

필름 인서트 열성형 시 필름 두께분포 예측

김국용¹· 이광오^{#1}· 강성수¹

Prediction of the Film Thickness Variation through Film Insert Thermoforming

G. Y. Kim, K. O. Lee, S. S. Kang

Abstract

Film insert molding is one of the surface processes that enhances functional or aesthetic qualities of an existing product's surface. In general, film insert molding consists of three processes including thermoforming, trimming and injection molding. Thermoforming, which is the first process of film insert molding, is the most important process because the variation of film thickness has an effect on the mold design and process conditions for the subsequent processes, that are, trimming and injection molding. This study is focused on predicting the film thickness distribution through film insert thermoforming process using commercial FEM code. In order to describe rheological behavior of thermoplastic film (ABS), G'Sell's viscoelastic constitutive law was adopted. The numerical model of film insert thermoforming was established, and the simulation to predict film thickness distribution was performed. Comparison between the results of simulation and experiment was made to validate the proposed finite element analysis.

Key Words : Film insert molding, thermoforming, thickness variation, surface process

1. 서 론

국산 자동차, 휴대폰, IT 및 가전제품이 세계 시장을 석권하고 세계 정상을 달리기까지 수많은 기업들의 우수한 기술이 있었다. 2000년도 이후 세계 시장에서는 제품의 기능은 두말할 것도 없이 소비자들의 감성을 자극할 수 있는 외관 디자인에 의해서 제품의 성패가 결정되고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서 금속 및 플라스틱 등으로 만들어진 제품의 외관을 꾸미는 표면처리 기술이 발전하고 있다. 표면처리 기술은 단순히 제품 외장을 꾸미거나 보호하는 기능을 넘어서 제품의 품질과 특성을 결정짓는 핵심기술로 떠오르고 있다[1].

필름 인서트 성형(FIM; Film Insert Molding)은 1990년도 후반에 개발된 표면처리기술 중 하나로 제품의 내구성과 미적 가치 두 가지 모두 만족시

키는 코팅면 또는 장식물을 제품에 추가하여 만드는 공정이다. 필름 인서트 성형은 크게 3가지 공정으로 분류할 수 있다. 첫 번째 공정은 열성형(thermoforming)공정으로 장식된 필름을 유리전이온도(T_g ; glass transition temperature)이상에서 용융온도(T_m ; melting temperature)미만으로 가열하여 금형 외곽에 밀착시켜 제품형상을 만드는 공정이다. 두 번째 공정은 트리밍(trimming)공정으로 열성형에서 성형된 제품을 사출금형에 삽입하기 위한 형상으로 애플리케(appliqué) 이외에 나머지 부분을 제거하는 공정이다. 세 번째 공정은 사출성형(injection molding)공정으로 어플리케를 사출금형 캐비티(cavity) 안에 삽입하여 완전 용융된 수지가 필름의 내측과 접합되도록 성형하는 공정이다[2].

필름 인서트 성형에서 열성형 공정은 제품의 외관품질 및 후 공정의 작업성에 많은 영향을 미치는 중요한 공정이다. 특히, 열성형 후 필름의

1. 부산대학교 기계공학부

교신저자 E-mail: royallko@pusan.ac.kr

두께변화는 열성형 시의 장식된 패턴변화, 트리밍 시의 편치와 다이의 클리어런스 결정, 사출성형 시 수지의 충진량을 결정하는 중요한 변수 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 열가소성 플라스틱 필름의 열성형 후 두께분포를 예측하였으며, 이를 활용하여 혼업에서 적용되고 있는 시행착오법에 의한 금형제작, 불균일한 필름두께로 인해 발생되는 불량증가 및 사출성형조건 설정의 어려움 등의 문제를 체계적으로 해결할 수 있는 방법을 제시하였다.

2. 필름의 유동학적 특성

2.1 유동학적 구성식

유한요소 해석을 수행하는데 있어서 가장 어려운 것 중의 하나는 고정된 모델의 매개변수들과 적절한 구성식에 의해 재료거동을 정밀하게 묘사하는 것이다. 유리전이온도 이상 용융온도 미만에서의 고분자 재료의 유동학적 거동은 온도와 변형률 속도에 많은 영향을 받으므로 구성식 내에 변형률 속도 항을 포함하고 고분자의 유동학적 거동을 잘 묘사하는 식 (1)의 G'Sell 모델을 선정하였다[3].

$$\sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = k[1 - \exp(-w\varepsilon)]\exp(h\varepsilon^2)(\dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}_0)^m \quad (1)$$

2.2 필름인장시험 및 파라미터 계산

필름재료의 유동학적 거동을 모델링하기 위하여 열가소성 플라스틱 ABS(두께 0.5mm) 재료에 관한 단축인장 시험을 수행하였다. 고온 상태에서 고분자 재료의 인장시험은 재료의 신장률이 대단히 크고, 인장시험용 챔버의 크기 제한으로 인해 일반적인 규격 시험편을 사용하기 어렵다[4]. 따라서 본 연구에서는 이러한 조건을 고려하여 KS M ISO 527-3/B에서 규정하는 표점거리 및 시험편 전체길이를 일정하게 축소시킨 시험편을 사용하였다. 시험조건은 열성형 시의 필름온도 변화를 고려하여 Table 1과 같이 설정하였다.

Table 1 Condition of the uniaxial tensile tests

Temp.(°C)	20	70	110	130	150
Velcity of crosshead (mm/min)	10	10	10	10	10
	250	250	250	250	250
	500	500	500	500	500

온도, 속도별 단축인장시험 결과를 이용하여 G'Sell 파라미터인 k , w , h , m 을 계산하기 위하여 Visual Basic 을 사용하여 G'Sell 파라미터 산출 프로그램인 MPL-IFG 를 제작하였다. 프로그램에서 얻어진 파라미터로 표현된 곡선과 실제 실험에서 얻어진 곡선의 비교를 통해서 산출된 파라미터가 실제 필름의 거동을 잘 묘사하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1).

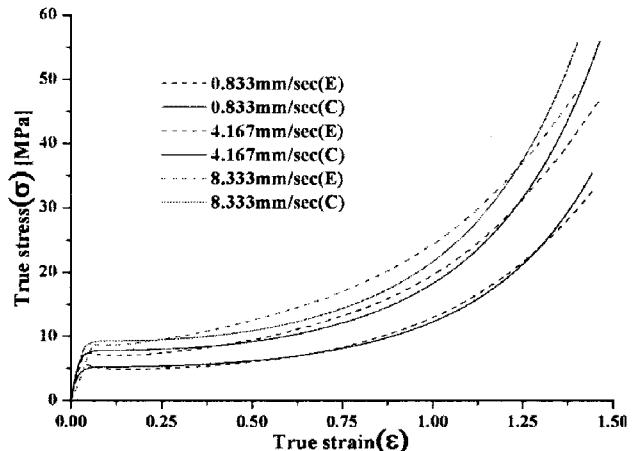


Fig. 1 Comparison between the calculated(c) curves and the experimental(E) ones at 110°C

3. 필름 두께분포 해석

3.1 유한요소해석 모델

열성형 공정 후 필름의 두께분포 해석은 자동차 내부 도어 손잡이를 장식하기 위해 사용되는 그립 캡(grip cap)을 대상으로 하였다.

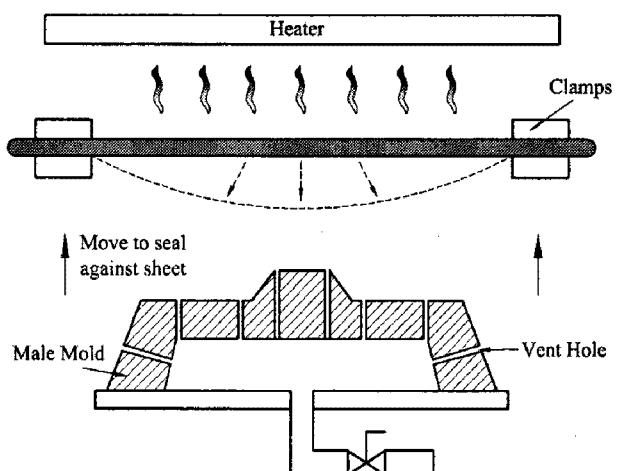


Fig. 2(a) Stretching process of Drape Forming

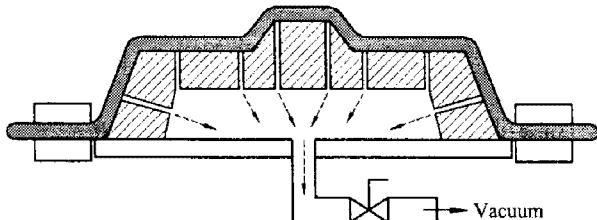


Fig. 2(b) Vacuuming process of Drape Forming

다양한 열성형 공법 중에서 필름 인서트 열성형에 주로 사용되는 공정은 디자인 면이 금형과 접촉되지 않는 Drape Forming 이다[5]. Drape Forming은 크게 Stretching 과 Vacuuming 공정으로 나뉘어 진다(Fig. 2). 선정된 제품과 공정을 기준으로 금형을 설계하고 설계된 모델을 바탕으로 요소망(Fig. 3)을 생성하였다[6].

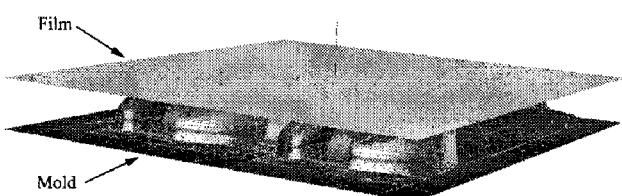


Fig. 3 Generated mesh for the film and mold

3.2 해석 결과 및 분석

Stretching 공정 후 필름 두께분포 해석 결과는 Fig. 4 와 같다.

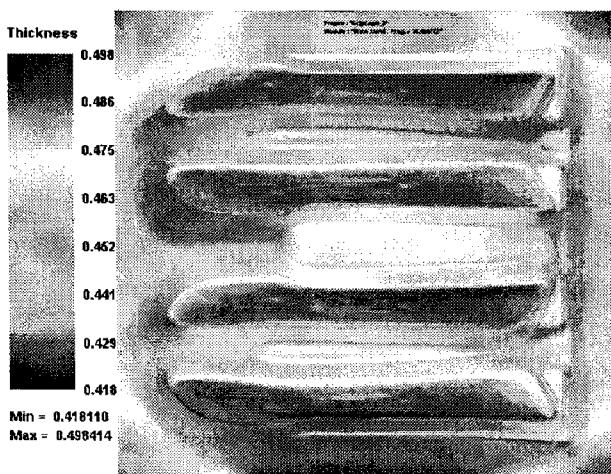


Fig. 4 Thickness distribution after stretching process

Vacuumming 공정 후 필름 두께분포 해석 결과는 Fig. 5 와 같다. 최소필름두께는 0.18mm 이고, 최소 필름두께가 관찰되는 부위는 금형과 필름이 가장 마지막에 접촉하는 부위라는 것을 확인할 수 있다. 이러한 해석결과를 통해 열성형 시 필름두께는 금형이 필름과 먼저 접촉하면 필름두께의 변화량이 적고, 반대로 금형과 접촉이 느릴수록 필름두께가 얇아진다는 것을 확인할 수 있다. 그 원인은 금형과 늦게 접촉할수록 이 부위의 필름온도 또한 금형과 접촉한 부분보다 높아서 상대적으로 유동저항이 작다. 이로 인해서 추가적인 외력이 가해졌을 때 금형과 접촉한 부위는 더 이상의 변형이 진행되지 않으나 접촉되지 않은 부위는 추가적인 변형이 발생하기 때문이다.

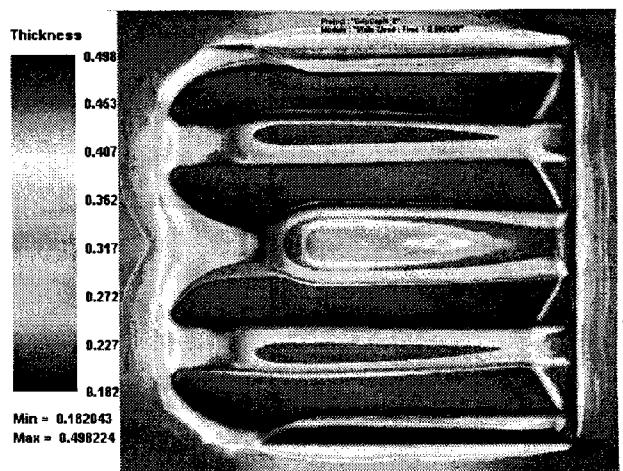


Fig. 5 Thickness distribution after vacuuming process

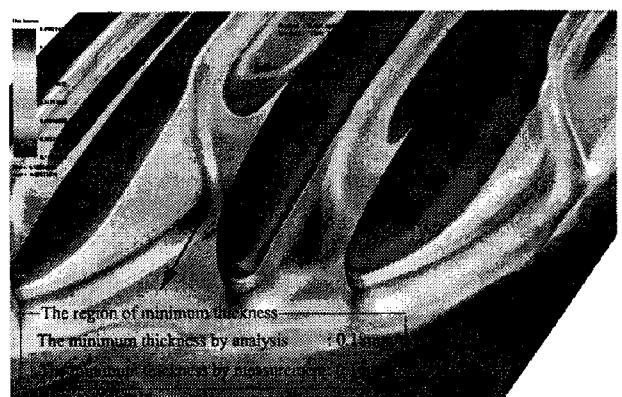


Fig. 6 The region with minimum thickness

해석결과의 타당성을 검증하기 위하여 금형을 제작하고, 인서트 필름 열성형을 실시하였다. Fig. 6은 실제 성형제품(0.18mm)과 해석에서 예측된 최소 두께 부의 위치 및 두께(0.16mm)를 측정한 것이다. 최소두께 부외에 제품의 각 캐비티 별 9

개의 측정 점을 지정하여 두께비교를 하였다. 해석데이터와 실험데이터의 최대 편차 값은 0.04mm로 초기 두께(0.5mm)대비 약 8% 오차범위에 이내이다. 따라서 해석결과가 실제 열성형 후 필름 두께분포를 잘 묘사함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

필름 인서트 열성형 시 필름 두께분포 예측에 관한 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 필름의 단축인장 실험데이터를 MPL-IFG로 계산된 G'Sell 파라미터들이 실험데이터를 잘 묘사함을 확인할 수 있었다.
- (2) 필름 인서트 열성형 시 필름 두께분포에 관한 해석결과와 실제 성형품에 대한 비교/검토를 통해 해석에서 예측한 값과 실제 성형품의 측정 결과가 잘 일치한다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 과제(결과물)는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Patrick J. Griffin, 2001, Film Insert Molding, SGIA JOURNAL, First Quarter, pp. 31~36.
- [2] LANXESS CORPORATION, 2007, Engineering Plastics Part and Mold Design.
- [3] C. G'Sell and J. J. Jonas, 1979, Determination of the plastic behaviour of solid polymers at constant true strain rate, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, Vol. 14, No. 3, pp. 583~591.
- [4] Giuseppe Sala, Luca Di Landro and Denis Cassago, 2002, A Numerical and Experimental Approach to Optimise Sheet Stamping Technologies: Polymers Thermoforming, MATERIALS AND DESIGN, Vol. 23, pp. 21~39.
- [5] A. Brent Strong, 1996, Plastics: Materials and Processing, Prentice Hall.
- [6] ESI GROUP, 2005, Pam-Form 2G 2005 User's Guide.