

역설계 시스템 적용을 통한 프레스 성형물 검사

김민주[†] · 김수용* · 이승수** · 전언찬***
(2004년 2월 18일 접수, 2004년 7월 19일 심사완료)

The Inspection of Press Forming Product Through Application of Reverse Engineering System

Kim Min Joo, Kim Soo Yong, Lee Seung Soo and Jeon Eon Chan

Key Words: Inspection(검사), Press Mould(프레스 금형), Projection Moire Topography(영사식 무아레), Reverse Engineering(역설계)

Abstract

This study is an inspection of press forming product and mould using reverse engineering system. The inspection process on production field involves a lot of errors because of the hand-work so we focussed on improving the measured precision through performing the effective inspection using 3D non-contact scanner. By so doing that, we improved the precision of press forming product by analyzing the cause following the inspection result. Through the inspection, we applied it to the reverse engineering and we could improve the inspection process.

1. 서 론

소비자의 다양한 요구조건을 충족시키기 위해 소품종 대량생산 시대에서 다품종 소량생산 시대로 전환되면서 제품의 경쟁력을 높이기 위해 각 제품 개발 기간의 단축이 중요한 요소가 되었다. 제품의 디자인이 소비자의 구매 여부를 결정하는 중요한 요인이 되면서 직선 중심에서 자유 곡면 중심의 제품이 선보이고 있다. 다양한 곡면을 디자인하기 위해 많은 수학적 정의를 필요로 하게 되었다.

그러나 이와 같은 방법의 설계는 복잡한 과정

과 많은 시간을 소요하는 문제점을 가지고 있어 개발 기간 단축이라는 시대의 흐름에 적합하지 않다. 자유 곡면을 가지는 많은 제품들은 점토나 석고, 수지, 나무등으로 만든 실물 모형에서 3차원 데이터를 획득하여 이를 3차원 형상을 재구성하는 역설계를 이용하고 있다.⁽¹⁾ 이와 같은 방법 등을 통해 개발기간을 단축할 수 있고, 곡면 설계에 대한 문제점을 해결할 수 있다.^(2,3)

초기 역설계 공정에서는 접촉식 측정방법이 사용되었다. 그러나 접촉식 측정 방법은 측정 대상과 프로브와의 접촉으로 인한 표면 손상의 우려가 있고, 탄성 변형을 일으키기 쉬운 물체 또는 연성 재질 및 박막의 경우 측정이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 또한 점 데이터 획득에 있어 데이터 처리 시간이 길어진다. 그래서 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 다양한 비접촉식 측정방법이 연구, 사용되고 있다.⁽⁴⁾

비접촉식 측정방법의 경우 측정 정밀도는 떨어지는 반면 접촉식 측정방법이 가지고 있는 많은 문제점을 해결할 수 있다. 비접촉식 측정방법은

[†] 책임저자, 회원, 동아대학교 기계공학과

E-mail : kmjshj@hanmail.net

TEL : (051)200-6992 FAX : (051)200-7656

* 동아대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 동아대학교 기계공학과

*** 회원, 동아대학교 기계산업시스템 공학부

측정 원리 및 구현 방법에 따라 광 측정법, 슬릿 빔 주사법, 영사식 무아레법, 백색광 주사 간섭법 등 다양한 형태의 측정 방법이 존재한다.⁽⁵⁾

이러한 역설계 방법을 생산 제품의 검사에 활용할 수 있다. 제품 및 금형의 검사에 비접촉식 검사법을 활용하여 수작업에 의한 오차를 줄이고 적은 시간에 효과적으로 곡면의 검사를 수행할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 주로 수작업으로 이루어지는 제품 및 금형의 검사를 역설계 방법을 이용하여 적은 시간에 측정 정밀도를 높여 생산성 향상에 기여하고자 한다.

그래서 생산된 금형 제품을 무아레(Moire) 방식과 위상천이(PMP : phase measuring profilometry)의 장점을 이용한 exyma-E300을 이용하여 역설계를 수행하였다. 그리고 결과 데이터와 CAD 데이터의 비교를 통해 금형 제품의 오차를 검사하고 제품의 문제점 및 오차 요인을 분석하였다. 이를 바탕으로 제품을 재생산, 측정함으로써 제품 정밀도 향상 여부를 확인하고, 검사 공정의 자동화 및 생산 공정 개선을 도모하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 무아레 무늬

무아레 무늬(Moire pattern)는 주기적인 무늬가 겹쳐 나타나는 현상을 일컫는 말이다. 무아레란 프랑스어로 물결무늬라는 뜻으로서 고대 중국에서 수입된 비단 위의 물결무늬를 일컫는 말에서 유래되었다. 학문적으로 무아레 무늬는 비슷한 주기를 가지는 여러 개의 격자가 겹쳐질 때 맥놀이(beatting)현상에 의해 나타나는 저주파의 무늬로 정의할 수 있다.⁽⁶⁾

이 무아레 무늬는 본 격자 무늬보다 크게 나타날 뿐만 아니라, 움직임 또한 하나의 격자 움직임보다 빠를 때가 많아서 미소한 변위나 회전, 곡면의 왜곡, 물체의 3차원 형상 인식등의 산업에 널리 쓰일뿐더러 파동의 간섭을 나타내 주는 용도로도 널리 사용되고 있다.

무아레에 대한 연구는 1874년 Rayleigh에 의해서 최초로 시작되었으며, 그후 많은 연구가 이루어졌으며 Yoshino에 의해 영사식 무아레법이 제안되었다. 영사식 무아레법은 이후 위상천이법을 적용함으로써 측정분해능의 향상을 이루었으나

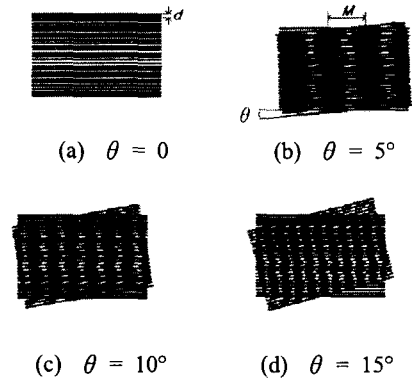


Fig. 1 Example of moire pattern

여러 측정오차가 있어 이의 해결을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.⁽⁷⁾

Fig. 1은 격자간격이 d 인 동일한 두 줄무늬에서 한 장을 5° 만큼 회전시켰을 때 나타나는 무아레 무늬를 보여주고 있다. 본 격자 무늬보다 큰 격자가 점차 변화함을 확인할 수 있다.

격자 간격이 d 이고 한 격자가 다른 격자에 대해 θ 만큼 회전해 있다고 가정하면 무아레 무늬들 간의 간격 (M)은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{d}{2\sin(\theta/2)} \quad (1)$$

여기서 M 은 무아레 무늬들 간의 간격, d 는 격자 간격, 그리고 θ 는 회전 각도를 나타낸다.

이 식에서 보면 격자를 평행하게 만들수록 무아레 무늬의 간격은 더 넓어진다는 것을 알 수 있다.⁽⁸⁾

무아레 무늬를 이용한 3차원 측정기로는 영사식 무아레 방식이 있다. 그림자식 무아레는 기준 격자를 물체와 근접하게 위치하여 측정하는 반면 영사식 무아레는 영사기를 이용하여 측정하고자 하는 물체에 격자를 투영시키는 방법을 사용한다.

영사식 무아레는 크게 영사시스템(Projection System)과 결상시스템(Viewing System)으로 나눌 수 있다. 영사시스템은 영사 격자의 투영을 위한 장치이고 결상시스템은 투영된 격자 이미지를 받는 역할을 한다. 영사식 무아레에 사용되는 광원은 일반적으로 텅스텐 할로겐 백색광을 사용하고, 균일한 집광을 위해 광원과 투영격자 사이에

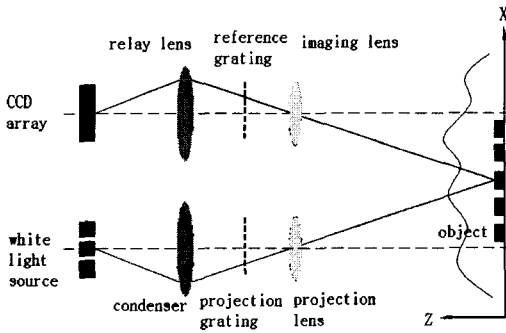


Fig. 2 Optical configuration of projection moire

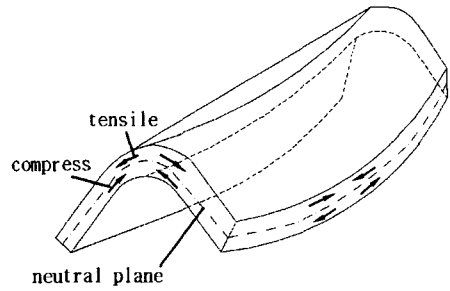


Fig. 3 Warp of plate by bending

Table 1 Minimum bending radius of others material

재료	상태	Rmin/t
극연강	아연	0.5 이하
반경강	아연	1 ~ 1.5
동	아연	1 ~ 2
배럴륨동	연함	0.5이하
배럴륨동	단단함	2 ~ 5
알루미늄		0.5이하
알루미늄합금	연함	1이하
알루미늄합금	단단함	2 ~ 3
두랄루민	풀림	1이하
두랄루민	단단함	3 ~ 4
마그네슘합금	풀림(상온)	4 ~ 5
마그네슘합금	단단함(상온)	8 ~ 9
마그네슘합금	단단함(100°F)	6 ~ 7

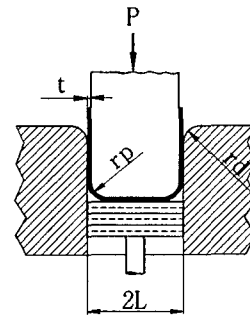


Fig. 4 Bottom press bending by U shaped-Die

는 집광 렌즈가 설치된다. 이때 동일한 피치를 가지는 한쌍의 직선격자는 투영격자(Projection Grating)와 기준격자(Viewing Grating)로 사용된다.

Fig. 2는 일반적인 영사식무아래의 구조를 나타내고 있다.

2.2 프레스 금형

판에 굽힘(bending) 변형의 힘을 가하게 되면 Fig. 3과 같이 굽힘 안쪽 층에서는 압축변형이 바깥쪽 층에서는 인장변형이 생기게 된다. 그리고 그 중간에는 연신·수축이 없는 이른바 중립면이 생기게 된다. 판두께는 굽힘에 의해 감소하며 감소 비율은 판두께에 대해서 굽힘 반경이 작을수록 현저하게 나타나지만 가공 방법에 의해 그 값은 다르게 나타난다.⁽⁹⁾

굽힘 가공시 굽힘반경이 아주 작아지면 더 이상의 소성 변형이 일어나지 못하고 파단되는데

이 균열이 생기지 않고 굽혀지는 안쪽면의 최소 반경을 최소굽힘반경이라 한다. 신장이 큰 연질 재료일수록 최소굽힘반경은 작아지고, 같은 재료이라도 열처리상태에 따라 다르고 판두께에 따라서도 다르다. 즉 같은 굽힘반지름의 내측에 붙어 있어도 재료가 두꺼우면 외측의 신장은 커지므로 두꺼운 재료쪽이 갈라지기 쉽다. 따라서 보통 최소굽힘 반지름은 판두께의 배수로 표시한다. Table 1에 각종 재료에 대한 최소굽힘반경을 나타내었다.

굽힘가공에서 가공력은 재료의 성질, 제품의 치수 및 가공 방법에 의해 결정된다. U형 다이(die)에 의한 굽힘에서 굽힘 가공력(P)는 다음과 같이 구할 수 있다.⁽⁹⁾

- 자유굽힘

$$P = \frac{C_2}{3} \cdot b \cdot t \cdot \sigma_B \quad (2)$$

- 바닥밀기 굽힘

$$P = \frac{C_2 \cdot b \cdot t \cdot \sigma_B}{3} \left(1 + \frac{t}{2L}\right) \quad (3)$$

여기서 σ_B 는 재료의 인장강도(kgf/mm²), b 는 판 폭(mm), t 는 판두께(mm) 그리고 $2L$ 은 다이의 어깨폭(mm)을 나타내며, C_2 는 1.0~2.0 범위의 상수를 나타낸다. 이때 r_d 나 r_b 의 값이 작을 때는 큰 값을 선택한다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

3.1.1 Exyma-E300

exyma-E300은 측정영역에 비하여 높은 측정 분해능을 가지는 무아레 방식과 간결한 시스템 구성에 용이한 위상천이 방식의 장점을 결합시킨 비접촉식 3D Scanner이다.

스캐닝 모드를 3단계(fast, precision 그리고 high precision mode)로 선택함으로써 작업 효율성을 향상시킨 제품이며 본 제품의 사양을 Table 2에 나타내었다.

3.2 실험 방법

본 실험에서 사용된 측정물은 실제 현장에서 생산중인 제품으로써 자동차 번호판을 부착하는

부위인 베이스 트렁크 몰딩부이다. 이 제품은 Hitachi Zosen사의 1,200ton 프레스를 이용하여 순차금형(Progressive mould)방식으로 성형하였다. Fig. 5는 본 실험에 사용된 제품을 성형하는데 사용된 프레스를 나타내고 있고, Fig. 6은 완성된 제품을 나타내고 있다.

본 실험에 사용되어진 제품의 재질은 심가공용 3종 냉간압연 강판으로서 본 제품의 재질에 관한 데이터는 Table 3에 나타내었다.

본 실험에서는 오차를 최소화고, 측정시 나타날 수 있는 불필요한 데이터의 개짐을 방지하기 위해 홀 가공이 이루어지지 않은 완성 직전의 제품을 측정에 사용하였다. 그리고 무아레 및 광학식 방식의 3차원 측정기의 경우 가시광선에 대해



Fig. 5 1200 ton-hydraulic press

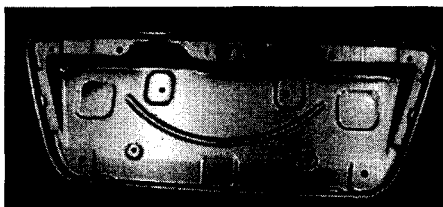


Fig. 6 The shape of product

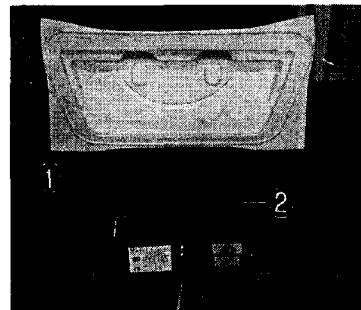


Fig. 7 Equipment setting

Table 2 Exyma-E300 Specifications

Scanning Area(mm)	300×225×200
Scanning Time	Fast Mode(0.7sec)/ Precision Mode(1.8sec)/ High Precision Mode(3.5sec)
Optimal Scanning Distance	800mm
Maximum Number of Data Point (per Scan)	300,000 points
Operating Temperature	15℃ ~ 30℃
Scanning Method	Moire & PMP Method
Product Size(mm)	295×210×78
Product Weight	2.6kg
Camera Resolution	640×480pixels
Power	AC110 ~ 240V, 50Hz/60Hz
Light Source	Laser Class II Type
PC/OS	Pentium IV 1GHz, 512MB Ram & higher, Windows2000/NT

Table 3 Material properties of cold-rolled steel plate

Chemical compositions (%)					Hardness	
C	Si	Mn	P	S	HRB	HV
Max 0.08	-	Max 0.40	Max 0.30	Max 0.30	Max 57 Max 65	Max 105 Max 115
Min elongation percentage (%)					Tensile strength	
0.25 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 1.0	1.0 ~ 1.6	0.6 ~ 2.5	2.5 ~ 43	kgf/mm ² (N/mm ²) Min 270
36	38	40	41	42	43	Min 270

민감한 부분이 있으므로 빛을 차단하여 암실 조건에서 실험을 행하였다. 또한 정확한 데이터의 획득을 위해 측정물은 빛의 반사율이 높은 흰색 계통의 도료를 사용하여 도색을 하였다. 이때 도색 두께는 측정기의 오차 범위(100µm)를 벗어나지 않으므로 무시하기로 한다.

Fig. 7에서 보여지는 것처럼 측정물(①)을 흰색 도료를 사용하여 도색하였으며, 3차원 측정기를 사용하여 측정을 하였다. 이때 측정물의 크기가 exyma-E300(②)의 최대측정범위보다 넘어서므로 한번에 전체 형상을 얻어내는 것이 불가능하다. 따라서 본 실험에서는 측정물을 여러 부분으로 나누어 측정하였다.

획득된 데이터를 역설계 프로그램을 사용하여 필터링(filtering)하고 3차원 서피스(surface) 형상을 구하였다. exyma-E300은 CCD 카메라를 사용하는 영사식 무아레방법을 사용하므로 렌즈에 의한 퍼스펙티브 오차가 발생할 수 있다. 따라서 좀더 정확한 데이터를 획득하기 위해 데이터를 서피스 형상으로 만든 뒤 사각 외곽부를 잘라내었다.

그리고 특정점을 이용하여 각 부분을 병합(merging)하여 완성된 하나의 형상을 만들었다.

이 완성된 3차원 데이터를 CAD 데이터와의 검사를 통해 일치도를 구하고 오차부의 원인을 분석하였다.

Fig. 8은 본 연구의 실험 방법을 나타내고 있다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 9는 역설계 프로그램을 이용하여 데이터를 머지한 후의 3차원 서피스 형상을 나타내고 있으며, Fig. 10은 설계 프로그램을 이용하여 설계한

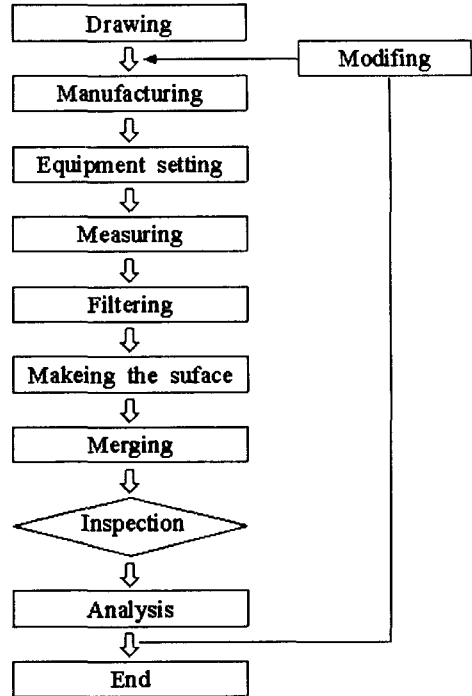


Fig. 8 Flow-chart for the experiment

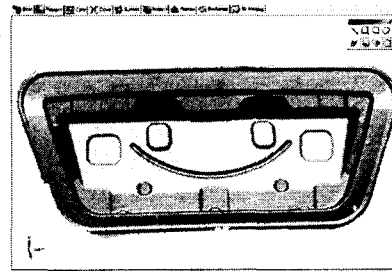


Fig. 9 The 3D shape of final product after merging using reverse engineering program

CAD파일을 나타내고 있다.

Fig. 11은 역설계 프로그램에서 측정 데이터와 CAD 데이터를 불러내어 정렬한 모습을 보여주고 있다. ③은 측정에 사용되어진 제품의 CAD 데이터이고, ④는 측정된 데이터이다. 이 두 데이터를 특정점을 이용하여 정합하고, 정합한 데이터의 편차를 비교 검사하였다. 그리고 검사 결과를 Fig. 12에 나타내었다.



Fig. 10 3D-CAD data by drawing program

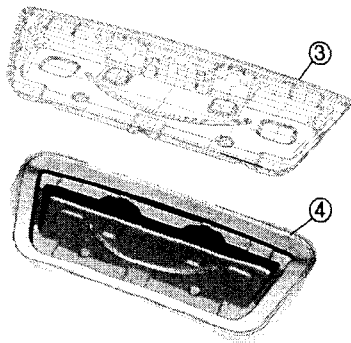


Fig. 11 CAD(③) and measured(④) data before inspection

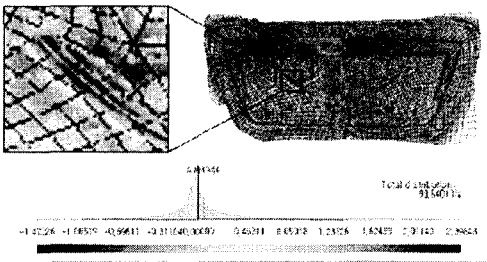


Fig. 12 Comparison of data between CAD and measurement

전체의 형상을 비교했을 때 산포도의 밀집도가 높게 나왔으며, 전체 정규분포가 99.64%로 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 굽힘 과정을 거치지 않은 부위의 경우에는 오차가 거의 없이 일치하는 것으로 나타났으나 굽힘 가공이 행하여진 부위에서는 오차가 발생하였다. 확대 사진을 살펴보면 반경이 작고 비교적 깊게 가공된 부위에서 색의

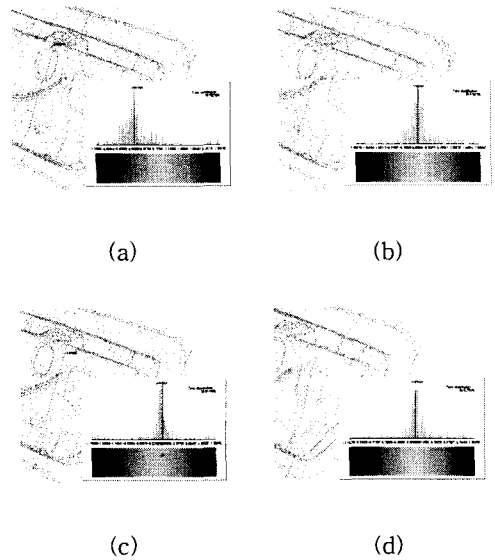


Fig. 13 Comparing the measured data

변화가 많음을 알 수가 있다. 이는 다른 부위에 비해 오차가 많이 나타남을 의미한다.

그리고 전체가 아닌 각각의 단면을 비교하여 보면 굽힘 가공이 많이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 각 단면별 오차 비교를 Fig. 13에 나타내었다.

각 단면에서의 검사 결과는 각각 (a) 99.60%, (b) 99.62%, (c) 99.61%, (d) 99.62%로 정규분포가 나타났다. 굽힘 가공이 많거나 심가공이 많은 부분에서 오차가 크게 발생하였다.

Fig. 13(c)에서 보여지고 있는 단면 프로파일을 통해 측정물 라운드부의 수치비교를 Fig. 14에 나타내었다. 라운드 ⑤에서는 측정값과 CAD값의 반경이 각각 4.99mm와 4.58mm가 나왔으며(Fig. 14(b)) 라운드 ⑥에서는 각각 2.83mm와 2.29mm가 나왔다(Fig. 14(c))

측정값이 CAD 데이터보다 라운드부의 반경이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 금형 가공 후 스프링 백 현상이 발생하였음을 짐작할 수 있다. U형 굽힘의 경우에는 뒷받침판 불임 다이를 사용해서 적당한 크기의 배압을 펀치(punch) 아래면 부분의 재료에 가하면서 굽히기를 하면 스프링백 현상을 줄일 수 있다.

라운드 부의 오차에 대한 다른 원인으로는 금형의 마모를 들 수 있다. 금형은 일회성이 아니

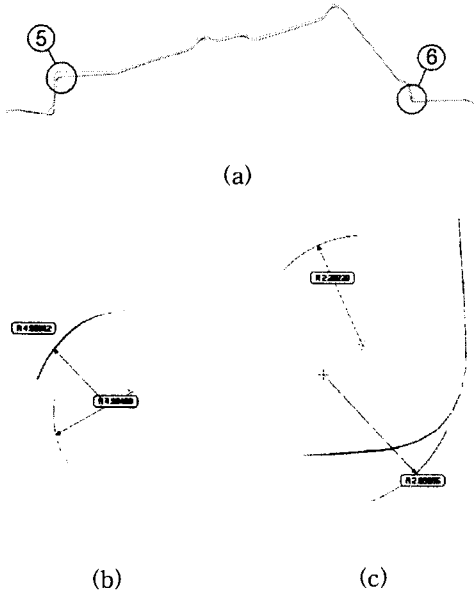


Fig. 14 Comparing measure and CAD data of round

라 반복해서 사용하는 것이고 금형 작업시 큰 압력을 이용하여 가공하는 것이므로 마모가 일어나는 것은 당연한 현상이다. 금형의 마모에 의해 평판에 필요한 압력 전부가 전달되지 않게 되므로 그 부분 또는 그 부근에 굽힘이 완전히 일어나지 않아 오차가 생기게 되는 것이다.

이를 예방하기 위해서는 적절한 윤활을 통해 금형을 보호하고, 금형의 미세한 마모량일지라도 지속적인 검사를 통하여 수리 및 교체작업을 행하여야 한다.

그리고 제품 형상에 있어 균열 및 주름은 발견되지 않았으므로 금형 설계에 있어서 최소 굽힘 반경의 값들은 문제가 없는 것으로 판단된다.

금형의 마모에 의한 오차를 확인하기 위하여 사용된 금형에 대해 역설계 방법을 이용하여 검사하여 보았으나 마모는 거의 일어나지 않았음을 확인할 수 있었다. 그리고 스프링백 현상을 감소시키기 위한 방안으로 프레스 압력을 10% 증가시켜 제품을 성형하여 보았다. 그 제품을 재측정하여 전체 형상을 비교하여 보았으며 비교 결과를 Table 4에 나타내었다.

프레스 압력을 10% 증가시켜 제품을 성형한 후의 결과를 보면 전체 정규분포가 99.87%로 전체 형상의 정밀도가 향상되었음을 확인할 수 있

Table 4 Comparing before and after modification

Measurement Part	Before data	After data
Total distribution	99.64 %	99.87 %
Fig. 13 (a)	99.60 %	99.75 %
Fig. 14 (b)	99.62 %	99.80 %
Fig. 14 (c)	99.61 %	99.77 %
Fig. 15 (d)	99.62 %	99.81 %
Fig. 14 Radius ⑤	4.99 mm	4.60 mm
Fig. 14 Radius ⑥	2.83 mm	2.32 mm

다. 그리고 각각의 단면의 정밀도 역시 일정하게 향상되었음을 볼 수 있다. 제품의 라운부를 살펴보면 Fig. 14의 ⑤와 ⑥의 반경이 CAD data에 근접하게 성형되었음을 알 수 있다.

프레스 압력을 좀더 조절하여 제품을 성형하게 되면 좀더 정확한 제품을 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 그러나 이 프레스 압력을 조절한 후 생산된 제품의 결과에서는 기계적인 오차보다는 레이저 스캐너(Laser scanner)의 오차가 거의 대부분을 차지하는 것으로 생각된다.

개선 전과 개선 후의 결과를 볼 때 평판 부위에서는 오차가 없이 일치하는 것으로 나타남을 확인할 수 있다. 측정값과 CAD data의 비교시 오차의 대부분의 원인은 라운드부에서 나타나고 있으며 이는 레이저 스캐너의 측정시 나타나는 난반사의 영향 및 측정기의 오차라 판단되어진다.

본 실험에 사용되어진 Exyma-E300은 무아레 방식을 사용하고 있다. 무아레 방식의 비접촉식 스캐너의 경우 넓은 면을 빠른 시간에 측정할 수 있는 장점을 가지고 있는 반면 슬림광 외 다른 방식의 스캐너보다 정밀도는 떨어진다. 따라서 난반사를 없앨 수 있는 연구를 병행하여 난반사를 줄이고 정밀도가 높은 측정 장비를 사용하여 측정을 한다면 좀더 정밀한 제품을 생산할 수 있을 것이라 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서 프레스 성형된 제품을 3차원 비접촉식 스캐너를 이용해 측정하고 역설계 프로그램을 사용하여 CAD 데이터와 비교해보았다.

이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 역설계를 통해 얻어진 데이터와 설계 데이터의 비교를 통하여 얻어진 검사 결과를 금형 생

산 공정에 적용함으로써 프레스 금형 제품의 정밀도를 높일 수 있었다.

(2) 측정 데이터와 설계 데이터의 비교를 통한 검사 결과 전체 정규분포가 99.64 %로 높게 나왔으나 라운드 부에서 9~25% 이상 오차가 나타남을 확인하였다. 여러 결과를 종합하여 스프링 백 현상이 원인이라 판단되었다.

(3) 프레스 압력을 10 % 증가하여 성형한 결과 전체 정규분포가 99.87 %로 향상되었다. 그리고 라운드 부는 4~13%의 오차가 발생하였으나 개선후 CAD data에 근접하였음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 동아대학교 신소재 가공청정 공정개발 연구센터(과제번호 : R12-2002-058-06001-0)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

(1) Lee, H. Z., Ko, T. J. and Kim, H. S., 1999, "Rational B-spline Approximation of Point Data For Reverse Engineering," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 160~168.

(2) Woo, H. J. and Lee, K. H., 1999, "Rapid Prototyping from Reverse Engineered Geometric Data," *Journal of the Korean Society of Precision*

Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 95~107.

(3) Choi, Y. and Park, J. P., 1999, "Reverse Engineering System Based on 3D Digitizer," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 102~109.

(4) Lee, S. Y. and Lim, S. G., 2001, "Three Dimensional Measurements Using Machine Vision," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 18~22.

(5) Park, Y. C., Jeong, K. M., Jang, S. J. and Park, K. K., 2001, "A Study on the Grating Projection method using Polygon Mirror," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 6, pp. 159~165.

(6) Park, Y. C., 2000, "The Principle and Applications of Moire Phenomenon," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 6, pp. 25~31.

(7) Kim, S. W., Choi, Y. B., Oh, J. T. and Jung, M. S., 1998, "Phase-shifting Grating Projection Moire Topography," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 22, No. 5, pp. 850~857.

(8) Jang, S. and Joo, J. H., 2003, "Introduction to Classical and Modern Optics," Dooyang Pub. Co., Seoul, pp. 260~263.

(9) Kim, N. H. and Choi, J. S., 2000, "Easy mold," Gijeon Pub. Co., Seoul, pp. 23~26.