

호주 퀸즈랜드 주 Ag-Pb-Zn 캔닝턴 광상 주변의 다변형작용: 아연-광화작용에 대해서

김형수^{1),2)} · Tim H. Bell¹⁾

주요어 : 캔닝턴 광상, 은-납-아연, 아연-광화작용, 다변형작용

1) School of Earth Sciences, James Cook University, Australia (tim.bell@jcu.edu.au)

2) 경북대학교 과학교육학부 지구과학교육전공 (hskim@mail.knu.ac.kr)

1. 서 론

캔닝턴 (Cannington) 은-납-아연 광산은(동경 140° 55', 남위 21° 52') 호주 퀸즈랜드 주 마운트 아이자(Mount Ias) 지역 남동 가장자리에 위치한다(Fig. 1). 이 광산은 1989년에 BHP Mineral 회사가 광역 자력이상 측정과 시추 코아(diamond drilling) 탐사를 이용해 발견되었다. 이 광산은 1998년에 상업화를 시작하였고, 총 45.3백만 톤에 평균 납은 11.6 %, 아연은 4.4 %, 은은 538 g/ton으로 단일 광산으로 은-납 함유량은 세계 최대이다(Walter & Bailey, 1998). 캔닝턴 광산은 호주 뉴사우스 웨일즈(New South Wales) 주에 위치한 Broken Hill 광산과 많은 유사성을 보인다. Broken Hill 광산은 은(Ag)-납(Pb)-아연(Zn) 광화작용의 대표적인 광산으로, 독자적으로 Broken Hill-type(BHT) 광산으로 알려져 있다.

연구 목적은 캔닝턴 광산의 모암에서 산출되는 변성광물 규선석, 석류석, 아연-침정석의 산출 상태와 미세구조를 관찰하여, 연구 지역의 아연-침정석의 성장과 연관된 모암의 변성작용과 변형작용의 특징을 알아보고자 한다. 그리고 궁극적으로 이들과 아연-광화작용과의 관계성에 대해 논의 하고자 한다.

2. 지질 개요 및 연구방법

캔닝턴 광산의 주변암은 마로난(Maronan) 누층군에(1.67 Ga) 속하는 미그마타이트, 흑운모-규선석-석류석을 함유한 석영-장석질 편마암, 흑운모-규선석 편암, 그리고 각섬암으로 구성되어 있다(Beardsmore et al., 1988; Fig. 1). 미그마타이트 그리고 호상 편마암은 우후대와 우백대로 구성된 분화된 성분층리 (compositional layers)를 보인다. 캔닝턴 지역의 최고 변성작용은 규선석-K장석, 각섬석-사장석 광물조합과 부분용융을 근거로 상부-엠피블라이트 변성상을 나타내며, 최고 변성 온도-압력은 650-690 °C 그리고 4±1 kbar 이다(Mark et al., 1998; 김형수, 2004).

캔닝턴 광산은 중간을 자르는 트라펠(Trepell) 단층에 의해 남부대와 북부대로 나뉜다(Fig. 1b). 광산의 전체적인 지질구조는 서남서 방향으로 기울어진 향사성 등사 습곡이다. 습곡의 핵에는 각섬암이 분포하고, 이 광산은 적어도 4번의 변형작용에 영향을 받은 것으로 알려져 있다(Gray, 1994; Walter & Bailey, 1998). D1 변형작용은 규선석 엽리의 발달과 부분 용융으로 특징 지워 지고, D2 동안에 남-북으로 배열된 등사 습곡과 습곡축 면에 평행한 엽리가 발달했다. D3의 특징은 개방 습곡의 형성과 D2 엽리의 파랑 엽리화 이고, D4는 취성 변형작용으로(단층 형성) 특징 지워진다. 은-납-아연 광체는 등사습곡의 상반과 하반에서 반복적으로 산출되며, 하반의 최하부는 전단대와(foot wall shear zone) 해밀튼(Hamilton) 단층에 의해 잘려져 있다(Fig. 1c).

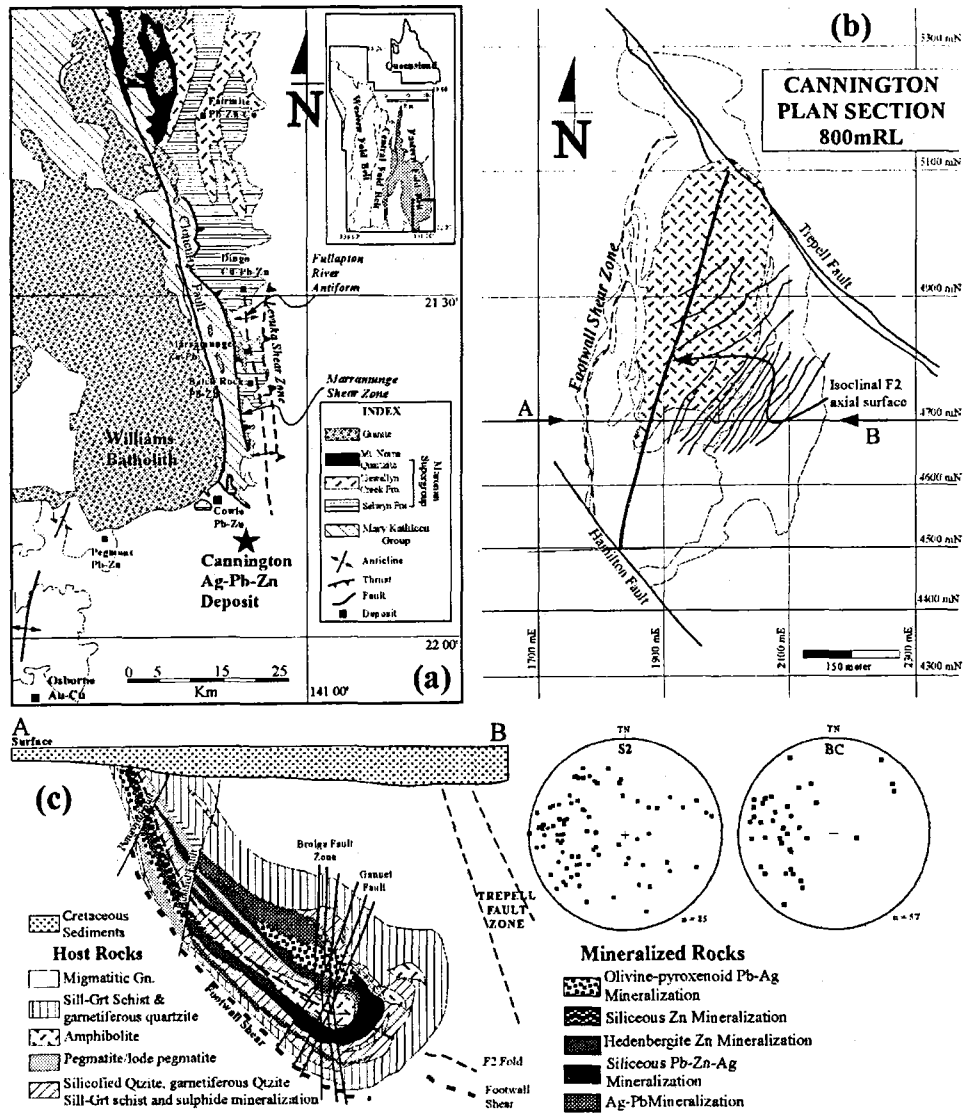


Fig. 1. (a) 호주 마운트 아이자(Mt. Isa) 동부 지역의 광역 지질도. (b) 캔닝턴 광상 주변의 지질 평면도(from BHP billiton). (c) 광상 지질 단면도 및 성분 엠티(BC)와 S2의 pole diagram.

야의 노두가 없는 지역이므로 시료는 대부분이 정향된 시추 코아로부터 채취하였고, 이들로부터 얻은 코아 시료와 박편 스케일 하에서 암석과 광물의 미세구조 및 암석학적 정보를 해석하였다. 온도-압력 가상평형도(pseudosections)는 규선석을 함유하는 변성 광물의 조합과 용융의 상평형도는 프로그램 THERMOCALC(Powell and Holland 1988; Powell et al., 1998)을 이용하여 4개의 다른 화학 시스템 하에서 계산하였다(예, White et al., 2001; White et al., 2002).

3. 본 론

모암에서 산출되는 규선석의 세가지 다른 결정형태, 규선석을 포획광물로 함유한 아연-철정석과 석류석 반상변정은 모암의 변성작용과 아연과 관련된 광화작용에 대한 지질학적

지시자로 사용되었다. MnNCKFMASH와 NCKFMASH계에서 부분 용융은 KFMASH와 KFMASHTO계에서 보다 낮은 온도에서 일어나며, MnNCKFMASH 계에서 용융 온도는 암석 화학 성분의 $Na/(Na+Ca+K)$ 의 비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 캔닝턴 광상의 모양은 MnNCKFMASH 계의 경우 최고 온도와 압력 환경에서(634 ± 62 °C, 4.8 ± 1.3 kbar) 약 15 % 용융되지만, KFMASHTO 계하에서는 부분 용융이 일어나지 않는다. 규선석의 등변성도선과 모드비의 변화를 근거로, 주상과 능면형의 규선석과 주상의 규선석을 포획하는 아연-첨정석 반상변정은 부분 용융을 포함하는 온도와 압력의 증가(약 550–600 °C, 2.0–3.0kbar에서 700–750 °C, 5.0–7.0 kbar)로 인한 것으로 생각된다(김형수, 2004).

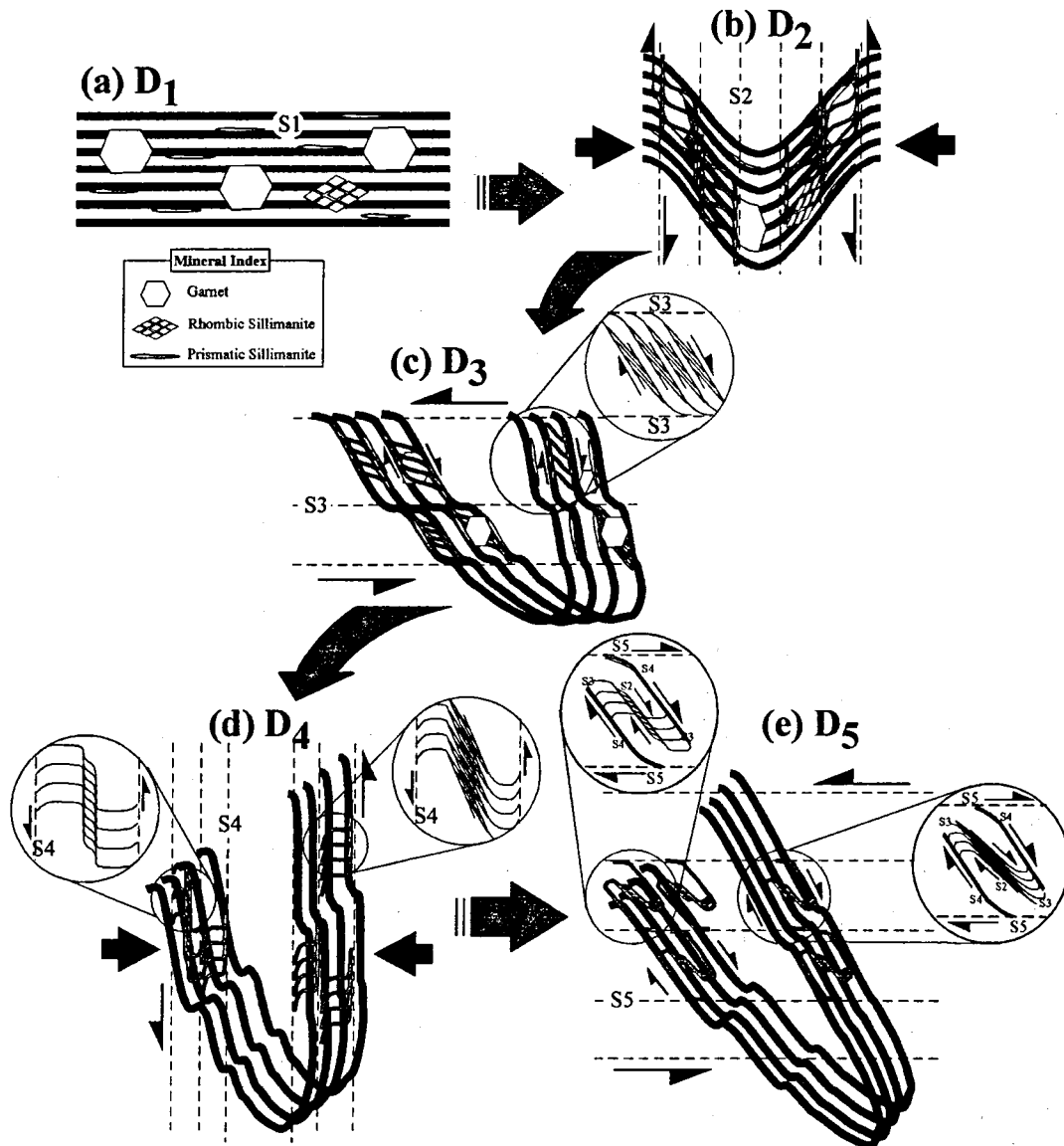


Fig. 2. 캔닝턴 광상에 관찰된 D1에서 D5까지 동안 형성된 습곡 구조와 엽리의 발달 과정을 보여주는 도식적 그림.

연구 지역의 엽리의 발달은 규선석의 정향 배열을 이용하여 5개의 엽리를 구분하였다. S1에서 S4는 주상 또는 능면형 규선석에 의해, 그리고 S5는 섬유상 규선석에 의해 구별하였다. S1, S3, S5는 거의 수평엽리의 특징을 보이고, S1a, S2, S4는 거의 수직 엽리 형태로 나타난다. 석류석과 아연-침정석 반상변정 내의 내부 엽리축의 변화는 최대 압축작용 방향이 남-북에서 동-서로 변화하였음을 지시한다. 따라서 남-북 압축운동은 D1과 D1a동안에 일어났고, 동-서 압축 방향은 D2에서 D5 동안에 작용한 것으로 판단된다. 지역적인 부분용융은 암석의 화학성분에 따라 변화지만, D1 이후에 일어났을 것으로 보이고, 향사성 D2 습곡은 D4 동안 동-서 압축 작용에 영향을 받았다. 결론적으로 아연-침정석의 성장과 관련된 아연 광화 작용은 D2에서 D4 동안에 국부적으로 부분 용융과 밀접한 관계를 가지며 일어났고, D4 이후 후기 변형/변성작용에 의해 재배치 또는 재농집 되어진 것으로 생각된다.

4. 참고문헌

- 김형수 (2004) 호주 퀸즈랜드 주 캔닝턴 광상 모암의 아연-침정석-규선석-석류석에 관한 연구: 변상작용과 아연-광화작용에 대해서. 한국광물학회지, 17, 309-325.
- Beardsmore, T.J., Newbery, S.P., and Laing, W.P. (1988) The Maronan Supergroup - An inferred early volcanosedimentary rift sequence in the Mt Isa Inlier, and its implications for ensialic rifting in the middle Proterozoic of northwest Queensland. *Precam. Res.*, 40, 487-508.
- Gray, D.R. (1994) Structural report on the Cannington Pb-An-Ag deposit, Mount Isa Inlier. Unpublished Report to BHP Mineral.
- Mark G.M., Philipd, G.N., and Pollard, P.J. (1998) Highly selective partial melting of pelitic gneiss at Cannington, Cloncurry District, Queensland. *Austr. Jour. Earth Sci.*, 45, 169-176.
- Powell R., and Holland, T.J.B. (1988) An internally consistent dataset with uncertainties and correlation: 3, Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Jour. Meta. Geol.*, 6, 173-204.
- Powell R., Holland T.J.B., and Worley B. (1998) Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Jour. Meta. Geol.*, 16, 577-588.
- Walters, S.G., and Bailey, A. (1998) Geology and mineralization of the Cannington Ag-Pb-Zn deposit: an example of Broken Hill-type mineralization in the Eastern succession, Mount Isa Inlier. *Econ. Geol.*, 93, 1307-1329.
- White, R.W., Powell, R., and Clarke, G.L. (2002) The interpretation of reaction textures in Fe-rich metapelitic granulite of the Musgrave Block, central Australia: constraints from mineral equilibria calculations in the system K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O - TiO_2 - Fe_2O_3 . *Jour. Meta. Geol.*, 20, 41-55.
- White, R.W., Powell, R., and Holland, T.J.B. (2001) Calculation of partial melting equilibria in the system Na_2O - CaO - K_2O - FeO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O (NCKFMASH). *Jour. Meta. Geol.*, 19, 139-154.