

고압 분사노즐의 구조해석

원종진(국민대학교), 이종선(대진대학교)*, 윤희중(인천기능대학), 김형철(대진대학교 대학원)

Structural Analysis of High Pressure Injection Nozzle

Chong-Jin Won(Kookmin Univ.), Jong-Sun Lee(Daejin Univ.)*,

Hee-Joung Youn(Inchon Polytechnic College), Hyeong-Chol Kim(Graduate School, Daejin Univ.)

Abstract

This study is object to structural analysis of high pressure injection nozzle. The finite element model was developed to compute the stress, strain for high pressure injection nozzle. For structural analysis using result from FEM code. This structural analysis results, many variables such as internal pressure, boundary condition, constraint condition and load condition are considered.

Keywords : High Pressure Injection Nozzle, Structural Analysis, Maximum Stress, Maximum Strain, Optimal Shape

1. 서론

고압균질기(high pressure homogenizer)는 액상 상태를 균일한 유화상태(乳化狀態)로 변화시키기 위한 기계로서 균질기에 고압상태로 통과한 제품은 물리적으로 지방구가 $2\mu\text{m}$ 이하로 분쇄되어 부상력이 감소되고, 액체의 성분이 완전히 균일한 상태로 존재하게 된다. 이 미세한 지방구는 점성 마찰이 부력보다 강해져서 떠오르지 않게 되어 제품의 외관은 물론 맛과 품질의 효과를 극대화시킬 수 있어 각 분야의 액상 생산라인에 중요한 역할을 차지하고 있다.

세계적으로는 미국, 일본, 독일 등이 기술을 선도하고 있으며, 국내시장의 95%정도를 점유하고 있고, 중국 및 러시아 등에서도 최근 상당한 기술적인 진보를 이루고 있다. 최근에는 고효율화 및 다중 물성에의 적용기술을 개발하고 있으며, 요구되는 최적의 분쇄 입자 크기를 유지하기 위한 고압기술과 내구성 향상으로 고품질화 하는 추세이다. 산업용으로 사용되는 균질기는 우유 균질에 대부분 사용되고, 화장품이나 그리스 등과 같은 고가품 처리용에는 도입단계에 있다. 또한 국내의 기술개발은 균질기의 핵심기술인 내압 구조설계, 재질, 가공기술, 내구성 문제로 인하여 최근에 국산화되었다.

균질공정은 플런저(plunger) 작동으로 발생한 고압에서 밸브에 있는 작은 틈새를 유체가 통과하면서 캐비테이션(cavitation)과 난류, 전단력으로 미세입자가 쪼개지면서 균질화가 이루어진다. 제품에 따라 최고 1000bar까지 요구하는 의약품, 염료, 계면활성제, 실리콘 등 화공약품으로부터 350bar 전후의 그리스, 잉크, 화장품, 수지, 세제, 제지첨가제, 포장용 필름과 250bar 전후의 초콜릿, 마요네즈, 그리고 150bar 이상의 우유, 두유, 주스, 요구르트, 크림 등이 균질공정을 거쳐 생산되고 있다.

본 논문에서는 균질기내 고압 분사노즐부분에서의 내압에 따른 구조적 안정성을 평가하기 위해서 상용 유한요소 해석코드인 ANSYS를 활용하여 구조해석을 실시하고 최대응력, 최대변형을

을 구하여 이를 고압에서도 견딜 수 있는 내마모성 부품의 개발시 입력자료로 활용하고자 하며 또한 고압균질기의 핵심기술인 고압 분사노즐의 최적형상 개발을 위한 기초 설계자료로 활용하고자 한다.

2. 분사노즐의 설계 및 해석

2.1. 분사노즐의 모델링

분사노즐의 구조해석시 Fig. 1과 같은 모델을 사용하였으며 해석시간 단축을 위해서 축대칭 조건을 이용한 1/2 단면 모델을 적용하였다. 해석 모델의 모델링은 상용 유한요소해석 코드인 ANSYS에서 CONTA 172, TARGE 169 그리고 PLANE 182을 사용하여 요소를 생성한 결과는 Fig. 2와 같다. 이 중 CONTA 172, TARGE 169 요소는 이종 재료인 스테인리스와 지르코니아가 접촉한 부분에 적용하였다.

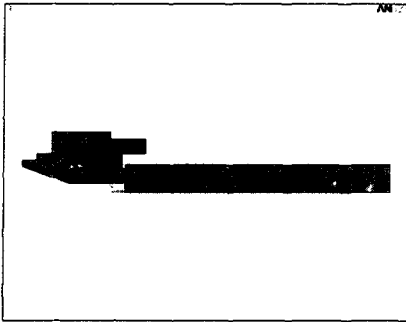


Fig. 1 Half model for structural analysis

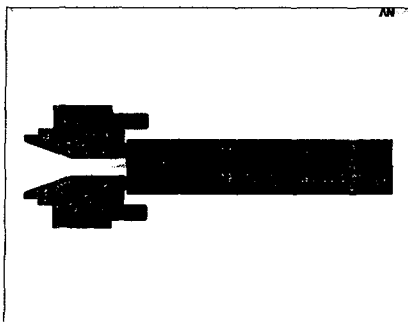


Fig. 2 Element of high-pressure injection nozzle

Fig. 2에서는 면과 선을 2,080개의 요소와 1,135개의 절점으로 만든 분사노즐의 구조를 나타내고 있다. 또한 Fig. 3~Fig. 4는 플런저와 일체구조의 3차원 형상을 보여준다.

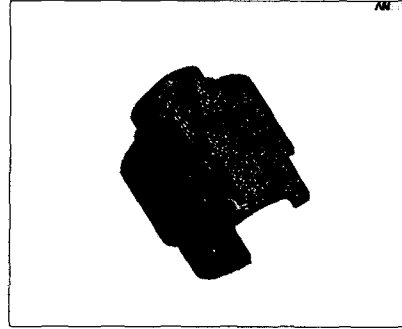


Fig. 3 Element of plunger 3D

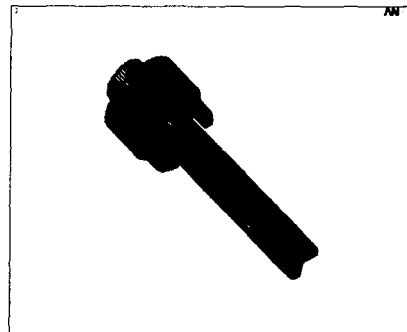


Fig. 4 Element of high pressure injection nozzle 3D

2.2. 재료의 물성치

해석에 사용된 고압 분사노즐의 재료는 일반용 스테인리스와 내마모성이 우수한 지르코니아가 사용되었다. 각각의 물성치는 탄성계수, 밀도와 포아송비로서 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties for high-pressure injection nozzle

material	E (GPa)	ρ (g/cm ³)	ν
Stainless steel 304	200	7.93	0.29
Zirconia	206	6.09	0.3

3. 결과 및 고찰

3.1. 플런저 부분의 구조해석

본 논문에서는 구조해석을 위하여 고압 분사노즐을 플런저와 플런저·미드로드 일체구조 두 부분에 대하여 해석을 실시하였다.

Fig. 5는 플런저 부분의 하중조건과 경계조건 및 구속조건을 표시한 것이다.

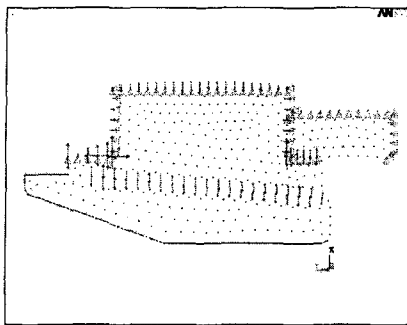


Fig. 5 Boundary condition and load condition of plunger

Fig. 6~Fig. 11은 Fig 5의 하중조건, 경계조건을 적용하여 압력을 500, 1000, 1500bar로 변화시켜 구조해석을 수행한 결과를 그래픽으로 나타낸 것이며, 각각 응력과 변형률을 보여준다. 또한 플런저의 해석결과를 Table 2에 나타내었다.

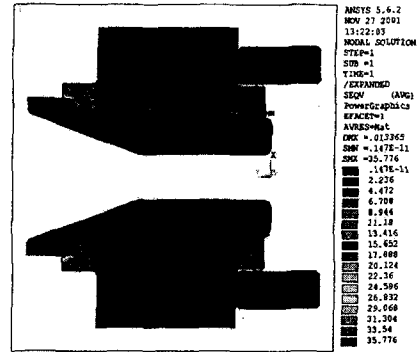


Fig. 6 Stress distribution of the pressure 500bar

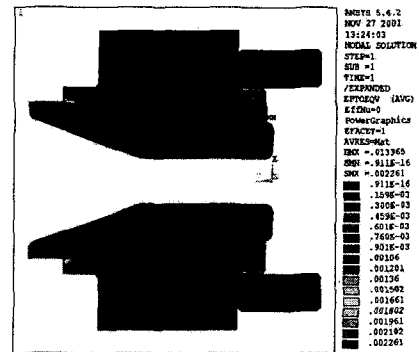


Fig. 7 Strain distribution of the pressure 500bar

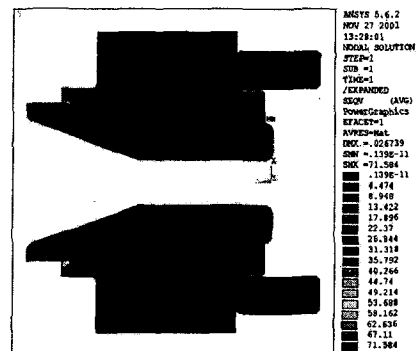


Fig. 8 Stress distribution of the pressure 1000bar

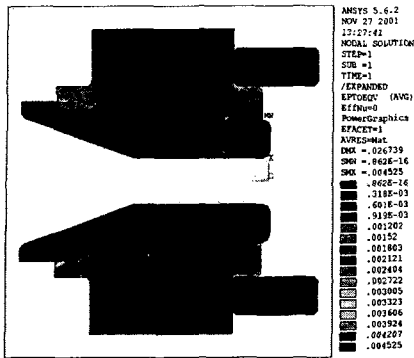


Fig. 9 Strain distribution of the pressure 1000bar

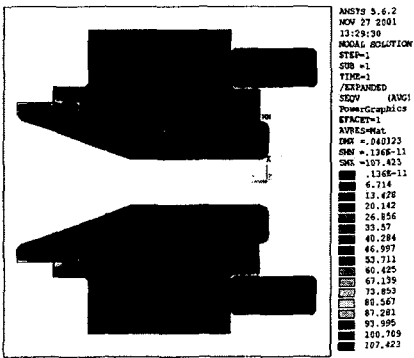


Fig. 10 Stress distribution of the pressure 1500bar

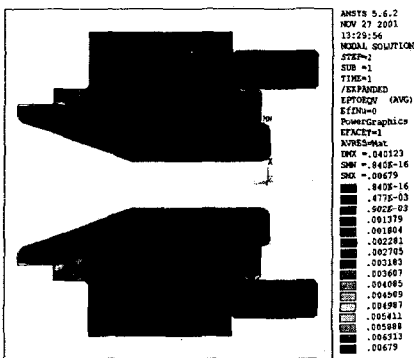


Fig. 11 Strain distribution of the pressure 1500bar

Table 2 Structural analysis result for plunger

구분	Stress(kg/mm ²)	Strain
500bar	35.776	0.002261
1000bar	71.584	0.004525
1500bar	107.423	0.006790

3.2. 일체구조 분사노즐의 구조해석

Fig. 12는 일체구조 분사노즐에 대한 하중조건과 경계조건을 나타낸 것이며, Fig. 13~Fig. 18은 Fig. 12의 하중조건과 경계조건을 적용하여 500, 1000, 1500bar의 압력 변화에 대한 응력과 변형률을 보여준다.

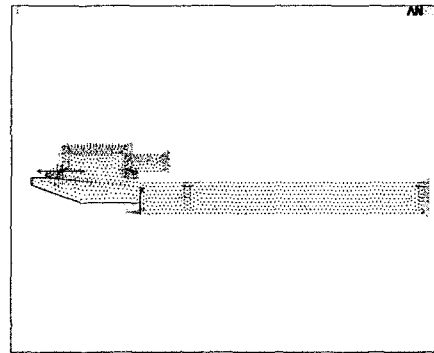


Fig. 12 Boundary condition and load condition of injection nozzle

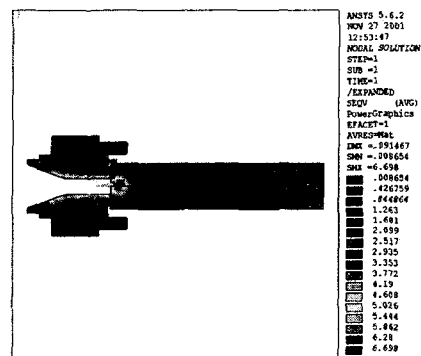


Fig. 13 Stress distribution of the pressure 500bar

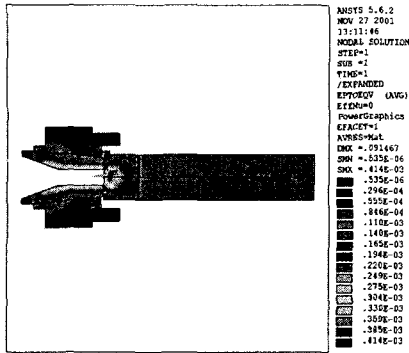


Fig. 14 Strain distribution of the pressure 500bar

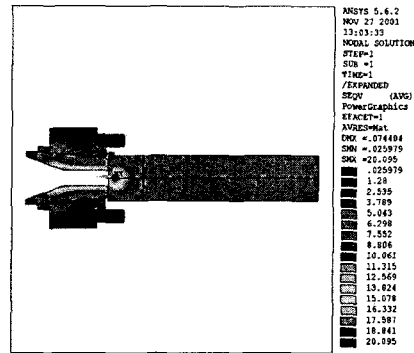


Fig. 17 Stress distribution of the pressure 1500bar

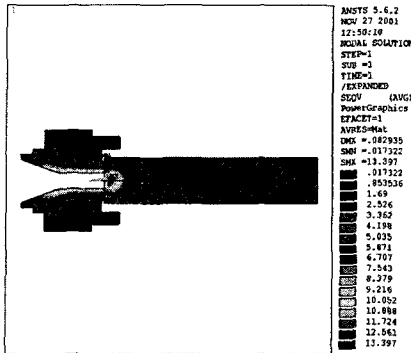


Fig. 15 Stress distribution of the pressure 1000bar

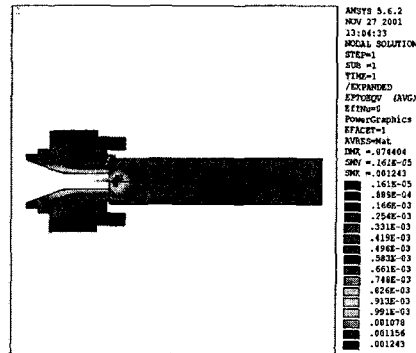


Fig. 18 Strain distribution of the pressure 1500bar

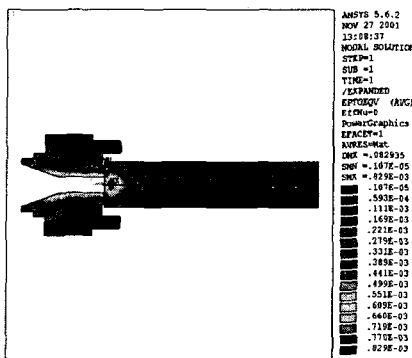


Fig. 16 Strain distribution of the pressure 1000bar

최대응력이 작용하는 부분은 유체가 노즐에서 분출되는 미드로드 부분에 나타나는 것을 확인할 수 있다.

플런저 구조해석에서의 최대응력 부분이 스테인리스와 지르코니아가 열박음된 시작부분에서 발생하였으나, 일체구조의 해석에서는 경계조건의 변화에 따라 최대응력 부분이 미드로드 부분으로 옮겨졌으며 그 값 또한 작아졌음을 확인할 수 있다.

또한 고압 분사노즐의 압력이 증가할수록 응력과 변형률의 값이 커짐을 알 수 있었으며 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

플런저 부분의 구조해석시 발생하는 응력과 변형률보다 일체구조 해석시 경계조건, 구속조건과

내압조건의 변화에 따라 각각 그 값이 작아진 것을 확인할 수 있으며, 구조적 취약점이 미드로드 부분으로 변화한 점도 확인할 수 있다.

Fig. 19는 일체구조 분사노즐의 응력분포, Fig. 20은 일체구조 분사노즐의 변형률 분포를 나타낸 것이다.

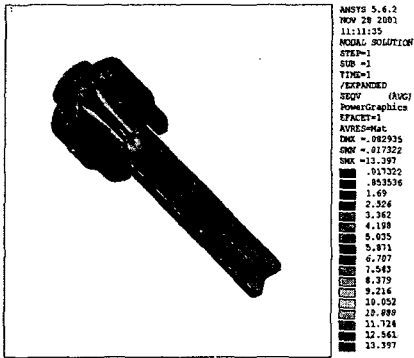


Fig. 19 Stress distribution of the injection nozzle 3D

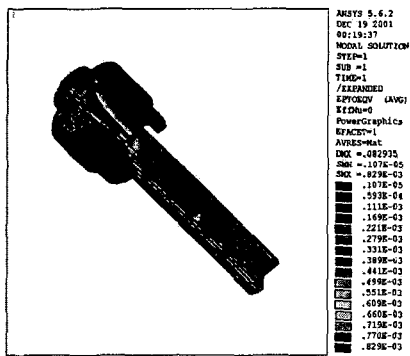


Fig. 20 Strain distribution of injection nozzle 3D

Table 3 Structural analysis result for injection nozzle

구분	Stress(kg/mm ²)	Strain
500bar	6.698	0.414E-03
1000bar	13.397	0.829E-03
1500bar	20.095	0.001243

4. 결론

균질기용 고압 분사노즐에 대하여 유한요소해석 방법을 이용하여 구조해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 해석대상 고압 분사노즐에 대하여 구조해석을 수행하여 응력, 변형률 등을 구하여 안정성 평가를 하였다.
- 2) 해석결과 현장에서 발생하는 노즐의 파괴형태와 유사한 결과를 확인할 수 있었다.
- 3) 향후 구조해석의 결과를 노즐의 최적형상을 결정하는 최적설계시 입력자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 배덕환, 신재섭, “고압 유화 기기를 이용한 수첨Lecithin의 O/W Miniemulsion”, 1999.
- [2] 배덕환, 신재섭, “Hydrogenated 레시틴으로 안정화된 Silicone Nanoemulsion”, J. Korean Ind. Eng. Chem. Vol. 11, No. 5, 2000.
- [3] ANSYS User's Manual Revision 5.3, Swanson Analysis System, Inc., 1996.
- [4] T. R. Chandrupatla and A. D. Belegundu, Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice Hall, 1991.
- [5] William Weaver, Jr. and R. Johnston, Finite Elements for Structural Analysis, PRENTICE HALL, INC., 1993.
- [6] James Shackelford and William Alexander, Material Science & Engineering Hand Book, CRC Press, 1994.