

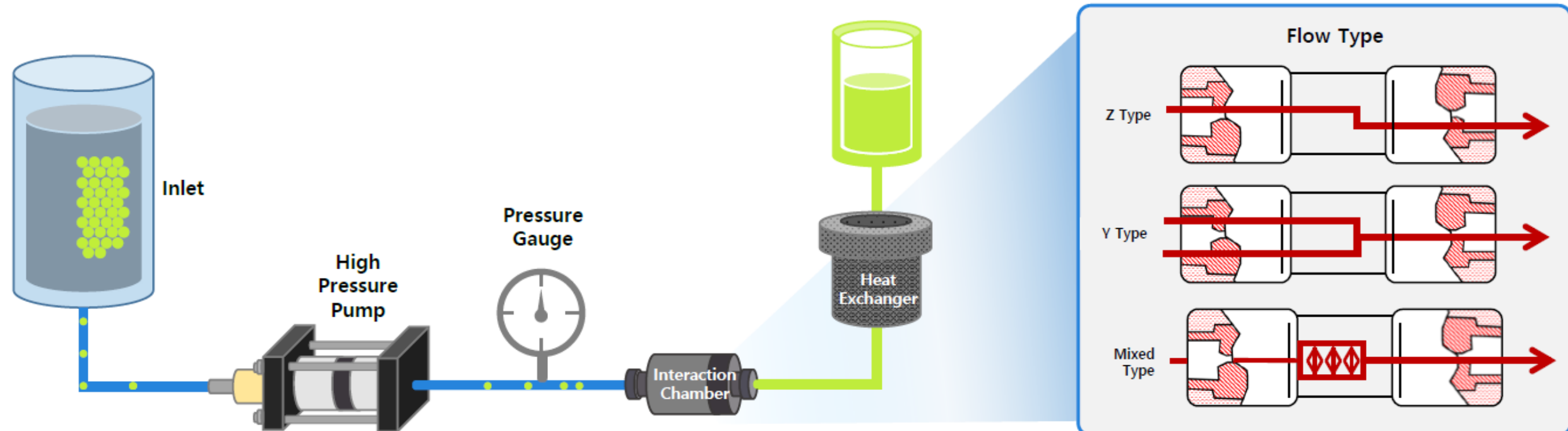
분산기 헤드의 피로 설계 사상을 이용한 피로 수명 평가

이화수(주)일신오토클레이브, 박종범(주)일신오토클레이브

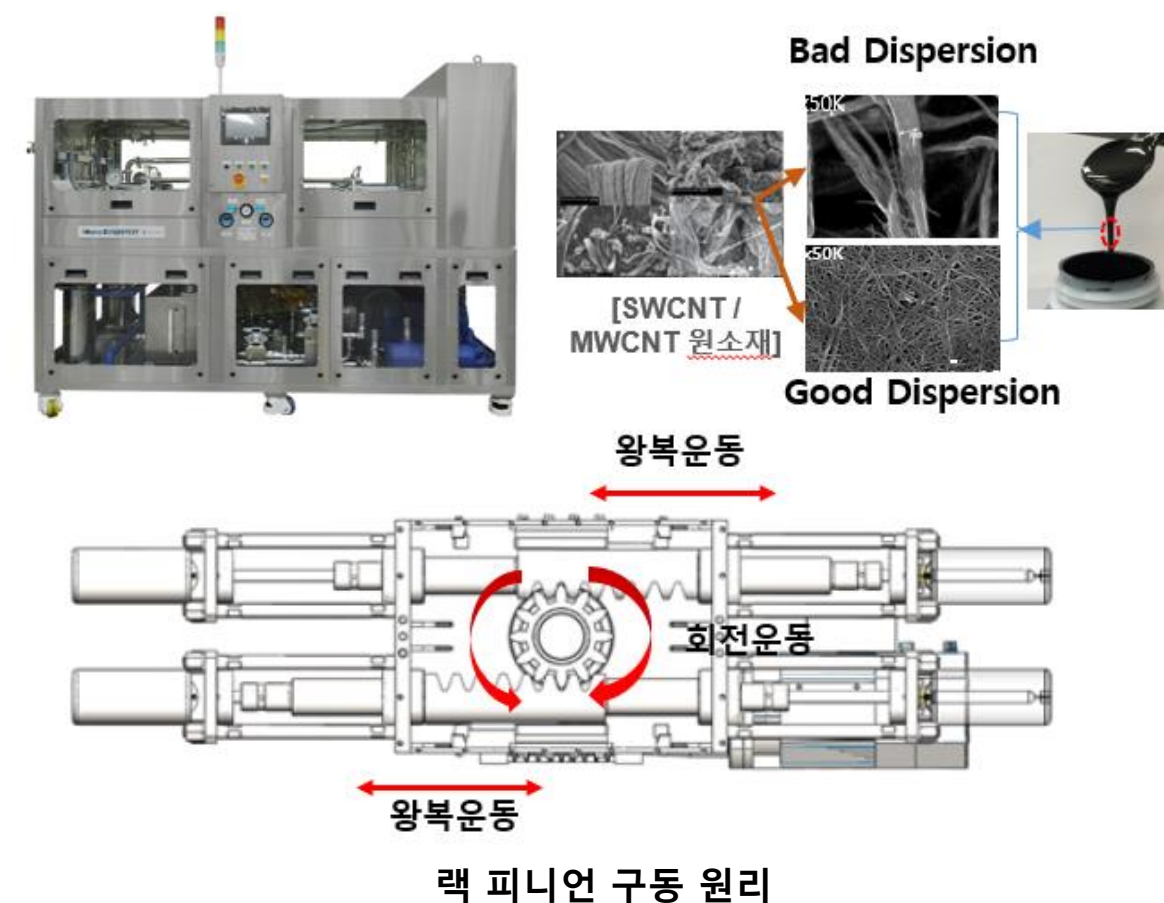
1. Introduction

- 고압 분산기란 고압을 사용하여 물질을 분해 및 혼합하는 장비이며, 고압의 유체를 작은 오리피스를 통해 강제로 통과시키면 오리피스 노즐 안에서 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, 제조산업분야 등에 사용되고 있으며 최근 2차 전지 도전재의 CNT 분산액으로 활용이 되고 있다.
- 하지만 분산기의 핵심 구성품인 고압 헤드는 피스톤이 직선 왕복을 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 고압 헤드부의 피로 파괴에 대한 설계 사상들을 평가하여, 보다 안전하며 효율적인 방법을 찾아 고압 헤드의 내구성 및 안정성을 확보하고자 하였다.
- 각 설계 사상들은 미국기계학회 ASME 코드를 근거하여 계산되었으며, 각 사상에 따라 피로 수명을 계산하고 평가하는 연구를 진행하였다.

고압분산기 동작원리 및 주요기술

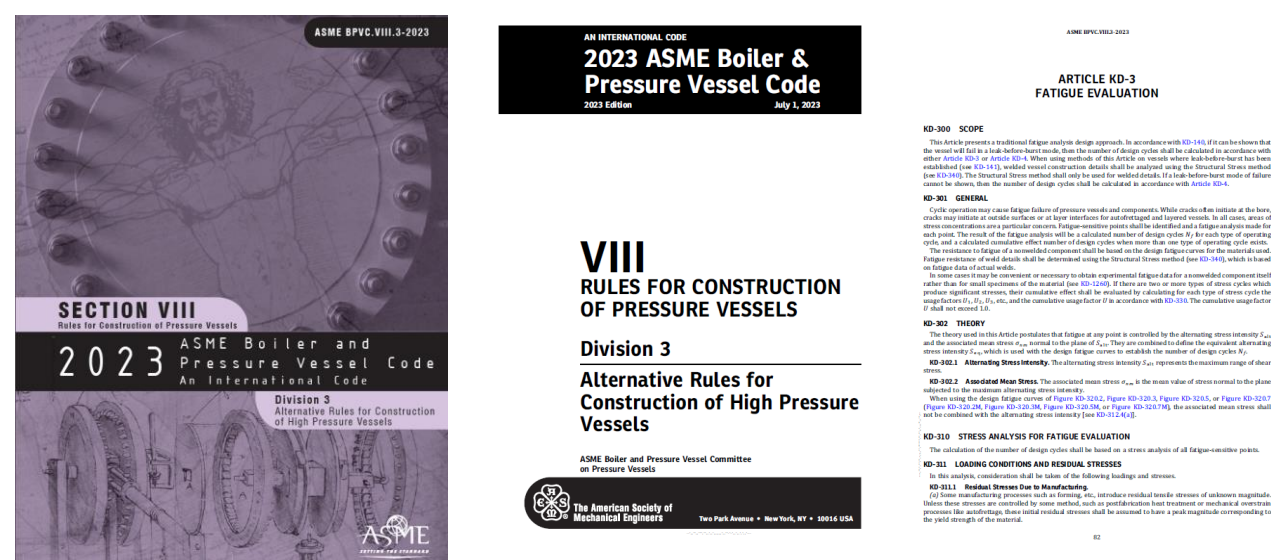


분산기 구동시스템



2. 안전수명설계 & 손상 허용 설계 (공식 & 수치해석)

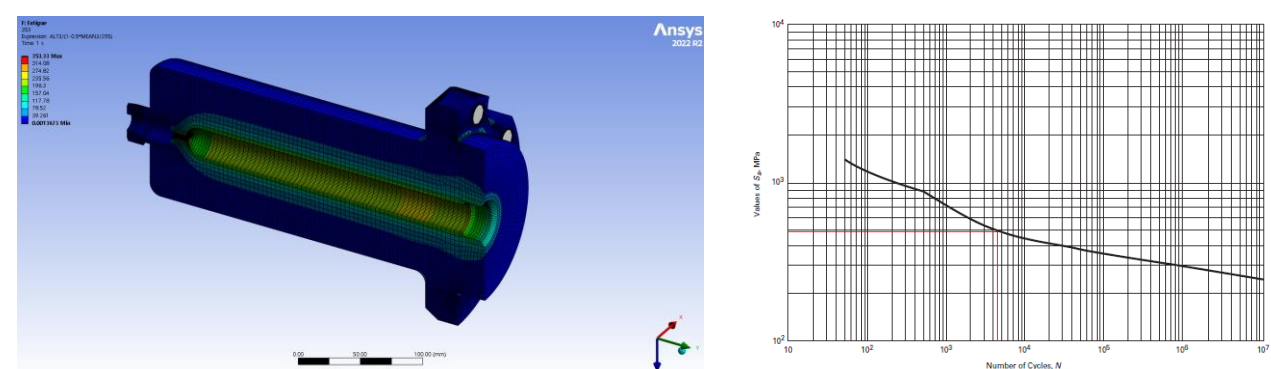
안전수명설계



안전 수명 설계를 이용한 피로수명

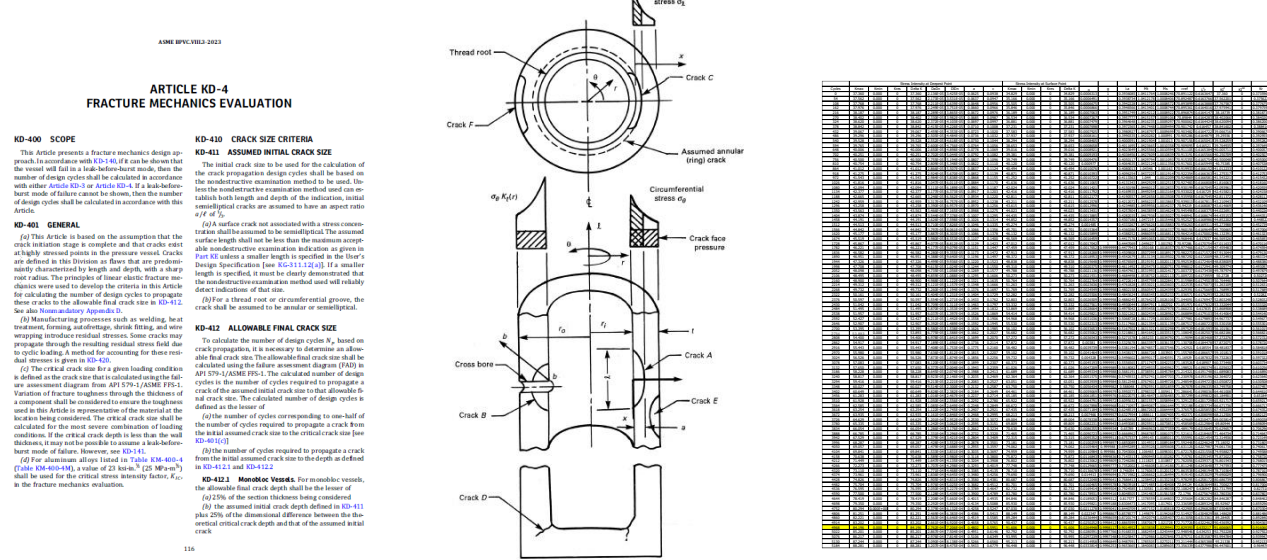
$$S_{eq,ij} = S_{alt,ij} \frac{1}{1 - \beta \sigma_{nm,ij} / S'_a} \quad S_a = K_f K_r K_e S_{eq} \frac{E(\text{curve})}{E(\text{analysis})}$$

: Salt,ij : 교번응력강도, $\sigma_{nm,ij}$: 평균응력, Seq,ij : 등가교번응력강도



피로 수명 : 약 4,653 cycle

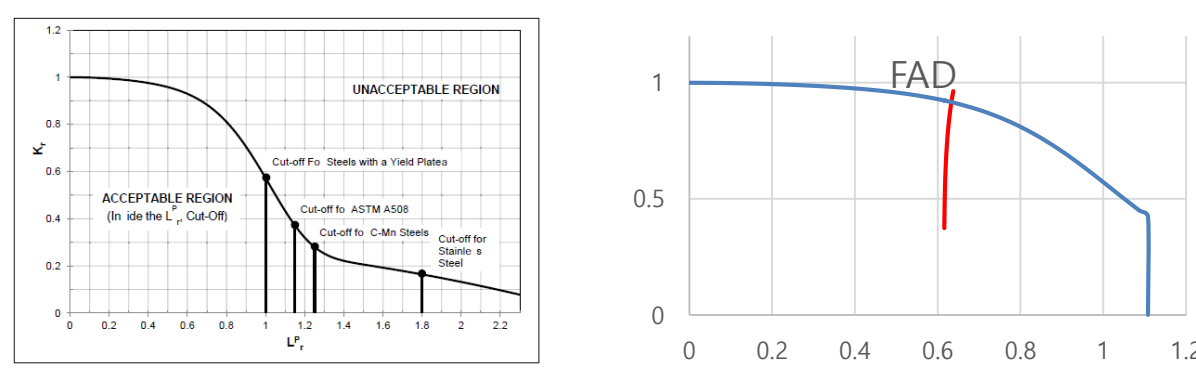
손상허용설계 (공식)



손상 허용 설계 (공식)를 이용한 피로 수명

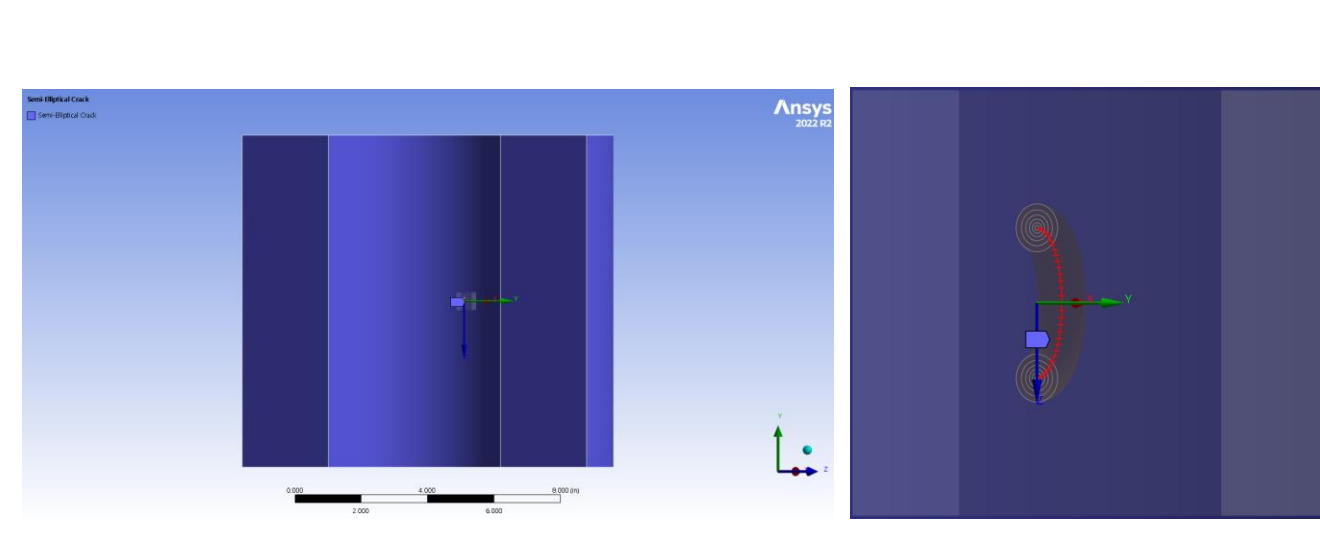
$$\frac{da}{dN} = C[f(R_K)](\Delta K)^m \quad dI / dN = 2C[f(R_K)](\Delta K)^m$$

: 초기 균열 길이 : a = 1.59mm, 초기 균열 길이 : c = 2.38mm



피로 수명 : 약 2,484 cycle

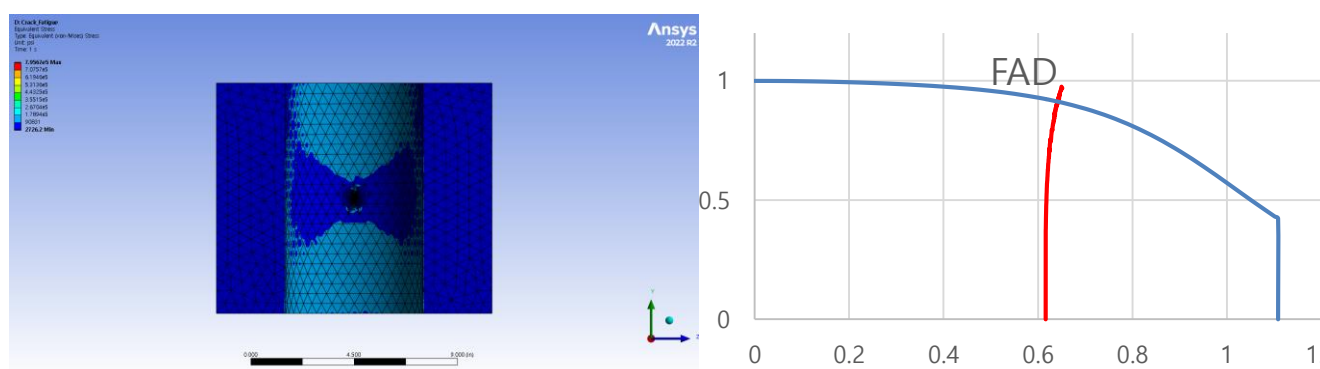
손상허용설계 (수치해석)



손상 허용 설계 (수치해석)를 이용한 피로 수명

Steps	Time [s]	[A] SPS_K1(0%) [psi/in^0.5]	[B] SPS_K1(50%) [psi/in^0.5]	[C] SPS_K1(100%) [psi/in^0.5]	Total Number of Cycles
1	0.26	61088	59992	62388	4650
1	0.27	62200	59990	63442	4718
1	0.28	62154	61121	63524	4785
1	0.29	63309	61745	64622	4852
1	0.3	64040	62601	66278	4916
1	0.31	66167	63346	64015	4883
1	0.32	66498	64217	65003	5042
1	0.33	68166	65018	65922	5098

: 초기 균열 길이 : a = 1.59mm, 초기 균열 길이 : c = 2.38mm



피로 수명 : 약 3,361 cycle

3. Conclusion

- ❖ S-N 선도를 적용한 안전 수명 설계, 피로파괴역학 공식 및 수치해석을 적용한 손상 허용 설계의 결과들을 평가하였다.
- ❖ 각 방법에 따른 피로 수명 계산 결과는 4,653cycle / 2,484cycle / 3,361cycle (안전 수명 설계 / 손상 허용 설계 (공식) / 손상 허용 설계 (수치해석))로 계산되었다.
- ❖ 안전 수명 설계와 손상 허용 설계 (공식)의 결과는 큰 차이를 보였으며, 손상 허용 설계 (수치해석)의 피로 수명이 손상 허용 설계 (공식) 보다 높은 피로 수명을 보여주었다.
- ❖ 각 방법에 따른 수명 평가는 향후 압력용기의 정확한 피로 수명 산출 및 최적 설계 등에 활용이 가능할 것이다.