

점탄성 효과를 가진 사출 유동에 관한 연구

전언찬*, 박정우#, 김수용**, 이철장***, 안광우****

A Study on the Injection Flow with Viscoelastic Effect

Eon-Chan Jeon*, Jung-Woo Park#, Soo-Yong Kim**, Chul-Jang Lee***, Kwang-Woo Ahn****

ABSTRACT

In this paper, we design internal space in plunger-type low pressure vacuum injection molding machine from numerical study. And we study characteristic of viscoelastic flow for searching injection molding condition. Then the flow analysis was performed using the CAE S/W. The result shows optimal value of nozzle and hole in injection chamber. And we investigated qualitatively relationship between injection pressure and injection mass flow with variable shear rate

Key Words : Injection Flow(사출유동), Viscoelastic Effect(점탄성효과), Weissenberg Number(Weissenberg 수), Injection Molding Condition(사출성형조건), Increasing Ratio of Velocity(속도증가율)

1. 서 론

사출성형은 수지의 가소성을 이용하여 용융된 수지를 높은 압력으로 사출하여 금형내의 Cavity 공간에 충전, 냉각하여 제품을 생산하는 일련의 공정으로 현재 플라스틱 성형가공법 중 가장 널리 사용되는 방법의 하나이다. 최근에는 우수한 많은 종류의 엔지니어링 플라스틱 재료들이 개발되고 이를 이용하여 일반 생활용품에서 기계, 자동차 및 항공기 부품 등의 산업 전 분야에 걸쳐 널리 활용되어지고 있다^[1].

사출성형은 밀폐공간에서 성형되고, 성형공정중의 상황을 예측하기 어렵다. 금형설계상에서는 성형결함

을 감소시키기 위해 금형제작 완료 후 시험사출을 실시하여 수정 보완하거나 설계단계에서 컴퓨터를 이용한 해석을 실시하여 설계에 반영함으로써 시행착오를 줄일 수 있고, 이에 대한 연구가 많이 진행되어 있다^[2-3]. 그러나 사출성형조건에 대해서는 거의 현장 경험에 의존하고 관련 연구가 거의 진행되어 있지 않다.

사출기내의 수지의 유동은 고압의 점성유동이다. 또한, 점도는 수지의 유동성에 영향을 미치는 중요한 변수이고, 특히 사출성형 작업의 측면에서 사출압을 결정하는데 영향을 미친다^[4].

따라서 본 연구에서는 저압용 플런저형 진공 사출기의 내부 공간에 대한 최적 설계를 위하여 수치실험을 하고, 사출 성형조건에 대한 기초 연구로서 점성 유동특성을 파악한다. 최적설계는 일반적인 사출기와 구별되는 사출챔버의 구조 및 노즐에 대하여 수행하고, 유동특성은 보통 수지의 점도가 온도 및 전단율의 함수이므로 사출압에 대한 수지의 점도를 변수로 하여 그 특성을 파악한다.

* 동아대학교 기계공학부

교신저자 : 동아대학교 기계공학부

E-mail jwnarada@hanmail.net

** 동아대학교 기계공학부

*** (주) FIT 몰드

**** SM 테크

2. 이론해석

2.1 해석모델

Fig. 1은 본 연구의 대상인 플런저형 사출기의 실린더부에서 노즐부까지를 나타낸 것이다. 주요 치수로 실린더의 내경은 70mm, 실린더의 길이는 240mm으로 하였다. 그림에서 수지는 원뿔형상의 난류발생부의 관통공을 거쳐 노즐부로 이동하여 사출된다. Fig. 2와 Fig. 3은 사출기 내의 유동장을 나타낸 것이다.

2.2 해석조건

유동해석은 CFX(V.11)을 사용했고, 난류발생부 내의 관통공의 갯수(N), 내향각도(θ) 및 노즐에 직경(D)을 대상으로 하였다. 해석범위는 N을 3개에서 5개, θ 를 20도에서 30도, D를 3mm에서 5mm로 하였다. 해석모델에서 Nozzle 및 관통공에서의 유동이 중요하므로 Nozzle부터 관통공이 실린더에 연결된 주위의 격자 scale을 최대 1로 두었고, 그 단면에는 경계층 두께를 2mm, 층수를 20개 두었다. 해석에 입력해야 될 사출액의 중요한 물성은 점도(μ)이고, 특히 뉴턴유체의 점도가 온도(T)의 함수인 것과 달리 수지의 경우는 비뉴턴 유체로서 온도 이외에 전단율의 영향을 받고 있다⁵⁾. 해석에 사용된 수지는 PP계열의 수지를 대상으로 하였고 LG Chemical의 전단율과 온도에 대한 점도 물성치를 사용하였다.

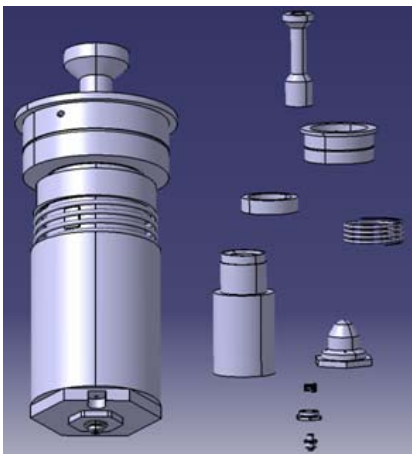


Fig. 1 The cylinder of injection mold

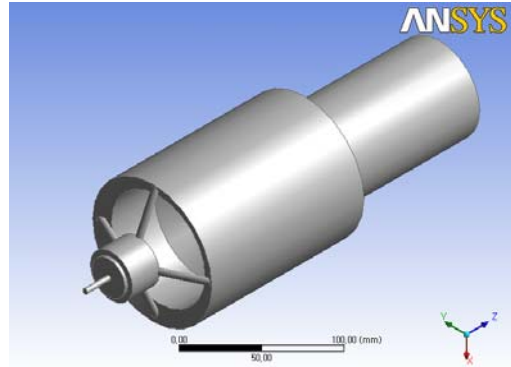


Fig. 2 The shape of analytic model

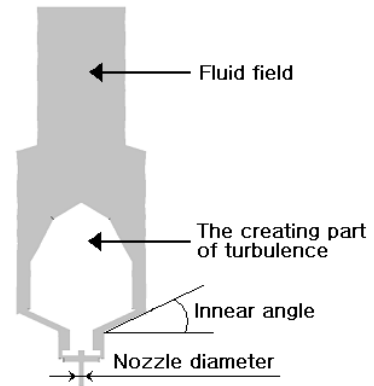


Fig. 3 The cutting section of analytic model

해석모델에서 전단율은 최대값이 되는 노즐을 기준으로 하였고, Nozzle의 직경이 3mm, 4mm 및 5mm의 경우에 대한 전단율 16000, 8000 및 4000이다. 아래 식(1), 식(2) 및 식(3)은 전단율이 16000, 8000 및 4000에 있어서 온도 변화에 대한 점도값을 Fitting하여 수식으로 표현한 것을 나타낸 것이다.

$$\mu = 42.15 - 0.26T + 0.0004T^2 \quad (1)$$

$$\mu = 64.01 - 0.39T + 0.0007T^2 \quad (2)$$

$$\mu = 97.22 - 0.54T + 0.0011T^2 \quad (3)$$

본 해석에 점도는 각 전단율에 있어서 온도의 함수로서 입력하였고, 온도의 범위는 210℃에서 220℃로 하였다.

본 해석에서는 비교 대상으로 간이 금형 사출기

(MCP-Injection Moulding Machine Type 100 KSA)를 설정하였다. 설계치에 대한 기준은 MCP 사출기에 근거하여 사출유량을 0.1kg/s로 하였고, 최대 사출압을 80 atm으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사출 속도 증가율

일반적으로 관로 내 유체는 단면적에 따라서 평균 유속이 변하게 된다. 본 해석모델의 경우는 이 연속 법칙에 의한 유속보다 크게 된다. Fig. 4 에서 Fig. 6 은 Nozzle의 직경이 3mm일 때를 기준으로 하여 연속 법칙에 의한 속도보다 증가된 각 해석 case의 사출 속도 증가율을 나타낸 것이다.

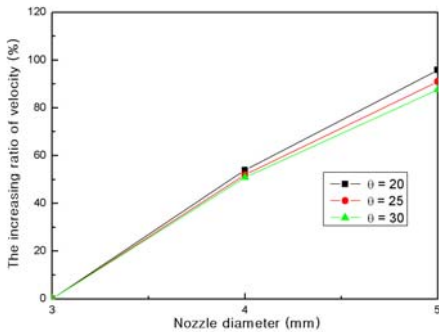


Fig. 4 The increasing ratio of velocity (Number of hole : 3)

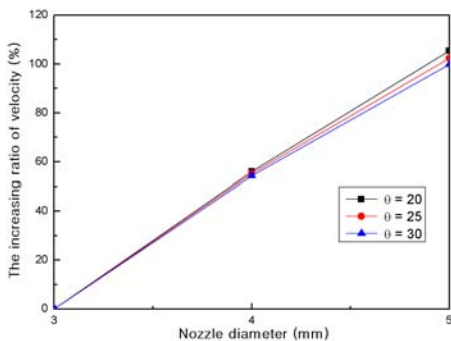


Fig. 5 The increasing ratio of velocity (Number of hole : 4)

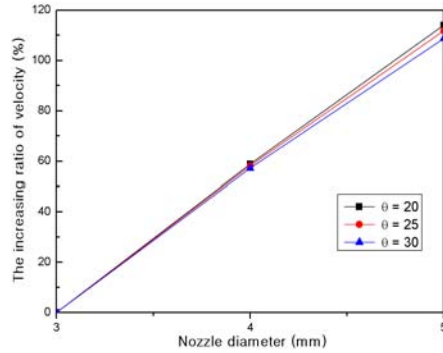


Fig. 6 The increasing ratio of velocity (Number of hole : 5)

그림에서 보면 Nozzle의 직경이 커질수록 또한 관통공의 개수가 많아질수록 속도 증가율은 커지게 된다. 즉 유동단면적이 커질수록 속도증가율은 커지게 된다. 또한 관통공의 내향 각도가 감소할수록 속도증가율은 커지게 된다. 즉 유동방향에 대한 부차적 손실이 증가할수록 속도증가율은 커지게 된다.

뉴턴유체가 유동단면적 및 손실에 대한 포와즈이 유 흐름과 달리 고분자 용융의 흐름은 벽면에서 축방향으로 어느 정도 떨어지면 유속의 변화가 없는 plug flow가 나타난다. 한편 벽면 사이가 매우 가까워져서 plug flow 지역이 없는 경우는 모든 영역에 걸쳐서 분자정돈이 된다. 이와 같이 분자방향성은 성형이 끝난 후 부품의 물성에 영향을 줄뿐만 아니라 수지의 점도에도 큰 영향을 미친다. 즉 유량이 많아지고 전단속도가 커지면 벽면 가까이에서의 속도가 지역에 따라 달라지면 그에 따라 그 지역 고분자들에게 방향성이 생긴다. 이 방향성에 의해 흐름은 쉬워지고 분자들 사이의 마찰이 줄어든다. 이것을 거시적으로 볼 때 점도는 전단응력이 전단속도와 정비례하지 않고 작아지는 현상으로 나타난다^[6]. 따라서 유동단면적이 넓어지고 그리고 유동방향에 대한 손실이 증가하여 수지의 속도가 증가하게 되면, 유체의 점도가 작아지게 되고, 그 영향으로 수지는 연속법칙에 의한 속도보다 크게 되어 사출된다고 생각된다. 그러나 이 현상은 한계 범위가 있을 것으로 생각되고, 그 범위 밖에서는 연속법칙에 만족할 것으로 생각된다.

3.2 관통공 및 Nozzle의 최적 설계치

본 해석에서 Nozzle의 직경이 3mm의 경우는 설정

된 최고압력에서 설정유량에 미치지 못하였다. 그리고 Nozzle의 직경이 5mm의 경우는 설정된 최고압력에서 설정유량 이상이 되었다. 그러나 이 경우는 빠른 속도로 고분자 용융을 하고자 할 때 점도가 감소하여 필요한 힘이 적게 드는 장점이 있지만 점도가 전단속도에 따라 변하므로 가공조건 설정이 까다롭다는 점에서 볼 때 단점이 있기 때문에 가공조건 설정시 많은 시행착오가 생기는 원인이 된다^[7]. 따라서 Nozzle의 직경은 4mm로 선정하였다.

Fig. 7은 Nozzle의 직경이 4mm인 경우의 관통공의 각도 및 개수에 따른 사출유량을 나타낸 것이다. 그림에서 설정유량에 가장 근접한 것은 관통공의 각도가 25일 때 관통공의 개수가 3개인 것과 4개인 경우이다. 앞서 Nozzle의 직경 선정에서 본 바와 같이 관통공의 개수가 3개인 경우가 4개인 경우보다 사출유량이 많기 때문에 관통공의 개수는 4개가 적당하고, 부품 가공측면에서도 효율적이라 사료된다.

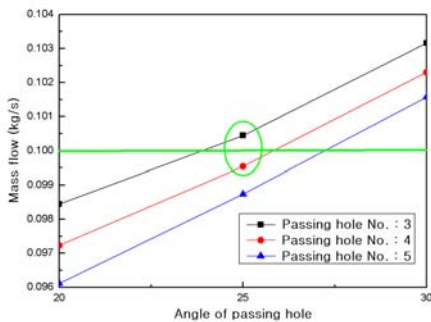


Fig. 7 The injection mass flow (Diameter of nozzle : 4mm)

3.3 사출압력에 대한 사출 유량

앞 절에서 사출챔버 내 관통공의 개수는 4개, 내향 각도는 25도 및 Nozzle의 직경은 4mm로 선정되었다. Fig. 8은 설계모델에서 사출압과 Nozzle에서 출구 평균 속도의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 사출압이 커질수록 평균속도가 선형적으로 증가한다. 또한 각각의 수치 점도에 있어서 그 구배는 μ 가 15Pas의 경우 약0.126, μ 가 20Pas의 경우 약0.096 및 μ 가 25Pas의 경우 약0.077이다. 즉 수지의 점도에 따라 사출압에 대한 사출유량은 차이가 있다. 이것은 사출챔버

내 점탄성의 영향으로 사료되고, 그 경향성은 좀 더 엄밀한 조건에서의 해석 및 실험이 필요하다.

3.4 사출기 내 점탄성 효과

설계모델을 통해 사출을 하기 위해서는 사출 성형 조건을 알아야 하고 일반적으로 4가지의 설정이 필요하다. 본 논문에서는 우선 4가지의 사출 성형조건 중에서 사출압력 설정에 관한 기본 해석에 목적을 두었다. Fig. 9는 설계모델에서 수지의 유동에 대한 Reynold 수(Re)와 사출유량에 대한 관계를 나타낸 것이다.

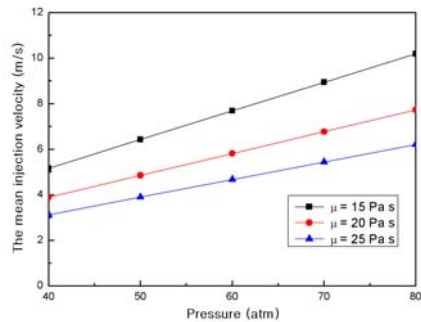


Fig. 8 The mean injection velocity for injection pressure

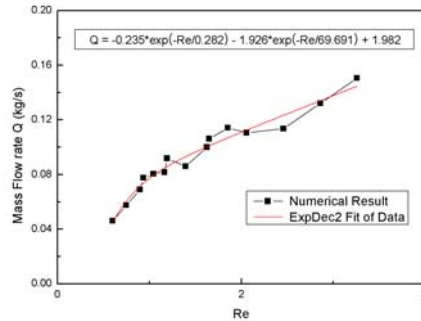


Fig. 9 Mass flow rate for Reynold number

그림에서 Re가 커질수록 Q가 비선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉 사출기 내 유동은 점탄성의 영향 있는 것을 알 수 있다. 여기서 설계모델내 유동의 점탄성 효과를 나타내면 Weissenberg 수가 약 0.3

정도가 된다⁸⁾. 그러나 이 결과값은 정성적인 결과에 의해 구한 것으로 좀더 많은 해석과 실험을 통한 검증이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 저압용 플린저형 진공 사출기를 대상으로 하여 내부 공간에 대한 최적 설계 및 사출 성형조건에 대한 기초 연구로서 점성유동특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 일반적인 사출기와 구별되는 사출챔버의 구조 및 노즐에 대하여 사출챔버 내 관통공의 개수, 내향 각도 및 Nozzle의 직경을 선정하였다.

(2) 입계 범위 내에서 유동단면적 및 유동방향에 대한 부차적 손실이 증가할수록 사출 수지의 속도가 증가하였다.

(3) 사출유량은 사출압력에 선형적으로 비례하여 증가하였고, 수지의 점도에 따라 그 구배는 차이가 있었다.

(4) 설계모델 내 유동의 점탄성 효과는 Weissenberg 수로 약 0.3정도가 되었다. 그러나 이 값은 정성적인 결과에 의해 구한 것으로 좀더 많은 해석과 실험을 통한 검증이 필요하다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 결과임.

참고문헌

1. 김종열, “사출성형에서의 사출조건에 대한 영향에 관한 연구”, 서울산업대학교 석사학위논문, 2006.
2. 안중호, “실험계획법과 수치해석을 연계한 정밀 전자부품 사출성형 공정의 최적설계”, 대한기계학회 논문집A, 제26권, 제7호, pp. 1348~1356, 2002.
3. 권윤숙, “CAE를 이용한 보빈 성형품의 사출성형

- 최적화”, 한국동력기계공학회지, 제6권, 제2호, pp. 68~72, 2002.
4. 모정혁, “성형조건과 수지의 종류에 따른 사출 성형품의 성형 수축”, 한국고무학회지, 제38권, 제4호, pp. 295~302, 2003.
5. 김재원, “플라스틱 재료”, 구민사, pp. 201~215, 2005.
6. 서영수, “플라스틱의 사출과 압출”, 코플래드, pp. 37~48, 2001.
7. 권태현, “사출성형 CAE 설계지침”, 문운당, pp. 269~273, 2005.
8. 富田幸雄, “レオロジー(非線形流体の力學)”, コロナ社, pp. 372~385, 1984.