

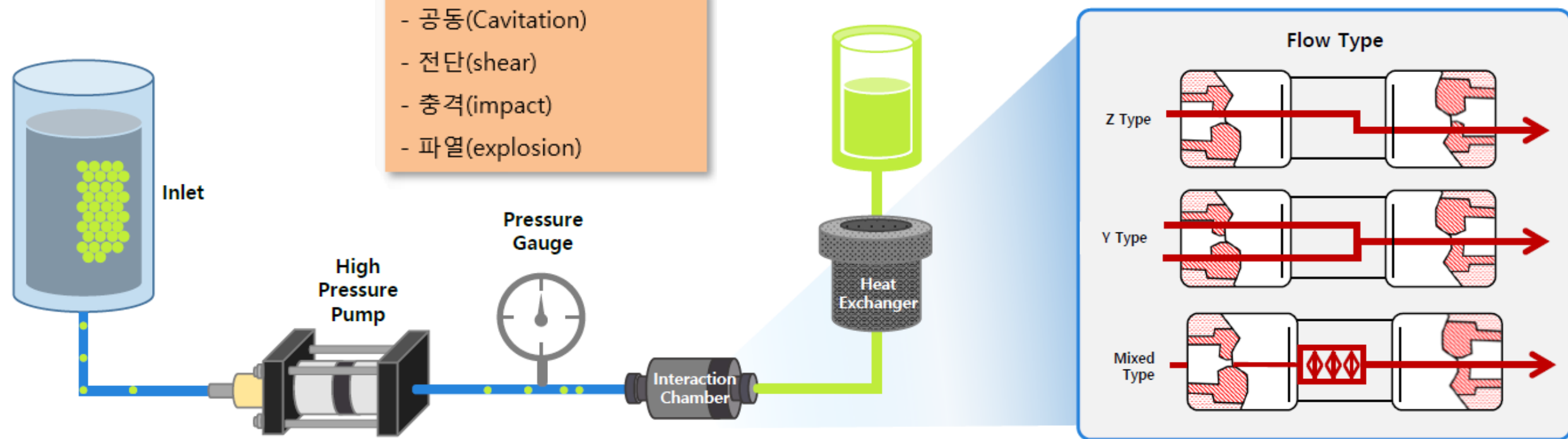
고압분산기 고압헤드 피로파괴예방을 위한 설계기법

박종범(㈜일신오토클레이브), 정봉용(인하대학교)

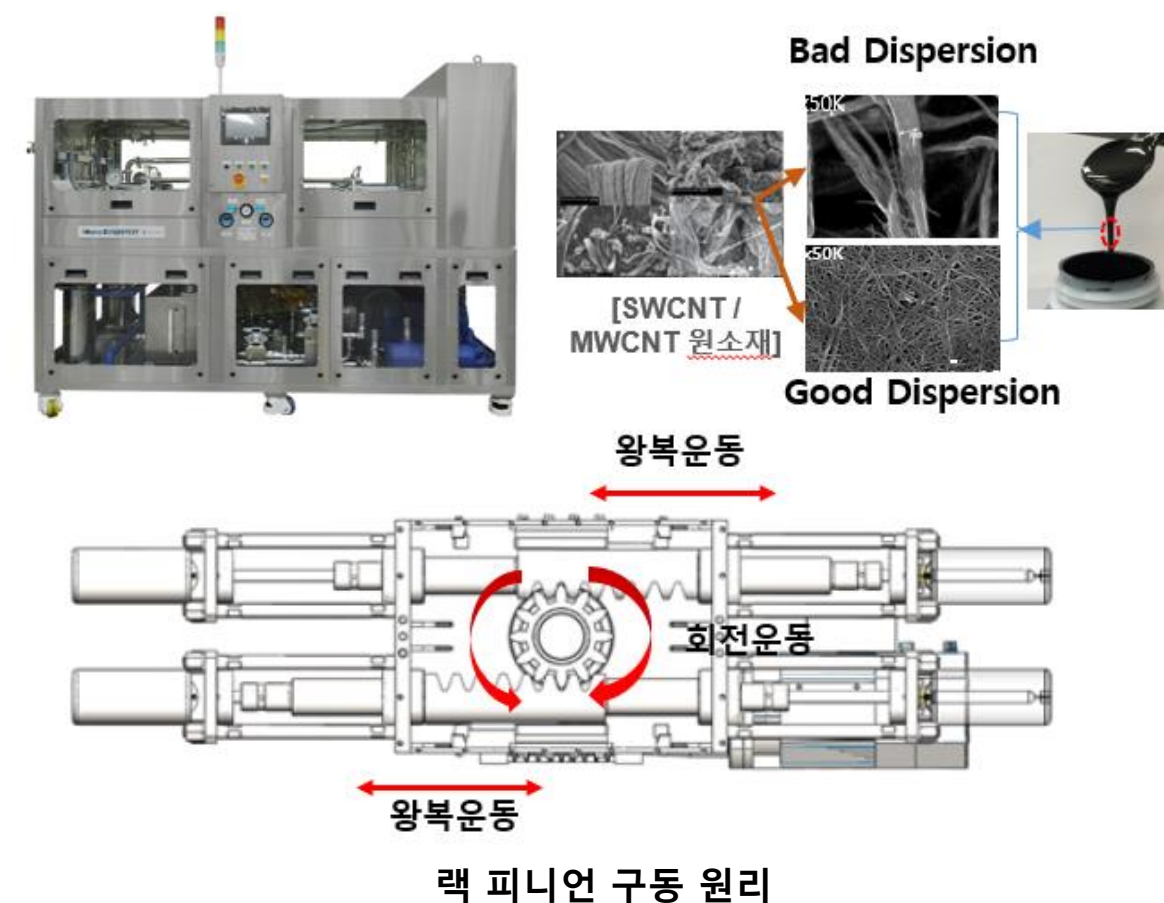
1. Introduction

- 고압 분산기란 고압을 사용하여 물질을 분해 및 혼합하는 장비이며, 고압의 유체를 작은 오리피스를 통해 강제로 통과시키면 오리피스 노즐안에서 전단력(Shear Force), 충격(Impact), 캐비테이션(Cavitation) 효과를 통해 물질의 입자를 매우 작게 파쇄 및 균질하게 혼합할 수 있도록 만들어진 장비이다. 이렇게 만들어진 분산액은 제약, 화장품, 식품, 제작산업분야 등에 사용되고 있으며 최근2차 전지 도전재의 CNT 분산액으로 활용이 되고 있다.
- 하지만 분산기의 핵심 구성품인 고압헤드는 피스톤이 직선왕복을 하는 동안 내부에 250MPa 이상 압력에서 가압과 감압의 반복적인 하중을 받아 피로파괴가 종종 발생이 되고 있어 생산 연속성의 비용적인 부분과 사용자의 안전성에 큰 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 분산기의 고압헤드부 피로파괴에 대한 원인을 분석하고 반복하중에 의한 균열 및 결함이 발생되지 않도록 설계 및 제작하여 고압헤드의 내구성 및 안정성을 확보하고자 하였다.
- 설계에 대한 기초강도 이론은 미국기계학회 ASME 코드를 적용하였으며, 자진가공 공법으로 제작 그리고 구조해석을 통해 설계에 대한 적정성을 검증하는 연구를 진행하였다.

고압분산기 동작원리 및 주요기술

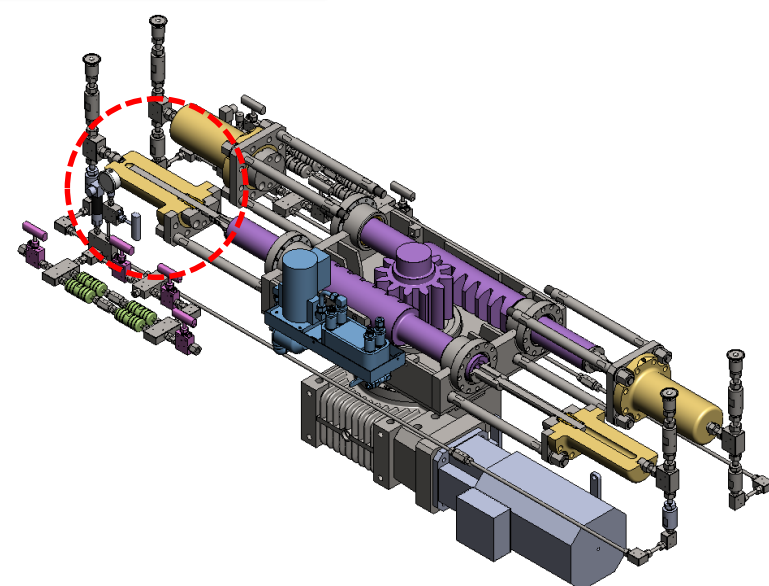
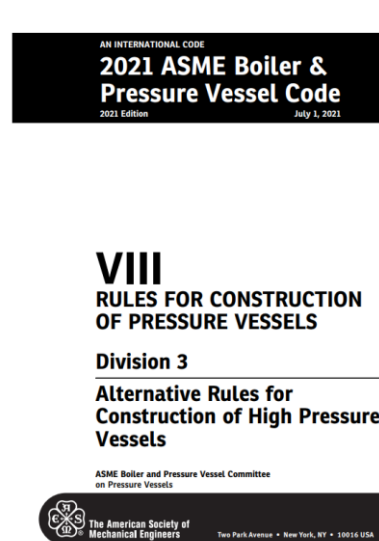
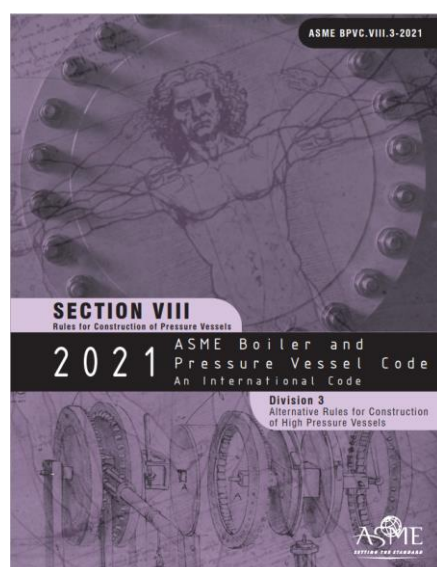


분산기 구동시스템



2. Theoretical Modeling(ASME SEC VIII,DIV3) & Fatigue Analysis

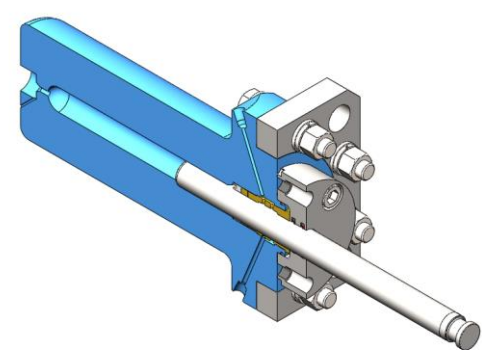
Theoretical Modeling



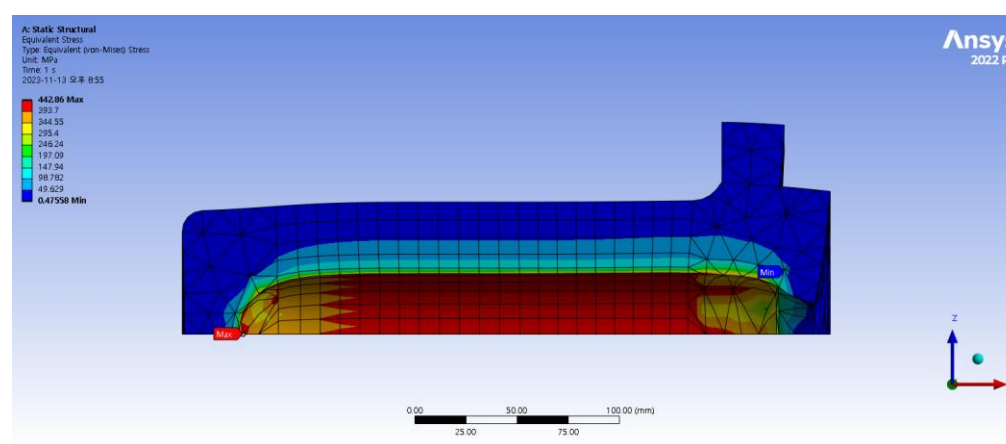
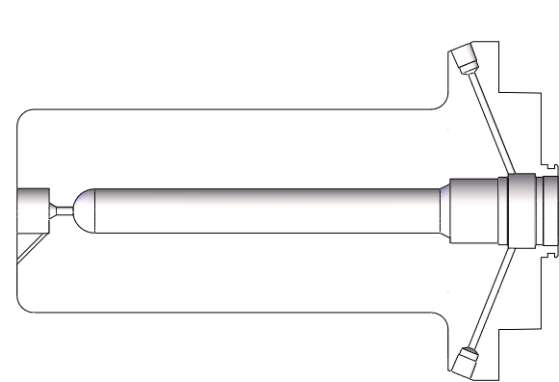
➢ 내압을 받는 고압헤드 ASME 강도설계 공식 (T=42mm)

$$t = \frac{PD}{2SE+2yP} + C \text{ 또는 } t = \frac{PR}{SE-(1-y)P} + C$$

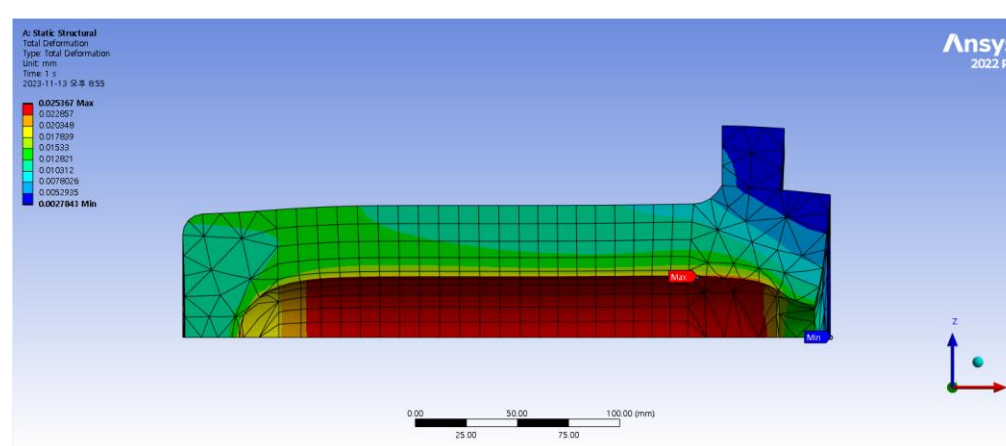
t = 요구두께(mm) P= 최대허용 사용압력(MPa) E= 용접이음효율
D = 바깥지름(mm) R=안지름(mm) y=온도계수(480도 이하 0.4)
S= 설계온도에서의 최대 허용응력(MPa) C= 구조적안정을 위한 여유



자진가공(Autofrettage) 원리

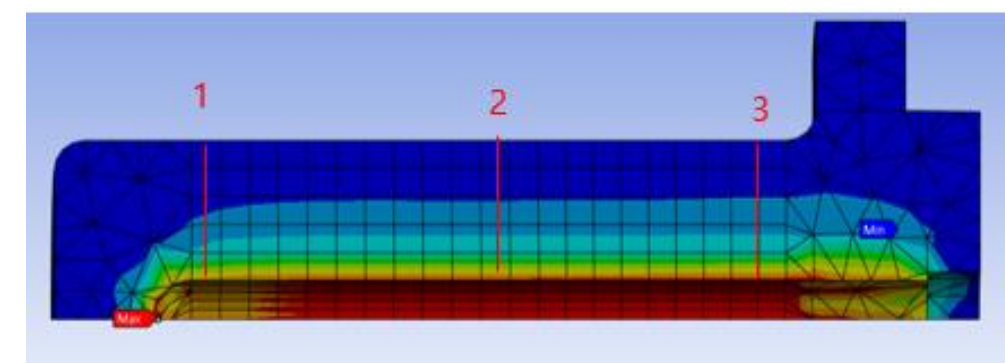


응력분포 (Max : 442.86MPa)



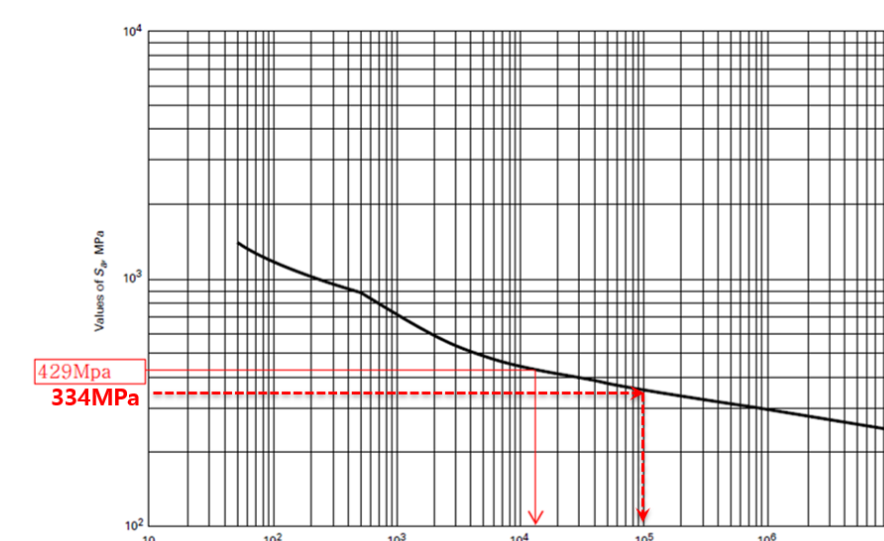
변형률 (Max : 0.025mm)

Fatigue Analysis



Path No.	Linearized Stress				Stress Evaluation			
	Pm	Pl	Pb	Q	S	Spl	Sps	Result
1	78.21	-	-	201.07	310	465	930	OK
2	101.83	-	-	246.85	310	465	930	OK
3	104.29	-	-	247.77	310	465	930	OK

Stress Intensity [$S_{II} = \sigma_1 - \sigma_2$]	Associated Mean Stresses [$\sigma_{m,II} = 0.5(\sigma_{1,II} + \sigma_{2,II})$]
Alternating Stress Intensity [$S_{a,II} = 0.5(\sigma_{1,II} - \sigma_{2,II})$]	β
Stress normal to the plane of the maximum shear stress [$\sigma_{n,II} = 0.5(\sigma_1 + \sigma_2)$]	Equivalent Alternating Stress Intensity [$S_{eq,II} = S_{a,II} / (1 - \beta \sigma_{m,II} / S_a)$]



The allowable amplitude S_a of the alternating stress was calculated from [Eq. KD-322.4]:

$$S_a = K_f K_s K_e S_{eq} \frac{E[curve]}{E[analysis]}$$

where, K_f : the fatigue strength reduction factor = 1.0 [KD-322]

K_s : the surface roughness factor = 1.233412 for 6.2μm Ra [Fig. KD-320.6(a)]

K_e : the fatigue penalty factor = 1.0 for $\Delta S_s \leq 2S_s$ [KD-322(g)(1)]

ΔS_s : the primary-plus-secondary stress intensity range

$E[curve]$: Modulus of Elasticity given on the Design Fatigue Curve = 200 x 10³ MPa [Fig. KD-320.4M]

$E[analysis]$: Modulus of Elasticity used in the analysis = 192 x 10³ MPa

3. Conclusion

- ❖ 250 MPa이상의 압력을 사용하는 초고압 분산기 고압헤드의 강도설계에 있어 해당압력을 견디기 위한 고압헤드의 두께는 ASME 코드 기준 42mm 가 산출되었으며, 여기에 안전율 1.12배를 추가하여 제작 시 두께는 47mm로 확정하였다.
- ❖ 또한 고압헤드의 피로파괴 예방을 위해 램실린더를 사용하여 자진가공(Autofrettage) 공법으로 고압헤드를 제작하였으며 이를 통해 고압헤드 소재의 허용 응력값을 증대시켜 이를 기준으로 유한요소해석을 이용하여 등가응력을 산출하였다.
- ❖ 마지막으로 등가응력을 주응력으로 분해한 후 응력진폭을 계산한 결과 대략적인 수명은 10만 사이클이 산출되었다.