

# 사출기 스크류와 베럴의 접촉거동 특성에 대한 연구

최동열 · 고영배 · 조승현 · 김청균 · 주성규\*  
홍익대학교 트라이볼로지 연구센터  
현대보테크\*

## A Study on Contact Dynamic Characteristics of Screw and Barrels in Injection Molding Machine

Dong Yul Choi · Young Bae Ko · Chung Kyun Kim · Seung hyun Cho · Sung Kyu Ju\*  
Tribology Research Center, Hongik University  
Hyundai Botech\*

**Abstracts** - Single flighted screw extrusion is the most cost effective method for the production of film, sheet, pipe and the fundamental step in other processes including blow molding and injection molding. The temperature of polymer melts and injection pressure play a very important role in the injection molding machine. Thermal distortion and displacement of screw by temperature difference and injection pressure difference cause adhesive wear by metal-to-metal contact. In this paper we analyze thermal distortion and stress of screw includes pressure and temperature distributions by finite element analysis to understand dynamic characteristics of screw.

**Key Words** : Screw, Barrel, Temperature distributions, Adhesive wear, Finite element analysis

### 1. 서 론

1953년 Carley와 Mckelvey에 의하여 단일 날 스크류가 해석된 이후 압출 성형 모델을 해석하는데 실험뿐만 아니라 다양한 시뮬레이션 기법들이 사용되고 있다[1-3]. 3차원 모델을 통한 해석도 있지만 대부분은 2차원으로 간략화하여 해석을 수행하고 있는데 복잡한 호퍼 형상이나 수지의 마찰력과 밀도의 측정, 용융 메커니즘 등을 함께 연구하고 있다. 사출기에 사용되는 폴리머는 용융시키기가 어렵고 수지의 색깔을 잘 혼합시키기가 어려우며, 토출되는 수지의 양을 증가시키기 위해 스크류의 회전속도를 증가시키면 과도한 전단력과 높은 온도가 발생하게 된다. 또한, 고체의 수지가 베럴과 스크류의

표면과 미끄럼 마찰을 일으켜서 스크류의 기계적 특성을 약화시키고, 가열기에 의해 스크류에서 발생하는 열팽창에 의해 스크류의 동적 특성이 저하된다. 따라서 스크류의 사용 목적과 사용하는 수지의 종류에 따라 작업 조건을 최적화하는 것이 바람직하다. 사출기의 성능을 향상시키기 위해서는 스크류의 표면과 베럴의 표면을 특수가공하여 마찰력을 변화시키거나 스크류의 형상을 재설계하여 수지의 전이율 및 압축을 등을 증가시킬 수 있으나 베럴의 온도를 최적화하는 것이 가장 유효한 방법이다. 따라서 본 논문에서는 스크류와 베럴에 미치는 온도의 영향을 해석하기 위하여 3차원의 유한요소 해석기법을 이용하여 스크류와 베럴의 변형량과 응력 분포에 대하여 해석하였다.

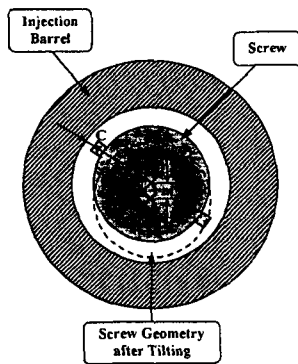
## 2. 모델링 및 해석 조건

### 2-1. 경사비

사출기에서 수지의 토출을 위해 사용되는 스크류 컨베이어는 한쪽만 베어링에 의하여 지지를 하기 때문에 스크류 컨베이어 자체의 자중에 의하여 처짐이 발생하는 것을 예상할 수 있다. 이와 같은 처짐량은 스크류의 간극이 대단히 작다는 사실을 고려할 때 스크류의 마멸에 영향을 미칠 수 있어서 스크류를 제작할 때 스크류와 배럴과의 간극을 주는데 크기가 0.8mm ~ 3.175mm 등 다양하다[4]. 본 해석에서는 스크류와 배럴 사이의 간극이 0.2mm로 대단히 작을 때 Table 1과 같이 스크류의 경사비가 각각 0, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1인 경우에 대하여 해석하였다.

Table 1. Tilting ratio for radial clearance  
(Radial clearance : 0.2mm)

t	1	0.5	0.1	0.05	0.01
c	0.2	0.1	0.02	0.01	0.002



$m$  : 배럴의 모서리에서 측정된 경사진 스크류와 배럴의 축사이의 거리

$c$  : 반경방향 간극

$t$  : 경사비(tilt ratio) ,  $t = \frac{m}{c}$

Fig. 1 Tilt ratio of the screw

### 2-2. 온도 및 압력

스크류는 고체상태의 수지를 용융상태로 만들어서 공급부에서 계량부로 전이시키기 위한

방안으로 배럴에 여러개의 가열패드(heating pad)를 설치하게 된다. 이때 사출기 내부의 설정 온도는 스크류와 배럴 내부에서 발생하는 변위량 및 응력 등 동적 특성에 변화를 주어 수지의 전이특성에 대단히 큰 영향을 미친다. 사출기의 프로세스를 최적화하는데 스크류의 형상과 수지와의 마찰계수를 변화시키거나 스크류의 표면을 재가공하는 방법 등 여러 가지 방법이 있지만 가장 유효적절한 방법이 사출기 내부의 온도분포를 설계하는 것이기 때문에 사출기 내부의 온도분포는 매우 중요한 설계 요소라고 할 수 있다. 사출기 내부의 온도분포는 미세한 열전도에 의한 스크류 표면과 배럴의 안쪽표면 온도의 변화를 제외하고는 대부분이 풀리며 용제의 온도가 다르기 때문에 위치에 따라 달라진다[5]. 따라서 본 논문에서는 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 스크류의 온도가 호퍼(hopper)에서는 150℃이고, 계량부에서는 210℃인 온도 패턴을 기준으로 하였다.

Fig. 3은 해석을 위하여 사용한 사출기 내의 압력 분포 패턴을 보여주고 있다. 배럴 내부에서의 압력분포는 수지의 공급부에서는 고체수지의 이송이 주된 목적으로 미터링 깊이가 크고, 날의 간격이 크기 때문에 압력이 낮고, 수지의 계량부에서는 수지의 토출을 위해 미터링 깊이가 낮고, 날의 간격을 작게 하여 압력을 높게 된다. 이때 사출 스트로크의 끝이나 비왕복 밸브의 앞쪽에서는 대단히 높은 압력이 발생하는데 일반적으로 137.9MPa까지 올라가고, 206.84MPa까지 높아지는 경우도 있는데 본 해석에서는 최대 압력이 17.2MPa이 발생한다. 한편 수지 용제의 온도가 균일하지 않으면 압력도 변하게 되는데 일반적으로 낮은 온도에서 압력이 높고 높은 온도에서 압력이 낮다. 이와 같은 압력 분포가 내부에서 균일하지 않게 되면 스크류의 동적 거동에 영향을 미치게 된다. 그러나 본 논문에서는 사출기 내부의 압력이 대칭적으로 균일하게 분포하고, 수지 용제의 온도변화에 따른 압력분포만이 변한다는 가정을

하여 압력의 영향을 해석하였다.

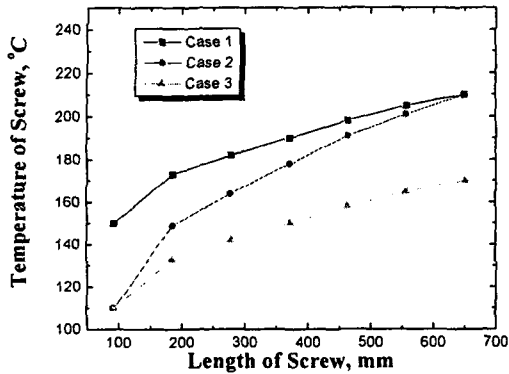


Fig. 2 Temperature distributions of the surface of screw and the inner surface of injection barrel

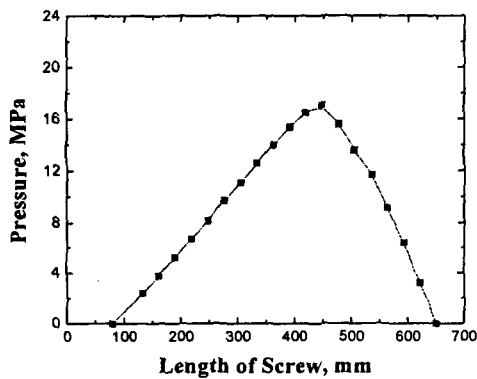


Fig. 3 Pressure distribution at inside injection barrel

### 2-3. 소재

Table 2는 본 해석에 사용된 스크류의 재료로서 가장 일반적으로 널리 사용되는 AISI 4140 철과 사출 배럴의 재료로서 사용되고 있는 AISI E4340 H 철의 물리적, 열적 특성을 보여주고 있다. 스크류의 소재로는 이 밖에도 AISI 4340, Nitralloy 135-M, 300 Stainless, 17-4 PH Stainless 등 여러 가지가 사용되지만 본 논문의 해석에 사용한 AISI 4140이 강도가 우수하고 화염 강화(flame hardened) 또는 표면 강화 용접(hardsurface welded)을 할 수 있어

서 압출 스크류(extrusion screw)나 사출 스크류(injection screw)의 80% 이상에 이용되고 있다.

그리고, 압출과 사출 배럴의 소재는 많은 외국에서 여전히 질화철을 사용하지만, 1939년 복합금속 배럴이 첫 개발이 된 이후에 점점 복합금속 제품으로 사용 추세가 변해간다. 배럴의 소재중에서 Wexco 666, Bimex AR-1000, Xaloy 101 등은 연마를 방지할 목적으로 사용되는 복합금속이고, 부식을 막기 위한 복합금속으로는 니켈과 코발트가 첨가된 Wexco 555, Bimex CR-3000, Xaloy 306 등이 있다. 그러나 본 해석에서는 물리적 특성이 다소 낮지만 AISI 4140계열과 비슷한 성질을 가지고 있는 AISI E4340 H 질화철을 사용하였다. 특징으로는 질화 과정에서 알루미늄의 함유가 작다는 것이고, 복합금속 보다는 마멸이 작게 발생하지만 부식에 대한 저항은 좋지 않다[6].

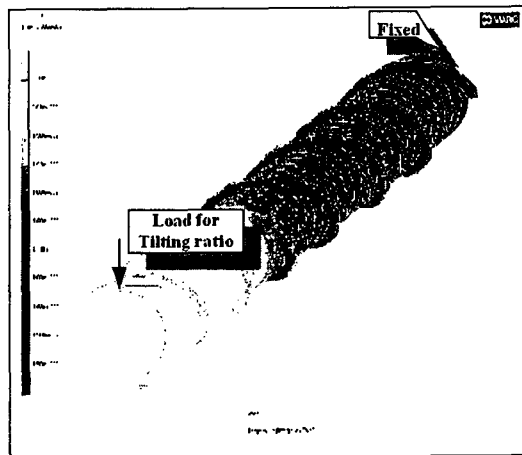
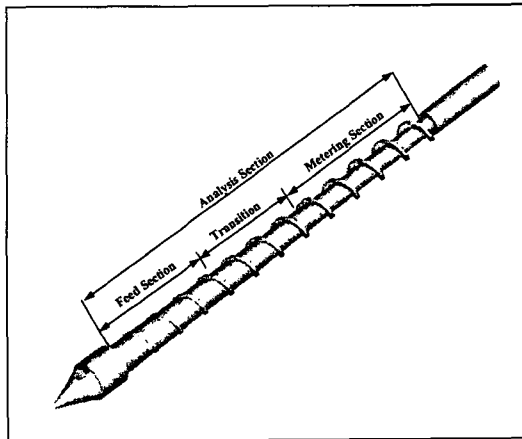
Table 2. Physical and thermal properties of screw and injection barrel

	Screw	Barrel
Material type	AISI 4140 Steel	AISI E4340 H Steel
Young's modulus, MPa	205,000	205,000
Possion's ratio	0.25	0.25
Mass density, kg/m <sup>3</sup>	7,850	7,850
Thermal expansion coefficient at 20°C, $\mu\text{m/m}\cdot\text{K}$	12.2	11.3
Thermal conductivity, W/m·K	42.6	44.5
Specific heat, J/kg·K	473	475

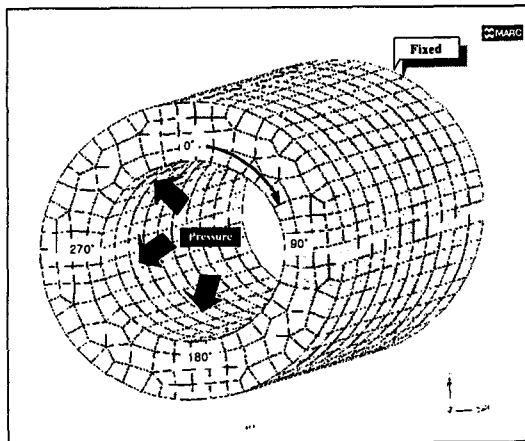
### 2-4. 모델 및 경계조건

스크류의 외경과 미터링 깊이는 균일하다고 가정하였고, 스크류와 배럴의 내부표면에 가해지는 압력은 Fig. 3의 압력 분포가 표면에 수직하게 가해지며, 스크류와 배럴의 내부표면의 온도는 Fig. 2의 온도 분포를 적용하였다. 스크류

의 형상이 대단히 복잡하고, 스크류에서 발생하는 기계적 압력과 온도를 동시에 고려해야 하는 관계로 비선형 문제를 해석할 수 있는 MARC



(a) Screw



(b) Injection barrel

Fig. 4 Analysis models and boundary conditions

로 열적 거동문제를 해석하였다[6]. Fig. 4(a)에서 보여주는 바와 같이 스크류는 온도와 압력에 직접적으로 영향을 받는 베어링부와 스크류 헤드를 제외한 공급부, 압축부, 계량부만을 모델링하였는데 외경이 36mm이고 길이가 650mm이다. 사출기 배럴은 일반적으로 L/D가 18:1, 20:1이고 종종 24:1도 있다. 몇몇 벤티드 사출 배럴의 경우는 L/D가 32:1까지 있으나 최근에는 L/D가 작아지는 추세이기 때문에 현재는 18:1과 24:1이 가장 많이 사용되고 있는데 본 해석에서는 L/D비 18:1을 사용하여 해석하였다. 유한요소 해석을 위한 매쉬와 절점의 개수는 스크류가 각각 1480, 1533개이고 사출기 배럴이 각각 1160, 1176개이다. Fig. 4(a)에서 보여주는 바와 같이 스크류는 베어링부를 고정하였고, 스크류의 경사비를 주기 위하여 스크류의 미터링부에 임의의 변위를 주었다. 그리고 배럴은 스크류의 베어링부에 해당하는 위치를 고정하였고 내부표면에 압력과 온도조건을 주었다.

### 3. 해석 결과 및 토의

#### 3-1. 거동량 해석

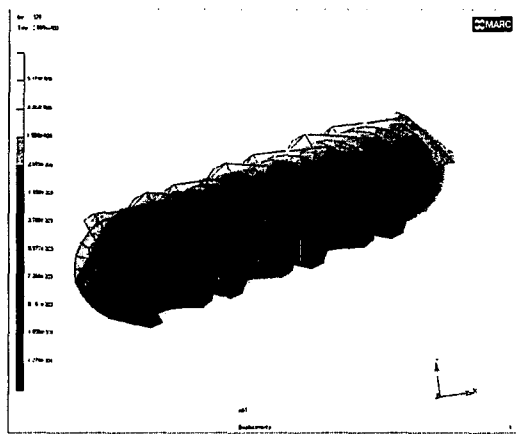
##### 3-1-1. Screw

Fig. 5(a), (b)는 Fig. 2의 온도 조건과 경사비의 변화에 따라 스크류 컨베이어에서 발생한 수직 방향의 변위량을 보여준 그림이다. Fig. 5(a)는 경사비가 0.1인 조건에서 변위량 분포를 나타낸 그림으로서 수직 방향으로 발생한 변위량은 스크류의 계량부에서 가장 크게 발생하였는데 아래방향으로 최대 변위량 0.1274mm가 발생하였다. 그리고 Fig. 5(b)의 그림에서 알 수 있는 바와 같이 온도가 150°C~210°C인 case 1인 조건에서 가장 많은 수직 방향의 변위량이 발생하였고, 온도가 110°C~170°C인 case 2인 경우가 가장 작은 수직 방향의 변위량이 발생하였다. 이와 같은 결과는 스크류에서 발생하는 수직 방향으로의 최대 변위량은 스크류의 계량부에서 발생하는 최대 온도에 의해 지배받고 있다는 사실을 보여 주고 있다.

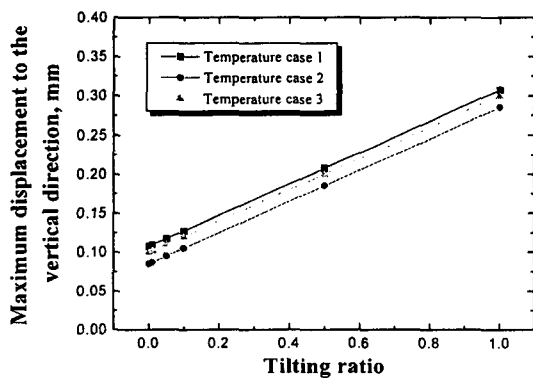
또한 경사비가 증가할수록 수직 방향으로 발생한 최대 변위량은 선형적으로 증가하는데 스크류와 베럴과의 간극이 0.2mm임을 고려한다면 온도 조건 case 1인 경우는 경사비가 약 0.5일 때 스크류와 베럴과의 마찰이 발생하고, 온도 조건 case 2와 case 3인 경우에는 경사비가 각각 약 0.55와 0.7을 초과할때 스크류와 베럴과의 마찰이 발생한다.

스크류와 베럴과의 금속 마찰이 발생하게 되면 국부적으로 높은 마찰열에 의하여 순간적으로 접합이 발생하게 되며 스크류가 회전하는 동안 국부적으로 떨어져 나가 스크류와 베럴 사이에서 간섭으로 인한 마멸이 발생할 수 있다.

이와 같은 금속간의 접촉으로 인한 마멸을 방지하기 위한 방법으로는 첫째, 스크류의 간극을 넓히기 둘째, 스크류의 균형 맞추기 즉, 스크류의 경사비를 최대한 낮추기 셋째, 스크류나 베럴을 강한 소재로 사용하거나 표면 강화 처리하기 넷째, 스크류의 형상을 다시 설계하는 방법 등이 있다. 그러나 스크류의 자중과 시스템의 한계에 의하여 경사가 불가피하게 발생하고, 스크류와 베럴의 표면 가공의 어려움과 형상을 다시 설계한다는 것의 한계를 고려한다면 스크류와 베럴과의 마찰을 줄이는데 스크류의 온도 조건이 대단히 중요하고 효과적인 설계 요소가 된다고 할 수 있다.

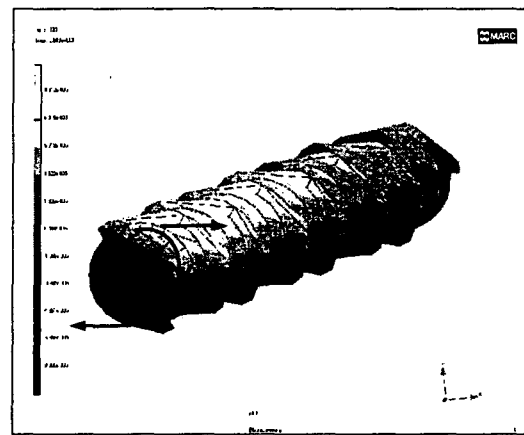


(a)

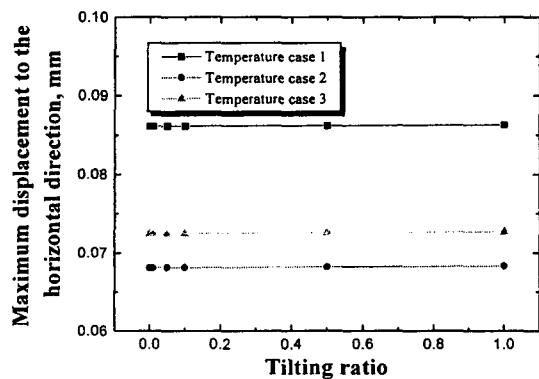


(b)

Fig. 5 Maximum displacement of the screw for various values of the screw tilting ratios in the vertical direction



(a)



(b)

Fig. 6 Maximum displacement of the screw for various values of the screw tilting ratios in the horizontal direction

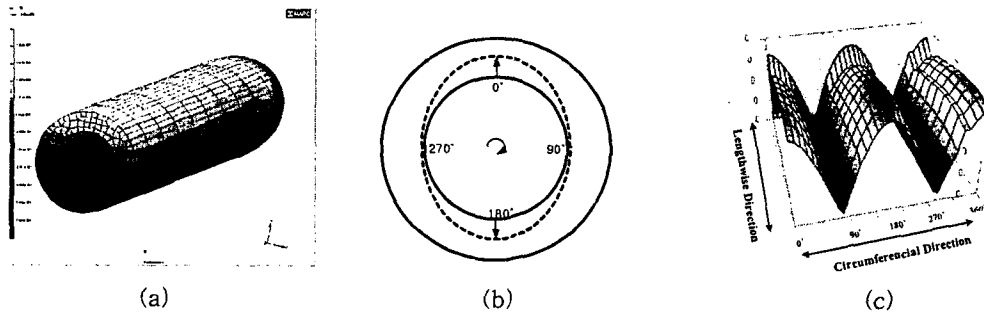


Fig. 7 Displacement distributions at the inside surface of injection barrel in vertical direction for various temperature gradients

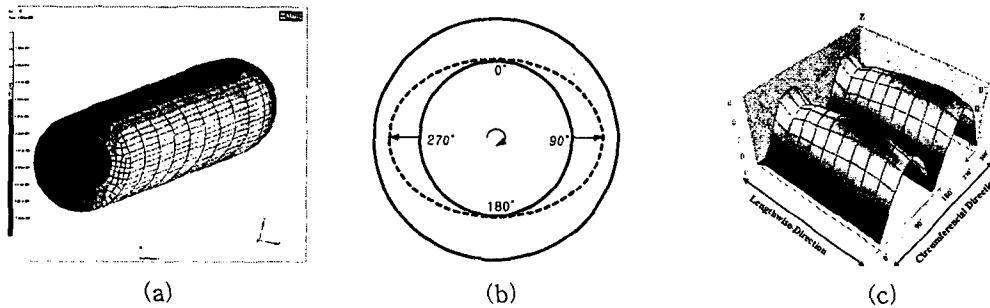


Fig. 8 Displacement distributions at the inside surface of injection barrel in horizontal direction for various temperature gradients

Fig. 6(a), (b)는 Fig. 2의 온도 조건과 경사비의 변화에 따라 스크류 컨베이어에서 발생한 수평 방향의 변위량을 보여준 그림이다. Fig. 6(a)는 경사비가 0.1인 조건에서 변위량 분포를 나타낸 그림으로서 수평 방향으로 발생한 변위량은 스크류의 계량부에서 가장 크게 발생하였는데, 스크류의 윗쪽에서 오른쪽 방향으로 최대 변위량 0.0861mm가 발생하였고 아랫쪽에서는 왼쪽 방향으로 0.0836mm가 발생하였다. 이와 같은 해석 결과는 스크류에서 시계 방향으로 비틀림이 발생한다는 것을 의미한다. 그리고 온도가 150℃~210℃인 case 1인 조건에서 가장 많은 수평 방향의 변위량이 발생하는데, 경사비가 0일때 0.0861mm이고 경사비가 1일때 최대 0.0863mm로서 경사비에 따른 변위량의 차이가 거의 없다. 또한 온도가 110℃~170℃인 case 2인 경우가 가장 작은 수직 방향의 변위량이 발생하는데, 경사비가 0과 1일때 각각 0.0681mm,

0.0683mm가 발생하였다. 따라서 스크류에서 발생하는 수평 방향의 최대 변위량은 수직 방향으로 발생한 변위량과 마찬가지로 스크류의 계량부에서 발생하는 최대 온도에 의해 지배받고 있지만 스크류와 베럴과의 간극이 0.2mm임을 고려한다면 스크류와 베럴과의 접촉으로 인한 점착 마멸의 가능성을 희박하다는 사실을 보여 주고 있다.

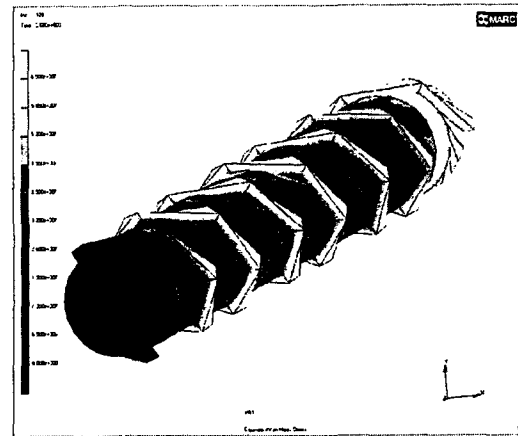
### 3-1-2. Injection barrel

Fig. 7(a)~(c)은 베럴의 온도 분포가 Fig. 2의 case 1과 같고, 압력 분포가 Fig. 3과 같을 때 사출 베럴의 수직 방향으로 발생한 변위량을 보여주고 있다. Fig. 7(a)은 사출기 베럴의 수직 방향 변위량의 분포를 보여주는 그림으로서 상·하 방향으로 최대 변위량이 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 온도와 압력의 영향으로 수직 방향으로 변형된 사출기 베럴의 안쪽 표

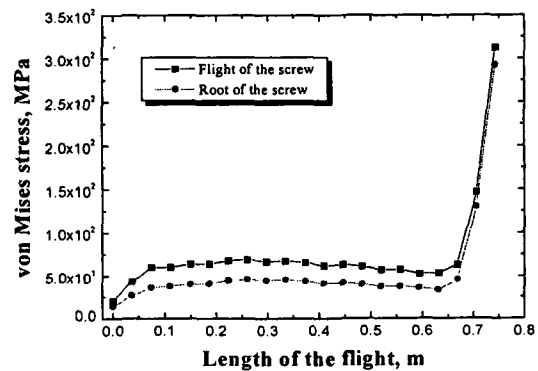
면의 형상을 Fig. 7(b)에서 보여주고 있다. 베럴의 내부에서 발생하는 압력 분포에 의하여 안쪽 표면에서 압축이 발생하는데  $0^\circ$  와  $180^\circ$  위치에서 최대 변위량이 발생하고,  $90^\circ$  와  $270^\circ$  위치에서도 압축이 대단히 작게 발생하고 있다. Fig. 7(c)는 사출기 베럴의 안쪽 표면에서 발생한 수직 방향의 변위량을 베럴의 원주 방향으로 나타낸 그림으로서 Fig. 7(b)에서 표시한 바와 같이 시계 방향으로 관찰한 결과이다. 원주 방향으로는  $0^\circ$  와  $180^\circ$  위치이고 길이 방향으로는 사출기 베럴의 끝단에서 조금 안쪽으로 떨어진 위치에서 최대 변위량 0.045mm가 발생하였다. 이것은 베럴의 끝단이 단열되었다고 가정하였기 때문에 온도에 의해서 베럴이 변형을 일으키다가 끝단에서 변형이 억제되었기 때문이다. 그리고 원주 방향의  $90^\circ$ ,  $270^\circ$  위치와 사출기 베럴의 고정부에서 540mm의 지점에서 최소 변위량 0.004mm가 발생하였다.

Fig. 8(a)~(c)은 베럴의 온도 분포가 Fig. 2의 case 1과 같고, 압력 분포가 Fig. 3과 같을 때 사출 베럴의 수평 방향으로 발생한 변위량의 결과를 나타낸 그림이다. Fig. 8(a)은 사출기 베럴의 수평 방향 변위량의 분포를 보여주는 그림으로서 좌·우 방향으로 최대 변위량이 발생하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 온도와 압력의 영향으로 수평 방향으로 변형된 사출기 베럴의 안쪽 표면의 형상을 Fig. 7(c)에서 보여주고 있다. 베럴의 내부에서 발생하는 압력 분포에 의하여 안쪽 표면에서 압축이 발생하는데 Fig. 7(a)~(c)에서 보여준 수직 방향의 변위량과는 반대로  $90^\circ$  와  $270^\circ$  위치에서 최대 변위량이 발생하고,  $0^\circ$  와  $180^\circ$  위치에서는 압축이 대단히 작게 발생하고 있다. Fig. 8(c)은 사출기 베럴의 안쪽 표면에서 발생한 수평 방향의 변위량을 베럴의 원주 방향으로 나타낸 그림으로서 Fig. 8(b)에서 표시한 바와 같이 시계 방향으로 관찰한 결과이다. 수직 방향으로 발생한 변위량과 같은 크기의 값으로서 원주 방향으로는  $90^\circ$  와  $270^\circ$  위치이고 길이 방향으로는 사

출기 베럴의 끝단에서 조금 안쪽으로 떨어진 위치에서 최대 변위량 0.045mm가 발생하였다.



(a) Stress distributions



(b) Stress difference as length of screw

Fig. 9 Stress difference between the flight and the surface of the screw at temperature case 1

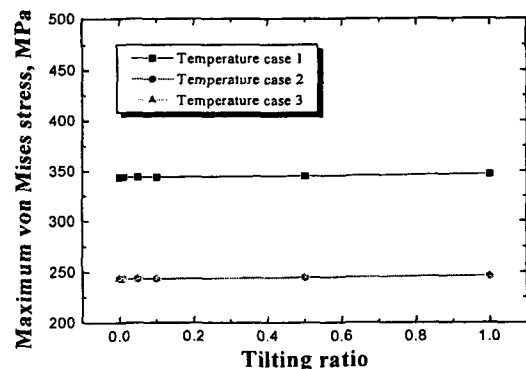


Fig. 10 Maximum stress of the screw for various values of the screw tilting ratios

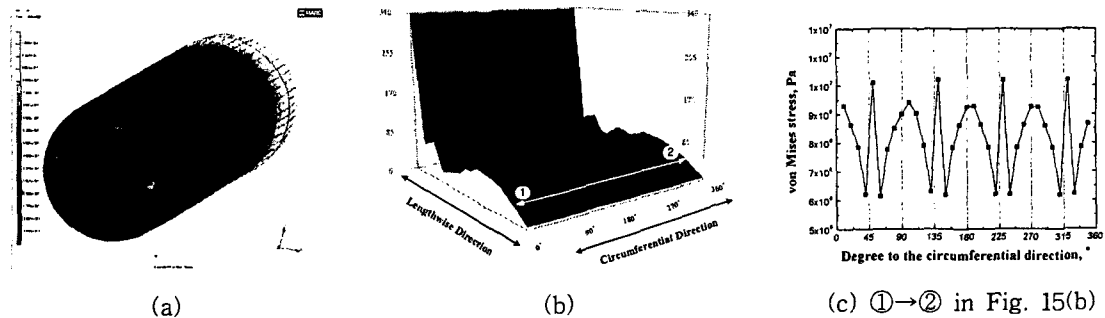


Fig. 11 von Mises stress distributions at the inside surface of injection barrel for various temperature gradients

이것은 베럴의 끝단이 단열되었다고 가정하였기 때문에 온도에 의해서 베럴이 변형을 일으키다가 끝단에서 변형이 억제되었기 때문이다. 그리고 원주 방향의 0°, 180° 위치와 사출기 베럴의 고정부에서 540mm의 지점에서 최소 변위량 0.004mm가 발생하였다.

### 3-2. 응력 해석

#### 3-2-1. Screw

Fig. 9(a), (b)는 온도 분포가 Fig. 2의 case 1과 같고, 압력 분포는 Fig. 3과 같으며 경사비가 0.1일때 스크류에서 발생한 von Mises 응력 분포를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 스크류의 고정부에서 최대 응력 344.4MPa이 발생하였고, 스크류의 날부분에서 스크류의 원통 표면보다 높은 응력이 발생하였다. 이것은 스크류의 모든 접촉면의 법선 방향으로 압력이 가해지는데 상대적으로 취약한 부분이 스크류의 날부분이기 때문이다. 이때 날과 원통 표면에서 발생한 von Mises 응력의 차이를 스크류 날의 길이에 따라 나타낸 그림이 Fig. 9(b)이다.

Fig. 9(b)에서 보여주는 바와 같이 스크류 공급부의 끝단을 고정하였기 때문에 발생 응력이 같으나 스크류의 압축부와 계량부에서는 스크류의 날과 원통 표면에서 발생한 압력의 크기가 다른데 계량부에서 가장 큰 22.4MPa의 차이 값을 갖는다.

Fig. 10은 온도 분포가 Fig. 2와 같고, 압력

분포는 Fig. 3과 같을때 경사비의 변화에 따른 스크류에서 발생한 von Mises 응력분포를 나타낸 그림이다. 온도가 150°C~210°C인 case 1인 조건에서 가장 많은 von Mises 응력이 발생하였고, 온도가 110°C~170°C인 case 2인 경우와 온도가 110°C~210°C인 case 3인 경우는 발생한 응력의 값이 거의 유사하다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 스크류 경사비에 따른 응력값의 차이는 거의 없으며 스크류의 온도 분포에 따른 변화가 상대적으로 크게 발생하였는데, 스크류의 공급부의 온도가 최대 발생 응력의 값에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 가능한한 스크류의 공급부의 온도를 낮추는 것이 발생 응력 측면에서는 유리하다.

#### 3-2-2. Injection barrel

Fig. 11(a)~(c)는 온도 분포가 Fig. 2의 case 1과 같고, 압력 분포는 Fig. 3과 같을때 사출기 베럴에서 발생한 von Mises 응력분포를 나타낸 그림이다. Fig. 11(a)는 사출기 베럴에서 발생한 압력 분포를 나타낸 그림으로서 스크류의 고정부에 해당하는 베럴의 고정부에서 최대 응력 338.9MPa이 발생하였으며 베럴의 길이 방향으로 응력이 증·감을 반복하다가 중간부분이 지나면 Fig. 3의 압력 분포와 유사한 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 Fig. 11(b)에서 자세하게 보여주고 있는데, Fig. 11(b)은 사출기 베럴의 안쪽 표면에서 발생한 von Mises 응력을 원주 방향으로 관찰한 결과이다. 또한 Fig.



11(c)는 사출기 베럴의 안쪽 표면을 시계 방향으로 관찰한 그림으로서 Fig. 11(b)에서 표시한 ①→②의 방향으로 응력을 관찰한 결과이다. 그림에 의하면 베럴의 안쪽 표면에서는 일정한 각도의 차이를 두고 응력값의 높낮이가 반복적 발생하는데, 시계 방향으로 45°, 135°, 225°, 315° 위치에서 약 10.1MPa의 응력이 발생하고 이것은 바로 옆에서 발생한 응력값 6.2MPa보다 약 1.63배가 높은 응력값이다. 이와 같은 사출기 베럴 내부의 불균일한 압력 분포는 사출기의 압력 분포에도 영향을 미쳐서 스크류의 동적 특성을 저하시키는 원인이 된다.

#### 4. 결론

스크류는 수지의 용융을 위해 베럴에 가해지는 고온의 열에 의해서 열팽창을 일으키고, 스크류 위치의 온도차와 불균일한 수지의 용해로 인하여 발생하는 압력차에 의해서 처짐이 발생하게 되는데, 이와 같은 원인으로 인하여 스크류와 베럴이 직접 접촉함으로써 마멸이 발생하게 된다. 그러므로 스크류와 베럴의 동적 특성을 이해하기 위하여 온도와 압력 분포를 고려하여 해석을 수행하였는데 스크류 계량부에서 발생하는 높은 온도를 가능한 낮추는 것이 스크류의 열팽창을 감소시키는 가장 유효한 방법이다. 또한 스크류의 경사비에 따른 스크류와 사출기 베럴과의 마찰로 발생하는 마멸을 방지하기 위해서는 스크류의 계량부에서 발생하는 온도를 낮추어야 한다. 따라서 스크류와 베럴의 최대 온도를 가능한 낮추고, 스크류의 경사비를 낮추는 것이 스크류와 사출기 베럴의 접촉으로 인한 점착 마멸을 방지하는 가장 중요한 방법이라고 할 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] R.T. Fenner, "Extruder Screw Design," Iliffe, London, 1970.
- [2] I.R. Edmondson and R.T. Fenner, Polymer, 16, 49, 1975.
- [3] J. Shapiro, A.L. Halmos and J.R.A. Pearson, Polymer, 17, 905, 1976.
- [4] D. Todd, "Heat Transfer in Twin Screw Extruders," ANTEC '88 pp. 54~58.
- [5] Osamu Amanol, Shirou Utsugi "Temperature Distribution of Polymer Melts Along the Screw Axis in Injection Molding," ANTEC '87 pp. 250~251.
- [6] "Plasticating Components Technology," Spirex Co., 1992.
- [7] MARC Analysis Research Corporation, 1994, Computer Program MARC, California, USA.