

여수시 백도의 지형형성과정에 대한 고찰

이 정 훈*

Étude du Processus de Morphogenèse de l'Île Rocheuse de Baek dans la Ville de Yeosu en Corée du Sud

Lee, Jeong Hun*

요약: 본 연구는 전남 여수시 백도의 지형형성과정을 분석하는 데 목적이 있다. 백도는 다도해의 형성과정과 해안지형을 이해하는 데 중요한 단서가 되는 섬이다. 백도를 구성하고 있는 암석은 미문상 화강암으로서 약 6천만 년 전에 형성된 것이다. 현재의 백도 지형을 형성케 한 요인은 지구조운동에 의한 북동-남서 방향과 동북동-서남서 방향의 절리선과 지반의 융기 그리고 파랑에 의한 침식작용 때문이다. 또한 백도를 구성하는 미문상 화강암에 대한 지화학적 분석에 의하면 백도는 칼크알칼리 계열(Calc-Alkaline)의 마그마 분화 특징을 보이며, 화산호 화강암(VAG)에 속한다. 즉 대륙주변부의 섭입환경에서 생성된 마그마임을 의미한다. 또한 단층과 해안단구로 보이는 지형이 관찰되나 백도 일원에 신생대 제4기 후빙기 때 해수면 상승보다 더 큰 융기운동이 있었는지에 대해 추후 논의가 필요하다.

주요어: 백도, 미문상 화강암, 지구조운동, 절리선, 화산호 화강암, 해안단구

Résumé: Cette étude a pour objet d'analyser le processus de morphogenèse de l'île rocheuse de Baek. Nous y voyons une clé pour apprendre son relief marin et le processus de morphogenèse des îles méridionales de Corée du Sud. Le granit porphyrique qui compose l'île rocheuse de Baek est une roche magmatique qui s'est formée il y a 60 million d'années. La cause principale de formation de l'île rocheuse de Baek, est une ligne de délit vers le NE-SO et l'ENE-OSO, un soulèvement de la plaque tectonique et une érosion par les vagues. L'île rocheuse de Baek présente un caractère d'éruption de magma de calc-alkalin par analyse géochimique de son granit porphyrique et fait partie du granit de l'arc volcanique. Il s'agit d'un magma qui s'est formé dans la subduction près du continent. Il est aussi nécessaire d'examiner un soulèvement qui est plus élevé qu'un mouvement ascendant de la surface de la mer à l'ère quaternaire environ de l'île rocheuse de Baek malgré que, selon nous, nous y trouvons une faille et une terrasse marine.

Mot-clé: île rocheuse de Baek, granit porphyrique, plaque tectonique, ligne de délit, granit de l'arc volcanique, terrasse marine

1. 서론

1) 연구 목적과 방법

백도는 전남 여수시 삼산면 거문리에 속한 무인도로서 접근이 용이하지 않아서 비교적 본래의 자연경관이 잘 보존된 곳이다. 백도는 단일 암체에 서 다양한 지형경관을 관찰할 수 있어 학술적 측면이나 관광자원으로 소중한 가치가 있는 곳이다. 특히 백도는 여수반도와 제주도의 중간 지점에 위치하여 남해안에 분포하는 다도해의 형성과정과 해안지형을 이해하는 자연학습장이 될 수 있는 중요한 곳이다(여수시·자연보존협의회, 2002). 따라

서 백도의 지형형성과정을 살펴보는 것은 다도해 지역 도서¹⁾들의 형성과정에 대한 이해와 밀접한 관계가 있다. 나아가 백도의 자연경관을 해설하는 기초자료가 될 수 있으며, 특히 백도의 지오투어리즘 정착과 관련하여 많은 도움이 되리라 판단된다. 하지만 백도는 접근성이 불편하여 지리학분야에서 연구 성과가 미약한 편이다. 게다가 백도는 현재 일반 탐방객들에게 백도의 지형형성과정을 지형·지질학적으로 설명할 수 있는 자연체험관이나 교육장이 부족한 형편이다. 특히 백도의 주요 관찰지점에서 지형형성과정이나 주요 동·식물 등 생태관광자원에 대한 해설을 담당할 전문 관광안내인이 전무한 실정이다. 또한 지형분야와 관련한

* 여수여자고등학교 교사, 여수지역사회연구소 연구원(Professeur de géographie au lycée de filles de Yeosu, Chercheur au Centre de recherches sur la communauté de Yeosu)(que-sais-je@hanmail.net)

여 공섬·보물섬·보석섬 등지에서 나타나는 단구상 지형은 그 성인에 대해 향후 논의와 연구가 필요한 부분이며, 미문상화강암의 분화 특성과 침부관 입암의 관계 역시 마찬가지다.

따라서 본 연구는 입도의 어려움과 기상·지형적인 제약성에도 불구하고 백도에 대한 지리학적 연구라는 데 그 의의가 있다. 향후 연구 여건이 개선된다면 백도뿐만 아니라 남해안 여러 도서지역의 지형형성과정에 대한 후속 연구를 통해 위에서 제기한 의문점에 대해 심도 있게 논의해 볼 필요가 있다고 판단되며, 나아가 남해안의 지형형성과정에도 새로운 시사점을 찾을 수 있으리라 사료된다.

본 연구의 목적은 첫째, 다도해해상국립공원에 속하는 여수시 백도의 지형형성과정에 대한 규명을 통해 백도의 지질·지형경관자원을 이해하는 데 도움을 주기 위함이다. 둘째, 도서지역 지오투어리즘의 정착을 위한 백도의 지질·지형적 특색을 밝히는 데 있다.

본 연구의 목적을 수행하기 위해 실내조사로서 지형도(1:50,000), 지질도(1:250,000), 수치지도(1:5,000), 해저지형 음향탐사 자료(2012년) 그리고 항공사진(2010년)을 사용하여 백도의 지형 및 해저지형 조사를 하였다. 백도의 지형형성과정을 당시의 지구조환경과 관련하여 설명하기 위해 암석 시료에 대한 연대측정과 주성분 및 미량성분 분석을 실시하고자 했지만, 현재 백도는 국가명승 제7호로 지정(1979년)되어 입도가 불가능하다. 따라서 암석 시료에 대한 연대측정과 주성분 및 미량성분 분석 자료는 ‘백도자원학술조사 보고서(2002)’의 데이터 값을 인용하였으며, minpet20 프로그램을 사용하여 암석의 기원, 생성 및 분화과정을 해석하였다(그림 14·15·16). 이는 기존의 연구에 제시되지 않은 내용으로 암석의 기원, 생성 및 분화과정을 설명하는 데 도움이 되리라 사료된다.

암석은 광물들의 집합체로서 암석의 화학조성은 화성암을 연구하는 데 매우 중요하다. 암석에 대한 지화학적 분석으로서 주성분 및 미량성분 분석이 있는데, 주성분 분석은 주로 암석의 화학조성에서 실리카변화로써 마그마분화에 미친 영향이나 동원(同源)마그마 여부를 판단하는 데 사용되며, 미량성분 분석은 광물의 분배계수를 통해 암석의 성인 및 마그마 기원을 밝히는 데 주로 이용된다.

따라서 지형형성과정을 설명하려면 미량성분 분석이 필수적이다. 이는 일반적으로 신선한 암편을 채취하여 실험실에서 불순물을 제거한 다음 분쇄하여 유리질과 함께 용융시켜 고화시킨 후 시료분 석기에서 성분을 분석하게 된다.

한편 해저지형 음향탐사 자료 분석을 통해 육지부를 이루고 있는 백도 지형과의 관계 및 해저지형 구조를 밝혔다. 현지조사는 2008년 8월과 2013년 6·9월에 실시하였으며, 선박을 이용하여 백도 일원을 일주하면서 지형조사 내용을 확인하였고, 지형·지질경관에 대한 사진촬영과 세부 관찰을 실시하였다. 또한 입도한 경험이 있는 국립공원사무소 관계자²⁾와 심층면담을 통해 추가 정보를 구하였다.

2) 연구 지역 개관

백도는 행정구역상 전라남도 여수시 삼산면에 속하며 34°01'30"~34°03'50"N, 127°34'50"~127°37'00"E에 위치한다(그림 1). 거문도 동쪽에서 28km 쯤 떨어진 무인도서로 1979년에 명승 제7호로 지정되었다. 백도는 상백도와 하백도로 나뉘나 실제로 39개의 크고 작은 섬으로 구성되어 있으며 총면적은 641,130m²이다. 거문도-백도 일원은 1981년 다도해해상국립공원으로 지정되어 거문도-삼부도-백도로 이어지는 하나의 관광축을 형성하고 있다. 거문도에 사람이 입주한 것은 1967년 서울대학교 고고학팀 조사에 의하면 고려시대 이전으로 추정되며, 거문도는 조선 태조 5년(1396년) 흥양현(興陽縣, 현재의 고흥)에 소속되었

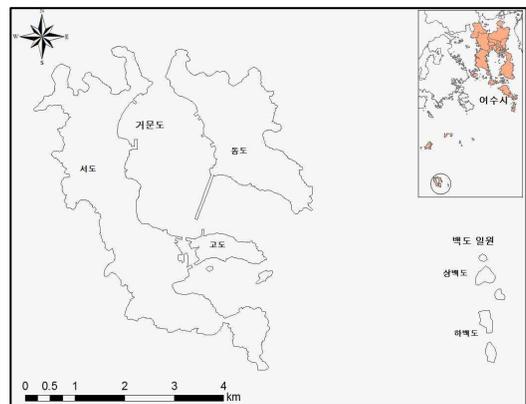


그림 1. 연구지역 개관

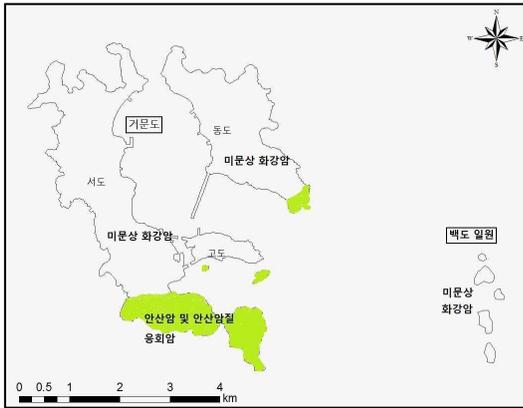


그림 2. 백도 일원의 지질도

다. 그후 19세기 전후 러시아군과 영국군에 의해 일시 불법점거 당하기도 했으며, 고종 33년(1896년)에 돌산군에 속했다가 1914년 조선총독부 통치하에 여수군에 속한 이후로 현재까지 여수시 관할로 남아 있다. 백도의 유래는 온통 하얗게 보인다고 해서 붙여졌다는 설과, 섬의 수가 1백개에서 하나가 모자란 99개이기 때문에 일 백 ‘백(百)’자에서 하나 ‘일(-)’자를 빼 백도(白島)로 했다는 두 가지 설이 있으며, 전해지는 전설로서 옥황상제의 아들이 아버지의 노여움을 받아 이 세상으로 내려온 후 다시 못된 짓을 하자 옥황상제가 아들과 신하들에게 벌을 내려 바위가 되었다는 설화가 있다(디지털여수문화대전).

백도를 구성하는 암석은 주로 미문상 화강암(granophyre)으로 어두운 홍색을 띠거나 옅은 홍백색을 띠고 있는 세립질이면서 비현정질의 암석

으로 약 6천만 년 전에 생성된 것이다(그림 2; 여수시·자연보존협의회, 2002). 부분적으로 갈색 또는 암갈색으로 물들어 있는데, 이는 암석에 함유된 흑운모가 풍화되면서 함유된 광물이 침전되어 이루어진 것이다. 이러한 암석을 중성암맥이 여러 곳에서 관입하고 있다. 미문상 화강암은 판상절리면이 차별침식을 받아 자칫 층리와 유사하게 보인다. 또한 미문상 화강암에는 둥근 모양의 크고 작은 염기성 포획암을 내포하고 있는데, 이 포획암은 풍화에 약해서 둥근 모양으로 구멍이 형성되어 벌집모양의 풍화혈을 이루고 있다.

백도는 수많은 단층과 절리, 암맥 등이 발달하면서 기암괴석이 많은 지형 구조를 이루고 있으며, 해수면 아래로 67여 개의 함몰산봉(陷沒山峯)의 흔적들이 산재하고 있다. 북동-남서 방향과 동북동-서남서 방향의 불연속면(단층 또는 절리)이 잘 발달하였고 이러한 주향(N40W)은 고흥반도 및 여수반도에 따라 줄지어 분포하는 도서들의 방향과 거의 일치하고 있으며, 많은 섬으로 분리시키는 작용을 하고 있다. 백도의 지형형성과정은 지질구조에 의해 크게 영향을 받은 후에, 절리면을 따라 파랑의 침식작용이 가해져 형성되었으며, 그 과정에서 많은 해식애와 해식동을 발달시켰다. 특히 해식애는 평균 수심 17m까지 이어져 있고, 수심 10m 부근에 해저동굴이 형성되어 있다(그림 7; 여수시·자연보존협의회, 2002).

또한 백도 일원에 단구상 지형이 나타나고 있는데, 백도는 지질구조상 미문상 화강암이나 화산암으로 구성되어 있어 해안으로 퇴적물을 공급하는

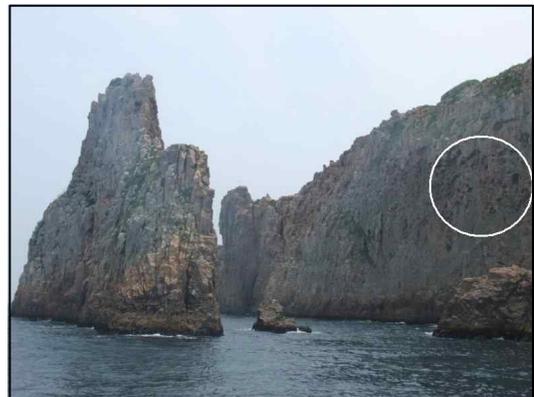
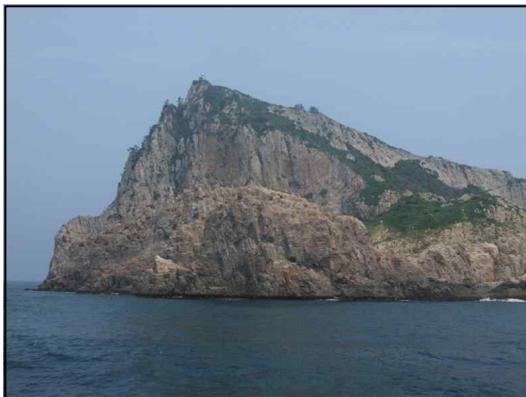


그림 3. 상백도 등대섬의 해식애(좌)와 병풍바위의 풍화혈(우)



출처: <http://cafe.naver.com/khan79/541>, <http://cafe.naver.com/khan79/541>

그림 4. 하백도의 신선바위(좌)와 도끼여(우)

작용이 극히 제한적이어서 단구면은 퇴적기원보다는 침식기원일 가능성이 높다. 이러한 지형은 지각의 융기 내지 해수면 변동과 관련된 것으로 보인데, 아직 해안단구라고 말할 수 있는 확실한 증거는 없다. 상백도 최고봉은 130m 정도로 1938년 만들어진 등대가 있어 주변 항로를 밝히고 있다. 상백도는 해식애와 풍화혈 등 해안침식지형이 발달하였으며(그림 3), 하백도는 신선들이 다녀갔다는 신선바위와 신선하가 하늘에서 내려올 때 도끼를 가지고 왔다는 도끼여 등의 많은 기암들이 장관을 이루고 있다(그림 4; 디지털여수문화대전).

백도를 포함한 여수지방의 기후는 연평균 기온 14℃, 연평균습도 68%, 연평균 강수량 1400mm로서 대체로 온화하며 비가 많은 편이다(기상청). 백도 일원의 바다는 주변에 오염원이 없고 쿠로시오 난류의 영향을 받아 표면 수온이 높고 연안에 암반이 잘 발달되어 있어 해조류가 풍부하다. 따라서 해양생물의 산란, 회유, 서식에 적합한 해양환경을 두루 갖추고 있는 지역이다(여수시·자연보존협의회, 2002).

2. 연구 동향

자연지리학사전(2006)에 의하면 ‘지형프로세스(geomorphic process)’란 지표의 형태를 변화시키는 모든 작용 및 과정을 의미한다. 지형프로세스와 관련하여 영미권의 경우, 지형의 내적 및 외적 작용 모두를 포괄하는 개념으로서 ‘지형생성과정(morpho-genic processes)’이라는 용어와 바람, 물

(토양수, 지표수, 하천, 빙하, 파랑)이 중력과 함께 풍화물을 재배치하면서 지표형상을 변형시키는 개념으로서 ‘지형형성작용(morpho-genesis)’이라는 용어를 구별하여 사용하는데, 오늘날 인류가 거주하는 공간은 지형·토양·암석권 등의 구조적 요인³⁾과 기권·수권 등의 순환적 요인, 생물권의 생물적 요인들의 상호작용으로 이뤄진 것이다. 따라서 본 연구는 백도의 지표뿐만 아니라 그 기저를 이루는 지각·암석권까지 포함하여 백도의 지형형성에 영향을 미친 내·외적작용과 현재 지형의 상관성을 찾아 이를 해석하고자 하기 때문에 ‘지형프로세스’란 의미로서 ‘지형형성과정’이란 용어를 사용하고 자 한다.

우리나라 도서 지역의 지형 분포나 특색을 다룬 연구로는 제주도과 울릉도의 화산지형을 분석한 고의장(1984)을 비롯하여 독도의 지형 자원 분포를 개괄한 전영권(2005)과 돌산도의 해안지형을 분류한 김종우(2004), 강화군에 속한 8개 특정도서의 지형적 특성을 기술한 성운용(2007), 연평도 지형지를 기술한 서종철(2013) 등의 연구가 있으며, 박미영(2011)과 박민영·박경(2012) 및 이정훈(2012b)은 각각 홍도·거제도 및 금오도의 지형 자원을 지오투어리즘으로 활용한 바 있다. 한편 도서지역의 지형형성과정에 대한 연구로서 소연평도의 지질과 지형 특성을 기술한 허철호(2012), 제주도 서귀포에 위치한 하는 화산의 지형·지질학적 특성과 형성과정을 밝히기 위하여 분화구와 주변 지역의 화산암에 대한 야외지질조사와 지화학적 분석을 시도한 윤석훈 등(2006)의 연구를 비롯하

여, 지구조운동과 관련한 논의로서 동해안의 신생대 지구조운동을 규명한 Choi(2001), 남해안 해안지형의 특색과 형성과정 및 거제도 동부해안에서 파악되는 홀로세 고해수준면과 지형발달과정을 고찰한 양재혁(2007; 2011) 그리고 소안도의 해안단구의 형성시기와 특징을 다룬 최성길(2006)의 연구 등이 있다.

또한 여수시 도서지역에 관한 연구로서 돌산도에 분포하는 화강암체의 암석지화학적 특징과 광화작용과의 관련성을 연구한 김희남 등(1994), 여수 금오도 부근의 지형, 지질 및 연안환경을 연구한 유환수 등(1998), 여수시 금오도의 지질환경 및 암석지화학적 분석을 실시한 조규성·서정모(2000), 여수 지역에 분포하는 백악기 화강암류에 대한 지화학적 분석을 시도한 위수민·김은효(2009)의 연구 등이 있다.

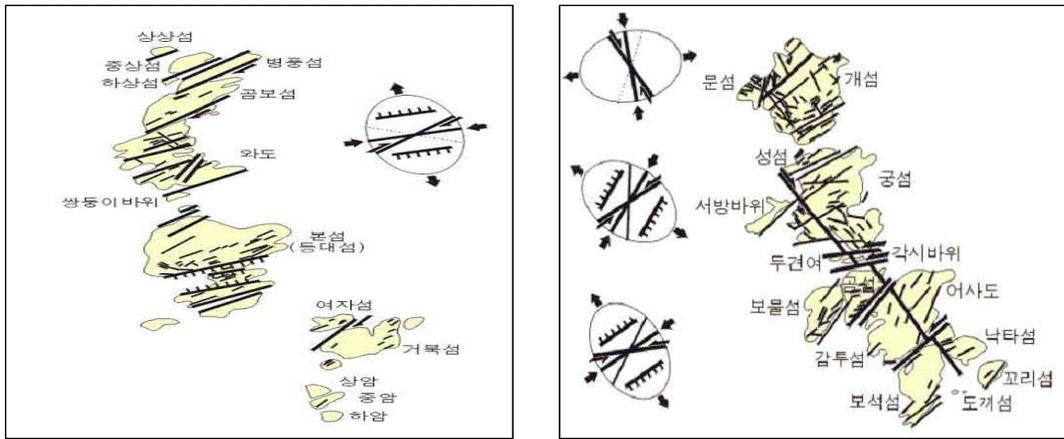
한편 도서지역과 관련하여 우리나라 해역에 관한 연구로서 해저지형의 특색과 해역 퇴적환경을 조사한 국립해양조사원(2012)의 연구결과가 있다. 그 외 국외연구로서 남태평양 누벨칼레도니의 형

성과정을 고찰한 Picard(1999)의 연구가 있는데, 이는 오스트레일리아판과 태평양판 경계의 주변부에 위치한 도서들의 지각운동과 관련된 지형특색을 잘 설명하고 있다.

3. 백도의 자연경관

항공사진이나 현장에서 볼 때, 백도를 이루는 큰 화강암체는 수평절리와 수직절리가 잘 발달되어 있으며, 특히 N45-60E, N35-45W 방향의 절리 및 단층이 잘 발달되어 있다(그림 5, 여수시·자연보존협의회, 2002). 백도가 다양한 크기의 섬으로 형성된 원인은 큰 화강암체에 일차적으로 단층운동을 수반한 지구조운동이 발생했기 때문이고, 이후에 이들 암체의 절리 방향을 따라서 침식과 풍화작용이 가해졌기 때문이라고 사료된다.

백도에 분포하는 등립상 세립질 미문상 화강암의 연대 측정 결과를 보면 K-Ar연대 61.465 ± 1.821 Ma로서(표. 1). 한반도 남부(경상분지, 옥천대와 남해안 일대)에 분포하는 등립상 세립질 미문상 화강



출처: 여수시·자연보존협의회(2002)

그림 5. 백도 일원(상·하백도)의 선구조 발달

표 1. 여수시 백도에 분포하는 미문상 화강암에 대한 K-Ar 절대연령 측정

sample	K (wt.%)	sample (wt.)	³⁶ Ar (10 ⁻¹⁰ ccSTP/g)	⁴⁰ Ar Radiogenic (10 ⁻⁸ ccSTP/g)	Air (%)	uncertainty	Age (Ma)	Uncertainty (Ma)
Baekdo BSP	0.3572	0.02618	133.239	866.951	31.23	2.422	61.465	1.821

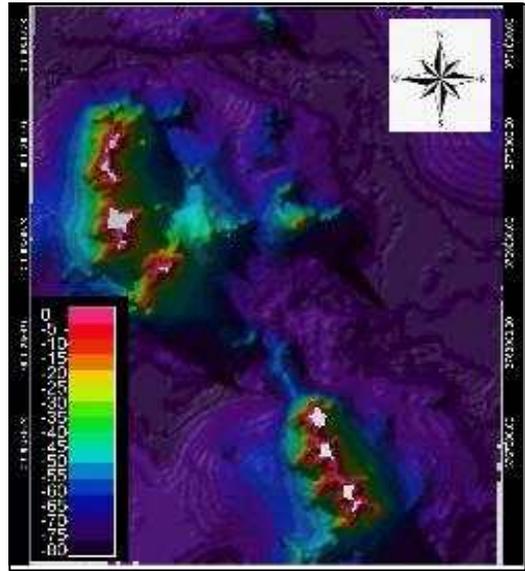
출처: <그림 5>와 같음

여수시 백도의 지형형성과정에 대한 고찰

암과 아주 유사하다(Lee, 1991; 진명식 등, 1994). 백도의 전체 해안은 암석해안으로 수직절리와 수평절리가 발달한 이수해안의 지형 특성을 갖고 있어 기암절벽의 자연경관을 이룬다.

1) 해저지형의 형성

백도의 해저지형을 관찰한 결과 수심 60m 부근에서 상백도와 하백도는 분리된 지형이 아니라 서로 연결된 하나의 지형임을 알 수 있다(그림 6). 이는 초기 백도가 생성되기 시작했을 때 동원 마그마에서 북서-남동 방향으로 분출하였음을 시사한다. 또한 상백도의 곰보섬·와도에서 단층선을 따라 관입한 중성암맥이 관찰되는 것으로 보아 백도는 시차를 두고 발생한 화성활동 결과 형성된 섬임을 알 수 있다. 상백도의 섬들이 호상으로 발달하게 된 것도 상백도 일원의 마그마 관입이 초기에 원형으로 나타나다가 후기에 서쪽으로 치우쳐 주기적인 관입이 지속되었기 때문이라 여겨진다. 따라서 상백도의 전체적인 지형은 서쪽이 고도가 높고 급경사인데 비해 동쪽은 상대적으로 낮고 완경사인 곳이 많다(그림 7, 좌상). 과거 상백도 본섬의 선착장이 동쪽에 있었던 것도 이러한 이유

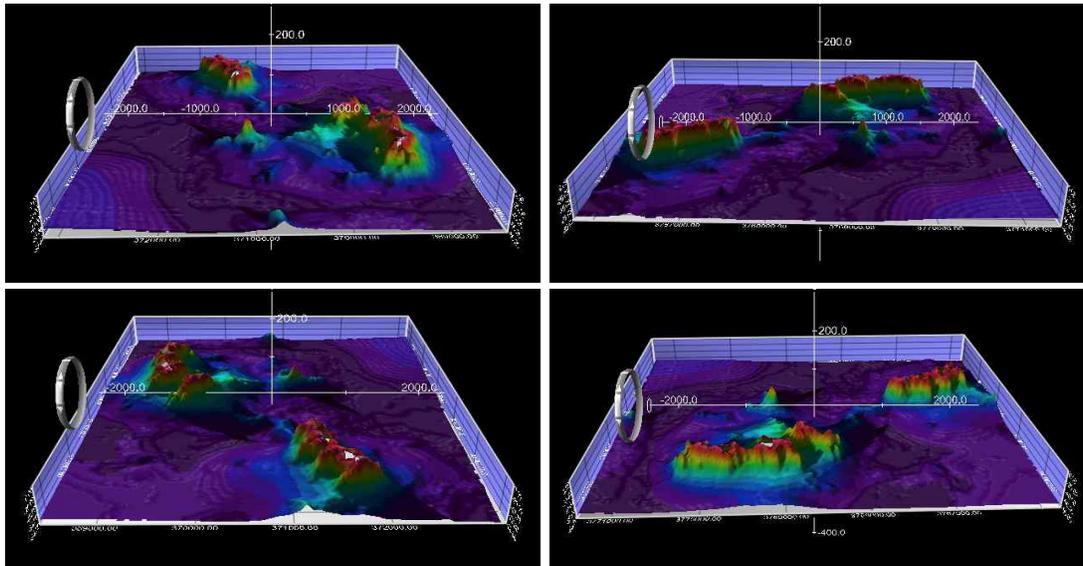


출처: 국립해양조사원(2012) 자료를 재편집함.

그림 6. 백도의 해저지형(평면도)

때문이다.

한편 하백도의 섬들은 북서-남동 방향의 선형 패턴을 보이는데 상백도에 비해 동서 방향 모두 경사가 가파른 게 특징이며 선박의 접안이나 입도에 매우 불리하다. 이러한 백도의 지형은 향후 신



출처: 국립해양조사원(2012) 자료를 iView4D 프로그램에서 재구성함(수심 범례는 그림 6과 같음).
관측방향: 좌상(북→남), 우상(동→서), 좌하(남→북), 우하(서→동)

그림 7. 백도의 해저지형(정면도)

생대 4기 팔레오세(Paleocene) 이후 북동-남서 방향의 압축력과 북서-남동 인장력으로 이루어진 지구조 사건으로 형성되었으며 동해의 열림과 양산 단층의 우수향 운동과 밀접한 관계를 가지고 있다(여수시·자연보존협의회, 2002).

2) 해안지형의 형성

한반도의 남해안은 해안선의 굴곡률이 심하고 다도해가 발달한 리아스식 해안(rias coast)으로서 침수해안의 특징을 보인다. 따라서 백도의 해안지형도 제4기 해수면상승과 깊은 관계가 있는 것으로 보인다. 또한 이 시기에 백도에서 후빙기 해수면 상승운동보다 더 큰 융기운동이 있었던 것으로 여겨지는 이수해안의 특성이 나타나 아직 단정할 수 없다. 상백도의 등대섬, 거북섬과 하백도의

궁섬, 보석섬, 보물섬 등지에서 여러 면의 완사면이 각각 관찰된다. 하백도를 중심으로 고찰하면 먼저 궁섬의 완사면은 해발고도 50m, 70m, 90m 지점에 나타난다(그림 8). 다음으로 보물섬의 완사면은 30m, 50m, 70m 지점에 나타나며(그림 9), 보석섬의 완사면은 10m, 70m, 90m 지점에 나타난다(그림 10). 이를 종합하면 30m, 50m, 70m, 90m 층위를 따라 일정한 높이로 완사면이 발달해 있음을 알 수 있다. 현재 백도의 단구상 지형은 고해식대지로서 남아 있으며 단구 퇴적층은 소안도의 경우(최성길, 2006)처럼 해성퇴적물의 공급원이 제한적이기 때문에 완사면의 퇴적물도 층후가 거의 나타나지 않아 연대측정이 불가능하다⁴⁾. 따라서 해안단구 지형이라고 단정할 수 없지만, 신생대 홀로세 해수면 변화(Bird, 1984)와 플라이스토세 후반 우리나라 동해안과 남해안에서 융기



주: 좌측 사진은 우측 지도의 화살표 방향에서 찍음. 원 표시는 완사면에 해당됨(지도 출처: 국토지리정보원).

그림 8. 하백도 궁섬의 해안지형



그림 9. 하백도 보물섬의 해안지형



그림 10. 하백도 보석섬의 해안지형

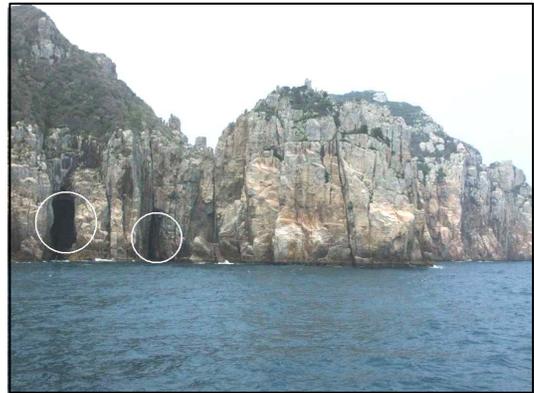


그림 11. 하백도 개섬 일대의 해식동

현상 및 해안단구의 발달과정이 거의 유사했다는 연구 결과(최성길, 2006; 이광률·박충신, 2006; 양재혁, 2011)를 고려할 때 향후 심도 있는 후속 연구가 필요하다.

한편 백도의 신선굴과 같은 해식동은 미문상 화강암체에 발달한 수직절리를 따라 발달했기 때문에 ‘절리굴’이라 하는데, 이는 절리면을 따라 풍화와 해식작용이 지속적으로 진행된 결과이다(그림 11).



그림 12. 미문상 화강암의 판상절리면 (좌: 원경, 우: 근경)

3) 미문상 화강암의 판상절리에 대한 해석

백도를 이루는 세립질 미문상 화강암의 표면에는 기공이 많으며 일견 퇴적암의 구조처럼 보인다. 이는 백악기말~제3기초 지각 내에 미문상 화강암체를 형성한 화강암질 마그마가 상부로 관입할 때, 기존의 암석이 이들 마그마의 진로를 수직으로 막게 되면, 그 부근에서 고화되기 때문이다. 이 마그마는 지하 3km정도⁵⁾의 비교적 낮은 곳에 자리 잡으며, 이 때 마그마저장소 상부의 기반암과 만나는 접촉부에서는 접촉면과 평행한 방향으로 마그마 중심부를 향하여 서서히 냉각되면서 큰 미문상 화강암을 형성(여수시·자연보존협의회, 2002)하게 되는데, 이 화강암체는 위를 덮고 있던 기반

암이 풍화와 삭박으로 제거되면서 하중에 의하여 수직으로 작용하던 중력이 제거됨에 따라(여수시·자연보존협의회, 2002) 미문상 화강암체에 판상절리를 형성하게 된다. 이후 절리면을 따라서 해수에 의한 차별침식작용이 가해지면서 층상구조처럼 보이게 된 것이다(그림 12).

4. 백도 미문상 화강암의 지화학적 분석

미문상화강암은 전체적으로 담홍색을 띠고 중립 내지 세립질암으로서 곳에 따라 장식반정을 갖는 반상석리를 보이기도 한다. 현미경관찰에 의한 모드분석 결과에 의하면 화강암 영역에 속하고, 주 구성광물은 석영, 알칼리장석, 사장석, 각섬석, 흑



출처: <그림 5>와 같음

- 주: 1. 드문드문 갈색의 흑운모와 흑색의 불투명광물(자철석)이 보인다(좌).
- 2. 석영과 알칼리장석이 서로 교대되어 미문상 조직을 잘 보여준다(우).

그림 13. 미문상 화강암의 박편사진(좌: 개방니콜, 우: 폐쇄니콜)

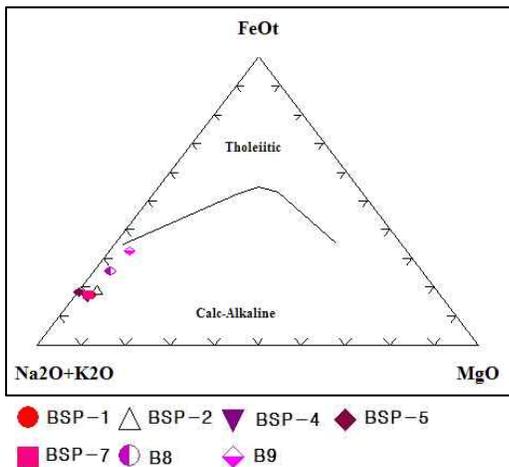
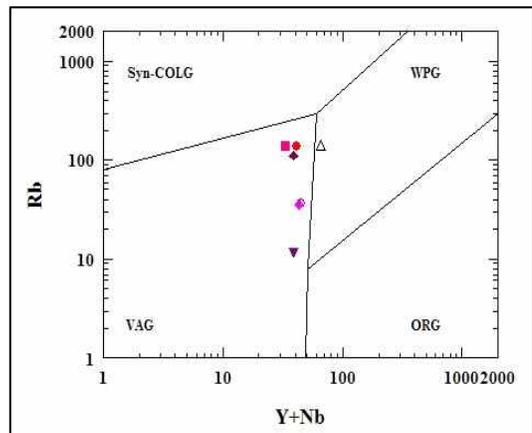
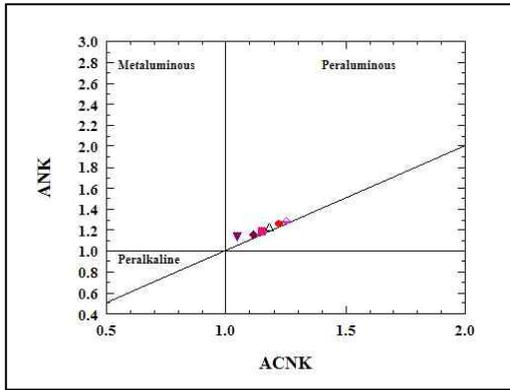


Fig. 14. AFM diagram



Symbols are the same as in Fig. 14.

Fig. 15. Rb vs Y+Nb diagram



Symbols are the same as in Fig. 14.

Fig. 16. ANK vs ACNK diagram

운모이며, 저어콘, 인회석 및 불투명광물을 수반한다. 또한 장석의 변질광물인 녹니석과 녹염석 등이 자주 관찰되기도 한다. 석영은 타형으로서 파동소광을 나타내고 석영과 알칼리장석은 거의 대부분 미문상 조직으로 나타난다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 대부분 견운모화 되어 있고, 알바이트 및 칼스벤 쌍정과 누대조직을 보인다. 각

섬석과 흑운모는 대부분 녹니석화 되어 있고, 특히 흑운모는 소편의 결정으로 분산되어 나타남이 특징이다. 불투명광물은 사장석이나 흑운모에 포유되어 있다(그림 13; 김희남 등, 1994). 여수시 거문도·백도 일대의 반암류는 문상반암(granophyre)으로서 육안 상 규장암과 유사하나 현미경 상에서 화강암과 유사하다(한국지질자원연구원, 2002).

백도 지역 7곳에서 채취한 시료를 대상으로 주성분 및 미량성분 분석(표 2·3)을 한 ‘백도자원학술조사 보고서(2002)’의 데이터 값을 인용하여 minpet20 프로그램에서 해석한 내용은 다음과 같다.

백도의 미문상 화강암의 근원인 마그마의 지화학적 특성을 알아보기 위해 주성분 원소 결과 값으로 total alkalis(Na_2O+K_2O) vs SiO_2 의 관계도에 도시한 결과 저알칼리에 해당되며, AFM diagram을 이용하면 칼크알칼리 계열(Calc-Alkaline)의 마그마 분화 특징을 보인다(그림 14). 이는 경상분지의 일반적 특징⁶⁾과도 일치하는 부분이며, 백도의 형성과정이 경상분지의 형성과정과 유사성을 보인다.

Table 2. Major element(unit in wt. %) data of the study area

Area	Yeosu (Baekdo)						
Rock Type	granophyre						
Sample No.	BSP-1	BSP-2	BSP-4	BSP-5	BSP-7	B8	B9
SiO ₂	72.89	72.27	72.92	73.33	73.46	71.02	68.45
TiO ₂	0.32	0.38	0.30	0.33	0.32	0.47	0.63
Al ₂ O ₃	14.10	14.42	13.85	13.88	13.28	15.06	15.49
Fe ₂ O ₃	2.01	2.35	2.00	2.12	2.02	3.02	4.42
FeO	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃ ^T	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.03	0.08	0.05	0.07	0.03	0.14	0.13
MgO	0.37	0.46	0.34	0.03	0.32	0.40	0.57
CaO	0.18	0.26	0.56	0.28	0.15	0.19	0.21
Na ₂ O	3.94	4.34	4.80	4.85	3.66	6.74	6.75
K ₂ O	4.35	4.25	3.95	3.68	4.84	0.82	0.86
P ₂ O ₅	0.10	0.07	0.04	0.05	0.12	0.13	0.19
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
LOI	1.56	1.11	1.18	1.07	1.80	2.01	2.30
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Source: Reorganized by using the values of data(2002)

Table 3. Trace element(unit in ppm) data of the study area

Area	Yeosu (Baekdo)						
Rock type	granophyre						
Sample No.	BSP-1	BSP-2	BSP-4	BSP-5	BSP-7	B8	B9
Ba	717	746	728	806	727	137	379
Rb	139	144	116	111	140	36.7	35.3
Sr	105	126	98.8	100.0	65.4	101	111
Y	29.35	53.99	27.97	27.70	22.23	34.70	31.97
Zr	172.72	213.91	179.35	165.52	138.21	197.91	200.46
Nb	11.84	12.05	10.31	10.48	10.90	10.11	11.23
Th	14.47	15.69	13.37	13.06	14.02	7.59	9.17
Pb	0.81	2.02	0.87	0.86	0.56	1.04	0.72
Ga	-	-	-	-	-	-	-
Zn	47.8	37.8	55.5	106	41.4	138	163
Cu	7.78	9.97	6.82	12.02	6.69	8.49	8.69
Ni	38.31	53.01	39.22	41.25	12.51	18.58	18.19
V	-	-	-	-	-	-	-
Cr	70.48	94.83	83.53	85.40	30.0	32.16	30.18
Hf	5.61	6.45	6.19	5.79	5.47	5.27	5.22
Cs	7.22	3.62	3.30	4.42	5.50	16.69	12.23
Sc	5.96	5.4	6.38	5.08	4.95	7.4	7.4
Ta	-	-	-	-	-	-	-
Co	1.91	2.54	1.79	1.89	1.20	3.66	4.99
U	2.74	3.53	2.71	2.71	2.65	2.87	2.83
Be	-	-	-	-	-	-	-
Li	12	38	13	14	19	34	22

Source: Reorganized by using the values of data(2002)

다는 의미로 해석될 수 있다. 뿐만 아니라 여수시 금오도 화산암의 특징인 칼크알칼리 계열(Calc-Alkaline)의 암석과도 같은 경향을 보인다(조규성·서정모, 2000).

백도의 미문상 화강암을 형성시킨 마그마의 지구적 생성환경을 알기 위해 Rb vs Y+Nb diagram (Pearce *et al.*, 1984)에 도시한 결과 화산호 화강암(VAG), 충돌 동시성 화강암(syn-CORG), 판 내부 화강암(WPG), 그리고 해령 화강암(ORG) 중 백도 미문상 화강암은 주로 화산호 화강암(VAG)에 속한다(그림 15). 그 중 일부가 판 내부 화강암(WPG)에 속하지만 대부분의 마그마는 대륙주변부의 섭입환경에서 생성되었음을 시사한다.

또한 화강암류의 유형을 알아보기 위해 ANK vs ACNK diagram을 통해 보면 ACNK가 1.1보다 높은 S-type에 해당됨을 알 수 있다(그림 16). 이는 상부 맨틀대에서 생긴 철마그니질 암장이 열을 공급해 주는 데 따라 하부지각이 부분적으로 용융되어 생긴 화강암질 암장에 의하여 형성된 화강암임을 의미한다.

5. 토의 및 요약

백도를 비롯하여 여수지역 다도해에 속한 도서들의 형성과정을 종합적으로 고찰하면 중생대 백악기 말 마그마의 분출에 의한 내인적 작용에 의

해 형성된 섬들이 상당히 많은 것으로 판단된다 (한국지질자원연구원, 2001; 이정훈, 2011, 2012b). 이는 일반적으로 남해안의 도서들이 제4기 해수면 상승에 의해 형성된 리아스식 해안이라는 특성을 고려할 때 몇 가지 의문점이 발생한다.

먼저, 남해안 특히 여수지역의 다도해 지역에 백악기 말에서 신생대 제4기까지 후빙기 해수면 상승운동보다 더 큰 융기운동이 존재하였는가하는 문제다. 백도 일원에서 관찰되는 단구상 지형은 해안단구라고 단정할 수 없으나 신생대 플라이스토세 후반 우리나라 동해안과 남해안에서 융기현상 및 해안단구의 발달과정이 거의 유사했다는 연구 결과(최성길, 2006; 이광률·박충선, 2006; 양재혁, 2011)로 추론해 볼 때 향후 논의가 필요한 부분이다. 퇴적면의 층후가 얇기 때문에 연대측정이 불가능했지만 향후 단층활동에 의한 구조운동의 연대를 밝히는 작업 등이 필요할 듯싶다.

둘째, 백도의 지형생성 시기는 한반도 경상분지와 비슷하지만 육지부를 비롯하여 대부분의 도서들은 I-type의 화강암 경향을 보이는 데 비해 백도는 S-type의 화강암 특성을 보인다는 점이다. 이는 백도의 지형형성과정이 섭입대의 해양판 내지 해양 지각의 퇴적물 일부가 재용융되어 형성된 지각임을 시사한다. 하지만 미문상 화강암의 판상절리와 관련하여 판단하건대 이 마그마는 지하 3km정도의 비교적 낮은 곳까지 정지한 다음에 시차를 두고 분출한 것인지 아니면 애당초 천부관입암 혹은 심부관입암이었던 것인지 의문이 생긴다. 만약 천부관입암이라면 'S-type의 화강암 특성'과 모순이 생긴다. 이는 같은 지질구조를 보이는 거문도 등 주변 지역의 암석에 대한 상세한 연구를 통해 향후 검증해 보아야 할 문제라고 생각한다.

이러한 의문점에도 불구하고 여수지역을 비롯한 남해안 도서지역의 형성과정을 살펴볼 때 백도의 형성과정을 단순히 제4기 해수면 상승에 의한 침수해안으로서 설명하기에는 어려운 점이 많다고 판단된다. 지금까지 살펴본 바를 근거로 백도의 지형형성과정을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 백도는 암석의 연대측정, Rb vs Y+Nb diagram 및 ANK vs ACNK diagram 분석 결과 신생대 초 맨틀대에 하부지각이 용융된 대륙주변부의 섭입환경에서 일차적으로 생성된 섬으로 보

인다. 둘째, 상백도의 곰보섬·와도에서 단층선을 따라 관입한 중성암맥이 관찰되는 것과 미문상화강암에서 판상절리가 발달하는 것으로 보아 백도는 신생대 이후 시차를 두고 발생한 화성활동 결과 형성된 섬으로 보인다. 셋째, 백도는 신생대 4기 팔레오세(Paleocene) 이후 북동-남서 방향의 압축력과 북서-남동 인장력으로 이루어진 지구조 운동이 발생하였고, 이후에 암체의 절리 방향을 따라서 해수면 승강운동, 파랑 등 외인적 작용에 의한 침식과 풍화작용이 가해져 현재와 같은 모습을 이루게 된 것으로 보인다. 게다가 백도는 고힌반도 및 여수반도를 따라 줄지어 분포하는 도서들의 구조선방향과 거의 일치하고 있는데, 이는 육지부의 지구조운동과도 깊은 연관성이 있음을 의미한다.

따라서 백도의 지형형성과정을 단순히 섬 자체에 국한시켜 규명하기보다는 한반도나 남해안의 지형형성과정의 맥락 속에서 규명할 필요가 있다고 판단된다.

6. 결론

백도는 전남 여수시와 제주도의 중간 거리에 위치한 다도해해상국립공원에 속하는 지역으로서 천혜의 자연경관을 간직한 곳이다. 백도는 접근성이 매우 제약되어 있기 때문에 지리학분야에서 백도의 연구 성과는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 백도에 대한 자연지리학적 연구라는 측면에서 그 의미를 갖는다. 본 연구의 목적은 여수시 백도의 지형형성과정을 분석하는 데 있었으며, 나아가 백도의 지형·지질경관자원을 이해하는 데 도움을 주고자 하였다. 연구방법으로 해저지형 음향탐사 자료(2012년) 및 수치지도에 대한 분석과 미문상 화강암의 지화학적 분석을 토대로 백도일원의 지형과 해저지형의 관계를 고찰하였으며, 백도가 형성될 당시 지구조환경을 규명하고자 하였다.

그러나 본 연구는 백도에 대한 입도의 어려움과 기상·지형적인 제약성 때문에 2차 자료에 의존한 한계성을 지니고 있다. 특히 해안단구로 보이는 지형은 그 실체를 규명하기 위해 추후 논의가 필요한 부분이다. 이러한 한계성에도 불구하고 백도의 형성과정을 단순히 제4기 해수면 상승에 의한

침수해안으로서 설명하기에는 약간의 의문점이 남는다. 백도는 인근 육지부와 부속 도서들의 구조선방향과 거의 일치하고 있는데, 이는 육지부의 지구조운동과도 깊은 연관성이 있음을 의미한다. 따라서 백도의 지형형성과정을 단순히 섬 자체에 국한시켜 규명하기보다는 한반도나 남해안의 지형형성과정의 맥락 속에서 규명할 필요가 있다고 판단된다. 본 연구 결과를 토대로 백도의 지형형성과정을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 백도는 K-Ar 연대측정과 암석에 대한 지화학적 분석에 의하면 약 6천만 년 전인 신생대 초 맨틀대에 하부지각이 용융된 대륙주변부의 섭입환경에서 일차적으로 생성된 섬으로 보인다. 이러한 관점에서 백도는 주향이동단층에 의해 심성암류가 형성된 경상분지와 유사성을 보인다.

둘째, 상백도의 곰보섬·와도에서 단층선을 따라 관입한 중성암맥이 관찰되는 것과 미문상화강암에서 관상절리가 발달하는 것으로 보아 백도는 신생대 이후 시차를 두고 발생한 화성활동 결과 형성된 섬으로 보인다.

셋째, 백도는 신생대 4기 팔레오세(Paleocene) 이후 북동-남서 방향의 압축력과 북서-남동 인장력으로 이루어진 지구조운동이 발생하였고, 이후에 암체의 절리 방향을 따라서 해수면 승강운동, 파랑 등 외인적 작용에 의한 침식과 풍화작용이 가해져 현재와 같은 모습을 이루게 된 것으로 보인다.

사사

본 연구를 위해 백도 일원의 해저지형 음향 탐사자료를 제공해주신 국립해양조사원의 이희원 선생님, 본고의 내용에 관한 여러 가지 조언을 아끼지 않았던 한국지질자원연구원의 이창현 박사, 국립공원관리공단 자원보전부장 오장근 박사님과 다도해해상국립공원사무소 관계자 여러분 그리고 현지답사에 도움을 주신 거제도·백도 유람선 송하영 대표님께 감사한 마음을 전합니다.

주

- 1) 도서란 만조 시 수면 상에 돌출하며 수면에 둘러싸인 자연적으로 형성된 육지로서 국제수로국에서는

표면적이 10km² 이상이면 도서(島嶼; island), 10~1km²면 소도(小島; islet), 1km² 미만이면 암도(岩島; rock)로 분류하고 있다(해양수산부, 2013). 이 기준에 의하면 백도의 면적은 641,130m²로서 암도에 해당되나, 본 연구는 일반적으로 부르는 백도라는 명칭을 그대로 사용하고자 한다. 다만 불문 초록에서는 암도를 의미하는 'île rocheuse'라는 단어를 사용하였다.

- 2) 현재 백도는 입도 허가가 있을지라도 본섬(상백도)만 입도가 가능하고 하백도 대부분 섬들은 수직에 가까운 높은 해식으로 선박 접근과 입도가 불가능하다(정태주, 다도해해상국립공원사무소, 2013.09.30 면담).
- 3) 여기서 구조적 요인이라 지질·지형 분야에서 '내적 영역(내인적 영역)에 의해 형성된'이라는 의미가 아니라 '자연환경의 토대를 이루는' 구조를 의미한다.
- 4) 백도는 대부분 암석으로 이뤄진 섬이기 때문에 토양층의 층후가 매우 얇으며 그나마 상백도 본섬에 미약하게 토양층이 발달되어 있다(정태주, 다도해해상국립공원사무소, 2013.09.30 면담).
- 5) '백도의 지질'편에서 원종관·진명식·이문원·박영록이 주장한 내용에 근거함(여수시·자연보존협의회, 2002).
- 6) 일반적으로 경상분지는 퇴적암분지로서 미문상 화강암으로 이뤄진 백도와 유사성이 없는 것처럼 보이지만, 백악기 전기 이자나기관의 이동방향이 북쪽으로 향하게 되면서 북동-남서 방향으로 발달된 섭입대 밑으로 사각(斜角) 섭입함에 따라 한반도 동남부 경상분지에 북동-남서 방향의 주향이동단층들이 형성되었다(유인창 등, 2006). 그 때 백악기 심성암류가 경상분지 내에 형성되었는데, 화산호환경에서 만들어진 화성암은 칼크알칼리암으로서 친석원소(Sa, Rb, Sr)의 부화와 Nb의 결핍이 두드러진다(위수민·김은효, 2009). 바로 그 점에서 유사성을 갖는다는 의미다.

문헌

- 고의장, 1984, 제주도와 울릉도의 지형경관에 관한 비교연구, 국토지리학회지, 9, 481-506.
- 국립해양조사원, 2012, 우리나라의 해양영토.
- 김종우, 2004, 돌산도 해안지형의 유형분류 및 특성, 한국지형학회지, 11(2), 69-86.
- 김희남·신인현·안건상, 1994, 돌산지역에 분포하는 화강암체의 암석지화학적 특징과 광화작용과의 관련성 연구, 한국지구과학회지, 15(6), 439-451.
- 박미영, 2011, 홍도 지형 자원을 활용한 지오투어리즘, 한국지역지리학회지, 17(1), 109-121.
- 박민영·박경, 2012, 거제도 해금강 지오투어리즘

- 정착을 위한 정책적 접근, 한국지역지리학회지, 18(2), 175-187.
- 서종철, 2013, 연평도의 해안지형 경관 분석, 한국지역지리학회지, 19(2), 223-233.
- 성운용, 2007, 강화군 특정도서의 지형경관, 한국사진지리학회지, 17(3), 45-55.
- 양재혁, 2007, 한반도 남해안의 해안지형 특색 및 형성과정, 한국교원대학교 박사학위논문.
- 양재혁, 2011, 거제도 동부해안에서 파악되는 홀로세 고해수준면과 지형발달과정, 한국지형학회지, 18(1), 101-112.
- 여수시·(사)자연보존협의회, 2002, 백도자원학술조사 보고서.
- 유인창·최선규·위수민, 2006, 한반도 동남부 백악기 경상분지의 형성과 변형에 관한 질의, 자원환경지질, 39(2), 129-149.
- 유환수·류상욱·유경아, 1998, 여수 금오도 부근의 지형, 지질 및 연안환경, 한국도서연구, 9, 112-123.
- 윤석훈·이병걸·손영관, 2006, 제주도 서귀포 하산 화산의 지형·지질학적 특성과 형성과정, 대한지질학회지, 42(1), 19-33.
- 위수민·김은효, 2009, 여수 지역에 분포하는 백악기 화강암류에 대한 지화학적 연구, 한국지구과학회지, 30(3), 267-281.
- 이광률·박충선, 2006, 광양만 일대 해안단구의 퇴적물 특성과 지형 형성시기, 대한지리학회지, 41(3), 346-360.
- 이정훈, 2011, 지형특색에 기반한 여수시 사도의 생태관광 프로그램 구성, 한국지역지리학회지, 17(6), 738-752.
- 이정훈, 2012b, 여수시 금오도의 지오투어리즘 정착을 위한 연구, 한국지역지리학회지, 18(3), 336-350.
- 전영권, 2005, 독도의 지형지, 한국지역지리학회지, 11(1), 19-28.
- 조규성·서정모, 2000, 여수시 금오도의 지질환경 및 암석화학적 연구, 전북대학교 과학교육논총, 25, 159-169.
- 진명식·신성천·김성재·주승환·지세정, 1994, 옥천대 중서부지역에서의 화강암, 반심성암 그리고 화성활동의 연대측정, Res.Rep., KIGAM KR-93-1G-2, 54.
- 최성길, 2006, 소안도의 해안단구와 한반도 서남부 해안의 지반운동, 한국지형학회지, 13(3), 1-10.
- 한국지리정보연구회, 2006, 자연지리학사전(개정판), 한울아카데미.
- 한국지질자원연구원, 2002, 여수도폭 지질도(1:250,000).
- 한국지질자원연구원, 2001, 한반도 지각변형사 연구: 후기 중생대-신생대 지각변형사(1), 2001기 본연구사업 보고서.
- 해양수산부, 2013, 해양수산용어사전, 15.
- 허철호, 2012, 소연평도의 지질 및 지형경관, 한국사진지리학회지, 22(3), 119-125.
- Bird, Eric C.F., 1984, *Coasts*, New York, Basil Blackwell Inc, 59.
- Choi, P.Y., 2001, Cenozoic Tectonic Phenomena related to the East Sea(Sea of Japan). In: Koh, H. J. and Choi, Y. S.(eds), Tectonic evolution of East Asia. The third joint meeting of Japanese and Korean Structure and Tectonic Research Groups, 68-75.
- Lee, J.I., 1991, Petrology, Mineralogy and Isotopic Study of the Shallow-depth Emplaced Granitic Rocks, Southern Part of the Kyoungsang Basin, Korea-Origin of the Micrographic Granities, Ph.D. thesis of Tokyo University, 197.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Picard, Michel., 1999, *L'archipel néo-calédonien*, CDP de Nouvelle-Calédonie.
- 국토교통부국토지리정보원 지도검색서비스 / <http://www.ngii.go.kr/>
- 기상청 광주지방기상청 여수기상대 / <http://web.kma.go.kr/>
- 디지털여수문화대전 디렉토리분류 자연지리 / <http://yeosu.grandculture.net/>

(접수: 2013.10.15, 수정: 2013.11.04, 채택: 2013.11.11)