

## 단축스크류 고분자압출기 시스템의 개발 및 성능평가

김재열<sup>†</sup> · 정효희\* · 최진호\*\*

<sup>†</sup>조선대 메카트로닉스공학과, \*전남테크노파크 신소재기술산업화지원센터, \*\*조선대 첨단부품소재공학과

### Development and Performance Evaluation of Single screw Polymer Extruder System

JaeYeol Kim<sup>†</sup>, HyoHee Jung\* and JinHo Choi\*\*

<sup>†</sup>Department of mechatronics Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

\*Advanced Materials Industrialization Center, Jeonnam Technopark, Suncheon, Jeonnam 540-856, Korea

\*\*Department of Advanced Parts and Materials Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

(Received April 20, 2009; Revised May 15, 2009; Accepted May 20, 2009)

**Abstract** – Extruders can be basically divided into bisk and screw type of extruders. Though plastic extruders are often used for its simplicity for water and oil transportation pumps, these days screw extruders are mostly used. Screws are used in many extrusion processes to manufacture complex and complicated shaped parts made of plastics, medicine materials, food, polymer composites, iron and ceramic powders, etc. Also, material correction of deformities is caused by flow and physicochemical reaction phenomenon and material extrusion is processed according to heat transfer. various material comes to hopper because extruder has function by blender and mixing of materials can go well before come out through dice. These change process is so complicated that process condition is decided by trial and error that process condition is underground mainly at extrusion molding process.

**Keywords** – screw extruder (스크류압출기), extrusion process(압출공정), hopper(호퍼), extrusion molding system(압출시스템)

#### 1. 서 론

압출기를 원리적으로 크게 구분하면 비스크류 압출기와 스크류 압출기로 나눌 수 있다.

물과 기름을 운반하는 펌프에 이용하는 것은 플라스틱 압출용으로서 이용의 간이성은 있으나 요즘 가장 많이 사용되고 있는 것은 스크류 압출기이다. 스크류의 사용은 많은 압출공정에서 사용되어 지고 있다. 압출공정은 플라스틱재료, 의약품재료, 식품재료, 고분자복합재료, 철 및 세라믹 분말재료 등과 같이 다양한 재료의 복합적인 가공과 성형 공정으로 많은 사용이 되어지고 있다. 이러한 압출기의 공정에서 널리 사용되고 있는 단축 스크류 압출기는 다축 스크류에 비해 재료의 혼

합률은 떨어지나 시설 투자비와 운영비가 많이 들지 않으며 일반적으로 스크류는 구조가 고체상태의 물질을 투입하는 부분인 원료공급부(Feed zone), 고체상태의 물질이 용융되는 부분인 용융부(Transition zone), 고체의 물질이 완전 용융된 상태로 이송되는 계량화부(Metering zone)의 세부분으로 이루어져 있다.

이중 계량화부는 단축 스크류 압출기 제어의 핵심적인 부분으로서 압출공정의 설계와 공정 생산성을 높이기 위한 곳이기때문에 스크류의 동적특성에 관한 연구가 필요하다. 그리고 최종생산물이 나오는 다이스에 관한 동적특성해석도 이루어져야 한다. 특히 최적의 스크류 설계 및 최적의 공정조건의 결정도 수치해석적 접근방법이 매우 중요하며 본 연구에서는 이러한 각각의 스크류의 계량화부와 다이스의 해석을 열/유동전문 해석 프로그램인 CFDdesign을 사용하여 두 개의 해석대상을 동시

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : jykim@chosun.ac.kr

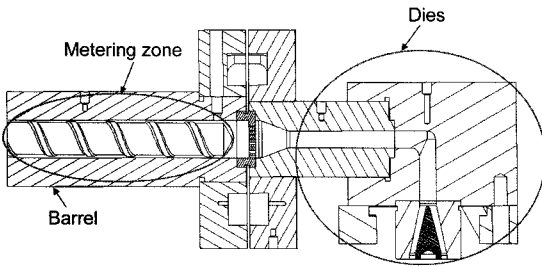


Fig. 1. Metering zone section shape of single screw extruder.

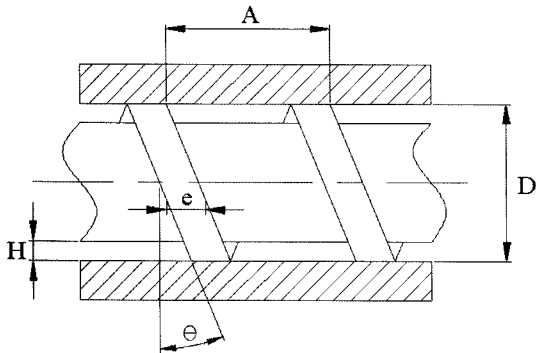


Fig. 2. Variable connected with shape of single screw.

에 해석하여 최적의 스크류와 다이스 설계치수를 찾는 해석을 수행하여 고분자튜브 생산에 안정된 압출력을 찾아내어 실제 공정에 근접하는 해석을 수행하고자 한다.

## 2. 압출 스크류 및 다이스 설계

본 연구에서 압출스크류의 설계 대상은 압출기의 핵심 부품인 스크류와 제품생산에 영향을 주는 다이스이다.

해석 수행에 필요한 기본적인 모델링은 CAD프로그램인 CATIA V5를 사용하였고, 해석수행을 하는 프로그램으로는 전산유체프로그램인 CFdesign을 사용하여 스크류 및 다이스의 동적해석을 동시에 수행하도록 할 것이며, 시뮬레이션뿐만 아니라 본 연구에 사용된 압출기의 실험 데이터를 시뮬레이션과 비교 분석 수행하는 것을 기본으로 본 연구에서는 세 가지의 패턴으로 해석을 수행할 것이다.

단축 스크류 압출기의 계량화부 단면형상은 Fig. 1에 나타내었으며, Fig. 2는 단축 스크류의 형상에 관련된 변수를 나타내고 있다. A는 스크류의 피치, H는 스크류 날의 높이, D는 배럴의 내부 지름, e는 스크류 날의 폭, 그리고 θ는 스크류 날개의 helix 각이다.

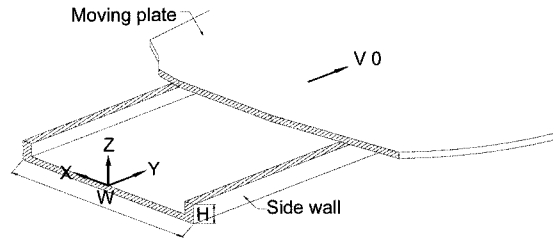


Fig. 3. Shape of spreading screw channel.

Fig. 3은 펼쳐 놓은 스크류 날을 나타내었다. 여기서 W는 스크류 나선의 폭이다. 그러므로 스크류 날의 길이 S는  $S=L/\sin\theta$ 의 관계로부터 구할 수 있다. 여기서 L은 계량화부의 축 방향 길이이다.

또한 일반적으로 단축 스크류 압출기의 압출에 있어서 압출성능의 기반이 되는 기본적인 요소로 스크류의 압축비(C/R)와 유효길이(L/D)가 중요하다. 압축비(Compression ratio)는 스크류의 공급부(Feed zone)와 계량화부(Metering zone)의 나선 깊이의 1피치당 체적비에 따라 나타내며 계산식은 다음 식 (1)과 같다.

$$C/R = \frac{\left(\frac{1}{4}\right)(D^2 - (D - 2H_f)^2)}{\left(\frac{1}{4}\right)(D^2 - (D - 2H_m)^2)} \quad (1)$$

C/R : 압축비

$H_f$  : 공급부 스크류 길이

$H_m$  : 계량화부 스크류 길이

D : 스크류 지름

압출스크류의 계량화부와 연결되어 있는 다이스의 형상은 고분자 압출 튜브의 가공에 맞게 설계 제작된 다이스이다. 다이스의 형상에는 관로유동의 수식이 적용이 되고 고점도의 용융된 고분자가 Plate를 거쳐 원형 관으로 흘러들어 점착축소관의 손실을 최소화하는 모양으로 설계가 되었고, 축소각이 작을 경우 일반적인 마찰손실 이외의 손실은 일어나지 않는다고 하며 보통의 유동학적 경우 원추각이 30° 이하이면 벽면 마찰이외의 손실은 무시된다.

Fig. 4는 다이스의 설계도의 단면을 나타내었다.

## 3. 해석 대상 및 조건

본 연구에서 설계한 스크류와 다이스를 열가소성고분자 원재료의 Melt 상태에서 적정성을 평가하기 위해 유체전문 해석프로그램인 CFdesign을 사용하여 해석

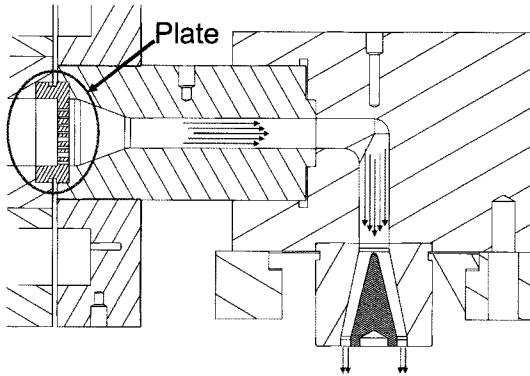
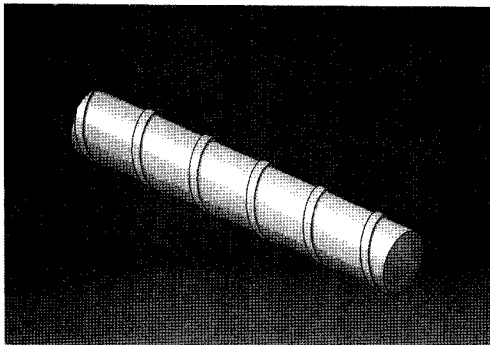
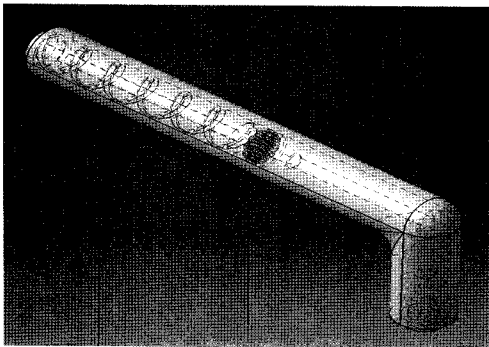


Fig. 4. Design cross section of dice.



(a) Metering zone modelling of screw



(b) Built-in type modelling of barrel and dice

Fig. 5. Drawing of Simply Design system.

수행을 하였다.

CFdesign을 사용하기 위하여 해석 대상의 간소화를 위하여 모델링을 재 수행하였다.

Fig. 5는 해석대상의 재 모델링을 수행한 3D-Modeling을 나타내었다.

Table 1은 해석대상인 스크류의 모델링 치수 및 해석기준요건을 나타내었고, Table 2는 열가소성고분자

Table 1. Each part size of modelling

Model geometry	Value
Barrel diameter, $D$	40 mm
Metering zone screw length, $L$	240 mm
Screw channel height, $H$	1.6 mm
Flight width, $e$	6 mm
Screw channel front round, $R1$	1 mm
Screw channel front round, $R2$	2.5 mm
Helix angle, $\theta$	30°
Dies output diameter	Ø12.5 mm
Dies hole diameter	Ø18 mm
Used screw	42 mm
Ex. screw 1	24 mm
Ex. screw 2	28 mm
Ex. screw 3	32 mm
Ex. screw 4	36 mm
Ex. screw 5	40 mm
Screw pitch, $A$	

Table 2. Material properties of matter and processing condition

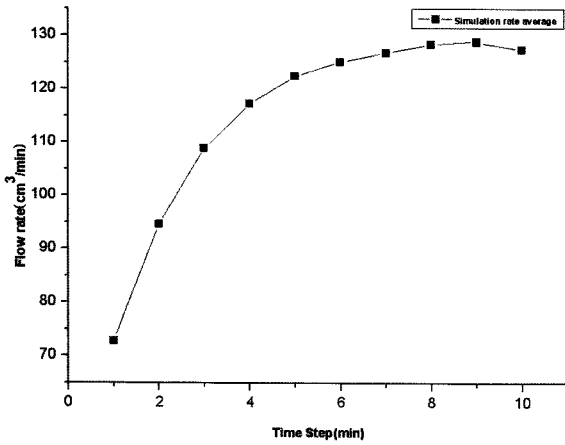
Properties of simulation	Value
Density	1.30 g/cm <sup>3</sup>
Viscosity	10,000 Pa s
Thermal conductivity	0.25 W/m°C
Specific heat	2160 J/kg°C
Temperature melt	360°C
In-put pressure	30 Bar
Out-put pressure	1.0135 Bar
Screw velocity	60 rpm

원재료의 물성을 나타내었다.

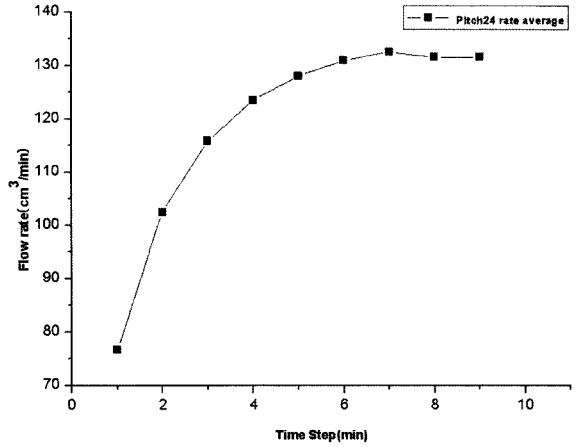
#### 4. 해석 및 고찰

CFdesign 해석에서 Table 2를 기준으로 스크류와 다이스의 해석 수행을 하였다 그 외임의 변형치수 스크류와 다이스 또한 해석 수행을 하였다.

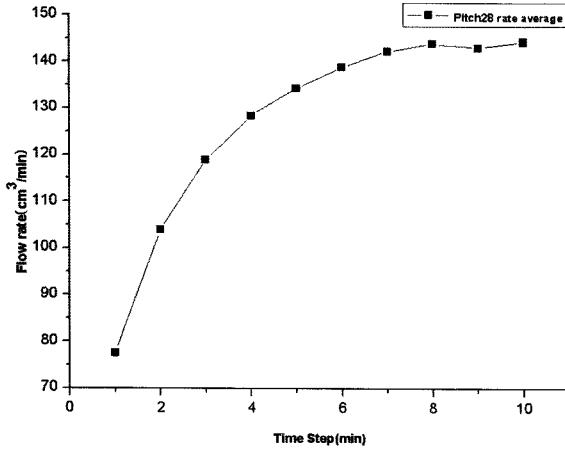
Fig. 6은 해석 수행 결과를 그래프로 나타내었다. Fig. 7은 전체 해석 결과값과 실측 결과값을 비교하여



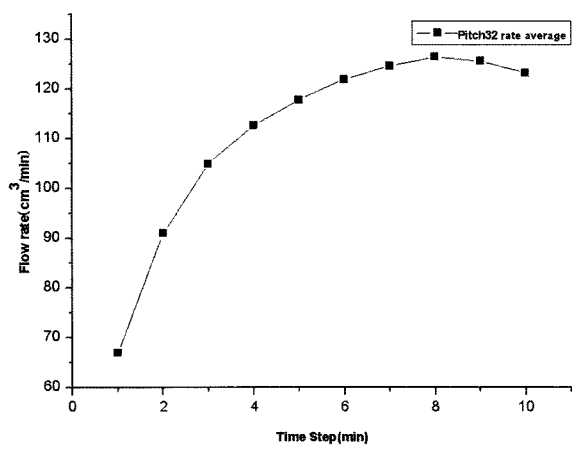
(Used) Extrusion amount of a minute working fluid



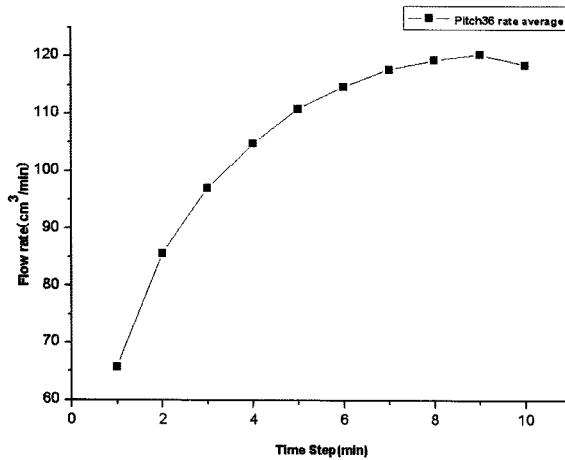
(1) Extrusion amount of a minute working fluid



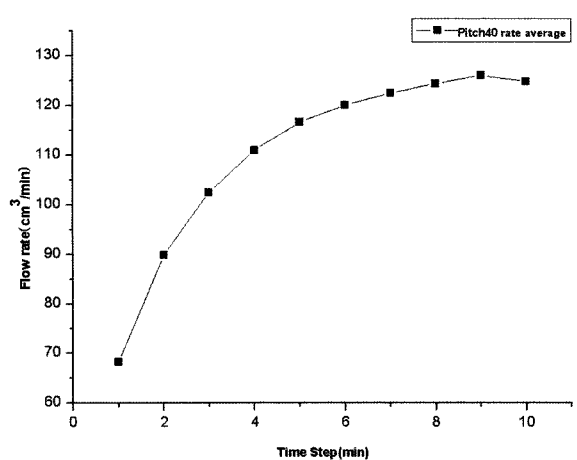
(2) Extrusion amount of a minute working fluid



(3) Extrusion amount of a minute working fluid



(4) Extrusion amount of a minute working fluid



(5) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 6. Analysis achievement wave and graph.

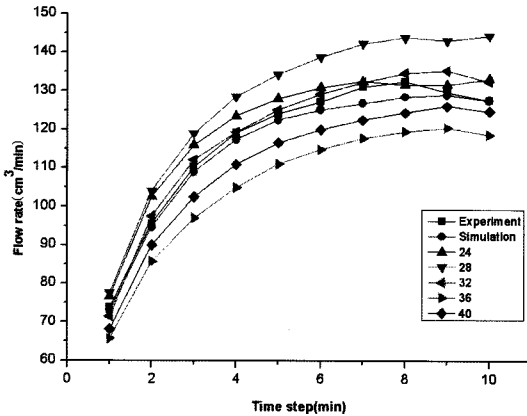


Fig. 7. Whole modelling data value and survey experimental value comparison.

Table 3. Whole modelling data and survey experiment data measuring efficiency comparison

	1~10 min error	6~10 min error
Simulation model	1.52%	1.74%
Pitch 24 model	3.07%	1.76%
Pitch 28 model	8.00%	9.01%
Pitch 32 model	5.31%	4.28%
Pitch 36 model	11.13%	9.68%
Pitch 40 model	6.09%	4.97%

그래프로 나타내었다.

Table 3은 각각 해석 값과 실측 값과의 오차율을 나타냈다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 단축압출기 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 단축 스크류의 Pitch 변형을 준 스크류를 CFdesign을 이용하여 해석하고 시제작품의 실측정값과 비교·분석하였다.

1. 시제작 스크류와 다이스의 압출량 실험에서 총 실험 시간 10분 동안 1~5분간의 압출량 값은 고분자 튜브의 완벽한 형을 유지시키기 어려운 단계이며, 6~10분 사이에 압출량의 안정된 상태가 나타나 고분자 튜

브의 형태를 완벽하게 유지하면서 생산이 가능하였다.

2. 실제 시제작 스크류와 다이스의 압출량과 동일 모델링 해석을 통한 압출량을 비교분석한 결과 압출량 오차율은 총 10분동안 1.522%, 6~10분동안 1.7435%로 ±5%내로 나타났다. 이는 시제작 스크류와 다이스와 동일 모델링의 압출량의 변화가 거의 없으며 Ø12.5 고분자 튜브의 생산에 안정되게 설계가 되었음을 확인 하였다.

3. 스크류 날의 피치값을 변수로 설정한 5개 모델링의 해석결과 압출량이 각각 다르게 나타났다. 이를 실측실험 압출량과 비교한 결과 ±5% 미만의 오차율을 나타낸 모델링은 총 실험시간 10분간 1개, 6~10분 사이에 3개의 모델링으로 최적화 모델구현을 하였다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참고문헌

1. Tamas Varady, Ralph R Martin and Jordan Cox, "Reverse engineering of Geometric Models an Introduction", *Computer-Aided Design*, Vol. 29 No. 4, pp. 255-268, 1997.
2. Les Pielg and Wayne Tiller, "Algorithm for aPproximate NURBS Skinning", *Computer-Aided Design*, Vol. 28, No. 9, pp. 699-706, 1996.
3. A. Werner, K. Skalski, S. Piszczatowski, W.Swieszkowski and Z Lechmiak, "Reverse Engineering of Free-from Surfaces", *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 76, pp. 128-132, 1998.
4. S. Liu and W. MA, "Seep-growing Segmentation of 3-D Surfaces from CT-contour Date", *Computer-Aided Design*, Vol. pp. 517-536, 1999.
5. Gerald F., "Curves and Surfaces for CAGD" 1999.
6. J.B Yoon, "Simulation of Heat and Fluid Flow in the Single Screw Extruder with Coupling of the Metering Section and Die", 2000.
7. J.Y Yoon, Y.K Hwang, J.S Park, T.J Ko and J.W Park "An Integrated CAD System for Design of Extruder Screw", *J. of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 8, 2002.