

<Technical Report> 남서 그린란드의 중생대 카보나타이트 복합체

박병권* · 이종익 · 이미정
한국해양과학기술원 부설 극지연구소

요 약

그린란드 남서부 티키우사크(Tikusaaq) 카보나타이트 복합체와 퀘커르삭(Qaqarssuk) 카보나타이트 복합체가 산출되는 지역을 2주간 야외조사 한 결과와 대표적인 시료에 대한 암석기재학적 관찰을 통해 얻은 결과에 대해 보고하고자 한다. 티키우사크 카보나타이트 복합체내의 방해석 카보나타이트는 희토류원소를 다량 포함하는 스트론티아나이트와 앤시라이트 탄산염광물을 배태한다. 주사전자현미경에 부착된 X-선 분광 분석결과 스트론티아나이트에서는 세륨이, 앤시라이트에서는 란탄, 세륨, 네오디뮴이 상당량 검출되었다. 퀘커르삭 카보나타이트에서는 희토류탄산염 광물 대신 바륨을 함유한 다양한 광물이 산출된다. 희유금속광물로는 파이로클로어(pyrochlore)가 산출되며 시추결과에 의하면 평균 0.5 wt% Nb₂O₃ 함량을 보이는 파이로클로어 광석이 약 400만톤 정도 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 퀘커르삭 카보나타이트에서는 인회석, 희토류 탄산염광물은 부구성광물로 산출되고, 방해석과 동반되는 칼슘-바륨 탄산염광물(barytocalcite, CaBa(CO₃)₂)이 주구성 광물로 산출된다. 이 칼슘-바륨 탄산염광물은 중정석(barite)과 바륨-스트론튬 탄산염광물과 공존하는 특징을 보인다.

주요어: 그린란드, 티키우사크, 퀘커르삭, 카보나타이트 복합체, 희토류광물

Byong-Kwon Park, Jong Ik Lee and Mi Jung Lee, 2013, Mesozoic carbonatite complexes in Greenland. Journal of the Geological Society of Korea. v. 49, no. 4, p. 527-535

ABSTRACT: We report the results of the petrographic observations for the representative samples obtained during the field trip at the southwestern part of Greenland. The Tikusaaq carbonatite complex contains REE carbonate minerals in calcite carbonatites. The representative REE carbonate minerals are strontianite (SrCO₃) and ancylite (SrCe(CO₃)₂(OH)H₂O). Strontianite contains Ce and ancylite contains considerable amounts of La, Ce, Nd, respectively. Several Ba-bearing minerals occur in the Qaqarssuk carbonatite complex instead REE carbonates. The complex contains about 4 million tons pyrochlore ores (0.5 wt% Nb₂O₃). Ba-carbonate (Barytocalcite, CaBa(CO₃)₂) occurs as a major carbonate mineral and coexists with barite and Ba-Sr carbonatite. In contrast, apatite and REE carbonates occur as minor constituent minerals.

Key words: Greenland, Tikusaaq, Qaqarssuk, carbonatite complex, REE minerals

(Byong-Kwon Park, Jong Ik Lee and Mi Jung Lee, Korea Polar Research Institute (KOPRI), 26 songdomirae-ro, Yeosu-Gu, Incheon 406-840, Korea)

1. 서 론

총면적 2,000,000 km² 중 약 80%가 얼음에 덮여 있는 북극권에서 가장 큰 섬인 그린란드는 지질학자들에게는 지구 진화 연구의 최적지로 알려져 있다. 해안가에 노출된 면적(400,000 km²)은 한반도 보다 넓

은 지역으로 전 지질시대(선캠브리아기부터 신생대까지)의 다양한 지층이 광범위하게 노출되어 있다. 특히 수도 늑(Nuuk) 부근 이수아(Isua) 지역은 지구상의 최고기 암석(38억년 이전)이 노출되어 있어 지질학적으로 가장 연구가치가 높은 지역 중의 하나이다. 빙하가 녹은 해안에는 다양한 금속, 비금속 광상

* Corresponding author: +82-32-770-8435, E-mail: bkpark@kopri.re.kr

이 발달되어 있고(그림 1) 최근에는 선진국과 공동 개발 프로젝트가 활발하게 진행되고 있다. 특히 개발이 비교적 수월한 수도 녹 근처에는 킴벌라이트와 카보나타이트복합체에 고품위 희토류 광상, 금 광상, 감람석 광상, 다이아몬드 광상 등이 발달되어 있다. 킴벌라이트, 텀프로파이어, 카보나타이트 등은 탄산염과 규산염 혼합 마그마로부터 만들어지며, 이러한 '초염기성 알칼리암 복합체'는 지구상에 분포하는 다른 화성암체와 비교해 양적으로는 매우 미미하다. 그러나 시기적으로 선캠브리아시대 부터 현생까지 다양한 시기에 형성되었으며, 암석권 맨틀에서 발생하는 독특한 마그마 성분(다량의 탄산염 마그마 포함)을 갖고 있다. 특히 킴벌라이트는 천연의 다이아몬드를 함유하는 암석으로 다이아몬드 이외에도 깊은 맨틀로부터 유래한 석류석, 휘석, 크로마이트, 티탄철석 등을 함유하고 있어 맨틀의 물리화학적 특성을 연구하는데 중요한 열쇠를 제공한다. 이 화성암체는 맥암이나 화산 원추구 형태로 지표에 분출하거나, 복합체를 형성하면서 지하에 침성암체로 배태된다. 초염기성 알칼리암 복합체 중 탄산염 광물을 가장 많이 포함하고 있는 카보나타이트는 니오븀,

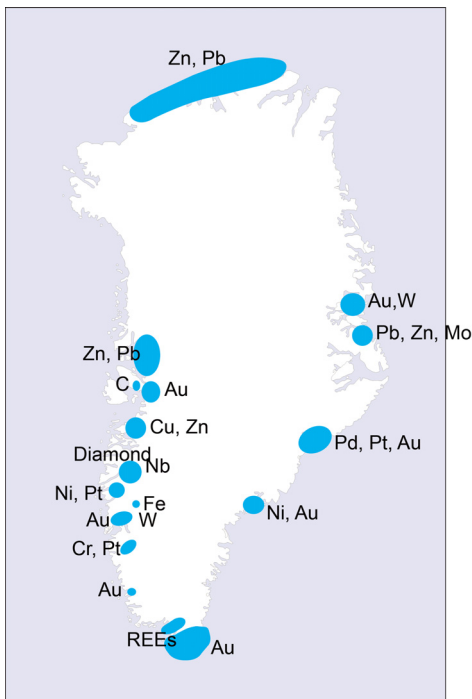


Fig. 1. Mineral occurrences in Greenland.

탄탈륨, 희토류원소, 인산염, 철, 우라늄, 토륨, 지르코늄 등 경제적으로 매우 유용한 광물을 다량 함유하고 있어 자원경제학적으로도 매우 중요한 암석이다.

남서 그린란드에는 선캠브리아기 초기 시생대의 기반암을 관입 분출하고 있는 많은 초염기성 알칼리암 복합체가 발달하고 있으며, 이들의 형성시기는 시생대부터 신생대까지 매우 다양하다(그림 2). 이 중 가장 규모도 크고 노출상태도 양호한 가다(Gardar) 지역의 화산암 지대는 이미 1800년대에 발견되어 많

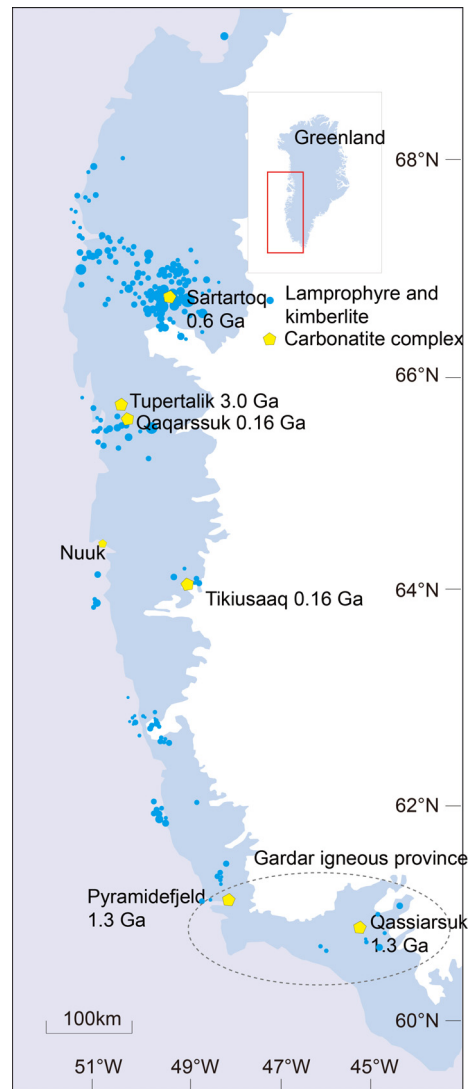


Fig. 2. Distribution of carbonatite occurrences and intrusive ages in southwestern Greenland. Blue spots are occurrences of carbonatite-related lamprophyres and kimberlites.

은 연구가 진행되었다. 그러나 많은 암맥을 동반하는 소규모의 복합체들은 기반암보다는 풍화에 약하고, 수목이 발달한 저지대에서 주로 산출되기 때문에 본격적인 지질조사와 탐광조사에 의해 점차 발견되고 있다. 특히 20세기 후반 들어 항공기를 이용한 감마스펙트럼 탐사에 의해 새로운 카보나타이트 복합체가 속속 발견되고 있는데, 이 중 대표적인 것이 사파톡(Sarfartoq) 복합체이다(Secher, 1986).

최근 지질학적 관심과 희토류자원 개발 가능성이 대두되고 있는 남서 그린란드의 카보나타이트 복합체에 대한 산출상태와 구성광물 특성을 이해하고자 2011년 8월 현장조사를 실시하였으며 두 개의 복합체(티키우사크와 퀘커르삭)에 대한 지질조사와 대표적인 암석시료를 채취하였다. 이 보고에서는 이들 카보나타이트 복합체에 대한 야외 산출상태와 주요 암석의 광물기재 특성에 관해 기술하였다.

2. 티키우사크(Tikiusaaq) 카보나타이트 복합체

티키우사크 카보나타이트 복합체는 가장 최근에 발견된 새로운 암체이다. 수도 늑(Nuuk)에서 동쪽으로 약 100 km 지점에 위치한 이 암체는 2005년 항공자력 탐사와 하천퇴적물의 지구화학 분석 결과 기존에 잘 알려진 퀘커르삭 복합체(Knudsen, 1991)와 유사한 카보나타이트로 구성된 것으로 밝혀졌다(Steenfelt *et al.*, 2006; 그림 3).

남서 그린란드의 항공자력도에서 작지만 강한 자기 이상이 발견되었는데, 이는 하천퇴적물에 많은 자철석이 함유되어있는 야외조사 결과와도 잘 일치한다. 북위 64°, 서경 49°46'을 중심으로 발달한 이 암체는 현장 탐사 결과 현생 퇴적층을 절단하는 절벽에서 괴상의 카보나타이트가 산출되는 것으로 조사되었다(그림 3).

현장조사에 의하면 화강암, 섬록암, 각섬암, 사장암 등으로 구성된 시생대 기반암을 관입하고 있는 이 암체의 표면 면적은 100 km² 정도로 생각된다. 중심부에서는 수 m 두께의 괴상 카보나타이트가 기반암을 거의 수직으로 관입하고 있으며, 주변 기반암은 변질을 많이 받고 있다. 중심부에서 멀어질수록 카보나타이트 두께는 매우 작아진다. 현재까지 지질도가 완성되지 않았지만 중심부의 직경은 약 1-2 km 정도로 생각된다. 분리한 저어콘을 LA-ICPMS를 이용해 U-Pb 법으로 측정된 연대는 158 ± 2 Ma로 후기

중생대에 관입한 것으로 해석된다(Frei *et al.*, 2006). 이 연대는 퀘커르삭 복합체의 연대(173 Ma; Larsen and Rex, 1992)와 유사한 것으로 해석되지만, 이 지역에 새롭게 발견되는 카보나타이트 복합체의 관입시기를 규명하기 위해서는 보다 체계적인 연대측정이 수행되어야 한다. 초기 현장조사에서는 두 종류의 카보나타이트, 즉 거의 백색의 방해석 카보나타이트와 회갈색의 돌로마이트 카보나타이트가 발견되었지만, 이번 현장조사에서는 돌로마이트 카보나타이트는 확인할 수 없었다.

티키우사크 카보나타이트 복합체 중심부의 절벽 지대에서 관찰된 카보나타이트(T01-1, N63°59.382', W49°45.284')는 방해석과 인회석, 금운모가 주성분 광물로 산출된다. 이번 야외 조사에서는 카보나타이트 마그마의 분화초기에 형성되는 감람석을 함유한 카보나타이트는 발견되지 않았다. 또 분화후기 마그마로부터 생성되는 돌로마이트 또는 앵커라이트 카보나타이트도 발견 되지 않았다. 수직방향으로 발달하는 3-4 m 두께의 카보나타이트는 현미경 관찰에 의하면 관입방향으로 광물이 신장되어 있으며, 중립질 부분과 세립질 부분의 경계가 비교적 뚜렷하다(그림 4). 방해석은 입자의 크기가 매우 균질하지 않고, 대부분이 변질을 받았다. 자형 또는 반자형으로 산출되는 금운모는 중심부와 주변부의 조성차이가 현미경 상에서도 잘 관찰되는 점으로 보아 마그마 상태에서 결정화 된 것으로 생각된다. 관입 방향으로 배열된 특징을 잘 나타낸다. 방해석과 금운모보다는 세립질의 인회석은 반자형 상태로 산출되는 것



Fig. 3. Field survey at the center of the Tikiusaaq carbonatite complex. Several meter sized carbonatite bodies and amphibolite basement are repeatedly faced in vertical direction.

이 우세하며, 역시 관입방향으로 배열되어 있다. 현미경 상에서 자철석의 산출빈도는 그리 많지 않다.

티키우사크 카보나타이트 복합체 중심부의 절벽 지대에서 관찰된 카보나타이트와 수직방향으로 반복되어 나타나는 흑녹색의 기반암은 중립질의 각섬암(T01-2, N63°59.382', W49°45.284')이 주를 이룬다. 각섬석과 사장석으로 구성되어 있는 이 각섬암은 사장석과 각섬석이 우세한 부분에 엽리가 형성되어 있다(그림 5). 각섬석과 사장석 모두 반자형 또는 타형의 중립질 광물로 산출되는데, 변형에 의해 사장석이 파쇄되거나 세립화 되어있다. 일부 각섬석은 뚜렷한 누대구조를 보이지만, 많은 각섬석이 변질 또는 후퇴 변성작용을 받아 이차광물인 녹니석으로 변해 있다.

티키우사크 카보나타이트 복합체 주변에는 변형, 변질이 심한 페나이트 지대가 발달하는데, 하천이 새롭게 시작하는 절벽지대에서 노두가 잘 발달한다(그림 6). 이 페나이트 지대의 대표적인 암상은 세립질 화강암

질 편마암(T02-1, N63°58.409', W49°42.163')으로, 변형이 심해 흑운모는 엽리방향으로 신장되어 있고, 석영과 장석은 파쇄되어 엽리방향으로 배열되어 있다(그림 7). 특별한 희토류광물은 관찰되지 않는다.

티키우사크 카보나타이트 복합체 주변의 페나이트 지대에서는 소규모의 카보나타이트 각력암과 페나이트(T03-1, N64°00.296', W49°46.780')가 혼재되어 산출된다. 이 페나이트는 전형적인 카보나타이트 복합체의 주변부에서 산출되는 알바이트화된 사장석으로 구성되는 페나이트와 유사하다(그림 8). 현미경 관찰에 의하면 이 페나이트는 알바이트화된 사장석이 대부분을 차지하고, 일부 유색광물로 구성되어 있다. 유색광물은 각섬석이 우세한데, 일부는 녹니석으로 변질되어 있고, 엽리방향으로 배열하고 있다. 사장석은 알바이트 쌍정을 보이고, 타형의 등립질 입상조직을 잘 나타낸다. 주변에서 산출되는 기반암의 특성으로부터 이 페나이트는 사장석이 풍부한 각섬암

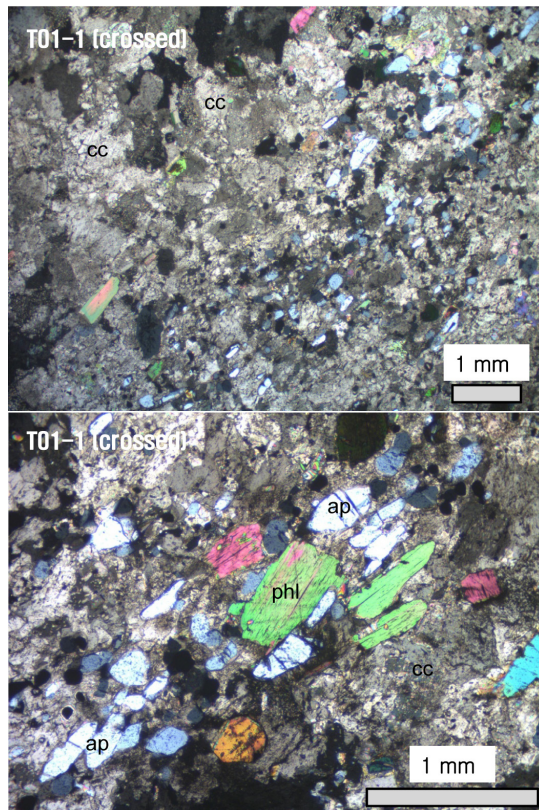


Fig. 4. Microphotographs of the Tikiusaaq carbonatites. Mineral abbreviations are: cc, calcite; phl, phlogopite; ap, apatite.

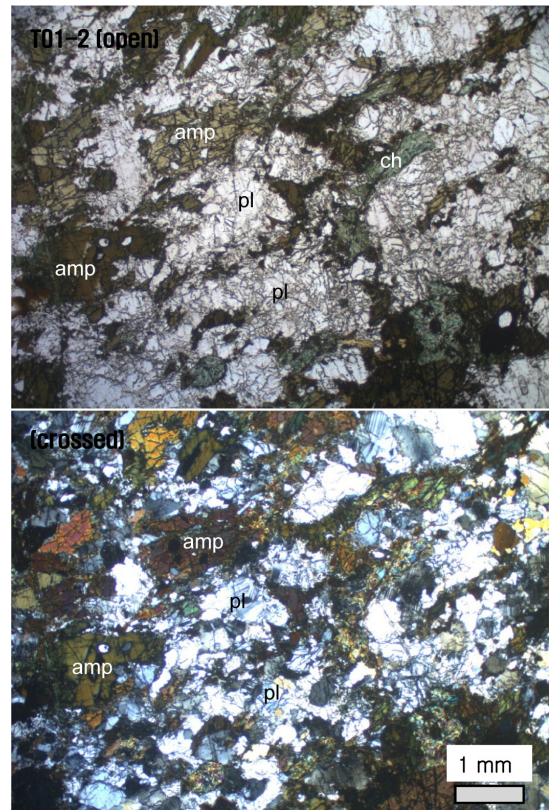


Fig. 5. Microphotographs of medium grained amphibolites composed of plagioclase (pl), amphibole (amp) and chlorite (ch).

또는 각섬석 화강암질 편마암이 카보나타이트 관입과 동반된 페나이트작용에 의해 형성된 것으로 생각된다.

3. 퀘커르삭(Qaqaarsuk) 카보나타이트 복합체

퀘커르삭 카보나타이트 복합체는 1962년도에 발견되었다. 이전까지는 변성석회암으로 기재되었으나, 니오븀, 스트론튬, 바륨과 희토류원소가 다량 함유되어 있으며, 지구화학 분석 자료에 의해 카보나타이트로 확인 되었고, 1976년부터 본격적으로 조사되기 시작하였다. 카보나타이트와 초염기성암 그리고 페나이트로 구성된 이 암체의 크기는 대략 15 km² 정도이고, 중심부는 북위 65°23', 서경 51°40'에 위치한다(그림 9). 이 암체는 해안으로 부터 약 20 km 정도 떨어져있어 다른 암체에 비해 접근이 용이하다.

복합체는 화강암질 또는 토날라이트질 편마암과 각섬암으로 구성된 시생대 기반암을 관입하고 있다.

이 암체는 거의 직사각형의 형태로 장축은 북서-남동 방향이다. 카보나타이트는 약 1-20 m 두께로 동심원상으로 발달되어 있는데, 주향 방향은 대체적으로 암체의 외연부와 일치한다. 암체의 외연부는 1 km 정도의 폭을 갖는 페나이트로 이루어져 있다. 카보나타이트는 일반적으로 페나이트를 포획하고 있으며, 페나이트와는 종종 점이적인 관계로 산출된다. 카보나타이트는 방해석, 돌로마이트, 앤커라이트 카보나타이트로 구성되는데, 방해석 카보나타이트가 암체의 중심부를 차지한다. 암체의 외연부에 발달하는 페나이트는 화강암질 편마암이 변질된 것으로 알바이트, 알칼리 각섬석, 알칼리 휘석 등으로 구성되고, 외연부로 갈수록 페나이트작용의 정도는 약해진다. 이 복합체의 관입연대는 약 173 Ma로 중기 쥐라기에 형성 되었다(Larsen *et al.*, 1983). 이 암체의 평균 인산염의 함량은 약 1.37 wt%로써 다른 암체에 비해 낮은 편이지만, 암체의 중심부에는 두



Fig. 6. Field survey at fenite zone of the Tikusaaq carbonatite complex.

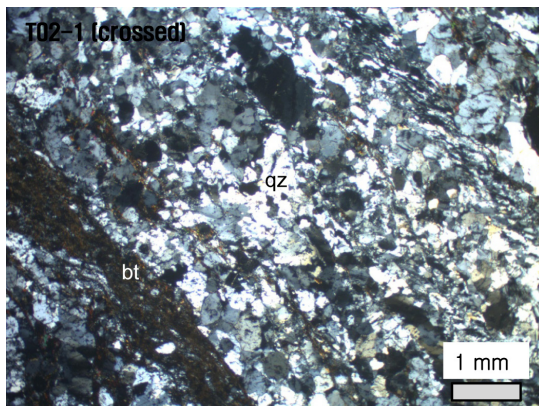


Fig. 7. Microphotographs of deformed granitic gneiss composed of quartz (qz) and biotite (bt).

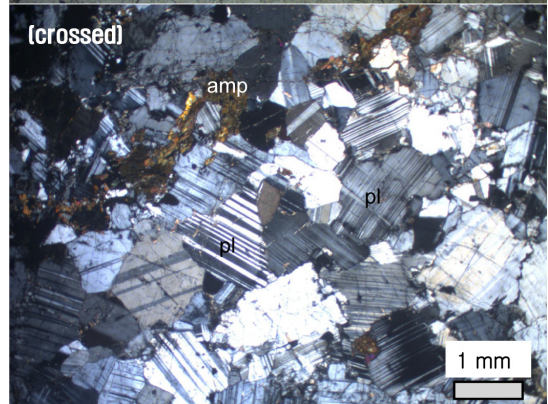
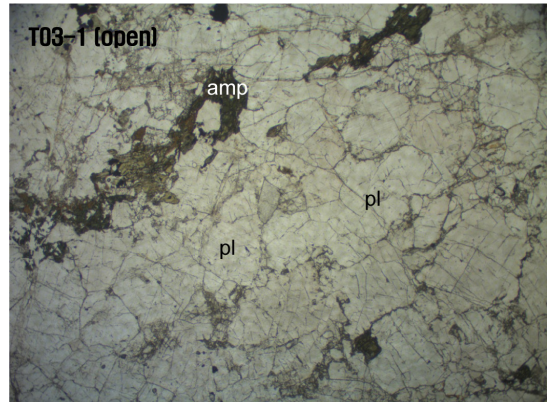


Fig. 8. Microphotographs of typical fenites in ultra fenite zone of the Tikusaaq carbonatite complex. Abbreviations are: amp, amphibole; pl, plagioclase.

계 10 m 정도의 인산염이 풍부한 부분(3.5-6 wt% P₂O₅)이 발달한다. 그 외 유용광물로는 파이로클로어(pyrochlore)가 산출되며 시추결과에 의하면 평균 0.5 wt% Nb₂O₃ 함량을 보이는 파이로클로어 광석이 약 400만톤 정도 함유되어 있는 것으로 추정된다(Knudsen, 1991).

야외조사에서는 식생이 우거지고 노두 상태가 불량하여 각 암상의 경계는 확인할 수 없었고, 대표적인 시료를 채취하였다(그림 10). 채취된 시료는 극지연구소에서 박편을 제작하여 구성광물 특성을 조사하였고, 주사전자현미경을 이용하여 유용광물을 탐색하였다.

방해석 카보나타이트(Q01-1, N65°22.575', W51°40.448')는 매우 불균질한 암석으로 거의 방해석으로 이루어진 부분과 금운모가 풍부한 부분으로 구분된다(그림 11, 12). 방해석이 풍부한 부분도 광학현미경에서는 잘 구분이 되지 않지만 전자현미경으로 분석하면 대부분의 방해석은 갈슘-바륨 탄산염광물(barytocalcite CaBa(CO₃)₂)와 공존하고 있음을 알 수 있다. 탄산염

광물의 입자 크기도 매우 불규칙하다. 금운모는 반자형 형태로 군집을 이루면서 산출된다. 티키우사크 카보나타이트와는 달리 인회석이 거의 관찰되지 않는데, 이 암체의 전암 화학조성에서 인산염의 함량이 낮은 특징과 잘 일치한다.

암체 중심부에서 카보나타이트와 동반되는 조립질 감석암(Q01-1, N65°22.575', W51°40.448')은 반자형 또는 타형의 각섬석으로 주로 구성되고, 인회석, 흑운모, 방해석을 부성분광물로 함유하고 있다(그림 13). 인회석과 흑운모는 자형 또는 반자형의 작은 결정으로 산출되고, 방해석은 입자간격을 충전하는 형태로 산출된다. 티키우사크 카보나타이트 복합체에서 산출되는 각섬암과는 입자가 크고, 변형작용의 영향이 거의 없으며, 사장석이 산출되지 않는다는 점에서 차이가 있다.

중립질 페나이트(Q01-1, N65°22.575', W51°40.448')는 사장석, 알칼리장석, 석영과 각섬석으로 구성되어 있으며 화강암질 암석이 페나이트 작용을 받은 것으로 생각된다. 구성광물은 대체적으로 등립상 조직을 보인다. 각섬석이 일부 녹니석으로 변질을 받고 있지만, 신선한 부분이 더 우세한 점으로 보아 페나이트작용은 약한 것으로 생각된다.

4. 인산염광물과 희토류광물

전통적으로 인산염 비료 원료로 사용되는 인회석(apatite, Ca₅(PO₄)₃(F,Cl,OH))은 카보나타이트의 주 구성광물 중의 하나이다. 티키우사크 카보나타이트에서 인회석은 방해석, 금운모와 함께 주 구성광물로

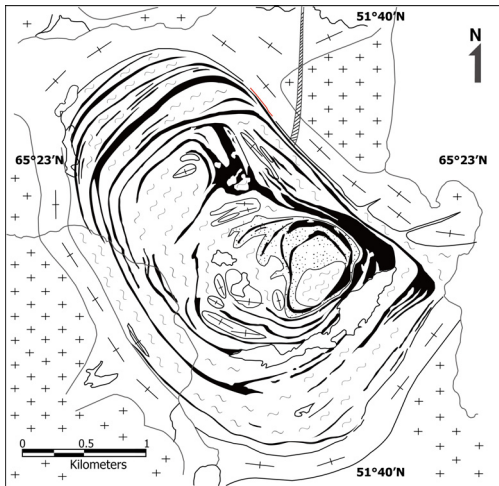


Fig. 9. Geological map of the Qaqarsuk carbonatite complex (after Knudsen, 1985).



Fig. 10. Field survey at the Qaqarsuk carbonatite complex.

산출되는 것이 확인되었다(그림 4).

티키우사크 카보나타이트에서 산출되는 인회석은 최대 200 μm 크기로 대부분이 자형으로 산출된다(그림 14). 극지연구소의 주사전자현미경(JEOL, JSM-6610)에 부착된 CL로 관찰한 결과 대부분의 결정에서 뚜렷한 성분 누대구조를 보인다. 이 누대구조는 카보나타이트질 마그마로부터 결정화될 당시 물리화학적 조건을 반영한 것으로 생각되며, 인회석의 화학조성을 고려하면 Ca, P, F 등의 성분차이를 반영한 것으로 생각된다. 주사전자현미경에 부착된 EDS 분석에 의하면 이들 인회석은 Cl을 함유하지 않고 F를 함유한 fluorapatite임을 알 수 있다. CL 이미지에서 나타나는 성분 누대구조는 Ca과 P (또는 F)의 함량차이를 반영하고 있지만 그 방향성은 입자마다 차이가 있다.

티키우사크의 후기 카보나타이트 암상에서는 부성분 광물로 스트론튬 탄산염 광물이 산출된다. 스트론티아나이트(strontianite)는 방해석(CaCO_3)의 칼

슘성분이 스트론튬으로 치환된 광물로서, 후기 카보나타이트에서 산출되며 많은 양의 희토류원소를 함유하는 것이 일반적이다. 20 μm 정도의 스트론티아나이트는 인회석 주위에 타형의 광물로 산출된다. 일부 칼슘을 함유하고 있으며, 세슘(Ce)이 검출되는 점으로부터 상당량의 경희토류원소(LREE)를 함유하고 있음을 알 수 있다.

티키우사크와 퀘커르삭 카보나타이트의 대표적인 희토류광물로는 안시라이트(ancylite, $\text{SrCe}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$)가 산출된다(Knudsen, 1991). 안시라이트는 약 100 μm 정도의 크기로 산출되며 일부 Ca과 F를 함유하는 불화 탄산염광물(fluocarbonate)의 조성을 보인다. 희토류원소는 La, Ce, Nd 등 경희토류원소가 상당량 함유되어 있다.

세립의 안시라이트는 20 μm 정도의 크기로 방해석 내에 치환된 앵커라이트(ankerite, $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$)와 함께 산출되는데, 이런 특징은 방해석 보

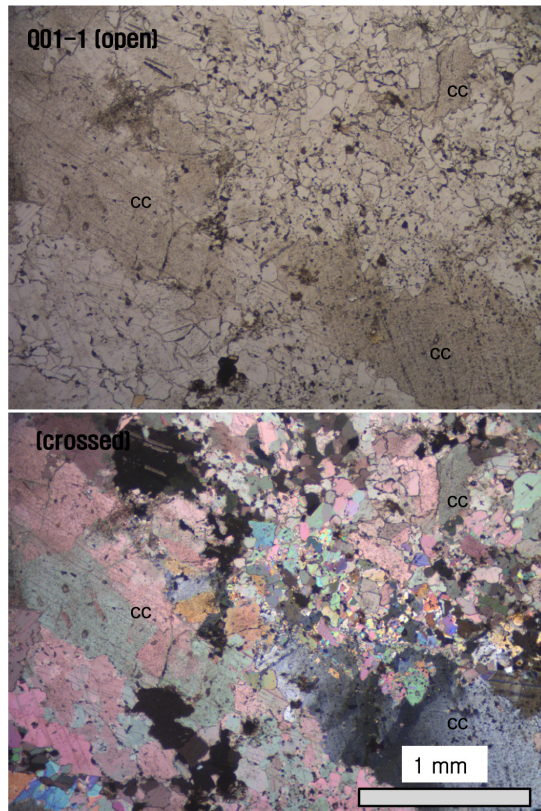


Fig. 11. Microphotographs of calcite (cc) dominant part of the Qaqqarsuk carbonatite complex.

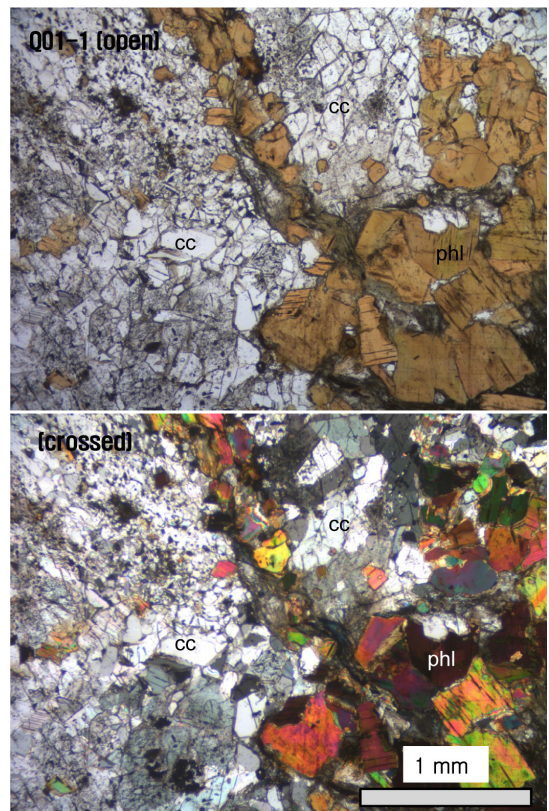


Fig. 12. Microphotographs of phlogopite (phl) dominant part of the Qaqqarsuk carbonatite complex.

다는 후기에 형성되었음을 지시하고 있다.

퀘커르삭 카보나타이트에서는 인회석, 희토류 탄산염광물은 부구성광물로 산출되고, 방해석과 동반되는 칼슘-바륨 탄산염광물(baytocalcite, $\text{CaBa}(\text{CO}_3)_2$)이 주구성 광물로 산출된다. 이 칼슘-바륨 탄산염광물은 중정석(barite)과 바륨-스트론튬 탄산염광물과 공존하는 특징을 보인다.

5. 결론

남서 그린란드에 발달하는 두 개의 중생대 카보나타이트 복합체에 대한 야외 지질조사 기간이 짧아 구성 암상 간의 선후관계, 희토류광물의 산출상태 등에 대해서는 자세하게 조사할 수 없었지만, 기초적인 희토류 광물 자원의 잠재량에 대해 이해할 수 있었다. 광물자원 포텐셜 측면에서는 2005년도에 발견되어 현재까지 지질도도 만들어지지 않고 있는 티

키우사크 카보나타이트 복합체가 더 유용한 것으로 판단된다. 또 이 암체는 개발권을 갖고 있는 누나미네랄(Nuna Mineral) 측에서 향후 체계적인 조사 계획을 갖고 있어 개발타당성이 본격적으로 논의될 것으로 생각된다. 티키우사크 카보나타이트 복합체에서 희토류광물을 배태하고 있는 모암은 방해석 카보나타이트로 방해석, 금운모, 인회석(fluorapatite)을 주 구성광물로 하고, 앵커라이트가 부구성광물로 산출된다. 희토류광물 자원과 관련된 대표적인 탄산염광물은 스트론티아나이트($\text{Sr}(\text{CO}_3)$)와 안시라이트($\text{SrCe}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$)이다. 주사전자현미경에 부착된 X-선 분광분석 결과 스트론티아나이트에서는 세륨이, 안시라이트에서는 란탄, 세륨, 네오디뮴이 상당량 검출되었다. 중희토류원소(HREE)를 함유한 광물은 관찰되지 않았다. 인회석도 상당량의 불소를 함유하고 있고, 안시라이트 역시 F를 함유하고 있으며, 인회석과 안시라이트 주변에는 세립의 형석(fluorite, CaF_2)이 수반된다. 이런 특성은 희토류광물을 배태한 카보나타이트 잔류 용액에 탄산염 이외에 불소가 상당량 함유되어 있었다는 것을 지시한다. 중희토류원소를 함유한 광물이 관찰되지 않는 특성도 이런 잔류용액의 성분과 연결하여 보다 세밀하게 연구할 필요가 있다.

퀘커르삭 카보나타이트에서는 방해석과 금운모는 관찰되지만, 인회석과 희토류탄산염광물은 거의 관찰되지 않았다. 이는 기존의 연구에서 평균 인산염의 함량이 매우 낮은 특징과도 잘 일치한다. 대신 퀘커르삭 카보나타이트에서는 바륨을 함유한 다양한

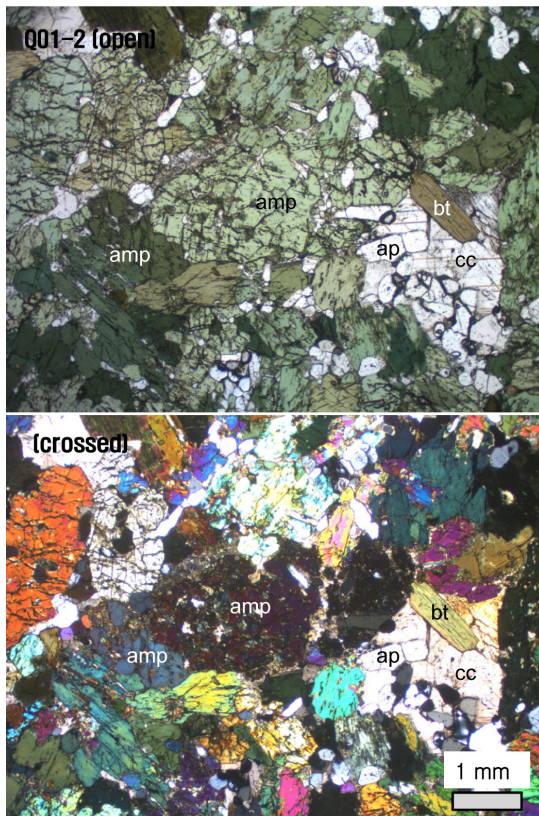


Fig. 13. Microphotographs of coarse grained amphibolites composed of amphibole (amp), biotite (bt), apatite (ap) and calcite (cc) of the Qaqarsuk carbonatite complex.

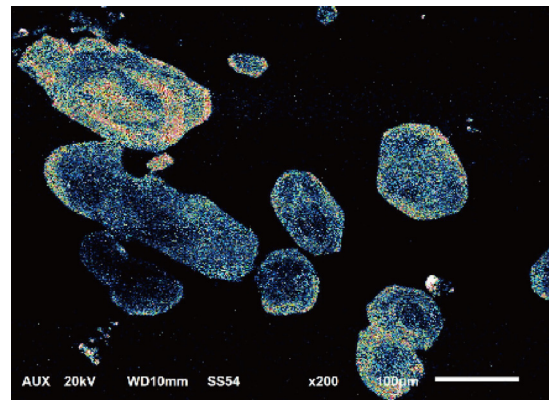


Fig. 14. CL image of apatite occurring in Tikiusaq carbonatites.

광물이 산출된다. 바륨-칼슘 탄산염광물(barytocalcite, $\text{CaBa}(\text{CO}_3)_2$)가 주성분광물로 산출되고 이 바륨-칼슘 탄산염광물은 중정석과 바륨-스트론튬 탄산염광물과 공존하는 특징을 보인다. 이 성분의 차이가 어떤 희토류광물을 배태하는지에 대한 연구는 추후 이루어져야 할 것으로 생각된다.

두 암체는 모두 시생대 기반암을 관입하고 있기 때문에, 카보나타이트 복합체 주변에 발달하는 페나이트작용의 양상은 매우 유사하다. 카보나타이트와 동반되는 염기성 암석은 각섬암이 우세하고, 페나이트 작용을 심하게 받은 부분은 알바이트를 주로 하는 화강암질 암석이다. 두 암체 모두 식생이 잘 발달하고, 노두의 연속성이 불량하여 카보나타이트의 분포를 정확하게 찾아내기는 매우 힘들었다.

사 사

이 보고서는 한국해양과학기술원과 극지연구소의 주요연구사업(PE13060) 지원에 의해 수행되었습니다. 현장조사를 지원해 준 그린란드 Nuna Minerals A/S의 Ole Christiansen 대표에게 감사를 드립니다. 현장 조사에 참여하고 많은 조언을 준 김유동 박사께 많은 감사를 드립니다. 원고를 심사해 준 이한영 박사님과 익명의 심사자에게 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

Frei, D., Hollis, J.A., Gerdes, A., Karlsson, C., Vasquez,

- P., Franz, G., harlov, D., Johansson, I. and Knudsen, C., 2006, *Advanced in situ* trace element and geochronological microanalysis of geomaterials by laser ablation techniques. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 10, 25-28.
- Knudsen, C., 1985, Investigation of Qaqarssuk carbonatite complex, southern West Greenland. Rapport Gronlands Geologiske Undersogelse, 125, 35-40.
- Knudsen, C., 1991, Petrology, geochemistry and economic geology of the Qaqarssuk carbonatite complex, southern West Greenland. Monograph Series of Mineral Deposits, 29, 110 p.
- Larsen, L.M. and Rex, D.C., 1992, A review of the 2500 Ma span of alkaline-ultramafic, potassic and carbonatitic magmatism in West Greenland. Lithos, 28, 367-402.
- Larsen, L.M., Rex, D.C. and Secher, K., 1983, The age of carbonatites, kimberlites and lamprophyres from southern West Greenland: recurrent alkaline magmatism during 2500 million years. Lithos, 16, 215-221.
- Secher, K., 1986, Exploration of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland. Rapport Gronlands Geologiske Undersogelse, 128, 89-101.
- Steenfelt, A., Hollis, J.A. and Secher, K., 2006, The Tikusaaq carbonatite: a new Mesozoic intrusive complex in southern West Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 10, 41-44.

투 고 일 : 2013년 5월 13일

심 사 일 : 2013년 5월 14일

심사완료일 : 2013년 8월 7일