한국공작기계학회 2003 추계학술대회 논문집 pp.412~419

프레스 성형 공정 개선을 위한 역설계 시스템의 적용

김수용*, 김민주+, 이승수+, 전언찬+, 김순경++

Application of Reverse Engineering System for Improvement of Press Forming Process

S. Y. Kim*, M. J. Kim+, S. S. Lee+, E. C. Jeon+, S. K. Kim++

Abstract

The most product is manufactured by mould in usual life. From drawing to manufacturing is to be automatically. But inspection is handwork usually. An alternative idea of this problem is reverse engineering. In this study, press forming is measured by 3D non-contact coordinate measuring machine and problem will be analyzed by comparing with 3D data. Through the study, it will achieve improvement of press mould process.

Key Words : 영사식 모아레(Projection Moire Topography), 역설계(Reverse Engineering), 프레스 금형(Press mould)

1. 서 론

과거 다품종 대량생산 시대에서는 제품의 개발 기간이 제품 경쟁력에 크게 영향을 미치지는 않았다. 그러나 소비자의 욕구가 다양화되고 소품종 대량생산 시대에 접어들면서 제품의 개발 기간은 제품 경쟁력을 좌우하는 중요한 요소로 자리잡게 되었다. 그리고 제품의 디자인이 소비자의 구매 여부에 큰 영향을 미치고 있다. 따라서 제품의 디자인이 점차 화려해지고 예전의 직선 중심이 아닌 자유 곡면 중심의 제품이 선보이고 있다. 이러한 추세는 제품 개발에 있어 어려움으로 작용하고 있으며 이는 개발 단계에서의 컴퓨터 활용을 증대시키는 원인이 되었다.

주변에 사용하고 있는 대부분의 제품들은 금형을 이용한 제품이 주를 이루고 있다. 자동차, 기계 부품, 플라스틱류의 가정 용품 등 금형이 제품 생산에 절대적인 우위를 차지하고 있다. 제품 개발 주기가 짧아지면서 설계에서부터 가공에 이르기까지 컴퓨터가 사용되게 되었으나 제품 검사는 대부분의 금형 업체들이 수작업으로 이루어지고 있는 실정이다. 이는 많은 시간의 소비와 함께 수작업에 의한 오차요인을 내포하고 있어 시대의 흐름에 역행하고 있다 할 수 있다.

이것에 대한 대안으로 역설계를 들 수가 있는데 역설계(Reverse engineering)란 접촉식 또는 비접촉식 측정방법을 통하여 파트형상의 점 데이터를 생성하고 이를 필터링

* 주저자, 동아대학교 대학원 기계공학과 (9630208@hanmail.net)
주소: 604-714 부산시 사하구 하단2동
+ 동아대 기계산업시스템공학과
++ 동의공업대 자동차과

과정을 거쳐 3차원 CAD 모델을 만드는 일련의 과정을 뜻한다.[1] 역설계를 위한 3차원 형상측정기술로 과거에는 접촉식 3차원 좌표측정기(CMM : coordinate measuring machine)에 의존하였으나 측정대상물에 손상을 입힐 우려가 있고 데이터 증가에 의한 측정시간 과다에 따른 문제점이 발생함에 따라 광삼각법(optical triangulation), 광촉침식(optical profilometry), 동촛점 현미경(confocal microscopy), 모아레토포그라피(moire topography)등의 다양한 비접촉 3차원 측정방법이 연구되었다.[2]

본 연구에서는 베이스 트렁크 몰딩부의 금형 제품을 모아레(moire)방식과 위상천이(PMP : phase measuring profilometry)의 장점을 결합시킨 exyma-E300을 이용하여 측정하였다. 이 결과 데이터를 바탕으로 금형 제품의 오차를 검사하여 제품의 문제점 및 오차 요인을 분석하여 보았다. 금형 제품의 역설계를 통한 검사를 통하여 수작업으로 행하여지고 있는 과정의 시간 단축 및 정밀도 향상을 통한 프레스 금형 공정 개선을 이루고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1 역설계(Reverse engineering)

역설계(Reverse engineering)란 일련의 제품을 접촉식 또는 비접촉식 측정장비를 사용하여 3차원 CAD 데이터를 만드는 일련의 과정을 의미한다. 역설계는 물리적인 형상을 측정장비를 이용하여 점, 선 또는 면의 데이터를 만들고 이를 필터링하여 데이터를 다듬게 된다. 이 데이터를 프로그램을 이용하여 3차원 CAD 데이터로 조합하는 것이다.[3] 이와같은 역설계의 과정을 Fig. 1에 나타내었다.

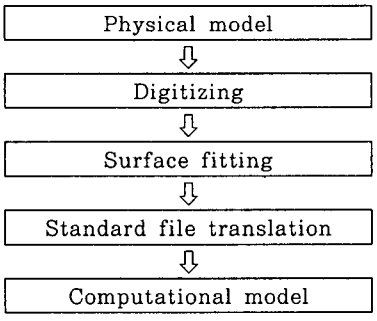


Fig. 1 The process of reverse engineering

수학적으로 정의하기 힘든 자유곡면의 경우에는 먼저 찰흙이나 나무를 가지고 먼저 시작품을 만들게 된다. 이를 수정하여 제품의 형상을 만들게 되는데 이때 필요한 3차원 CAD 데이터를 구하기 위해서는 역설계라는 과정이 필수적이다. 이렇듯이 CAD 데이터가 없는 제품이나 제품의 수정으로 인한 설계 변경등의 경우 역설계가 필요하게 된다.

과거에는 이런 역설계의 과정이 수작업에 의한 노동집약적이고 과다한 시간이 소용되고 실물과의 오차도 많았지만 최근 컴퓨터의 발달과 측정장비의 발달로 인해 빠른시간에 보다 정확한 데이터를 얻을수 있게 되었다.

2-2. 모아레 무늬

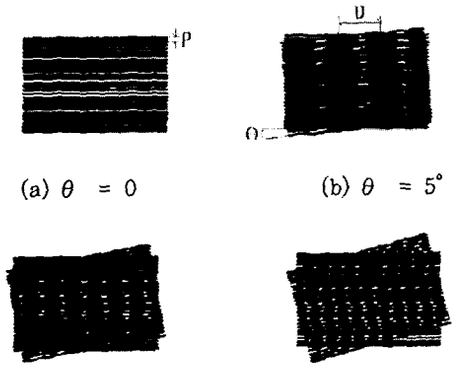
모아레란 프랑스어로 고대 중국에서 수입된 비단위의 물결무늬를 일컫는 말이다. 모아레는 최근 두개이상의 주기적인 패턴(periodic pattern)이 겹쳐질 때 만들어지는 간섭무늬(interference fringe)를 가르키는 광범위한 분야에서 다양하게 사용되어지고 있다. 이는 학문적으로 비슷한 주기를 가지는 여러개의 격자가 겹쳐질 때 맥놀이(beating)현상에 의해 나타나는 저주파의 무늬로 정의할 수 있다.[4]

일상 생활에서 쉽게 발견할 수 있는 모아레 무늬의 한 예로 모기장을 들 수 있다. 겹쳐진 모기장에서 한 장을 미세하게 움직이면 격자 모양 이외 증폭되어진 어두운 무늬를 발견할 수 있는데 이것이 모아레 무늬이다.

이런 모아레 무늬를 이용하여 1970년 Meadows와 Takasaki는 그림자식 모아레법을 개발하였으며 그 뒤 많은 연구를 통하여 Yoshino에 의해 영사식 모아레법이 제안되었다. 그리고 Kufawinska는 3차원 정보를 포함하는 모아레 무늬해석법으로 위상천이법을 적용함으로써 측정분해능의 향상을 가져왔다.

그러나 여전히 위상천이오차 및 모아레법을 사용할 경우 발생할 수 있는 여러 측정오차가 있어 이를 제거하려는 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

Fig. 2는 격자간격이 P인 동일한 두 줄무늬에서 한 장을 5° 만큼 회전시켰을 때 나타나는 모아레 무늬를 보여주고 있다. 겹침무늬의 간격이 점차 달라짐을 확인할 수 있다.



(a) θ = 0 (b) θ = 5°

(c) θ = 10° (d) θ = 15°

Fig. 2 Example of moire pattern

격자 간격이 P일 때 반시계방향으로 θ 만큼 회전시키게 되면 겹침 무늬 사이의 간격(D)은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \frac{P}{2\sin(\theta/2)} \quad (1)$$

2-3. 영사식 모아레

영사식 모아레는 기준격자를 물체와 근접하게 위치하는 그림자식 모아레와는 달리 영사기를 이용하여 측정하고자 하는 물체에 격자를 투영시키는 방법을 사용한다.

이런 영사식 모아레는 영사 격자의 투영을 위한 영사시스템(projection system)과 투영된 격자 이미지를 받기 위한 결상시스템(viewing system)으로 나눌 수 있다. 광원으로는 일반적으로 텅스텐 할로겐 백색광을 사용하고, 광원과 투영격자 사이에는 균일한 집광을 위한 집광렌즈가 설치된다. 이 때 동일한 피치를 가지는 한쌍의 직선격자는 각각 투영격자(projection grating)과 기준격자(viewing grating)으로 사용되어진다.

일반적인 영사식모아레의 구조는 Fig. 3에 나타내었다.

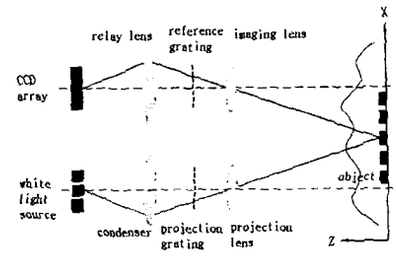


Fig. 3 Optical configuration of projection moire.

일반적으로 영사식 모아레에 사용되는 직선 격자의 투과도(transmittance)가 코사인분포를 가진다고 가정하고 수학적인 모델로 표현하면 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T_p(x) = A\left[1+\cos\frac{2\pi x}{g}\right] \quad (2)$$

($T_p(x)$: 격자의 투과도, A : 격자의 모듈레이션값, g : 격자의 피치)

이 격자가 투영렌즈를 통해서 물체에 투영되었을 경우, 격자의 이미지는 다음과 같다.

$$I_p(x,y) = I_p R(x,y) A\left[1+\cos\frac{2\pi(x+h(x,y)\tan\theta_1}{m_p g}\right] \quad (3)$$

(m_p : 투영렌즈의 배율,

$h(x,y)$: 임의의 측정점 $P(x,y)$의 광축방향으로의 높이,

θ_1 : 측정점 $P(x,y)$ 에서의 투영각도,

I_s : 광원의 광강도

$R(x,y)$: 측정대상물체의 반사도)

식(3)에서 광강도분포를 살펴보면 코사인 함수의 위상이 격자에 의해서만이 아닌 측정점의 높이 $h(x,y)$ 에 의해서도 영향을 받고 있음을 알 수 있으며 기준격자 역시 투영격자와 동일한 피치를 가지므로 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T_r(x) = A\left[1+\cos\frac{2\pi(x-\delta)}{g}\right] \quad (4)$$

δ는 투영격자와 기준격자사이의 위상 차이를 변위

로 나타낸 값이다.

여기서 기준격자가 결상렌즈를 통해 측정물체에 가상적으로 투영된다고 가정하면, 가상으로 투영된 기준격자의 광강도분포는 다음과 같다.

$$I_r(x,y) = A\left[1+\cos\frac{2\pi(x-\delta)+h(x,y)\tan\theta_2}{m_v g}\right] \quad (5)$$

(m_v : 결상렌즈의 배율,

θ_2 : 측정점 $P(x,y)$ 로의 투영각도)

식(3)과 식(5)의 가상이미지가 겹쳐지면 간섭무늬가 발생하는데 이렇게 형성된 광강도분포중 가장 낮은 주파수의 항이 모아레 무늬를 나타낸다. 식(3)과 식(5)의 곱셈 후 네가지 항 중 모아레 무늬를 나타내는 항을 정리하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$I(x,y) = B(x,y)\left[1+\cos\left[\frac{2\pi}{mg}(h(x,y)\cdot(\tan\theta_1-\tan\theta_2)+\delta\right]\right] \quad (6)$$

여기서 $B(x,y)=I_s A^2 R(x,y)$ 이고 투영렌즈와 결상렌즈의 비율은 $m=m_p=m_v$ 로 가정한다.

2-4. 프레스 금형

판에 bending 변형의 힘을 가하게 되면 Fig. 4와 같이 bending 안쪽 층에서는 압축변형이 바깥쪽 층에서는 인장변형이 생기게 된다. 그리고 그 중간에는 연신 · 수축이 없는 이른바 중립면이 생기게 된다. 판두께는 bending에 의해 감소하며 감소 비율은 판두께에 대해서 bending 반경이 작을수록 현저하게 나타나지만 가공 방법에 의해 그 값은 다르게 나타난다.[5)]

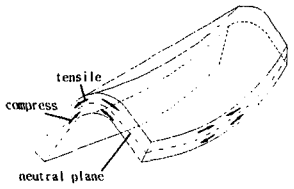


Fig. 4 Warp of plate by bending

bending 가공서 굽힘반경을 작게 하면, 바깥쪽이 신장하지 않게되어 균열이 발생하게 되는데 이 균열이 생기지 않고 굽혀지는 안쪽면의 최소반경을 최소굽힘반경이라 한다. 신장이 적은 재료일수록, 판두께가 두꺼운 재료일수록 최소굽힘반경을 커진다. Table 2에서 각종 잴에 대한 최소굽힘 반경을 나타내었다.

Table 1. Minimum bending radius of others material

재료	상태	최소굽힘반지름
극 연 강	압연	0.5t 이하
반 경 강	압연	(1~1.5)t
18-8스테인레스강	연	(0.5~1)t
18-8스테인레스강	반경	(2.5~4)t
황 동	연	0.5t 이하
알 루 미 늄	연	0.5t 이하
알루미늄합금	연	1t 이하
알루미늄합금	경	(2~3)t
마그네슘합금	연	(4~5)t

굽힘가공에서 가공력은 재료의 성질, 제품의 치수 및 가공 방법에 의해 결정된다. U형 die에 의한 굽힘의 경우는 다음과 같이 구할수 있다.

- 자유굽힘

$$P=\frac{C_2}{3}\cdot b\cdot t\cdot \sigma_B \quad (7)$$

- 밑누름 굽힘

$$P=\frac{C_2\cdot b\cdot t\cdot \sigma_B}{3}\left(1+\frac{t}{2L}\right) \quad (8)$$

(P : 굽힘가공력(kg)

σ_B : 재료의 인장강도(kgf/mm^2),

b : 판폭(mm)

t : 판두께(mm), 2L : Die의 어깨폭(mm)

C_2 : 1.0~2.0 범위의 상수. r_d 나 r_p 의 값이 작을 때는 큰 값을 선택)

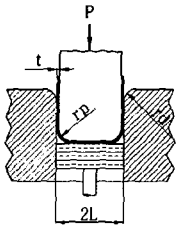


Fig. 5 Bottom press bending by U shape Die

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

3.1.1 exyma-E300

exyma-E300은 측정영역 대비 높은 측정 분해능을 가지는 모아레(Moire)방식과 간결한 시스템 구성에 용이한 위상천이(PMP : Phase Measuring Profilometry)의 장점을 결합시킨 비접촉식 3D Scanner이다.

Fast, Precision 그리고 High Precision Mode의 Scan 모드를 선택함으로써 작업 효율성을 향상시킨 제품이며 본 제품의 사양을 Table 2에 나타내었다.

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)	300,000points
Operating Temperature	15℃~30℃
Scanning Method	Moire & PMP Method
Product Size	295mm×210mm×78mm
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

3.2 실험방법

본 실험에 사용되어진 측정물은 자동차 번호판을 장착하는 부위인 베이스 트렁크 몰딩부로써 1,200ton 프레스를 이용한 순차금형(Progressive mould)방식으로 성형하였다.

Fig. 6에 본 실험에 사용된 측정물을 성형하는데 사용된 프레스를 나타내었고, Fig. 7에 순차금형의 결과 완성된 제품을 나타내었다.

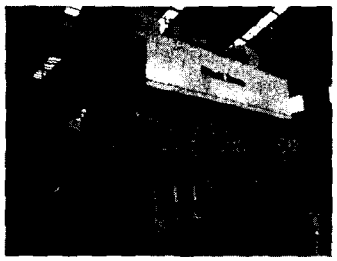


Fig. 6 Press machine(1,200 ton)

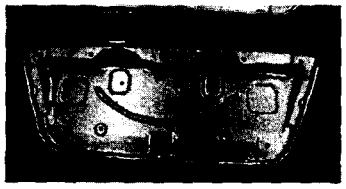


Fig. 7 The shape of product

본 실험에 사용된 측정물은 3종인 심가공용 냉간압연 강판을 성형한 것이다. 본 측정물의 재질에 관한 수치는 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Material standard

화학성분(%)					경도	
C	Si	Mn	P	S	HRB	HV
0.08 이하	-	0.40 이하	0.30 이하	0.30 이하	57이하 65이하	105이하 115이하
최소연신율(%)						인장강도 kgf/mm^2 (N/mm^2)
0.25~0.40	0.40~0.60	0.6~1.0	1.0~1.6	0.6~2.5	2.5~	
36	38	40	41	42	43	270이상

본 실험에서는 측정시 나타날 수 있는 불필요한 데이터의 깨짐을 방지하기 위해 홀 가공이 이루어지지 않은 완성 직전의 제품을 측정에 사용하였다. 그리고 모아레 방식을 이용한 3차원 측정기의 경우 가시광선에 대해 민감한 부분이 있으므로 빛이 들어오지 않는 밀실 조건을 만들었으며 보다 정확한 측정을 위해 측정물은 빛의 반사율이 높은 흰색 계통의 도료를 사용하여 도색을 하였다.

Fig. 8에서 보여지는 것처럼 측정물(①)을 도색하였으며 측정부위에 맞추어 3차원 측정기를 세팅하고 측정을 하였다. 측정물이 exyma-E300(②)의 최대 측정범위 밖이므로 한번에 전체형상을 다 얻어내는 것이 불가능하여 여러번 나누어 부분부분을 측정하였다.

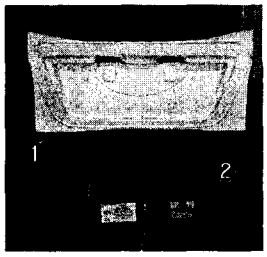


Fig. 8 Equipment setting

이 데이터를 RapidForm을 사용하여 필터링(filtering)하고 3차원 surface 형상을 구하였다. exyma-E300은 CCD 카메라를 사용하는 영사식 모아레방법을 사용하므로 렌즈에 의한 퍼스펙티브 오차가 발생할 수 있다. 따라서 좀더 정확한 데이터를 위해 데이터를 surface 형상으로 만든 뒤 사각 끝단을 일부 잘라내었다.

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

이 완성된 3차원 데이터를 CAD 데이터와의 검사를 통해 오차율을 구하고 오차부의 원인을 분석하였다. 그리고 적합성을 판단하고 허용 오차에 벗어나게 되면 설계 또는 가공공정부터 원인을 해결해 나간다.

본 연구의 실험 방법을 Fig. 9에 나타내었다.

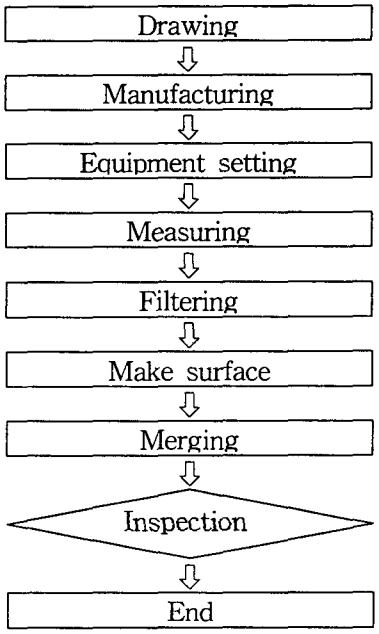


Fig. 9 Flow-chart for equipment method

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 10과 11은 각각 RapidForm을 이용하여 데이터를 머징(Merging)한 후의 3차원 형상과 CATIA를 이용하여 drawing한 CAD파일의 형상을 나타내고 있다.

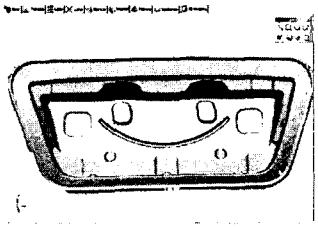


Fig. 10 The 3D shape after merging using RapidForm

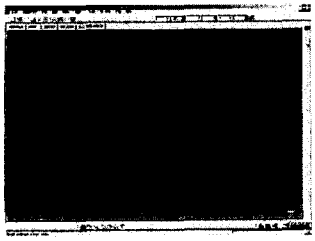


Fig. 11 3D CAD data by CATIA

이 두 데이터를 RapidForm을 이용하여 검사(Inspection)를 해 보았고 그 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

전체의 형상을 비교했을 때 산포도의 밀집도가 높게 나왔으며 전체 정규분포가 99.64%로 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 굽힘 또는 드로잉 과정을 거치지 않은 부위의 경우에는 오차가 거의 없이 일치하는 것으로 나타났으나 굽힘 또는 드로잉 가공이 행하여진 부위에서는 오차가 발생함을 알 수가 있다. 확대 사진을 살펴보면 반경이 작고 비교적 깊게 가공된 부위에서 색의 변화가 많음을 알 수가 있다. 이는 다른 부위에 비해 오차가 많다는 뜻이다.

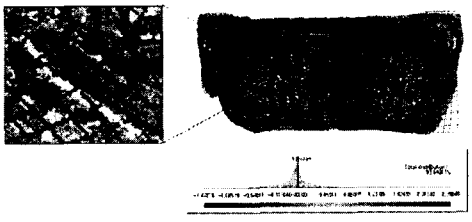
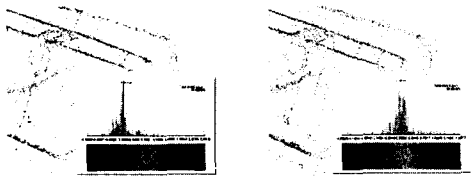
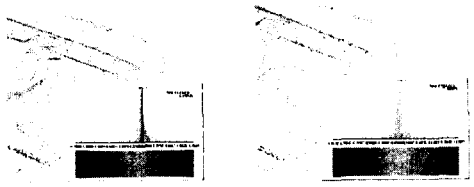


Fig. 12 Comparing measure and CAD data

그리고 전체가 아닌 각각의 단면을 비교하여 보면 굽힘 또는 드로잉 가공이 많이 이루어진 부위에서는 오차가 그만큼 더 늘어남을 알 수 있다. 각 단면별 오차 비교는 Fig. 13에 나타내었다.



(a) (b)



(c) (d)

Fig. 13 Comparing each section measuring data

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 더 나타남을 확인할 수 있다.

이는 두가지 원인으로 생각되어진다.

첫 번째 원인으로 스프링백(Spring back)현상이다. 스프링백 현상은 굽힘가공 후에 제품을 die에서 뽑아낸 뒤 판의 변형이 약간 원형의 상태로 돌아가 원하는 형상과 일치하지 않는 것을 말한다.

스프링백을 감소하기 위해서는 굽힘이 일어나는 부분만을 특별히 강하게 압축하여 판의 길이 방향으로 신장을 주거나 성형의 마지막 단에 판의 폭방향으로부터 압축력을 가하는 방법이 있다. U형 굽힘의 경우에는 Fig. 5에서 보여지는 뒷받침판 붙임 die를 사용해서 적당한 크기의 배압을 punch 아래면 부분의 재료에 가하면서 굽히기를 하면 스프링백 량을 감소시킬수 있다.

두 번째 원인으로는 금형의 모서리부 마모이다. 금형은 일회성이 아니라 반복해서 사용하는 것이고 금형 작업시 큰 압력을 이용하여 가공하는 것이므로 마모가 일어나는 것은 당연한 현상이다.

금형의 마모에 의해 평판에 필요한 압력 전부가 주어지지 않게 되므로 그 부분 또는 그 부근에 굽힘이 완전히 일어나지 않아 오차가 생기게 되는 것이다.

이를 예방하기 위해서는 금형의 미세한 마모량일지라도 지속적인 검사를 통하여 수리 및 교체작업을 행하여야 한다.

이러한 연구들이 지속적으로 수행된다면 금형 검사에 있어 기존의 수작업 공정을 크게 줄일 수 있을 것으로 생각되어진다.

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. exyma-E300을 이용하여 3차원 형상을 측정하였다.
2. 측정되어진 데이터를 RapidForm을 이용하여 필터링 작업을 하고 surface 3차원 형상을 구하였다.
3. 측정되어진 3차원 형상과 CATIA를 이용하여 drawing된 CAD 데이터를 비교 및 검사를 하였다.
4. 검사 결과를 통해 원인 및 해결방안을 제시하였다.

참 고 문 헌

(1) H. J. Woo, K. H. Lee, 1999, "Rapid Prototyping from Reverse Engineered Geometric Data", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 95~107.

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

(3) H. Z. Lee, T. J. Ko, H. S. Kim, 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.

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

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