韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.1150~1153

디텐트 스프링 교정시스템 구축을 위한 박판해석

Sheet Analysis for Construsion of the Correction System on Detent Spring

권혁홍(대진대), 김선호, 박경택(한국기계연구원 자동화연구부), 정용헌((주)한국파워트레인)
H.H. Kwon(Mechanical Design Eng. Dept., Daejin Uni.), S.H. KIM, K. T. Park(Automation Eng. Dept., KIMM), Y.H. Jung(Korea Power Train Co.)

ABSTRACT

This paper describes that study which construct a theoretic and experimental algorithm in order to make the automatic correction system of detent spring, and when load for correction pressed at spring, it can be found elastic and plastic deformation quantities by Finite Element Analysis.

As a result, it has been found that the simulation datas are in good agreement with experimetal results.

Key Words : Detent Spring(디텐트 스프링), Correction System(교정시스템), Sheet Analysis(박판해석)

1. 서 론

디텐트 스프링의 교정작업은 박판성형과 유사한 작업이다. 박판성형 공정은 현대 산업의 많은 부분에서 매우 중요한 공정이 되어 왔다. 이것은 박판성형 공정이 다른 공정에 비해서 강도에 대해 무게가 가볍고 표면처리가 탁월하여 대량생산이 가능하여 가격이 저렴하다는 것과 최종제품의 형태에 가깝게 성형이 가능하다는 점에 기인한다.

본 연구에서 대상으로 하는 디텐트 스프링은 다음과 같은 공정을 거치면서 가공이 이루어진다.

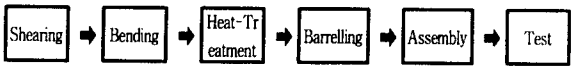

Fig. 1 Manufacturing process of detent spring

스프링의 특성에 영향을 주는 인자로서는 재질, 가공조건, 열처리 환경 등이 있다. 이러한 영향 때문에 생산된 제품의 90%가 기준하중에 미달하거나 초과하여 불량품이 되고 있어 수정작업이 요구되고 있다.

본 연구에서는 디텐트 스프링 교정시스템을 자동화하기 위해 이론 및 실험적인 알고리즘을 구성하는 연구와 교정을 위한 가압하중을 가하였을 때의 유한요소 탄소성 해석을 수행하여 스프링의 탄성량과 소성영역의 영구변형량을 시뮬레이션 해석결과로써 도출하고 이를 실험치와 비교·검토하고자 한다.

2. 실험에 의한 교정 알고리즘 추출

본 연구에서 대상으로 하는 디텐트 스프링의 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 디텐트 스프링은 크게 몸체부와 롤러 베어링부로 구성된다. 본체부는 프레스 가공에 의해 재작되며 열처리를 거친 후 롤러 베어링과 조립된다.

이러한 디텐트 스프링을 교정하기 위한 알고리즘을 구

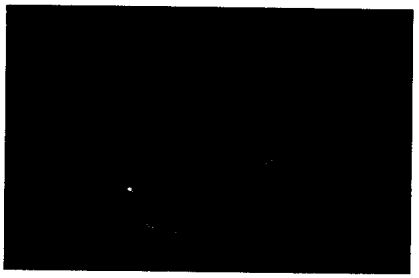

Fig. 2 The shape of detent spring

하기 위해 측정 시스템을 구성했다. 하중측정 및 교정 실험을 위한 장치는 CNC 밀링을 이용했다. 기준 위치까지의 이동은 공작기계의 이동기구를 이용하고 하중측정은 디지털 방식의 하중계를 이용했다. 또한 측정된 데이터의 효과적인 분석을 위해 공작기계의 위치를 파악하기 위한 방법으로는 공작기계와 실험장치가 구성된 PC를 RS232C를 이용해 연결했다. 또한 하중계로부터 하중값의 전송도 RS232C를 이용하여 자동으로 하중값을 수집하도록 구성했다. 구성된 시스템을 Fig. 3에 나타내었다.

구성된 실험장치를 이용하여, 스프링 교정시스템을 만들기 위해 예비 실험을 수행한 결과를 Fig .4에 나타내었다. 그림에서 X축은 기준변위에서 ±1mm와 ±2mm를 변화시켰을 때 스프링 하중의 변화이다. 그리고 Y축은 그때 하중 측정기로부터 얻은 스프링 하중이며 탄성영역에서는 거의 직선을 나타내고 있다.

Fig. 4는 소성 변형구간에서 동일한 실험을 수행했다. 그림에서 X축은 소성변형을 통한 교정을 위해 가압한 하중이며, Y축은 교정된 하중을 의미한다. 그림에서 보아듯이 가압에 따른 스프링 하중 교정량은 거의 비례함을 알 수 있다.

실제 자동변속기에 사용되는 위치 46.3㎜를 기준변위로 셋팅하여 하중 측정기에서 기록된 하중이 합격 판정기준

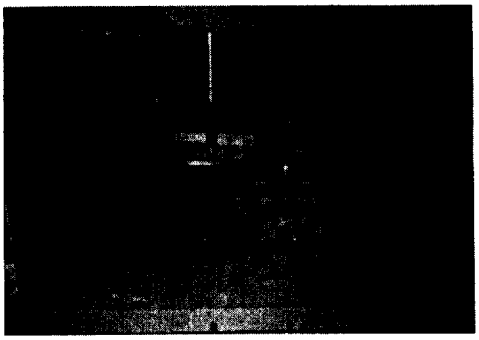

Fig. 3 Experimental Equipment

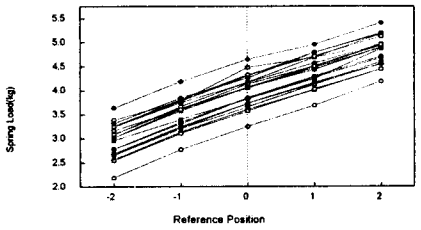

Fig. 4 Variation of spring load on reference position

에 따라 2.5~3.5㎏를 벗어나는 불합격품들을 대상으로 3.0㎏이 될 때까지의 0.5㎏씩 변화시키면서 가압하중을 가하였다. 여기서 합격 판정기준을 벗어난 제품들은 가압하중으로서 교정시킬 때마다 디텐트스프링은 탄성변형만이 있는 것이 아니고 영구변형인 소성변형이 동시에 일어남을 관측할 수 있다. 영구변형으로 인해 불량품은 적절한 가압하중에 의해 교정되어 재측정되었을 때 합격판정으로 양호한 제품이 되었다.

이러한 현상의 결과로 인해 교정장치의 알고리듬을 구축해 보면, 먼저 실험에서 구한 불합격 데이타에서 합격판정을 도출해낸 가압하중(3.0±0.5㎏)을 데이타별로 Fig. 5에 플롯하여, 이들 데이타로부터 교정알고리듬의 다항식을 통계해석인 다항회귀분석(polynomial regression)에의해 2차다항식을 도출하면 다음식과 같다.

$$y_1 = -1.10507\,x^2 + 12.0783\,x - 21.217 \quad (1)$$

여기에서 점선부분으로 탄소성 유한요소해석으로부터 구한 곡선으로서 기준위치에서의 실험하중을 나타낸 것으로 실험으로부터 구한 수치보다도 약간 높은 교정용 가압하중을 요구하고 있는 데, 이 곡선으로써 이론적인 교정알고리듬을 2차다항식으로 나타내면 다음식과 같다.

$$y_2 = -1.20464\,x^2 + 13.0147\,x - 23.0945 \quad (2)$$

기준위치에서의 기준하중을 실험시의 교정하중과 통계처리된 다항식에 의한 교정하중과 비교를 해본 결과 5% 오차범위내에 들었다.

더구나 공차범위를 벗어날 때의 교정하중량은 3.5~4㎏에서는 교정 가압하중은 8~9.5㎏을, 4~4.5㎏에서는 교정

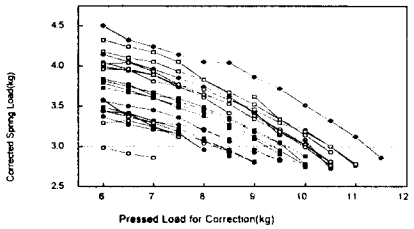

Fig. 5 Relationship of pressed and corrected load for correction

가압하중은 9.5~11㎏을, 4.5이상에서는 교정 가압하중은 11~12㎏의 교정 가압하중을 가함으로써 합격판정기준내로 진입될 수가 있다.

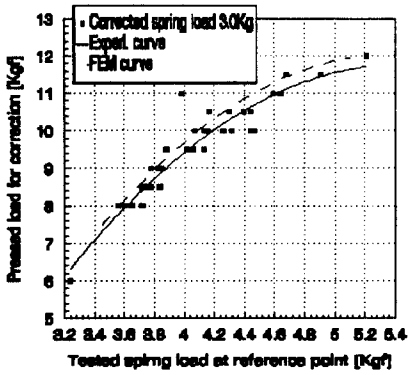

Fig. 6 Comparision of the correction and tested load at reference point

3. 유한요소법에 의한 교정 알고리즘 추출

금속성형 공정에 근래 많이 쓰이고 있는 해석방법이 유한요소법인데, 박판성형 등의 대변형 문제해석에 이용된 유한요소법은 그 구성방정식에 따라 강소성 유한요소법과 탄소성 유한요소법 등이 있다. 탄소성 유한요소법은 매 스텝당 항복조건을 점검하여야 하므로 계산시간이 많이 들지만, 변형 및 응력의 경로를 정확히 예측할 수 있고, 소성변형에서 해석을 요하는 경우에 적합한 해석방법이다. 특히 박판성형에서는 성형후 스프링백 현상에 의한 변형이 굉장히 크고 최종제품의 형상에 영향을 주게 된다. 또한 벤딩과 같이 굽힘효과가 크게 영향을 주는 공정에서는 탄소성 유한요소법이 더욱 적절하다고 할 수 있다[1].

박판금속 성형의 탄소성해석에 주로 사용되는 요소로는 박막요소, 쉘요소, 연속체요소 등이 있다.

대변형이 발생하는 등방성 재료에 대하여 Von-Mises 항복조건과 흐름법칙을 따르는 구성방정식을 고려한다. 이때 재료의 성질을 탄소성으로 하고 소성변형은

Prandtl-Reuss식으로 표현되는 흐름이론에 따라 일어난다고 가정하였다. 또한 항복여부는 Von-Mises식으로 판단되며 가공경화는 등방적으로 일어난다고 가정하였다[2].

구성된 유한요소 상용팩키지인 ANSYS 5.3을 이용하여 Silicon-Graphics Workstation에서 교정공정용 실험결과치와 비교 검토를 수행하였다.

3.1 유한요소해석

본 연구에서는 UNIX용 ANSYS 5.3 FEA(finite element anslysis)[3]를 사용하여 유한요소해석을 수행하였으며, 유한요소해석 과정은 Fig. 7과 같다.

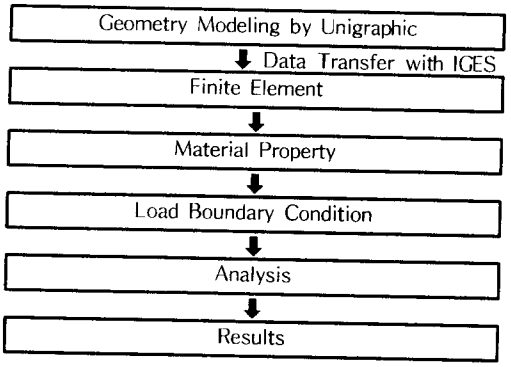

Fig. 7 유한요소해석 과정

형상 모델링을 CAD/CAM/CAE 통합 팩키지인 유니그라픽스(Unigriphics) 모델러를 이용하여 실지 형상에 가깝도록 이상화하였으며, 이 경우 구체적인 수학적 모델의 설정내용은 다음과 같다.

디텐트 스프링은 크게 디텐트 스프링부(detent spring part), 롤러-디텐트부(roller-detent part), 롤러-니이들부(roller-needle part) 그리고 플레이트(plate)와 리벳(rivet)으로 구성되어 있다. 여기에서 디텐트 스프링부는 냉간압연 강판인 SK5M재를 사용했으며 실험과 모델링에 사용한 탄소강의 기계적 성질을 알아 보기 위해 UTM(MTS사, 10톤)에 의해 인장시험을 한 결과 다음과 같다.

- 재 질 : SK5M(탄소공구강)
- 탄성계수 E = 21,000 kg/㎟
- 항복응력 σ_y = 100 kg/㎟
- 포와송비 ν = 0.33

재료의 물리적 성질을 살펴보면 탄성계수는 탄소함유량(C%), 경도에는 관계없고, 담금질경화하면 탄성계수는 조금 저하한다. 그리고, 오스테나이트 조직의 것은 탄성계수가 낮다. 여기서, 주부분인 디텐트 스프링은 퀜칭과 템프링한 후의 비커스경도치가 $Hv\ 450_0^{+70}$을 요구하므로 이는 열처리한 후 비커스경도치가 대략 2배정도 증가한 수치이다.

디텐트 스프링의 수학적 모델은 사각형의 Plate(4-node elastic quadrilateral shell) 요소로 Free Generation으로 분할하여 절점(node)수 1380개와 요소(element)수 1193개의 모델링으로 구성하였다. 디텐트 스프링에 사용된 박판요소의 두께는 1mm의 철판으로 구성되게 했다. 또한 디텐트 스프링의 실험 및 실제 사용시에 두 구멍을 고정하여 사용하므로 실제 조건과 동일하게 고정하여 이상적으로 설치된 것으로 한다.

3.2 실험치와 수치해석 비교 검토

교정을 위한 가압하중을 가하였을 때의 유한요소 탄소성해석을 수행하여 스프링의 탄성량과 소성영역의 영구변형량을 시뮬레이션 해석결과로써 도출하고 이를 실험치와 비교·검토해 본다.

Fig. 8는 가압위치를 도면에 명기된 대로 Roller-detent부에 8kg 가압하중을 가했을 때의 Y축으로의 변형된 변위를 나타냈다. Roller-detent부 끝단의 최대변위량이 -Y축 방향으로 17.658㎜ 변형이 발생했다. 이는 실험에서의 변형량 16.2~17.4㎜와 거의 근사한 값이다. Fig. 9는 Fig. 8과 같은 상황에서의 Von-Mises 등가응력치를 나타내고 있는데, 최대등가 응력치가 95 kg/㎟정도의 수치는 소재의 항복응력치에 근접한 것을 알 수 있다. 하중을 제하하고 롤러-디텐트 선단부의 초기위치를 측정한 결과 Table 2의 실험치를 살펴보면 1.7㎜내외의 영구변형량이 발생했음을 알 수 있다. 이 수치는 6kg이내의 가압하중까지는 영구변형량이 나타나지 않다가 6kg부터 10kg까지의 누적 영구변형량이다. 이 수치와 시뮬레이션 결과치인 Fig. 10에서의 1.815㎜이다. 이러한 수치결과는 실험치와 거의 잘 일치한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 Roller-detent부에 10kg 가압하중을 가했을 때의 Y축으로의 변형된 변위를 나타냈다. Roller-detent부 끝단의 최대변위량이 23.144㎜ 변형이 발생했다. 이는 실험에서의 변형량 22.6㎜~23.7㎜와 잘 일치한다. Fig. 12는 Fig. 11과 같은 상황에서의 등가응력치를 나타내고 있는데 최대값은 101.7정도의 값으로서 이는 소재가 항복을 일으키는 것을 알 수 있다.

또한 하중을 제하한 뒤 롤러-디텐트 선단부의 초기위치를 측정한 결과 4.7㎜이상의 영구변형량이 발생했음을 알 수 있다. 이 값과 시뮬레이션 결과인 Fig. 13에서 보는 바와 같이 롤러-디텐트 선단부의 영구 소성변형량이 5㎜정도로 나타났다. 이는 실험치와 거의 잘 일치한다.

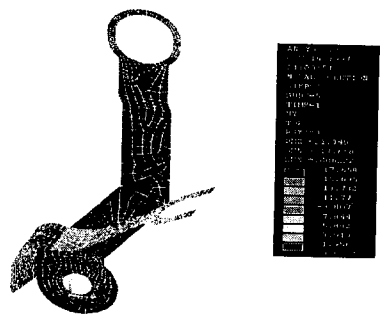

Fig. 8 Displacement distribution on 8kg correction load

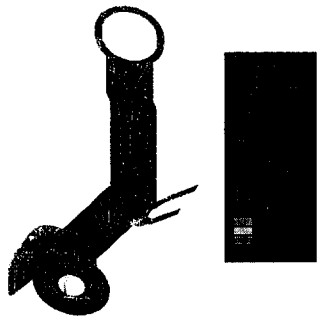

Fig. 9 Equivalent stress contours on 8kg correction load

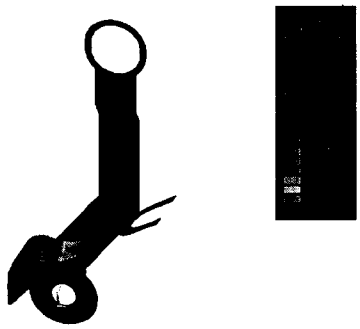

Fig. 10 Permanent deformation contours on 8kg correction load

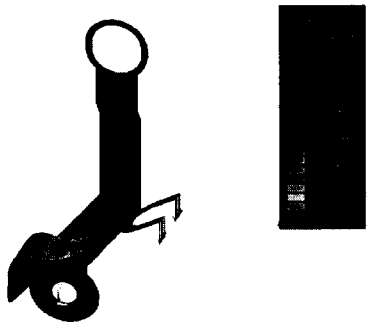

Fig. 11 Displacement distribution on 10kg correction load

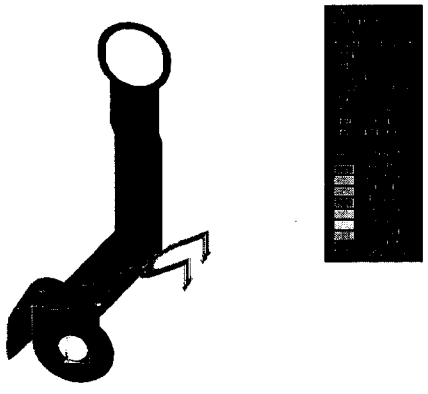

Fig. 12 Equivalent stress contours on 10kg correction load

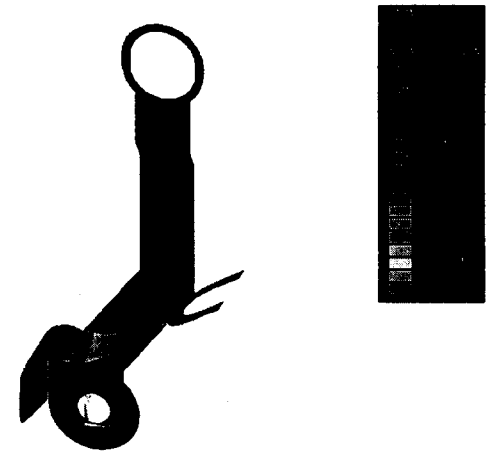

Fig. 13 Permanent deformation contours on 10kg correction load

4. 결 론

본 연구에서는 디텐트 스프링 교정시스템을 자동화하기 위해 교정 알고리즘을 구성하는 연구와 교정을 위한 가압하중을 가하였을 때의 유한요소 탄소성해석을 수행하여 스프링의 탄성량과 소성영역의 영구변형량을 시뮬레이션 해석결과로써 도출하고 이를 실험치와 비교·검토한 결과, 본 연구를 통해 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 실험적인 방법을 통한 디텐트 스프링 교정 알고리즘의 구현이 가능했다.
- 박판해석을 이용해 스프링 교정 알고리즘의 구현이 가능했으며, 이러한 방법을 적용할 경우 실험식을 구하기 위한 많은 노력이 절감할 수 있다.
- 유한요소해석을 수행하여 디텐트 스프링의 탄·소성량을 도출하였으며, 실험치와 잘 일치하였다.
- 이러한 연구 결과는 많은 유사분야에 적용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. H. Sunsga and A. Makinouchi, 1990, "Elastic-Plastic Finite Element Simulation of Sheet Metal Bending Process for Auto Body Panels", 3rd ICTP, pp.1525~1530
2. 김동원, "塑性學", 청문각, 1993
3. ANSYS User's Manual Revision 5.3, Swanson Analysis Systems, Inc., 1996