

모터스프링의 정밀 벤딩 성형에 관한 연구

박세제¹· 이상곤²· 김동환[#]

Studies on Precision Bending of Motor Spring

S. J. Park, S. G. Lee, D. H. Kim

(Received September 6, 2016 / Revised October 18, 2016 / Accepted November 9, 2016)

Abstract

Recently, the amount of spring usage is on the increase in the automotive and aircraft parts industries as well as home appliances. Manufacture of spring reflects a need for diversification, mass production and high precision. Therefore it is very important to know the bending method and forming technique according to the shape of spring. In this study, to find the optimal bending method for the motor spring, the FE-simulation was executed using orthogonal array. The design parameters are wire length, length of vibration and feed rate. Then, the optimal combination of design parameters was suggested using ANN technique.

Key Words : Motor Spring, Bending Process, FE-simulation, Optimal Design

1. 서 론

최근 들어 자동차산업분야를 위시하여 가전제품과 같은 일반 전자제품 등에 스프링의 사용량이 급증하고 그에 따른 스프링 제조 산업 역시 다양화, 전문화 되어 대량생산, 고정밀성의 요구 또한 증가하고 있다[1]. 동시에 스프링의 형상에 직접적으로 영향을 미치는 스프링 벤딩공법 및 정밀성형기술의 중요성이 더해가고 있다. 특히 모터스프링(motor spring) 및 압축 스프링 기술은 끊임없이 기술개발과 선진기술 도입 및 첨단 정보 없이는 생존하기 힘든 무한 경쟁 시대에 직면하고 있다. 따라서 정밀 스프링 개발을 위해서는 점진적이고 안정적인 기술개발 및 기업 성장이 절실히 요구된다.

현재 모터스프링은 Fig. 1과 같이 모터스프링 전용 벤딩기에서 총12회 벤딩을 거쳐 자동 커팅(cutting)으로 이루어진다.

모터스프링은 벤딩 성형 후 탄성회복 즉, 스프링

백(spring back) 현상으로 비틀림 등 불량 발생되며, 이를 방지하기 위하여 320°C에서 20분 동안 열처리(tempering) 후 투영기에서 불량 선별을 하게 된다.

모터스프링의 형상은 타원으로 SUS304 재질을 사용한다. 모터스프링은 스프링 전용 제작 장비를 이

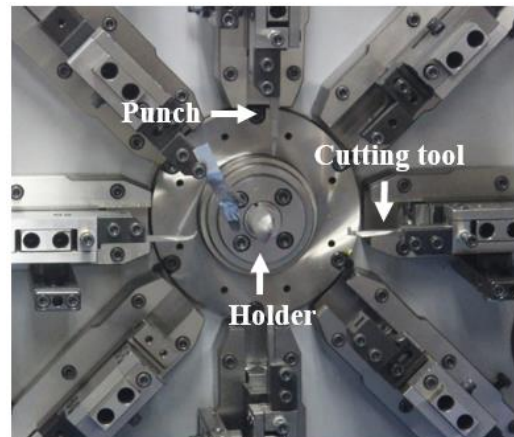


Fig. 1 Equipment of bending for motor spring

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과
2. 한국생산기술연구원 대경지역본부 극한제조기술그룹
Corresponding Author : Department of Aircraft Part Engineering,
International University of Korea, E-mail: dhkim@iuk.ac.kr

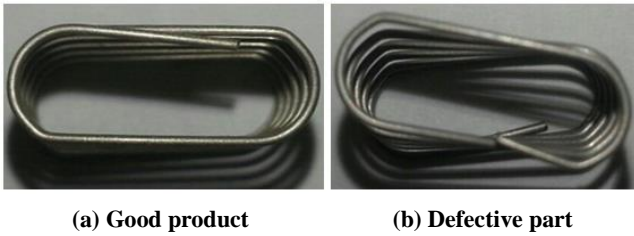


Fig. 2 The shape of motor spring

용하여 벤딩한다. 모터스프링의 벤딩 공정 시 최적화된 공법이 확립되지 않아 치수 정밀도 오차 발생으로 Fig. 2 (b)와 같은 불량 발생확률이 매우 높은 실정이다.

정밀 스프링 성형을 위해 스프링 형상과 특성치에 영향을 미치는 캠의 형상을 최적으로 작도하는 CAM프로그램이 개발되었으며[2], 판재 성형에서의 탄성복원 예측 이론을 슬리브 스프링 형상에 적용하여 성형 반경을 계산할 수 있는 프로그램이 개발되었지만[3], 스프링 벤딩 공정 시 벤딩 곡률 크기를 결정짓는 펀치(pitch tool)의 형상, 소재를 고정하는 홀더(holder)와 펀치의 거리 등에 대한 연구는 이루어지지 못하였다. 또한 사각단면을 가지는 금형스프링의 기초 단면에 대한 설계변수를 예측하는 연구가 진행되었으나[4], 원형 소재를 이용한 최적곡률 성형 공법은 아직 연구되지 못했다.

본 연구에서는 자동차용 모터스프링의 벤딩 곡률에 맞는 펀치의 형상, 홀더와 펀치의 거리 등의 최적의 설계변수를 유한요소해석을 통해 선정하고, 최적 설계변수 조합을 결정하고자 한다.

2. 모터스프링 벤딩 공법 개발

2.1 모터스프링 벤딩 공정 해석 방법

모터스프링의 형상 곡률을 성형하기 위해서는 펀치 형상, 벤딩 시 소재 길이(홀더와 펀치 사이 길이), 마찰, 펀치 성형 속도, 소재 이송 속도(feed rate) 등 다양한 공정 변수가 모터스프링 벤딩 공정 성형성에 영향을 미친다. 모터스프링 벤딩 공정을 유한요소해석하기 위해 Fig. 3과 같이 개략도를 나타내었다. 소재의 재질은 SUS304를 사용하였고 기계적 물성치는 Table 2와 같다. 소재의 직경은 0.34mm, 펀치의 경사는 70°이며 완성된 코일 곡률은 4.9mm이다. 해석 시간을 단축시키고 효율을 높이기 위해 코일 곡률을 감안하여 해석에서는 길이 10mm의 소재를 사

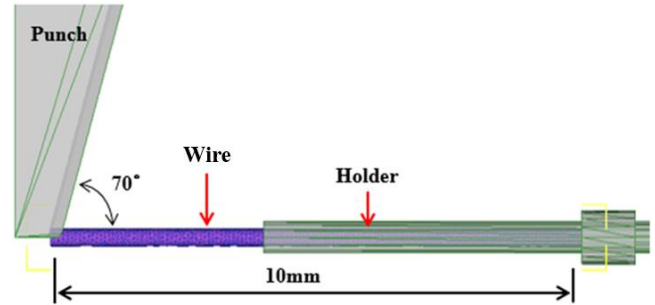


Fig. 3 FE-model of bending process for motor spring

Table 1 The condition of bending simulation

Item	Value
Material	SUS304
Mesh	20,000 EA
Friction(m)	0.12
Punch angle	70°
Wire diameter	0.34mm
Wire length	10mm

Table 2 Mechanical properties of SUS304

Properties	Value
Tensile strength(MPa)	515
Yeild strength(MPa)	205
Elongation(%)	40
Hardness(HRB)	92

용하였다. 이러한 모터스프링의 해석 조건은 Table 1에 나타내었다.

2.2 소재 길이에 따른 해석

실제 모터스프링 벤딩 공정 시 벤딩 전용기에서 소재가 이송될 때 소재의 길이에 따라 성형성을 평가하기 위하여 소재 길이 3mm, 4mm 두 경우를 각각 유한요소 해석하였다. 해석 방법으로는 Fig. 4와 같이 펀치의 움직임을 100mm/sec의 속도로 4mm 이동하며 소재의 최초 벤딩을 도와준다. 소재는 50mm/sec의 속도를 유지하여 이송하며 소재의 원활한 성형을 위해 펀치 경사에 힘을 주어 해석에 적용하였다. 유한요소해석 결과로는 Fig. 5와 같이 소

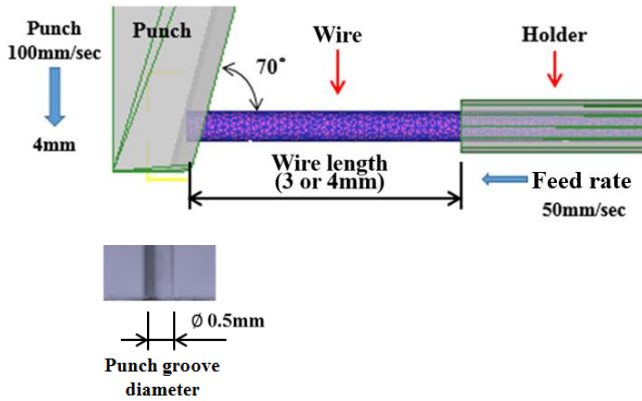


Fig. 4 Schematic drawing of FE-simulation according to wire length

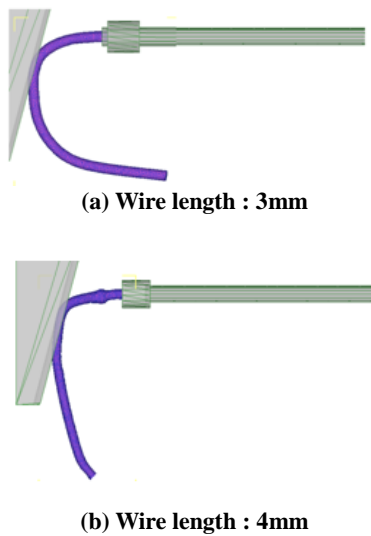


Fig. 5 The results of FE-simulation for bending process according to wire length

재 길이 3mm의 경우 곡률 형상이 형성되어 성형 가능성을 확인할 수 있다. 소재 길이 4mm의 경우 곡률 형성이 되지 않았다. 소재 길이 3mm의 경우 펀치의 형상각도(70°)에 의해 펀치 홈을 따라 원활하게 곡률이 성형되는 반면, 4mm의 경우 펀치 성형각도의 변형보다 소재 이송에 의한 소재가 두꺼워지는 현상이 발생한 것으로 판단된다. 모터스프링 성형에는 부적합함을 알 수 있었다.

2.3 펀치 진동 및 진동 폭에 따른 해석

앞서 모터스프링 벤딩 공정 시 소재가 이송될 때 소재의 길이에 따른 성형성을 평가하였다. 그 결과 소재 길이 3mm에서 곡률 형상이 형성되었지만 정

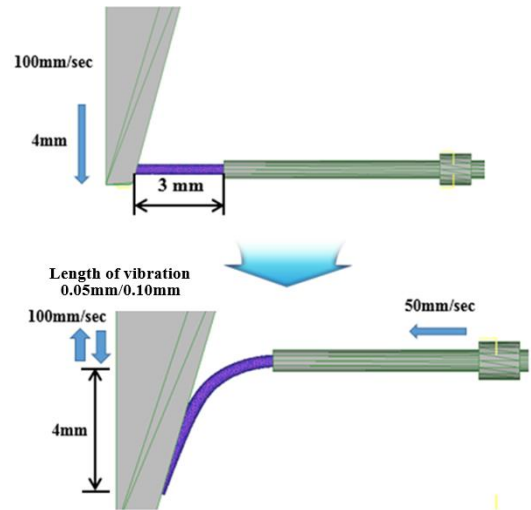


Fig. 6 The motion of punch in bending process



(a) Length of vibrate 0.05mm (b) Length of vibrate 0.1mm
Fig. 7 The results of FE-simulation according to the length of vibration

확한 곡률은 형성하지 못하였다. 또한 성형 초기 펀치가 4mm 이동하여 생성하는 곡률부 형상과 펀치가 멈춘 후 곡률부의 형상이 다름을 확인할 수 있다. 성형 후 펀치의 경사에 따른 벤딩 되는 거리가 짧아짐으로 곡률 반경이 짧아진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 펀치의 진동 조건을 주어 소재와의 접촉(마찰)시간을 줄여 곡률 반경이 짧아지는 것을 줄일 수 있다. 해석 방법으로는 Fig. 6과 같이 펀치가 4mm 성형 후 제자리에서 진동 폭 0.05mm, 0.10mm 진동하는 두 조건으로 각각 유한요소 해석을 진행하였다.

유한요소해석 결과는 Fig. 7과 같이 진동 폭 0.05mm 경우 곡률부 형상이 불균일한 반면 진동 폭 0.10mm의 경우 곡률부 형상이 균일함을 확인할 수 있다. 이러한 결과로 소재의 길이와 펀치의 진동에 의한 모터스프링의 벤딩 공정 시 성형성을 알아보았으며 원하는 곡률 형상을 얻기 위한 설계변수 조합으로 적합하다고 판단된다.

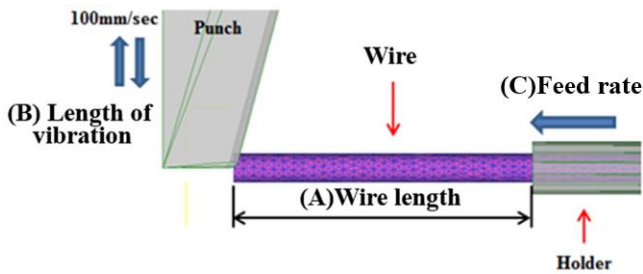


Fig. 8 The design parameters of FE-simulation for motor spring: (A)wire length, (B)length of vibration, (C)feed rate

Table 3 The levels of design parameters

Levels	A(mm)	B(mm)	C(mm/sec)
0	2.5	0.00	50
1	3.0	0.05	100
2	3.5	0.10	150

Table 4 Orthogonal array of FE-simulation

No.	A (mm)	B (mm)	C (mm/sec)	Spring diameter (mm)
1	2.5	0.00	50	6.83
2	2.5	0.05	100	3.54
3	2.5	0.10	150	3.77
4	3.0	0.00	100	5.84
5	3.0	0.05	150	6.92
6	3.0	0.10	50	4.56
7	3.5	0.00	150	7.10
8	3.5	0.05	50	6.14
9	3.5	0.10	100	6.89

2.4 최적 설계변수 조합 선정

모터스프링 벤딩 공정에서 여러 가지 설계변수 중 Fig. 8과 같이 (A)소재의 길이, (B)진동 폭, (C)이송 속도를 3수준으로 Table 3과 같이 설계변수 조건을 구성하였다.

선정된 3가지 설계변수를 실험계획법의 직교배열표에 따라 9가지 경우에 대한 유한요소해석을 수행하였고, 각각의 조건에 대하여 해석한 결과를 Table 4와 같이 나타내었다. 해석 과정을 Fig. 9에 나타내었고, Fig. 10과 같이 총 9가지 해석 결과를 나타내었다. 해석 결과 중 No. 2, 3, 6을 제외하면 그 외의 결과는 곡률의 형상을 가지지 못하였다.

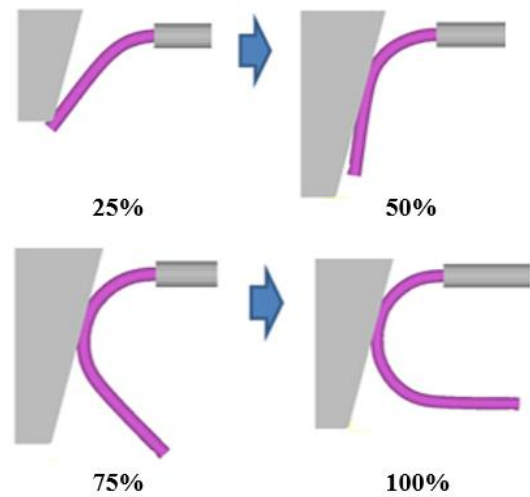


Fig. 9 Process of FE-simulation(No. 6)

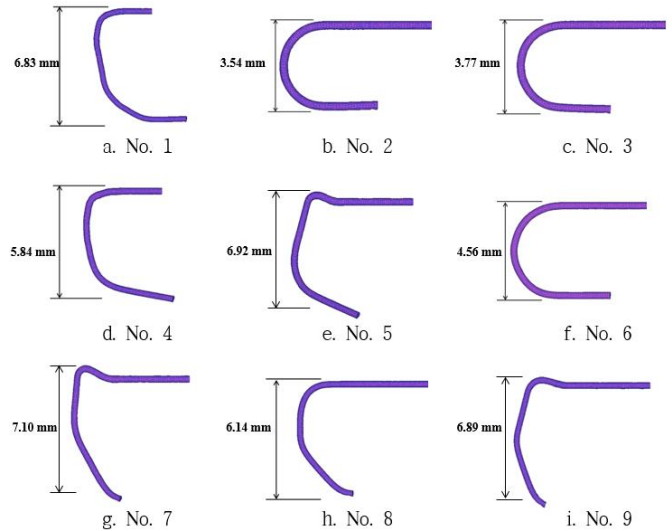


Fig.10 Comparison of FE-simulation results according to combinations of design parameters(Table 3)

직교배열표에 따라 9가지 경우에 대한 유한요소 해석 결과를 통해 곡률부를 성형하는데 설계변수들의 영향이 매우 민감한 것을 확인할 수 있다. 목적 함수인 스프링 곡률부 길이에 미치는 영향을 평가하기 위해 분산분석 일원배치법을 활용하였다. 그 결과 소재의 길이가 가장 많은 영향도를 미치며 다음으로는 펀치 진동, 소재 이송 속도 순으로 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 11과 같이 각 설계변수의 수준에 따른 평균결과값을 나타내었다. 설계 변수 A, B, C는 각각 0수준, 2수준, 1수준 일 때 즉, 소재 길이는 2.50mm, 진동폭 0.10mm, 소재 속도 100mm/s 일 때, 곡률부 길이가 작은 것을 알 수 있

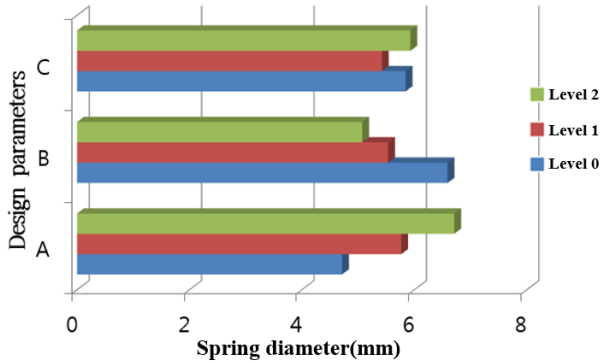


Fig.11 Analysis of level for each parameter in bending process

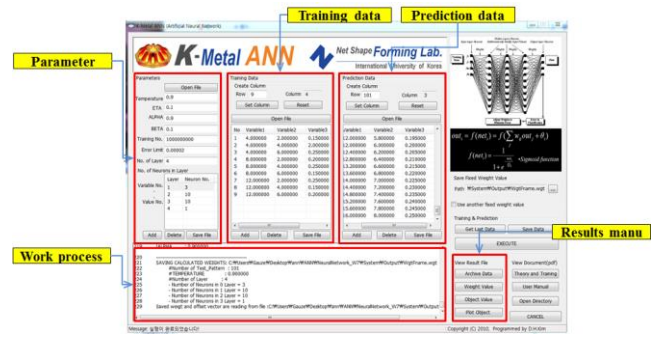


Fig.12 The program of K-metal ANN for optimal process design

다. 그러나 설계변수 수준간의 범위가 크므로 이 결과를 토대로 최적의 설계변수 조합을 선정하는 것은 무리이다. 따라서 Table 3의 직교배열표의 데이터를 이용하여 신경망을 적용하였다.

Fig. 12의 최적설계 프로그램인 ANN은 신뢰성 및 빠른 응답성을 이용하여 미 해석된 설계변수 조합의 특성치를 예측함으로써 최적의 설계변수 조합을 찾아낸다[5, 6]. 신경망 해석을 위해 먼저, 직교배열표의 설계변수 조합을 신경망의 입력값으로 하고 그 설계변수 조합이 가지는 목적함수 스프링 직경을 목적값으로하여 신경망 프로그램으로 학습시켰다. 학습 후, 각 신경망 프로그램의 가중치와 임계치를 이용하여 미 해석 데이터, 즉 목적값에 영향이 큰 소재의 길이, 펀치의 진동을 각각 소재의 길이는 2.5~3.5mm이고 0.05mm씩, 펀치의 진동 폭은 0~0.10mm 범위에서 0.01mm 간격으로 세분화하였으며, 영향도가 낮은 소재의 이송 속도는 직교배열에 의한 최적 변수 조합인 0수준으로 고정하였다. 이러한 소재의 길이, 소재의 이송 속도가 가질 수 있는 설계변수 조합의 목적함수를 신경망의 학습결과로부터 예측하여 보았다. Fig. 13과 같이 미 해석 데이터의 스프링 곡률부 길이를 예측하여 나타내었다. 스프링 직경은 소재의 길이의 경우 작아질수록 작으며, 펀치의 진동은 클수록 작아지는 것을 볼 수 있다. 또한 펀치의 진동을 주지 않았을 경우에 소재의 길이를 어느 정도의 한계까지는 곡률부 길이를 줄일 수 있다는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 Fig. 10의 직교배열표에 따라 9가지 유한요소해석 결과를 통해 소재의 길이가 커질수록 펀치의 진동이 없을 때 스프링 곡률부 형상은 완벽한 곡률 형상을 구현하지 못하였으므로 최적 설계변수 선정에서 제

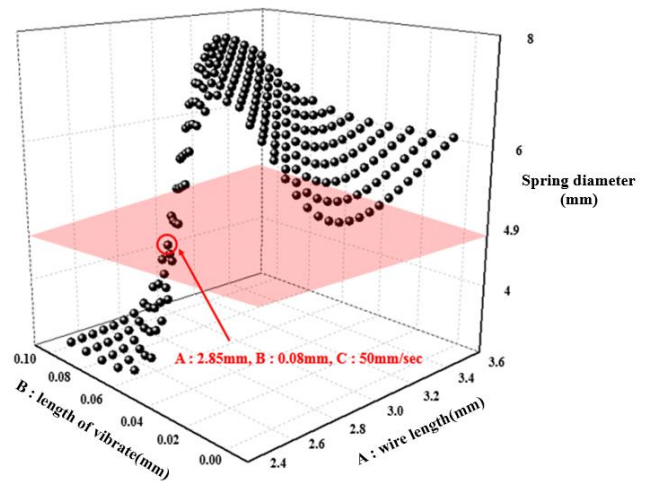


Fig.13 The predicted results by ANN according to design parameters

Table 5 The result of bending process in ANN

Item	Value
Wire length	2.85mm
Length of vibrate	0.08mm
Feed rate	50mm/sec
Spring diameter (predicted value)	4.90mm

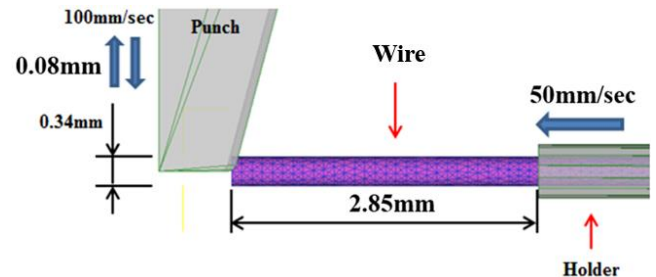


Fig.14 Schematic drawing of bending process in optimal design

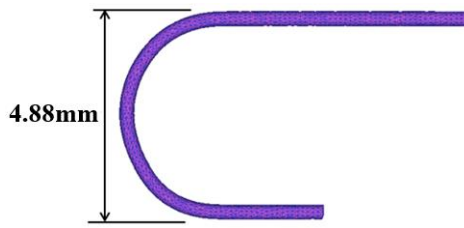


Fig.15 The result of FE-simulation using the optimal design values



Fig.16 The shape of motor spring

외하여도 될 것으로 판단된다. 신경망을 이용하여 찾아낸 최적의 설계변수 조합은 소재 길이 2.85mm, 펀치 진동 폭 0.08mm, 소재 이송 속도 50mm/sec로 목적함수인 모터스프링 벤딩 곡률은 4.90mm로 Table 5와 같이 나타났다. 신경망 예측 결과를 검증하기 위하여 Table 5의 조건을 이용하여 Fig. 14과 같이 유한요소해석을 진행하였다.

3. 해석결과 및 고찰

유한요소해석 결과 Fig. 15와 같이 모터스프링 곡률은 4.88mm로 신경망 예측 결과인 4.90mm에 잘 부합하는 것으로 나타났다. 유한요소해석과 신경망 예측을 통하여 얻은 최적의 설계변수 조합을 이용해 Fig. 16과 같이 모터스프링 벤딩 공정을 실험하였다. 제작된 모터스프링의 곡률부 측정 결과 4.90mm로 유한요소해석과 실험 결과는 0.02mm의 오차가 있지만 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

모터스프링의 벤딩 성형성을 분석하기 위하여 유한요소해석을 수행하였고, 주요 설계변수를 선정하여 최적설계를 진행하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 모터스프링 벤딩 공정을 유한요소해석 하였으

며 해석 결과 벤딩 시 소재의 길이, 소재 이송 속도, 펀치의 진동 등이 스프링 벤딩 곡률에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(2) 설계변수 소재의 길이, 소재 이송 속도, 펀치의 진동 등이 스프링 벤딩 공정의 곡률을 형성에 영향도를 알아보기 위해 분산분석 일원배치법을 활용하였으며, 영향도는 소재의 길이, 펀치의 진동, 소재 이송 속도 순으로 나타났다.

(3) 실험계획법을 바탕으로 작성한 설계변수 조합을 신경망 예측을 통한 모터스프링 정밀 벤딩성형 최적의 설계변수 조합은 소재 길이 2.85mm, 펀치 진동 폭 0.08mm, 소재 이송 속도 50mm/sec로 목적함수인 모터스프링 벤딩 곡률 4.90mm에 가장 가까운 4.88mm의 벤딩 곡률을 구현하였으며 검증 해석과 실험 결과는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

(4) 모터스프링 벤딩 공정의 성형성에 영향을 주는 소재 길이, 펀치 속도, 소재 이송 속도, 펀치의 진동 폭 등은 스프링의 곡률을 균일한 형상을 형성하는데 상관관계가 있으며 변수들을 수식화한다면 원하는 곡률을 균일하게 성형할 수 있을 것이라 예상된다.

후 기

본 논문은 2016학년도 한국국제대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어진 것이며 이에 감사 드립니다.

REFERENCES

[1] Y. S. Suh, Y. W. Kim, J. I. Kim, 2002, A Study on the Control of Spring Back for the Precision Forming of the Steam Generator Helical Tube, Trans. Mater. Process., Vol. 11, No. 3, pp. 238~245.

[2] C. H. Park, 2008, A Study on Programing Development Forming Design Automated of CAM for Coil Spring Forming Tool, Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol. 32, No. 5, pp. 753~758.

[3] B. C. Hwang, W. B. Bae, C. Kim, 2009, A Process Analysis for Manufacturing the Sleeve Spring of the Torsional Vibration Damper, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 26, No. 12, pp. 94~101.

[4] H. W. Lee, 2011, Prediction of Initial Design

- Parameter of Rectangular Shaped Mold Spring Using Finite Element Method, *Trans. Mater. Process.*, Vol. 20, No. 6, pp 450~455.
- [5] D. H. Kim, D. J. Kim, H. K. Kim, B. M. Kim, J. C. Choi, 1998, Process Design of a Hot Forged Product Using the Artificial Neural Network and the Statistical Design of Experiments, *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 15, No. 9, pp. 15~24.
- [6] D. H. Kim, K. C. Chung, B. M. Kim, 2004, The Optimal Preform Design for Automotive Differential Bevel Gear, *Trans. Kor. Soc. Automot. Eng.*, Vol. 12, No. 1, pp. 184~189.
- [7] H. J. Mun, C. S. Kim, J. D. Kim, 2008, A Study the Development of the Continuous 3D Tube Bending Machine, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 32, 8, pp. 701~706.
- [8] Y. H. Kim, M. C. Park, J. Y. Kang, S. J. Kang, D. H. Kim, 2011, *Proc. J. Kor. Soc. Precis. Eng. Autumn Conf.*(editor: H. J. Choi), *Kor. Soc. Precis. Eng.*, Seoul, Korea, pp. 843~844.
- [9] S. D. Mun, 2011, Development of Bending Machine with High Efficiency and Precision Forming, *J. Kor. Academia-Industrial Cooperation Soc.*, Vol. 12, No. 1, pp. 7~14.