

Large Volume Press를 이용한 FeS₂의 상태방정식 연구

김영호^{1*}, 최재영²

¹경상대학교 자연과학대학 지구환경과학과,

경남 진주시 가좌동 900, 660-701 (yhkim@nongae.gsnu.ac.kr)

²포항공과대학교, 포항가속기연구소 빔라인부 운영실,

경북 포항시 남구 효자동 산31, 790-784 (choij@postech.ac.kr)

1. 서론

지구핵은 지구의 진화와 밀접한 관계가 있으며, 핵의 구조 및 성분은 아직 많은 부분이 이해되지 않고 있는 지구과학의 미개척 분야이다. 지금까지 액상의 외핵 하부에 고상의 내핵이 존재한다는 설명은 지진파에 대한 설명, 지구자유진동 주기 및 지구 장동운동에 대한 해석상의 잠정 결론에 불과하며 직접 관찰한 결과 얻은 결론은 아니다. 더욱이, 이러한 해석은 외핵과 내핵의 구성 성분이 동일하다는 또 하나의 가정에 근거하고 있다. 그렇다면 두 핵의 성분은 동일한가 하는 의문이 야기된다. 이에 대한 암석학적인 그리고 지진학적인 답은 '아니다'이다. 이러한 문제를 검증할 수 있는 지금까지의 방법은 지구핵 구성물질에 대한 가정에 기초하여 가장 가능성이 높은 물질에 대한 상태방정식과 열팽창계수를 이용한 밀도를 추적하는 방법 (즉, density model of the Earth core)이 가장 신빙성이 있는 것으로 판단된다 (Jephcoat and Olson, 1987).

이러한 접근에 의한 결과로 가장 만족스러운 해석은 지구 내핵에도 외핵과는 그 존재량의 차이는 있지만 철 (Fe)보다는 밀도가 낮은 원소의 존재 가능성이다. 즉, 철의 밀도를 낮출 수 있는 원소가 존재하여야 한다는 것이다. 따라서 이러한 가능성이 높은 원소 중 하나가 황 (S)인데, 황의 포획 광물로 황철석 (FeS₂)에 대한 상태방정식과 열팽창계수에 대한 정보가 필요하다. 그러나, Jephcoat & Olson (1987) 모델에서는 황철석에 대한 열팽창계수로 산술적인 외삽 (extrapolation)값을 그대로 적용시킨 결과 핵 밀도 추정에 대한 신뢰도에 문제점이 야기되었다. 이에 보다 정확한 데이터의 필요성이 요구되며 이에 대한 정밀한 측정을 하게 되었다. 물론, 동일한 황철석 분말시료에 대한 압축실험이 다이아몬드 앤빌 기기 (diamond anvil cell)를 이용하여 본인에 의해 측정되었으나, 이러한 실험의 단점 및 약점을 보완코저 SPring-8에 설치되어 있는 Large Volume Press를 이용한 실험을 수행하게 되었다. 실험의 목적은 상온하에서의 압축성 측정과 고압하에서의 열팽창계수 측정이다. 이러한 목적 중 후자는 아직 진행 중에 있다.

2. 연구 및 실험방법

실험을 수행한 SPring-8은 일본의 관서지방 하리마시에 위치하고 있으며, 빔라인

BL14B1은 물질에 대한 회절 및 산란을 목적으로 건설된 것으로 특히 고온-고압하에서 x-선 회절 실험과 물질의 표면과 계면에 대한 구조 물성연구가 시행되는 곳이다. 광원은 벤딩 매그넷 (bending magnet) 빔라인으로 5-90 KeV 단색 x-선 (monochromatic radiation) 또는 5-150 KeV 백색 x-선 (white radiation)을 이용할 수 있도록 설계되어 있다.

본 연구는 백색광을 이용하여 에너지분산 x-선 회절 방법을 이용하였으며, 이용기기는 유압을 최대 20 GPa까지 발생시킬 수 있는 SMAP-II라고 불리는 180 ton 짜리 고압 프레스 (press)와 고상 검출기 (solid state detector)를 이용하였다. 이 프레스를 이용하여 시료방에는 최대 10 GPa의 압력과 2000 °C 온도를 전달하도록 설계되어 있으나, 보통 이러한 한계치보다 낮은 온도-압력 하에서 실험이 시행되고 있다.

시료는 경남 하동군 황천에서 채취한 황철석을 분말화한 것이다. 이 황철석은 거정질 석영 압체에 맥상으로 존재하는 것을 파쇄하여 광학 현미경하에서 선별하였다. 시료는 100 % 정압하에 있도록 설계되어 있으며 (그림 1), 이러한 상태는 x-선 회절 패턴으로부터 확인할 수 있다. 압력은 소금 (NaCl)의 x-선 회절 결과를 이용하였다 (그림 2).

3. 결과

상온에서 8.1 GPa까지 모두 20개의 압축 데이터를 얻었으며, 이 데이터를 버치-머내한 상태방정식 (Birch Murnaghan EOS)을 이용하여 체적탄성률을 결정하였다 (그림 3). Birch Murnaghan EOS는 다음과 같다 :

$$P = \frac{3}{2} \times K_0 \left\{ \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{-7}{3}} - \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{-5}{3}} \right\} \times \left[1 - \xi \left\{ \left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{-2}{3}} - 1 \right\} \right],$$

$$\xi = \frac{3}{4} \times (4 - K'_0), K'_0 = (dK/dP)_T, K'_0 \text{은 } 4.0 \text{으로 가정하였다.}$$

이렇게 결정된 체적탄성률은 147.9(10) GPa 이었다.

4. 결론 및 토의

여기서 결정된 체적탄성률을 다이아몬드 앤빌 기기를 이용한 결과 비교하였으며, 실험 환경에 따른 결정값의 차이를 고찰하였다. 또한, 열팽창계수를 측정하기 위한 고압하에서의 가열 실험은 완료되지 않았으나 진행 중에 있는 실험결과를 중심으로 열팽창계수의 대체적인 경향을 살펴보기로 한다.

5. 참고 문헌

김용관, 김영호, 2000, FeS₂의 압축성 연구, 광물학회 초록

Jephcoat A. and Olson O., 1987, Is the inner core of the Earth pure iron ? Nature, 325, 332-335

Jephcoat A., Mao H.K. and Bell P.M., 1983, Pyrite: Hydrostatic compression to 40 GPa, EOS, 64(45), 847

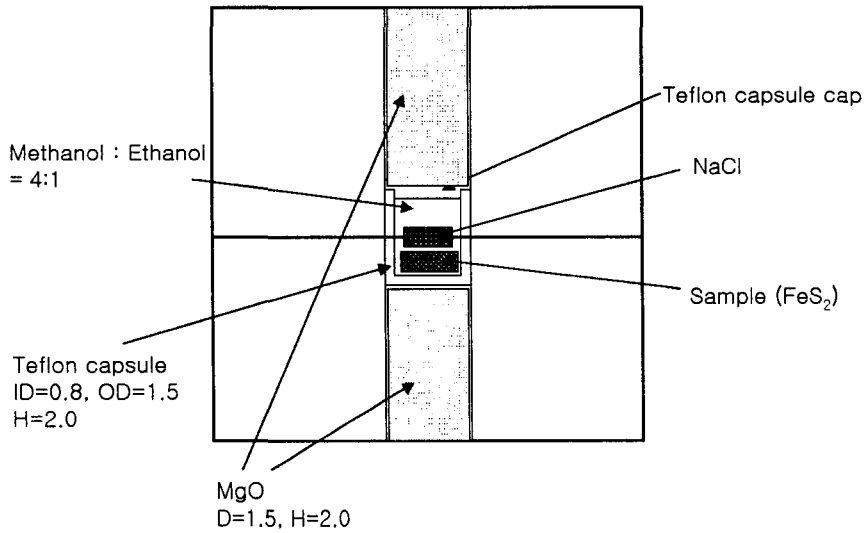


그림 1 상온 압축실험용 Sample assembly

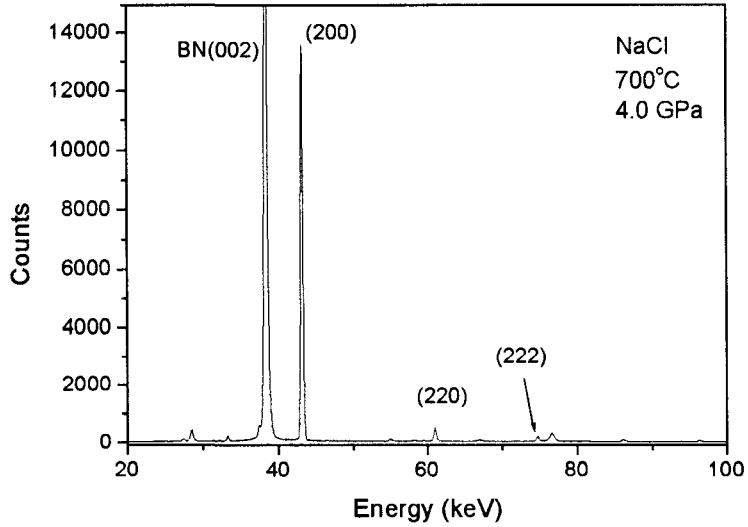


그림 2 압력 표준 물질인 NaCl의 회절 패턴의 예

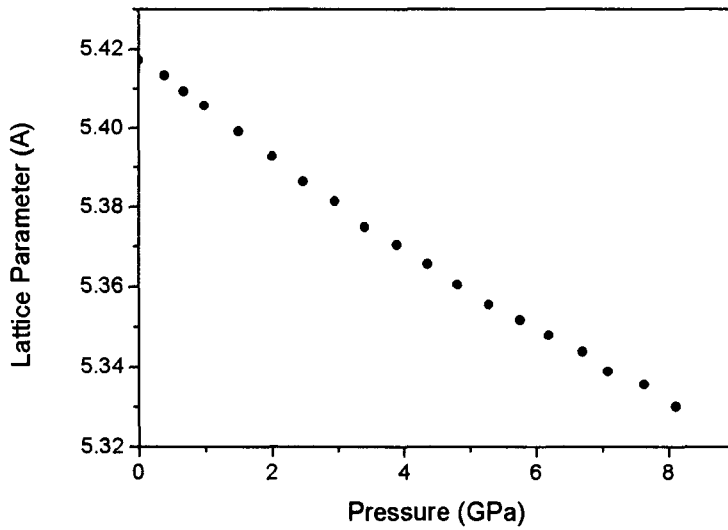


그림 3 상온 압축실험 결과

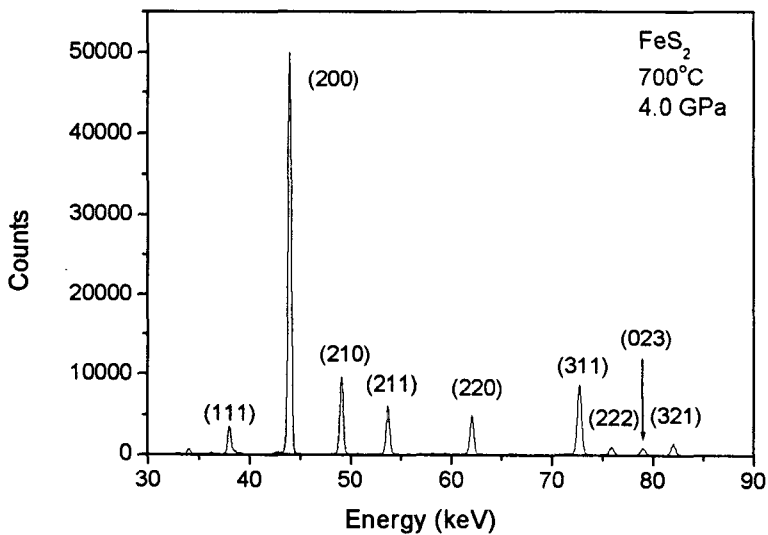


그림 4 Sample의 회절 패턴의 예