

DNC 가공품의 구조해석

이종선, 조동현, 홍순화*(대진대학교), 홍석주(조선대학교)

Structure Analysis of Manufactured Goods with DNC

Jong-Sun Lee, Dong-Hyun Cho, Soon-Hwa Hong*, Suk-Ju Hong

Abstract

This paper discuss to structure analysis of manufactured goods with DNC. DNC procedure is using CAD, CAM software and CNC machining center. CAM software is purpose of G-code generation for CNC programming. For structure analysis used to result from FEM code and the object of analysis is thin cylinder.

Keywords : Structure Analysis(구조해석), Auto Programming(자동 프로그래밍), Thin Cylinder (내압용기), Circumferential Stress(원주응력), Hoop Stress(후프응력)

1. 서 론

1950년대 최초로 개발된 NC(Numerical Control) 기계는 기계가공분야에서 일대 혁신을 일으켰다. 생산성의 향상, 고부가가치 제품의 생산 등이 바로 NC 기계의 등장으로 인해 가능해진 것이다. 더불어 컴퓨터의 등장은 이러한 변화의 바람을 가속시키는 역할을 하여 CNC(Computer Numerical Control) 기계가 등장하였다.

그런데 이러한 NC 공작기계를 사용해서 가공을 할 경우 NC 제어기(Controller)가 직접 이해할 수 있는 언어, 즉 NC 코드로 기계를 제어해야 한다. 따라서 NC 프로그래머는 제반 NC 코드를 잘 이해해야 하고 실제 NC 공작기계의 작동 과정과 공구경로를 직접 계산해야 하는 어려움이 있기 때문에, 복잡한 형상의 가공을 위해 컴퓨터를 이용하는 방법이 개발되기 시작하였다. 즉, 프로그램은 사람이 이해하기 쉬운 언어로 작성하고 이것을 NC 코드로 번역하는 일은 컴퓨터에 맡기는 방법이 고안되었는데

이러한 방법을 자동 프로그래밍(Auto Programming) 이라고 한다. 자동 프로그래밍에 사용하는 언어는 여러 가지가 있는데 대표적인 언어로는 처음 개발된 APT(Automatically Programmed Tool)를 들 수가 있다. 초창기 국내에서는 APT계열의 언어로서 화낙의 FAPT를 많이 사용하다가 1988년 국내에서 개발된 KAPT를 널리 사용하게 되었다.

그 후로 기계가공을 위한 컴퓨터 시스템은 계속 발전하여 목적하는 형상의 설계나 도면작성 등을 수행하는 CAD(Computer Aided Design)와 함께 곡면 데이터 및 NC 코드를 생성하는 시스템으로서 CAM(Computer Aided Manufacturing)이 보편화 되었다.

이러한 CAM 시스템은 초기의 자동 프로그래밍 장치와는 달리 발전된 그래픽 환경을 제공하는 시스템으로 발전하여 어떠한 곡면도 쉽게 프로그래밍 할 수 있게 되었다.

2. 구조해석과 관련이론

공학적 시뮬레이션(Simulation)을 하기 위한 유한요소해석 프로그램은 구조해석, 열해석, 진동 모드해석 등 많은 엔지니어링 분야에서 활용되고 있으며 요즘처럼 제품의 제작기간이 단축되고 있는 상황에서 더욱 가치를 발휘하고 있다. 실제 물건을 만들기 전에 구조해석에 의한 시뮬레이션을 실시함으로써 설계의 타당성을 검증할 수 있으므로 자원절약, 설계시간 단축 등의 장점이 있다.

본 논문에서 내압용기의 구조해석용 프로그램으로 사용된 ANSYS는 널리 사용되고 있는 해석 프로그램 중의 하나이며 직관적인 사용자 인터페이스는 선형, 비선형 구조해석과 열해석을 손쉽게 할 수 있도록 지원하는 강력한 도구로서 설계, 해석, 최적설계에 이르는 광범위한 용도로 수많은 설계 엔지니어, 해석자들이 사용하고 있다.

본 논문에서 구조해석을 실시하기 위한 대상은 내압용기(Thin Cylinder)로서 관련이론은 다음과 같다.

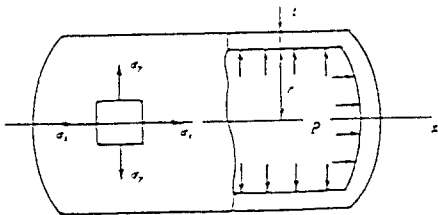


Fig. 1 Schematic diagram of thin cylinder

Fig. 1과 같은 내압용기가 내압 p를 받을 때 원통벽에 생기는 원주방향의 인장응력 σ_y 와 축방향의 인장응력 σ_x 에 대해서 살펴보자.

2.1 원주방향 응력

압력을 받고 있는 내압용기를 Fig. 2(a)와 같이 절단했을 때 AB면과 CD면에 작용하는 원주

방향의 힘을 고려한다.

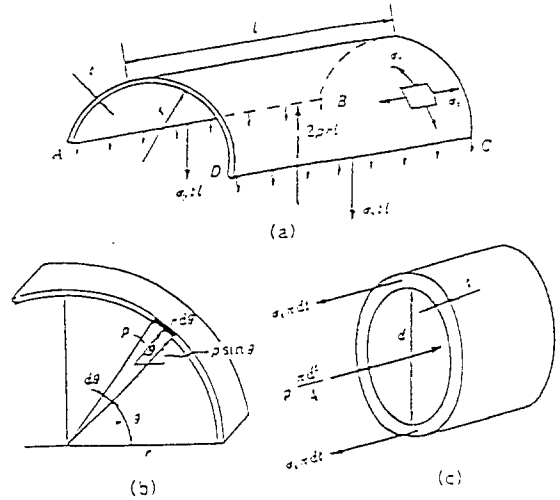


Fig. 2 Circumferential stress and axial stress of thin cylinder

Fig. 2(b)는 내압용기의 축방향으로 단위 길이를 택한 요소로서 미소부분 $r d\theta$ 에 작용하는 원주방향의 힘은 $pr d\theta$ 가 되고 이 힘의 수직성분은 $pr d\theta \sin \theta$ 가 된다. 이 힘을 0에서 π 까지 적분하면 압력에 의해 반원부분에 작용하는 힘이 된다.

$$\int_0^{\pi} pr \sin \theta d\theta = pr \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta = pd \quad (1)$$

그러므로 내압용기의 총 길이 l에 걸쳐 작용하는 힘은 $pd l$ 이 된다. 이 압력에 의한 힘은 내압용기를 반으로 분리하려 하고 이에 저항하여 A/판에는 인장응력이 발생한다. 이 응력을 σ_y 라 하면 A/판의 면적이 $2tl$ 이므로 A/판에 생기는 힘은 $2\sigma_y tl$ 가 된다. 이 응력 σ_y 에 의한 힘과 내부압력 p에 의한 힘은 평형을 이루어 서로 같아야 하므로 다음 식과 같다.

$$2\sigma_y tl = pd l$$

$$\sigma_y = \frac{pd}{2t} \quad (2)$$

여기서 σ_y 는 원주상에 균일하게 분포되는 응력으로 원주응력(circumferential stress) 또는 후프응력(hoop stress)이라 한다.

2.2 축방향 응력

압력 p 에 의해 내압용기의 축방향, 즉 x 방향과 수직인 단면에 작용하는 힘은 다음과 같다.

$$p \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

이 힘에 저항하여 원통의 축방향과 수직인 단면에는 축방향의 인장력 σ_x 가 생기고 이 응력에 의한 축방향의 힘은 다음과 같다.

$$\sigma_x \pi d t \quad (4)$$

Fig. 2(c)와 같이 두 힘은 평형을 이루고 있어서 같아야 하므로 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_x \pi d t &= p \frac{\pi d^2}{4} \\ \sigma_x &= \frac{p d}{4 t} \end{aligned} \quad (5)$$

원주방향 응력 σ_y 는 축방향 응력 σ_x 의 2배가 됨으로 다음 식과 같다.

$$\sigma_y = 2\sigma_x \quad (6)$$

2.3 실린더 발생력 및 압력 관계

실린더의 추력은 실린더의 튜브의 내경, 피스톤 로드경, 공기압으로 구할 수 있다. 이론추력에 대한 부하의 비율을 일반적으로 0.7이하로 설정하고, 빠른 스피드를 요구할 때는 0.5이하로 설정하며 이론 추력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times P \\ F_2 &= \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times P \\ W_1 &= \mu_1 \times F_1 \\ W_2 &= \mu_2 \times F_2 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 F_1 은 전진시 이론추력, F_2 는 후진시 이론추력, P 는 사용압력, D 는 튜브직경, d 는 피스톤 로드경, μ_1 는 전진시 실린더 하중압력 계수, μ_2 는 후진시 실린더 하중압력 계수, W_1 은 전진시 실린더 발생력, W_2 는 후진시 실린더 발생력을 나타낸다.

2.4 피스톤에 작용하는 압력

전진시 피스톤에 작용하는 압력은 다음과 같다.

$$P = \frac{p}{A_1} \quad (8)$$

후진시 피스톤에 작용하는 압력은 다음과 같다.

$$P = \frac{p}{A_2} \quad (9)$$

여기서 p 는 작용력을 나타내며 식 (10)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ A_2 &= \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \end{aligned} \quad (10)$$

3. DNC에 의한 가공절차

DNC 시스템은 CAD/CAM/CNC 통합생산 방식으로 Fig. 3은 DNC 시스템의 계통도를 나타내며 CAD 부분에서는 부품의 도면을 생성하고 그 도면은 CAM 부분으로 전송된다. 전송된 도면을 이용하여 NC 코드를 생성하여 RS-232C 케이블에 의해 CNC 공작기계로 전송하여 현장에서 가공을 한다.

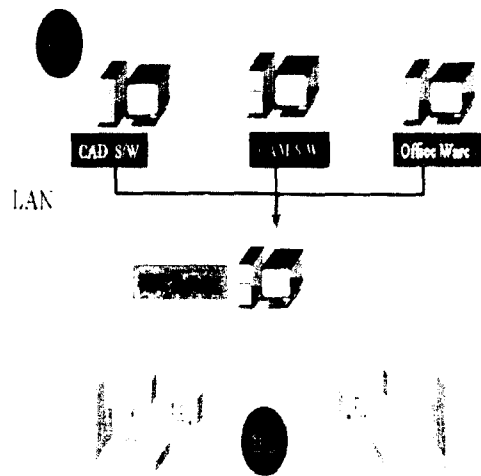


Fig. 3 Flow chart of DNC system

각 부분에서 생성된 파일들은 인터페이스(Interface)가 가능하도록 파일형식으로 전환시켜주어야 하는데 Fig. 4에서는 각 부분에서 생성되

는 파일형식을 보이고 있다.

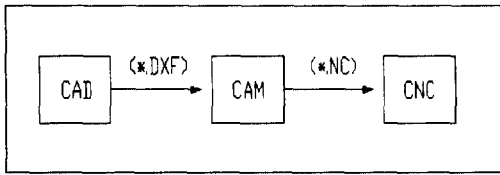


Fig. 4 Interface flow of DNC procedure

3.1 CAD 도면 생성

AutoCAD를 이용하여 Fig. 5 ~ Fig. 7과 같이 내압용기의 가공도면을 작성한 후 도면정보를 DXF 파일형식으로 저장한다.

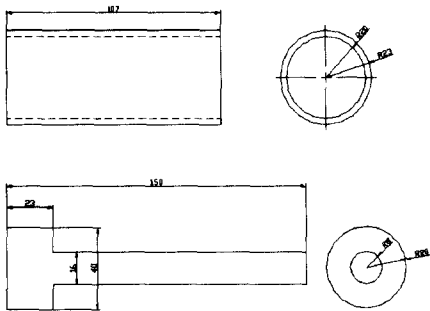


Fig. 5 CAD drawing of piston rod and cylinder

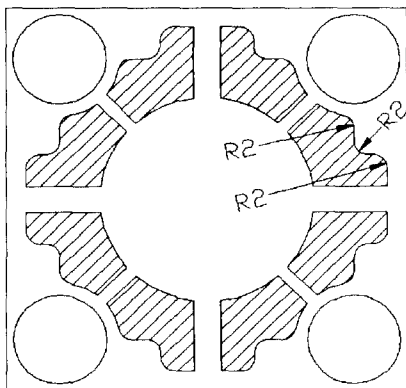


Fig. 6 Final work drawing of front section

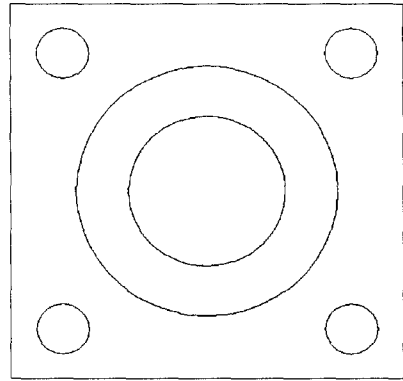


Fig. 7 Final work drawing of rear section

3.2 CAM을 이용한 NC Code 생성

AutoCAD에서 작성된 2차원 도면을 DXF 파일형식으로 전환시켜 CAM 프로그램인 오메가(Omega)에서 이 DXF 파일을 읽어서 곡면 모델링이나 2차원 가공 등에 이용할 수 있다. 오메가는 원칙적으로 3차원 형상은 읽어들이지 않는다. 따라서 3차원 형상을 얻으려면 받아들이는 2차원 도형으로 3차원 곡선 또는 곡면을 정의하면 된다.

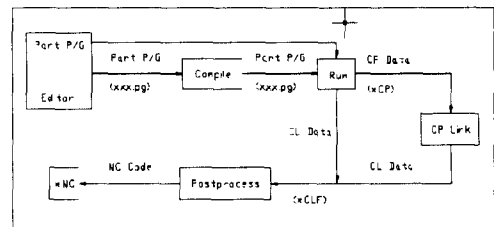


Fig. 8 Operation process diagram of CAM software(Omega)

AutoCAD에서 작성된 DXF 파일형식의 도면정보를 오메가를 통하여 곡선을 정의해주고 Fig. 8과 같은 작업을 수행하여 CNC 머시닝센터에서 작업할 수 있도록 NC 코드를 생성한다.

3.3 CNC 가공

오메가로부터 포켓 가공을 통하여 생성된 NC 코드를 RS-232C 케이블에 의해 전송하여 CNC

머시닝센터에서 가공한다.

4. 구조해석

본 논문에서는 해석대상인 내압용기를 구조해석하기 위하여 유한요소해석 코드인 ANSYS를 이용하였으며 Fig. 9와 같이 모델링 하였다.

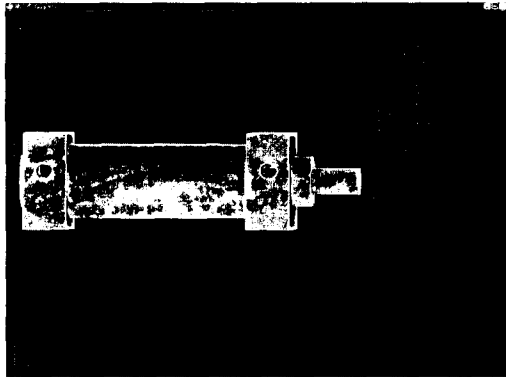


Fig. 9 The whole modeling of thin cylinder

내압용기를 구조해석 하기 위해서 피스톤 로드(piston rod) 부분과 실린더(cylinder) 부분으로 나누어 해석하였고 피스톤 로드의 좌굴을 방지하기 위해 X, Y방향으로 구속하였으며 사용된 재료의 물성치는 Table 1과 같다. 또한 해석시 사용된 조건은 Table 2와 같다.

Table 1 Material Properties

condition \ object	Al 6063	ASTM A322
young's modulus (kg/mm^2)	7033.639	20897
density (kg/mm^3)	2.7e-6	7.5e-6
poisson's ratio	0.33	0.3
shear modulus (kg/mm^2)	2629.97	

Table 2 Structure analysis data of thin cylinder

condition \ object	piston rod	cylinder
mesh basic smartsize	4	9
total node number	6494	480
total element number	3461	270
total line number	20	17
total area number	11	10

4.1 전진시 이론추력

구조해석시 필요한 전진시 이론추력 데이터는 Table 3의 조건을 식 (7)에 대입하여 구하면 다음과 같다. 이와 같은 데이터를 입력하여 구조해석을 실시하면 Fig. 10과 같은 최소 응력값, Fig. 11과 같은 최대 응력값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{\min} &= 0.251 \text{ kg/mm}^2, & F_{1\min} &= 315.42 \text{ kg}_f \\
 W_{1\min} &= 189.252 \text{ kg}_f, & & (\text{단, } \mu_1 = 0.6) \\
 P_{\max} &= 1.257 \text{ kg/mm}^2, & F_{1\max} &= 1579.593 \text{ kg}_f \\
 W_{1\max} &= 947.756 \text{ kg}_f
 \end{aligned}$$

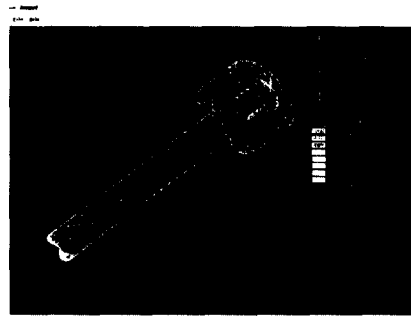


Fig. 10 Minimum stress of front direction

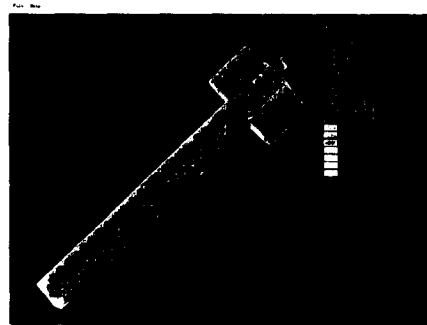


Fig. 11 Maximum stress of front direction

4.2 후진시 이론추력

구조해석시 필요한 후진시 이론추력 데이터는 Table 3의 조건을 식 (7)에 대입하여 구하면 다음과 같다. 이와 같은 데이터를 입력하여 구조해석을 실시하면 Fig. 12와 같은 최소 응력값, Fig. 13과 같은 최대 응력값을 구할 수 있다.

$$P_{\min} = 0.211 \text{ kg/mm}^2, F_{2\min} = 222.73 \text{ kg}_f$$

$$W_{2\min} = 133.638 \text{ kg}_f \quad (\text{단, } \mu_2 = 0.6)$$

$$P_{\max} = 1.056 \text{ kg/mm}^2, F_{2\max} = 1114.687 \text{ kg}_f$$

$$W_{2\max} = 668.812 \text{ kg}_f$$

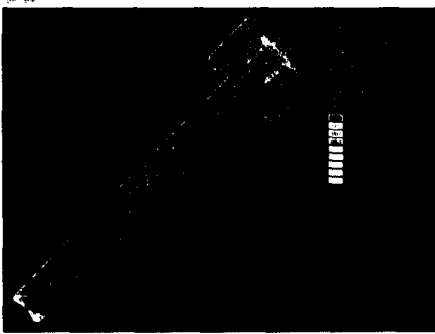


Fig. 12 Minimum stress of rear direction

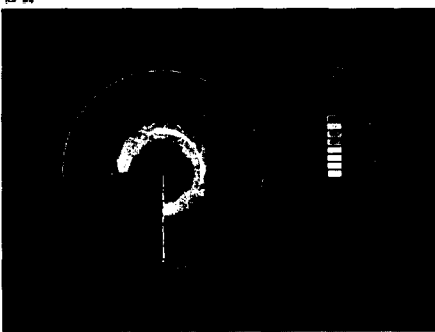


Fig. 13 Maximum stress of rear direction

내압용기의 양단면 X, Y, Z 방향을 구속하고 내압용기내에 전진추력시 최소작용 압력을 주었을 때를 구조해석하여 응력과 변형된 형상을 Fig. 14에 나타내었다.

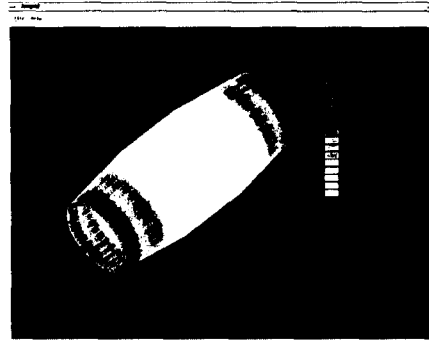


Fig. 14 Structure analysis of thin cylinder

Table 3은 모델링과 구조해석시 사용한 기초 데이터이다.

Table 3 Input data of modeling and analysis

thin cyliner inner diameter	rod diameter	pressure area (cm^2)	
		out	in
40 mm	16 mm	12.57	10.56
pressure(kg/cm^2)			
		out	in
1		25.1	21.1
2		37.7	31.7
3		50.3	42.2
4		62.8	52.8
5		75.4	63.3
6		88.0	73.9
7		101	84.4
8		112.1	95.0
9		125.7	105.6

5. 결과 및 고찰

5.1 피스톤과 피스톤 로드와의 변형

전진추력시와 후진추력시 피스톤 로드와의 말단 부위에서 최대 응력이 발생하는 것을 알 수 있다.

전진추력시 피스톤과 피스톤 로드 접합부 상사부위에서 돌출이 생길 수 있으며 이를 Fig. 15과 Fig. 16에 나타내었고 후진추력시 피스톤과 피스톤 로드 접합부 상사부위에서 함몰될 수 있으며 이를 Fig. 17과 Fig. 18에 나타내었다.

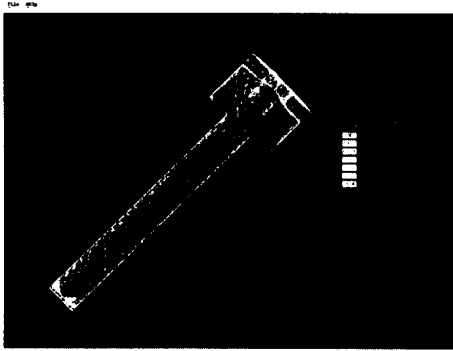


Fig. 15 Deformed shape of minimum force for front direction

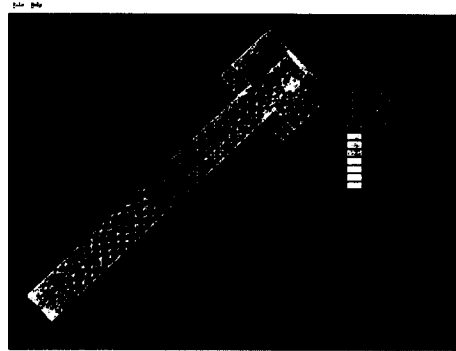


Fig. 18 Deformed shape of maximum force for rear direction

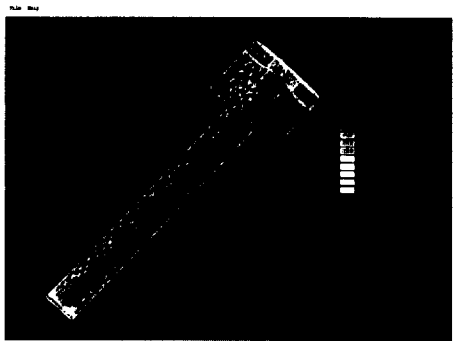


Fig. 16 Deformed shape of maximum force for front direction

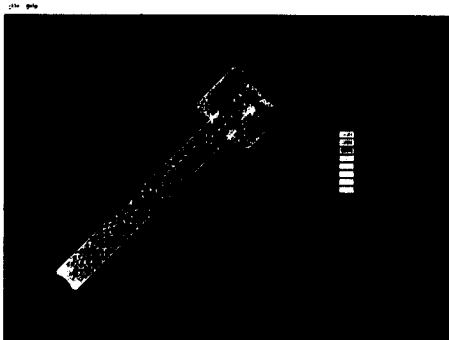


Fig. 17 Deformed shape of minimum force for rear direction

6. 결 론

DNC 가공품에 대하여 정적 구조해석을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전진추력시와 후진추력시 피스톤 로드와 발단부위에 가장 큰 응력이 작용한다.
- 2) 피스톤과 피스톤 로드의 접합부위에 응력이 작용하여 전진 추력시에는 피스톤 로드가 돌출되기 쉽고, 후진 추력시에는 피스톤 로드가 함몰되기 쉽다는 것을 알 수 있다.
- 3) 피스톤 로드의 X-Y축 방향으로 구속하지 않을 경우에는 좌굴이 일어난다.
- 4) 압력용기는 내압을 받아 늘어나며, 원주방향 단면은 횡단면의 2배의 강도가 필요하며 내압에 의한 실린더의 파괴가 주로 원주방향을 따라 일어남을 알 수 있다.

참고문헌

1. 이창희, 재료역학, 원창출판사, 1997.
2. Omega reference manual, Cubictek co.,ltd., 1996.
3. KCC Total Catalogue, KCC co.,ltd, 1997.
4. 김형렬, 김원배, 주철, 신동수, AutoCAD Release 13, 기전연구소, 1996.
5. Ansys Release 5.3 reference manual, Ansys Inc 1996.