

액상기지에 분포하는 고상 입자의 비정상 입자성장  
( Abnormal Growth of Grains Dispersed in the Liquid Matrix)

한국과학기술원 박 영 준\*, 윤 덕 용  
한국표준과학연구원 황 농 문

액상에 분포하는 고상 입자의 비정상 입자성장(Abnormal grain growth) 고상 입자의 모양이 각진 경우에 발생하는 것으로 보고되었다. 각진 고상 입자의 고/액 계면은 singular interface이고, singular interface에는 원자들의 흡착을 도와주는 원자 계단등이 존재하지 않기 때문에 계면반응 지배기구로 입자 성장이 진행되는 것으로 알려져 있다. 그래서 비정상 입자성장도 계면반응 지배기구로 진행할 것으로 생각된다.

입자성장의 성장속도 및 크기 분포에 대해서는 LSW이론에서 잘 다루어져 있다. 그 중 비정상 입자성장이 발생하는 계면 반응 지배 기구의 경우는 Wagner에 의해서 다루어졌는데, Wagner는 실제적으로 밝혀진 singular interface에서의 원자의 흡착기구와는 관계없는 가정을 바탕으로 하여 계면 반응 지배의 경우를 다루었기 때문에 그 이론은 비정상 입자성장을 비롯한 각진 입자들의 입자성장을 설명할 수 없었다. 그 이후 Mullins 와 Zwillinger등이 각진 입자의 입자성장을 다루었지만 Wagner와 같이 구체적인 계면 반응기구를 고려하지 않았기때문에 Wagner의 이론과 같은 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 2-D nucleation & growth를 액상기지에서 발생하는 각진 입자의 비정상 입자성장의 발생기구로 제안한다. 나선 전위와 같이 원자계단을 제공하는 결함이 없으면 singular interface는 2-D nucleation & growth 로 성장한다. 2-D nucleation에는 임계 구동력이 존재하여서, 임계구동력 이하의 성장구동력을 받는 입자는 비록 성장구동력이 존재하여도 거의 성장할 수 없고, 임계구동력 이상을 받는 제한된 입자만이 성장을 하는 비정상 입자성장의 특징을 나타내게 된다. 2-D nucleation에 대한 임계 구동력은 이론적으로도 계산 될 수 있지만 여러 변수의 불확실성에 의하여 현실적으로 정확한 계산이 불가능하다. 그래서 Ga의 용고 실험결과를 사용하여 그 값을 계산한 결과, 약 30 J/mole의 값을 얻었다. 이러한 성장 구동력이 순수한 capillary 효과로 부터 발생하기 위하여서는 고상 입자의 크기가 sub-micron정도의 크기를 갖어야 하고, 이러한 결과는 비정상 입자성장에 대한 실험 결과와 매우 잘 일치하였다.

성장하는 입자가 받는 성장구동력은 입자성장이 발생하는 계의 임계반경에 따라 결정된다. LSW 이론에서는 임계반경을 확산 지배기구의 경우 계의 평균 반경으로, 계면 반응 지배기구의 경우 평균 반경의 9/8 배로 계산하여, 임계반경은 반응 지배기구의 종류에 따라 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 계면 반응 지배기구의 경우 Wagner의 가정이 틀렸기 때문에, 이를 바탕으로 계산한 임계반경도 믿을 수 없다.

입자성장은 고상의 총량이 일정한 가운데서 발생한다. 즉, 녹는 원자량과 자라나는 원자량은 같다. 비정상 입자성장이 발생하는 singular interface는 성장에 있어서 2-D nucleation이 필요하지만, 용해에는 아무런 에너지 장벽이 없어서 쉽게 발생할 수 있다. 그래서 이러한 조건에서 용해와 성장의 원자량이 같아지기 위해서는, 성장에 소요되는 구동력이 용해에 대한 것 보다 커야한다. 이것은 임계반경이 계의 평균 반경보다 작은 조건에서 발생할 수 있기 때문에, 비정상 입자성장이 발생하는 계의 임계반경은 정상 입자성장과는 달리 매우 작은 크기를 유지해서 성장하는 입자에게 커다란 성장 구동력을 계속 공급할 수 있고, 이로 인해 큰 크기로의 빠른 성장이 가능하다.