

연질 고분자 발포체의 표면팽창을 통한 치수평가에 관한 연구

김민우*^{#,}, 조종래*, 김명훈**

*한국해양대학교 기계공학과, **한국신발피혁연구원

Study on Size Evaluation by Surface Expansion for Soft Polymer Foam

Min-Woo Kim*^{#,}, Chong-Rae Cho*, Myoung-Hun Kim**

*School of Mechanical Engineering, Korea Maritime & Ocean UNIV.,

**Korea Institute of Footwear and Leather Technology

(Received 4 September 2019; received in revised form 13 September 2019; accepted 20 September 2019)

ABSTRACT

The dimensional quality of flexible foams is often difficult to be evaluated through general machine vision inspection methods due to the free deformation of the outer shape. For the evaluation of the dimensions of flexible foams, methods of estimating the size of the product through the expansion rate of the product surface are evaluated. Specimens with various dimensions and surface gratings are prepared, and the degree of surface expansion is measured through machine vision. The correlation, between the measured surface grid size and the actual size of test specimens, is analyzed. We further analyze the correlation between the size of test specimens and the position of the surface grid. This study provides a basis for estimating the actual dimensions of specimens by measuring the surface expansion of flexible foams.

Key Words : Machine vision(머신비전), Size Inspection(치수검사), Soft Polymer Foam(연질 고분자 발포체), Surface Expansion(표면팽창)

1. 서 론

고분자 발포체는 경량화와 충격의 흡수를 목적으로 다양한 산업분야에 사용되고 있다. 발포체는 크게 파손성 발포체(Crushable Foam)과 회복성 발포체(Reversible Foam)로 구분된다. 파손성 발포체는 낮은 비중과 높은 경도를 특징으로 1회성 충격에 대해 최대한의 충격흡수를 목적으로 사용되며,

자동차 범퍼, 안전헬멧 등에 사용된다. 회복성 발포체는 신발의 중창, 의자의 쿠션과 같이 충격이 가해질 경우 충격의 흡수, 해제될 경우 원래 형상으로 복원되어야 하는 제품에 사용되며 상대적으로 높은 비중과 낮은 경도를 특징으로 한다. 제조 방법은 일반적으로 기본 고분자 소재에 발포제와 가교제 및 첨가제를 혼합하여 열과 압력을 가해 팽창 성형시켜 제조한다.

파손성 발포체는 스티밍성형 등의 공정을 통해 제조하며, 성형제품과 금형의 크기가 1:1의 배율을 가지는 경우가 많다. 따라서 치수에 대한 품질문제가 크게 나타나지 않으며 표면경도가 높기 때문

Corresponding Author : mwkim@kiflt.re.kr

Tel: +82-51-605-3295, Fax: +82-51-897-9701

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

에 치수 검사의 어려움 역시 적은편이다. 반면에 회복성 발포체는 주로 압축성형에 의해 제조되며, 금형과 제품의 크기가 4~10배의 배율을 가진다. 따라서 상대적으로 낮은 치수안정성을 가지며 부드러운 표면 특성 때문에 치수검사가 어려운 특징이 있다.

일반적으로 연질 발포체에 대해서는 높은 치수 정확도를 요구하지 않는 경우가 많다. 의자의 쿠션과 같은 충진재로 사용되는 경우에는 부드러운 제품의 특성상 치수가 다소 부정확하더라도 사용에 문제가 없다. 따라서 비중, 표면경도를 중심으로 품질을 평가한다. 그러나 일부 제품, 특히 신발의 중창과 같이 발포체가 최종 제품의 외관을 형성하며 다른 부품들과 직접 결합되는 경우에는 치수의 정확성이 중요하게 된다.

신발의 중창은 발을 감싸는 갑피와 지면과 마찰을 견디는 걸창사이에 위치하여 충격을 흡수하는 역할을 한다. 제품의 상면은 갑피와 결합되고, 하면은 걸창과 결합된다. 즉 신발의 중창의 경우, 다른 부품과 결합되는 상, 하면에 대해 치수의 정확성이 완제품의 품질에 직접적 영향을 미친다.

일반적인 신발 중창의 치수 검사는 특수하게 제작된 형틀 또는 게이지를 이용하여 수작업으로 이루어지고 있다. 신발 중창과 같은 연질 발포체의 치수 검사에 타 산업에서 일반화되어 있는 머신비전을 이용한 자동치수검사가 적용되지 못하고 있는 이유는 다음과 같다. 첫 번째, 제품 전체 표면이 곡면으로 이루어진 형상적 특성에 의해 측정기준을 설정하기 어렵다. 두 번째, 토스프링(Toe Spring), 사이드월(Side Wall)등과 같은 치수검사와 무관한 외각의 3차원적 디자인 요소가 머신비전에 의한 검사에 방해요인으로 작용한다. 세 번째, 유연한 소재로 인한 자유변형을 치수 불량과 구분하기 어렵다. 이러한 문제는 비단 신발에만 국한된 문제는 아니며 제품에 따라 선별적으로 나타날 수 있는 일반적인 유연소재 제품의 자동검사에 관한 문제점으로 볼 수 있다.

본 연구는 사출형 팽창 발포공정으로 성형되는 연질 발포체의 검사 방법에 관한 것이다. 제품 표면에 대한 부분적인 2차원적 치수의 평가를 통해 제품의 전체 치수 불량여부를 판정하는 것에 대한

적절성을 상관분석을 통해 검증한다. 이를 바탕으로 머신비전을 이용한 자동치수검사를 위한 치수 검사 알고리즘을 제안하는 것을 목표로 한다.

2. 시험편의 제작

실험을 위해 금형 및 시험편을 제작하였다. 발포체의 표면 팽창률과 치수와의 상관관계를 분석하기 위해 시험편 금형 표면에 격자무늬를 새겨 넣어 각 위치의 표면 팽창을 측정할 수 있도록 하였다. 격자의 수는 10 x 20 개의 선을 통해 총 교차점의 수는 200개이고 각 격자의 간격은 8 mm이다.

제작된 금형을 통해 실제 분석을 위한 시험편을 제작하였다. 실제 치수불량을 재현하기 위해 동일한 금형에서 생산된 시험편에 대해 열처리 공정조건을 변화시켜 치수차이를 발생시켰다. 제조된 총 시험편의 개수는 17개 이고 시험편의 치수는 최소 247 mm에서 최대 268 mm 이다. 대, 중, 소 3개의 그룹으로 나누어지며 각 그룹 내에서도 치수편차가 존재한다.

시험편의 표면 팽창량을 확인하기 위해 각 격자의 교차점을 머신비전을 통해 측정하였다. 측정에 사용된 시스템은 Basler사의 acA2500-14gc 카메라와 60W의 LED조명을 이용하여 구성하였다. 분석에 사용된 소프트웨어는 National Instruments사의 Labview vision assistant이다.

약 0.2 mm 높이로 돌출된 격자 선에 강한 조명을 이용해 대비를 증가시켜 시험편의 사진을 촬영하였다. 얻어진 시험편 이미지에 흑백 전환 및 대비 증가 영상처리를 통해 격자의 윤곽선을 강조하였다. 추가적으로 다양한 디지털 영상처리 기법을 통해 격자의 교차점을 이미지에서 분리하여 각 교차점의 좌표를 측정하였다.

팽창정도를 분석하기 위해 치수에 대한 명칭 및 환산치수를 다음과 같이 정의하였다. 격자의 길이 및 폭 방향 팽창정도를 따로 분석하기 위해 별도로 정의하였으며 이후 두 방향 팽창을 동시에 나타내기 위해 각 격자로 둘러싸인 면적에 제곱근을 취한 등가거리를 계산하여 이용하였다.

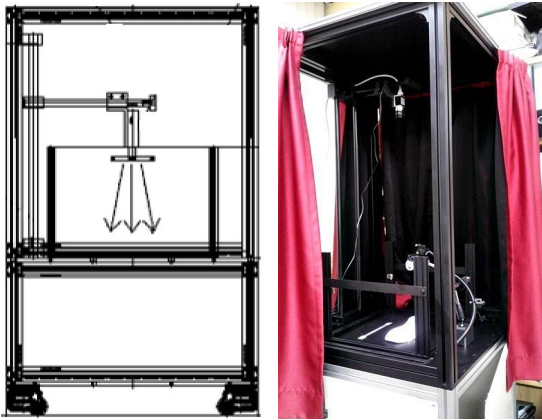


Fig. 1 Testing system for machine vision inspection

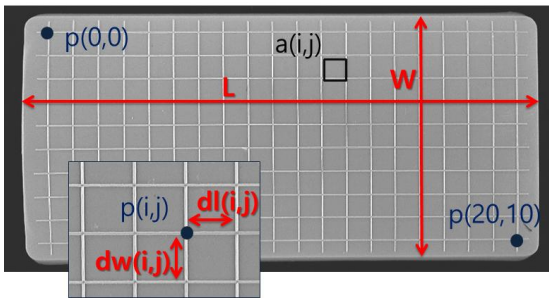


Fig. 2 Grid shape of specimen

- L : 전체 길이
- W : 전체 폭
- p : 격자점
- dm : 금형의 격자간 거리
- dl : 시편의 길이방향 격자 거리
- dw : 시편의 폭방향 격자 거리
- da : 면적등가거리(격자 면적의 제곱근)
- ed : 선팽창률(팽창 후 격자 거리/금형 격자거리)
- rd : 상대격자거리(격자 거리/전체 시편 길이)
- R : 상관계수(Pearson correlation coefficient)
- R² : 결정계수(Coefficient of determination)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

3. 측정 결과 및 분석

3.1 팽창의 균일도

표면팽창의 균일도를 검사하기 위해 표면 격자 간격을 측정하였다. 표면의 격자는 총 200개로 금형표면에 음각으로 각인되어 성형 시 제품과 같이 팽창하여 선팽창률 기준으로 155% ~ 169%의 팽창비를 가진다.

표면의 격자간격을 머신비전을 통해 촬영 및 영상처리 과정을 거쳐 측정하였다. 개별 격자 영역의 d_l , d_w , d_a 를 계산하여 분석하였다. 표면의 격자 간격은 전체 영역에 있어 불균일한 분포를 보인다. d_w 에 비해 d_l 의 영향이 지배적인 것으로 보인다. 사출 게이트의 반대 방향의 팽창량이 가장 작으며 게이트에 가까워질수록 팽창량이 커진다.

이는 금형 캐비티에 주입된 소재가 받는 압력의 차이에 기인한다고 보인다. 사출 초기 소재는 주입과 동시에 발포반응이 일어나 조적이 변화하기 시작한다. 약 5~10초간 주입이 진행되면서 먼저 반응하여 부분적으로 팽창한 영역과 나중에 주입되어 팽창하지 못한 부분의 잔존 발포력의 차이가 발생하게 된다. 즉 금형 내에서 발포압력의 편차가 발생하게 되고, 결과적으로 이러한 발포배율의 차이로 나타나는 것으로 판단된다.

이러한 특성을 고려할 경우 제품이 성형되는 금형의 주입구조에 따라 표면 팽창률을 측정하는 위치를 다르게 고려해야 할 수도 있다.

3.2 검사영역에 따른 상관분석

시험편의 표면 측정위치 및 영역의 크기와 실제 시험편의 치수 간의 상관관계를 분석하였다. 치수가 다른 17개의 시험편에 대해 모든 격자 영역의 d_a 와 해당 시험편의 길이 L에 대하여 상관분석을 실시하였다. 17개의 시험편 중 임의의 2개를 선정하여 위치별 d_a 의 증분과 L의 증분이 선형적 관계를 가지는지 확인하고자 하였다. 이에 각 조건의 샘플 수는 136개이다.

비교영역의 위치는 사출게이트를 우측에 둔 상태로, 4군데로 위치를 설정하였다. 첫 번째 위치는 최상단 좌측모서리, 두 번째에서 네 번째 위치는

길이방향 중심선의 1/4, 2/4, 3/4 지점이다. 표면 격자 영역의 크기는 1x1격자(약 8 mm x 8 mm), 2x2격자(16 mm x 16 mm), 3x3격자(24 mm x 24 mm), 4x4격자(32 mm x 32 mm)로 나누어 상관분석을 실시하였다.

영역별 R²값을 비교해 보면 0.95에서 0.99의 분포를 나타낸다. 측정위치에 따른 상관도 분포는 전반적으로 2와 4번 영역에서 높은 상관도를 나타내었다. 측정 영역의 크기에 따라서는 측정 위치와 무관하게 검사영역이 커질수록 상관도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 중심부인 3번 위치를 제외할 경우 2 x 2 격자영역을 검사할 경우 0.98 이상의 상관도를 확보할 수 있다.

3.3 치수 구분 확률

치수가 다른 17개 시편에 대해 치수의 표면 격자 크기를 기준으로 치수의 차이를 구분할 수 있는지에 대해 평가하였다. 임의의 두 개의 시편을 선정하여 각 시편 간 전체 치수차이를 기준으로 각 영역의 팽창 정도를 비교하여 더 큰 시편을 구

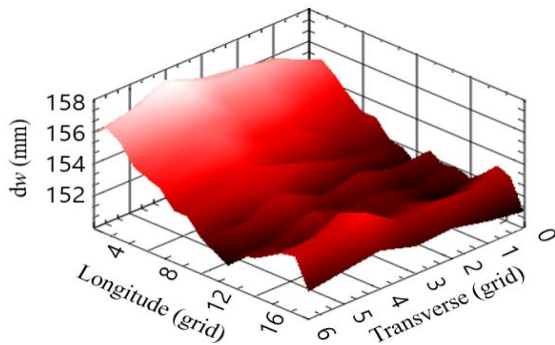


Fig. 3 Distribution of local mesh size on surface

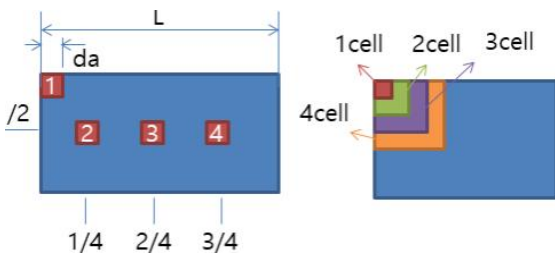


Fig. 4 Test grid size and location

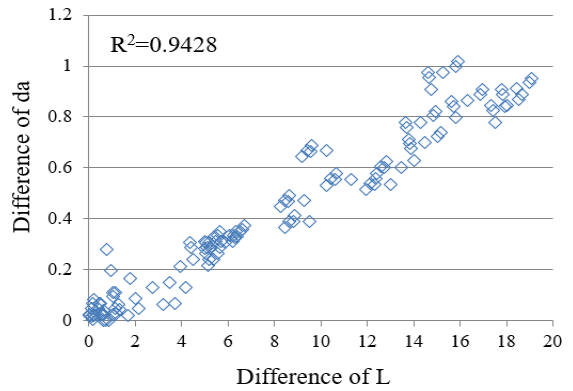


Fig. 5 Result of regression analysis for 1x1 grid size on location 3

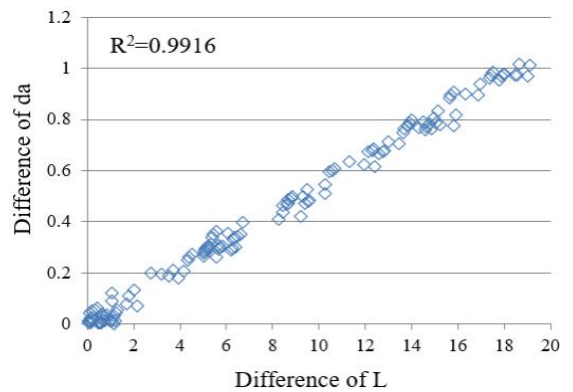


Fig. 6 Result of regression analysis for 4x4 grid size on location 1

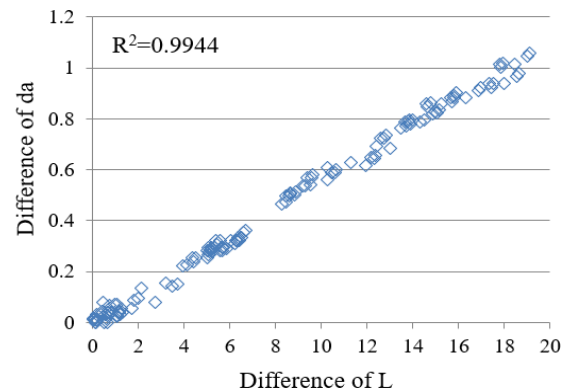


Fig. 7 Result of regression analysis for 4x4 grid size on location 2

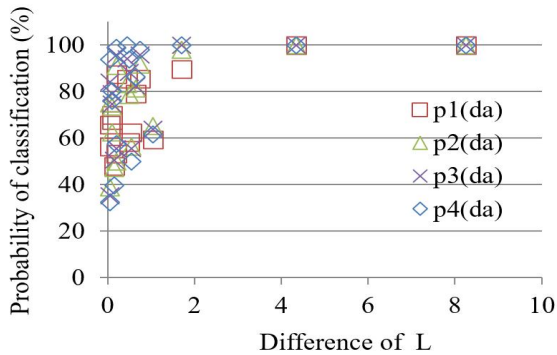


Fig. 8 Probability of dimension classification according to grid size

분할 수 있는가를 판별하는 것이다. 선정된 두 개의 시편 표면의 200개 격자에 대해 모두 반복 계산하여 두 시편의 크기 순서로 정렬된 데이터를 각 표면 격자의 크기 순서로 정렬된 데이터와 비교하여 두 값이 같은 비율을 계산하였다. 계산은 영역의 크기를 1x1격자, 2x2격자, 3x3격자, 4x4격자로 하여 영역의 크기에 따른 영향도 같이 확인하고자 하였다.

계산 결과 2x2격자 이상을 측정할 경우, 전체 치수가 2mm 이상의 차이가 나는 시편은 99%이상 구분해 낼 수 있는 것으로 확인되었다. 이는 영역의 위치와 무관한 결과이다. 즉 임의의 영역을 측정하더라도 표면 팽창도의 측정만으로 2mm 이상의 치수차이는 대부분 인식할 수 있다는 의미이다. 여기서 2x2 격자의 성형 후 실제 크기는 약 25 mm x 25 mm 이다. 시편의 전체 길이가 260 mm 정도임을 감안한다면 2 mm 구분거리는 약 1%의 오차를 의미한다.

Table 1 R² for various test grid size and location

	1x1 grid	2x2 grid	3x3 grid	4x4 grid
Location 1	0.9537	0.9904	0.9886	0.9916
Location 2	0.9609	0.9877	0.9912	0.9944
Location 3	0.9428	0.9764	0.9783	0.9793
Location 4	0.9635	0.9822	0.9873	0.9892

4. 결론

사출형 연질발포체의 치수검사를 위해 일반적인 머신비전 측정에서 사용되는 최외각 치수의 측정 방법을 개선하기 위해 표면팽창에 의한 치수검사 알고리즘에 대해 시편실험을 수행하여 그 적절성을 검증하였다.

실험결과 사출형 발포시편에서 시편 내 표면팽창량은 위치에 따라 다른 값을 보였다. 사출게이트에서 먼 쪽이 더 많이 팽창하는 것을 확인하였고 표면팽창의 분포가 균일하지 않고 일정한 파형을 이루는 것을 확인하였다. 그러나 시편 간 비교에서 유사한 재현성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 표면팽창을 통한 제품의 치수를 검사하는 것이 유효하다는 것을 확인하였다.

시편의 표면팽창량과 전체치수의 상관관계를 분석한 결과, 전체 영역에서 0.92 이상의 상관계수가 계산되어 매우 높은 상관도를 보이는 것으로 확인되었다. 또한 영역별 평가를 통해 시편의 길이방향 1/4, 3/4 지점에서 가장 높은 상관도를 보이는 것을 확인하였다.

표면 팽창의 측정을 통해 제품의 치수를 평가하기 위해, 측정 영역의 크기와 위치에 대하여 검토 하였다. 총 17개의 시편 200개 영역에 대해 상관분석을 통해 평가한 결과, 측정영역의 크기는 약 25 mm 이상, 측정영역의 위치는 길이방향 1/4, 3/4 지점을 검사할 경우 R²가 0.98이상으로 우수한 상관도를 나타내었다.

각 시편의 치수검사 확률을 계산해 본 결과 17개 시편에 대해, 모든 영역에서 약 25mm의 표면 길이를 측정할 경우 2 mm의 치수차이를 모두 구분해 낼 수 있는 것으로 확인하였다.

이러한 분석결과를 바탕으로 사출형 연질발포체의 치수 검사를 위해 표면의 팽창정도를 기준으로 하는 것에 대한 적절성을 확인하였다. 향후, 이와 같은 결론을 바탕으로 실제 제품의 치수 검사를 수행하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

1. Blasco, J., Aleixos, N., Moltó, E., "Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit", Journal of Biosystems Engineering, Vol. 85, Issue 4, pp. 415-423, 2003.
2. Zhongxu, H., Bicker, R., Taylor, P., Marshall, C., "Computer vision for shoe upper profile measurement via upper and sole conformal matching" Journal of Optics and Lasers in Engineering, Vol. 45, Issue. 1, Pages 183-190, 2007.
3. Kim, D. H., Kang, D. K., Cha, E. Y., "An Automated Outsole Inspection System Using Scale Block and Divide-and-Conquer Technique", Journal of control, automation, and systems engineering, Vol. 8, pp. 625-632, 2002.
4. Edwards, R., Barkan, C. P. L., Hart, J. M., Todorovic, S., Ahuja, N., "Improving the Efficiency and Effectiveness of Railcar Safety Appliance Inspection Using Machine Vision Technology", Proceedings of ASME/IEEE 2006 Joint Rail Conference, pp. 88-89, 2006.
5. Sanz, J. L. C., "Advances in Machine Vision", 1989.