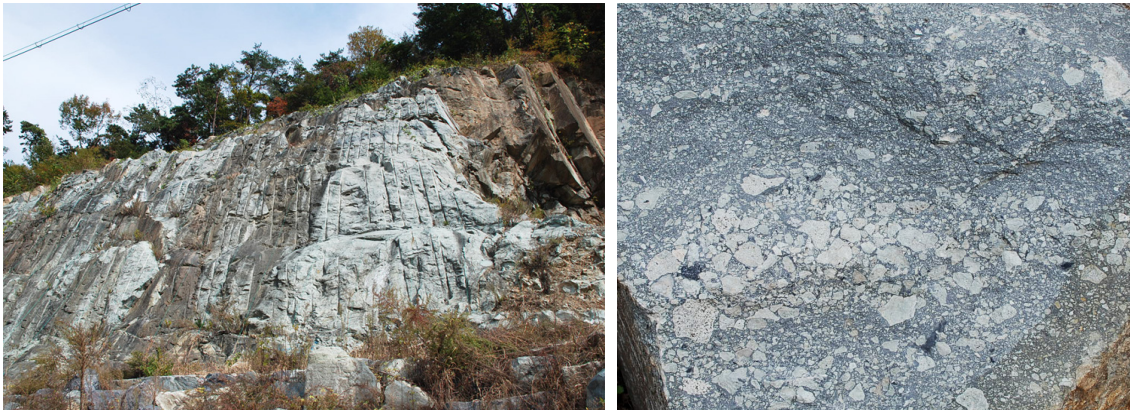


Fig. 9. Outcrop of andesitic lapilli tuff and weak lamination of lapilli at Junam village, Jiwondong, Gwangju city.



Fig. 10. Outcrop and amygdaloidal structure of Hwasun andesite at the Jeungsimsa valley.

관찰되는 곳은 새인봉과 마집봉이다. 유상구조는 대개 2-5 mm 두께의 홍색대와 담색대가 교호하는데, 구분이 희미한 곳에서는 규장암처럼 관찰된다.

유문암은 연속적인 수직 절벽을 이루며 측면에는 수직절리가 잘 발달하여 있고 정상부로는 수평절리가 발달하여 있다. 새인봉은 돛상의 화산체가 도장모양이라 하여 붙여진 이름이다(그림 11). 새인봉과 계곡을 사이에 두고 마주보는 마집봉에는 절리를 따라 풍화되어 형성된 천연동굴(높이 약 3 m, 폭 약 8 m; 그림 12)과 판상으로 떨어진 암편으로 쌓아 만든 여러 개의 인공적인 석탑이 세워져 있다.

2.7 중생대 백악기 무등산 석영안산암

무등산의 정상부인 천왕봉을 포함하여, 서석대, 입석대, 북봉(누애봉), 북산(신선대), 중봉, 규봉암(광석대) 등 주상절리를 이루는 암석은 풍화에 강한 석영안산암이다. 이 암석의 신선한 면에서는 짙은 색 바탕에 백색 광물이 촘촘히 들어 있어 전체적으로는 회색을 나타내는데, 풍화된 면은 회백색, 녹회색 또는 거의 백색을 나타기도 한다. 이 암석의 결정 입자는 사장석, 알칼리장석, 석영, 단사휘석 등이며, 암편은 주로 유문암과 같은 화산암편이다. 이 암석의 이름은 석영안산암과 데사이트가 혼용되어 사용



Fig. 11. Vertical joint of the Dogok rhyolite at the Seoinbong.



Fig. 12. A rhyolite cave near the majibong.

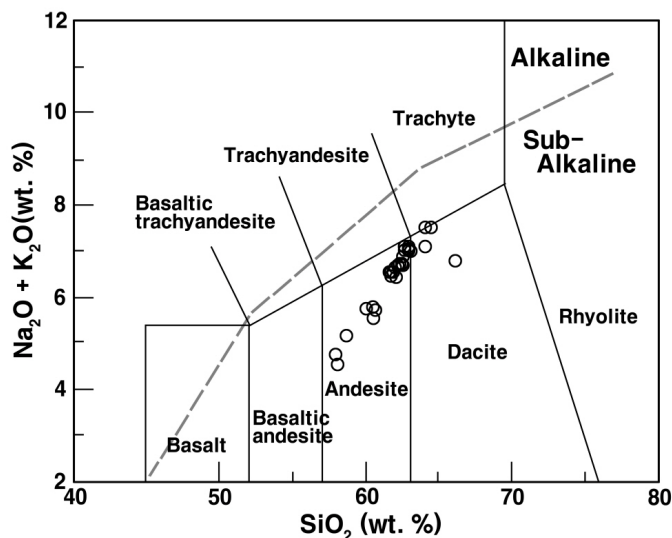


Fig. 13. The chemical classification of Mudeungsan quartz andesite using the total alkalis versus silica (Le Maitre *et al.*, 1989).

되고 있으나, 화학성분에 의한 분류에 의하면 대부분 안산암 영역에 속하므로(그림 13) 석영을 포함하는 안산암이라는 의미로 “석영안산암”이라는 용어로 통일할 것을 제안한다.

최근까지 이 암체는 용암류에 의해 형성된 것으로 해석해 왔다(Kim and Park, 1966; Kim *et al.*,

2002; Ahn, 2010). 그러나 Kim *et al.* (2002)은 유리 질바탕에 미약한 용결구조를 보이는 부분을 발견하여 일부는 용결응회암일 가능성을 제시한 바 있다. 무등산의 다양한 고도에 분포하는 본암에서 화산력(lapilli) 크기의 암편과 부석편이 관찰되었다(그림 14, 15). 또한 입석대와 같은 정상부에서도 수평방향

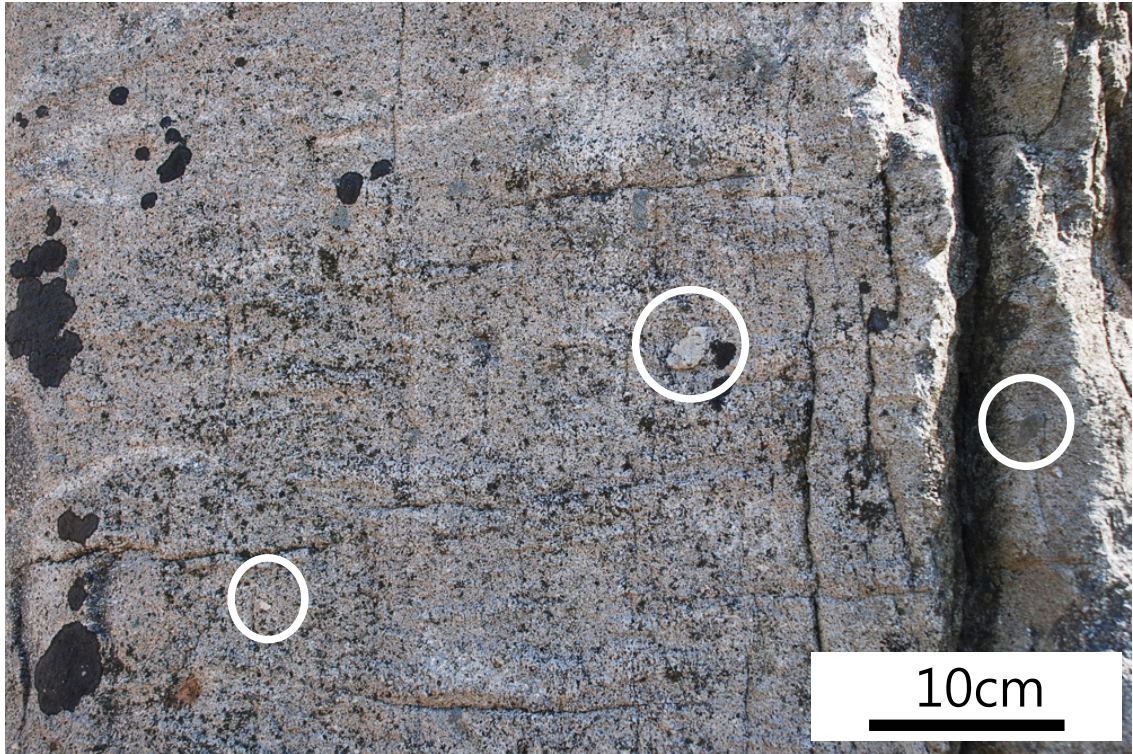


Fig. 14. Lapilli on lamination and vertical joint of the Mudeungsan quartz andesite at the Jangbulje.

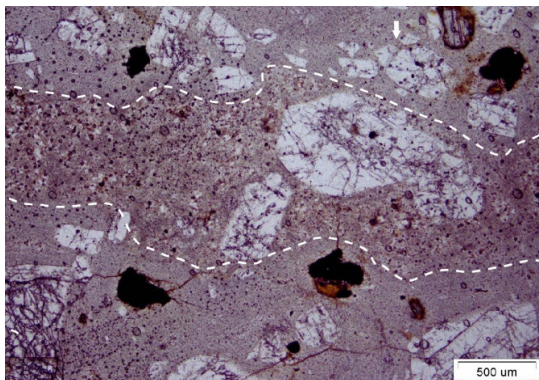


Fig. 15. Fiamme in lamination of the Mudeungsan quartz andesite.

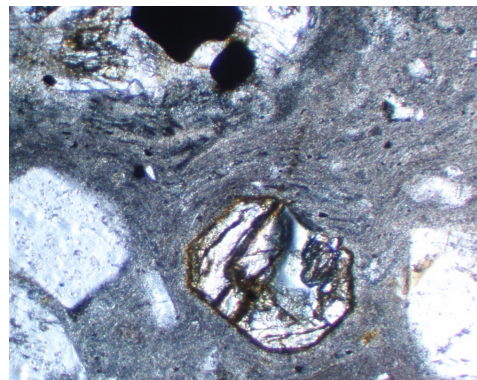


Fig. 16. Flow structure of lamination.

으로 반복되는 엽리와 신장된 피아메가 관찰되며, 사장석 반정들이 파편화되어 있으며, 용결구조도 관찰된다(그림 16). 따라서 무등산의 주상절리를 이루는 암석을 용결응회암으로 해석할 수 있다.

Huh *et al.* (2013)에 의하면, 무등산 주상절리대를 형성시킨 마그마의 분출 시기는 크게 네 그룹으로 나눌 수 있다. 가장 먼저 분출한 첫째 그룹은 촛대봉(D)과 백마능선(F)으로 87 Ma 이전에 분출하였다. 둘째 그룹인 동화사 터 및 신선대(E)는 87-85 Ma에, 셋째 그룹은 광석대 및 방송탑(C)과 입석대 및 서석대(B)로 85 Ma에 분출하였다. 마지막으로 무등산 정상부인 천왕봉과 지왕봉(A)은 85 Ma 이후에 분출하였다(그림 17).

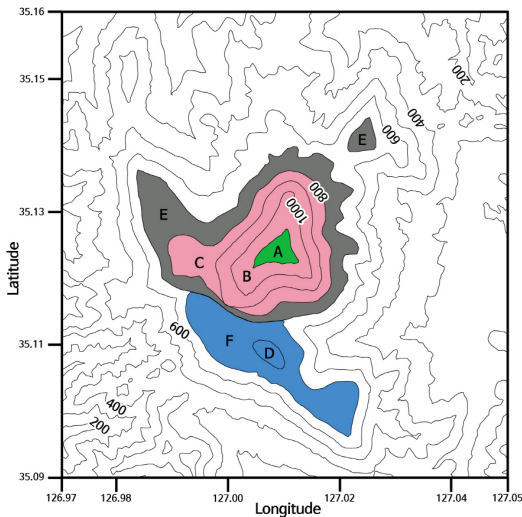


Fig. 17. Distribution of eruption age on the Mudeungsan quartz andesite (D & F: before 87 Ma, E : 87-85 Ma, C와 B: 85 Ma, A: after 85 Ma).

2.8 중생대 백악기 미문상화강암

급격한 대규모의 분출로 인해 타원형의 함몰이 일어났다. 마그마첼버에 남아있던 마그마는 함몰체를 따라 형성된 환상의 열극대를 따라 관입하여 (82.7±1.4 Ma; Huh *et al.*, 2013) 여러 곳에 암주상의 미문상화강암을 형성하였다. 무등산 가까운 열극에 관입한 것이 무등산 북사면의 원효사, 윤필봉과 의상봉, 남사면의 수만리이고, 바깥쪽 열극대를 따라 관입하여 형성된 미문상화강암체가 무등산 서부 지역인 금당산과 화방산이다(그림 18).

불국사화강암이라 불리는 미문상화강암은 암주상으로 산출되며 홍색 내지 담홍색을 보인다. 노두에서 5 mm 내외의 불규칙한 모양의 구멍인 정둥구조가 관찰되는데, 이는 천소관입의 특징이다.

일반적으로 나마는 산의 높은 정상부에서 발달하여 접근이 용이하지 않으나 의상봉의 나마는 누구나 손쉽게 관찰할 수 있으며, 형태도 매우 다양하여 지질학적 흥미를 유발시킨다. 의상대의 미문상화강암체 정상부에는

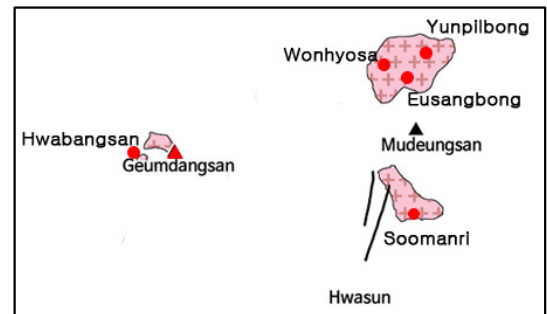


Fig. 18. Outcrops of micrographic granite in the study area.



Fig. 19. Gnamma of micrographic granite at the Eusangbong (peak).



Fig. 20. Joint and gnamma of micrographic granite at the Geumdangsan.

접시모양, 하트모양, 발바닥 모양을 가진 나마(풍화혈)이 발달하는데, 최대직경이 176 cm에 이른다(그림 19). 또한 금당산에서는 화강암의 수축절리 부분에서 원형과 타원형의 나마가 형성되고 있다(그림 20). 투구봉에는 수직의 세로 절리를 따라 타포니가 발달되어 있다. 의상봉과 투구봉에서는 크기가 다양한 토르가 발달한다(그림 21). 윤필봉(해발 400 m)에는 높이 3.7 m, 폭 13 m, 길이 21.4 m 규모의 석굴이 발달하는데, 이는 국내에서 매우 희귀한 형태의 화강암 동굴이다(그림 22).

2.9 신생대 제4기, 주상절리의 노출과 암괴류 형성

Oh (2012)는 무등산의 암설지형에서 6개의 시료

에 대해 ^{36}Cl 분석법으로 암석의 노출연대를 측정하였다. 입석대는 약 11만 5천년(간빙기) 전에, 기존의 주상절리가 지표면의 풍화와 침식으로 인하여 현재와 같이 노출되었다. 5만 년 전(아빙하기)의 한랭한 시기에 주상절리의 암석이 떨어져 나와 암설포행 또는 쇄설류와 같은 사면이동을 통해 암괴류가 형성되었다. 마지막 빙기 이후에 입석대를 이루고 있던 가장 바깥쪽 기둥들이 사면의 불안정으로 인해 쓰러져 쌓였다. 즉, 주상절리 암석은 11만년 무렵에 지표에 노출되었고, 5만년 전의 한랭한 기후에서 주상절리가 무너져 부서지며 암괴류(너덜)가 형성되었다(그림 23). 암괴류는 지질명소인 덕산너덜과 지공너덜



Fig. 21. A granite tor at the Tugubong (peak).



Fig. 22. A granite cave at the Yunpilbong (peak).



Fig. 23. Colonnades of the Seosukdae and block stream(photo by Jeong, S.J.).

은 물론이고 인계너덜, 수만리너덜을 비롯하여 안양산과 금곡동에도 넓게 분포한다. 무등산의 암규류는 국내에서 면적과 분포 수가 가장 많다.

최근에 북봉(누에봉)에서 꼬막재 방향으로 해발 900-1,000 m 부근의 암규류 지대에서 여러 개의 풍혈이 발견되었다. 제봉 고경명선생의 무등산 산행기인 유서석록(遊瑞石錄-1574년 4월)에는 규봉암 풍혈대(風穴臺)의 기록이 남아 있으나 실물은 발견되지 않았다. 그러나 최근 탐방객들에 의해 천왕봉에서 규봉에 이르는 능선에 수십 개의 풍혈이 보고되었다. 앞으로 학술조사가 진행되면 이 지역에서도 더 많은 풍혈이 발견될 것으로 기대된다(그림 24).

북봉 근처에서 현재까지 발견된 23개(크기 30-50 cm)의 풍혈에 대해 온도와 습도 등을 측정하고 있는데, 이곳에서는 바깥기온이 영하 임에도 불구하고 따뜻한 바람(5-13℃ 정도)과 수증기가 불어나와 양치류와 이끼류가 자라고 있다(그림 25).

3. 무등산 지역의 형성사

이상에서 설명한 무등산 주변의 지질현상을 바탕

으로 그 형성과정을 되짚어 보면 다음과 같다(그림 26). 국립공원 무등산을 중심으로 한 지구 역사는 선캄브리아기에서부터 시작된다. 선캄브리아기 화강편마암은 무등산국립공원을 에워싸며 분포하는데, 형성된 시기는 대략 20억 년 전이다. 이 변성암은 영남육괴의 소백산편마암복합체에 속하는 편마암이다. 고생대에 편마암의 기반암에 북동-서남 방향으로 긴 퇴적분지가 형성되어 하부에 규암층과 석회암층이 퇴적되었고, 이후에 육성분지로 바뀌어 평안누층군에 해당하는 퇴적층이 형성되었다. 평안누층군은 고생대 석탄기, 페름기에서 트라이아스기에 걸쳐(대략 3억년에서 2억년 사이), 역암, 사암과 함께 탄질 셰일을 포함하는 함탄층(오산리층, 천운산층 등)이 퇴적시켰다(그림 26-①).

중생대에 들어와 한반도에서 대규모 지각변동인 대보조산운동이 발생하여 기존의 지층은 녹색편암상의 변성작용과 변형작용을 받고, 편리와 습곡이 형성되었다. 이 지각변동과 함께 한반도에는 남서-북동방향으로 대량의 화강암질 마그마가 관입하였다. 1억7천만 년 전에 광주지역에서도 광주화강암이라 불리는 다양한 화강암들이 관입하였다(그림 26-

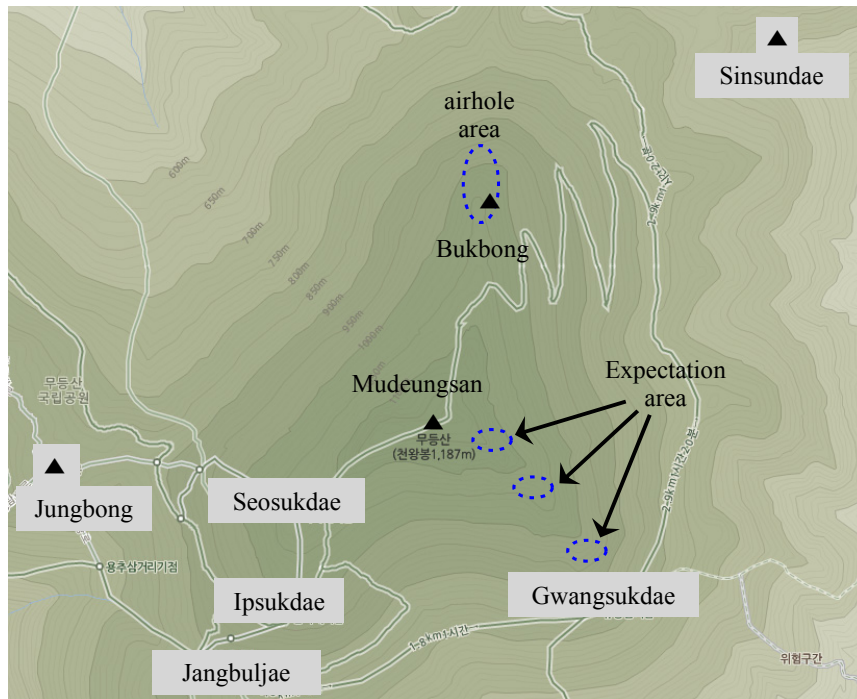


Fig. 24. Warm airhole area in the Mudeungsan National Park.

②). 이 화강암류는 연구지역의 북서부에 광범위하게 노출되어 있다. 중생대의 대보조산운동 이후 백악기 전기까지의 오랜 기간 동안 침식과 삭박이 계속되어 심부의 화강암이 지표에 노출되었다.

우리나라 백악기의 육성퇴적분지인 경상분지가 형성되어 경상누층군이 퇴적되었다. 이시기에 옥천 습곡대에서는 북동-남서 방향의 광주-영동합몰대 내에 여러 개의 소규모 분지들이 형성되었다(그림 26-③). 이 중에서 무등산지역은 능주분지에 해당한다. 중생대 백악기에 오레리층이 퇴적되고 분지 주변부에 활발한 화산활동이 일어나 장동층과 같은 응회암층이 형성되었다. 이들 퇴적층에는 다량의 공룡발자국화석과 익룡 발자국화석이 남아 있다(그림 26-④).

중생대 백악기인 9천4백 만 년 무렵에 무등산을 중심으로 북동-남서 방향으로 광범위한 안산암질 화산활동이 시작되었다. 화산활동 초기에는 마그마가 공중으로 폭발하여 주로 안산암질 화산력응회암을 형성시켰고, 후기에 접어들면서 안산암질 용암이 집중적으로 흘러 나왔다(그림 26-⑤). 이들은 현재 무등산의 몸체를 이루고 있다.

화산분출의 중심지가 남서쪽으로 이동한 9천2백 만 년 전쯤에 유문암질 화산활동이 시작되었다. 이 분출은 화성쇄설물이 공중으로 폭발하여 쌓인 이후

용암이 흘러나와 산성 화성암체를 만들었다. 무등산에서 돛상의 새인봉, 마집봉, 서구의 금당산은 이 과정으로 만들어졌다(그림 26-⑥).

무등산지역에서는 8천7백-8천5백만 년 전 사이에 4회 정도의 중성 마그마를 대량으로 분출하여 석영 안산암을 형성하였다(그림 26-⑥). 오래된 것부터 나열하면 촛대봉과 백마능선, 동화사 터와 신선대, 광석대와 방송탑, 입석대 및 서석대이며, 마지막으로 무등산 정상부인 천왕봉과 지왕봉이 형성되었다.

급격한 대규모의 분출로 인해 타원형의 함몰이 일어났다. 8천2백만년 전에는 마그마첼버에 남아있던 마그마는 함몰체를 따라 형성된 환상의 열극대를 따라 관입하여 여러 곳에 미문상화강암체를 형성하였다(그림 26-⑦). 무등산과 가까운 열극대에 관입한 것이 원효사, 윤필봉, 의상봉, 수만리이고, 바깥쪽 열극대를 따라 관입하여 형성된 미문상화강암체가 서구의 금당산과 화방산이다. 최후의 잔류 마그마는 함몰체 균열을 따라 중성 또는 산성 암맥을 형성하였다.

이후 신생대 제4기까지 삭박과 풍화가 진행되며 무등산 고지에는 주상절리를 가진 무등산석영안산암이 지표에 노출되었다. 주상절리가 지표에 노출된 최소 시기는 약 11만 5천년(입석대) 전이며, 아빙하



Fig. 25. A warm airhole near the Bukbong (peak).

기인 약 5만 년 전에 한랭한 환경 하에서 많은 주상 절리들이 동결파쇄작용으로 파괴되었다. 절벽에서

떨어져 부서진 암석들은 하부로 이동하며 암괴류를 형성하였다. 마지막 빙기 이후부터 지금까지 주상절

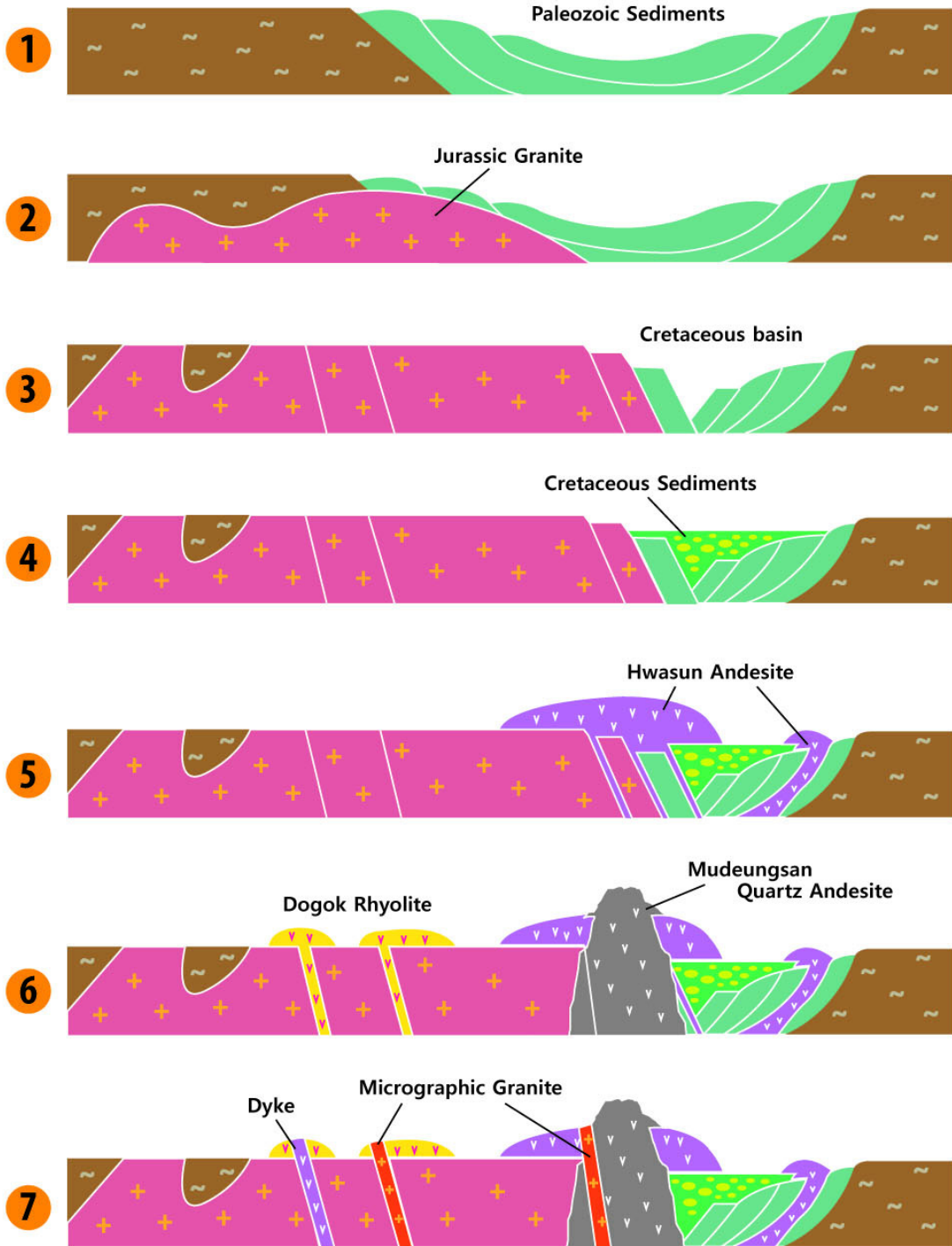


Fig. 26. A model of geological history for Mudeungsan National Park and its surrounding areas.

리의 바깥쪽 기둥들은 사면의 불안정으로 파괴되어 새로운 암괴류를 형성하고 있다.

4. 결론

국립공원 무등산은 중생대 쥐라기부터 백악기에 이르기까지의 지속적인 화성활동을 통해 형성되었다. 이 연구는 탐방객에게 무등산의 지질과 아름다운 지질경관의 형성과정을 알려주기 위한 것이다.

무등산을 둘러싼 가장 오래된 지층은 20억 년 전의 선캄브리아기 화강편마암이다. 무등산 서부 지역에서 고생대 전기의 규암층과 석회암층의 퇴적되고, 이후에 고생대 석탄기에서 페름기를 거쳐 중생대 트라이아스기까지 탄층을 포함하는 지층이 형성되었다.

중생대 쥐라기에는 대보화강암이 관입하여 광주 지역의 기반암을 이루었다. 백악기에 영동-광주함몰대를 따라 이 지역에서는 능주분지가 형성되었다. 능주분지에 퇴적된 백악기 지층에서는 다량의 공룡발자국화석이 발견된다. 9천4백만년 전에 무등산을 중심으로 북동-남서 방향으로 광범위한 안산암질 화산활동이 시작되었다. 초기에는 안산암질 화산력응회암을 형성시켰고, 후기에 접어들면서 안산암질 용암이 집중적으로 분출되었다. 이들이 현재 무등산의 몸체를 이루고 있다. 9천2백만년 전에 유문암질 화산활동으로 돛상의 새인봉, 마집봉, 서구의 금당산이 만들어졌다.

무등산지역에서는 8천7백-8천5백만 년 전 사이에 4회 정도의 석영안산암질 마그마를 대량으로 분출하여 용결응회암층을 형성하였다. 촛대봉과 백마능선이 가장 오래 되었고, 동화사 터와 신선대, 광석대와 방송탑, 입석대 및 서석대이며, 마지막으로 무등산 정상부인 천왕봉과 지왕봉이 형성되었다.

급격한 대규모의 분출로 인해 타원형의 함몰이 일어나고, 8천2백만 년 전에는 열극대를 따라 잔류 마그마가 관입하여 미문상화강암을 형성하였다. 미문상화강암에서는 후에 동굴, 나마, 토르와 같은 아름다운 지질경관이 형성되었다. 따라서 이 지역은 한반도 서남부 중생대 화성활동사의 모델을 보여주는 지질학습장이다.

주상절리가 지표에 노출된 최소 시기는 약 11만 5천년(입석대) 전이며, 약 5만 년 전에는 주상절리가 무너져 다수의 암괴류가 형성되었다. 무등산은 10만

년 이후의 기후변화에 의한 지형의 변화를 관찰할 수 있는 지역이다.

감사의 글

본 논문의 전문적 의견과 자료를 제공해 주신 순천대학교 김정빈 교수, 전남대학교 이창열 교수와 광주광역시청 임충완 박사에게 감사드리고, 또한 자료를 제공해 주신 정선중 연구원, 무등산 국립공원 양현삼 주임과 야외사진을 제공해 주신 공원기 작가께도 감사드립니다. 도면작업과 자료정리를 도와준 전남대학교 공룡연구소 박진영, 최병도, 우연 학생에게도 감사드립니다. 본 연구는 2013년도 조선대학교 교내학술연구비에 의해 수행되었다.

REFERENCES

- Ahn, K.S., 2010, Geology and Landscape of Mt. Mudeung Province Park, Korea. *Journal of the Petrological Society Korea*, 19, 109-121 (in Korean with English abstract).
- Ahn, K.S., 2013, Potential as a Geological Field Course of Mt. Geumdang located in Gwangju, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 34, 235-248 (in Korean with English abstract).
- Cha, M.S. and Yun, S.H., 1988, Cretaceous volcanic cauldrons and ring complexes in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 67-86 (in Korean with English abstract).
- Choi, B.M., Hwang, J.H., Ko, H.J., Lee, B.J., Kim, J.C., Choi, H.I., Kee, W.S., Kim, Y.B., Song, K.Y. and Choi, Y.S., 2002, Geological report of the Mogpo-Yeosu Sheet (1: 250,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource. 45 p (in Korean with English abstract).
- Gwangju city, 2013, Report material for news (April 23, 2013).
- Huh, M., Ahn, K.S., Kim, J.B., Son, Y.K., Kil, Y.W., Lee, C.Y., Kim, H.J., Park, S.P., Oh, J.J., Choi, B.D., Woo, Y. and Park, J.Y., 2013, Geological and geographical heritage of Mudeungsan geopark. Gwangju city, 278 p (in Korean).
- Huh, M., Paik, I.S., Chung, C.H., Hwang, K.G. and Kim, B.S., 2003, Theropod tracks from Seoyuri in Hwasun, Jeollanamdo, Korea: occurrence and paleontological significance. *Journal of the Geological Society of Korea*, 39, 461-478 (in Korean with English abstract).

- Huh, M., Paik, I.S., Lockley, M.G., Hwang, K.G., Kim, B.S. and Kwak, S.K., 2006, Well-preserved theropod tracks from the Upper Cretaceous of Hwasun County, southwestern South Korea, and their paleobiological implications. *Cretaceous Research*, 27, 123-138.
- Hwang, K.G., Huh, M. and Paik, I.S., 2006, A unique trackway of small theropod from Seoyu-ri, Hwasun-gun, Jeollanam province. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 69-78 (in Korean with English abstract).
- Kim, B.G. and Park, B.G., 1966, Geological report of the Dongbok sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 33 p (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y., Lockley, M.G., Kim, K.S., Seo, S.J. and Lim, J.D., 2012, Enigmatic giant pterosaur tracks and associated ichnofauna from the Cretaceous of Korea: Implication for the bipedal locomotion of pterosaurs. *Ichnos*, 19, 50-65.
- Kim, N.J. and Lee, H.Y., 1962, Geology of Hwasoon anthracite coalfield. Geological report on Coal Field of Korea (3), Geological Survey of Korea, 250 p (in Korean).
- Kim, Y.J., Oh, M.S. and Park, J.B., 1993, Petrochemical study on the Gwangju body. *Journal of the Korean Institute Mining Geology*, 26, 83-96 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.J., Park, J.B. and Park, B.K., 2002, Petrochemistry on igneous rocks in the Mt. Mudeung area. *Journal of the Petrological Society Korea*, 11, 214-233 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.J., Kim, J.C., Kim, Y.B., Cho, D.R., Choi, H.I., Cheon, H.Y. and Kim, B.C., 1997, Geological report of the Gwangju Sheet (1:250,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource, 82 p (in Korean with English abstract).
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Woolley, A.R. and Zenettin, B., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Oh, J.J., 2012, Study on the Debris Geomorphology in Mt. Mudeung. Ph.D. thesis, Chonnam National University, Gwangju, 153 p (in Korean with English abstract).
- Seo, H.G. and Paik, S.H., 1984, Researches on coal resources (II), North part of the Iyang area, Honam coal field, 83-coal resources-3-16. Geological Survey of Korea, 205 p (in Korean).
- Son, C.M. and Kim, S.J., 1966, Geological report of the Changpyeong sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 30 p (in Korean with English abstract).
- Turek, A. and Kim, C.B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.

투 고 일 : 2013년 12월 5일

심 사 일 : 2013년 12월 6일

심사완료일 : 2014년 1월 5일