

<Review>

남극 장보고기지 주변 북빅토리아랜드의 비콘누층군 층서와 산출 식물화석

우주선 · 오창환 · 최문영* · 이종익

한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지지구시스템연구부

요 약

남극 북빅토리아랜드에는 넓은 범위에 걸쳐 비콘누층군의 퇴적암이 노출되어있다. 하지만 이들은 중부남극 종단산맥과 남빅토리아랜드에 나타나는 동시대 암석에 비해 기본적인 층서와 퇴적환경에 대한 이해가 부족한 실정이다. 북빅토리아랜드의 비콘누층군은 전기고생대 기반암에 발달한 부정합면 위에 놓이며, 대부분 쥐라기 페라르 돌레라이트 또는 커크패트릭 현무암을 포함하는 페라르층군에 의해 그 상부경계가 정의된다. 비콘누층군 최하부에는 후기고생대 빙하의 영향을 받은 퇴적암이 발달하며, 그 위에 페름기 태로우나층, 삼첩기-쥐라기 섹션피크층, 쥐라기 샤퍼피크층이 놓인다. 비콘누층군 또는 페라르층군 이후의 퇴적암은 매우 드물다. 북빅토리아랜드의 북쪽에 해당하는 란터만 산맥에는 하부의 부정합과 접하는 빙하퇴적암에서 시작되어 태로우나층으로 이어지는 퇴적층이 잘 나타난다. 란터만 산맥의 서쪽에 있는 모로주미 산맥과 헬리웰 구릉지에는 페름기 태로우나층이 나타나지만, 최근 수행된 식물화석연구 결과에 의하면 그 시기가 삼첩기일 가능성이 제기되었다. 에반스 빙원의 북쪽에 위치한 프레이버그 산맥에도 빙하퇴적체와 그 상부층이 노출되어있으며, 주변의 낮은 구릉지에 비콘누층군이 얇게 나타난다. 산맥 남쪽에서는 페름기 곤드와나 대륙에서 번성하였던 글로소포테리스류의 식물화석이 산출되었다. 메사 산맥 서쪽의 낮은 구릉지에서도 비콘누층군이 산출되지만 페라르 돌레라이트에 의해 관입당하여 그 보존이 좋지 않다. 프리슬리 빙하와 캠벨 빙하사이의 덩프리즈 산맥과 프리슬리 빙하 서편의 아이젠하워 산맥의 고지대에는 섹션피크층과 샤퍼피크층이 나타나며, 이중 섹션피크층에서 다수의 목재화석이 산출되었다. 남극과 호주를 포함한 곤드와나 대륙의 고태평양쪽 경계부의 분지 발달을 종합적으로 이해하기 위해서는 북빅토리아랜드의 비콘누층군에 대한 연대 및 퇴적학, 그리고 식물화석 등의 고생물을 이용한 고환경 복원 등의 새로운 연구가 요구된다.

주요어: 비콘누층군, 석탄기-쥐라기, 북빅토리아랜드, 식물화석

Jusun Woo, Changhwan Oh, Moon Young Choe and Jong Ik Lee, 2017, Stratigraphy and plant fossils of the Beacon Supergroup near Jang Bogo Station, northern Victoria Land, Antarctica. Journal of the Geological Society of Korea. v. 53, no. 4, p. 581-596

ABSTRACT: Sedimentary strata of the Beacon Supergroup (BS) are exposed in the wide areas of northern Victoria Land (NVL), Antarctica. However, despite its wide exposures, it has not been extensively studied yet comparing to the equivalent strata in Central Transantarctic Mountains and southern Victoria Land. BS in NVL formed on top of an unconformity developed on the basement of the early Paleozoic in age and the upper boundary of the supergroup is mostly demarcated by Ferrar Dolerite intrusion or Kirkpatrick Basalt, Jurassic in age. The late Paleozoic glacial deposits herald initiation of sedimentation of the BS. Permian Takrouna, Triassic-Jurassic Section Peak, and Jurassic Shafer Peak formations follow on top of the basal glacial deposit. There are very rare reports for the sedimentary strata on top of the BS or Ferrar Group. A representative outcrop section of the basal glacial deposit transitionally changing into the Takrouna Formation occurs in the Lanterman Range, northern part of NVL. Slopes of Morozumi Range and Helliwell Hills, west of the Lanterman Range, expose the Takrouna Formation which needs to be tested for the geological age based on new plant fossils. BS at the southern part of the Freyberg Mountains in the north of the Evans N ev , is characterized by basal glacial tillite and overlying Takrouna Formation. Some

* Corresponding author: +82-32-760-5431, E-mail: mychoe@kopri.re.kr

glossopterids leaf fossils occurred at the formation. Low relief hills in the west of the Mesa Range expose thin BS which is intruded by sill of Ferar Dolerite. The Section Peak and Shafer Peak formations in the Deep Freeze Range and Eisenhower Range near Priestly Glacier occur in the topographically high area and yield lots of fossil woods. In order to understand the basin evolution along the Paleo-Pacific margin of the Gondwana including Antarctica and Australia, the new views with new age constraints, stratigraphic data, and paleontological data including plant fossils are required.

Key words: Beacon Supergroup, Carboniferous-Jurassic, northern Victoria Land, plant fossil

(Jusun Woo, Changhwan Oh, Moon Young Choe and Jong Ik Lee, Division of Polar Earth-System Sciences, Korea Polar Research Institute, KIOST, Incheon 21990, Republic of Korea)

1. 서 언

빅토리아랜드(Victoria Land)를 포함한 남극중단산맥(Transantarctic Mountains)에는 열도후면 분지, 대륙열개분지 등 다양한 퇴적분지에서 형성된 여러 종류의 퇴적암이 분포한다(Woo *et al.*, 2013). 이들은 남극대륙의 형성에 영향을 끼친 지질학적, 지체구조적 현상을 반영하며, 특히 과거 남극의 환경을 밝히는데 중요한 정보를 제공한다. 이 중 비콘누층군(Beacon Supergroup)은 남극중단산맥을 따라 발달한 데본기-쥐라기 육성퇴적층(그림 1)으로 남극이 지체구조적으로 비교적 조용한 상태에서 퇴적되었음을 시사해준다(Elliot and Fanning, 2008). 비콘누층군은 주로 육상퇴적환경에서 퇴적된 쇄설성 퇴적물로 이루어져 있으며(그림 2), 목재를 비롯한 식물 화석, 곤충과 어류를 포함한 동물화석, 그리고 절지동물의 흔적화석 등이 발견되어 과거 남극의 육상환경을 복원하는데도 중요한 자료들을 제공한다(e.g., Gevers *et al.*, 1971; Turner and Young, 1992; Bomfleur *et al.*, 2011a, 2011b; Escapa *et al.*, 2011). 하지만 이와 같은 비콘누층군의 층서퇴적학 및 고생물학적 연구는 남극중단산맥 내에서도 주로 중부남극중단산맥(Central Transantarctic Mountains)과 남빅토리아랜드(southern Victoria Land)에 치우쳐 수행되어 왔으며, 상대적으로 북빅토리아랜드(northern Victoria Land)에서의 연구는 아직 미미한 편이다.

최근 대한민국은 남극대륙 진출 및 극지연구의 새로운 전진기로서 북빅토리아랜드에 장보고과학기지를 건설하였다. 기지 주변으로 비콘누층군의 노두가 잘 발달·산재하고 있어 그동안 부족했던 북빅토리아랜드 지역의 지질학적 연구를 충분히 수행할 수 있을 것으로 기대된다(그림 3). 특히 이 지역은 남

극대륙 비콘누층군의 중심인 중부남극중단산맥과 남빅토리아랜드, 그리고 이와 연결되어 있었던 호주 를 지리적으로 잇는 가교역할을 하고 있어 이 시기 곤드와나 대륙의 지사를 종합하는데 중요한 의미가 있다. 그 일환의 하나로 남극 대륙 고환경 복원을 위한 연구가 국내연구자들에 의해 최근 수행되고 있다(Oh *et al.*, 2016). 본 논문에서는 북빅토리아랜드 비콘누층군의 층서와 그 지역적 분포 및 특성에 대한 기존 자료, 그리고 비록 짧은 기간이지만 그동안 국내연구진의 답사에 의해 획득된 신규 자료를 종합하여 소개하고자 한다. 또한 이를 바탕으로 향후 남극 빅토리아랜드에서의 비콘누층군에 대한 지질학적 연구방향에 대해서도 제안하고자 한다.

2. 지질학적 배경 및 층서

남극대륙을 가로지르며 발달한 남극중단산맥은 대서양쪽의 펜사콜라산맥(Pensacola Mountains), 남극점 주변의 중부남극중단산맥, 그리고 태평양쪽의 빅토리아랜드로 나누어지며 그 연장이 약 4,000 km에 달한다(그림 1). 장보고기지가 위치한 빅토리아랜드는 로스해(Ross Sea)의 서쪽해안에서 남극 빙원사이의 육상지역을 나타내며 남북으로는 남위 78도에서 남위 70도까지 연장된다. 그리고 남위 75도에 위치한 데이비드 빙하(David Glacier)를 기준으로 남빅토리아랜드와 북빅토리아랜드로 구분된다. 장보고기지는 남위 약 74.5도에 위치하고 있어 북빅토리아랜드의 남쪽 끝 부분이라고 할 수 있다(그림 3). 남극중단산맥은 후기 중생대 이후 시작된 서남극열개구조(West Antarctic Rift)의 발달에 수반되어 융기하여 현재의 산악지형을 이루게 되었다(Lisker, 2002; Lisker and Läufer, 2013).

남극종단산맥은 후기 선캠브리아기-오르도비스기에 이르는 로스조산운동(Ross Orogeny)에 의해 변성된 퇴적암과 관입암으로 구성된 기반암과, 이를 부정합으로 피복하는 데본기-쥐라기 천해-육상 쇄설성 퇴적물(비콘누층군), 그리고 상위에 놓이는 쥐라기 현무암과 돌레라이트 관입암으로 주로 이루어져 있다(그림 2). 남극종단산맥과 남빅토리아랜드에서 비콘누층군은 데본기 천해 규산염퇴적암인 테일러층군(Taylor Group)과 후기고생대에서 삼첩기에 이르는 천해-하성 규산염퇴적암인 빅토리아층군(Victoria Group)으로 나누어진다(Bradshaw, 2013). 이에 반해 북빅토리아랜드의 비콘누층군은 데본기 테일러층군 없이 빅토리아층군이 변성기반암위에 바로 놓인다(그림 2; Collinson and Kemp, 1983; Collinson et al., 1994; Elliot and Fanning, 2008).

북빅토리아랜드의 변성기반암인 로스조산운동관련 암체는 3개의 지체구조 터레인으로 구성되어있다(그림 3; Weaver et al., 1984, Bradshaw et al., 1985). 남극대륙 쪽의 윌슨테레인(Wilson Terrane)은 로스조산운동 시기에 변성된 변성퇴적암과 이를 관입한 화강암질 암체로 이루어져 있다. 윌슨테레인의 북동

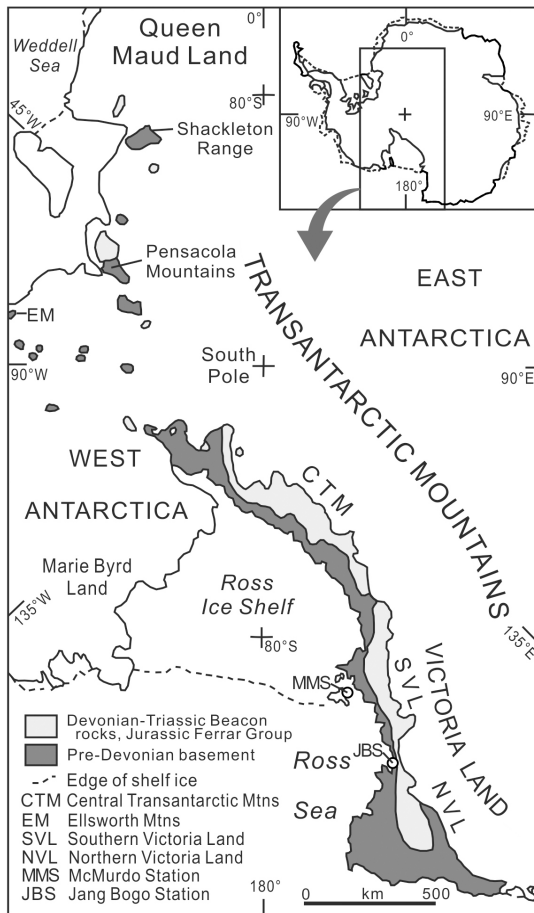


Fig. 1. Distribution of Beacon Supergroup in the Antarctica (modified from Elliot and Fleming (2004)).

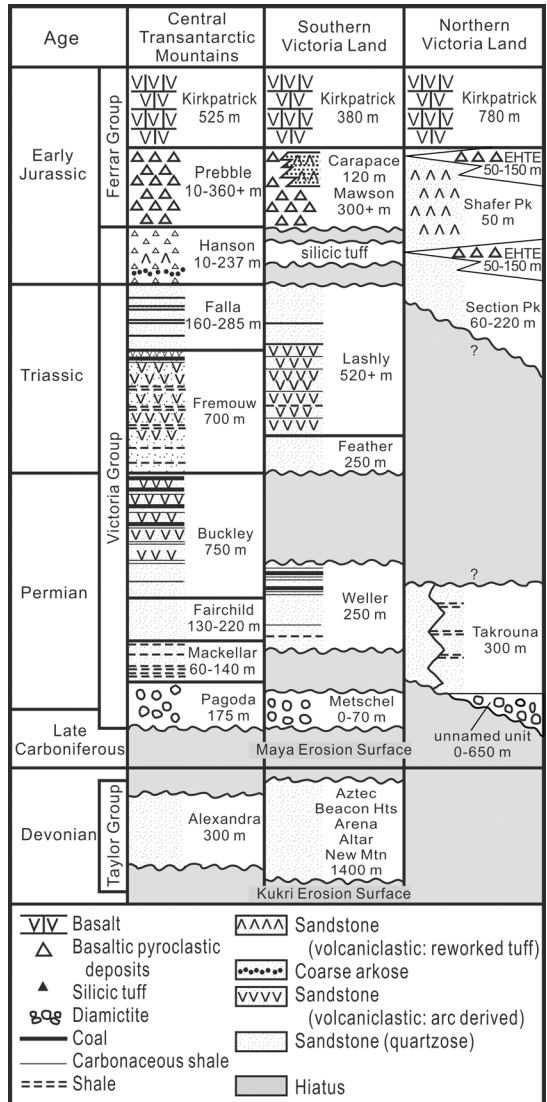


Fig. 2. Stratigraphic summary of the Beacon Supergroup in the Central Transantarctic Mountains, southern Victoria Land, and northern Victoria Land (modified from Schöner et al. (2007) and Elliot and Fleming (2008)). Stratigraphic units are formations. EHTE: Exposure Hill Type Events, Pk: Peak, Hts: Heights, Mtn: Mountain.

쪽 경계부를 따라 폭 약 20 km로 발달하는 바위스터리 레인(Bowers Terrane)은 로스조산운동과 관련된 배호분지에서 형성된 것으로 생각되는 저변성 퇴적암과 화산암으로 이루어져 있다. 가장 바깥쪽에 위치

하는 로버트스베이테레인(Robertson Bay Terrane)은 약한 변성작용을 받은 단조로운 저탁암 퇴적체로 특징지어진다(Ricci *et al.*, 1996; Tessensohn and Henjes-Kunst, 2005). 이들 기반암은 로스조산 운

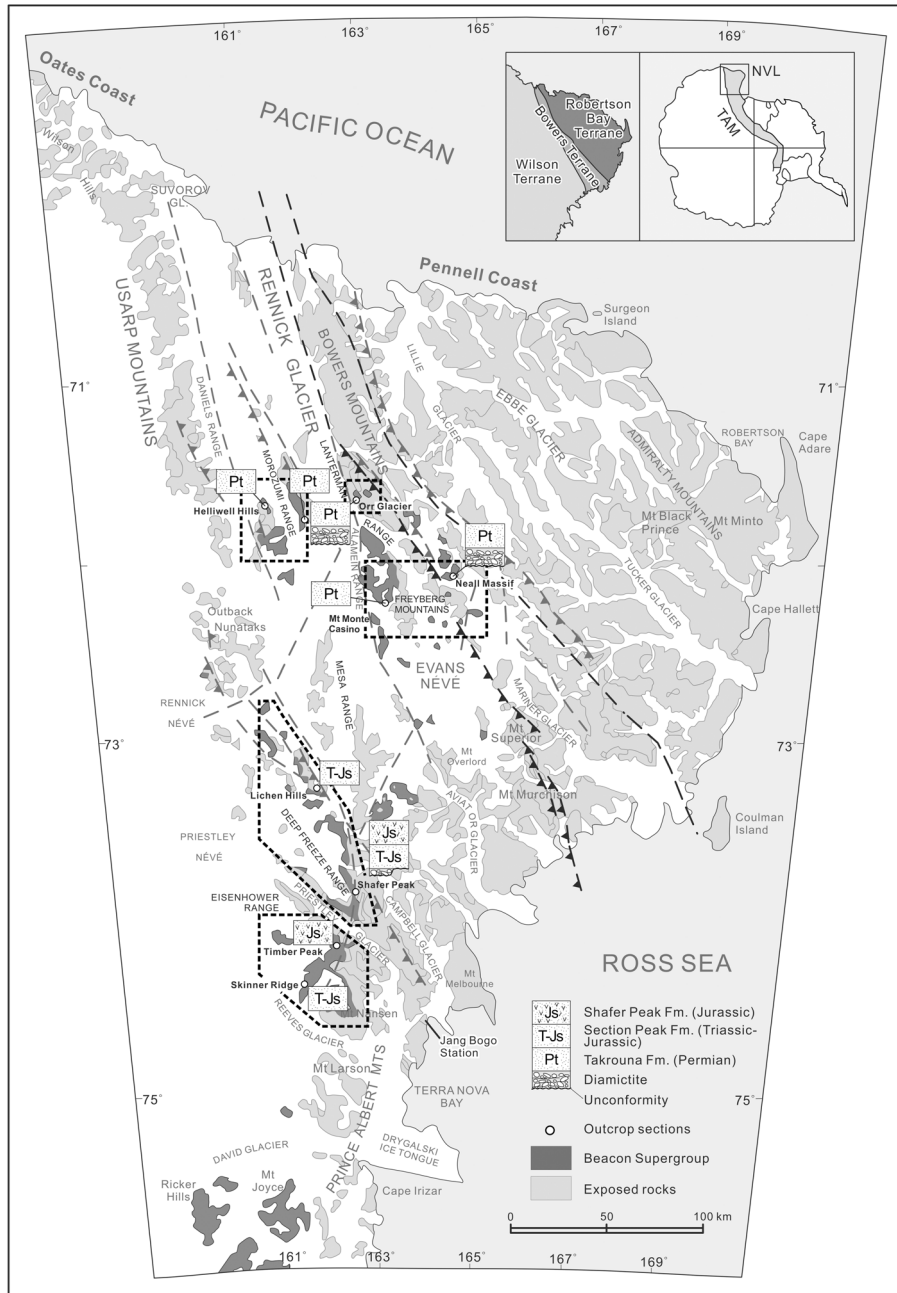


Fig. 3. Geological map of northern Victoria Land with described areas (dashed lines) and section locations (modified from Läufer *et al.* (2011)). Simplified stratigraphy of the described sections was provided by symbolic columnar sections.

동시기에 변성변형 작용을 받았으며, 이를 삭박한 광역적인 부정합면인 쿡크리 침식면(Kukri Erosion Surface)과 마야 침식면(Maya Erosion Surface) 위에 비콘누층군이 쌓인다(그림 3; Isbell, 1999). 비콘누층군 최하부에는 후기고생대 빙력암을 포함하는 호성-하성 퇴적암이 발달하며, 이는 점이적으로 페름기 택로우나층(Takrouna Formation)의 두꺼운 하성 사암과 이암으로 변화한다. 택로우나층과 상위의 삼척기-쥐라기 섹션피크층(Section Peak Formation) 사이는 부정합적으로 나타나 있지만 실제 두 층이 접하고 있는 노두의 부재로 얼마만큼의 시간적 간격이 존재하는지는 확인되지 않고 있다. 섹션피크층은 규산질 응회암과 재동된 응회암질 사암으로 이루어진 쥐라기 샤퍼피크층(Shafer Peak Formation)에 의해 정합적으로 덮인다. 샤퍼피크층 내에는 횡적 연속성이 결여된 화산쇄설성 퇴적체가 협재되어 있거나 층을 절단하며 산출되며, 익스포져힐 형태 이벤트(Exposure Hill Type Events)라는 암상단위로 정의되었다(Schöner *et al.*, 2007). 비콘누층군은 변성작용을 거의 받지 않았으며, 상부는 쥐라기 페라르층군(Ferrar Group)에 속하는 페라르 돌레라이트(Ferrar Dolerite)의 수평관입암체에 의해 잘리거나, 커크패트릭 현무암(Kirkpatrick Basalt)에 의해 피복되어 있다. 육상에 남아있는 쥐라기 이후의 퇴적층은 거의 존재하지 않으며, 매우 제한적으로 신생대 빙하퇴적암으로 생각되는 퇴적체만이 보고되어 있다(Baroni and Fasano, 2006; Baroni *et al.*, 2008; Strasky *et al.*, 2009).

3. 주요단면

비콘누층군 노두는 빅토리아랜드 전역에 걸쳐 나타난다(그림 3). 북빅토리아랜드 비콘누층군에 대한 연구는 1960년대 지질도 발간을 위한 탐사로부터 시작되었으며, 미국, 독일, 이태리 연구팀에 의해 산발적인 연구가 수행되었다. 특히 독일 BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)의 남극탐사 프로그램인 GANOVEX (German Antarctic Northern Victoria Land Expedition)의 9차 탐사(2005-06 남극하계)에서 남부 북빅토리아랜드에 대한 조사를 수행하였으며(Schöner *et al.*, 2007, 2011), 10차 탐사(2009-10 남극하계)에서는 북빅토리아랜드 북부의 비콘누층군에 대한 상세 조사를 수행하였다(John,

2013). 이 두 탐사를 통해 북빅토리아랜드 지역 비콘누층군에 대한 상세한 주상도가 작성되고, 다양한 식물화석도 채집되었으며(Bomfleur *et al.*, 2011b) 이를 바탕으로 층서도 재정의되었다(Schöner *et al.*, 2007; Bomfleur *et al.*, 2014). GANOVEX에서 방문한 주요 단면들 중, 보다 상세한 연구가 필요하다고 판단되는 지역을 대상으로 2013년부터 2017년까지 대한민국 남극지질탐사대(Korea Antarctic Geological Expedition, KAGEX)가 추가 조사를 수행하였다. 남부에 존재하는 노두는 장보고기지를 기반으로 헬기를 이용해 조사를 수행하였으며, 북부에 존재하는 노두는 2015-16년 KAGEX 거점캠프였던 헬리웰 구릉지(Helliwell Hills) 캠프를 기반으로 활용해 헬기로 조사하였다. 조사지역을 지질학적·층서적 특성에 따라 다섯 지역으로 묶었으며 이들을 북쪽에서 남쪽 순서로 기술하였다.

3.1 란터만 산맥(Lanterman Range)

란터만 산맥은 레닉 빙하(Rennick Glacier)의 동편에 위치하고 있으며, 윌슨스테인과 바위스테인의 경계부로서 섭입작용과 관련된 에클로자이트 등이 산출되어 고생대 지체구조를 밝히는데 중요한 곳이다(Ricci *et al.*, 1997; Federico *et al.*, 2009). 따라서 대한민국을 비롯한 독일, 이태리 지질연구팀이 집중적으로 조사한 지역이기도 하다. 레닉 빙하와 접하는 란터만 산맥의 서쪽 경계부의 오르 빙하(Orr Glacier) 주변에는 윌슨스테인의 변성기반암 위로 흑색 셰일과 역암체, 협재하는 사암으로 이루어진 퇴적층이 노출되어 있다(그림 4a, 4b). 이 퇴적단위는 비공식적으로 란터만 빙력암(Lanterman Tillite)으로 불린다(Roland and Tessensohn, 1987). 총 3개의 기질지지 역암이 인지되었으며, 가장 하부에 발달하는 역암은 비교적 역지지를 하고 있는 특징을 보이지만, 그이외의 역암은 사질 이암으로 이루어진 기질에 의해 지지된 특성을 보인다(그림 4b). 역암은 모두 괴상이며, 포함된 역은 변성암, 화강암 등 기반암에서 관찰되는 암상과 동일하다. 흑색셰일에는 셰일에서 조립질에 이르는 사질 입자들도 흔히 포함되어 있으며, 종종 큰 역들도 포함되어 있다(그림 4c). 상부로 갈수록 얇은 사암층이 증가하며, 점층적으로 사암 위주의 암상으로 변화한다(그림 4d). 기질지지 역암은 빙력암(tillite), 흑색이암에 포함된 역들은 드

롭스톤(drop stone)으로 해석되어 빙하기원의 퇴적체로 생각되어왔으며, 최근 화분분석결과 후기 석탄기연대가 확인되었다(Cornamusini *et al.*, 2017). 란터만 빙력암은 중부남극중단산맥과 남빅토리아랜드의 후기 석탄기-페름기 빙하퇴적체인 파고다층(Pagoda Formation), 메첼층(Metschel Formation)에 대비되는 것으로 생각된다(그림 2; McKelvey *et al.*, 1970; Collinson *et al.*, 1986). 란터만 빙력암의 상부에 존재하는 사암은 택로우나층으로 보고되었다(Cornamusini *et al.*, 2017).

3.2 모로주미 산맥(Morozumi Range)과 헬리웰 구릉지(Helliwell Hills)

모로주미 산맥과 헬리웰 구릉지는 레닉 빙하의

서편에 발달하는 낮은 산지로, 윌슨테레인의 변성암과 관입암으로 이루어진 기반암 위에 비콘누층군이 발달하며, 페라르 돌레라이트의 수평관입에 의해 덮인다. 비콘누층군의 두께는 200-280 m 이며 페름기 택로우나층으로 보고되어 있다(John, 2013). 큰 규모의 하도 충진 사층리가 잘 발달하며(그림 5a, 5b), 중규모의 곡사층리를 보이는 사암(그림 5c, 5d) 위주로 이루어져 있다. 사층리는 하부에 놓인 퇴적단위를 침식하여 발달하며, 목재화석을 비롯한 식물화석이 포함된 흑색 셰일 또는 암회색 이질 사암이 협재한다(그림 5d). 최근 2015-16 독일 BGR GANOVEX와 대한민국 KOPRI KAGEX에서 수행한 조사를 통해 헬리웰 구릉지의 퇴적암에서 식물화석들이 새롭게 발견되었는데, 이들 식물화석들 중 헤이디필름

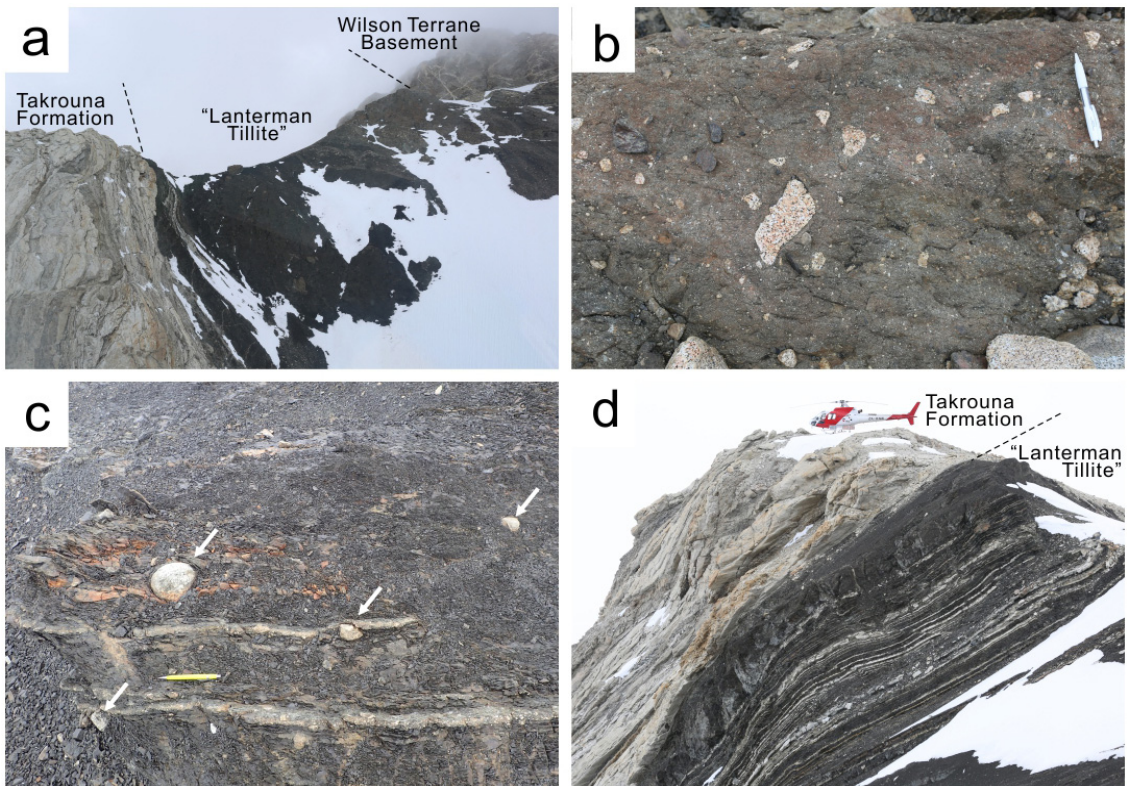


Fig. 4. Glacial deposit in the lowermost part of the Beacon Supergroup exposed in the western edge of Lanterman Range. (a) “Lanterman Tillite” overlies unconformable boundary developed on the Wilson Terrane Basement rock and is overlain by white fluvial sandstone of the Takrouna Formation. “Lanterman Tillite” in this section is ca. 140 m in thickness. (b) Detailed photograph of diamictite in the “Lanterman Tillite”. Clasts mostly consists of granitic rocks and minor amounts of metamorphic rocks from the Wilson Terrane. Pen for scale is 14 cm long. (c) Black shale and thin sandstone alternation in the upper part of the succession. Note frequent occurrence of dropstones marked by arrows. Pen for scale is 14 cm long. (d) Boundary between “Lanterman Tillite” and the overlying Takrouna Formation with transitional lithologic change. Helicopter is 11 m in length.

(*Heidiphyllum*)과 디크로이디움(*Dicroidium*)의 잎화석, 그리고 키클로실론(*Kykloxylon*)의 목재화석은 헬리웰 구릉지의 식물화석 산출 퇴적층의 시기가 지금까지 여겨져 왔던 페름기가 아닌 삼첩기 섹션피크층일 가능성이 제기되었다(Bomfleur and Mörs, 2016; Oh *et al.*, 2017). 따라서 이를 명확히 확인하기 위해 자세한 암상 기재와 보다 다양한 방법의 지질연대 구명이 필요하다.

3.3 프레이버그 산맥(Freyberg Mountains) 주변

프레이버그 산맥은 레닉 빙하와 캔햄 빙하(Canham Glacier)사이에 남북으로 길게 형성된 산지로서, 동편에 캠브리아기 그레닛 하버 관입암(Granite Harbour Intrusives)이 발달하며, 그 상위의 중생대층이 서편에 넓게 노출되어있다. 부정합으로 놓인 비콘누층군

은 페라르 돌레라이트의 수평관입에 의해 잘려있다. 2015-16 KAGEX 캠프에서는 산맥 남부의 몬테카지노 산(Mt. Monte Casino)의 택로우나층에서 식물화석을 채취하고 암상을 기재하였다. 이 지역의 택로우나 층은 저각의 중규모 사층리로 주로 구성되어있으며(그림 6a), 사이에 많은 식물파편을 포함하는 흑색 탄질 이암이 협재한다. 산출된 식물화석들은 대부분 페름기에 번성하였던 종자고사리(seed fern)의 한 종류인 글로소프테리스류(glossopterids)의 잎화석들로 확인되었으며(그림 6b) 이를 통해 헬리웰 구릉지와는 다른 시기의 식물상이 있었음을 확인하였다.

프레이버그 산맥의 대부분은 윌스터레인에 속하지만, 동편은 란터만 단층대를 지나 바위스터레인까지 이른다. 니얼 산지(Neall Massif)는 란터만 단층대의 동편에 접하고 있으며, 바위스터레인의 몰라층

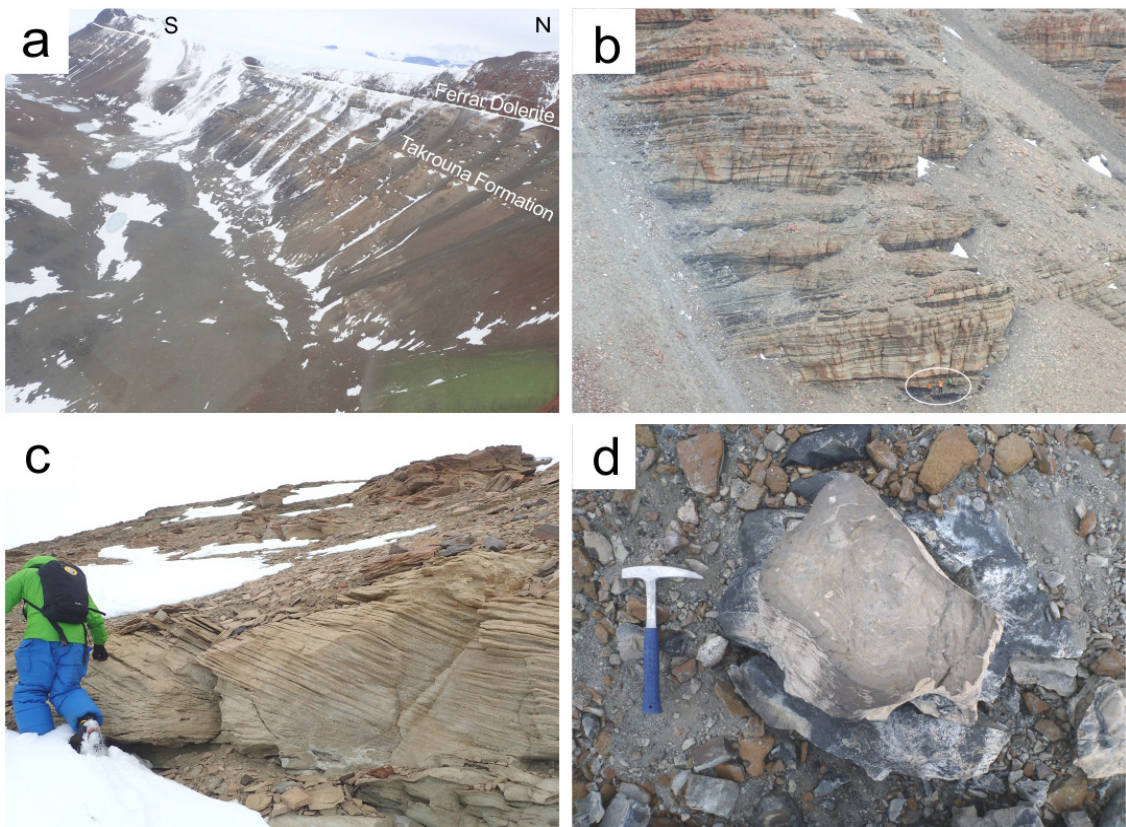


Fig. 5. Beacon Supergroup in the Morozumi Range (a-b) and Helliwell Hills (c-d). (a) Takrouna Formation in the southern part of the Morozumi Range. Cliff is ca. 250 m high. (b) Close up of the lower part of the cliff. This outcrop shows large-scale inclined strata which are typical of the Takrouna Formation. Note geologists for the scale. (c) Cross-stratified sandstone of the Takrouna Formation in the northern part of the Helliwell Hills. (d) A large trunk of the fossil wood which is supposed to be fossilized *in situ*. Hammer for scale is 33 cm long.

(Molar Formation)과 캠프릿지 규암(Camp Ridge Quartzite)으로 이루어진 기반암 위에 비콘누층군이 발달하며 다시 페라르 돌레라이트에 의해 잘려 상부경계는 확실치 않다. 이 지역의 비콘누층군은 어두운 색의 이암과 그 상부에 놓이는 밝은 색 석영질 사암으로 주로 구성되어 있다(그림 6c). 어두운 이암부분에서는 종종 잔자갈에서 거력 크기의 역이 모여 있는 부분이 나타나기도 한다(그림 6d), 이와 같은 특징과 약 70 km 북쪽에 발달하는 란터만 빙력암과의 층서적 대비를 바탕으로 석탄기 빙하와 관련된 퇴적체로 해석되었으며(Collinson *et al.*, 1986), 이것은 비공식적으로 니얼산지 빙력암(Neall Massif Tillite)으로 불린다. 상부의 석영질 사암은 택로우나

층으로 보고되었다(John, 2013).

3.4 메사 산맥(Mesa Range) 서편과 딥프리즈 산맥(Deep Freeze Range)

메사 산맥은 북빅토리아랜드 남부에 발달하는 캠프벨 빙하(Campbell Glacier)의 상류부터 시작되어 북쪽 방향으로 약 75 km 이상 연장되는 평정산으로, 표고차가 약 600-1,000 m에 이르며 전적으로 쥐라기 커크패트릭 현무암으로 이루어져 있다. 이 지역에는 더 오래된 비콘누층군이 산출되지 않아 남북방향 단층사이로 침강이 이루어진 그라벤 구조로 해석되고 있다(그림 3). 메사 산맥의 남쪽 말단부에서 아웃백 누나탁(Outback Nunataks)으로 연결되는 약

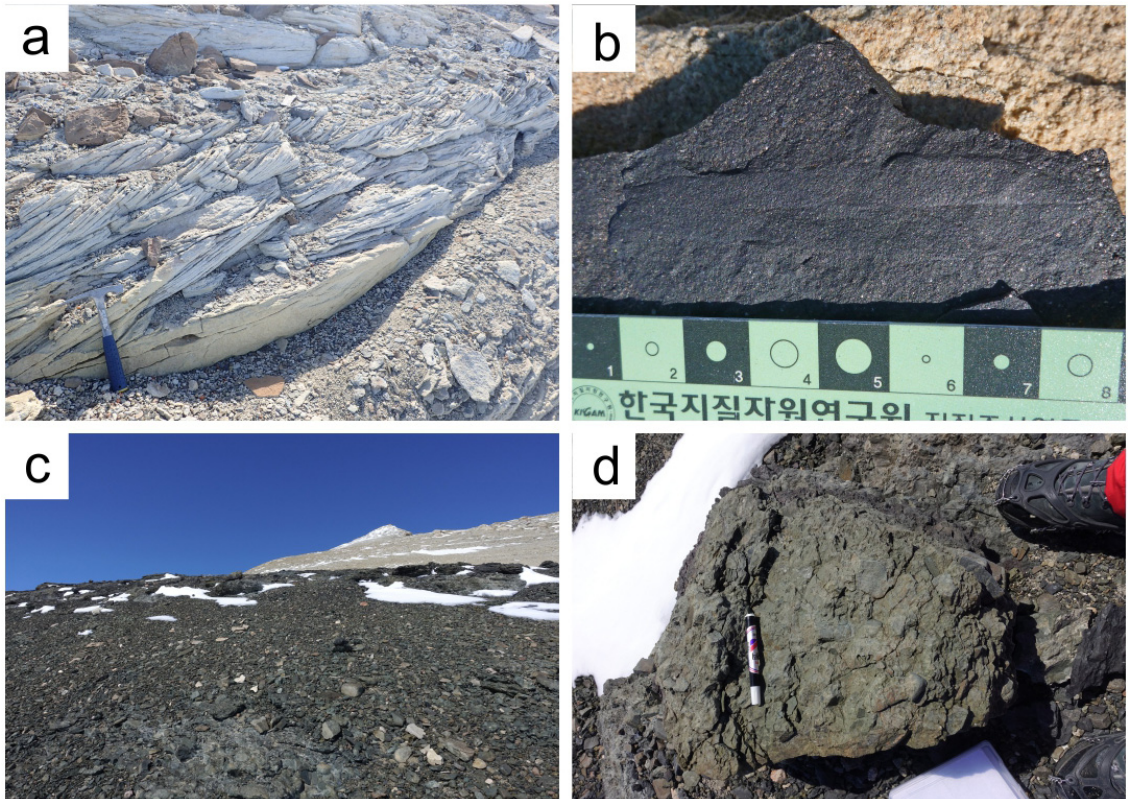


Fig. 6. Beacon Supergroup in the Freyberg Mountains. Takrouna Formation in the Mt. Monte Casino (a-b) and glacial deposit in the Neall Massif (c-d). (a) Trough cross-stratified sandstone of the Takrouna Formation. Hammer for scale is 28 cm long. (b) *Glossopteris* leaf fossil from a coaly mudstone bed of the Takrouna Formation. Scale in centimeter. (c) Sedimentary succession in the middle part of the southern ridge of the Neall Massif. Dark gray diamictite is reported as “Neall Massif Tillite” which abruptly changes to white sandstone of the Takrouna Formation. The peak in the photograph is ca. 100 m above the base of the photograph. (d) Detailed view of the dark-gray to greenish-gray diamictite consisting mostly of metamorphic clasts and less abundant granitic clasts. Pen for scale is 14 cm long.

120 km 구간에 존재하는 낮은 구릉지에는 윌슨테레인과 그레닛 하부 관입암체를 기반암으로 하는 비콘누층군이 드러나 있다. 하부경계는 기반암과의 부정합면으로 정의되지만 상부는 수평 관입한 페라르 돌레라이트에 의해 잘려있다(그림 7). 하부의 부정합면은 남쪽으로 연장되어 딥프리즈 산맥까지 이어진다. 딥프리즈 산맥은 동쪽의 캠벨 빙하와 서쪽의 프리슬리 빙하 사이에 발달한 고산지대로, 빙하에 의한 침식작용으로 매우 급한 사면으로 이루어져 있다. 산지의 낮은 부분은 윌슨테레인의 변성암과 관입암으로 이루어져 있으며, 해발 약 3,000 m 등고선을 따라 발달한 부정합면 위에 비콘누층군이 넓게 분포한다. 두께 약 100 m의 사암은 섹션피크층(Section Peak Formation)으로 정의 되었으며, 상위에 발달하는 응회암질 사암으로 구성된 퇴적층은 샤퍼피크층(Shafer Peak Formation)으로 구분되었다(그림 8; Shöner *et al.*, 2007). 기존의 섹션피크층에서 새롭게 구분된 샤퍼피크층에서는 다양한 식물화석들이 산출되었으며, 하부의 섹션피크층에서 산출되는 삼엽기 식물상과 달리, 주로 쥐라기에 번성했던 원소철류(Bennettitales)인 오토자미테스(*Otozamites*)와 자미테스(*Zamites*), 그리고 구과류의 잎화석들이 발견되어 그 퇴적시기가 쥐라기임이 확인되었다(그림 8e; Bomfleur *et al.*, 2011b). 샤퍼피크층은 샤퍼피크 등 주로 고지대에 제한적으로 나타난다.

3.5 아이젠하워 산맥(Eisenhower Range)

아이젠하워 산맥은 프리슬리 빙하의 서쪽의 험준한 산지와 이에 이어지는 평균 고도 약 2,500 m의 고원지대로 이루어져 있다. 프리슬리 빙하와 접하는

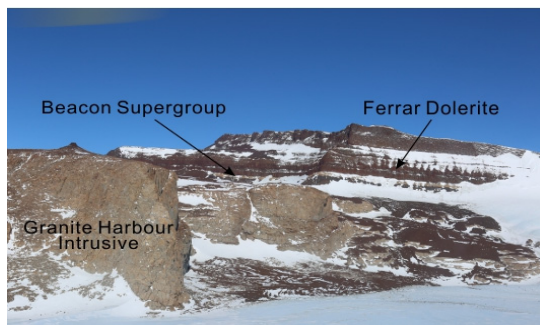


Fig. 7. Beacon Supergroup in the Lichen Hills, west of Mesa Range.

산맥의 동쪽 사면은 매우 경사가 급하며 빙하의 침식에 의해 횡적으로 연장이 좋은 노두들이 만들어져 있기도 하다. 정상부에서부터 연장되는 고원지대는 완만하게 남극 빙원으로 연결되며, 약간의 노출지가 존재한다. 전반적인 지질특성은 프리슬리 빙하 건너편의 딥프리즈 산맥과 유사하다(3.4. 참조). 윌슨테레인 변성암과 관입암으로 이루어진 기반암이 암체의 대부분을 차지하고, 약 2,200 m에서 2,700 m 고도에 발달한 부정합면 위에는 얇은 섹션피크층이 놓이며, 이는 대부분 페라르 돌레라이트 관입에 의해 잘려있다(그림 9). 프리슬리 빙하를 가로질러 샤퍼피크 맞은편에 위치하는 팀버피크(Timber Peak)에는 두께 약 50 m의 섹션피크층이 노출되어 있으며, 이름과 같이 많은 수의 목재화석이 산출된다. 목재화석은 단면의 최하부에 평평하게 노출된 층면에서 수평으로 누운 채 발견된다. 이는 화석의 기원이 타지성(allochthonous)임을 말해주지만 다수의 목재화석 직경이 약 15-50 cm 이상, 그리고 길이가 2 m 이상인 목재화석이 많이 발견되는 것으로 보아 그 생육 기원지에서 멀리 이동된 것으로는 여겨지지 않는다(그림 9b, 9c). 이들 목재화석의 대부분은 화석화 과정에서 압착변형되어 그 보존상태가 좋지 못해 정확한 분류군을 확인할 수 있는 해부학적 구조가 남아있지 않지만, 그 화석의 크기나 산출퇴적층의 지질시기를 고려해 보았을 때 대부분 나자식물(gymnosperm) 나무의 수간(trunk) 부위로 여겨진다. 이는 당시 팀버피크에 숲이 번성하였고, 대규모의 나자식물들이 이 숲의 상층림(canopy)을 이루고 있었음을 말해준다. 사면에는 작은 규모의 사층리가 발달한 사암과 괴상의 회색이질사암, 식물화석이 포함된 흑색 이암 등이 나타나지만 전반적인 보존상태가 불량하다.

고원부분에 남서-북동 방향으로 연장된 스킨너 능선(Skinner Ridge)은 대부분 페라르 돌레라이트로 이루어져 있으며 능선 중앙부에 하단과 상단이 모두 돌레라이트로 잘려있는 두께 약 50m의 섹션피크층이 노출되어있다(그림 11). 이 구간에는 하부에 이암과 이질 사암이 두껍게 발달하며, 이 사이에 발달하는 사암은 곡사층리와, 연흔사층리 구조를 잘 보인다. 두꺼운 사암층으로 이루어진 상부는 곡사층리 또는 평행층리를 보이는 사암과 괴상의 사암으로 이루어져 있다. 일부 괴상 사암은 하부에 많은 양의 이질 퇴적암 역과 함께 하부를 침식하는 특성을 보

인다. 이중 가장 상위에 나타나는 층의 층면이 넓게 노출된 평평한 지형에서 많은 목재화석들이 산출되었다. 이들은 대부분 종자고사리 목재화석으로 중생대 삼첩기 당시 곤드와나 대륙에 번성하였던 움코마시아류(Umkomasiaceae)의 키클로실론인 것이 확

인되었다(그림 10a, 10b; Oh *et al.*, 2016). 한 층면에 많은 양의 목재화석이 산출되며 이들이 대부분 누운 채 발견되는 것과, 강한 침식에 의해 형성된 이암 역할과 함께 나타나는 것으로 미루어 이들도 이동해와 퇴적된 타지성 화석으로 생각된다.

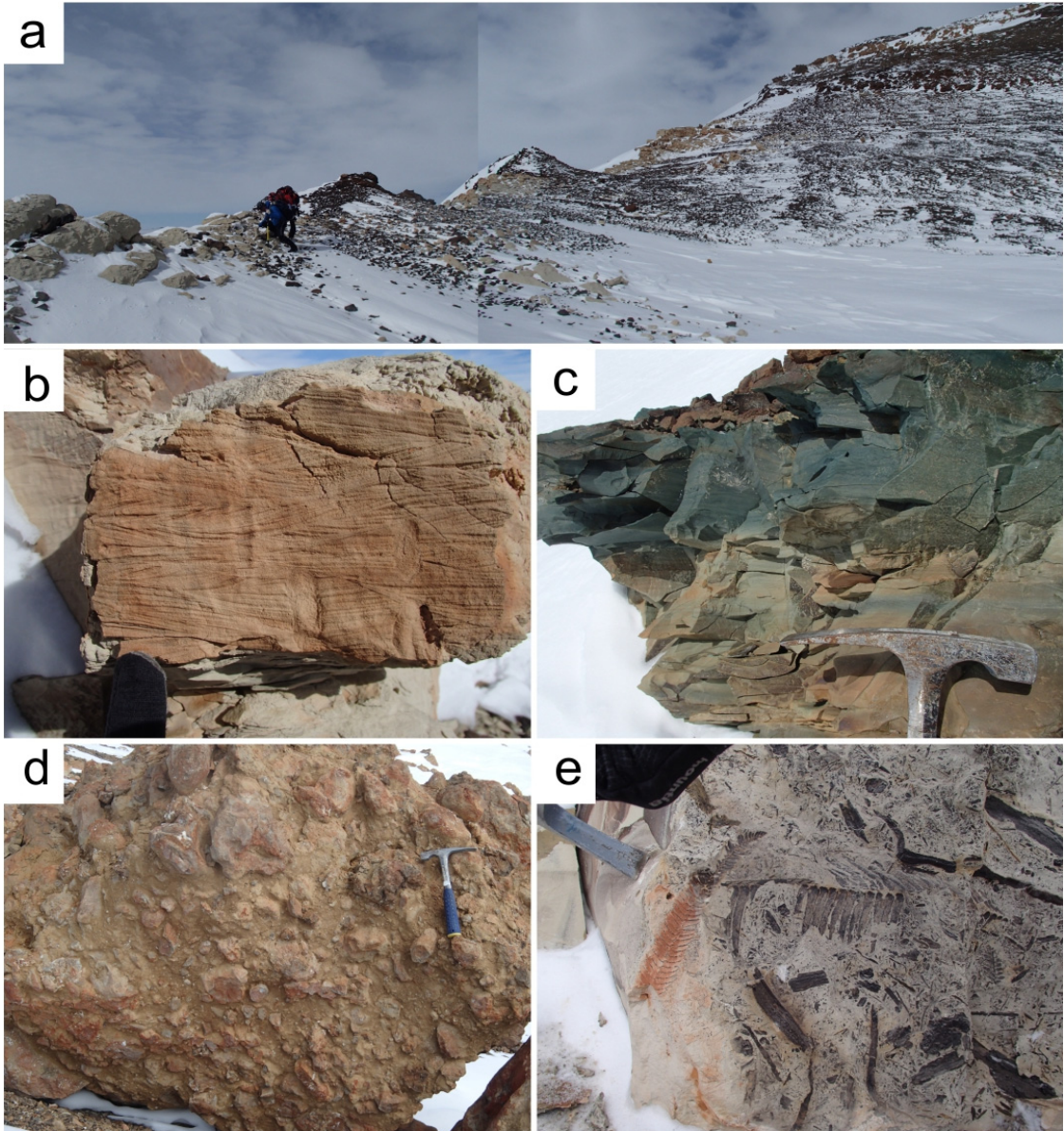


Fig. 8. Beacon Supergroup in the Shafer Peak, Deep Freeze Range. (a) Shafer Peak Formation near the top of the Shafer Peak (3600 m) which is one of the height peaks of northern Victoria Land. (b) Ripple cross-laminated sandstone. (c) Tuffaceous greenish mudstone. (d) Chaotic volcanoclastic breccia with dense igneous and sedimentary clasts of the Exposure Hill Type event. (e) Bennettitales leaf fossils including *Otozamites* and other plant fossils occurred from the Shafer Peak Formation.

4. 향후 연구 방향

4.1 북빅토리아랜드 비콘 누층군의 층서상 문제점

후기고생대 곤드와나 대륙의 남극과 호주 경계부에서 일어난 섭입작용과 관련된 심성암 및 화산암은 곤드와나 대륙의 분리과정에서 작은 판들로 나뉘어 현재는 남극반도(Antarctic Peninsula), 마리버드랜드(Marie Byrd Land) 등에 흩어져 있으며, 상당한 변성작용도 받았다(Elliot and Fleming, 2004). 이와 대조적으로 비교적 내륙 쪽에서 발달한 퇴적분지에서 형성된 비콘누층군은 변성변형 작용 없이 남극중단산맥을 따라 연속적으로 분포하고 있으며 그 연장은 호주까지 이른다(Fielding *et al.*, 2010). 당시 고환경을 지시하는 많은 퇴적기록과 화석기록을 잘 보존하고 있는 비콘누층군은 남극을 중심으로 한 곤드와

나 대륙의 역사를 이해하는데 중요하다. 특히 북빅토리아랜드는 연구가 상대적으로 많이 이루어진 남

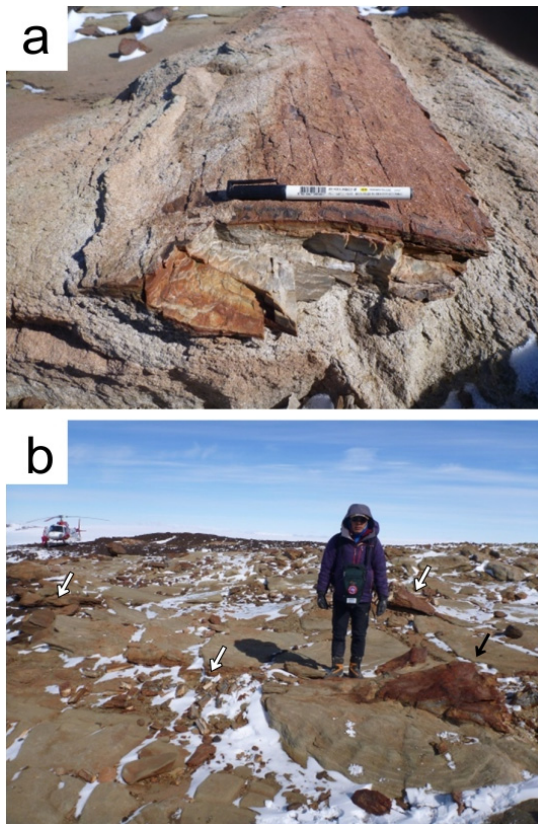


Fig. 9. Beacon Supergroup in the Timber Peak, Eisenhower Range. (a) Flattened and deformed fossil wood is embedded in sandstone. (b) A big tree trunk (black arrow) showing the swelled base of the tree. Note other fossil woods (white arrows).

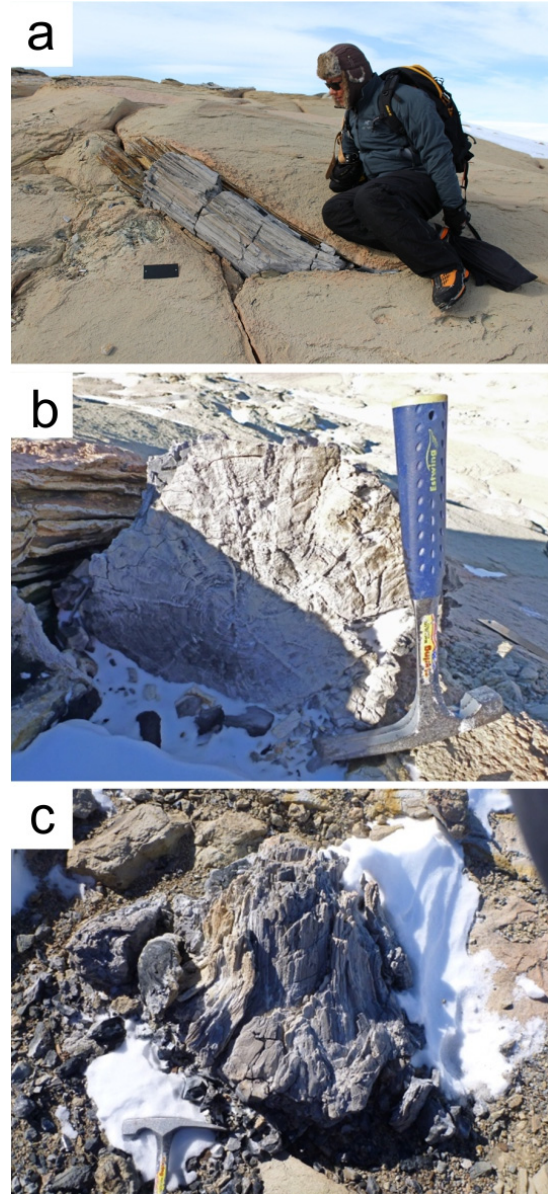


Fig. 10. Beacon Supergroup in the Skinner Ridge, Eisenhower Range. (a) A permineralized tree trunk declared as “Antarctic Geological Monument” by the Italian Antarctic Research Programme. (b) The cross section of the monument trunk showing unusual parenchymatous tissues in radial direction. Hammer for scale is 28 cm long. (c) Another tree stump (ca. 64 cm diameter) is exposed on bedding plane of sandstone. Hammer head for scale is ca. 16 cm.

빅토리아랜드와 호주 사이에 위치한 지리적 특성상 두 대륙을 연결하는 가교와 같은 역할을 한다. 하지만 그 연구가 미진하여 다양한 방향으로의 추가 연구가 필요하며, 이를 바탕으로 후기고생대-중생대 곤드와나 대륙 지체구조 및 고환경을 종합적으로 이해할 수 있는 자료를 확보하는 것이 중요하다.

앞서 살펴본 바와 같이 북빅토리아랜드 북부(란

터만 산맥, 모로주미 산맥과 헬리웰 구릉지, 프레이버그 산맥)와 남부(메사 산맥 서편과 딥프리즈 산맥, 아이젠하워 산맥) 비콘누층군의 산출양상은 매우 다르다. 북부는 기반암위의 침식면 위에 후기고생대 빙하퇴적암과 페름기 텍로우나층이 주로 산출되는 반면, 남부는 침식면 위에 삼첩기-쥐라기 층인 색션피크층이 바로 쌓이고 상위를 쥐라기 샤퍼피크층이 피

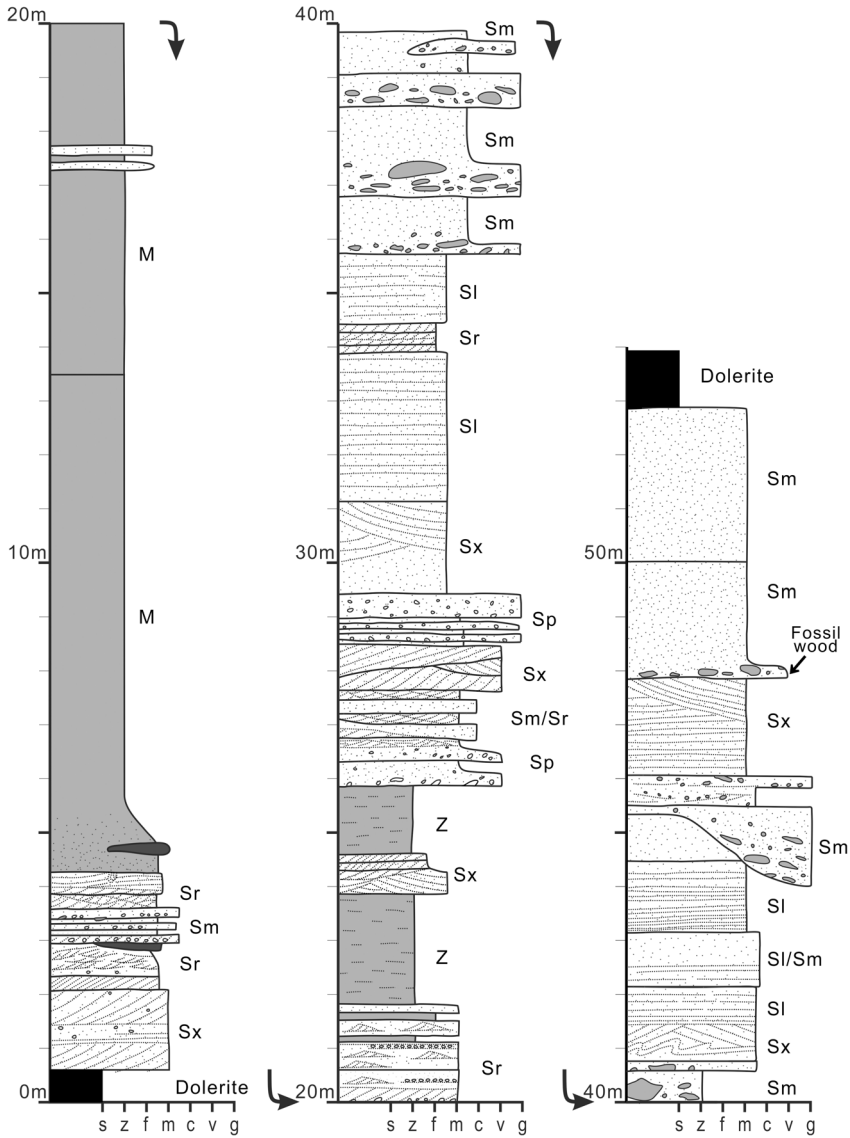


Fig. 11. Columnar description of the Section Peak Formation in the Skinner Ridge, Eisenhower Range. Abbreviation in the horizontal axis of the column: s=shale, z=siltstone, f=fine sandstone, m=medium sandstone, c=coarse sandstone, v=very coarse sandstone, g=gravel. Facies codes: Sx=cross-stratified sandstone, Sr=ripple cross-laminated sandstone, Sm=massive sandstone, M=mudstone, Sp=pebble bearing sandstone, SI=horizontally laminated sandstone.

복한다(그림 3). 이렇게 산출양상이 다를 뿐 아니라 지금까지 연구결과와 지질도 등에 의하면 텍로우나층과 섹션피크층의 접촉부는 관찰된 바 없다. 최근 헬리웰 구릉지의 텍로우나층 상부 사암의 암석학적 특성(상대적으로 높은 장식 함량, 쇄설성 석류석의 지화학 특성)이 섹션피크층과 유사하다는 연구결과(Elsner, 2010)와 새로 발견된 삼첩기 식물화석(Bomfleur and Mörs, 2016; Oh *et al.*, 2017)은 북부 북빅토리아랜드에 텍로우나층과 섹션피크층의 경계부가 존재할 가능성을 암시한다. 또한 아이젠하워 산맥 주변에 분포하는 비콘누층군 하부에서 분리해낸 페름기 화분분석 자료는 페름기 지층이 북빅토리아랜드 남부지역에도 존재할 가능성을 지시한다(Bomfleur *et al.*, 2014). 하지만 퇴적물의 재동에 의해 유입되었을 경우를 완전히 배제하지 못하므로 연구결과의 재현과 추가적인 퇴적학적 연구가 필요하다.

이와 같이 지역에 따라 판이하게 다른 층서와 발달양상을 보이는 것은 북빅토리아랜드에서 비콘누층군이 퇴적된 분지가 단순한 형태가 아니고 지역에 따라 기복이 있는 모습이었음을 지시한다. 이는 동시대 호주 남부 타즈마니아(Tasmania)에 발달하는 파르미너(Parmeener)누층군이 지구와 지루가 발달한 분지에서 퇴적되어 지역에 따라 층서가 상이한 것과 비교된다(Fielding *et al.*, 2010).

4.2 란터만 산맥과 니얼 산지의 빙하퇴적체

후기고생대 빙하퇴적체는 남반구 곤드와나 대륙에 걸쳐 잘 나타난다(Isbell *et al.*, 2003). 이중 남미와 호주에 분포하는 빙하퇴적체에 대한 연구에 의해 곤드와나 대륙내 빙하의 특성, 빙하 분포의 시간적 변화 등이 연구되어 왔다(Shi and Waterhouse, 2010; Montanez and Poulsen, 2013). 중부남극종단산맥과 남빅토리아랜드에 분포하는 빙하퇴적체로부터 남미와 호주 사이를 잇는 빙하의 발달에 대한 정보를 남극에서도 획득하여, 당시 곤드와나 대륙에 존재하던 남극 빙하에 대한 이해를 돕고 있다. 하지만 남극과 호주를 연결하는 지역인 북빅토리아랜드의 빙하퇴적체에 대한 연구가 미진한 점은 이지역 빙하의 지역적인 연결성도나 빙하 발달의 방향 등에 대한 불확실성의 원인이 되고 있다(Isbell *et al.*, 2008, 2012, 2013). 남극 다른 지역에 비해 북빅토리아랜드에 존재하는 빙하퇴적체가 제한적임을 감안하더라도, 알려져 있는

노두에 대한 정밀한 현장조사와 화분, 동위원소 분석을 통한 연대, 고환경 해석에 대한 새로운 접근 방법이 필요하다.

4.3 식물화석을 이용한 연대 측정 및 대비

중부남극종단산맥 주변과 남빅토리아랜드의 비콘누층군은 과거 30여년에 걸쳐 다양한 연구가 많이 진행되었다(Collinson *et al.*, 1994). 이는 해당지역의 비콘누층군이 실루리아기-데본기부터 퇴적이 시작되어 비교적 두껍고 천해와 호수, 하천 등 다양한 퇴적환경에서 형성되었기 때문이기도 하고, 부분적으로는 현장조사지역이 미국기지(McMurdo Station, USA)로부터의 접근성이 양호하기 때문이기도 하다. 이에 비해 북빅토리아랜드의 비콘누층군은 초기 층서정립시기(Collinson *et al.*, 1983) 이후에 상대적으로 연구가 여전히 미진하다. 그 원인 중 하나로 퇴적층 대비의 어려움을 꼽을 수 있다. 북빅토리아랜드의 비콘누층군은 페라르층군의 페라르 돌레라이트의 수평관입으로 인해 퇴적층의 변형이 심한 편이며, 다른 지역과 다르게 고생대 퇴적층이 없거나 매우 얇기 때문에 전체적인 두께가 얇아 돌레라이트 관입에 의한 층의 단절이 층의 연속적인 파악을 어렵게 하며, 또한 횡적인 대비도 매우 어렵게 한다. 그리고 퇴적상의 횡적변화가 심한 하성퇴적환경에서 주로 형성되었기 때문에, 퇴적상을 바탕으로 대비하는 데에도 한계가 있다. 반면 비콘누층군에서 비교적 풍부하게 산출되는 식물화석등을 이용한 층의 대비 방법은 이와 같은 어려움을 극복 및 보완할 수 있는 중요한 열쇠가 될 수 있을 것이다. 앞서 헬리웰 구릉지와 아이젠하워 산맥의 경우처럼 기존에 알려진 퇴적연대와 일치하지 않는 식물 화석 산출과 같은 경우(Bomfleur *et al.*, 2014; Bomfleur and Mörs, 2016; Oh *et al.*, 2017)가 좋은 예라 할 수 있을 것이며, 다른 한편으로 이는 향후 북빅토리아랜드 지역의 보다 상세한 조사와 화석에 대한 동정을 이용한 연대확인이 여전히 필요하다는 것을 말해주는 것이다. 또한 횡적인 층의 대비를 위해 보다 세밀한 시대 구분이 가능한 화분을 이용한 연대 측정과 대비 역시 필수적으로 이루어져야 한다. 이런 기본적인 연대를 바탕으로 광역적인 층서 연구 및 쇄설성 저어콘의 연대 분포 변화 등을 통해 퇴적환경의 시간적 공간적 변화를 복원하는 연구가 수행되어야 한다.

5. 결 론

남극 장보고기지가 위치하는 북빅토리아랜드 지역에는 고생대 데본기-중생대 쥐라기 시기에 해당하는 비콘누층군이 광범위하게 분포한다. 최근 극지연구소를 중심으로 북빅토리아랜드의 모로주미 산맥, 헬리웰 구릉지, 프레이버그 산맥, 메사 산맥, 딥프리즈 산맥, 아이젠하워 산맥 등에서 수행된 현장지질 조사에 따르면 비콘누층군의 분포가 새롭게 확인되었으며, 새로운 식물화석 산출에 따른 시대 규명 등이 이루어졌다. 하지만 비콘누층군은 분포 지역이 광범위하고 형성시기가 매우 오랜 기간에 걸쳐있기에, 앞으로 보다 상세한 현장 지질 조사가 중장기 계획을 통하여 수행되어야 할 것이다. 비콘누층군에 대한 연대 및 퇴적학, 층서고생물 기반의 고환경 복원 등을 통해 남극과 호주를 포함한 과거 곤드와나대륙의 고태평양쪽 경계부의 지질 진화 과정 규명에 기여할 수 있을 것이다.

사 사

이 논문을 상세히 읽고 건설적인 제안을 해준 이정현교수와 익명의 심사자에게 감사한다. 또한 빅토리아랜드 비콘누층군의 현장조사에 동행한 극지연구소 박태운, 김영환, 김지훈과 남극안전요원 유한규, 김명환, 김관재, 이민호, 서명호에게도 감사의 말을 전한다. 본 연구는 극지연구소에서 수행하는 해양수산부 R&D사업 “남극 빅토리아랜드의 지각진화 및 형성형성과정 연구(과제번호 PM17030)”의 지원을 받았다.

REFERENCES

- Baroni, C. and Fasano, F., 2006, Micromorphological evidence of warm-based glacier deposition from the Ricker Hills Tillite (Victoria Land, Antarctica). *Quaternary Science Review*, 25, 976-992.
- Baroni, C., Fasano, F., Giorgetti, G., Salvatore, M.C. and Ribecai, C., 2008, The Ricker Hills Tillite provides evidence of Oligocene warm-based glaciation in Victoria Land, Antarctica. *Global and Planetary Change*, 60, 457-470.
- Bomfleur, B. and Mörs, T., 2016, New plant-fossil sites in the Victoria Group (Permian-Jurassic) in the far North of Victoria Land, East Antarctica. 2016 X International Organisation of Palaeobotany Conference (Abstracts), Salvador, Brazil, 220.
- Bomfleur, B., Pott, C. and Kerp, H., 2011a, Plant assemblages from the Shafer Peak Formation (Lower Jurassic), north Victoria Land, Transantarctic Mountains. *Antarctic Science*, 23, 188-208.
- Bomfleur, B., Schneider, J.W., Schöner, R., Viereck-Götte, L. and Kerp, H., 2011b, Fossil sites in the continental Victoria and Ferrar groups (Triassic-Jurassic) of North Victoria Land, Antarctica. *Polarforschung*, 80, 88-99.
- Bomfleur, B., Schöner, R., John, N., Schneider, J.W., Elsner, M., Viereck-Goette, L., Kerp, H., 2014, New Palaeozoic deposits of the Victoria Group in the Eisenhower Range, northern Victoria Land, Antarctica. *Antarctic Science*, 26, 277-278.
- Bradshaw, J., Weaver, S. and Laird, M. 1985, Suspect terranes in north Victoria Land, Antarctica. In Howell, D.G. ed. *Tectono-Stratigraphic Terranes of the Circum-Pacific Region*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences Series, 1, 467-479.
- Bradshaw, M., 2013, The Taylor Group (Beacon Supergroup): the Devonian sediments of Antarctica. *Geological Society, London, Special Publications*, 381, 67-97.
- Collinson, J.W. and Kemp, N.R., 1983, Permian-Triassic sedimentary sequence in northern Victoria Land. In: Oliver, R.L., James, P.R., Jago, J.B. (Eds.), *Antarctic Earth Sciences*, Cambridge University Press, 221-225.
- Collinson, J.W., Elliot, D.H., Isbell, J.L. and Miller, J.M.G., 1994, Permian-Triassic Transantarctic Basin. In: Veevers, J.J. and Powell, C. McA. (Eds.), *Permian-Triassic Pangaeon Basins and Foldbelts along the Panthalassan margin of Gondwanaland*. Geological Society of America, Memoir 184, Boulder, Colorado, 173-222.
- Collinson, J.W., Pennington, D.C. and Kemp, N.R., 1986, Stratigraphy and petrology of Permian and Triassic fluvial deposits in Northern Victoria Land, Antarctica. *Antarctic Research*, 46, 211-242.
- Cornamusini, G., Talarico, F.M., Cirilli, S., Spina, A., Olivetti, V. and Woo, J., 2017, Upper Paleozoic glacial deposits of Gondwana: Stratigraphy and paleoenvironmental significance of a tillite succession in Northern Victoria Land (Antarctica). *Sedimentary Geology*, 358, 51-69.
- Elliot, D.H. and Fanning, C.M., 2008, Detrital zircons from upper Permian and lower Triassic Victoria Group sandstones, Shackleton Glacier region, Antarctica: Evidence for multiple sources along the Gondwana plate margin. *Gondwana Research*, 13, 259-274.
- Elliot, D.H. and Fleming, T.H., 2004, Occurrence and dispersal of magmas in the Jurassic Ferrar Large Igneous

- Province, Antarctica. *Gondwana Research*, 7, 223-237.
- Escapa, I.H., Taylor, E.L., Cúneo, R., Bomfleur, B., Bergene, J., Serbet, R. and Taylor, T.N., 2011, Triassic floras of Antarctica: plant diversity and distribution in high paleolatitudes communities. *PALAIOS*, 26, 522-544.
- Federico, L., Crispini, L., Capponi, G. and Bradshaw, J.D., 2009, The Cambrian Ross Orogeny in northern Victoria Land (Antarctica) and New Zealand: A synthesis. *Gondwana Research*, 15, 188-196.
- Fielding, C.R., Frank, T.D., Isbell, J.L., Henry, L.C. and Domack, E.W., 2010, Stratigraphic signature of the late Paleozoic Ice Age in the Paemeneer Supergroup of Tasmania, SE Australia, and inter-regional comparisons. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 298, 70-90.
- Gevers, T.W., Frakes, L.A., Edwards, L.N. and Marzolf, J.E., 1971, Trace fossils in the Lower Beacon Sediments (Devonian), Darwin Mountains, Southern Victoria Land, Antarctica. *Journal of Paleontology*, 45, 81-94.
- Isbell, J.L., 1999, The Kukri Erosion Surface: a reassessment of its relationship to the rocks of the Beacon Supergroup in the central Transantarctic Mountains, Antarctica. *Antarctic Science*, 11, 228-238.
- Isbell, J.L., Henry, L.C., Gulbranson, E.L., Limarino, C.O., Fraiser, M.L., Koch, Z.J., Ciccioli, P.L., Dineen, A.A., 2012, Glacial paradoxes during the late Paleozoic ice age: evaluating the equilibrium line altitude as a control on glaciation. *Gondwana Research*, 22(1), 1-19.
- Isbell, J.L., Henry, L.C., Reid, C.M. and Fraiser, M.L., 2013, Sedimentology and palaeoecology of limestones-bearing mixed clastic rocks and cold-water carbonates of the Lower Permian Basal Beds at Fossil Cliffs, Maria Island, Tasmania (Australia): Insight into the initial decline of the late Paleozoic ice age. *Geological Society of London Special Publications*, 376(1), 307-341.
- Isbell, J.L., Koch, Z.J., Szablewski, G.M. and Lenaker, P.A., 2008, Permian glacial deposits in the Transantarctic Mountains, Antarctica. In: Fielding, C.R., Frank, T.D., Isbell, J.L. (Eds.), *Resolving the late Paleozoic ice age in time and space*. Geological Society of America Special Paper, 441, pp. 59-70.
- John, N., 2013, Sedimentology and composition of the Takrouna Formation, northern Victoria Land, Antarctica-provenance and depositional evolution of a Permian Gondwana basin. unpublished PhD thesis, 256 pp.
- Läufer, A.L., Lisker, F. and Phillips, G., 2011, Late Ross-orogenic deformation of basement rocks in the northern Deep Freeze Range, Victoria Land, Antarctica: the Lichen Hills Shear Zone. *Polarforschung*, 80, 60-70.
- Lisker, F., 2002, Review of fission track studies in northern Victoria Land, Antarctica-passive margin evolution versus uplift of the Transantarctic Mountains. *Tectonophysics*, 349, 57-73.
- Lisker, F. and Läufer, A.L., 2013, The mesozoic Victoria Basin: Vanished link between Antarctica and Australia. *Geology*, 41, 1043-1046.
- McKelvey, B.C., Webb, P.N., Gorton, M.P. and Kohn, B.P., 1970, Stratigraphy of the Beacon Supergroup between the Olympus and Boomerang Ranger, Victoria Land, Antarctica. *Nature*, 227, 1126-1128.
- Montañez, I.P. and Poulsen, C.J., 2013, The Late Paleozoic Ice Age: an evolving paradigm. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41, 629-656.
- Oh, C., Park, T.-Y.S., Woo, J., Bomfleur, B., Philippe, M., Decombeix, A.-L., Kim, Y.-H.G. and Lee, J.I., 2016, Triassic *Kykloxylon* wood (Umkomasiaceae, Gymnosperms) from Skinner Ridge, northern Victoria Land, East Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 233, 104-114.
- Oh, C., Woo, J., Park, T.-Y.S., Kim, Y.-H.G., Khim, G.H., Kim, T.H., Lee, J.I. and Choe, M.Y., 2017, Fossil wood from Helliwell Hills in northern Victoria Land, Antarctica and discussion for their occurred deposit. 2017 Joint Conference of the Geological Science and Technology of Korea (Abstracts), Gyeongju, 213 (in Korean).
- Ricci, C.A., Talarico, F. and Palmeri, R., 1997, Tectonothermal evolution of the antarctic paleopacific margin of Gondwana: a northern Victoria Land perspective. In: Ricci, C.A. (eds.), *The Antarctic Region, Geological Evolution and Processes*, Terra Antarctica Publication, Siena, 293-296.
- Ricci, C.A., Talarico, F., Palmieri, R., Di Vincenzo, G. and Pertusati, P.C., 1996, Eclogite at the Antarctic paleo-Pacific active margin of Gondwana (Lanternman Range, Northern Victoria Land, Antarctica). *Antarctic Science*, 8, 277-280.
- Roland, N.W. and Tessensohn, F., 1987, Rennick faulting: an early phase of Ross Sea rifting. *Geol. Jb.* B66, 203-229.
- Schöner, R., Viereck-Goette, L., Schneider, J. and Bomfleur, B., 2007, Triassic-Jurassic sediments and multiple volcanic events in North Victoria Land, Antarctica: A revised stratigraphic model. U.S. Geological Survey and the National Academies, USGS OF-2007-1047, Short Research Paper, 102.
- Shi, G.R. and Waterhouse, J.B., 2010, Late Paleozoic global changes affecting high-latitude environments and biotas: an introduction. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 298, 1-16.
- Strasky, S., Di Nicola, L., Baroni, C., Salvatore, M.C., Baur, H., Kubik, P.W., Schlüchter, C. and Wieler, R., 2009, *Antarctic Science*, 21, 59-69.
- Tessensohn, F. and Henjes-Kunst, F., 2005, northern Victoria

- Land terranes, Antarctica: far-travelled or local products. In: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. and Pankhurst, R.J. (Eds.), *Terrane Processes at the Margins of Gondwana*. Geological Society, London, Special Publications, 246, 275-292.
- Turner, S. and Young, G.C., 1992, Thelodont scales from the Middle-Late Devonian Aztec Siltstone, southern Victoria Land, Antarctica. *Antarctic Science*, 4, 89-105.
- Weaver, S.D., Bradshaw, J.D. and Laird, M.G., 1984, Geochemistry of Cambrian volcanism in northern Victoria Land, Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 68, 128-140.
- Woo, J., Park, T.-Y., Lee, J.I., Lee, M.J., Kim, T.H., Kim, Y.H. and Choe, M.Y., 2013, Geological history and stratigraphy of northern Victoria Land, *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 165-179 (in Korean with English abstract).

Received : June 29, 2017

Revised : August 30, 2017

Accepted : August 30, 2017