

필름 압출 공정 유동의 3차원 수치모사

Three-dimensional Numerical Simulation of Flow in Film Extrusion Process

정지성¹, *김선경¹, 유영은², 최두선²

*J. S. Jung¹, #S. K. Kim(sunkkim@seoultech.ac.kr)¹, Y.E.Yoo², D.S. Choi²

¹ 서울과학기술대학교, ²한국기계연구원

Key words : extrusion, viscoelasticity, Maxwell model

1. 서론

판재와 필름을 제조하는 폴리머의 제조 공정에서 다이(die)에서의 유동은 매우 중요하다. 제품의 치수 정밀도 및 물성이 유량과 체류 시간 분포의 균일도에 크게 영향을 받는다. 다이의 설계와 운용에 있어서 이러한 균일도를 만족시키는 것은 매우 중요하기 때문에 오랜 기간 동안 최적 다이를 설계하는 것과 유동을 해석하는 것은 깊이 연구되어 왔다. 잘 설계된 다이는 dead spot이나 hot spot을 만들지 않고 매끄러운 유동을 나타내며 균일한 두께의 판재와 필름의 성형을 가능하게 한다.

판재 압출 다이의 최적설계를 위한 방법론에 대한 제시는 긴 역사를 갖고 있다. 1950년대부터 1980년대에 이르기 까지 많은 연구가 1차원 해석 모델을 기반으로 이루어졌다 [1-3]. 1970년대 이후에 수치모사를 기반으로 한 방법론들이 제시가 되었다. 1992년 발표된 Arpin과 Lafleur의 연구에 그 이전에 수행된 2차원 수치해석적 연구들이 잘 검토되어 있다 [4-5]. 3차원 수치모사가 본격적으로 제시된 것은 1990년대 이후의 일이다. 일반적인 Navier-Stokes 유체방정식에 전단연화를 고려한 점도모델을 사용한 것들이 대부분이고 [6] 일부 전단 발열과 용융 수지와 다이의 열전달을 고려한 비등온 해석을 수행한 사례도 있다 [7]. 이러한 결과들은 실험적인 연구들과 비교적 일치하는 것으로 알려져 있다. 그러나 다이 내부 유동을 점탄성 해석한 사례는 많지 않으며 점탄성이 유동 균형에 어떠한 영향을 미치는 지 정확하게 밝혀져 있지 않다.

점탄성 구성방정식을 본격적으로 적용한 연구 결과들이 발표된 것은 비교적 최근의 일이다. Klassen과 Waringa는 Giesekus 모델에 기반하여 POLYFLOW를 이용하여 필름 적층 공정을 해석하

여 slip 현상을 규명하고자 하였다 [8]. 최근에는 Shiromoto 등이 다이를 통과한 유동의 Neck-in 현상을 연구하기 위하여 PTT 모델을 사용하였다. 역시 POLYFLOW를 사용하였고 측정을 통하여 모델계수를 결정하였다 [9].

본 연구에서는 GNF (generalized Newtonian Fluid) 모델과 Maxwell 모델을 이용하여 점탄성 물성인자들이 다이 내부의 유동에 미치는 영향을 규명하고자 한다. POLYFLOW를 이용하여 3차원 유동해석을 수행하고 점탄성 물성에 따른 유동현상의 차이를 밝혀 점탄성 해석의 필요성을 검증하고자 한다.

2. 계산

유동장의 지배방정식은 일반적인 유체운동방정식과 같다. 속도 벡터 u 에 대해 비압축성 유체의 연속방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식은

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

GNF모델에서 τ 는 전단률속도(shear strain)와 점도의 곱으로 간단히 구해지지만 Upper Convected Maxwell(UCM) 모델의 경우 다음의 구성방정식을 풀어야 한다.

$$\tau + \lambda \hat{\tau} = \mu \dot{\gamma} \quad (3)$$

여기서 $\hat{\tau}$ 는 응력 텐서의 upper convected (contravariant) 시간 미분으로 매질에 부착된 좌표계와 함께 움직이며 관찰되는 값이다.

본 연구에서는 GNF와 UCM 모델의 계수 변화에 따라 압출 다이 내부 유동의 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 요약

Fig. 1은 다이 출구에서의 전단률속도 분포를 나타내고 있다. 중앙부에서는 대체로 고른 분포를 보이고 있으며 한쪽 끝에서는 감소된 모습을 관찰할 수 있다. 보다 자세한 결과는 발표 자료에 나타나 있으며 GNF 모델을 사용한 경우와 UCM 모델을 사용한 경우 계산 결과는 식별할 수 있는 수준의 차이가 나타났으며 이는 완화시간 (relaxation time)에 따라 다르게 나타났다.

4. 결론

이 연구에서는 점탄성 모델의 계수에 따른 속도 분포를 관찰하고자 하였다. GNF와 UCM 모델을 사용하여 물성 계수의 변화에 따른 속도장의 차이를 계산하였다.

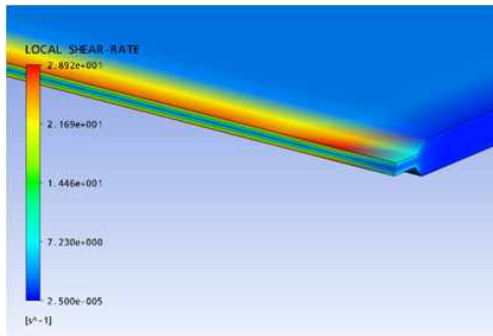


Fig. 1 Shear rate distribution at the die exit.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세 가공 시스템 기술 개발 과제의 지원으로 수행되었습니다. 관계자의 노고에 감사드립니다.

참고문헌

1. Carley, J.F, "Design of Melts in Crosshead-Slit Dies; Criteria for Die Design", J. Appl. Phys, **25**, 1118, 1954
2. Pearson, J.R.A., "Non-Newtonian Flow and Die Design: Part IV FlatFilm Die Design", Trans. J. Plastics Inst., **32**, 239, 1964
3. Mckelvey, J.-M. and Ito, K. "Univormity of flow

from Sheetting Dies", Polym. Eng. Sci, **11**, 258, 1971

4. Arpin, B. and Lafleur, P. G., "Simulation of Polymer Flow Through a Coat-Hanger Die: A Comparison of Two Numerical Approaches", Polym. Eng. Sci, **32**, 206, 1992
5. Na, S.Y. and Kim, D.H., "Three-dimensional modeling of non-Newtonian fluid flow in a coat-hanger die", Korean J. of Chem. Eng., **12**, 236, 1995
6. Huang Y., Gentle, C. R., Hull, J. B. "A Comprehensive 3-D Analysis of Polymer Melt Flow in Slit Extrusion Dies", Advances in Polymer Technology, **23**, 111, 2004
7. Wu, T., Jiang, B., Xu, S., Bi, C., "Nonisothermal Comprehensive 3D Analysis of Polymer Melt Flow in a Coat-Hanger Die", Polym. Eng. Sci, **46**, 406, 2006
8. Klaassen, M., Waringa, C.J., "Optimisation of multi layer extrusion Die Flow by varying Slip, using Visco-elastic Simulations", 2008 PLACE Conference.
9. 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