

판재압출 공정의 점탄성 수치모사

Numerical Simulation of Viscoelasticity in Sheet Extrusion Process

*정재성¹, #김선경², 유영은³, 최두선³

*J. S. Jung¹, #S. K. Kim(sunkkim@seoultech.ac.kr)², Y.E.Yoo³, D.S.Choi³

¹서울과학기술대학교 NID융합기술대학원, ²서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과,
³한국기계연구원 나노공정연구실

Key words : extrusion, viscoelasticity, numerical simulation

1. 서론

필름 형 제품이 광범위한 응용분야에서 사용되고, 소비가 계속해서 증가하고 있기 때문에 판재압출은 매우 중요한 공정 중 하나이다[1]. 압출공정에서는 다이(die)의 유동이 매우 중요한데, 제품의 치수정밀도나 물리적 특성은 유량과 체류시간 분포의 균일도에 큰 영향을 받는다. 이렇듯, 압출공정에서는 이러한 균일도를 만족시키는 것은 매우 중요하기 때문에 오랜 기간 동안 최적 다이를 설계하는 것과 유동을 해석하는 것은 깊이 연구되어 왔다. 하지만 점탄성 유동의 해석은 여전히 도전적인 분야로 남아있으며, 점탄성 특성이 유동 균형에 어떠한 영향을 미치는지 정확하게 밝혀져 있지 않다[2]. 점탄성 구성방정식을 본격적으로 적용한 연구 결과들이 발표된 것은 비교적 최근의 일이다. Klassen과 Waringa는 Giesekus 모델에 기반하여 필름 적층 공정을 해석하여 slip 현상을 규명하고자 하였고[3], 최근에는 Shiromoto 등이 다이를 통과한 유동의 Neck-in 현상을 연구하기 위하여 PTT 모델을 사용하여 해석을 진행하였다[4].

본 연구에서는 상용화 된 CFD Code 인 POLYFLOW의 UCM(Upper Convected Maxwell) 모델을 이용하여 점탄성 물성인자들이 유동형상에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 이를 위해 모세관 다이와 압출 T-die의 2차원, 3차원 점탄성 유동해석을 통하여 점탄성 물성에 따른 유동형상의 차이를 밝혀 점탄성 해석의 필요성을 검증하고자 한다.

2. 계산

일반적인 비압축성 유체의 연속방정식과 운동량 방정식은 식(1), (2)와 같이 표현되고, UCM 모델 유체의 구성방정식은 식(3)과 같다.

$$\nabla \cdot u = 0 \tag{1}$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + \rho g \tag{2}$$

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = 2\eta D \tag{3}$$

여기서 τ 는 응력텐서를 나타내고, ν 는 속도, λ 는 완화시간, 그리고 η 는 점도를 나타낸다. $\dot{\tau}$ 는 응력 텐서의 upper convected (contravariant) 시간 미분으로 매질에 부착된 좌표계와 함께 움직이며 관찰되는 값이고, $\dot{\tau}$ 와 D 는 다음과 같다.

$$\dot{\tau} = \frac{\partial \tau}{\partial t} + \nu \cdot \nabla \tau - \nabla \nu^T \cdot \tau - \tau \cdot \nabla \nu \tag{4}$$

$$D = (\nabla \nu + \nabla \nu^T) / 2 \tag{5}$$

3. 결과 및 요약

Fig. 1은 점탄성 모델의 완화시간에 따른 모세관 다이 내부의 유적선을 나타내고 있다. 완화시간이 늘어날수록 와류현상이 커지는 것을 볼 수 있다. 이러한 와류현상은 점탄성 재료에서 탄성의 영향으로 인해 나타나는 전형적인 현상이다[5].

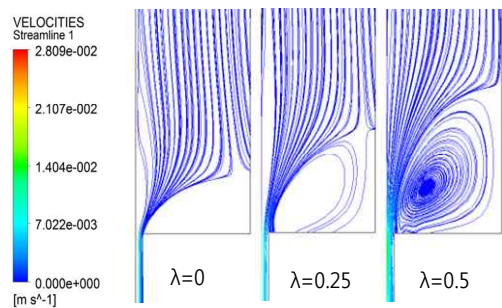


Fig. 1 Streamline distributions for UCM model according to relaxation time

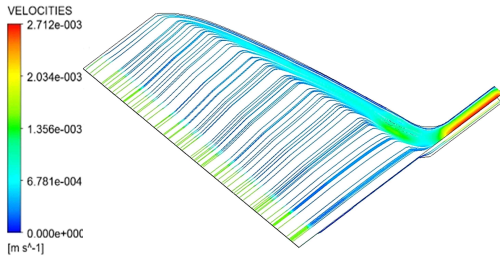


Fig. 2 Streamline distribution inside the die

Fig. 2는 3차원 다이 내부의 유선이고, 매니폴드에서 꺾인 후 거의 일직선으로 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 3과 Fig. 4는 각각 단순 2차원다이의 전단속도에 따른 다이스웰 두께와 완화시간에 따른 다이스웰 두께를 나타낸 것이다. 전단속도와 완화시간이 증가 할수록 다이스웰이 증가하는 것을 볼 수 있다.

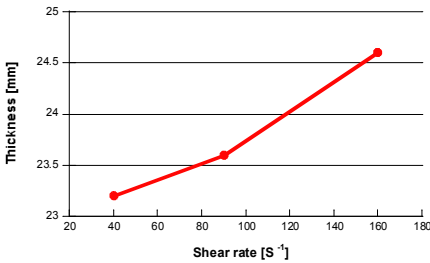


Fig. 3 Die swell thickness according to shear rate

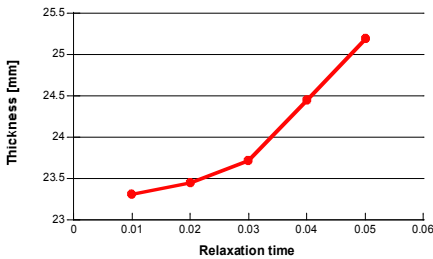


Fig. 4 Die swell thickness according to relaxation time

4. 결론

이 연구에서는 점탄성 모델의 물성에 따른 유동 형상을 관찰하고자 하였다. UCM모델을 이용하여 점탄성 물성에 따른 모세관 다이내부에서의 유동 특성과 압출다이 내부 유동형상 및 다이에서 토출된 후의 다이스웰 양상을 계산하였다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발사업으로 진행 중인 대면적 미세가공시스템 기술 개발 과제 의 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사드립니다.

참고문헌

1. TSeiji Shiromoto, Yasushi Masutani, Masaaki Tsutsubuchi, Yoshiaki Togawa and Toshihisa Kajiwara., "The effect of viscoelasticity on the extrusion drawing in film-casting process," *Rheol Acta*, Vol. 49, 7, 757-767, 2010.
2. Yue Mu, Guoqun Zhao, Shengxue Qin and Anbiao Chen., "Numerical simulation of three-dimensional polymer extrusion flow with differential viscoelastic model," *Polym. Adv. Technol*, 18, 1004-1014, 2007.
3. Klaassen, M., Waringa, C.J., "Optimisation of multi layer extrusion Die Flow by varying Slip, using Visco-elastic Simulations", 2008 PLACE Conference.
4. Shiromoto S, Masutani Y, Tsutsubuchi M, Togawa Y, Kajiwara T, "The effect of viscoelasticity on the extrusion drawing in film-casting process", *Rheol. Acta*, 49, 757, 2010
5. R.B. Bird, R.C. Armstrong, and O. Hassager, "Dynamics of Polymeric Liquids", John Wiley & Sons, NY, 1987.