

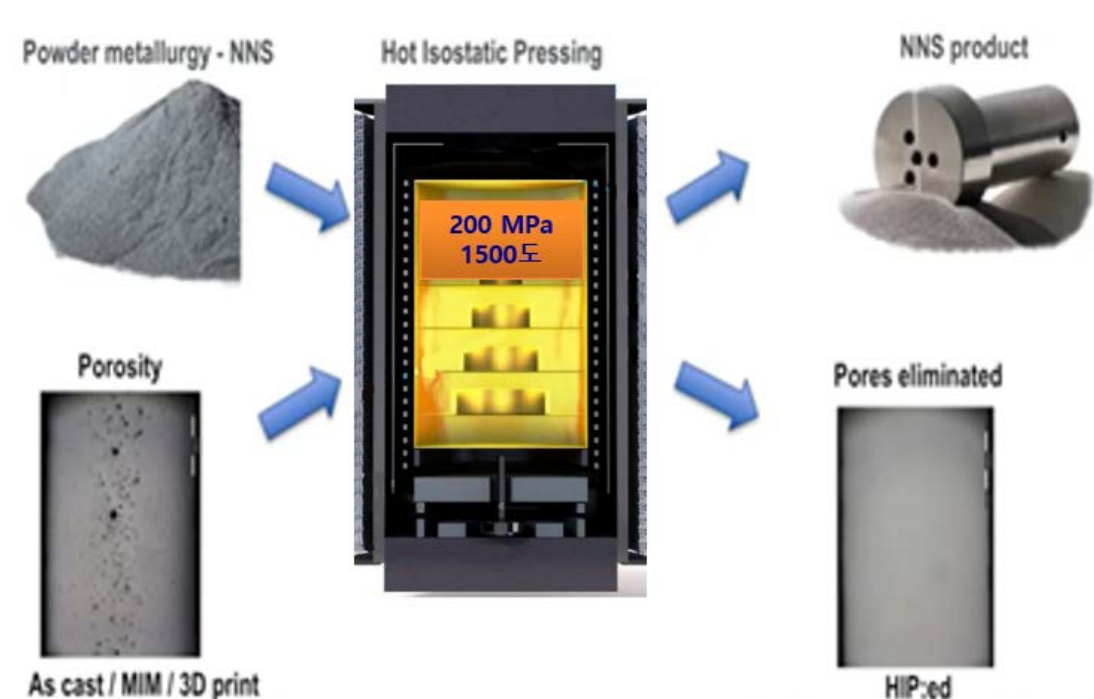
등방가압성형 압력용기 피로파괴 예방을 위한 설계 및 제조기법

박종범
(주) 일신오토클레이브
(jbpark@suflux.com)

1. Introduction

- 열간 등방가압성형(Hot Isostatic Pressing, 이하 HIP)공정은 비활성 기체를 전달 매체로 이용하여 소재의 용점 이하의 온도에서 150MPa 이상의 압력을 동시에 가하여 고밀도 소결 성형하는 공법이다. 이러한 공정을 통해 재료의 밀도를 증가시킬수 있으며, 성형체에 존재하는 기공을 제거함으로써 기계적 물성을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 하지만 초고온, 초고압인 상태에서 가압과 감압의 반복적인 하중으로 인한 초고압용기의 피로파괴가 종종 발생이 되고 있다. 더욱이 초고압 용기의 피로파괴는 수명기준 공정 반복횟수가 수백만번 이상의 고속회전의 기계류나 항공기와 달리 추천번에서 수만번을 넘지 않는 경우에서 발생한다. 즉 가압 또는 감압에 의한 반복하중 횟수는 적지만 교번하중이 큰상태의 피로현상으로 소성변형을 일으키지 않는 저 사이클 피로로써 교번소성이라 불리며, 항복 변형도를 초과한 큰 변형이 발생할 수 있어 비용적인 부분과 장비의 안전성에 큰 문제가 될 수 있다.
- 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 반응용기의 피로현상에 대한 동향과 영향요인에 대해 파악하고 반복 하중하에서 운전되는 압력용기의 내부실린더와 외부실린더의 임계부위에 대한 구조적 건전성 평가를 위해 부가된 잔류응력에 대한 강도이론설계와 수명과 관련된 피로해석 설계기법을 소개하고 내구성 향상을 위한 잔류 압축응력공법의 압력용기 제조기법을 기술하고 한다.

열간 등방가압 성형 공정(HIP처리)

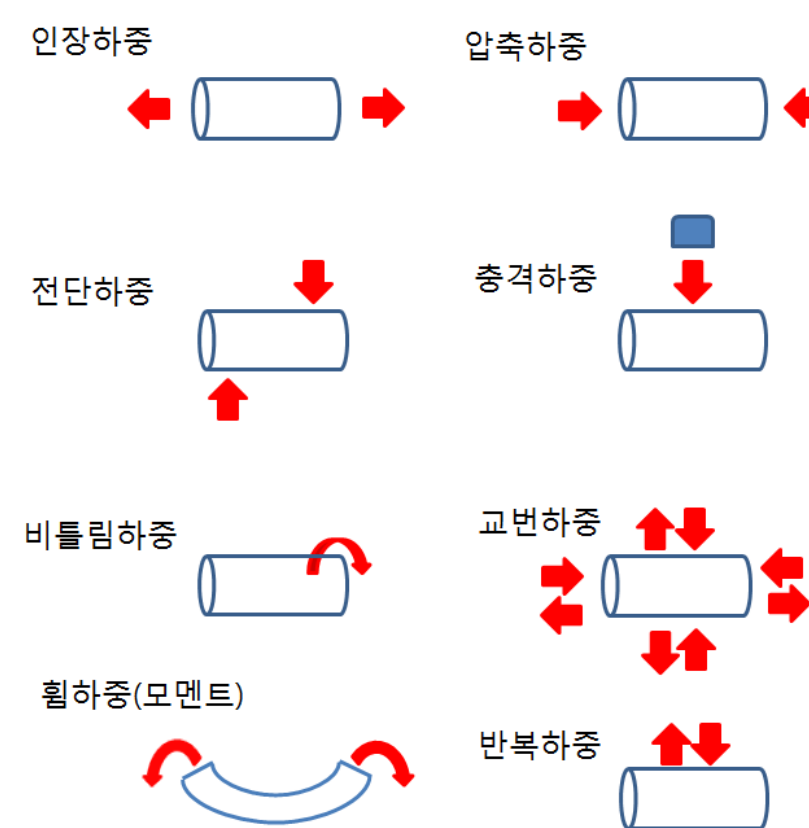


반응용기 피로파괴 사진



가압 또는 감압의 반복적인 하중으로 인한 피로파괴 발생

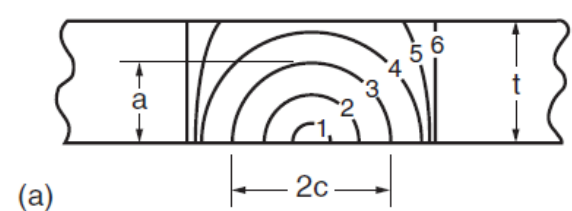
하중의 종류



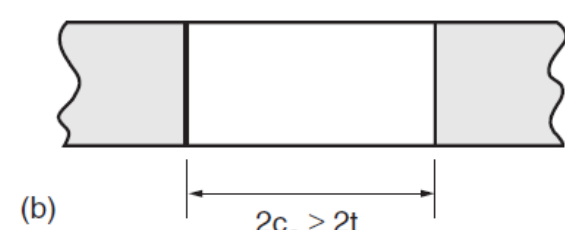
2. Theoretical Modeling(ASME SEC VIII,DIV3) & Residual compressive stress method

Concept of LBB(Leak Before Burst)

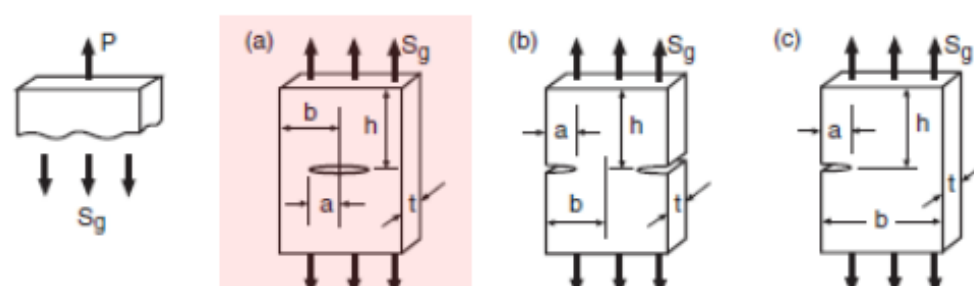
1. 압력용기의 균열은 압력변화와 연관된 반복하중의 영향 또는 재료에 발생하는 화학적인 침식에 의해 진전된다.
2. 균열은 보통 평면 결함에서부터 시작하여 아래 그림(a)에 나타난 것처럼 압력 용기의 벽면에 수직인 방향으로 최대응력이 작용할 때 진전된다.



3. 진전초기에 균열은 대략적으로 균열 길이 a의 두배의 값을 가지는 면 길이 2c를 가지면서 진전된다.
4. 만약 취성파괴가 발생하지 않는다면, 균열의 진전은 (b)에 표현된 것처럼 면 길이 2c가 두께의 2배의 값, 2t를 가지는 결과로 관통 균열에 이르는 형태를 보이며 진전된다.

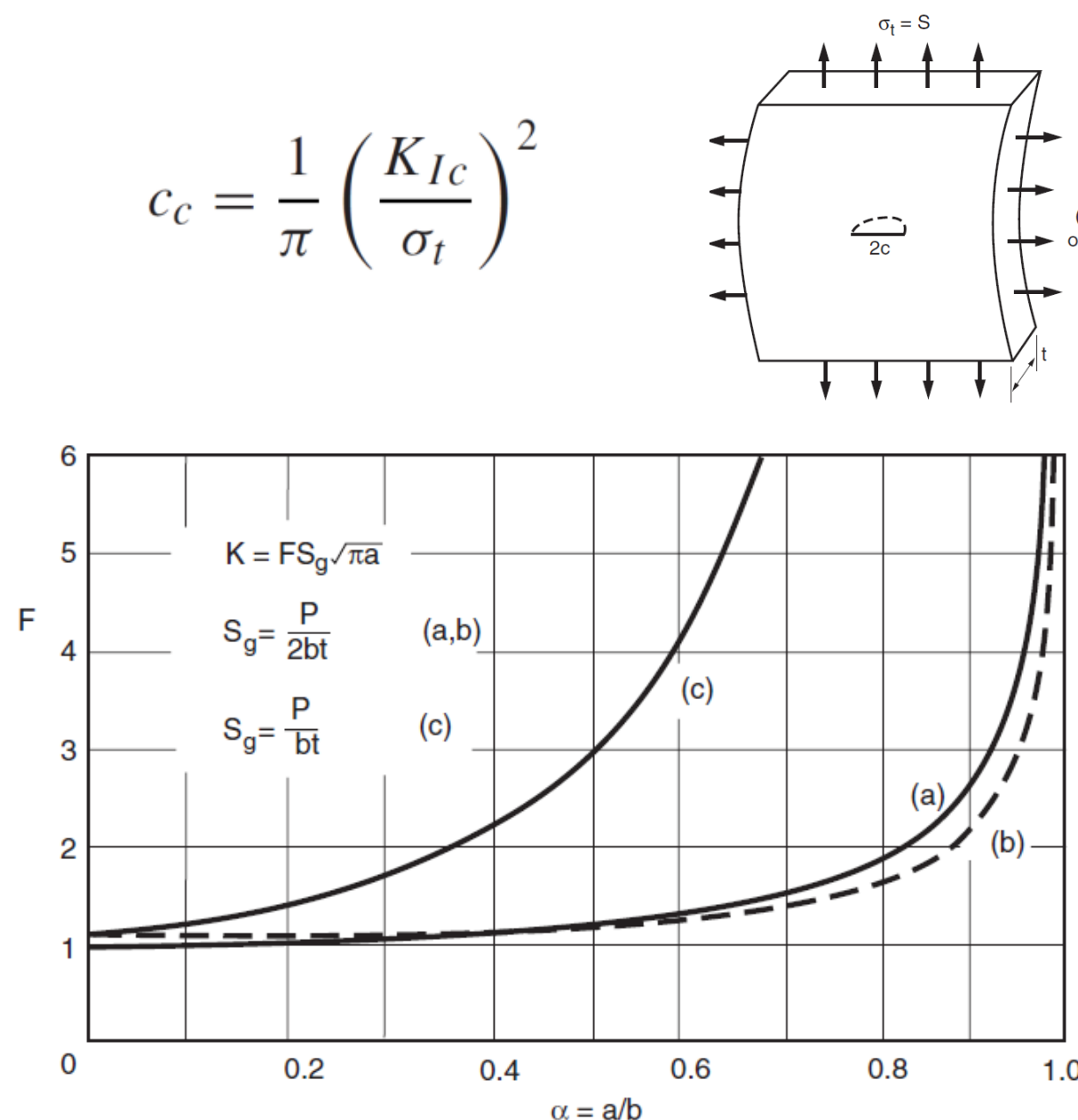


5. 만약 재료가 최소한의 관통 균열 크기를 견딜 수 있을 만큼 충분한 인성을 가지고 있지 않는 경우에는 균열이 벽을 관통하기 전에 갑작스런 취성파괴가 발생할 것이다. ($C_c \geq t$)

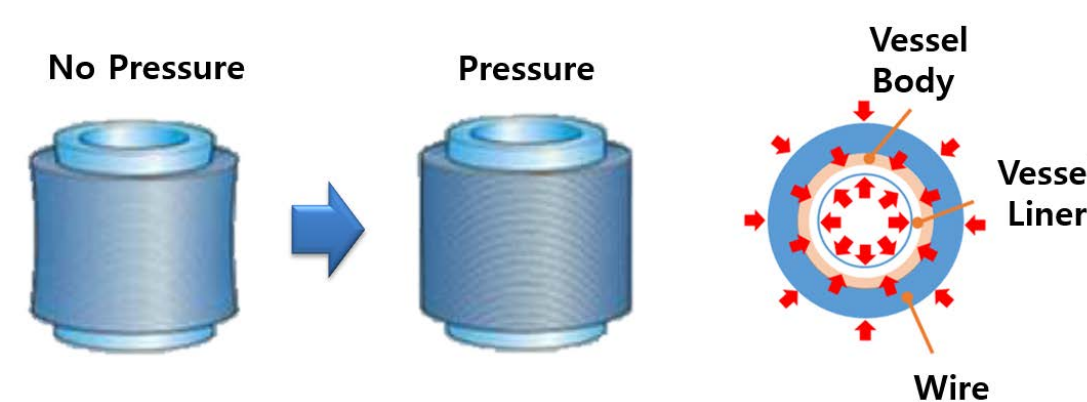


압력용기 내부의 균열 종류

$$c_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_t} \right)^2$$



잔류압축응력 원리 및 방법



[Residual Stress and Deflections in Cylinder due to Flat Wire Winding (KD-9)]

$$\sigma_r(x_1) = - \left[1 - \left(\frac{D_l}{x_1} \right)^2 \right] \int_{D_{if}}^{D_w} \left(\frac{x}{x^2 - D_l^2} S_w(x) \right) dx$$

$$\sigma_t(x_1) = - \left[1 + \left(\frac{D_l}{x_1} \right)^2 \right] \int_{D_{if}}^{D_w} \left(\frac{x}{x^2 - D_l^2} S_w(x) \right) dx$$



열박음공법-1차



와이어와인딩공법-2차

3. Conclusion

- ❖ 150MPa이상의 압력을 사용하는 초고압용기 설계에 있어 교번하중으로 인한 피로파괴를 방지하기위해 파단 전 누설 설계(LBB)는 압력강화부터 쉽게 사용자가 발견할 수 있기 때문에 압력용기의 안전을 위해 필수적으로 설계에 반영이 되어야 하며, 압력용기 균열에 대한 부분은 응력확대계수 참고하여 면밀히 검토되어야 한다.
- ❖ 또한 초고압 압력용기의 안정성과 내구성을 확보하기 위한 방법으로 이중 실린더 사이에 잔류압축응력을 부가하는 열박음 또는 와이어와인딩 공법을 활용하는 제조기술이 산업계에 적용되고 있다.