

진공성형시 발생하는 ABS 시트의 두께 변화량에 관한 연구

양화준*(현대차 연구소), 최재원(부산대 대학원), 이석희(부산대 기계공학부),
장태식(현대차 연구소), 이일엽(현대차 연구소)

A Study on Thickness Variation of ABS Sheet in Vacuum Forming Process

H. J. Yang(Hyundai Motor), J. W. Choi(Graduate School, PNU), S. H. Lee (School of Mech. Eng., PNU)
T. S. Jang(Hyundai Motor), I. Y. Lee(Hyundai Motor)

ABSTRACT

Originally, the thermoforming method has been developed to produce the plastic parts which have simple geometric characteristics such as door trims and wrapping materials within the short time. But the thermoformed parts have non-uniform thickness distributions over the surface according to the material characteristics, set-up angle and geometry of the parts. But, only few analysis methods have been developed so far, due to the difficulties of the selection of important factors, and contribution of each factor in the simulation. So, to guarantee the dimensional accuracy and mechanical properties of crucial points in the thermoformed parts, it is necessary to develop the thickness prediction method. This research suggests a new approaching methodology to predict the thermoformed parts by modulating the control points of the NURBS curve. The newly developed method makes it possible not only to choose the suitable thickness of polymer sheets but also to induce data modification for vacuum forming.

Key Words : Embossment(엠보스먼트), Prototype Car(시작차량), Vacuum Forming(진공성형), B-Spline Curve(B 스플라인 곡선)

1. 서론

가상현실(Virtual Reality) 기술의 급격한 발전에 의해 디자인 모델의 스타일링 평가가 가상공간상에서도 가능하게 되어 차량 디자인을 소비자 감성에 부합하도록 변화시키는 과정에 많은 유연성을 부여할 수 있게 하였다. 그러나 현재 개발되어 있는 가상현실 도구들로부터 차량 실내 감성의 중요한 요소 중 하나인 엠보스먼트 패턴을 구현하는 데는 많은 제한이 있어 실제적으로 이러한 평가는 어려운 실정이다. 따라서 양산부품과 동일한 형상을 만들어 내는 시작차 제작 과정에서 엠보스먼트를 부여하여 실제 차량에서 느끼는 감성을 표현하는 방안이 자연스럽게 요구되었다.

이러한 요구에 대처하기 위해 목업(Mock-Up) 또는 폐속조형 마스터 모델 등에 엠보가 있는 크래

쉬 패드(crash pad) 표면용 진공성형 시트(sheet)를 접착하여 몰드를 반전시켜 성형된 제품 표면에 양산될 차량과 유사한 형상의 엠보스먼트(embossment)를 구현해 내는 방안이 개발 되었는데, 이 방안은 가공된 마스터 모델에 에이에스에이(ASA : Acrylate Styrene Acrylonitrile) 시트를 부착시킨 후, 몰드를 제작하므로 전사된 몰드 표면은 실제 설계 데이터 보다 부착된 시트 두께 만큼 돌출되는 문제점이 있었다. 따라서 목업이나 마스터 모델을 제작하기 위한 데이터는 진공성형 시트가 부착되는 두께만큼 부품의 코어측 방향으로 오프셋(Offset)을 부여해야 하며, 이를 위한 선행 조건은 부착된 진공성형 시트의 부위별 정확한 두께 분포의 계산이다. 진공성형법의 경우에는 사출성형 처럼 닫혀진 내부 공간인 캐비티(Cavity)에서 성형이 이루어 지는 방식으로 성형 후 소재의 두께 변화에 관한 연

구가 거의 수행되지 않았으며, 본 논문에서는 설계 데이터의 형상정보로부터 진공성형된 부품의 부위별 두께를 비교적 정확히 예측하여 성형 대상 부품의 치수 정밀도 및 관련 부품과의 조립성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 진공성형법의 개요

진공성형법(vacuum forming method)은 얇은 판재 형상으로 만들어진 열 가소성 수지에 히터를 이용하여 열을 가하고 연화시킨 후 클램프 이동에 의해 시트를 목업 상부에 위치 시키고, 미리 미세하게 제품 외곽부가 천공된 목업을 상승시켜 가열된 소재와 몰드 사이를 진공펌프로 흡입하여 목업에 밀착시킨 후 냉각 경화시켜 제품을 생산하는 방법으로 열성형(thermoforming)의 대표적 방법 중 하나이고, 치수 정밀도가 중요하지 않은 제품의 제작에 주로 이용된다.

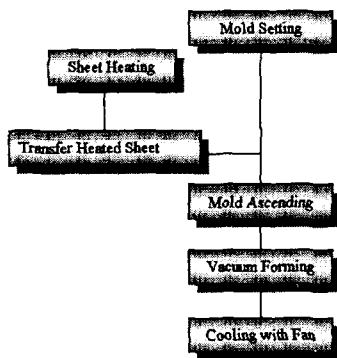


Fig 1. Overall procedure of vacuum forming

진공성형은 자동차의 도어 트림(door trim), 상품 포장 등의 포장재 등을 제작하기 위한 양산 공법의 하나로 개발되었지만, 시작 부품 제작을 위한 제작 방법으로도 이용되고 있으며 일정 수량 이하의 부품을 제작할 경우 제작일정 단축 및 원가절감 효과 있다. Fig. 1 은 진공성형 공정순서를 나타낸다.

이러한 효과에도 불구하고 성형 공정의 특성상 일정한 두께를 가진 비교적 간단한 형상의 부품제작에만 주로 이용 되고, 형상이나 주위 온도에 따른 수축률 편차가 커서 치수정밀도 떨어지며, 제품 장착 구조 제작 및 강도 보안을 위해 필요한 보스, 리브 등을 별도 제작한 후 수작업으로 접합해야 하는 단점이 있다.

그리고 2 차원 평면 형상인 소재에 열 에너지를 부여하여 3 차원 형상의 목업 표면에 부착하는 성형 기구를 채택하여 목업 표면의 굴곡 정도에 따라 성형 후 소재의 두께가 불균일하게 변화하므로, 성

형된 부품의 두께 감소를 사전에 예측하지 못하면 중요부위의 두께 과다 및 부족 등과 같은 문제가 발생하며 이러한 문제는 성형 부품의 치수 정밀도 및 강도 측면에서 상당한 문제를 야기시킬 수 있다.

부품 형상 및 성형 소재에 따른 성형 부품의 두께 변화를 예측할 수 있다면, 중요 부위의 치수를 만족시킬 수 있는 적당한 두께의 시트 선택이 가능해질 수 있으며, 아울러 성형이 불가능한 부품의 경우 약간의 설계변경을 통하여 성형성을 향상시킬 수 있는 기반을 마련할 수 있다.

3. 성형 부품의 두께 변화 예측

자유형상의 목업에 대한 진공 성형 시 두께를 예측하기 위해서는 목업의 전체 면 데이터가 필요하다. 즉 목업의 면 데이터로부터 시트의 두께를 예측할 수 있는 식을 유도하여야 한다. 면 데이터로부터 식을 유도하기 위해서는 비교적 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 면 데이터는 3 차원 형상이고 자유형상이기 때문에 일반적인 식을 유도하기가 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 3 차원 면 데이터를 일정한 방향에 따라 곡선 데이터로 분할한 뒤 이 섹션 데이터를 바탕으로 두께를 예측함으로써 전체 면에 대한 두께를 계산한다. 이는 적층 조형과 비슷한 원리로 섹션 데이터의 개수가 많으면 많을수록 면 데이터에 근접하게 된다. 따라서 본 장에서는 면 데이터로부터 곡선 데이터인 섹션 데이터를 생성하고 곡선데이터를 표현하는 식 및 곡선데이터로부터 적절한 두께 예측식을 유도하는 과정을 기술한다.

3.1 면 데이터로부터 곡선 데이터 생성

면으로부터 곡선을 생성하는 방법은 Catia 로부터 일괄적으로 적절한 간격을 부여함으로써 생성시킬 수 있다. 이 데이터는 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 파일로 Export 한 후 본 논문에서 이용되어진다. 또한 생성된 곡선은 B-Spline 곡선식이다. B-Spline 표현식은 곡선 및 곡면을 표현하는 방법중의 하나로써 본 논문에서 사용된 이유는 이 식으로부터 위상 정보 및 원하는 차수로 미분이 가능하기 때문이다. 이는 진공성형에서의 두께에 영향을 주는 팩터인 성형방향으로부터의 높이 및 기울기, 곡률 등의 정보를 얻을 수 있게 한다.

3.1.1 B-Spline 곡선과 곡면

B-Spline 곡선은 국소 변형(local modification)이 가능하고 불균일한 매듭값(knot vector)을 통해서 형

상을 잘 나타낼 수 있어 자유 곡선을 생성시키는 방법으로 많이 사용되며, 식 (1)과 같이 표현된다. B-Spline 곡선은 매개 변수 방식의 곡선을 표현하는데 많이 이용되는 곡선으로서 k 번째 p 차 표준화된 B-Spline 의 basis 함수, 즉 블렌딩(blending) 함수는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)P_i, \quad a \leq u \leq b \quad (1)$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{(u-u_i)N_{i,p-1}(u)}{u_{i+p}-u_i} + \frac{(u_{i+p+1}-u)N_{i+1,p-1}(u)}{u_{i+p+1}-u_{i+1}}$$

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1, & \text{if } u_i \leq u \leq u_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)에서 보는 바와 같이 B-Spline 곡선은 블렌딩 함수와 조정점(control point)의 곱의 합으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 식 (2)의 블렌딩 함수에서 u 는 곡선을 나타내기 위한 매개 변수, 즉 파라메타이며 u_i 는 u 의 범위안에서 존재하는 값으로서 앞에서 언급한 매듭값이라고 하며 u 를 여러 개의 구간으로 나눈 값이다. 이렇게 함으로써 블렌딩 함수가 특정 u 값에서 0 이 되지 않아 결과적으로 국부 수정이 가능하게 된다. 블렌딩 함수에서 p 는 곡선의 차수라고 하며, k(p+1)를 오더(order)라고 한다. 이것은 조정점의 영향을 나타내는 것으로서 오더만큼의 조정점이 곡선의 국부에 영향을 준다. 즉 3 차 B-Spline 곡선의 경우 4 개의 조정점이 곡선에 영향을 주게 된다.

3.1.2 B-Spline 곡선의 미분

면 데이터로부터 생성된 곡선 데이터를 이용해서 형상 정보를 얻을 수 있다. 즉 얻어진 B-Spline 곡선을 미분함으로써 접선 및 법선 벡터를 얻을 수 있고, 이 정보로부터 다음 절에서 설명할 두께 근사식을 적용할 수 있다.

$$C^{(k)}(u) = \sum_{i=0}^n N_{i,p}^{(k)}(u)P_i \quad (3)$$

$$N_{i,p}^{(k)}(u) = p \left(\frac{N_{i,p-1}^{(k-1)}}{u_{i+p}-u_i} - \frac{N_{i+1,p-1}^{(k-1)}}{u_{i+p+1}-u_{i+1}} \right) \quad (4)$$

식 (3)은 B-Spline 곡선의 미분형태이다. 식 (4)는 미분된 블렌딩 함수를 나타내고 있다. 식 (3)으로부터 곡선의 곡률 정보를 얻을 수 있다. 이 정보를 기초로 하여 두께를 예측한다.

3.2 실험 데이터로부터 두께식 유도

실험 데이터는 실제로 만들어진 목업으로부터 실측에 의해서 얻어진다. 이는 Fig. 2 와 같이 다양한 기울기 및 곡률을 가진 형상에 대해서 모델링을 한 후 NC 가공을 거쳐서 진공성형이 이루어진다.

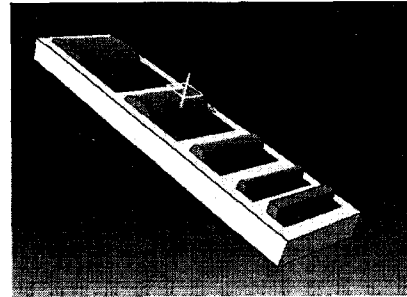


Fig 2. Test part for prediction of thickness

모델링된 데이터와 각 부위별로 측정된 두께 데이터로부터 임의의 자유 곡면에서 두께를 예측하는 식을 유도한다. 표 1 은 Fig. 2 에서 가장 폭이 넓은 형상에 대해서 실측한 데이터이다. 이는 반원형상이며 중심으로부터 각도별로 측정된 데이터를 표시하였다.

Table 1 measured thickness

| 각도 | 두께 | 각도 | 두께 | 각도 | 두께 |
|-----|------|-----|------|-----|------|
| 0 | 0.68 | 120 | 0.76 | 240 | 0.54 |
| 10 | 0.69 | 130 | 0.74 | 250 | 0.53 |
| 20 | 0.71 | 140 | 0.68 | 260 | 0.53 |
| 30 | 0.73 | 150 | 0.68 | 270 | 0.52 |
| 40 | 0.75 | 160 | 0.64 | 280 | 0.53 |
| 50 | 0.78 | 170 | 0.61 | 290 | 0.54 |
| 60 | 0.79 | 180 | 0.57 | 300 | 0.55 |
| 70 | 0.81 | 190 | 0.56 | 310 | 0.56 |
| 80 | 0.82 | 200 | 0.55 | 320 | 0.56 |
| 90 | 0.82 | 210 | 0.55 | 330 | 0.57 |
| 100 | 0.8 | 220 | 0.54 | 340 | 0.58 |
| 110 | 0.77 | 230 | 0.54 | 350 | 0.59 |

우선 모델링 데이터의 각 형상별 정보를 단면 데이터를 추출함으로써 얻을 수 있다. 이는 곧바로 B-Spline 곡선으로 얻어지며 이 곡선과 곡선의 각 부위별로의 실측 두께를 정보로 하여 임의의 형상에서의 두께를 유도한다. 앞에서 언급하였듯이 임의의 곡면 형상은 매우 촘촘한 곡선 데이터로 입력된다. 이 곡선 데이터는 미리 저장된 B-Spline 곡선으로부터 가장 유사한 형상을 찾고 그 형상으로부터 동일

한 위치를 찾아서 그 위치의 실측된 두께값을 예측 두께로 이용하게 된다.

이렇게 하기 위해서는 입력된 B-Spline 곡선이 실험 데이터의 여러 형상 중 어느 형상인지를 찾아야 한다. B-Spline 곡선은 앞절에서 설명하였듯이 위치, 기울기, 곡률을 구할 수 있으므로 이 정보로부터 유사 형상을 찾을 수 있게 된다.

4. 실험 결과

시뮬레이션을 수행하기 전에 우선 부품 데이터를 진공성형 방향과 동일한 각도로 회전시켜야 하는데, 이는 부위별 높이 차이가 심한 경우에 성형이 완료된 부품의 두께가 과도하게 얇아지거나, 부위별 편차가 심해지게 되는 현상을 방지하기 위해서이다.

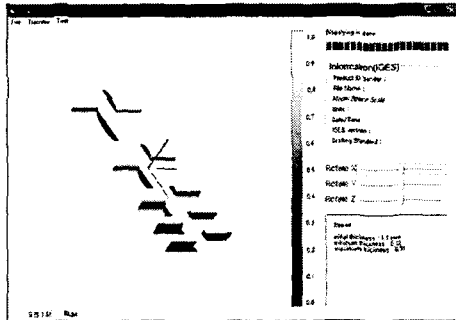


Fig. 3 Result of Sample part

Fig. 3 는 본 연구에서 개발된 두께 예측 프로그램이며 동시에 샘플 파트에 적용시킨 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과로부터 특별히 중요하거나 관심 있는 부위의 음영 정도를 INDEX BAR 에 표시된 것과 비교하여 두께를 대략적으로 파악할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 4 에 시뮬레이션이 수행된 부품은 GLOVE BOX COVER 이며, Fig. 5 은 CRASH LOWER PANEL 의 두께 예측 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 일반적으로 치수, 외관 및 두께 등의 규제가 심하지 않은 부품을 단기간에 저렴한 가격으로 제작하기 위해 많이 사용되고 있는 진공성형 부품의 부위별 두께를 예측하기 위한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

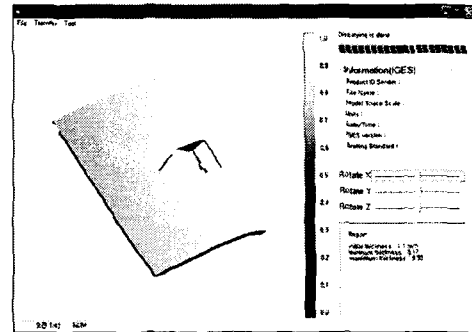


Fig. 4 Result of Glove Box Cover

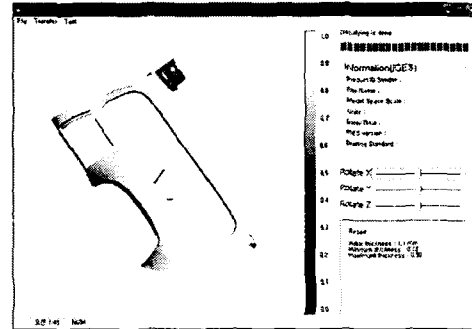


Fig. 5 Result of Crash Pad Lower Panel

1) 3 차원 형상을 해석이 용이한 B-Spline 곡선으로 변환하기 위해, 좁은 간격의 수 많은 단면 곡선으로 분할하여 적층조형 기술에서 사용하는 해석 방식을 새롭게 고안하였다.

2) 실제 진공성형에 사용되는 소재의 두께 변화 패턴을 파악하기 위해, 샘플 형상의 목업을 제작하여 부위별 두께를 측정 하였으며 그 결과로부터 성형 부위별 두께 예측식을 유도 하였으며 3 차원 형상의 진공성형의 두께를 시각적으로 나타내 주는 프로그램을 개발하였다.

참고문헌

1. Les Piegl and Wayne Tiller, "Algorithm for approximate NURBS skinning", Computer-Aided Design, Vol. 28, No. 9, pp. 699 ~ 706, 1996.
2. 최재원, 양화준, 이석희, "시작 차량 감성 품질 개선에 관한 연구", 2000 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 358 ~ 361
3. 허성민, 최재원, 이석희, "자유곡면 생성을 통한 역공학 적용에 관한 연구", 한국정밀공학회지, Vol. 18, No. 10, pp. 168 ~ 177, 2001
4. U.S. Product Data Association, INITIAL GRAPHICS EXCHANGE SPECIFICATION US PRO IPO-100-1996, 1996.