

합성 미세구조 기반 재료 물성 예측 AI 경진대회

본 문서는 대회 문제의 이해를 돕기 위한 참고 자료입니다. 미세구조 이미지가 무엇이고 어떤 시각적 요소를 살펴봐야 하는지 예시로 소개합니다.

재료공학의 근본 원리: **내부 구조(미세구조)가 재료의 성질(물성)을 결정한다.**

힘을 받으면 내부의 결함(전위)이 미끄러지는데, **이를 막는 구조일수록 단단하고 강해집니다.** 결정립계·2상·조직의 균질성 같은 미세구조 특징이 이 저항을 좌우합니다. 재료 종류와 조건에 따라 영향이 달라질 수 있으며, 아래 내용은 미세구조를 이해하기 위한 단순화된 설명입니다.

미세구조를 읽는다는 것

미세구조(microstructure)는 재료 내부에서 **결정립(grain)**, **결정립계(grain boundary)**, **상(phase)**, **기공(pore)**이 이루는 배열입니다. 금속·세라믹의 성질은 조성만으로 정해지지 않습니다. 같은 조성이라도 열처리·압연·소결 같은 **제조 공정**이 미세구조를 바꾸고, 그 결과 경도·강도 같은 성질이 달라집니다. “구조가 성질을 지배한다”는 것이 재료공학의 출발점입니다.

현미경으로 단면을 촬영하면 이 배열이 눈에 드러납니다. 밝기가 비슷한 다각형 알갱이들은 결정립이고, 그 사이 어두운 선은 결정립계입니다. 조성이 다른 **2상**은 더 어두운 알갱이로, **기공**은 뚜렷한 검은 반점으로 보이며, 가공 방향이 있으면 알갱이가 한쪽으로 늘어납니다. 아래 예시들이 바로 이 시각적 단서들입니다.

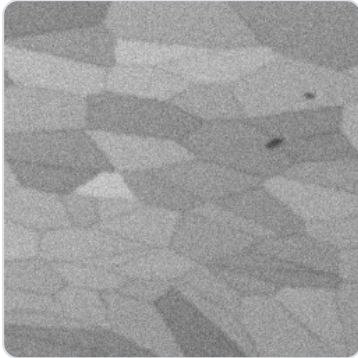
본 대회의 이미지는 재료의 결정립 구조를 모사해 생성한 **2차원 합성 미세구조 이미지**이며, 실제 현미경으로 촬영한 사진이 아닙니다. 정답 물성값 또한 실제 실험 측정값이 아니라, 재료과학적 물리 경향(예: Hall-Petch 관계, 상 혼합, 기공 영향)을 본떠 만든 **합성 대응값**입니다. 일반적인 물리 경향이 본 대회의 경도 대응값에 그대로 적용되는 것은 아니며, 어느 한 특징만으로 경도의 증감을 단정할 수 없습니다. 이미지의 물리적 길이 스케일은 제공하지 않으며, 이 대회의 예측값을 실제 시편의 측정값으로 직접 해석하지 않습니다.

구조를 눈으로 보기 — 비교 예시

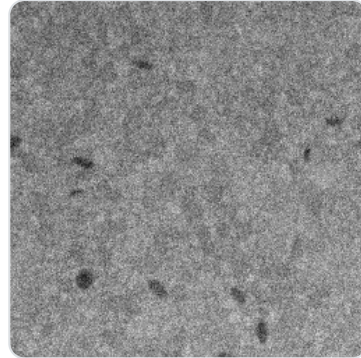
각 쌍은 제공된 Train 이미지에서 선택한 비교 예시입니다. 결정립 크기는 왼쪽이 조대하고 오른쪽이 미세하며, 나머지 쌍은 해당 특징이 적거나 낮은 예시(왼쪽)와 많거나 높은 예시(오른쪽)입니다. 다른 특징도 함께 달라지므로 한 가지 요인의 영향만 분리한 실험은 아닙니다.

결정립 크기 (grain size)

가장 기본 요소. 작은 알갱이(미세)일수록 경계가 많아 변형을 막아 강해집니다 (Hall-Petch 경향: 다른 조건이 같다면 미세한 결정립이 강도를 높이는 방향으로 작용). 오른쪽은 알갱이가 잘라 훨씬 촘촘합니다.



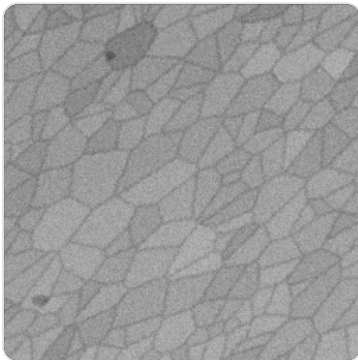
조대(굵은) 결정립



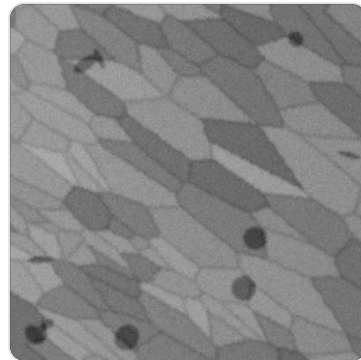
미세(잔) 결정립

2상 분율 (second phase)

조성이 다른 더 어두운 알갱이가 2상입니다(예: 탄화물·펄라이트). 단단한 2상이 많을수록 경도가 높아집니다. 오른쪽에 어두운 알갱이가 흩어져 있습니다.



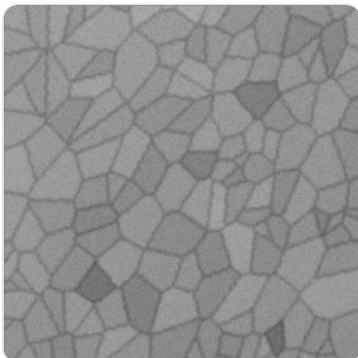
2상 적음



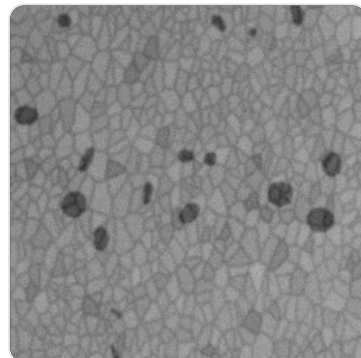
2상 많음(어두운 알갱이)

기공 (porosity)

재료 속 빈 구멍으로, 이미지에서는 어두운 반점으로 뚜렷이 보이는 조직 특징입니다. 다만 기공의 많고 적음이 경도에 어떻게 작용하는지는 데이터로 학습해 판단해야 하며, 단순히 가정하지 마세요.



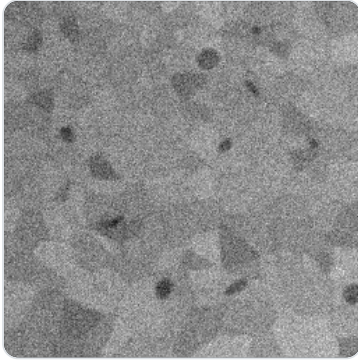
기공 거의 없음



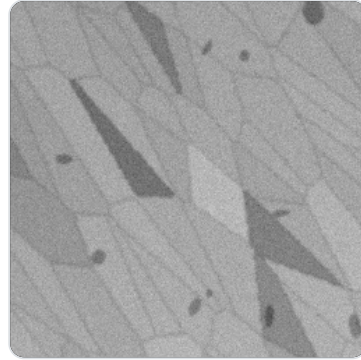
기공 많음(검은 반점)

결정립 신장·집합조직 (texture)

결정립이 **한 방향으로 늘어나고 정렬된 정도**를 관찰합니다(오른쪽). 본 대회는 이미지마다 **경도 대용값 하나**를 예측합니다. 이미지의 절대 방향과 정렬 정도는 구분해야 합니다.



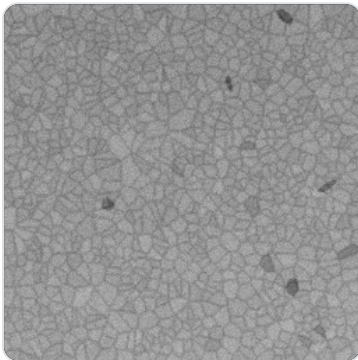
등축(등근) 결정립



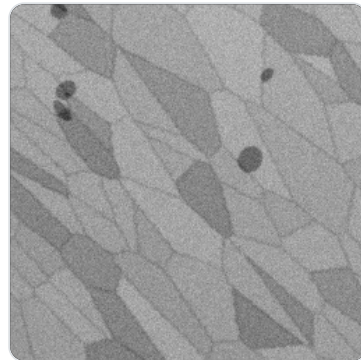
신장(늘어난) 결정립

크기 분포의 균일성 (size distribution)

알갱이 크기가 **고르지 들쭉날쭉한지**를 관찰합니다. 크기 분포와 공간적 불균일성은 경도 대용값을 예측하는 단서가 될 수 있습니다. 불균일하다고 반드시 경도가 낮다고 해석하지 마세요.



균일한 크기



불균일한 크기

평가 지표

경도(hardness)는 재료가 실제 부품·제품으로 쓰일 수 있는지를 판단하는 핵심 성능 지표이자, 가장 널리 측정되는 기계적 물성입니다. 보통은 시편에 압입 시험을 해야 얻을 수 있어 시간과 비용이 듭니다.

본 대회에서는 **합성 미세구조 이미지로부터 경도 대용값을 예측**하며, 이미지 기반 물성 예측의 가능성을 탐구합니다. 실제 경도 시험을 대체하거나 비파괴 평가 성능을 검증하는 대회는 아닙니다.

모델은 경도를 예측하며, 예측값과 실제값의 **RMSE(제곱근 평균제곱오차, HV 단위)**로 평가합니다. 값이 작을수록 예측이 정확합니다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{mean}((\text{예측} - \text{실제})^2)}$$

* 경도 대용값의 제곱평균제곱근 오차를 HV 단위로 나타냅니다. 값이 작을수록 우수합니다.

- 점수는 낮을수록 우수합니다.

리더보드는 Public(Test의 30%)과 Private(70%)로 나뉘며, 최종 순위는 Private 점수로 결정됩니다.