

3D 스캐너를 이용한 커브드 모니터의 스프링백 분석 연구

윤형우¹ · 이춘규[†]

공주대학교 금형공학과^{1,†}

A study on the springback analysis of a curve monitor using a 3D scanner

Hyoung-Woo Yoon¹ · Chun-Kyu Lee[†]

Department of Mold & Die Engineering, Gongju National University^{1,†}

(Received September 19, 2018 / Revised November 22, 2018 / Accepted December 01, 2018)

Abstract: Flexible display tends to grow every year, It tends to be larger, slimmer, and higher in image quality. Therefore, accuracy is required in the manufacturing process of each part. In the curved monitor, the bottom chassis has a structure to which other parts can be attached. The accuracy of the curvature which the bottom chassis of the curve monitor monitors has is important. If the curvature error is large, serious defects such as cracks, warpage, twisting and the like occur. Curvature was analyzed using 3D scanner. In the Forming process and Restriking process steps, spring go occurred, and spring back occurred in the Notching process and Bending process steps. Even in the same process, it was confirmed that the curvature value varied depending on the formed shape.

Key Words: 3D scanner, Curved monitor, Measure curvature

1. 서 론

플렉시블 디스플레이(Flexible Display)는 패널 사이즈에 따라 구분되는데 20~50 인치는 2017년에 8억 2,870 만 달러에서 연평균 성장률 13.62% 로 증가하여 2022년에는 15억6,940 만 달러에 이를 것으로 전망된다¹⁾. 또한 최근의 디스플레이의 흐름이 대형화, 슬림형, 고화질화의 추세이다.

그 중 커브드 모니터(Curved Monitor)는 디스플레이의 곡률을 통해 몰입감을 주기 때문에 앞으로 더욱 확대 적용될 것으로 예측된다.

커브드 모니터는 메인 보드(main board), 백라이트(Back-light), 액정(LED) 그리고 Bottom Chassis 등의 부품으로 구성되며, 그 중 보텀 새시(Bottom Chassis)는 화면의 뒷면에서 부품들을 지지하면서 결정된 곡률을 유지하는 역할을 한다²⁾.

기존 평판 보텀 새시 제조 공법에서는 단순 평면 박판 금속의 벤딩(bending), 피어싱(piecing), 트리밍(trimming) 등으로 공정이 구성되었고, 평면도를 유지하기 위해 재가공(restriking) 공정을 추가하여 평면도를 조정하여 제품을 완성하였다. 하지만 곡률을 가진 커브드 모니터의 경우, 곡률에 의한 스프링백이 추가되어 요구되는 제품 사양을 만족시키기에 더욱 어려움을 겪게 된다. 따라서 제품 개발 일정 지연 및 스프링 백을 교정하기 위한 후 가공 공정의 추가로 제조비용 상승이 문제가 되고 있는 것이 현실이다.

산업 현장에서는 커브드 모니터 보텀 새시 설계 시 스프링 백을 미리 예측하여 이를 설계에 반영함으로써 제품 개발 기간의 단축과 후 가공비용을 감소시키기 위해 연구가 절실하다.

양동열 외 3인은 박판 성형시 스프링백 해석을 수행함에 있어서 스프링백 해석의 정밀도를 높이기 위해서는 기하학적인 형상을 정밀하게 모델링해야 함에 대하여 실험을 통해 검증하였고, 탄성

1. 공주대학교 금형공학과

† 교신저자: 공주대학교 금형공학과

E-mail: ckt1230@kongju.ac.kr

복원에 따른 스프링백의 발생은 박판 성형공정에서 정확한 형상을 예측하는 것이 중요하다는 것을 증명하였다³⁾.

박정수 외 2인은 성형해석과 금형구조해석을 연계하는 방안을 제안하였고, 해석을 통해 얻은 변형된 금형형상을 이용하여 스프링백 해석의 예측 정확도 향상을 검증하였다⁴⁾.

김홍태 외 4인은 인장시험과 유한요소법에 바탕을 둔 인장시험을 정확하게 예측하는 진응력-진변형률 곡선의 획득 방법을 소개하였으며, 이 방법의 수치적 특성을 상세하게 조사하였다. 이를 위하여 두 가지 형태의 요소망과 다양한 요소밀도를 갖는 요소망으로 진응력-진변형률을 구하여 그 결과를 상세하게 비교하였다. 그 결과, 개발된 방법은 수치적으로 매우 안정하며, 계산시간이 많이 소요되지 않으므로 인장시험과 연계하여 활용이 가능할 것으로 판단하였다⁵⁾.

이경민 외 3인은 비접촉식 3차원 레이저 스캐너를 이용하여 스캔각도와 횡수를 변화시켜가며 재구성한 각각의 입체영상에서의 계측치를 마네킹의 실측치와 비교 분석하여 스캔각도와 횡수가 입체영상의 정확도에 영향을 미치는 것을 의미하며 정확한 입체영상의 재구성을 위해서는 좌우 45° 이상의 측방면을 스캔하는 것이, 그리고 정면을 포함하여 최소 3개의 영상을 이용하여 합성하는 것이 바람직함을 증명하였다⁶⁾.

본 연구에서는 커브드 모니터의 보텀 새시 성형 후 스프링 백을 예측하고, 예측된 스프링 백과 원하는 곡률이 최소가 될 때까지 금형의 곡률을 수정하여 제조 후 실제 곡률이 설계 곡률이 될 수 있도록 금형 곡률 최적 설계 기법을 적용하여 금형의 최적화 곡률을 선정하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 설계 및 제작

2.1.1. 보텀 새시 구조

Fig. 1은 모니터의 구조이며, 보텀 새시를 기준으로 앞쪽으로는 백라이트(Back-light), 미들 프레임(Middle frame), 도광판(LGP), 프론트 커버(Front cover)가 부착되고 뒤쪽으로는 파워보드(Power board), 메인보드(Main board), 리어 커버(Rear cover)가 부착이 된다.

아래쪽으로는 스탠드가 부착되며, 좌측과 우측에는 컨트롤 스위치가 부착이 된다. 이 모든 부품들이 보텀 새시에 부착이 되고 곡률이 중요한 커브드 제품의 경우 곡률 결정을 보텀 새시가 하게 된다.

보텀 새시와 다른 부품들 사이에 곡률 값의 오차가 심하면 크랙, 뒤틀림, 휨, 들뜸, 파손과 같은 중대한 하자가 발생하게 된다.



Fig. 1 Structure of Monitor

2.1.2. 제품 설계

커브드 TV의 보텀 새시는 Fig. 2와 같은 형상이며, 나타낸 그림은 21.5 인치의 커브드 모니터로 가로(A)는 R1628, 세로(B)는 직선의 형상을 가진 보텀 새시(Bottom Chassis)이다.

제품의 재질은 일반 가전제품에서 많이 사용되고, 부식의 취약점을 보완한 EGI강판(Electro Galvanized Iron : 전기 아연도금강판)을 사용하였다. 제품의 두께는 0.8mm 이다.

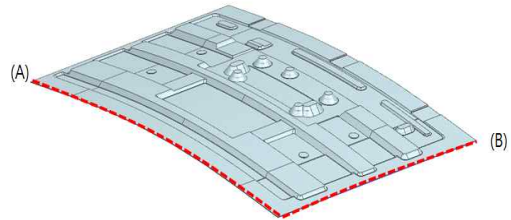


Fig. 2 Bottom chassis of curved monitor

2.1.3. 금형 제작

커브드 TV의 보텀 새시 금형은 총 4공정, 단발 금형으로 제작 되었다. 금형에 적용된 가로 곡률은 제품의 곡률과 동일한 R1628 을 적용하여 금형을

제작하였다.

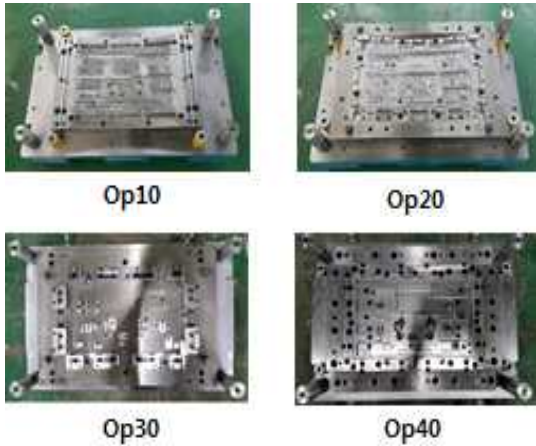


Fig. 3 Assembled mold

Fig. 3에 나타난 것과 같이 Op10은 포밍(Forming) 공정으로 성형 조건에 따라 크랙(Crack), 주름(Wrinkle), 뒤틀림(Warping), 스프링백(Spring back) 등의 성형 불량률이 가장 많이 발생하는 공정이다.

Op20은 리스트라이킹/노칭(Restriking/Notching) 공정으로 Op10 공정에서 코너 ‘R’ 값이 있는 포밍 형상을 성형시 크랙, 파손 등을 방지하기 위해 제품이 가진 ‘R’ 값보다 크게 성형하여 Op20에서 다지는 역할을 함과 동시에 소재의 외측에 불필요한 부분을 절단하여 제거하는 공정이다.

Op30은 노칭(Notching)공정으로 Op20공정에서 제거하고 남은 부분을 완전히 제거하고, 피어싱(Piercing)하는 공정이다.

Op40은 외곽 전체를 벤딩(Bending)하는 공정으로 이 과정에서 보텀 새시 전체에 응력을 가하게 되고 소성 변형을 일으켜 스프링백이 발생하고, 뒤틀림 현상이 생긴다. 이를 방지하기 위해 제품과 동일한 형상으로 가공된 Die와 Holder를 적용하여 성형하게 된다.

2.1.4. 시험생산

본 연구에 사용된 설비는 HIM 사의 HSD-500 (타발력 500 Ton) 프레스를 활용 하였다. 슬라이드 에어리어는 2500X1500, 다이 높이(Die Hight)는 600mm 며, Op10은 소재의 유입량을 최소화하기 위해 가스 스프링을 사용했으며 최대 성형력은 350ton 이다. 이 외의 다른 공정의 성형력은 300ton 미만이다.

다. Fig. 4는 실험에 사용된 프레스를 나타내었다.



Fig. 4 The 500-ton force press used in the experiment

2.1.5. 3D 측정

Fig. 5는 각 공정별 시험 타발한 제품을 나타내었 으며, 각 공정별 타발된 제품을 지그에 고정하여 측 정을 수행하였다.

Fig. 6은 3D 스캔 과정을 나타내었으며, 본 연구 에 사용된 3D측정 장비는 GOM 사의 3D 스캐너로 비접촉식 장비이며 스캔 정밀도는 2Mega급이다.

보텀 새시와 같이 두께가 얇은 제품일 경우 외부 응력에 민감하기 때문에 정량적인 측정을 위해서는 반드시 고정용 지그가 필요하다. 또, 앞 뒤를 스캔 하여 Align할 때 앞, 뒤의 연관성이 있어야 한다. 그러므로 지그가 필요하고 레퍼런스 포인트(Reference Point)를 지그에 부착하여 스캔 데이터간의 연관성이 이어지도록 하여 정확한 Align 데이터를 얻을 수 있도록 하였다.

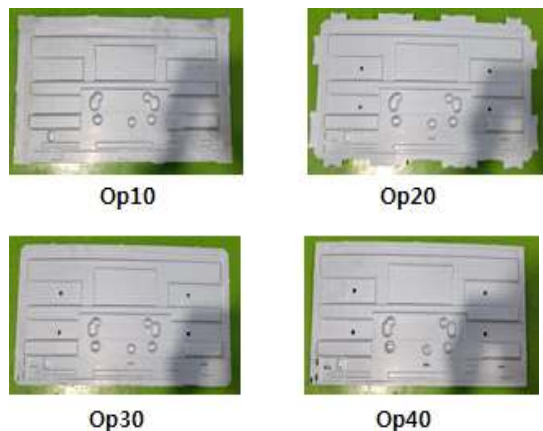


Fig. 5 Processed parts of Bottom chassis



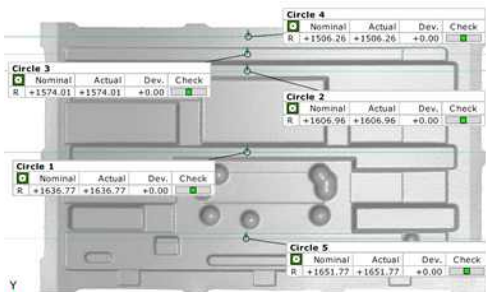
Fig. 6 3D Scanning

3. 결과 고찰

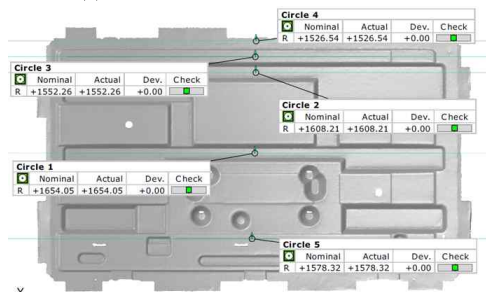
3.1. 스캔데이터 곡률 측정

Fig. 7은 각 공정별 5구간으로 구분하여 곡률을 측정한 측정데이터이며, S/W는 GOM社의 Gom Inspect를 활용하여 측정하였다.

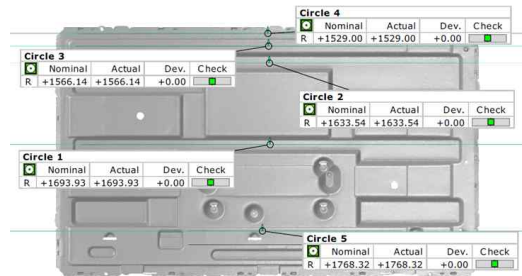
스캔한 STL 데이터를 321Alignment를 통해 평면 Plane에 정렬을 하게 된다. 이때 정렬의 정밀도에 따라 측정값의 오차가 발생할 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다. STL 데이터에 5구간으로 나누어 곡률 값을 측정하였다.



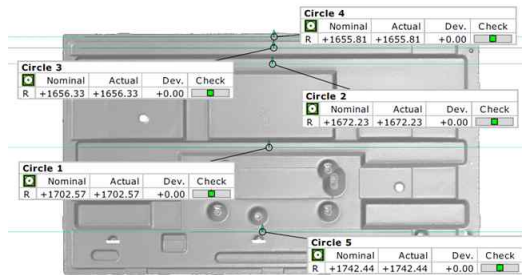
(a) Measure curvature of OP10 stl data



(b) Measure curvature of OP20 stl data



(c) Measure curvature of OP30 stl data



(d) Measure curvature of OP40 stl data

Fig. 7 Curvature analysis by Bottom chassis process

3.2. 스캔데이터 곡률 분석

Table 1은 각 공정별 5구간에 대한 분석 결과 값을 나타내었으며, 동일한 공정이라도 구간에 따라 곡률 값이 다르게 발생하는 것으로 확인되었다.

곡률 값의 평균값을 분석하면 처음에 스프링백이 발생 할 것으로 예상되었던 Op10공정과 Op20공정에서는 스프링 고 현상이 발생하였으며, 반대로 Op30공정부터 스프링백이 발생하였으며, Op40공정에서 더욱 더 스프링백이 크게 발생하는 것을 확인하였다.

Table 1 Measured curvature of process by Bottom chassis (mm)

| Circle No | Op10 | Op20 | Op30 | Op40 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|
| Circle1 | 1636.77 | 1654.05 | 1693.93 | 1702.57 |
| Circle2 | 1606.96 | 1608.21 | 1633.54 | 1672.23 |
| Circle3 | 1574.01 | 1552.26 | 1566.14 | 1656.33 |
| Circle4 | 1506.26 | 1526.54 | 1529.00 | 1655.81 |
| Circle5 | 1651.77 | 1578.32 | 1768.32 | 1745.44 |

Fig. 8은 3D 측정 데이터인 STL 데이터와 CAD 데이터를 비교 분석하여 도시화 하였다.

그림에서 보는 바와 같이 상단 중앙부위는 도면 대비 제품이 돌출되었으며, 가장자리는 처짐 현상을 보여주고 있다. 이는 같은 곡률로 성형을 하더라도 성형 형상에 따라 곡률 값이 다르게 성형되는 것을 확인 할 수 있다. 각 공정별로 곡률 값이 변화 하는 것 또한 공정마다 성형 형상, 트리밍, 피어싱 등이 제품의 곡률에 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

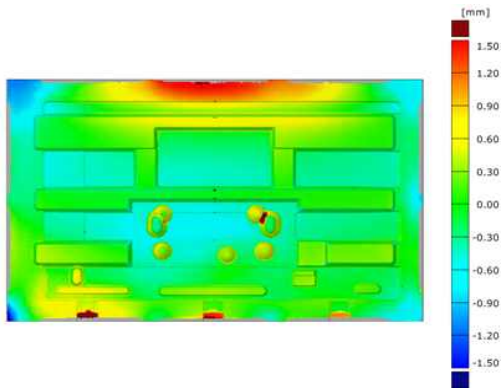


Fig. 8 Result of comparative analysis of 3D scan data and CAD data

3.3 회귀식을 이용한 곡률 분석

Fig.9는 공정별 곡률 분석 결과를 그래프로 도시화하여 나타내었다. 정확도는 99.9%이다.

발생 할 것으로 예상되었던 Op10공정과 Op20공정에서는 스프링 고 현상이 발생하였으며, 반대로 Op30공정부터 스프링백이 발생하였으며, Op40공정에서 더욱 더 스프링백이 크게 발생하는 것을 확인 하였다.

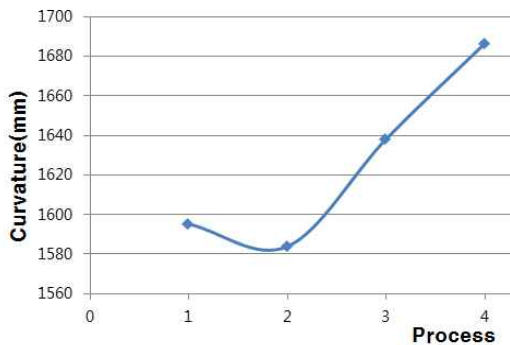


Fig. 9 Curvature value regression equation

Op10공정 대비 Op40공정에서는 약5.4%의 스프링백이 발생한 것으로 관찰되었으며, 공정별 곡률 값 분석을 통해 아래의 식(1)과 같이 곡률 값 회귀식을 도출 하였다.

$$Curvature = -11.935x^3 + 104.4x^2 - 240.94x + 1743.6 \quad (1)$$

회귀식을 통한 곡률 값이 변경되더라도 최종 공정에서 발생하는 스프링백은 예측 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 커브드 모니터의 곡률 값을 프레스 공정별로 분석하였다. 3D 스캐너를 통해 곡률 값을 측정하였고 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 가로 R1682, 세로는 직선 형상의 보텀 새시를 금형을 이용하여, 성형 후 3D 스캐너를 측정된 결과 같은 공정에서도 성형 형상에 따라 곡률 값이 변화 하는 것을 확인 하였다.
- 2) Op10공정에서 스프링백이 발생하여 곡률 값이 커질 것으로 예측되었으나 측정결과 스프링 고 현상이 발생하는 것으로 관찰되었으며, Op20공정에서는 스프링 고 현상이 더욱 심해지는 것을 확인 하였다.
- 3) Op30공정 이후부터 스프링 백 현상이 발생하여 곡률 값이 커지는 것을 확인 하였으며, Op10공정 대비 5.4%의 곡률이 커짐을 확인하였다.

본 연구에서는 21.5 인치의 커브드 TV의 보텀 새시의 스프링 백에 대하여 연구를 진행하였으나, 추 후 다양한 형상, 크기, 구조를 가진 보텀 새시를 연구하여 데이터가 구축된다면 설계단계에서 스프링 백 예측이 가능할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 1) Innopolis Foundation, Market Trends Report, Flexible display market, 2018.
- 2) J.S Park, H.J. Choi, S.H. Kim , “Improvement in Prediction Accuracy of Spring for Stamping CAE consider Tool Deformation”, Trans. Mater. Process, Vol.23, No.6, pp. 380-385, 2014.

- 3) D. Y. Yang, S. W. Lee, J. W. Yoon, D. J. Yoo, "Springback Analyses in Sheet Metal Stamping Processes and Industrial Applications", Korean Society for Plastic Engineering, pp. 1-8, 1998.
- 4) J. S. Park, H. J. Choi, S. H. Kim, "Improvement in Prediction Accuracy of Spring back for Stamping CAE considering Tool Deformation", Korean Society for Plastic Engineering, pp. 308-385, 2014.
- 5) H. T. Kim, J. G. Eom, I. S. Choi, M. C. Lee, M. S. Joun, "Consideration on Effects of Mesh Systems on True Stress-Strain Acquisition Method over a Large Range of Strains by Tensile Test and Finite Element Method", The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 2807-2812, 2007.
- 6) K. M. Lee, H. Y. Song, K. H. Lee, H. S. Hwang, "Influence of the angles and number of scans on the accuracy of 3D laser scanning", The Korean Journal of Orthodontics 41(2), pp. 76-86, 2011.