

# 비원형 단면을 갖는 금형스프링의 단면설계

이 형욱<sup>\*1)</sup> · 최 화 룡<sup>2)</sup>

충주대학교 에너지시스템공학과<sup>1)</sup> · 충주대학교 에너지시스템공학과 산업대학원<sup>2)</sup>

## Shape Design of Initial Section for Non-circular Shaped Mold Spring

Hyoungwook Lee<sup>\*1)</sup> · Hwaryong Choi<sup>2)</sup>

<sup>\*1)</sup>Department of Energy System Engineering, ChungJu National University, 50 Daehak-ro, ChungJu 380-702, Korea

<sup>2)</sup>Department of Energy System Engineering, ChungJu National University, 50 Daehak-ro, ChungJu 380-702, Korea

(2011. 04. 12 Received / 2011. 05. 01 Accepted)

**Abstract** : The purposes of this study are predictions of the changes in the section geometry and determination of the initial cross section so that opposite side in height direction is exactly parallel after coiling process. Finite element analysis is carried out for the calculation of the sectional changes for mold spring item. Analysis results reveal that the slope of the top and bottom sides varies in the range of 5 to 8 degrees and the amount depends on the dimension of the outer diameter. The slopes of the sides should be defined first among design variables.

**Key words** : Non-circular Shaped Mold Spring(비원형 단면 금형스프링), Finite Element Analysis(유한요소해석), Correlation Analysis(상관분석), Anticlastic Curvature(엔티글라스틱 곡률)

### Nomenclature

- W : Width of material in sectional view, mm
- H : Height of material in sectional view, mm
- A : Anticlastic curvature angle of rectangular section, degree
- Ir, Or : Inner and outer corner radius of material in sectional view, mm
- D : Diameter of coil

### Subscripts

i, f : initial, final

### 1. 서론

금형스프링은 금형의 체결 및 작동 구조에 사용되는 스프링으로 금형스프링의 규격으로는 일반적으로 외경, 내경, 자유장, 직각도, 밀착고, 하중으로 이루어지며, 금형스프링은 작동 시의 특성으로 인하여 직각도를 유지하여야 하며, 단면의 상부면과 하부면이 수평인 상태로 평행을 이루어야 하는 것이 주된 형상적 특성으로 Fig.1과 같다.

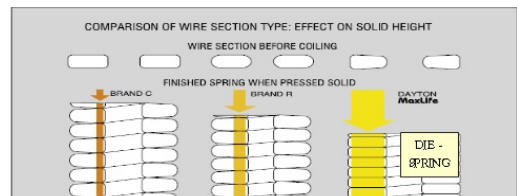


Fig. 1 Shape characteristics of die and mold springs[1]

\* Corresponding author. E-mail: hwlee@cju.ac.kr

본 연구에서는 외경 및 내경에서 차이가 있는 금형스프링 제품의 초기 단면설계를 통하여 사각단면 금형스프링의 초기 소재의 형상설계 시 필요한 주요 변수의 영향을 분석하여 설계 시 요구사항을 파악하도록 하였다.

## 2. 해석기법 정립

### 2.1 사각단면 굽힘의 이론적 검토

금형 스프링의 성형에서 문제가 되는 단면의 측면 기울기의 변화량은 탄성 순수 굽힘이론에서 볼 때, 엔티클라스틱 곡률(Anticlastic curvature)의 변화량을 의미한다. Fig. 2에서와 같은 형상에서 곡률반경  $\rho$ 는 금형 코일스프링의 반경에 상당할 수 있으며 (Neutral surface까지의 거리), 이때 각 방향으로의 변형률은 다음과 같다.[2]

$$\epsilon_x = -\frac{y}{\rho} \quad (1)$$

$$\epsilon_y = -\nu\epsilon_x = \frac{\nu y}{\rho} \quad (2)$$

$$\epsilon_z = -\nu\epsilon_x = \frac{\nu y}{\rho} \quad (3)$$

또한 anticlastic 곡률은

$$\frac{1}{\rho'} = \frac{\nu}{\rho} \quad (4)$$

이고, anticlastic 곡률 커질수록 단면의 측면기울기가 평행이 되는 것을 의미한다. z 방향 strain에 의해서 단면의 측면기울기가 발생하는 것이며, 식에서 z 방향 strain은 y 값에 선형적인 것을 알 수 있다. 따라서 단면의 측면 기울기는 초기형상의 기울기에 비례하여 동일한 비율로 커지는 것을 알 수 있다. 초기의 기울기를 결정하면, 최종 기울기를 예측할 수 있다. 이러한 사실은 탄성에서 우선 적용가능한 부분이지만, 본 금형코일스프링의 설계에 일차적으로 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

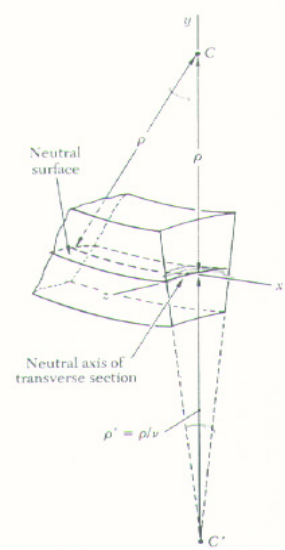


Fig. 2 Schematic diagram of the anticlastic curvature in a bending[2]

### 2.2 유한요소 해석

소성구간에서의 유동응력을 구하기 위하여 소재의 인장시험을 수행하였다. 재료의 시험은 직경 3.47mm, 4.97mm 소재를 사용하였고, 시편의 길이는 120mm, 상하의 그립부는 각각 40mm로 하여 시험부의 길이를 40mm로 설정하였다. 시험 시 인장속도는 0.005mm/sec, 신율계의 변형률 측정 게이지 길이는 25mm를 사용하였다.

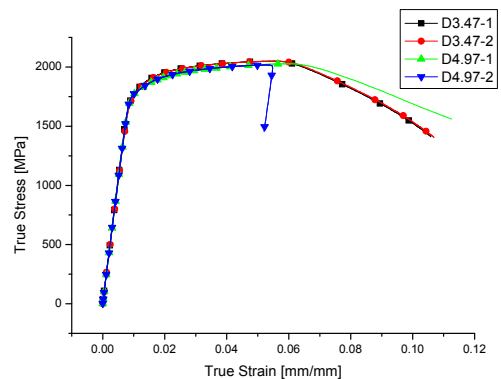


Fig. 3 True Stress-Strain Curve for SWOSC-V

시험결과에 대한 진 응력-진 변형률 곡선은 Fig. 3과 같다. 여기서, D3.47은 직경 3.47mm, D4.97은 직

경 4.97mm 시편을 각각 의미한다. 시험결과로부터 탄성계수 212GPa, 항복응력 1.785GPa, 최대 인장강도 2.05GPa임을 알 수 있다.

기존의 모델의 검증을 통하여 해석기법 및 유한요소해석 가능성을 확인하기 위하여 유한요소 해석은 3차원 외연적 비선형 유한요소 프로그램인 LS-DYNA3D[3]를 이용하였다. 코일링 과정을 모사한 후, 최종 단면의 형상을 실험치와 비교하였다. 유한요소 모델링을 Fig. 4에 도시하였다. 소재가 정렬을 유지하도록 피더(Feeder)를 소재 상하부에 설치하였다. 사용된 모델은 R39로 정의하였으며, 여기서 39는 코일의 외경치수를 의미한다.

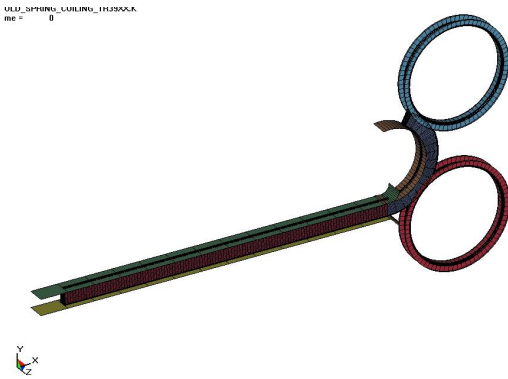


Fig. 4 Finite element model for coiling analysis



Fig. 5 Effective plastic strain distribution of the R39 coiling result

유한요소 해석결과를 유효소성변형률 분포로 하여 Fig. 5에 도시하였고, 단면에서의 유효소성변형률 분포를 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6에서 우측이 코

일스프링의 중심부이다. 이 단면을 초기 설계치와 실험결과와 비교하여 Fig. 7에 도시하였다. 실험결과와 유한요소해석결과의 성형 후 단면형상은 거의 동일한 것을 알 수 있으며, 이를 통하여 해석의 기법과 해석가능성을 확인할 수 있다.

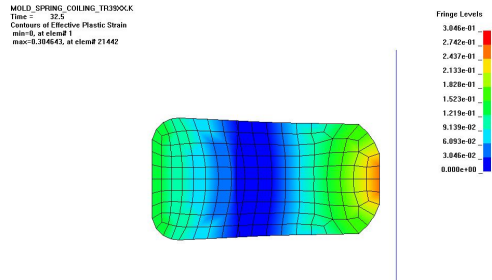


Fig. 6 Effective plastic strain distribution of the R39 Model in cross section

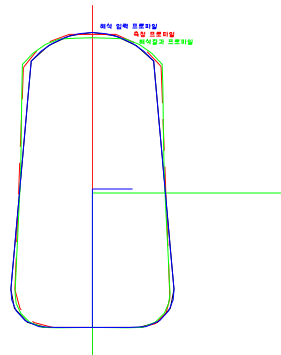


Fig. 7 Comparison of the cross sectional dimension between simulation result and experimental one (Green color: analysis result, Red color: experimental result, Blue color: input profile)

### 3. 성형 전 초기단면 설계

외경 40mm인 R 40모델의 초기 형상을 설계하여 코일링 해석을 수행하였다. 초기형상에 대한 영향을 분석하기 위해서 단면의 측면기울기에 대한 영향을 분석하고, 내경부의 RI, 외경부의 RO에 대한 영향을 분석하였다.

이론적인 분석을 토대로 측면의 기울기를 먼저 결정하도록 하였다. R 40 모델에서 초기 단면의 기울기를 측면의 회전을 통하여 결정하였다. 이때, 상부, 중심, 하부에서의 회전에 대한 영향을 알아보기 위해 높이의 (단면외경-단면내경) 1/4, 2/4, 3/4점을

기준으로 측면을 회전시켜 모델을 구성하였다. 최종적으로 구해야하는 형상을 Fig. 8에 도시하였다.

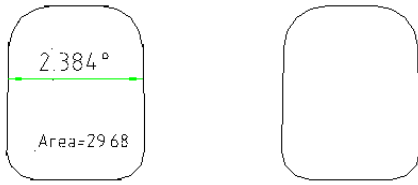


Fig. 8 Object cross sectional shape of R40

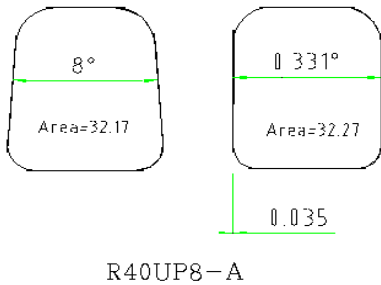
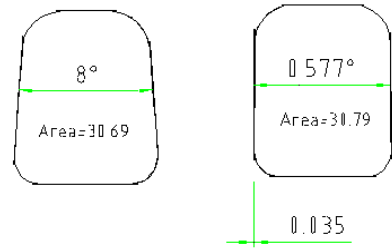


Fig. 9 Initial and deformed shapes of the R40UP8 model with the upper rotational axis

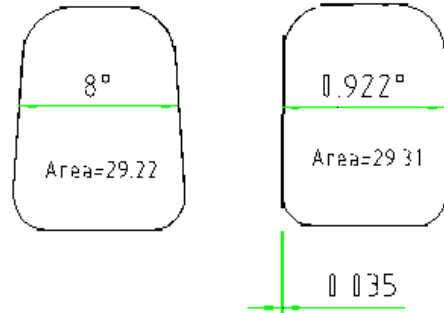
8도의 기울기에 대하여 상부에 회전축을 가진 R40UP8 모델의 초기형상 및 해석결과 형상을 Fig. 9에 도시하였고, 중앙부의 회전축 모델 및 하부 회전축 모델의 결과를 Fig. 10과 Fig. 11에 도시하였다. 상기의 회전점에 대한 해석결과는 내경쪽에 회전중심이 있는 경우의 모델이 다른 모델보다 더 많은 각도의 감소를 가져오는 것을 확인할 수 있으며, 거의 1도 내에서 최종 형상이 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우 측면이 평행은 이루고 있지만 모서리부에서 0.035mm 정도 불룩해지는 것을 알 수 있어, 내경부의 곡률과 외경부의 곡률과 초기 기울기를 수정하여 재해석을 수행하였다.

측면 기울기 8도와 9도인 모델에 대하여 단면의 높이는 6.4mm로 고정하고 내경부 곡률반경과 외경부 곡률반경을 각각 1.6mm, 1.1mm인 모델과 1.7mm, 1.2mm인 네 가지 모델에 대하여 해석을 수행하여, 내외측 곡률반경의 효과를 검토하였다. 각도를 1도 증가시킨 경우 측면부의 내측 밀림의 정도는 동일한 것으로 나타났다.



R40MD8-B

Fig. 10 Initial and deformed shapes of the R40MD8 model with the middle rotational axis



R40DN8-C

Fig. 11 Initial and deformed shapes of the R40DN8 model with the lower rotational axis

내외경부 곡률반경이 1.7-1.2인 경우에 측면 기울기 9도와 8도인 모델의 결과는 측면 기울기 9도의 경우에서 측면의 내측 밀림이 작아지는 것을 알 수 있다. 동일한 측면기울기에서 내외경부의 곡률을 크게 한 경우가 작게 한 경우보다 측면의 밀림이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 해석결과 내경부의 곡률수정만으로도 불룩한 현상이 줄어드는 것을 알 수 있으며, 초기 기울기를 증가시켜도 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 최종형상에서의 평행도를 조금 덜 만족시키더라도 약간 덜 압착되게 하는 것도 부풀림 현상을 줄일 수 있는 것으로 생각된다.

본 해석결과를 통하여 알 수 있는 설계기준안은 면적의 변화는 초기에 비하여 최종형상이 조금 늘어나지만 거의 차이가 없고, 각도의 변화는 상부기준 회전모델이 더 크다. 또한 각도의 변화는 거의 8

도 정도이며, 동일 곡률에서는 부풀림 현상의 정도는 거의 동일하다. 설계 시 단면의 측면각도를 일차적으로 결정하고, 내경부, 외경부의 곡률을 이차적으로 결정하면 되는 것을 알 수 있다. 최종 곡률기준으로 조금 더 크게 곡률을 잡고 최종 기울기 각도를 약 2도정도 유지할 경우 부풀림 현상을 더 줄일 수 있다.

최종적으로 결정된 R40모델에 대한 초기형상은 Fig. 12에 도시 하였다.상기에서 R40MD9가 의미하는 것은 R40모델에서 MD(중간점에서 회전중심) 기울기 9도, 내경부 곡률 1.7mm, 외경부곡률 1.2mm, 높이 6.4mm이다.

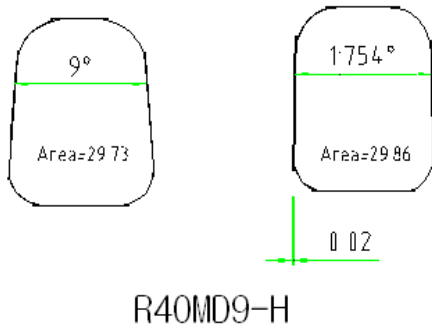


Fig. 12 Final design result for R40 model

#### 4. 결론

본 연구는 금형 스프링의 성형전 초기 형상을 설계하는 것을 주된 범주로 하였다. 금형스프링의 성형은 냉간 상태에서 코일링을 하기 때문에 성형할 때 사각 단면의 소재에서는 그 단면의 형상이 변화하게 되며 간단한 실험식으로는 그 단면의 변화를 계산하기 힘들기 때문에 유한 요소 해석을 통하여 그 단면의 변화를 예측하고 이를 기준으로 초기 형상을 설계하도록 연구하였다.

스프링의 최종 외경에 따라 기울기의 변화가 영향을 받으며, 설계 시 단면의 측면 기울기를 일차 선정해야 하는 것을 알 수 있다. 설계 시 고려할 사항으로 파악된 것은 단면적의 변화는 초기에 비하여 최종형상이 조금 늘어나지만 거의 차이가 없고, 측면 기울기 각도의 변화는 거의 5~8도 정도가 된다. 이 기울기 각도의 변화는 스프링의 외경에 의하여 결정된다. 동일 곡률

에서는 부풀림 현상의 정도는 거의 동일하며 설계 시 단면의 측면각도를 일차적으로 결정하고, 내경부, 외경부의 곡률을 이차적으로 결정한 후, 최종 기울기 각도를 약 2도정도 유지할 경우 부풀림 현상을 더 줄일 수 있다.

Table 1 Summary of cross sectional shape factors of mold springs

Design Variables	R30
Outer Diameter (DO)	30
Width of Material (W)	+0.11
Height of Material (H) (Outer dia.-Inner dia.)/2	-0.15
Anticlastic Curvature Angle	-6.39
Inner Part Corner Radius (RI)	+0.012
Outer Part Corner Radius (RO)	-0.066

#### References

- [1] www.clarkandosborne.com, DAYTON MaxLife die springs.
- [2] F. P. Beer and E. R. Johnston Jr., Mechanics of Materials, McGraw-Hill, 1985.
- [3] Livermore Software Technology Corporation, LS-DYNA KEYWORD User's Manual.