

## YBCO 결정립내의 제 2상 입자의 분포 Distribution of second phase particles in YBCO grains

한국원자력연구소, 김찬중\*, 홍계원

### 1. 서론

YBCO 초전도체의 기계적, 자기적 특성을 향상하려면 초전도체를 결정 내부에 제 2 상 개재물이 균일하게 분포된 복합체로 만들어야 한다. 지금까지 개발된 공정 중 가장 효과적인 공정은 용융공정이다. 이 공정은 분말 성형체의 부분용융과 초전도체 성형체를 적당한 온도로 가열하여 부분 용융시킨 후 다시 포정온도를 통과하면서 서서히 냉각시키는 공정으로, 액상에서  $YBa_2Cu_3O_y$  (123) 결정이 성장하면서 초전도체내에 자연적으로 제 2 상입자인  $Y_2BaCuO_5$  (211) 입자들이 포획된다. 이렇게 123 결정 내로 포획된 211 입자들의 분포는 그 형태에 따라 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째가 123 조성에서 나타나는 x-선 분포이고, 두 번째는 211 과잉조성에서 관찰되는 나비형 패턴, 3 번째가 원형이나 타원형 형상으로 나타나는 211-free 영역이다. 본 연구에서는 세 가지 형태의 211 분포에 대해 자세히 기술하고 그 원인을 액상-고상-입자간 계면에너지 관계 및 용융 시의 가스 생성으로 설명하였다.

### 2. 실험방법

99.9 % 순도의  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$ 와  $CuO$  분말을  $YBa_2Cu_3O_y$  (이하 Y123로 표기)와  $Y_{1.8}Ba_{2.4}Cu_{3.4}O_y$  (이하 Y1.8로 표기) 조성이 되도록 정량한 후, 공기중 880 °C에서 50 시간 하소하여 123 분말과 (123 + 211) 혼합분말을 제조하였다. 두 분말을 적당한 형태로 찍어 성형체를 만든 후, 전기로에서 1050 °C까지 1 시간에 가열한 다음, 이 온도에서 1 시간 유지한 후, 40 °C/h로 1010 °C까지 냉각시켰다. 다시 970 °C 까지 1-20 °C/h로 서냉한 다음, 100 °C/h 속도로 실온까지 냉각하였다. 용융 열처리 공정이 끝난 시편을 다시 산소분위기의 관상로에서 50 °C/h 속도로 600 °C로 가열한 다음 20 시간 유지, 500 °C로 냉각시켜서 20 시간 유지한 후, 다시 400 °C로 냉각시켜서 400 시간 유지한 다음 로냉하였다.

### 3. 결과 및 고찰

각 시료의 미세조직을 관찰한 결과, Y123 조성으로 제조한 성형체에서는 211 입자들이 포정반응에 의해 대부분 액상에 녹아 소멸되고 소수의 입자만이 123 결정에 포획되었다. 각진 123 결정의 모서리 부분에 211 입자들이 포획되어 있고 어떤 경우에는 211 입자 track들이 123 결정립의 한 변에 평행하게 달리고 있다. 이 면들을 분석한 결과 211 입자들은 123 결정립의 {110} 면 위에 놓여 있음을 알게 되었다. 반면에 Y1.8 조성으로 제조한 시편의 경우, 211 입자 분포가 나비형상을 보인다. 123 결정립 내 어떤 면들에는 211 입자들이 다량 분포하나 또 다른 면들에는 전혀 분포하지 않는다. 211 분포의 경계면은 123 조성 시편의 경우와 마찬가지로 123 결정의 {110} 면이다. 123 결정에는 (100), (010)와 (001) 3개의 주된 결정 성장면이 있다. 이 면 중 (100) 면과 (010) 면의 계면에너지는 같고 (001)은 다르다. 이 차이로 인해 211 입자들이 (100)/(010) 면으로는 포획되나 (001) 면에서는 액상 쪽으로 밀리기 되어 최종에는 나비형태의 211 입자분포를 만드는 것으로 판단된다. 원형 형태의 211-free 영역은 성형체의 부분 용해 시의 가스생성으로 설명된다.