

심해저 망간단괴의 산상과 내부조직 특성

Occurrence and Internal Textures of the Deep Sea Manganese Nodules

최현수, 장세원, 이성록

한국자원연구소 석유해저연구부(hunsoo@kigam.re.kr)

1. 서 론

망간단괴의 여러 종류의 핵을 중심으로 철·망간산화물 (ferromanganese oxide)이 점토광물이나 불석 등의 광물과 함께 대칭 또는 비대칭형의 동심원상 층리를 이루며 성장되어 있다. 망간단괴의 산출상태는 주로 외부형태나 표면조직을 이용해 분류하고 있다. 그러나 단괴의 표면조직은 철·망간산화물 침전에 있어 현재의 환경을 반영하는 것이고, 단괴의 성장 전과정은 단괴의 내부에 내부조직으로 남아 있게 된다. 그러므로 단괴의 내부조직은 과거의 단괴형태와 그 성장환경을 설명할 수 있다 (Halbach and Puteanus, 1988).

단괴의 내부조직은 육안이나 실체현미경에서 관찰할 수 있는 거시적 조직과 고배율의 광학현미경 또는 전자현미경하에서 관찰할 수 있는 미세조직으로 구분할 수 있다. 거시적 조직은 많은 연구자들에 의해 다양한 분류 방법이 제시되었다 (Sorem and Fewkes, 1979; Halbach et al., 1982; Usui and Moritani, 1992). 매우 얇은 미세층리들이 규칙적으로 반복되어 나타나는 미세조직은 연구자에 따라 피상, 조밀상, 층상, 대상, 엽편상, 침상, 주상, 구상, 반점상, 망상, 수지상 등 각기 다른 분류를 사용하고 있다 (Foster, 1970; Sorem and Foser, 1972; Heye, 1978; Sorem and Fewkes, 1979; Halbach et al., 1982; Kim, 1982).

본 연구는 단괴의 산출상태와 단괴내부의 거시적 조직과 미세조직을 함께 고려하여 단괴내부를 각 조직대로 분류하여 그 특성을 살펴보고자 한다.

2. 연구 및 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 북동태평양의 클라리온-클리퍼돈 균열대의 우리 나라 광구지역에서 1998년 정밀탐사기간동안 채취된 시료 중에서 비교적 그 크기가 크고 여러 가지 미세조직과 거시조직을 보이는 세 개의 시료를 선택하였다.

심해저카메라를 통하여 해저면을 촬영하여 단괴의 산출상태를 관찰하였으며, 천부지층탐사(SBP)를 통하여 하부 퇴적물의 천부지층구조를 파악하였다. 시료의 채취는 탐사선상에서 자유낙하식 시료채취기 (Free Fall Grab sampler: FFG)로 채취하였으며, 선상에서 채취된 시료를 외형, 표면조직 및 크기별로 구분하여 개수와 중량을 기재한 후 해수로 씻어 건조되지 않게 포장하여 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 각 시료의 외형, 표면조직, 크기 및 중량을 기재한 후 저속 다이아몬드 톱을

이용하여 크기에 따라 양분하였다. 절단된 단면은 연마하여 거시적조직을 관찰하고 조직대를 구분하였다. 또한 이 시료를 건조시켜 연마편을 제작하여 전자현미경하에서 후산란전자상 (Back-scattered Electron Image: BEI)을 통하여 미세조직을 관찰하였다. 전자현미경은 한국기초과학지원연구소의 CAMECA SX50을 이용하였다.

단괴의 내부조직은 많은 연구자들에 의해 각기 다르게 분류되어왔다. 이들의 분류방법을 참고하여 우리 나라 광구지역에 적합한 분류방법을 설정하였다. 거시적 조직은 층상대 (layered zone), 괴상대 (massive zone) 및 다공질대 (porous zone)로 구분하였다. 미세조직은 결정질 또는 저결정질 엽리들의 기하학적 형태에 따라 주상 (columnar), 첨상 (cusplate) 및 괴상 (massive) 조직으로 구분하였다. 때로 구상 (globular)조직도 보이나 이는 첨상조직에 포함하여 분류하였다.

3. 결과 및 토의

단괴 내부를 거시적 조직과 미세조직을 함께 고려하여 분류하면 아홉 가지의 조직대로 나눌 수 있으나 몇몇 조직대는 실제로 나타나지 않는다. 이에 따라 단괴의 조직대는 주상조직을 갖는 층상대 (columnar textured layered zone), 첨상조직을 갖는 층상대 (cusplate textured layered zone), 첨상조직을 갖는 다공질대 (cusplate textured porous zone), 첨상조직을 갖는 괴상대 (cusplate textured massive zone) 및 괴상조직을 갖는 괴상대 (massive textured massive zone)의 다섯 가지로 구분할 수 있다 (Fig. 1).

시료 A01은 약간 경사진 구릉의 하부사면에서 평균 13.30kg/m^3 의 높은 부존밀도를 보이며, 최상부 음파투명층이 거의 관찰되지 않는 곳에서 산출된 것이다. 직경 3~4cm의 중형단괴로 매끄러운 표면을 갖는 다단괴형 (Ps형) 단괴이다. 시료 A01은 불규칙한 모양의 점토질 물질을 핵으로 하여 그 주위를 치밀한 층상 철·망간산화물이 동심원상으로 성장되어 있다. 내·외부산화물층과 그 사이의 치밀하고 얇은 중간산화물층은 모두 현미경하에서 매우 얇은 저결정질 미세층리들의 주상조직이 발달되어있는 층상대를 이루고 있다. 외부산화물층과 내부산화물층의 차이는 외부가 내부에 비하여 각 미세층리가 보다 굴곡되어 있으며, 층리사이에 다른 규산염광물의 입자가 적다. 중간산화물층은 내·외부산화물층보다 더 치밀하고 저결정질 층리 사이의 결정질 층리가 약간 더 두껍게 협재되어 있다. 그러나 외부산화물층의 최외각, 즉 단괴의 표면부분은 내부의 주상조직과는 달리 첨상조직이 발달되어 있으며, 육안으로도 약간 밝은 괴상대를 형성하고 있다.

시료 A03은 비교적 평탄한 분지의 경계부에서 산출된 직경 8cm의 대형 단괴로, 고기단괴의 파편을 핵으로 가지며 이질적 표면조직을 갖는 원반형 (Dd형) 단괴이다. 이 지역에서는 직경 8cm 이상의 대형단괴가 간혹 산출되어 부존밀도가 0.05mg/m^3 에서 13.90mg/m^3 까지 변화가 심하다. 시료 A03은 고기단괴의 파편을 핵으로 하여 전체적으로 괴상대, 다공질대와 층상대가 교호하며 성장되어 있다. 핵을 이루고 있는 고기단괴의 파편은 그 핵은 보이지 않으나 안쪽으로부터 바깥쪽으로 다공질대와

괴상대가 교대로 성장된 모습을 보인다. 고기단괴의 핵 주위에는 치밀하고 층상대가 얇게 협재되어 있으며, 그 위를 다공질대와 괴상대의 내부산화물층이 성장되어 있다. 그 위를 다시 얇은 층상대가 덮고 있으며, 마지막으로 매우 치밀한 괴상대가 성장되어 있다. 현미경하에서 이 시료는 전체적으로 침상조직을 갖고 있다.

시료 B02는 분지와 구릉사이의 완만한 경사의 경계부이며, 최상부 음파투명층과 음파층리층 (Stratified Layer)의 경계부에서 산출된 시료이다. 이 지역은 비교적 부존밀도의 변화가 심한 곳이나 B02 시료는 13.95kg/m^3 의 높은 부존밀도를 보이는 곳에서 산출되었다. 원반형에 가까운 다단괴형으로 점이형의 표면조직을 보인다. 변질된 암편과 점토질을 중심으로 내부, 중간 및 외부산화대의성장이 뚜렷하며 표면 주위에는 작은 현무암편이 부착되어 있다. 외부산화물층은 비교적 치밀한 괴상대에서 내부로 갈수록 다공질대로 변해나가는 특성을 보이며, 내부산화물층은 치밀한 층상대로 구성되어 있다. 두 산화대 사이의 중간산화물층에는 매우 치밀한 괴상대가 1~2mm정도의 두께를 가지며 산출된다. 단괴의 핵은 점토질 물질과 변질된 암편들로 핵 주위는 산화망간에 의해 교대된 흔적을 보인다. 현미경에서 볼 때 내·외부산화물층은 일반적인 침상조직을 보이며, 중간산화물층의 괴상대는 매우 치밀한 괴상조직으로 되어 있다. 핵 주위를 교대하고 있는 철·망간산화물들은 많은 규산염 광물들과 함께 호층상을 보이는 층상조직을 보인다.

4. 참 고 문 헌

- Foster, A.R. (1970) Marine manganese nodules: nature and origin of internal features. M.S. thesis, Washington State Univ., Pullman, Wash, 131 pp.
- Halbach, P., Giovanoli, R. and von Borstel, D. (1982) Geochemical processes controlling the relationship between Co, Mn and Fe in early diagenetic deep-sea nodules. Earth Planet. Sci. Letts., 60, 226-236.
- Halbach, P. and Puteanus, D. (1988 b) Morphology and composition of manganese nodules - Geochemical trends of different genetic types of nodules and crusts. In: P. Halbach, G. Friedrich and U. von Stackelberg (eds.) The manganese nodule belt of the Pacific ocean, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 61-71.
- Heye, D. (1978) The internal micro-structure of manganese nodules and their relationship to the growth rate. Marine Geology, 26, M59-M66.
- Kim, S.J. (1982) Textures, mineralogy and genesis of manganese nodules on the Black Plateau, Northwestern Atlantic Ocean. In: G.C. Amstutz et al. (eds.) Ore genesis-The state of the art. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 211-217.
- Sorem, R.K. and Fewkes, R.H. (1979) Manganese nodules, research data and methods of investigation. Plenum, New York, 723pp.
- Sorem, R.K. and Foster, A.R. (1972) Marine manganese nodules importance of structural analysis. Inst. Geol. Cong. 24th. Canada, Sect., 8, Mar. Geol. Geophys., 192-200.

Usui, A. and Moritani, T. (1992) Manganese nodule deposits in the central Pacific Basin: distribution, geochemistry, mineralogy, and genesis. In: B.H. Keating and B.R. Bolton (eds.) *Geology and offshore mineral resources of the central Pacific basin*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 14, 205-223.

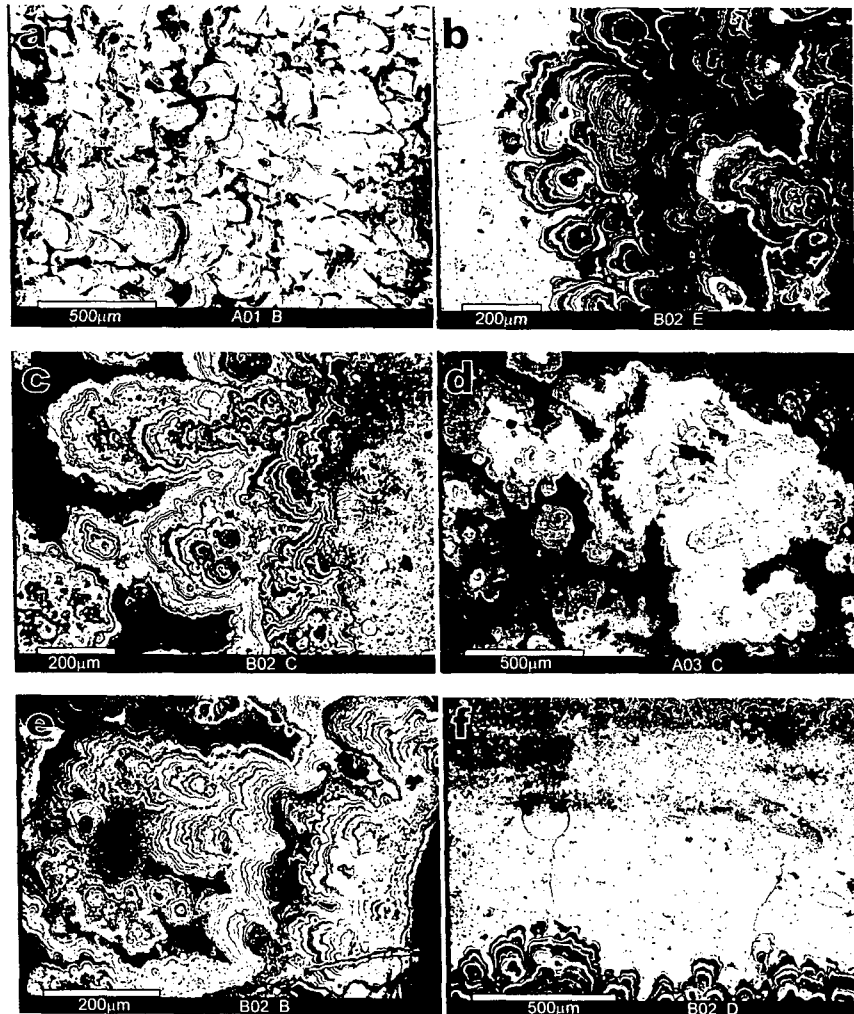


Fig. 1. Textural zone of manganese nodules; columnar textured layered zone (a), cusped textured layered zone (b), cusped textured porous zone (c, d), cusped textured massive zone (e), massive textured massive zone (f).