

폴리머 압출 제품의 형상예측 및 실험결과 비교분석

김수현^{1#}, 나상화², 유철종³

Shape prediction of polymer extrusion product and Comparative Analysis of experimental results

S. H. Kim, S. H. Na, C. J. Yu

Abstract

This study was performed to predict the shape of polymer extrusion product and to find the cause of defective products. Experiments was performed to extrude the complex profile shape using PC/ABS composite resin with new profile die and cooling die. A finite element analysis for the Polymer Extrusion process considering the heat transfer and thermal deformation was also performed, and the result was compared with the experimental data. It is found that the predicted profile shape in F. E. M was similar to the experimental result and the thickness of extruded product was thin when the velocity of profile die outlet was slow than the velocity of production (2m/min).

Key Words : Extrusion(압출), Polymer(폴리머), Die(금형), Finite Element Analysis(유한요소해석), HyperXtrude

1. 서론

초기 일반적인 폴리머(Polymer) 압출제품의 형상은 필름, 평판, 파이프등과 같은 단순한 형태였다. 그러나 점차 복잡한 형상의 제품에 대한 소비자의 요구가 증가하고 있는 반면, 제품개발에 주어지는 시간은 더욱 짧아지고 있다. 이에 따라 시뮬레이션에 대한 요구도 점차 증가하는 추세이다.[1]

폴리머 압출(Extrusion)은 플라스틱 제조산업에서 사용하는 매우 중요한 생산공정 중의 하나이다. 폴리머 압출은 보통 다음과 같이 크게 2가지 공정으로 구성된다.

첫 공정은 배럴(Barrel)안의 스크류(Single Screw 혹은 Twin Screw)를 이용하여 폴리머를 이송하면서 고온으로 용융시키는 과정이고, 두 번째 공정은 용융된 고분자를 원하는 단면형상으로 압출하는 동시에 냉각시키는 과정이다.

현재까지의 폴리머 압출공정에 대한 연구는 주로, 압출기 내부의 스크류 거동에 대해서 진행되어 왔다. 1축 혹은 2축 스크류의 형상에 따른 압출기 내에서의 폴리머 거동 시험[2,3] 및 유동해석을 통한 시뮬레이션 등이 있으며[4,5], 최근에는 시뮬레이션을 이용하여 최적의 스크류 형상을 찾는 사례도 있다[6].

그러나, 실제 현장에서는 압출기 내부의 폴리머 유동 문제 뿐만 아니라, 압출 공정 중 금형 내부의 유동문제, 금형 출구에서의 속도문제, 제품 내 각속도에 따른 형상 변형 문제들도 많이 발생하고 있다. 이와 같은 복합적인 문제 때문에 많은 압출업체들은 초기에 설계한 형상의 제품을 생산하는데 많은 어려움을 겪고 있다.

이에 본 연구에서는 상용 압출 해석 프로그램인 HyperXtrude[7]를 사용하여 압출 금형 안의 폴리머 유동과 금형 출구에서의 속도를 알아보고, 냉각 금형 안에서 발생하는 열전달 해석을 통하

1. 한국 알테어엔지니어링 기술지원팀
E-mail : shkim@altair.co.kr
2. ㈜제일모직 테크니컬마케팅센터 기술지원팀
3. ㈜제일모직 테크니컬마케팅센터 응용개발 1팀

여 냉각 시 제품의 변형형상을 예측하고자 한다. 또한, 실험결과와의 비교를 통하여 제품형상의 불량원인에 대해서도 분석해보고자 한다.

2. 실험

2.1 금형의 구성

두께 2mm, 가로 x 세로 폭 100 x 100mm 인 U-형상의 제품 바깥표면에 리브(rib)가 달려있는 제품을 압출할 수 있도록 Fig.1~2와 같은 형태로 프로파일 금형(Profile Die)과 냉각 금형으로 나누어 제작하였다.

프로파일 금형은 Fig.1과 같이 용융된 폴리머가 단계적으로 형상을 찾아가도록 4개의 부분으로 만들어 졌고, 히트 카트리지를 사용하여 금형의 온도가 일정하게 유지될 수 있도록 하였다.

냉각 금형은 Fig.2와 같이 압출된 제품을 감싸기 쉽도록 조립식으로 만들어 졌고, 금형 내부에 공기흡입 통로와 냉각수 라인을 가공하였다.

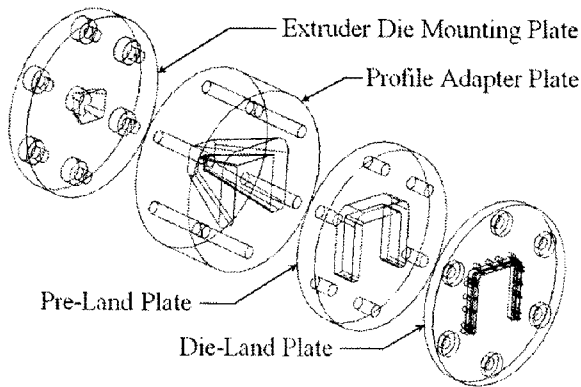


Fig. 1 Shape of Profile Die Set

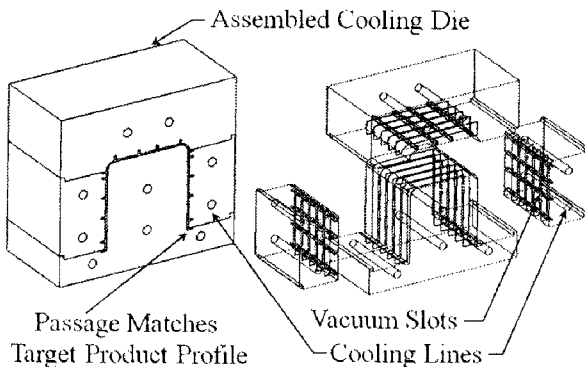


Fig. 2 Shape of Cooling Die Set

2.2 실험 방법

실험에는 1축 스크류 압출기가 사용되었고, 스크류 속도는 제품을 2m/min 생산 할 수 있도록 조절하였다. 압출기 출구에는 Fig.1에 보여진 프로파일 금형을 조립하여 위치시켰고, 본격적으로 압출이 시작되면 Fig.2에 보여진 냉각 금형이 압출되고 있는 제품 주위를 감싸도록 조립된다. 조립된 냉각 금형 내부로는 5℃의 냉각수가 지속적으로 흐르며, 냉각효과를 극대화하기 위하여 냉각 금형 내부에 가공된 공기흡입 통로를 따라 공기가 흡입된다.

압출실험에 사용된 폴리머 재료는 전기 배선용 난연 소재로 제일모직에서 새로 개발한 PC/ABS 복합수지를 사용하였다. 이와 관련된 열 및 유동과 관련된 물성치는 아래 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

3. 유한요소해석

3.1 유한요소모델

압출과 냉각공정 해석 위하여 HyperXtrude를 이용하여 축대칭 문제로 유한요소모델을 구성하였다.

Table 1 Thermal Property

Material	PC/ABS
Density(Kg/m ³)	2260
SpecificHeat(J/Kg·C)	896
Conductivity(W/m·K)	0.167
Coeff. ThermalExpansion (1/K)	1.0e-5
VolumetricHeatSource(W/m ³)	700
ReferenceTemperature(K)	513
FreezeTemperature(K)	350
Consistency(Pa·s)	2705

Table 2 Rheological Property

Viscosity Model : Modified Cross-Model	
Exponent(-)	0.2821
ReferenceShearStress(Pa)	188333
Beta(1/K)	0.027482

$$\eta = \frac{A\alpha_T}{\left(1 + \frac{A\alpha_T\dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}}, \alpha_T = \exp(-\beta(\Delta T))$$

첫 번째 모델은 프로파일 금형 안의 폴리머 흐름과 출구에서 발생하는 폴리머의 속도분포 등을 확인하기 위한 모델이다. 모델 및 경계조건은 Fig. 3에 나타내었고, 총 80,702 개의 요소로 구성되었다. 이때 프로파일 금형으로 유입되는 폴리머의 온도는 압출기 출구로부터 측정된 250 °C 로 하였고, 프로파일 금형의 온도는 실험조건과 동일하게 210, 220 °C 두 구간으로 나누어 경계조건에 입력 하였다.

두 번째 모델은 냉각 금형 안에서 발생하는 열전달 해석을 위한 모델이다. 열전달 해석을 통하여 냉각효과에 의한 제품의 변형형상을 예측할 수 있으며, 총 208,440 개의 요소로 구성하였다. 모델 및 경계조건은 Fig. 4에 나타내었다. 냉각 금형 안에 흐르는 냉각수의 온도는 5 °C 이며, 폴리머 입구의 속도는 33 mm/s로 정의 하였고, 이 속도는 분당 제품을 2m 생산할 수 있는 속도이다.

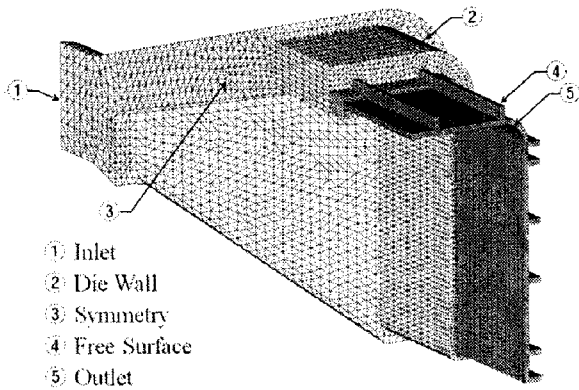


Fig. 3 F. E.M. & B. C. for Analysis of Polymer Flow

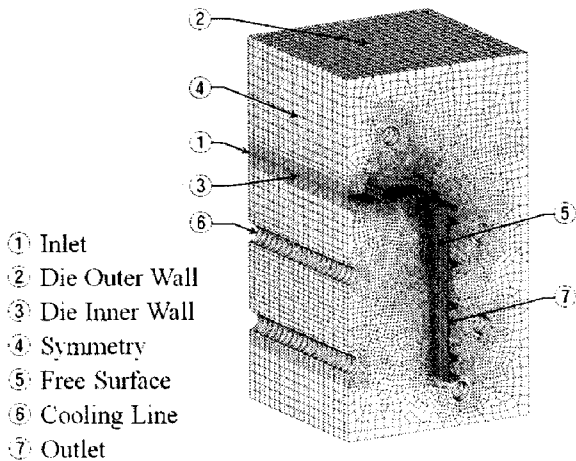


Fig. 4 F. E.M. & B. C. for Prediction of Profile Shape

3.2 해석 결과

Fig. 5는 프로파일 금형 출구에서 폴리머의 유동 속도를 나타낸 유한요소해석 결과이다. 분당 2m의 제품을 생산하기 위해서는 프로파일 금형 출구에서의 폴리머 속도는 33 mm/s 이상이 되어야 한다. 하지만 해석결과를 살펴보면 리브(rib)가 존재하는 부분에서만 부분적으로 생산속도 33 mm/s를 만족하고 나머지 부분에서는 33 mm/s에 못 미치는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 6은 폴리머와 금형 사이의 열전달 해석을 통해서 얻은 온도분포 결과이다. 해석결과 냉각 라인이 상대적으로 많이 분포하여 냉각이 급격하

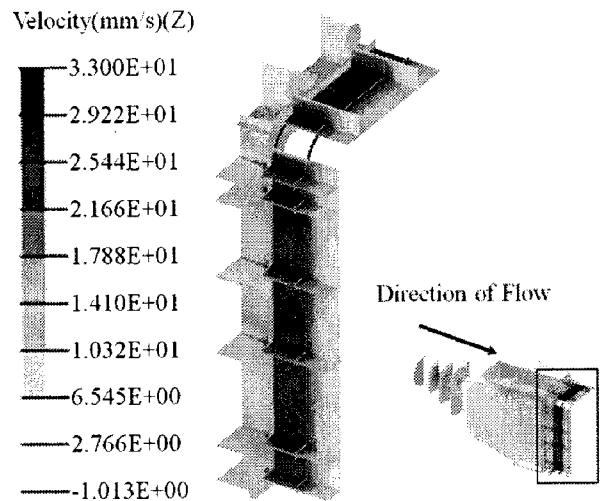


Fig.5 Contour of Velocity Result at Profile Die Outlet

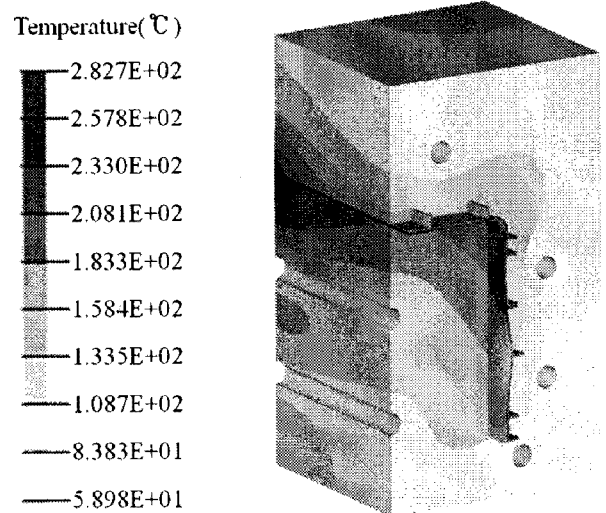


Fig.6 Temperature Distribution of Product & Cooling Die

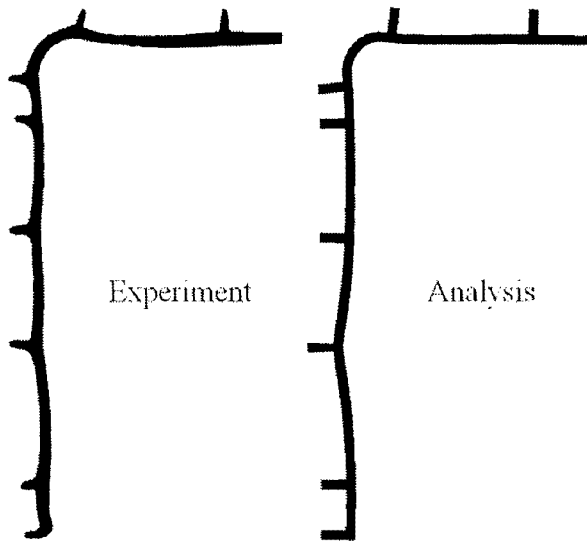


Fig.7 Comparison of Cross-Section at Experiment & Analysis Result

게 이루어지는 부분에서 폴리머의 변형이 많이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 7은 실험에서 얻은 제품의 단면형상과 해석에서 얻은 단면형상을 비교한 그림이다. 비교결과 단면형상이 상당히 유사한 것을 확인 할 수 있었다.

또한, 실험 단면형상을 보면 리브가 존재하는 부분을 제외하고 두께가 전반적으로 얇은 것을 알 수 있다. 이는 이전 해석결과를 보면 알 수 있듯이 프로파일 금형 출구에서 폴리머 속도가 느린 곳과 일치함을 알 수 있다. 결국, 프로파일 금형 출구에서 압출 속도가 생산속도(2 m/min)보다 느린 것이 제품의 두께 감소의 원인이었음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 복잡한 형상의 폴리머 압출공정에서 발생할 수 있는 제품형상의 변형 원인을 파악하기 위하여 실험과 유한요소해석을 수행하였다. 그 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 프로파일 금형 출구에서의 폴리머의 속도가 전체적으로 생산속도(2 m/min)보다 느렸으며, 리브가 존재하는 부분에서만 만족하는 것을 확인하였다.

(2) 금형과 폴리머 사이의 열전달 해석을 수행하였고, 해석 결과로부터 냉각이 급격하게 진행되는 부분에서 제품 단면형상의 변형이 심하게 나타나는 것을 확인하였다.

(3) 최종 생산 제품의 단면을 비교한 결과 해석을 통하여 예측한 변형형상이 실험에서 얻은 단면 형상과 상당히 유사함을 확인하였다.

(4) 프로파일 금형 출구에서 폴리머의 속도가 생산속도(2 m/min)를 따라가지 못한 것이 제품의 두께 감소의 원인이라는 것을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구과제 수행에 많은 지원을 해주신 (주)제일모직 관계자 여러분께 감사 드리며, 특히 나상화 과장님께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Michaeil, W., et al., 2001, Pre-Computing Development Progress Report on Process Simulation in Industry, Kunststoffe, Vol. 91, pp. 32~39.
- [2] B. David and Z. Tadmor, 1988, Laminar Mixing in Co-rotation Disk Processors, Int. Polymer Process., Vol. 3, pp. 38~47.
- [3] Brouwer, t., Todd, D.B. and Janssen, L.P.B.M., 2002, Folw Characteristics of Screws and Special Mixing Enhanceres in a Co-rotating Twin Screw Extruder, Int. Polymer Process., Vol. 17, pp. 26~32.
- [4] 예영수, 김홍범, 김낙수, 이재욱, 2005, 유한요소법을 이용한 폴리머 압출 공정해석에 관한 연구, 대학기계학회논문집 A권, 제29권, 제1호, pp. 145~155.
- [5] N. S. Kim, H. B. Kim, J. W Lee, 2006, Numerical Analysis of Internal Flow and Mixing Performance in Polymer Extruder I: Single screw element, Korea-Australia Rheology Journal, Vol. 18, No. 3, pp. 143~151.
- [6] S. H. Cho, and C. K. Kim, 2001, Optimum Design of the Screw Extruder Using Thermo-mechanical Analysis, KSME(B), Vol. 21, No. 12, pp. 1615~1623.
- [7] HyperXtrude 9.0, 2008, Altair Engineering, Inc.