



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2009년도 2월
석사학위논문

CFD를 이용한 고분자튜브용
단축압출기의 성능시험
평가 및 해석

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 효 희

CFD를 이용한 고분자튜브용
단축압출기의 성능시험
평가 및 해석

Efficiency Test Rating and Analysis of
Polymer Tube Single-Axis Extruder that
use CFD

2009年 2月 25日

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 효 희

CFD를 이용한 고분자튜브용
단축압출기의 성능시험
평가 및 해석

지도교수 김 재 열

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함

2008年 11月

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

정 효 희

정효희의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 김영석 印

위 원 전남대학교 교수 김훈 印

위 원 조선대학교 교수 김재열 印

2008年 11月 26日

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	v
NOMENCLATURE	vi
ABSTRACT	vii
제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구배경	1
제 2 절 연구목적 및 동향	3
제 3 절 연구방법	5
제 2 장 해석대상 및 설계형상	8
제 1 절 해석대상	8
제 2 절 설계형상	9
1. 단축 스크류 설계형상	9
2. 다이스 설계형상	11
제 3 장 CFD의 이론적 고찰	12
제 1 절 CFD의 정의 및 소개	12
1. 전산유체역학의 수치해석기법	12
제 2 절 CFD 해석 프로그램	14
1. CFdesign의 구성	14
2. CFdesign의 수치해석기법	15
가. 지배방정식	15
나. 경계조건	18

다. 점성모델	19
제 4 장 시뮬레이션 및 성능실험 데이터 검출	20
제 1 절 시제작 모델링 및 변형모델링 시뮬레이션 구성	20
1. 모델링 설계	20
2. 고분자 모델	23
3. 시뮬레이션 수행방법 및 결과검출	24
제 2 절 압출기의 성능실험 구성 및 방법	37
1. 압출기 시스템 구성	37
2. 성능실험 방법	38
3. 결과검출	39
제 3 절 데이터 비교분석 및 고찰	40
제 5 장 결론	44
References	46

LIST OF FIGURES

Fig.2-1	The polymer single screw extruder thing photograph	8
Fig.2-2	Each zones section shape of single screw extruder	9
Fig.2-3	Variable connected with shape of single screw	10
Fig.2-4	Shape of spreading screw channel	10
Fig.2-5	Design cross section of dice	11
Fig.3-1	Types of grid	12
Fig.4-1	Metering zone modelling of screw	20
Fig.4-2	Built-in type modelling of barrel and dies	21
	a) Basis modelling perspective drawing	21
	b) Basis modelling drawing in section	21
Fig.4-3	CFdesign achievement	24
Fig.4-4	Dies modelling with temporary manufacture screw(Pitch 42mm) ..	26
	a) CFdesign simulation	26
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	26
Fig.4-5	Pitch 24mm screw modelling and dies	27
	a) CFdesign simulation	27
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	27
Fig.4-6	Pitch 26mm screw modelling and dies	28
	a) CFdesign simulation	28
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	28
Fig.4-7	Pitch 28mm screw modelling and dies	29
	a) CFdesign simulation	29
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	29
Fig.4-8	Pitch 30mm screw modelling and dies	30

	a) CFdesign simulation	30
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	30
Fig.4-9	Pitch 32mm screw modelling and dies	31
	a) CFdesign simulation	31
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	31
Fig.4-10	Pitch 34mm screw modelling and dies	32
	a) CFdesign simulation	32
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	32
Fig.4-11	Pitch 36mm screw modelling and dies	33
	a) CFdesign simulation	33
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	33
Fig.4-12	Pitch 38mm screw modelling and dies	34
	a) CFdesign simulation	34
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	34
Fig.4-13	Pitch 40mm screw modelling and dies	35
	a) CFdesign simulation	35
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	35
Fig.4-14	Pitch 44mm screw modelling and dies	36
	a) CFdesign simulation	36
	b) Extrusion amount of a minute working fluid	36
Fig.4-15	Extrusion system	37
Fig.4-16	Experiment extrusion amount data	39
Fig.4-17	Temporary manufacture modelling data value and survey experimental value comparison	40
Fig.4-18	Whole modelling data value and survey experimental value comparison	41

LIST OF TABLES

Table 1	Verification examples and accuracy of CFdesign	6
Table 4-1	Each part size of modelling	22
Table 4-2	PEEK's properties of matter data table	23
Table 4-3	Simulation achievement condition	25
Table 4-4	Whole modelling data and survey experiment data measuring efficiency comparison	43

NOMENCLATURE

A	: Screw pitch
C_p	: Constant pressure specific heat
D_1	: Barrel diameter
D_2	: Dies output diameter
D_3	: Dies hole diameter
D_H	: Hydraulic diameter
H	: Screw channel height
H_f	: Feeding zone screw length
H_m	: Metering zone screw length
K	: Factor term can operate on a single momentum equation
L_1	: Metering zone screw length
L_2	: Dies upper hole length
L_3	: Dies under hole length
P	: In-put pressure
P_{out}	: Out-put pressure
$R1$: Screw channel front round
$R2$: Screw channel back round
S	: Screw channel length
T	: Temperature melt(Static)
T_0	: Initial Temperature
V	: Velocity
e	: Flight width
f	: Friction factor
h	: Enthalpy
i	: Global coordinate direction & The other terms are described in the previous section
k	: Thermal conductivity

m	: Consistency index
n	: Power law index
q_V	: Volumetric heat source
r	: Distance from the axis of rotation
t	: time
u	: Velocity component in x-direction
v	: Velocity component in y-direction
w	: Velocity component in z-direction
η	: Consistency
θ_1	: Screw helix angle
θ_2	: Dies cone hole angle
μ	: Viscosity
ρ	: Density
τ	: Shear stress
ω	: Rotational speed

ABSTRACT

Analysis of Dynamic Characteristic in The Polymer Single Screw Extruder with The Metering zone and Die

Chung Hyo Hee

Advisor : Prof. Kim Jae-Yeol Ph.D.

Dept. of Advanced Parts and Materials
Engineering.

Graduate School of Chosun University

Can divide into bisk kind extruder and screw extruder if divide greatly extruder by basic.

To use to pump that carry water and oil as plastic extrusion simplicity of utilization be but thing which is used most these day is screw extruder. Use of screw is using at a lot of extrusion processes.

Extrusion process is becoming use that is much in complex processing and process to charge shape or form of various material with , plastic material, medicine material, food material, polymer composite material, iron and ceramics powder material etc.

Also, because material correction of deformities by flow and physicochemical reaction phenomenon according to heat transfer and so on of material at extrusion process is available, become fearful. And 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.

Single screw extruder that is used widely at process of this extruder mixing rate of material drops than multi axles screw but facilities investment rain and working expenses do not cost much and screw is raw material supply wealth (Feed zone) that is part that structure in-put material of solid state usually, and material of solid state melting (Transition zone), solid material that is done part perfection melting to three parts of measuring stoker (Metering zone) who is transfer in done state attain .

These metering zone need research on dynamic characteristic of screw to be place to heighten design of extrusion process and process productivity as central part of single screw extruder control. And dynamic characteristic analysis about dice that end product turns must attain.

Specially, access method is very important crystallinity numerical analysis enemy of optimum screw design and optimum process condition and a seen treatise wishes to achieve numerical analysis that consider dice at the same time with metering zone of personal use single screw extruder.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

압출기를 원리적으로 크게 구분하면 비스크류 압출기와 스크류 압출기로 나눌 수 있다. 물과 기름을 운반하는 펌프에 이용하는 것은 플라스틱 비스크류 압출용으로서 이용의 간이성은 있으나 요즘 가장 많이 사용되고 있는 것은 스크류 압출기이다. 스크류 사용은 많은 압출공정에서 사용되어 지고 있으며, 플라스틱재료, 의약품재료, 식품재료, 고분자복합재료, 철 및 세라믹 분말재료 등과 같이 다양한 재료의 복합적인 가공과 성형 공정으로 많은 사용이 되어 지고 있다.

또한, 압출공정에서 원재료재료의 유동과 열전달 등에 따라 물리 화학적 반응현상에 의한 재료성형이 가능하게 되어 가공되어 진다. 그리고 압출기는 혼합기로서의 기능을 갖고 있어 여러 가지 재료가 호퍼에 들어가서 다이스를 통해 나오기 전까지의 재료들이 혼합은 잘 될 수 있다. 이러한 변화과정은 대단히 복잡해서 압출성형 공정에서는 공정조건이 주로 실험적인 시행착오로 인하여 공정조건이 결정되어지게 된다.

압출기의 공정에서 널리 사용되고 있는 단축 스크류 압출기는 다축 스크류에 비해 재료의 혼합률은 떨어지나 시설 투자비와 운영비가 많이 들지 않아 많은 사용이 이루어지고 있다. 그리고 일반적으로 스크류의 구조는 고체상태의 물질을 투입하는 부분인 원료공급부(Feed zone), 고체상태의 물질이 용융되는 부분인 용융부(Transition zone), 고체의 물질이 완전 용융된 상태로 이동되는 계량화부(Metering zone)의 세부분으로 이루어져 있다.

스크류의 세 가지 부분 중 계량화부는 단축 스크류 압출기 제어의 핵심적인 부분으로서 압출공정의 설계와 공정 생산성을 높이기 위한 곳이기에 스크류의 동적특성에 관한 연구가 필요하다. 그리고 최종생산물이 나오는 다이스에 관한 동적특성해석도 이루어져야한다. 특히 최적의 스크류 설계 및 최적공정조건 결정도 수치해석적 접근방법이 매우 중요하며 본 연구에서는 이러한 각각의 스크류의 계량화부와 다이스의 해석을 열/유동전문 해석 프로그램인 CFdesign을 사용하여 두 개의 해석대상을 동시에 해석하여 최적의 스크류와 다이스 설계치수를 찾는 해석을 수행하여 고분자투브 생산에 안정된 압출력을 찾아내어 실제 공정에 근접하는 해석을 수행하고자 한다.

CAD 시스템의 기반을 둔 많은 해석 프로그램들이 개발되어 왔고 그 중 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석 프로그램의 개발도 다른 해석 프로그램들의 개발에 발 맞춰 개발되어 지고 있다. 유체역학의 한분야인 전산유체역학의 통칭을 뜻하는 CFD는 수치적 방법을 이용하여 어떤 프로세스 내에서 일어나는 유체유동, 에너지전달, 물질 전달 및 반응현상을 지배하는 수학적 방정식을 풀어서 기기의 성능 및 유동현상을 예측하는 시뮬레이션 분야이며 CFD의 결과는 새로운 설계를 위한 개념 연구 등의 필요한 엔지니어링 데이터를 제공 해 주고 있다.

전문적인 CFD해석 프로그램은 대표적으로 Fluent Inc사의 FLUENT와 ANSYS사의 CFX 그리고 본 연구에서 사

용하여 해석 수행을 진행하는 Blue Ridge Numeric, Inc사의 CFdesign이 있다.

제 2 절 연구목적 및 동향

압출성이란 기본적으로 어떤 성형재료를 주로 열적인 변형을 주어 성형재료를 유동상태로 만들어 특정 금형을 통과 시켜 압출함으로써 특정 형태를 갖추어 생산된 제품을 만드는 과정으로 이루어진다. 이 과정은 가소화 → 수송과 가압 → 성형 → 냉각 또는 경화와 같은 일련의 과정으로 이루어진다. 이러한 과정의 연속으로 이루어지는 압출기에서 가장 핵심 부품인 스크류의 최적설계를 도출하기 위해서 현재까지 많은 해석 들이 이루어지고 있다.

현재까지 단축 스크류 압출기는 비교적 기하학적 형상이 단순하여 다축 스크류에 비해서 많은 연구와 실험적 수치해석이 있었다. Tadmor와 Gogos⁽¹⁾와 Fenner^(2,6)는 압출기의 여러 부위에서의 폴리머의 유동에 관한 해석을 하였고, Fenner⁽⁶⁾, Karwe와 Jaluria⁽³⁾는 역적으로 완전히 발달된 역류가 존재하지 않는 계량화부내의 유동을 해석하였으며, Griffith⁽⁴⁾는 무한대의 길이와 폭을 가진 스크류 압출기에서의 비압축성 유체의 속도 및 온도분포를 해석하였고, Chiruvella⁽⁵⁾는 역압력구배에 의한 계량화부내의 역류를 타원형 폴리법과 포물선형 폴리법으로 해석하여 각각을 비교하였다. Gopalakrishna 등⁽⁷⁾은 Extrusion Cooking의 전달현상 해석을 시도하여 온도분포 뿐만 아니라 수분의 확산현상에 대한 시뮬레이션 결과를 보고하였고, Kwon⁽⁸⁾등은 급속소관에서 비뉴턴유체의 압력강하를 계산할 수 있는 관계식을 개발하였고, Lin과 Jaluria⁽⁹⁾는 비뉴턴유체를 급수축 다이에서 압력에 대한 점성의 종속성을 고려하여 해석하였다. 이러한 연구결과는 스크류의 계량화부와 다이스를 분리하여 각각 해석하거나 다이에서 발생하는 압력강하만이 고려된 계량화부를 해석하였다.

위의 내용을 토대로 예전의 스크류 및 다이스의 가장 이상적인 설계를 위해 많은 시뮬레이션 및 해석이 이루어졌지만 이는 급속히 변하는 최근산업사회에서는 많은 시간이 걸리는 시뮬레이션 및 해석은 현대 사회의 기업구조 및 생산 시스템에는 맞지 않을 뿐만 아니라 품질향상, 원가절약, 제품의 차별화 등에도 맞지 않는다. 1990년대 중반에 PC(Personal Computer) OS(Operating System)의 주류가 텍스트 기반의 MS-DOS에서 GUI(Graphic User Interface) 기반의 MS-Windows로 바뀌고, PC의 성능이 급격히 향상되어 이전의 워크스테이션급 PC들이 엔지니어들에게 보급되기 시작하면서, CAD(Computer Aided Design) 및 CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학) 시장에서 급격한 변화가 일어나기 시작했다. 또, 이전에 워크스테이션에 접근하기 어려웠던 많은 공학도 및 엔지니어들이 큰 부담 없이 3D CAD를 접하고, 공부하고, 사용할 수 있어서 점점 많은 엔지니어들이 제품의 설계, 제작, 생산에 3D CAD를 활용하고 있다. 최근에는 단순한 형상의 제품은 2D CAD를 이용해서 2차원 도면으로 그려 지지만 대부분의 복잡한 형상의 제품개발이 3D CAD를 이용해서 3차원 모델 형태로 작성되고, 이 3차원 모델들이 NC (Numerical Control) 가공이나, 정밀 주조, RP (Rapid Prototype) 등의 제작, 생산에 이용되고 있다.

한편, 1990년 중반 이후에 PC의 성능이 급격히 향상되고 고해상도의 그래픽 처리가 가능해지면서 2D가 주류를 이루어졌지만 2000년대에 들어 3D를 기본으로 한 전산해석이 주류를 이루어지고 있다. 이는 컴퓨터의 발전뿐만 아니라 보다 정확하고 안정적인 데이터를 얻을 수 있는 해석프로그램들의 발달로 인해 이러한 데이터들을 기반으로

제품 생산에 적극적인 기업들이 고품질의 제품생산을 하고 있다고 볼 수 있다. 또한, 현재의 모든 설계 및 생산기반이 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 데이터를 습득함으로써 보다 나은 제품개발 및 최적의 설계를 원하기 때문에 전문적인 프로그램을 사용하여 기술개발이 고효율적으로 나타나기 때문이다.

제 3 절 연구방법

현대의 모든 전산해석프로그램은 3D의 기반으로 해석되어지고 있다. 본 연구에서는 스크류와 다이스의 해석이 구조해석적인 면에서의 해석이 아니라 유동해석적인 면으로 접근할 것이며 해석수행은 유동전문해석 프로그램인 CFdesign을 사용하여 고분자튜브의 압출특성에 맞춰 스크류와 다이스의 압출력이 정확성을 가지는지를 해석 수행하여 최적의 설계를 찾도록 할 것이다. 그리고 해석수행에서 모델이 된 단축 압출기는 본 저자의 과제수행 중에 시작품 된 압출기를 모델로 해석 수행하였다.

또한 현재 전산유체해석 프로그램의 상용화시장에는 구조해석 프로그램과 유체해석 프로그램 등 많은 상용프로그램들이 나와 있으며, 그 중 Fluent Inc사의 FLUENT와 ANSYS Ins사의 CFX 그리고 Blue Ridge Numeric, Inc사의 CFdesign이 대표적인 전산유체해석 프로그램들이다. 본 연구에서는 Blue Ridge Numeric, Inc사의 CFdesign을 해석 수행에 사용하였으며, 그 이유로는 다른 전산유체해석 프로그램에 비하여 3D모델링의 데이터 호환 문제 및 해석 수행에 들어가는 시간 등 많은 이유가 작용하였고 현재 CFdesign은 제품을 개발하려는 개발자들의 가장 기본적인 해석 프로그램으로 인식 받고 있기 때문이다.

해석 수행에 필요한 기본적인 모델링은 CAD프로그램인 CATIA V5를 사용하였고, 해석수행을 하는 프로그램으로서 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.

- 1) 고분자튜브용 압출기의 특성에 맞추어 제작 설계된 시작품 단축 스크류와 다이스 시뮬레이션의 수행과,
- 2) 시뮬레이션 수행 결과 값과 시작품 스크류를 사용한 압출기의 실제 성능실험을 통해 얻은 성능 값을 비교하며,
- 3) 1),2) 번의 결과 값들과 단축 스크류의 치수 변형을 값을 주어 각각의 해석 수행하여 값을 비교 분석 할 것이며 또한 실측값과의 오차율을 분석할 것이다.

이는 안정된 압출력을 요하는 압출기의 성능 분석으로 압출기의 핵심 부품인 스크류와 다이스를 설계 단계에서 효과적인 설계 요소를 찾기 위해 테스트를 수행하는 것이다.

Table 1은 CFdesign의 적용한 검증 예제들 및 정밀도를 보여주고 있다.⁽¹⁷⁾

Table 1 Verification examples and accuracy of CFdesign

No.	Verification problem	Verification variable	error
1	Laminar axisymmetric Pipe Flow	dP [kPa]	1.1
2	Turbulent axisymmetric Pipe Flow	dP [lea]	4.3
3	Turbulent Pipe Flow - 3D	dP [lea]	2.5
4	Starting Flow in a Circular Pipe	uMax at t=0.05	3.9
5	Drag Force on a Cylinder	Cd at Re=10e5	2.0
6	Turbulent Flow Over NACA0012	Cpcurve	fits well
7	Pressure Drop Through an Orifice	Cd at Re=10e5	8.9
8	Laminar Flow Over a Backward-Facing Step	reattachment distance	3.3
9	Turbulent Flow Over a Backward-Facing Step	reattachment distance	3.0
10	Turbulent Flow Over Backward-Facing Step - 3D	reattachment distance	6.3
11	Turbulent Swirling Flow	W/r slope	0.05
12	Distributed Resistance Models	dP	1.9
13	3D Laboratory Pump Flow	Flow Rate[gpm]	9.86
14	Compressible Flow in a Converging-Diverging Nozzle	exit Ma number	2.4
15	Non-Newtonian Flow Around an Array Of Cylinders	dP [Pa]	3.0
16	Shocktube Transient Flow	T[K]	7.4
17	Transient Conduction Heat Transfer	T[C]	0.21
18	2D Axisymmetric Joule Heating	T[F]	0.06
		Q[Btu/hr-in]	0.07
19	3D Joule Heating	T[F]	0.07
		Q[Btu/hr-in]	0.10
20	Laminar Flow Over Heated Cylinder	Nusselt number	9.3
21	Turbulent Flow Over Heated Cylinder	Nusselt number	24.7

22	2D Water Flow Over a Heated Cylinder	Nusselt number	9.3
23	Turbulent Flow with a Heated Jet Injection Stream	U_{max}/U_{inf} at $x/D=3.06$	4.38
24	3D Natural Convection	heat transfer [Btu/hr]	11
25	3D Radiation Heat Transfer	heat transfer [Watt]	1.2
26	laminar thermal-driven cavity	max vel. position	0.58 2.2

제 2 장 해석대상 및 설계형상

제 1 절 해석대상

본 연구에서 사용된 압출기는 교육과학기술부 지역혁신인력사업과제의 한부분인 압출기의 단축 스크류와 다이스를 설계 및 개발하는 부분으로서 현재 설계모델을 개발하여 사업과제의 최종개발목표인 프린터 롤러 외피층 개발에 사용 중인 단축 스크류와 다이스이다. 현재 과제의 개발 진행 중인 프린터 롤러 외피층 개발에 필요한 고분자 롤러 외피층의 정량적인 목표를 위해서는 1차적인 압출기의 스크류와 다이스의 정확한 데이터들을 찾아야하고 안정적인 용융된 고분자재료의 압출이 이루어져야 하기 때문에 본 연구에서의 단축 스크류와 다이스가 해석대상이 되었다. Fig. 2-1 은 본 연구의 모델이 된 고분자튜브용 단축 압출기의 실물 나타내었다.

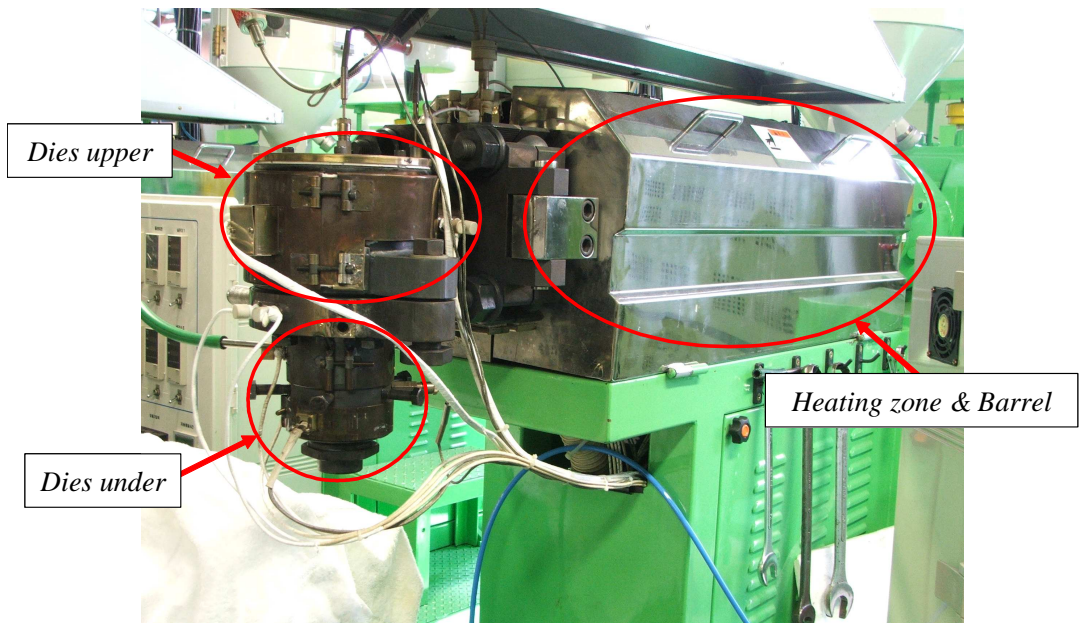


Fig. 2-1 The polymer single screw extruder thing photograph

제 2 절 설계형상

1. 단축 스크류 설계형상

단축 스크류 압출기의 계량화부 단면형상은 Fig. 2-2에 나타내었으며, Fig. 2-3 은 단축 스크류의 형상에 관련된 변수를 나타내고 있다. 스크류의 재질은 SACM645 질화강으로 사용되었고, A 는 스크류의 피치, H 는 스크류 날의 높이, D_1 는 배럴의 내부 지름, e 는 스크류 날의 폭, 그리고 θ_1 는 스크류 날개의 helix 각이다. Fig. 2-4 는 펼쳐 놓은 스크류 날을 나타내었다. 여기서 W 은 스크류 나선의 폭이다. 그러므로 스크류 날의 길이 S 는 $S = L_1 / \sin\theta$ 의 관계로부터 구할 수 있다. 여기서 L_1 은 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 길이의 1피치당 체적비에 따라 나타내며 계산식은 다음 식 (2-1) 과 같다.

$$C/R = \frac{(\frac{1}{4})(D_1^2 - (D_1 - 2H_f)^2)}{(\frac{1}{4})(D_1^2 - (D_1 - 2H_m)^2)} \quad (2-1)$$

C/R : 압축비

H_f : 공급부 스크류 길이

H_m : 계량화부 스크류 길이

D_1 : 스크류 지름

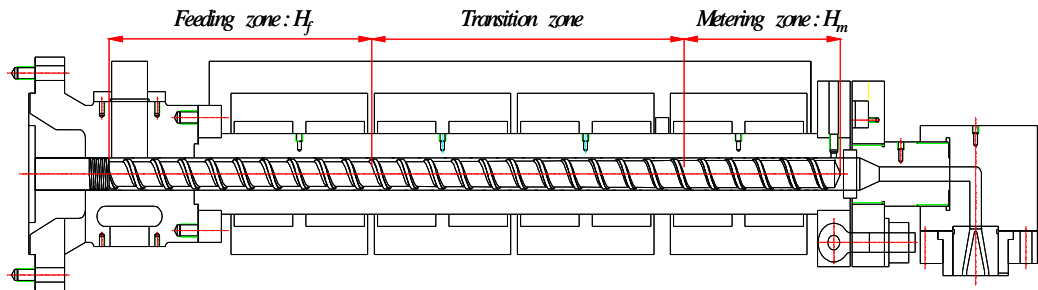


Fig. 2-2 Each zones section shape of single screw extruder

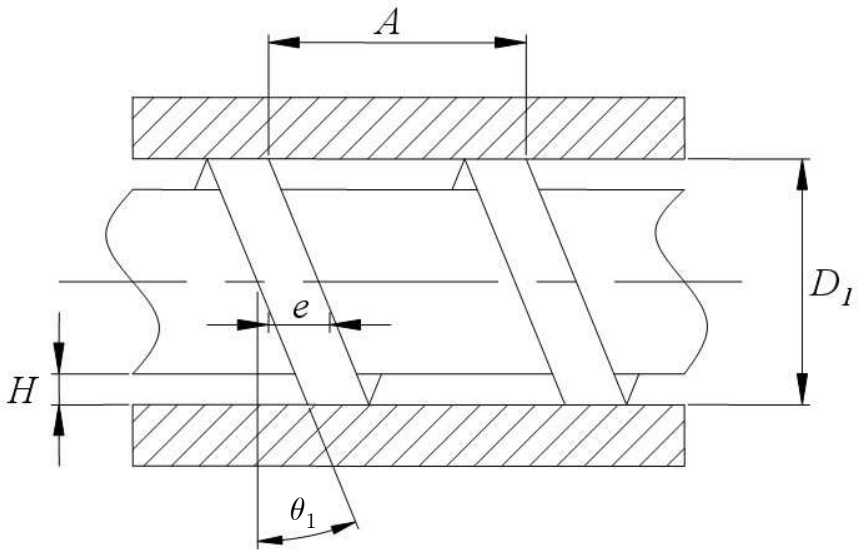


Fig. 2-3 Variable connected with shape of single screw

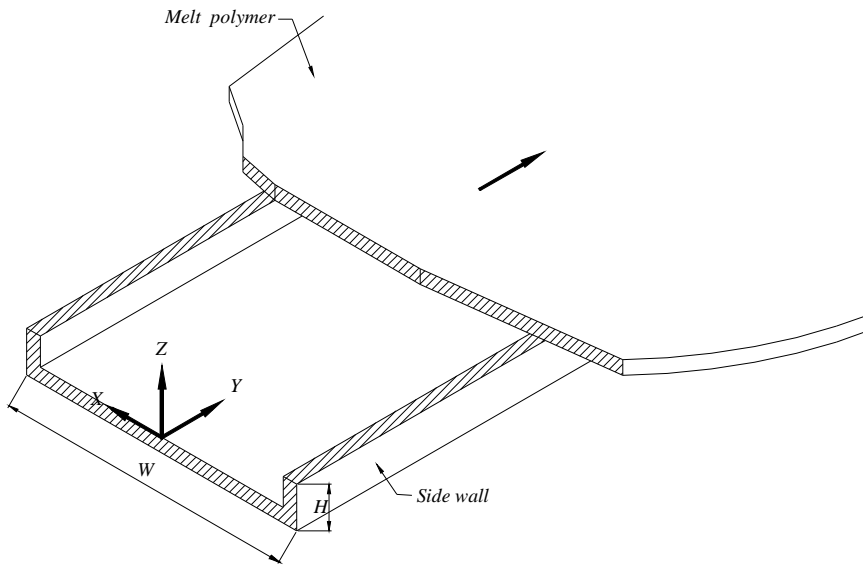


Fig. 2-4 Shape of spreading screw channel

2. 다이스 설계형상

압출 스크류의 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 점차축소관의 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. 다이스의 재질은 사출다이스와 압출다이스에 가장 많이 사용되는 S45C 구조용 탄소강을 열처리하여 제작되었다.

Fig. 2-5는 다이스의 설계도의 단면을 나타내었다.⁽¹⁸⁾

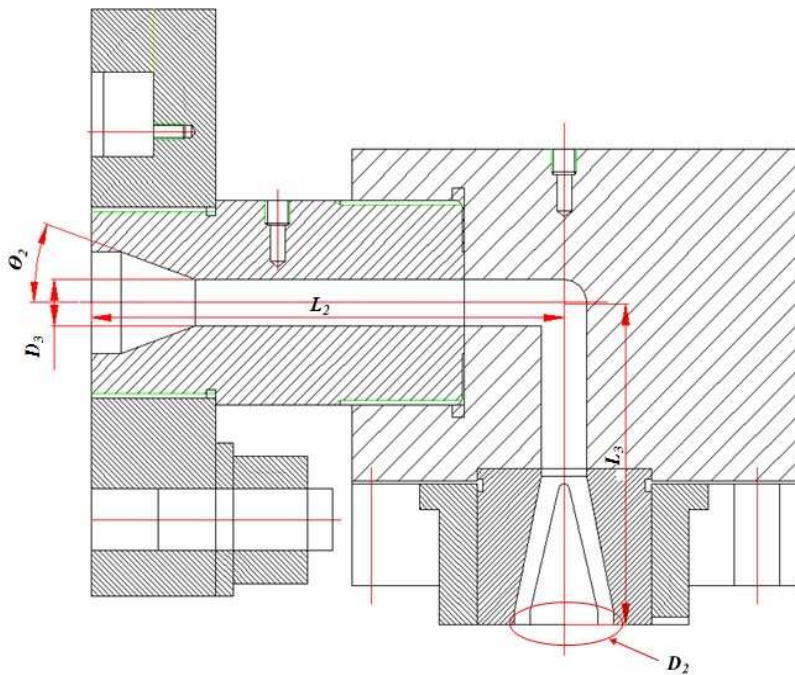


Fig. 2-5 Design cross section of dies

제 3 장 CFD의 이론적 고찰

제 1 절 CFD의 정의 및 소개

1. 전산유체역학의 수치해석기법

CFD는 (Computational Fluid Dynamics)의 약어로서 유체역학의 한 분야인 전산유체역학을 통칭하는 뜻으로 수치적 방법으로 어떤 프로세스 내에서 일어나는 유체유동, 에너지 전달, 물질 전달 및 반응현상을 지배하는 수학적 방정식을 풀어서 기기의 성능 및 유동현상을 예측하는 시뮬레이션 분야이다. CFD의 주 사용처는 새로운 설계를 위한 개념연구 등에 많은 사용을 하고 있는 엔지니어들 및 연구원들이 주 사용처고 이는 개발에 필요한 엔지니어링 데이터를 제공해 준다.

CFD를 사용한 해석을 수행할 때는 개체의 해석영역을 일차적으로 유한한 수의 계산 셀로 분할된 후 이산화(discretization) 된다. 이산화는 물리적 현상을 지배하는 미분 형태의 지배방정식을 대수방정식으로 변환하는 과정이며 이는 시간과 공간좌표의 discretelocation은 grid 혹은 mesh라 불린다.

이 때 CFD 계산을 위하여 이용되는 격자(mesh)의 수는 단순한 경우 수천 개에서 복잡한 경우 몇 백만 개에 이르게 되며 Fig. 3-1 와 같이 다양한 종류의 격자가 사용된다.

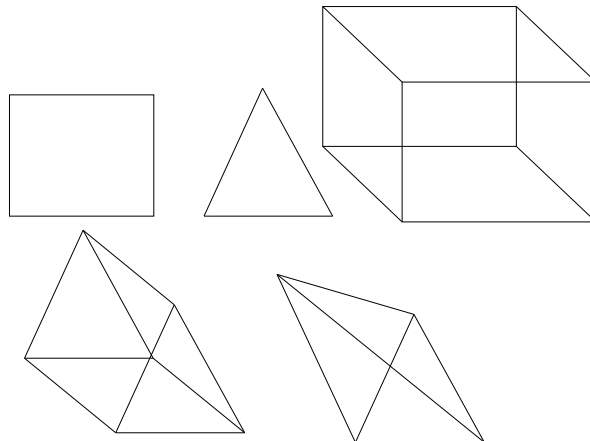


Fig. 3-1 Types of grid

과거에 CFD 코드들에 사용된 격자의 종류는 정렬 배열에 적합한 사각형(2차원) 또는 육면체(3차원) 형태였으나, 1990년대 이후 비정렬 격자를 해석할 수 있는 solver가 개발되어 어떤 형태의 격자든지 사용이 가능해졌다. 이로 인하여 복잡하고 기하학적인 형상에서의 물리적 현상을 수치적으로 해석할 수 있는 장점을 가지게 되었다.

제 2 절 CFD 해석 프로그램

본 연구에서는 유한요소법(FEM)을 사용한 해석프로그램인 CFdesign을 사용하였다. 따라서 CFdesign의 소개와 CFdesign의 기본적인 수치해석기법에 대해 간단히 언급하기로 한다.

1. CFdesign의 구성

본 연구에서 사용한 CFD 상용 코드는 Blue Ridge Numeric, Inc사 CFdesign이다. CFdesign은 Catia v.5, UG NX, Pro/Engineer Wildfire, Solidworks, Solidege, Inventor 등 대부분의 3D CAD에서 클릭 한번으로 3차원 형상을 손실 없이 CFdesign으로 넘기며 3D CAD내에서 정의한 각종 부품, 물성, 이름 등의 캐드 정보도 그대로 받아들여, 경계조건, 물성설정 등 CFD에 바로 사용할 수 있는 해석프로그램이다.

또한, 대부분의 상용 CFD SW들이 FVM(Finite Volume Method)이라 보존법칙(conservation law)을 충실히 구현 하도록 상대적으로 물리학적 개념이 강조된 소프트웨어인 반면에 CFdesign은 FEM(Finite Element Method)이라 미분방정식의 차분 개념을 사용한다.

CFdesign은 자체적으로 층류/난류, 내부/외부, steady/transient, 비압축성/압축성, 아음속/천음속/초음속 유동에 대한 유동해석 뿐만 아니라, 전도/자연대류/강제대류/복사 열전달 해석을 복합적으로 수행하고, Motion 모듈을 이용 하면 유체 내부에 있는 고체의 선형/회전/orbital/nutation 및 이들의 혼합운동에 유동의 변화 등을 해석할 수 있다.⁽¹⁷⁾

2. CFdesign의 수치해석기법

본 연구에서는 전산유체프로그램인 CFdesign을 바탕으로 해석 수행을 하며 CFdesign은 각각의 모델링 작업을 통하여 그 외의 조건 값들을 주어 해석수행을 자동적으로 내부프로그램으로 수치해석요소인 수식에 따라 해석 수행되기 때문에 본 단원에서는 CFdesign에서의 스크류 및 다이스 해석에 연관된 이론적인 수식들을 나열하였다.⁽¹⁷⁾

가. 지배방정식

CFdesign 기법에서의 이송방정식들은 수치 해석적으로 풀어줌으로 유동의 평균속도벡터의 계산을 가능하게 한다. 3차원인 모델에 대한 연속방정식은 다음 식(3-1)과 같다.

3차원 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (3-1)$$

3차원의 형상모델을 해석조건으로 사용함으로 x, y, z 세 축방향의 연속방정식이 성립된다. ρ 는 유체의 밀도를 t 는 시간을 나타내고, u 는 x 방향의 속도성분, v 는 y 방향의 속도성분, w 는 z 방향의 속도성분을 나타낸다.

x, y, z 의 3축에 대한 운동량 방정식은 다음 식(3-2), 식(3-3), 식(3-4)와 같다.

x 축의 운동량 방정식

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \\ \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ + S_\omega + S_{DR} \end{aligned} \quad (3-2)$$

y 축의 운동량 방정식

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho w \frac{\partial v}{\partial z} = \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \\ + S_\omega + S_{DR} \end{aligned}$$

z 축의 운동량 방정식

$$\rho \frac{\partial w}{\partial t} + \rho u \frac{\partial w}{\partial x} + \rho v \frac{\partial w}{\partial y} + \rho w \frac{\partial w}{\partial z} = \quad (3-4)$$

$$\begin{aligned} \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right] \\ + S_\omega + S_{DR} \end{aligned}$$

여기서 운동량방정식의 두 가지의 항이 존재한다. 하나는 분산저항(distributed resistance) 항과 회전좌표(rotating coordinate) 항으로 각각 나타낸다. 먼저 분산저항 항을 일반적으로 나타내면 식(3-5)와 같다.

$$S_{DR} = - \left(K_i + \frac{f}{D_H} \right) \frac{\rho V_i^2}{2} - C\mu V_i \quad (3-5)$$

C 는 점성계수, μ 는 유체점성, D_H 는 유압직경, f 는 마찰계수, i 는 전체 좌표방향 (X, Y, Z 운동량방정식)을 참고로 나타내며, K 는 유체의 흐름비 대 압력강하를 측정된 값을 나타낸다.⁽¹⁸⁾

또 다른 운동량 방정식인 회전방정식 항은 다음과 같이 나타낸다.

$$S_\omega = -2\rho\omega_i \times V_i - \rho\omega_i \times \omega_i \times r_i \quad (3-6)$$

ω 는 회전 속도를 나타내며, r 은 회전축으로부터의 거리를 나타낸다.

에너지 방정식은 비압축성 유체와 아음속 압축성 유체의 경우 아래의 식 (3-7)의 방식으로 나타내며, 온도가 일

정한 상태로 나타내어진다.

에너지 방정식

$$\begin{aligned} & \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho C_p v \frac{\partial T}{\partial y} + \rho C_p w \frac{\partial T}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_V \end{aligned} \quad (3-7)$$

C_p 는 정압비열을 나타내었고, T 는 온도를 t 는 시간을 나타내었으며, q_V 는 열원용적을 k 는 열전도율을 나타내었다.

유체의 다면상의 예로 스팀/물 또는 수증기의 유체들의 에너지 방정식의 엔탈피는 식 (3-8)과 같이 나타낸다.

엔탈피 방정식

$$\begin{aligned} & \rho \frac{\partial h}{\partial t} + \rho u \frac{\partial h}{\partial x} + \rho v \frac{\partial h}{\partial y} + \rho w \frac{\partial h}{\partial z} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k \frac{\partial T}{\partial z} \right] + q_V \end{aligned} \quad (3-8)$$

습도계산식으로 보면, 엔탈피에서의 유체는 습증기와 공기로 나타낸다. 그리고 스팀과 물도 유체로 나타낸다. 엔탈피의 에너지는 증기와 액체상태 모두 같다.

나. 경계조건

본 연구에서는 경계조건은 CFdesign 프로그램 상의 자동경계조건이 주어진다. 따라서 각 경계는 자동경계 주는 조건으로 각 경계에 no-slip 조건을 적용하였고 베럴에는 일정온도조건을 적용하였고, 스크류 표면에는 단열조건을 적용하였다. 입구에는 압력조건을 적용하였는데 이 압력은 유체의 이동되는 과정에서의 CFdesign의 자동계산이 이루어진다. 그러므로 입구 유동에서의 속도 및 압력에 대한 초기조건은 필요하지 않다. 스크류의 입구에는 초기 온도 T_0 의 유체가 유입되는 것으로 가정하였다. 최종 유체가 나가는 출구에는 대기압의 조건을 주었다. 위에서 설명한 경계조건들을 요약하면 다음과 같다. 스크류 표면과 날개에서는 각각 $\partial T/\partial y$, $\partial T/\partial x$ 이며, $u = v = w = 0$ 이다. 그리고 입구에서는 $T = T_0$, 출구 P_{out} 이다.

다. 점성모델

본 연구에서 사용된 유체의 모델은 폴리머 계열의 PEEK(Polyetheretherketones)를 사용하였다. CFdesign에서는 점성계수의 모델을 비뉴턴체의 관계식을 자동으로 계산하여 사용한다. 여기서 CFdesign에 사용되어지는 비뉴턴체의 점성계수 수식을 나열하였다. 식 (3-9) 은 비뉴턴체의 기본적인 전단응력과 비직진성에 대한 점성계수식을 나타내었다.⁽¹⁷⁾

비뉴턴체의 기본 전단응력

$$\tau_{xy} = \eta \frac{\partial u}{\partial y}, \quad \eta = f\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right) \quad (3-9)$$

f 는 마찰계수이다. 위 식 (3-9)를 비뉴턴체의 Power law 법칙을 따라 전단응력식을 식 (3-10) 을 나타내었다.

$$\tau_{xy} = m \frac{\partial u^n}{\partial y} \quad (3-10)$$

여기서 m 은 유체의 밀도지수이며, n 은 Power law의 지수이다. 그리고 점성계수의 방정식은 식 (3-11)과 같이 할 수 있다.

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{\partial V_i}{\partial X_j} \right)^p \quad (3-11)$$

여기서 $\mu_0 = m$ 그리고 $p = n - 1$ 이다.

제 4 장 시뮬레이션 수행 데이터 검출

제 1 절 시제작 모델링 및 변형모델링 시뮬레이션 구성

1. 모델링 설계

본 연구에서 사용된 고분자용 단축 스크류와 다이스의 모델링은 CFdesign의 기준의 시뮬레이션 수행을 위해 CATIA를 사용하여 모델링 작업을 수행하였다. 단축 스크류의 모델링 작업은 2장 2절 1의 설계형상을 기준으로 모델링 하였고, 다이스 또한 2장 2절 2의 설계형상을 기준으로 하였다. 다만, CFdesign의 특성상 원활한 해석 수행을 위해 시뮬레이션에 적합하게 모델링 작업을 하기위하여 스크류의 경우 계량화부 만을 모델링 수행하였으며 베럴과 다이스는 일체형으로 모델링 하였다. 그리고 본 절에서는 실측정을 수행한 시제품 단축 스크류와 다이스를 사용한 압출기를 기준으로 모델링 및 해석 수행하였다. 또한 시뮬레이션을 통한 압출기 스크류의 시제품 단축 스크류 뿐만 아니라 임의의 동일 스크류를 피치만을 변형한 모델링도 해석 수행하여 시제작 모델링의 성능 평가에 비교분석에 사용하게 하였다. Fig. 4-1 은 스크류의 계량화부 만을 모델링한 것을 나타내었다. Fig. 4-2 는 베럴과 다이스의 일체형 모델링을 나타내었다. Table 4-1 은 스크류와 베럴 모델링의 각 치수들을 나타내었다.

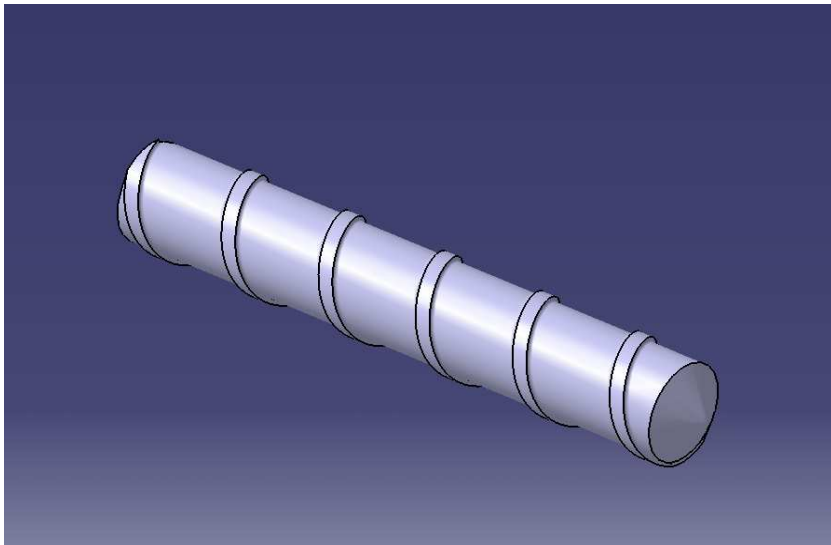
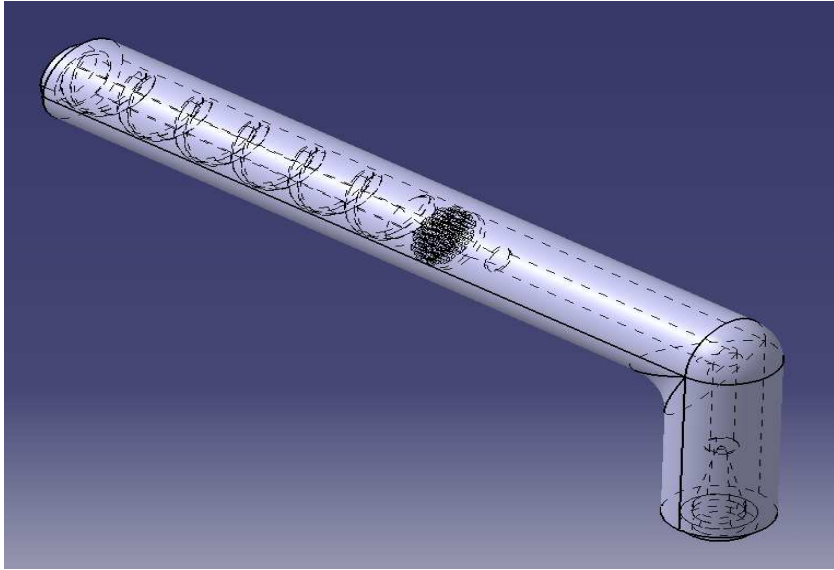
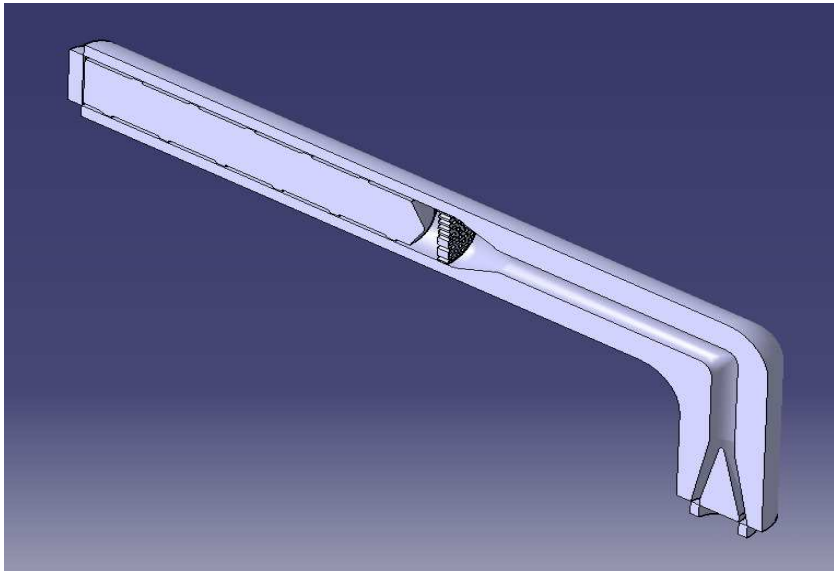


Fig. 4-1 Metering zone modelling of screw



(a) Basis modelling perspective drawing



(b) Basis modelling drawing in section

Fig. 4-2 Built-in type modelling of barrel and dies

Table 4-1 Each part size of modelling (Reference of Fig. 2-2, Fig. 2-5)

Model geometry	Value	
Barrel diameter, D_1	40mm	
Metering zone screw length, L_1	240mm	
Screw channel height, H	1.6mm	
Flight width, e	6mm	
Helix angle, θ_1	30°	
Dies upper hole length, L_2	190mm	
Dies under hole length, L_3	125mm	
Dies cone hole angle, θ_2	20°	
Dies output diameter, D_2	∅ 12.5mm	
Dies hole diameter, D_3	∅ 18mm	
Screw pitch, A	Prototype screw	42mm
	Ex. screw 1	24mm
	Ex. screw 2	26mm
	Ex. screw 3	28mm
	Ex. screw 4	30mm
	Ex. screw 5	32mm
	Ex. screw 6	34mm
	Ex. screw 7	36mm
	Ex. screw 8	38mm
	Ex. screw 9	40mm
	Ex. screw 10	44mm

2. 고분자모델

본 연구에서 사용된 해석유체는 PEEK(Polyetheretherketones)로서 전형적인 폴리머계의 열가소성수지를 사용하였다. PEEK는 열가소성 압출장비로 가공이 용이한 과립상태와 분말상태로 나누어진다. 본 연구에서는 과립상태의 압출성형전용의 PEEK가 사용 되었으며 시뮬레이션을 사용하는 상태는 용융상태의 PEEK의 조건을 사용하였으며 물성 및 데이터는 PEEK의 제조사의 물성 및 데이터를 사용하였다. PEEK의 물성 및 데이터는 CFdesign의 Material Properties를 따라 변형률이 없는 점성, 밀도, 비열, 전도성, 용융온도, 압력을 조건을 주어 시뮬레이션을 수행 하였다. Table 4-3 는 CFdesign에 사용된 PEEK의 물성데이터를 나타내었다.⁽¹⁹⁾

Table 4-2 PEEK's properties of matter data table

Properties of PEEK melt	Value
Density, ρ	1.30 g/cm ³
Viscosity, μ	10,000 Pa s
Thermal conductivity, k	0.25 W/m °C
Specific heat, C_p	2160 J/kg °C
Temperature melt(Static), T	360 °C

3. 시뮬레이션 수행 방법 및 결과검출

단축 스크류의 계량화부와 다이스의 동시적으로 많은 CFD해석들이 2D로는 수행되어 왔다. 그러나 본 연구에서는 3D 모델링을 기반으로 스크류의 계량화부와 다이스를 동시에 CFD를 이용하여 스크류와 다이스의 동적 특성을 해석 수행하여 동작유체의 실 압출 측정값과의 비교 분석이 이루어지게 될 것이며 시작품 압출스크류의 모델링 외에 임의의 변형치수를 사용한 모델링의 시뮬레이션 검출 값과도 비교 분석 수행 할 것이다.

Fig. 4-2 (a)의 모델링을 기반으로 Fig. 4-3 은 CFdesign 수행을 나타낸 것이다.

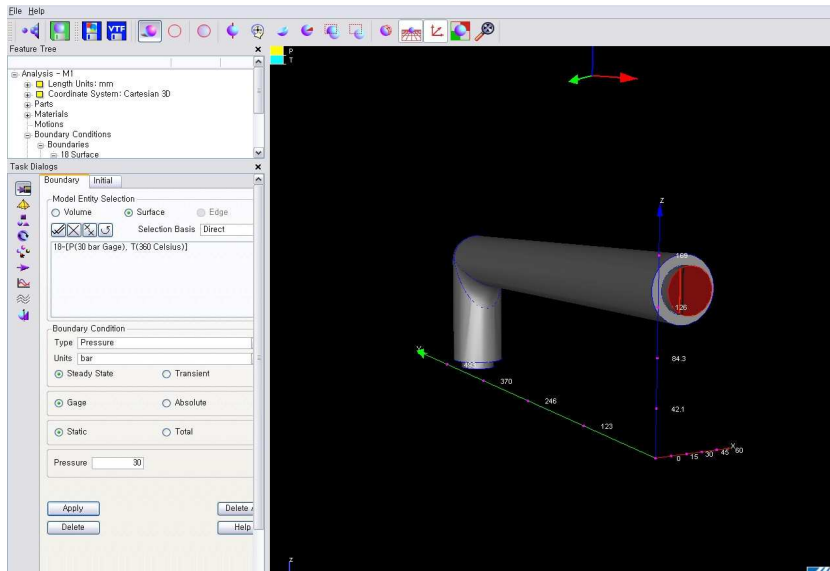


Fig. 4-3 CFdesign achievement

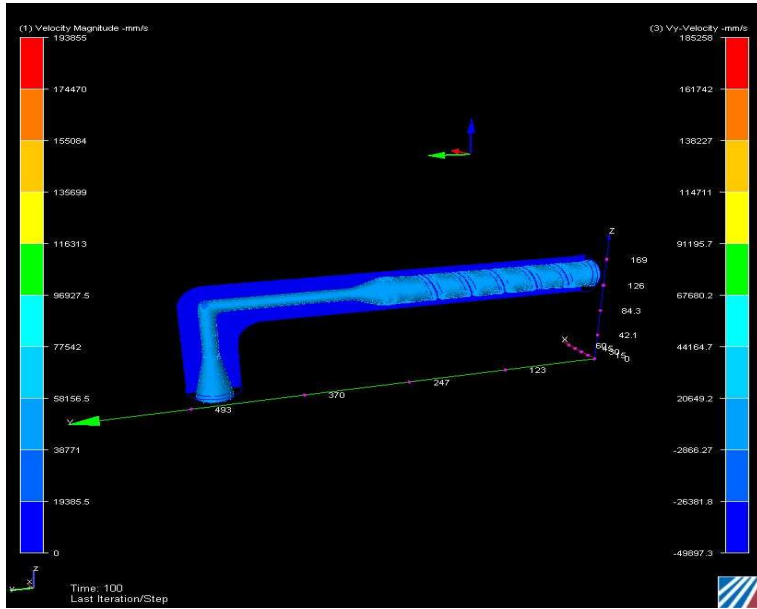
시뮬레이션 수행은 다음과 같이 이루어 졌다. 모델링의 경계조건을 주는 단계로 입구 조건은 유동으로 사용된 고분자 재료의 가공조건인 압력과 온도만을 주었다. 온도는 동작유체의 Melt온도인 360°C를 주었으며 온도는 정상상태를 요구하였으며 압력 또한 동작유체의 이상 압력인 30bar를 입구에 주면서 정상상태의 조건에 주었다. 출구의 경우 흐르는 유동체가 다이스를 통해 나오므로 압력은 대기압을 주었다. 그리고 시뮬레이션 수행을 위해 각각의 모델링에 메시 값을 주었고, 메시 작업이 끝난 후 각각 모델링을 Table 4-3의 조건에 맞추어 각각의 유체모델링과 솔리드모델링, 모션모델링으로 나누어 재료물성 값을 넣어주었고 다음과 같이 적용하였다. 전체적인 모델링에는 솔리드영역에 해당되는 베럴과 플레이트는 기본적인 스틸을 조건화 하였고, 동작유체는 PEEK의 재료물성인 밀도, 점도, 전도성, 비열 등을 동작유체의 모델링에 적용하였다. 그리고 스크류 모델링의 경우 모션 조건인 rpm을 주었으며 여

기서 60rpm은 동작유체의 가장 안정된 생산속도를 넣어 주었다.

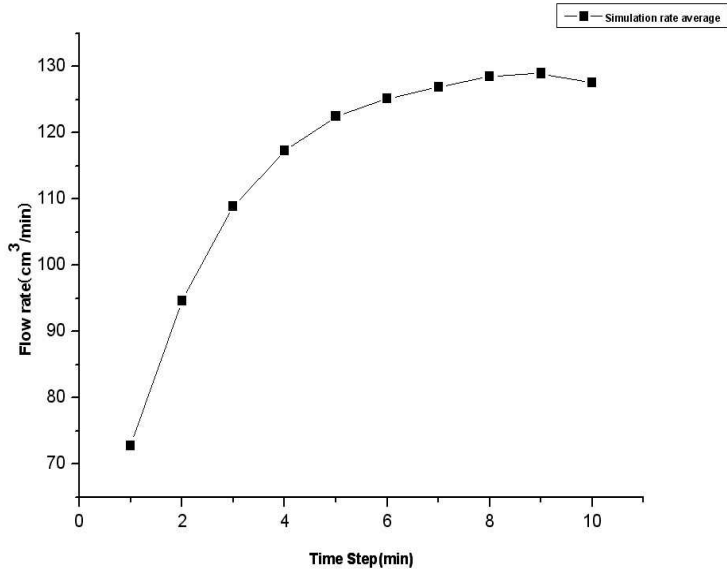
시뮬레이션 수행단계의 마지막 단계인 수행 단계에서는 각각 특성을 부여한 전체 모델링을 시뮬레이션 수행에서 나오는 결과 값들과 해석수행 시간을 설정하여 시뮬레이션 수행을 하였다. 시뮬레이션 상의 데이터 저장은 시뮬레이션의 Time step에 따라 60초 간격으로 저장하게 하였고 총 시뮬레이션 시간으로 10분으로 하였다. Table 4-3은 해석수행 조건들을 나타내었고, Fig. 4-4 시작품 스크류와 다이스 모델링부터 피치변형 스크류 모델링들 Fig. 4-15까지의 시뮬레이션 수행 그림과 각각의 압출량 변화를 나타낸 그래프를 나타내었다.

Table 4-3 Simulation achievement condition

Properties of simulation	Value
Density, ρ	1.30 g/cm ³
Viscosity, μ	10,000 Pa s
Thermal conductivity, k	0.25 W/m ² °C
Specific heat, C_p	2160 J/kg °C
Temperature melt(Static), T	360 °C
Input pressure, P	30 Bar
Output pressure, P_{out}	1.0135 Bar
Screw velocity, ω	60 rpm

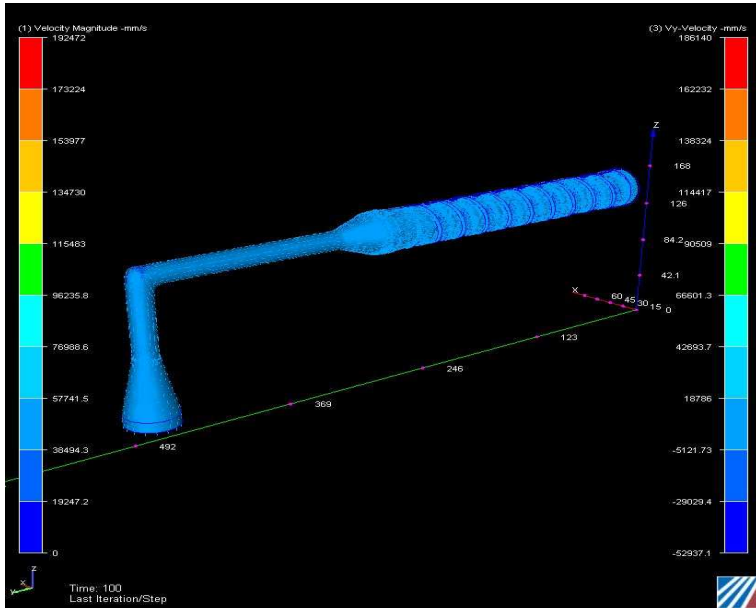


(a) CFdesign simulation

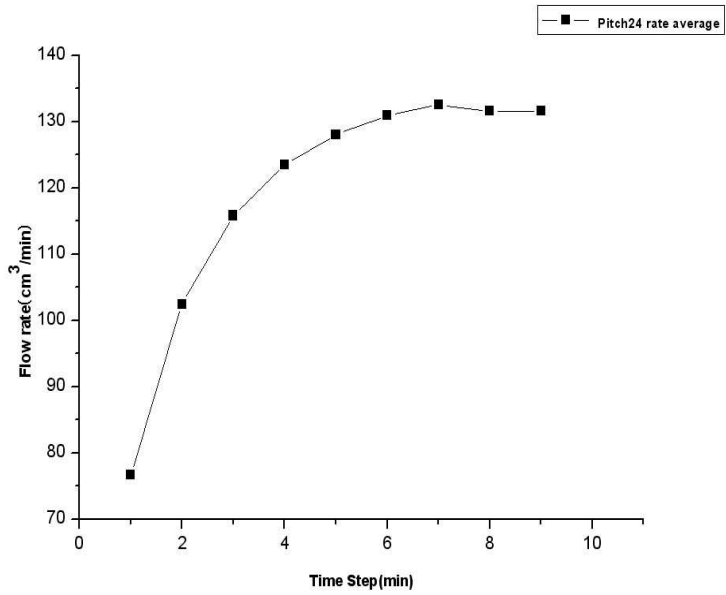


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-4 Dies modelling with prototype screw(Pitch 42mm)

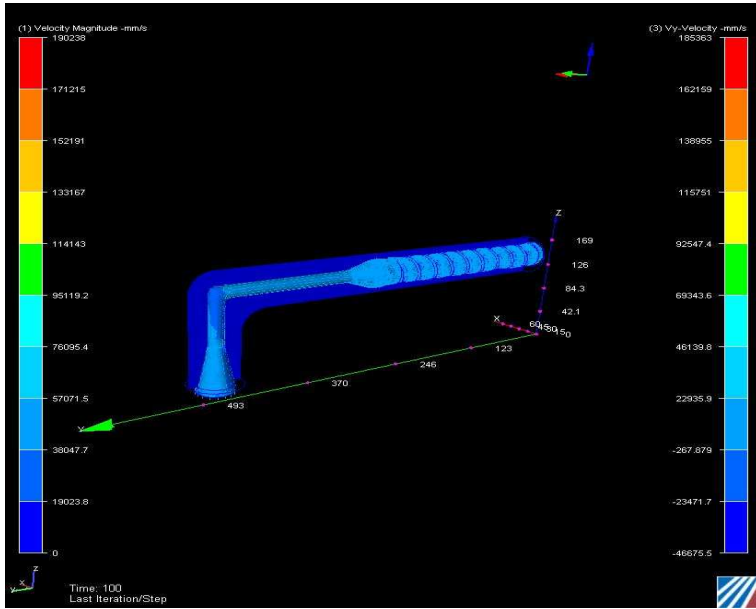


(a) CFdesign simulation

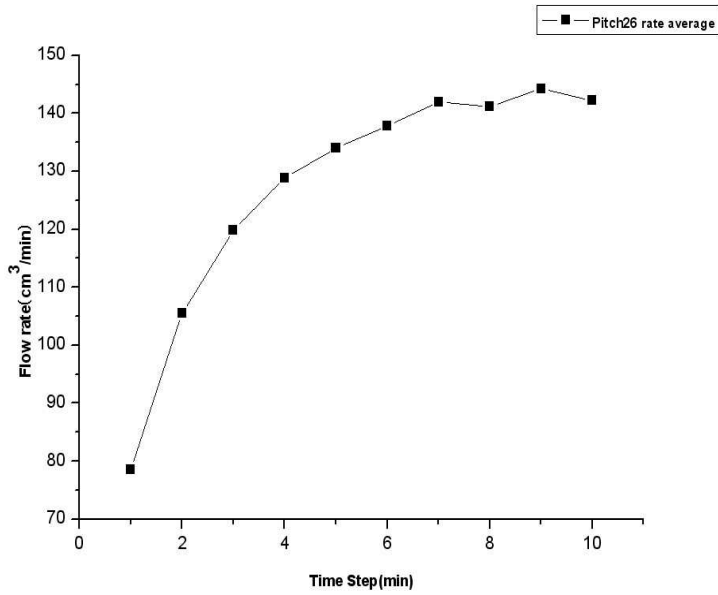


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-5 Pitch 24mm screw modelling and dies

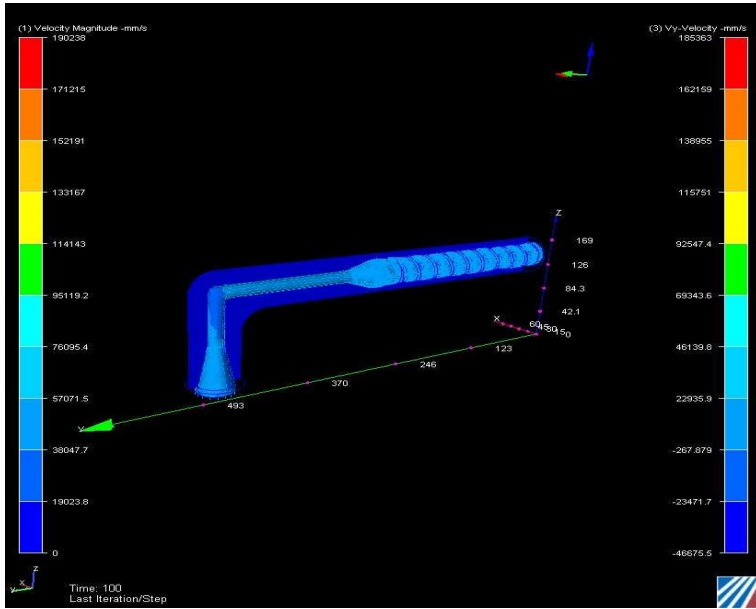


(a) CFdesign simulation

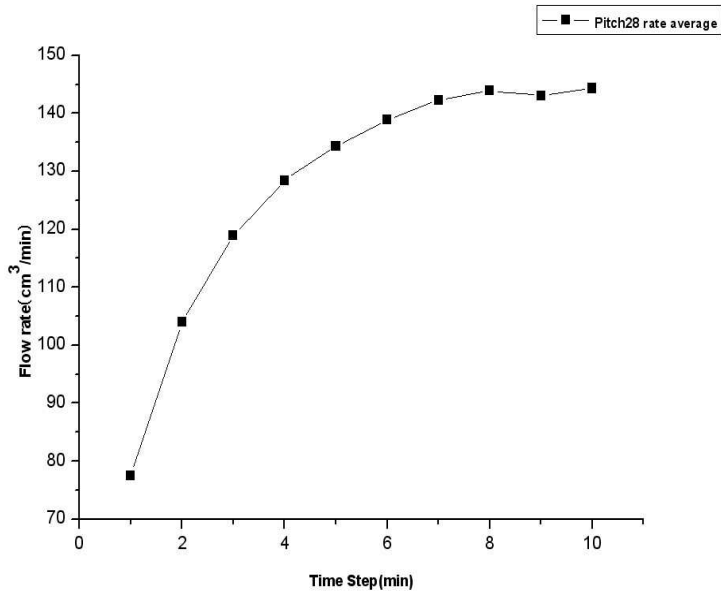


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-6 Pitch 26mm screw modelling and dies

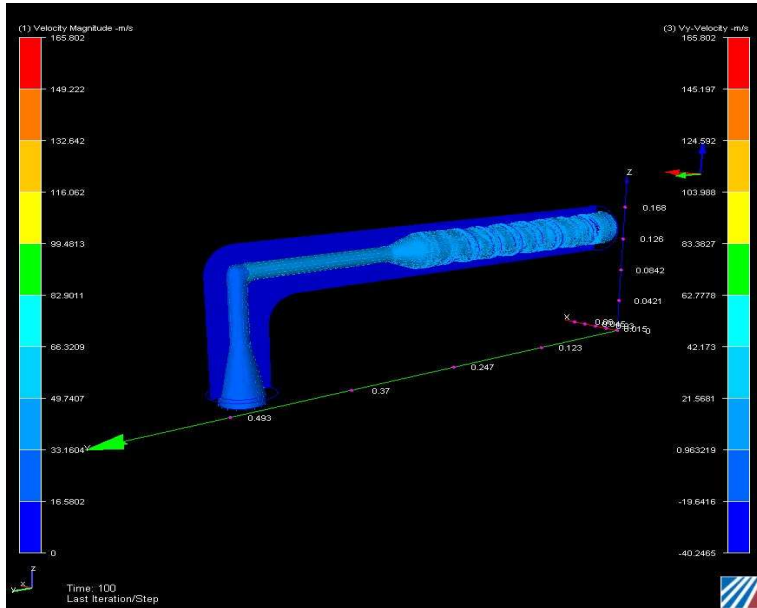


(a) CFdesign simulation

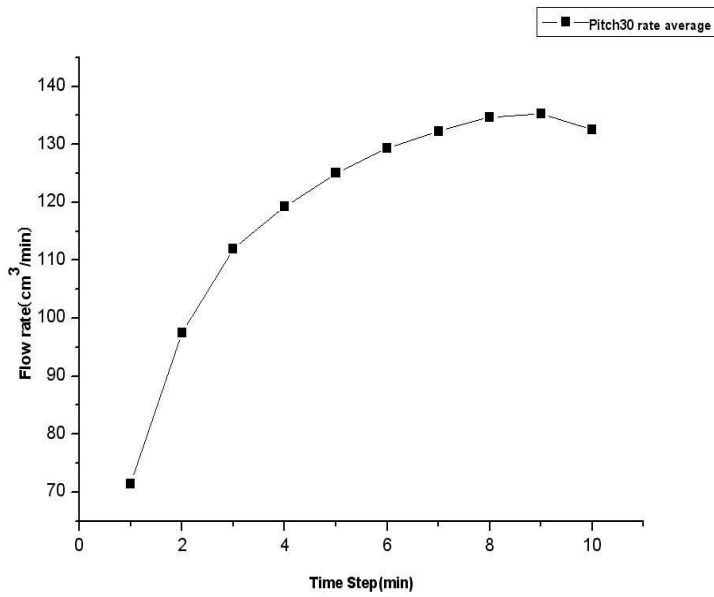


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-7 Pitch 28mm screw modelling and dies

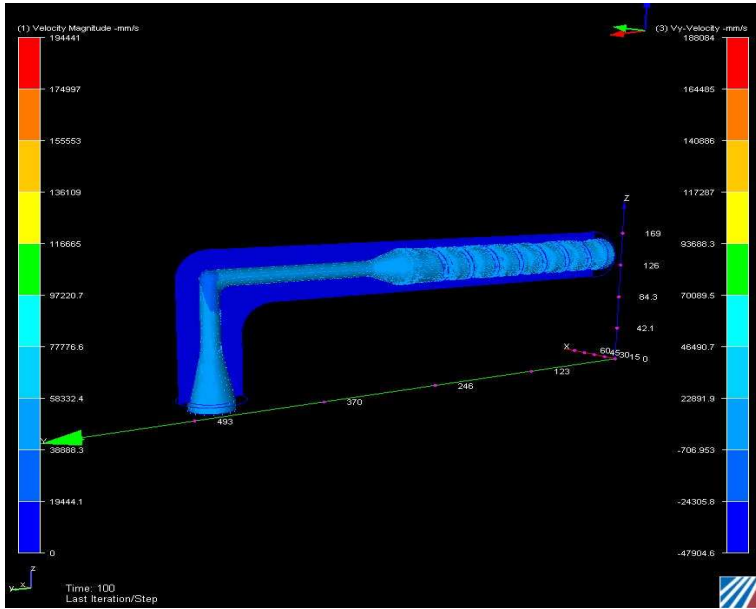


(a) CFdesign simulation

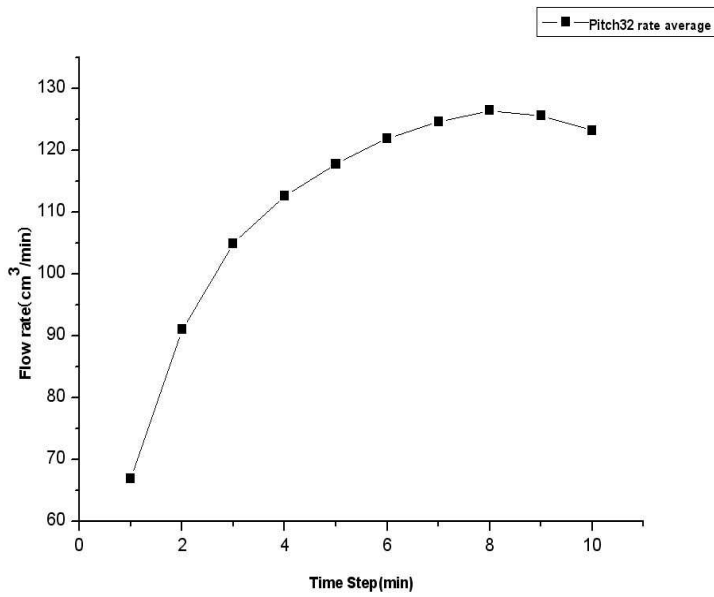


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-8 Pitch 30mm screw modelling and dies

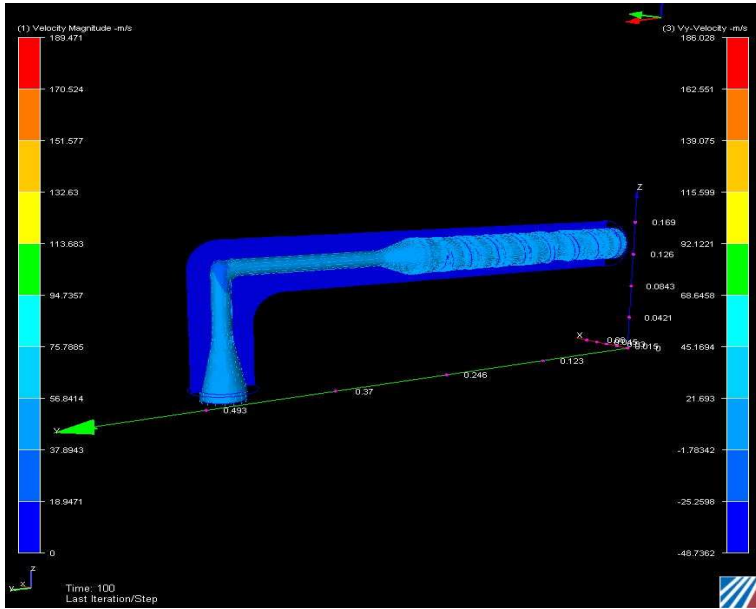


(a) CFdesign simulation

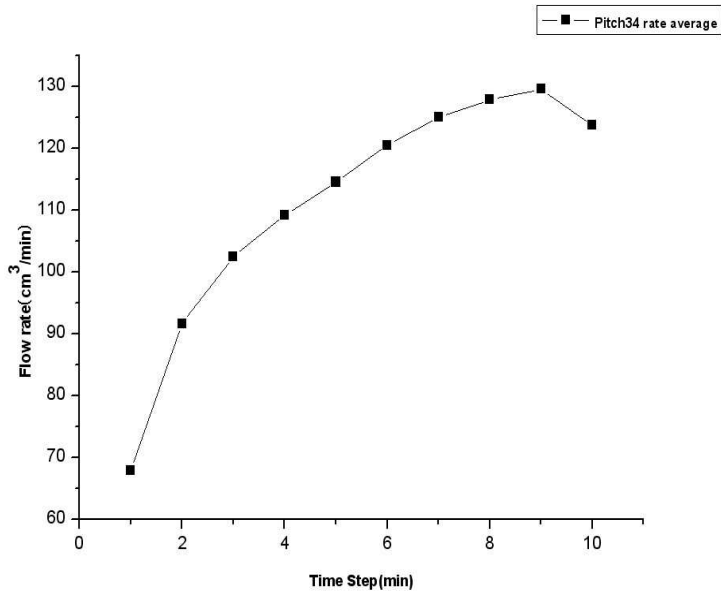


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-9 Pitch 32mm screw modelling and dies

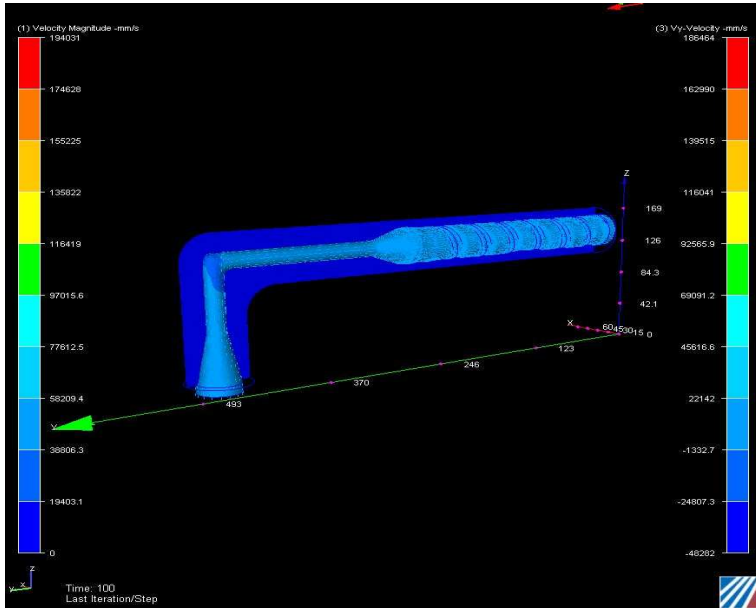


(a) CFdesign simulation

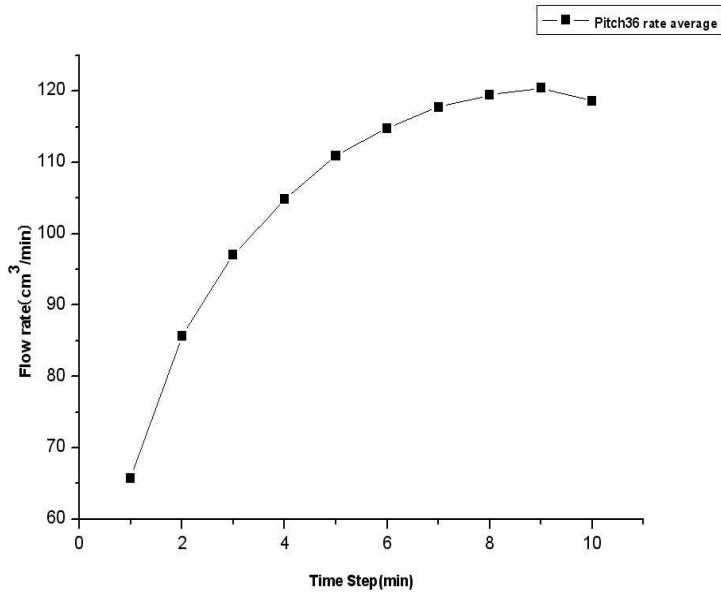


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-10 Pitch 34mm screw modelling and dies

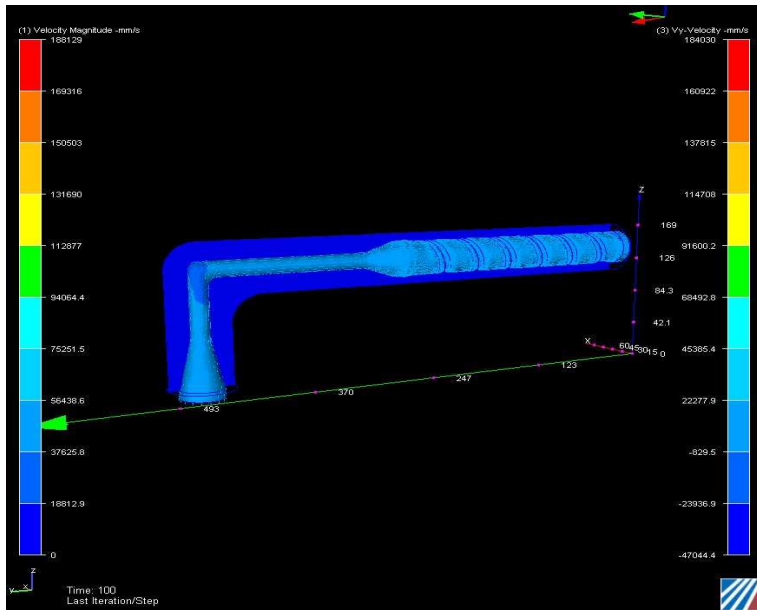


(a) CFdesign simulation

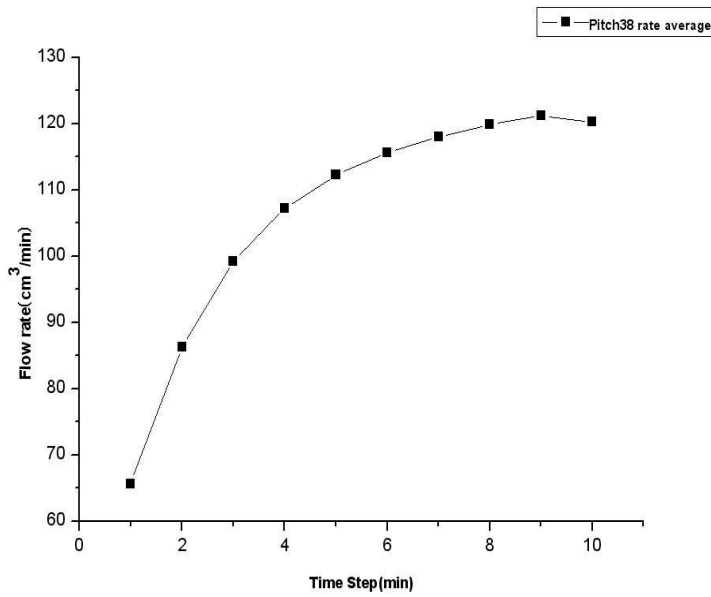


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-11 Pitch 36mm screw modelling and dies

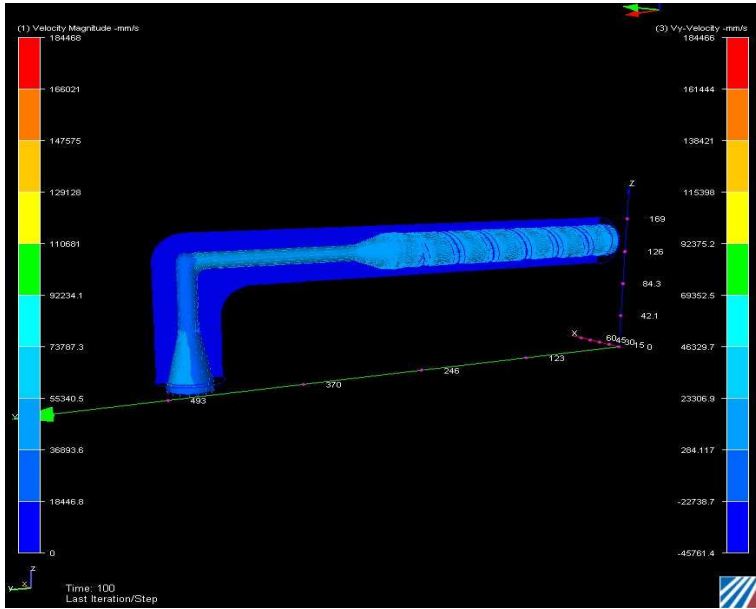


(a) CFdesign simulation

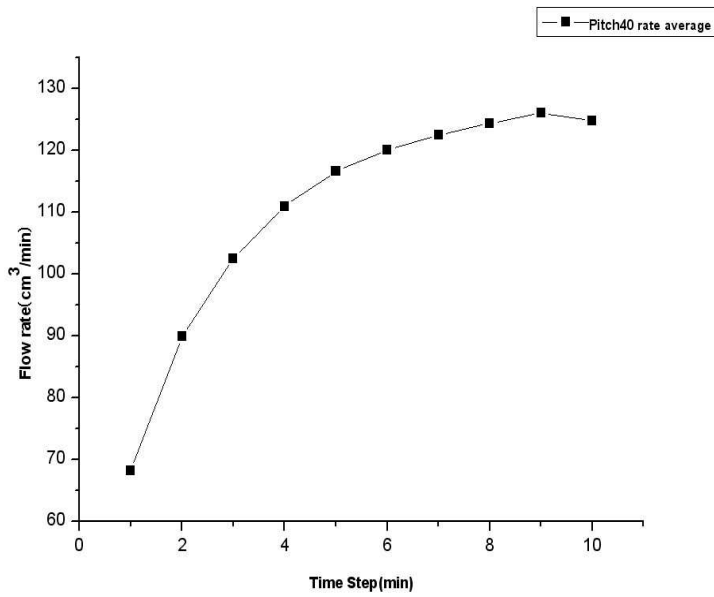


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-12 Pitch 38mm screw modelling and dies

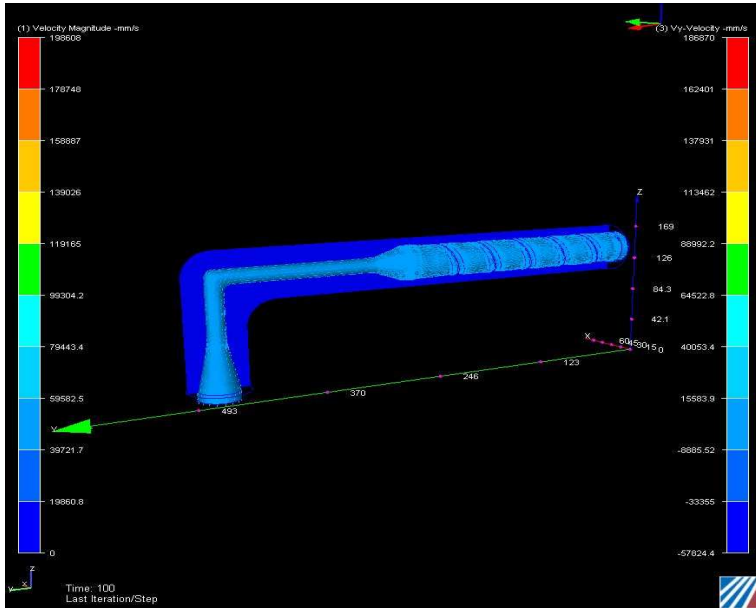


(a) CFdesign simulation

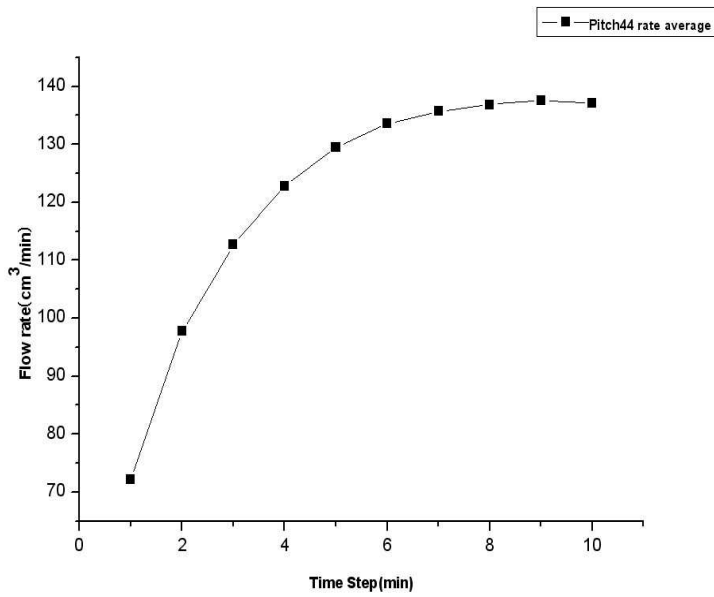


(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-13 Pitch 40mm screw modelling and dies



(a) CFdesign simulation



(b) Extrusion amount of a minute working fluid

Fig. 4-14 Pitch 44mm screw modelling and dies

제 2 절 압출기의 성능실험 구성 및 방법

1. 압출기 시스템 구성

본 연구에서 실험대상으로 사용된 압출기는 고분자튜브 전용 압출기로서 주로 PET, PEI, PEEK 등 여러 폴리머 고분자 원재료를 사용하여 튜브제작에 사용하는 압출기이다. 압출기의 구조는 크게 원재료를 공급하는 호퍼(Hopper)와 원재료가 가공되고 히팅을 일으키는 베럴(Barrel), 압출기의 핵심 부품인 스크류(Screw) 마지막으로 원재료의 가공이 완성되어 완제품이 생산되는 다이스(Dies) 이 4가지의 부분으로 나누어지고 있고, 그 외에 본 압출기에서 생산되는 제품의 특성상 연신기, 권취기 등의 다른 부가적인 부분들이 압출시스템으로 이루어져 있다. Fig. 4-15는 실험에 사용된 압출기의 시스템 모습을 나타내고 있다.

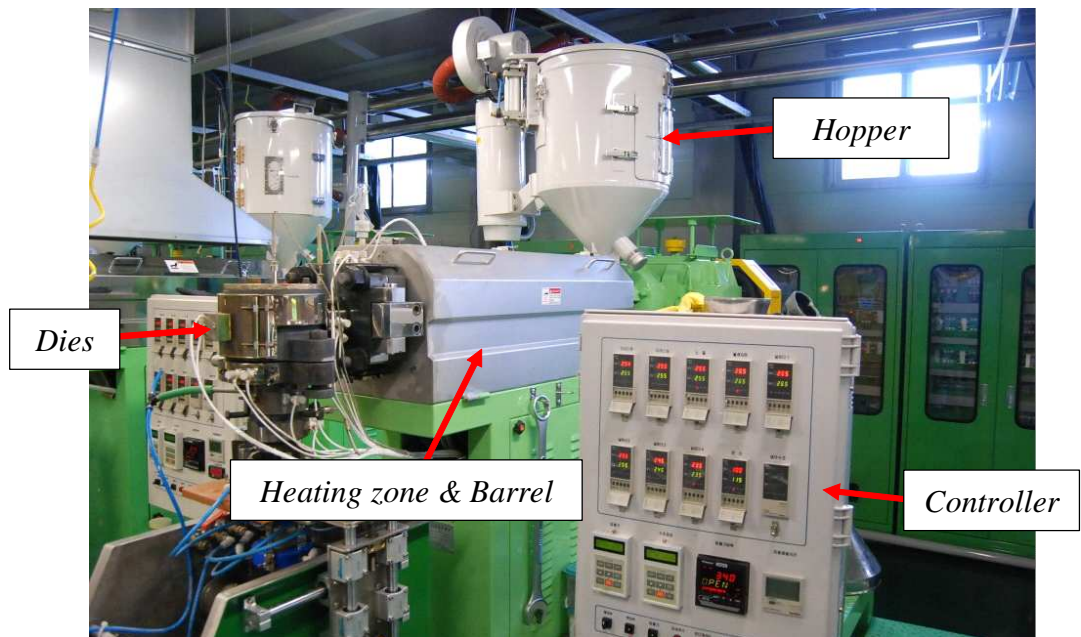


Fig. 4-15 Extrusion system

Fig. 4-15에 나타낸 압출시스템에서 압출기의 제어를 담당하는 PLC에서는 압출기의 온도, 압력, 스크류 회전속도 등을 전체적으로 제어하도록 하며 실시간으로 모니터링 하도록 디스플레이 창이 있어 실시간 확인이 가능하도록 되어있다.

2. 성능실험 방법

압출기의 실제 압출량을 구하는 성능실험은 다음과 같이 이루어 졌다.

(1) 조건 : 압출 표준온도 = PEEK melt 온도 360℃

(2) 설비조건

- 압출기 : 40mm로 통일
- 헤드의 차이점 : 브레커 플레이트에 삽입되는 이물제거를 위한 아미의 차이 있음
- 제품규격 : 아미조건 무시, 다이스의 내 외경 크기, 내 외경 사이의 간격 차이(12.5mm사용)

(3) 압출조건

- 압출속도 = 압출량

위의 조건을 바탕으로 1)시작품 스크류를 장착한 압출기에 1kg의 고분자 원재료인 PEEK를 넣고 2) 압출기의 전체 시스템의 히팅 온도를 360℃로 제어하며 3) 스크류의 속도를 60rpm으로 하고 4) 그 외의 연신기외 권취기를 제어 하도록 하여 실험에 기본적인 셋팅을 하였다. 실험에서 압출량을 검출하는 것은 생산속도로 나타낼 수 있으며 방법은 권취기 롤러 위에 위치한 엔코더펄스를 이용하여 디지털 메타로 디스플레이하게 하여 단위는 미터로 나타내며 오차율은 ±1m 이다. 생산속도로 분당 압출량을 나타 낼 수 있다. 식 4-1은 분당 압출량을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} & \text{절경의 평균값} \times \text{두께의 평균값} \times 2(\text{두겹}) \times 1.3(\text{원재료의 비중}) & (4-1) \\ & \times 1\text{분당생산미터수} = \text{분당압출량} \end{aligned}$$

3. 결과 검출

실험은 결과는 다음과 같이 나타내었다. 생산된 제품을 분당 생산한 미터로 절단하고 완성된 제품의 경우 원형이 아닌 압착이 된 상태이기 때문에 절단한 제품의 절경의 평균값과 두께 값 그리고 압착상태이기 때문에 두겹을 적용하며 1.3의 원재료의 비중으로 식 4-1로 계산하였다. 그리고 실험은 10분씩 5번 진행 하였으며 이 외의 데이터를 협력업체의 4, 5, 6월의 월별 실험 데이터를 합산한 평균값을 결과로 나타내었다. Fig. 4-16은 총 실험데이터의 평균값을 나타내었다.

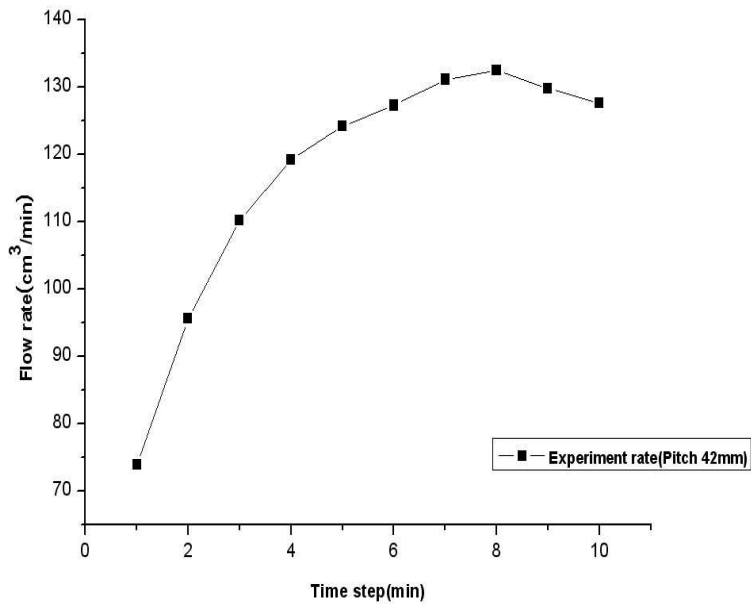


Fig. 4-16 Experiment extrusion amount data

제 3 절 데이터 비교분석 및 고찰

본 연구에서 데이터 비교분석을 수행함에 따라 실측 실험값에서 가장 안정되게 압출이 되어 고분자튜브의 생산이 가능하게 되는 시간영역이 5분을 지나서 나타났다. 그러므로 실측 실험값뿐만 아니라 시뮬레이션에도 비교대상이 되는 데이터는 Time step의 5분이후의 6부터 10 사이의 값을 데이터 비교분석에 사용하였다. 1차적으로 실 측정 실험 데이터를 시작품 모델링 및 다이스의 데이터 값과 그 외의 변형 치수 값들과의 비교하여 그래프로 나타내었다. 2차적으로 전체 측정값들을 동시에 그래프로 나타내었고, 각각의 시뮬레이션 값들과 실 측정 실험값과의 오차를 비교하였다. 오차율 비교에 따라 실험 압출량과 시뮬레이션 압출량의 비교 오차율은 허용오차율 $\pm 5\%$ 이내의 1.7% 미만으로 나타나 안정된 압출이 이루어진다고 나타났으며 그 외의 변수 모델링 시뮬레이션의 경우 시간대별 오차율의 차이가 최소 1%에서 최대 11%까지 나타났다. Fig. 4-17은 실 측정 시작품 스크류(Pitch 42mm)의 데이터와 시작품 스크류 모델링의 시뮬레이션 데이터 결과를 비교하여 나타낸 그래프이며, Fig.4-1은 전체 데이터 값을 그래프로 나타내었다. 그리고 Table 4-4은 각각 데이터 값을 실 측정 스크류 데이터 결과와 비교하여 오차율을 나타내었다.

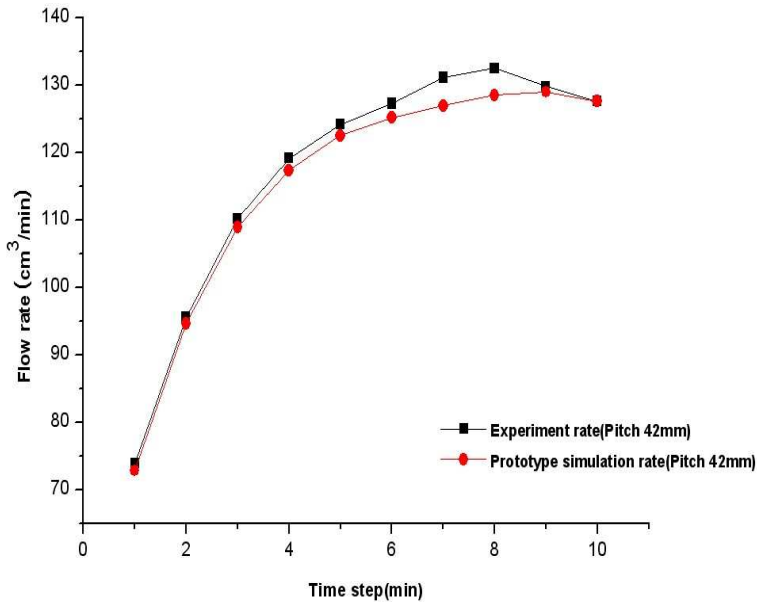


Fig. 4-17 Temporary manufacture modelling data value and survey experimental value comparison

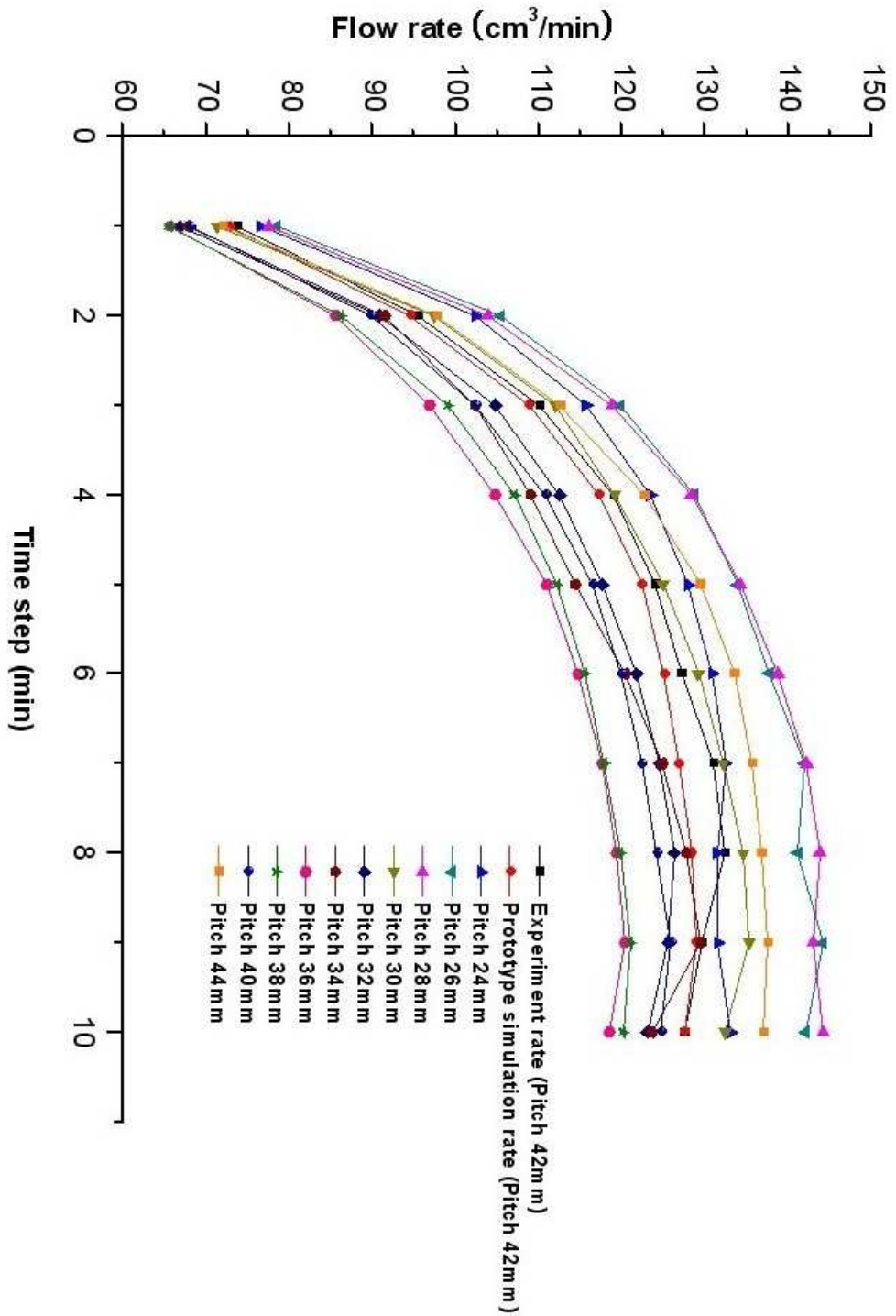


Fig. 4-18 Whole modelling data value and survey experimental value comparison

실험 분석 결과로 시작품 스크류(Pitch 42mm)의 실 측정 데이터를 기준으로 하여 나머지 시뮬레이션 결과 데이터를 비교 분석하였다. 시작품 스크류(Pitch 42mm)의 시뮬레이션 데이터를 실 측정 데이터와 비교 분석한 결과는 거의 동일한 결과를 나타내었다고 오차율 분석을 통해 나타내었고 Fig. 4-17의 그래프를 통해 나타내었다.

그리고 나머지 변수로 설정한 피치변형 스크류들의 데이터 결과도 실 측정 데이터에 비교 분석을 수행하였고 그에 따른 오차율 분석과 Fig. 4-18 그래프에 나타내었다.

피치를 변수로 정하여 시뮬레이션을 수행한 스크류들 중 피치 24mm, 26mm, 28mm, 30mm, 44mm의 총 5개의 변수 피치를 적용한 스크류들의 압출량이 시작품 스크류의 실 측정 데이터 값보다 높은 데이터 값을 나타냈으며, 피치 32mm, 34mm, 36mm, 38mm, 40mm의 스크류 시뮬레이션 데이터는 실 측정 데이터보다 낮은 압출량을 나타내었다.

본 결과를 순수하게 압출량 데이터를 놓고 볼 때 실 측정 스크류(Pitch 42mm) 데이터 보다 압출량이 높게 나타난 변수 스크류들이 나타났으며 이는 고분자튜브를 생산하기 위해 압출량이 중요한 결과를 나타냈다. 향후 고분자 튜브 생산에 중요한 여러 변수(표면거칠기, 두께 등)들과 적용하여 보다 안정되고 생산력이 향상 될 수 있는 압출기 스크류를 제작할 수 있을 것이라 사료된다.

Table 4-4 Whole modelling data and survey experiment data
measuring efficiency comparison

	1-10min error	6-10min error	Note
Prototype model (Pitch 42mm)	1.522%	1.743%	Experiment model data
Pitch 24mm model	3.067%	1.764%	
Pitch 26mm model	8.028%	8.374%	
Pitch 28mm model	8.004%	9.009%	
Pitch 30mm model	1.315%	2.398%	
Pitch 32mm model	-5.308%	-4.276%	
Pitch 34mm model	-5.562%	-3.479%	
Pitch 36mm model	-11.129%	-9.677%	
Pitch 38mm model	-10.075%	-8.971%	
Pitch 40mm model	-6.089%	-4.968%	
Pitch 44mm model	3.312%	4.786%	

제 5 장 결론

본 논문에서는 단축압출기 시스템에서 생산되는 고분자 튜브의 안정된 압출력을 측정하기 위하여 단축압출기에 사용되는 단축 스크류와 다이스를 시제작하여 전산유체해석 프로그램인 CFdesign을 이용 시제작 단축 스크류와 다이스를 Modeling 하여 해석을 수행하고, 그 외 변수로 단축 스크류의 Pitch 변형을 준 스크류 또한 해석 수행을 하였다. 또한 시제작한 스크류와 다이스를 사용하여 실제 고분자튜브를 생산하여 압출량을 측정 하였고 그에 따라 해석 수행을 통해 얻은 압출량과 비교하였다. 실제 압출량 실험은 해석 수행과는 다르게 많은 변수들이 있었으나 해석 수행과 동일한 조건을 유지하기위해 모두 무시를 하였다. 또한 실제 실험에서 압출량을 측정하는 것은 권취기 롤러를 이용하여 생산된 튜브를 감는 과정에서 권취기롤러 위에 부착되어있는 엔코더펄스를 활용하여 분당 생산제품을 미터 값으로 디지털 메타에 디스플레이하게 되어있어 제품의 절경 평균값, 두께의 평균값, 원재료의 비중, 분당 미터 수를 적용하여 압출기의 압출량을 측정 수행하였다. 다음은 본 논문의 주요 연구결과를 나타내었다.

1. 단축 압출기의 시제작 스크류와 다이스의 압출량 실험에서는 총 실험 시간 10분 동안에서 1-5분간의 압출량 값은 압출이 이루어지는 단계로 원재료가 다이스를 통해 고분자 튜브로의 완벽한 형을 유지시키기 어려운 단계로 나타났으며 실험시간 5분이 넘어간 6-10분 사이에 압출량의 안정된 상태가 나타나 고분자 튜브의 형을 완벽하게 유지하면서 생산이 이루어졌다.
2. 실제 압출력 실험에서 시제작 스크류와 다이스의 압출량을 동일 모델링 해석 수행을 통해 얻어진 압출값을 비교 분석하였다. 비교결과 전체 실험시간 10분의 압출량 오차율은 1.522%이고 6-10분 사이의 압출량 오차율은 1.7435%로 해석으로 인한 오차율 $\pm 5\%$ 내로 나타났으며 이는 시제작 스크류와 다이스와 동 모델링의 압출량의 변화가 거의 없고 $\varnothing 12.5$ 고분자 튜브의 생산에 가장 안정되게 설계를 하였다고 볼 수 있다.
3. 시제작 스크류와 다이스의 치수 변형 모델링을 해석 수행하였으며 치수의 변형은 스크류 날의 피치만을 변형시켰다. 각각의 모델링에 따라 압출량이 다르게 나타났으나 전체 해석 값의 변화에 따른 오차율은 실측실험 10분간의 비교 결과 10개의 모델링 중 3개의 모델링이 오차율 $\pm 5\%$ 미만의 결과를 나타냈으며 6-10분 사이의 결과는 예상외로 10개의 모델링 중 6개의 모델링이 오차율 $\pm 5\%$ 미만으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 나타난 결과로 시제작 스크류와 다이스의 설계상 문제점을 보완 수정하기 위해 본 연구에서의 해석 수행을 이루어졌고, 연구 결과 고분자튜브의 생산력에서 안정된 압출력의 성능을 보인 시제작 스크류와 다

이는 해석 수행에서는 문제점이 없는 결과로 나타났으나 변수로 피치 값의 변화를 준 스크류들의 경우를 보면 시제작 스크류 뿐만 아니라 변형 스크류들의 경우도 안정된 압출력을 나타내며 시제작 스크류의 압출력 오차율과도 $\pm 5\%$ 미만으로 3-6개의 모델링이 나타났다. 그리고 시제작 스크류의 정밀한 설계가 이루어졌지만 변수 스크류들의 해석결과를 보고 판단할 수는 없다. 그것은 시뮬레이션의 변수에서 오직 스크류 피치만을 변수로 하였기에 향후 스크류 및 다이스에서 스크류의 변수 및 압력, 열 등 여러 변수들을 설정하여 고분자튜브 생산에 적합한 스크류와 다이스를 제작 시험 수행을 해야 할 것이다.

References

- (1) Z. Tadmor and C. Gogos, "Principles of Polymer Processing", John Wiley & Sons, New York, 1979.
- (2) R.T. Fenner, "Principles of Polymer Processing", Chemical Publishing, New York, 1979.
- (3) Karwe M. V., Y. Jaluria, "Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in a Single Screw Extruder for Non-Newtonian Fluids", Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 17, pp. 167-90. 1990.
- (4) R.M. Griffith, I & E Fundamentals, 1, 1 1962.
- (5) Chiruvella RV, Y. Jaluria, Essehir M., Sernas V., "Extrusion of Non-Newtonian fluids in a Single Screw Extruder with Pressure Back Flow", Polymer Engineering & Science, Vol. 36, pp. 358-67. 1996.
- (6) R.T. Fenner, Polymer, 18, 1977.
- (7) S. Gopalakrishna, M. V. Karwe and Y. Jaluria, "Numerical Methods in Industrial Forming Processes", ed. by E.G. Thompson et al., Balkema, Rotterdam, p. 265. 1989.
- (8) T.H. Kwon, S.F. Shen and K.K. Wang, "Pressure Drop of Polymeric Melts in a Conical Converging Flow: Experiments and Prediction", Polymer Engineering & Science, Vol. 26, pp. 214-24. 1989.
- (9) P. Lin and Y. Jaluria, "numerical Approach to Model Heat Transfer in Polymer Melts Flowing in Constricted Channels, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 30, pp. 103-123. 1996.
- (10) Raman V. Chiruvella, Y. Jaluria, A.H. Abib, "Numerical Simulation of Fluid and Heat Transfer in a Single Screw Extruder with Different Dies", Polymer Engineering & science, Vol. 35, pp. 261-73. 1995.

- (11) Jung-Bae Yoon. "Simulation of Heat and Fluid Flow in the Single Screw Extruder with Coupling of the Metering Section and Die", Graduate School, Hanyang Univ. 2000.
- (12) Tai-Hun Kwon. "Finite Element Analysis of Nonisothermal Flows in Single-Screw Extruders" The Korean Journal of Rheology, Vol. 3, No. 1, pp. 56-67, 1991.
- (13) Dong-Seong Kwag, Woo-Seung Kim and Min-Young Lyu, "Three-Dimensional Heat and Fluid Flow Simulations for Non-Newtonian Fluid in a Single Screw Extruder", KSME, pp. 337-342, 2001.
- (14) Chung-Kyun Kim, Seung-Hyun Cho, "Numerical Study on the Behavior Characteristics of a Screw in Injection Molding Machine", KSMTE, Vol.11 No.5 pp. 30-37, 2002
- (15) Seung-ho Yang, Man-Yeong Ha and Il-Ryong Park, "The Basic on the Technique of Fluid Flow Analysis Using the Immersed Boundary Method", KSME, pp. 619-627, 2004.
- (16) J.Y. Toon, Y.K. Hwang, J.S. Park, T.J. Ko and J.W. Park, "An Integrated CAD System for Design of Extruder Screw", KSPE, Vol. 19, No. 8, August 2002.
- (17) Copyright(c) 1992-2005 Blue Ridge Numerics, Inc. "Cfdesign Technical reference : Upfront CFD".
- (18) I.E. Idelchik, "Handbook of Hydraulic Resistance. 3rd edition" Published by CRC Press, 1994
- (19) 이석순, 황영진, 김효진. "CATIAV5 기초 ver. 5.11", 2004.
- (20) Victrex, Inc. "Properties of Matter Guide Book".
- (21) 김재열, 정효희, 광남수, 최승현, 고명석, 김종문, 홍철 "최적화 압출성형용 Melting-Single Screw에 관한 유동기초연구", 2007추계한국윤활학회 발표논문집, 2007
- (22) 김재열, 정효희, 최승현, 고명석, 유신, 김종문 "최적설계고분자 압출기 Dies에 관한 기초연구", 2008년도 광주/호남

지부 한국자동차공학회 춘계학술대회, 2008

- (23) 김재열,정효희,최승현,고명석,한재호,홍철 “최적설계고분자 압출기 Screw에 관한 기초연구”, 2008년도 광주/호남

지부 한국자동차공학회 춘계학술대회, 2008

- (24) 김재열,정효희,고명석,최승현,심재기,한재호 “고분자안출성형용 Single-screw에 관한 열유동 기초연구”, 한국공

작기계학회 2008춘계학술대회논문집, 2008

- (25) 김재열,정효희,최진호,유신,윤성운,홍철,김종문 “압출용 다이스의 Melt 고분자 열유동 기초연구”, 한국공작기계

학회 2008춘계학술대회논문집, 2008

- (26) 김재열,정효희,고명석,최승현,최진호,김종문,홍철 “열가소성고분자 압출성형 시스템 개발 및 기초연구”, 2008년

도 한국윤활학회 춘계학술대회 발표논문집, 2008

- (27) 김재열,정효희,최승현,최진호,홍철 “고분자튜브용 Single-Screw 압출시스템의 동적특성 해석”, 한국공작기계학

회 2008추계학술대회 논문집, 2008