

자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔의 성형해석 및 공정설계

김동환*, 이선봉**, 김병민***

Process Design and Forming Analysis of Permalloy Shielding Can for Instrument Cluster

Dong Hwan Kim*, Seon Bong Lee**, and Byung Min Kim***

ABSTRACT

This study shows the process design and forming analysis of permalloy shielding can that support the automobile multi-display parts to indicate the accurate information of car. This study is particularly important, since the strain and thickness of permalloy shielding can is known to affect the magnetic properties such as coercivity and permeability quite sensitively. The objective functions are strain and thickness deviation. The punch radius, die radius and blank holding force are considered as design parameters. Orthogonal array (OA) table and characteristics are applied to neural network (NN) as train data. After training, the optimal and robust condition of design parameters is selected. This study shows the correlation between the design methodology of NN and the statistical design of experiments (DOE) approach.

Key Words : Permalloy Shielding Can(퍼멀로이 실딩 캔), Deep Drawing(디프 드로잉), Planar Anisotropy(평면 이방성), Neural Network(신경망), Orthogonal Array(직교배열)

1. 서론

자동차 계기판은 차량의 정확한 정보를 운전자에게 전달하여야 하는 특성상 부품들 높은 정도가 필수적이므로 대량생산 체제하에서 높은 정도의 부품을 제작하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 자동차용 계기판 중에서 크로스 코일 무브먼트(Cross Coil Movement)를 이용한 구동 시스템은 크로스 코일 무브먼트에 전류를 제어하여 내장된 고무자석(Rubber Magnet)을 회전 시킴으로써 차량 정보를 전달하며, 퍼멀로이 실딩 캔(Permalloy Shielding Can)은 자동차용 계기판내의 크로스 코일 무브먼트를 기구적으로 지지 하고 전자기적 특성

을 가지도록 하는 것이다. 크로스 코일 무브먼트 연료계의 구조는 Fig.1 과 같다.

현재 디프 드로잉(Deep Drawing) 공법으로 퍼멀로이 실딩 캔을 생산하는 국내 업체는 수개에 이르지만, 디프 드로잉공법 특성상 지침식 연료계의 퍼멀로이 실딩 캔의 지시 정밀도를 만족시키며 경쟁력 있는 제조 원가로 양산 공급하는 업체가 없어 외국 업체로부터 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 그러므로 자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔의 부품 특성 향상 및 경쟁력 강화를 위한 국산화 기술 개발이 절실히 요구된다. 본 연구의 목적은 부품 특성 향상 및 경쟁력을 갖춘 자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔 제작의 국산화 기술 개발

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
** (주)대우통신
*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

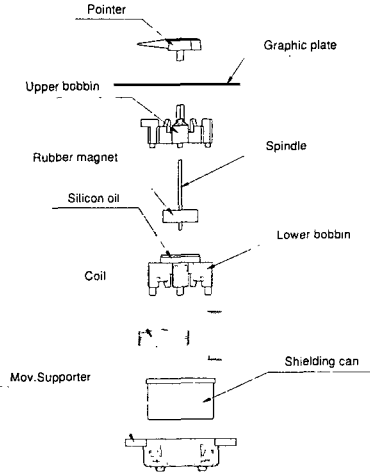


Fig. 1 The structure of cross coil movement of fuel gauge

이며, 세부적인 연구내용으로는 먼저, 퍼멀로이 실딩 캔에 투자되는 자속량을 균일하게 하기 위하여 디프 드로잉 가공 후 두께 및 변형을 편차량 최소화를 위한 가공 방법의 결정이다^[1]. 또한 기구적 구조물의 역할을 하는 퍼멀로이 실딩 캔이 진원이 아닐 경우 내부 자장의 균일도에 영향을 주어 고무 자석이 퍼멀로이 실딩 캔이 가까운 쪽으로 회전하여 지시 불량 현상이 발생하므로 퍼멀로이 실딩 캔의 진원도에 관한 연구이다^[2].

본 연구에서는 해석의 경제성과 효율성을 고려하여 실험계획법을 이용한 신경망을 적용하였다^[3-4]. 성형해석은 상용 외연적 유한요소 코드인 PAM-STAMP 를 이용하였다.

2. 퍼멀로이 실딩 캔의 공정설계

2.1 퍼멀로이 실딩 캔의 설계요구조건

퍼멀로이 실딩 캔 부품도를 Fig.2 에 나타내었다. 본 제품은 두께 0.3mm, 직경 21.8mm, 높이 14mm 이다. 자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔 부품의 각 항목별 요구사항을 Table 1 에 정리하였다. 본 연구에서 고려한 퍼멀로이의 명칭은 SUPRA50B 이며 45%의 니켈(Nickel)을 함유한 소재이다.

2.2 실험계획법을 이용한 신경망의 적용

신경망의 능력을 최대한 살리기 위해서는 신경망 학습데이터의 선정에 주의를 기울여야 한다.

Table 1 The specification of permalloy shielding can

Item	Requirement
Material	SUPRA50B-45%Ni
Thickness	0.3<0.01mm
General Tolerance	± 0.15mm
Permittable Burr	0.05mm Max
Magnetic Properties(Hc)	0.1 Å Max
No Visible Damage	scratch, greasy stain, stain etc.
The Roundness	within 0.1 from "A" to "B"
Dimensions & Magnetic Properties to be Understood After Final Heat Treatment	

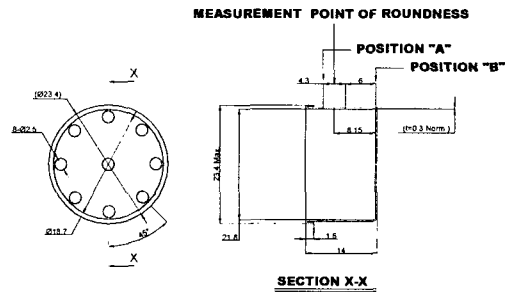


Fig. 2 The Drawing of permalloy shielding can

학습데이터에 따라 그 결과의 정확도가 달라질 수 있으며 정확한 해석을 위해서는 많은 학습데이터를 필요로 하기 때문이다. 실험계획법만으로 공정설계를 수행할 때에도, 변수 수준간의 폭이 좁아야 하며 전문가적 지식이 요구된다는 제약이 따른다. 이러한 실험계획법과 신경망이 가지는 단점을 보완하고 장점만을 살려 보다 빨리 최적의 설계변수조합을 얻기 위하여 실험계획법에서 사용된 직교배열표를 신경망의 학습데이터로 사용할 수 있도록 하였다. Fig.3 에 실험계획법과 신경망을 이용한 최적 공정설계 개념을 나타내었다.

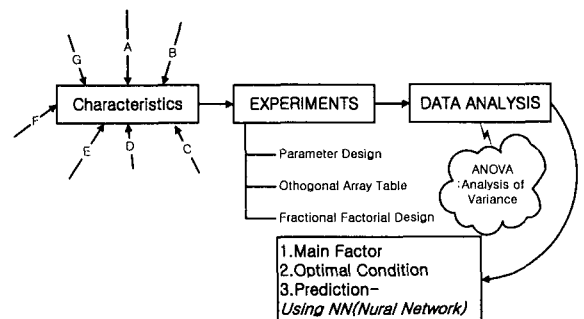


Fig. 3 Process design and optimization technique

3. 실험방법 및 장치

3.1 퍼멀로이(SUPRA50B)의 기계적 특성

본 연구에서 사용된 퍼멀로이(SUPRA50B)의 기계적 특성을 파악하기 위해 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90° 의 각 방향으로 ASTM E-8 규격의 인장 시편을 제작하여 10ton 용량의 Instron 만능 시험기에 의해 10mm/min 의 일정한 속도로 인장 실험을 실시하였다. 가공경화지수 n 값은 Holloman 의 식, $\sigma = K\varepsilon^n$ 을 이용하여 연신률 10% ~ 20% 사이에서 결정하였다. 여기서 σ 는 진응력, ε 는 소성변형률, K 는 소성계수이다. 한편 소성이방성 계수 R 값은 연신률 15%에서 폭방향 변형률 ε_w , 길이방향 변형률 ε_l 정밀 측정하여 다음식으로 구하였다.

$$R = \varepsilon_w / \varepsilon_l = -\varepsilon_w / (\varepsilon_w + \varepsilon_l) \quad (1)$$

퍼멀로이 기계적 특성을 Table 2 에 나타내었다.

3.2 마찰계수의 측정

본 연구에서 사용된 퍼멀로이(SUPRA50B)소재에 대하여 평면마찰실험을 수행하여 마찰계수를 구하였다. 마찰계수 계산은 아래의 식(2)와 같다.

$$\mu = \frac{P}{2 \times N} \quad (2)$$

여기서, N 은 수직하중이며, P 는 소재를 당기는 하중이다. 본 연구에서는 아래 식 (3)의 평균마찰 계수 계산식을 이용하여 마찰계수를 측정 하였다. 사용된 윤활제는 비수용성 FE-150S 이다.

$$\mu_{ave} = \frac{\sum_{n=1}^K \mu_n}{K} = \frac{\sum_{n=1}^K \frac{P_n}{2 \times N}}{K} \quad (3)$$

여기서, 마찰측정구간은 20mm~80mm 이고, K 는 이 구간에서 측정된 하중의 횟수를 나타낸다. 마찰계수의 측정구간과 하중을 Fig.4 에 나타내었다. 측정된 마찰계수, μ 는 0.074 이다. 측정된 마찰계수는 재료의 고유특성은 아니며 정성적인 값이다.

Table 2 Mechanical property of permalloy

Mat.	T (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	E (GPa)	EI (%)
SUPRA 50B	0.3	298.79	664.85	125.85	23.6

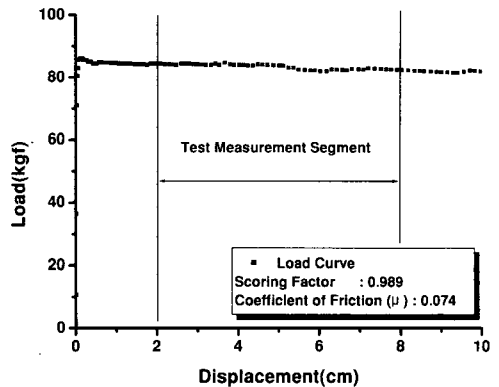


Fig. 4 Load and displacement in friction test

3.3 퍼멀로이(SUPRA50B) 재료의 성형한계

퍼멀로이(SUPRA50B) 소재의 성형 특성을 파악하기 위하여 펀치 스트레칭 실험을 수행하였다. 펀치 스트레칭 실험에 사용한 프레스는 복동식 유압 프레스인 박관종합시험기를 사용하였다. 실험할 때의 펀치 속도는 200mm/min 이고, 블랭크 홀더 압력은 74kgf/cm² 이다. 블랭크 홀더가 소재를 고정시킨 후, 펀치를 상승시켜 소재에 파단이 발생할 때까지 성형하고, 그 파단부 주위의 주변형률과 부변형률을 측정함으로써 성형 한계도를 작성하였다(Fig.5).

3.4 진원도 측정시험

본 연구에서는 Fig.2 의 점 A 에서 B 사이 구간에서 아래와 같이 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ 시점에서 진원도를 측정하였다.

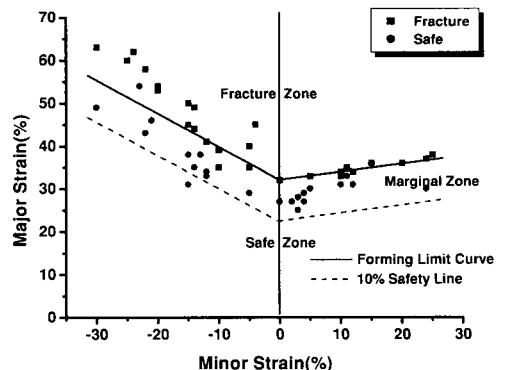


Fig. 5 Forming limit diagram of permalloy (SUPRA50B)

Table 3 The roundness from A to B

Measurement	Before annealing (mm)	After annealing (mm)
1	0.019	0.174
2	0.021	0.110
3	0.018	0.205
4	0.029	0.147
5	0.021	0.144
6	0.018	0.167
7	0.022	0.156
8	0.014	0.113
9	0.021	0.292
10	0.013	0.089
Average	0.0196	0.1597

- (가)원자재열처리 → 프레스 가공 → 치수데이터 확보① → 열처리 → 치수데이터 확보②
- (나)원자재 → 프레스 → 치수데이터 확보③ → 열처리 → 치수데이터 확보④
- (다)진원샘플선별 → 치수데이터 확보⑤ → 열처리 → 치수데이터 확보⑥

진원도 측정결과 ①, ③, ⑤의 경우에는 진원도를 얻을 수 있었으나, 열처리 후 ②, ④, ⑥의 경우에는 압연 방향으로 비틀려져 진원도를 확보할 수 없었다. 실제 부품 생산 및 본 연구에서의 열처리 조건은 1100℃× 25m/m× 8Hr 이다. 열처리 전 후 진원도 측정 데이터를 Table 3 에 나타내었다.

4. 퍼멀로이 실딩 캔의 성형해석

4.1 이방성을 고려한 초기 블랭크 형상결정

본 부품은 두께 0.3mm , 직경 21.8mm, 높이 14mm 이다. 먼저, 초기 블랭크 사이즈는 드로잉 형태의 설계 식에 따라 결정하였다^[5].

자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔은 투자되는 자속량이 균일해야 하므로 스프링 백 후에도 비틀림이 없는 기하학적 정밀도가 요구되는 부품이다. 본 연구에서는 프로그레시브(Progressive) 금형을 이용하여 퍼멀로이 실딩 캔을 디프 드로잉으로 성형하며, 제 1 공정으로 최종 깊이까지 성형을 수행하고, 제 2, 3 공정에서 부품의 탄성 복원을 줄이기 위해 다지기(Restrike) 공정을 수행하고자 한다. 마지막인 제 4 공정에서 부품의 형상을 완성하기 위해 블랭킹(Blanking) 공정을 수행한다.

본 연구에서는 탄소성 외연적 상용프로그램인

PAM-STAMP 을 사용하여 성형공정을 해석하였으며 탄소성 내연적 프로그램을 이용하여 스프링백 해석을 행하였다. 해석에 사용된 금형은 I-DEAS 시스템으로부터 묘사되었다. 해석에 사용된 재료 및 공정 변수는 Table 4 와 같다. 펀치 속도는 해의 정확성과 경제성을 동시에 고려한 10mm/s 로 수행하였다^[6].

성형해석 결과, 변형률의 분포는 균일하지 못하였다. 이것은 재료의 이방성 효과와 디프 드로잉 공정에서 소재의 귀생김(Earing)을 고려하지 않았기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 재료의 귀발생을 고려하여 귀생김이 되는 부위에는 소재의 유입을 촉진하고, 귀생김이 되지않는 부위의 소재 유입을 제어하기 위해 제 1 공정을 수행하기 이전에 드로우 슬릿(Drawslit) 공정을 추가하였다(Fig.6).

본 소재의 인장 실험 결과 Table 4 에 나타나 있듯이, 소재의 평면 이방성 ($\Delta r = (r_0 - 2r_{45} + r_{90}) / 2$) 값이 0 보다 크므로 0°, 90° 방향에서 귀생김을 짐작할 수 있다. 따라서 추가된 드로우 슬릿 공정으로 성형시 45°방향의 소재 유입을 억제하고 0°, 90°방향의 소재 유입을 촉진하기 위해 Fig.7,8 과 같이 45°방향으로 소재 끝단을 잡아 주도록 설정하였다. Fig.7 에는 45°방향으로 소재를 잡아준 경우 균일한 두께 분포를 나타내었고, Fig.8 에는 변형률 분포를 나타내었으며 변형률 분포가 균일함을 해석적으로 알 수 있었다. 이러한 결과는 퍼멀로이 판재가 생산 과정에서 압연과 소둔의 반복에 의해 받는 결정학적 방향성을 고려하여 공정설계에 적용함으로써 균일변형 및 두께 편차량을 줄일 수 있음을 보여준다.

Table 4 The condition of process parameters

Initial sheet thickness	0.3mm	
Stress-strain characteristics	$\bar{\sigma} = 1033.95(0.0131 + \bar{\epsilon})^{0.2866}$	
Young's modulus	E=125.854 GPa	
Coulomb coefficient of friction	$\mu = 0.074$	
Blank holding force	1.3kN	
Lankford value for planar anisotropy (r)	Rolling direction:	1.72
	45° direction:	1.45
	90° direction:	1.61

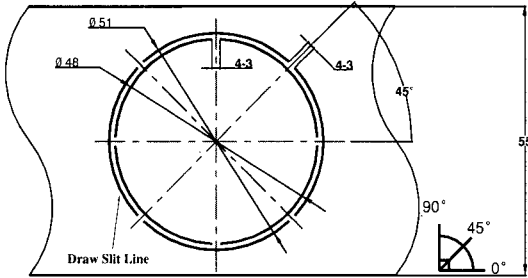


Fig. 6 Draw slit in deep drawing process

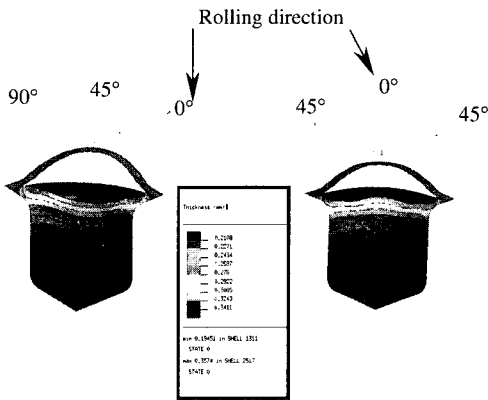


Fig. 7 Thickness distribution of permalloy can considering planar anisotropy

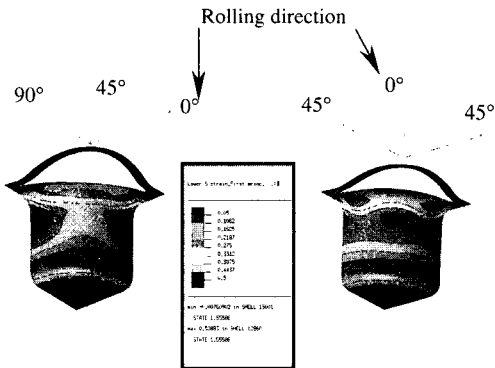


Fig. 8 Strain distribution of permalloy can considering planar anisotropy

4.2 퍼멀로이 실딩 캔 부품특성을 고려한 공정설계

본 연구에서는 퍼멀로이 실딩 캔에 투자되는 자속량을 균일하게 하기 위하여 디프 드로잉 가공 후 두께 및 변형률 최소화를 위한 가공 방법을 결정하고자 부품 성형에 가장 큰 영향을 주는 제 1 단계 성형공정에서 다이반경(R_d) 과 펀치반경(R_p)

Table 5 The levels of deign parameters

Design parameters	Levels		
	1	2	3
A: Die radius (mm)	3	4.5	6
B: Punch radius (mm)	1.2	2.1	3
C: B.H.F (kN)	1.25	1.3	1.35

그리고 블랭크 홀더력을 설계 변수로 고려하였다. 기존의 원형 디프 드로잉 부품 설계 기준을 근거하여 Table 5 와 같이 설계 변수를 선정하였다. 먼저, 다이와 펀치의 반경은 기존의 설계 방법에 근거하여 $4t \sim 6t \leq R_d, R_p \leq 10t \sim 20t$ 범위에서 결정하였다. 일반적으로 펀치의 반경은 다이 어깨부의 반경보다 낮은 범위에서 설계하며, 본 연구에서도 Table 5 와 같이 낮은 반경 범위에서 펀치의 반경 범위를 결정하였고, 홀더력은 소재를 누르는 최소 범위에서 다이 공동부로의 소재유입 이 원활하며 파단이 생기지 않는 범위에서 결정하였다. 해석절차는 Table 6 의 $L_9 3^4$ 의 직교배열표를 이용하였다. 성형 후 두께 및 변형률의 편차량을 목적 함수로 하여 직교배열표의 설계변수조합에 따라 9 번의 성형해석을 수행하였다. Table 6 의 직교배열표에 따라 성형해석을 수행한 후 미해석 변수조합이 가지는 변형률과 두께 편차량을 감독 학습의 역전파 학습 신경망 알고리즘에 의해 학습하였다. Fig.9 에는 신경망으로 예측한 소재 상부의 변형률 편차량을 나타내었다. 최소의 블랭크 홀더력 1.25kN 에서 다이와 펀치 반경에 관계없이 변형률 편차량이 작았다.

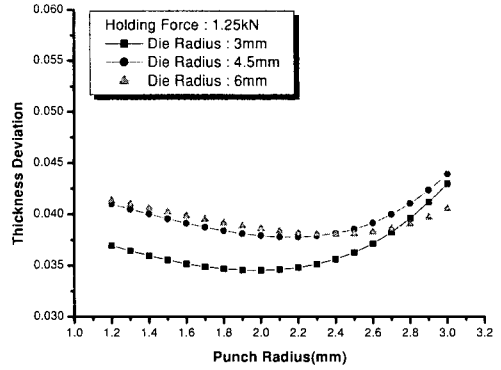
다이 반경이 3mm 이고, 펀치 반경이 1.9mm 일 때가 가장 낮은 소재 상부의 변형률 편차량을 가지는 것을 알 수 있다. 소재 하부의 변형률 편차량과 두께 편차량도 유사한 커브 형태를 나타내며, 고려한 설계변수조합도 동일한 조건인, 블랭크 홀더력이 1.25kN 와 다이 및 펀치 반경이 각각 3mm, 1.9mm 인 조건이었다.

이상의 결과로 고려한 설계 변수 범위에서 목적 함수인 변형률 편차량 및 두께 편차량을 최소화 하는 설계변수조합은 홀더력 1.25kN, 다이 반경 3mm, 펀치 반경 1.9mm 이었다.

다층 퍼셉트론 역전파 신경망은 함수 근사까지 그 응용 범위가 확대되었고 능력도 우수하다. 함수 보간의 문제에서는 외삽(Extrapolation)의 문제

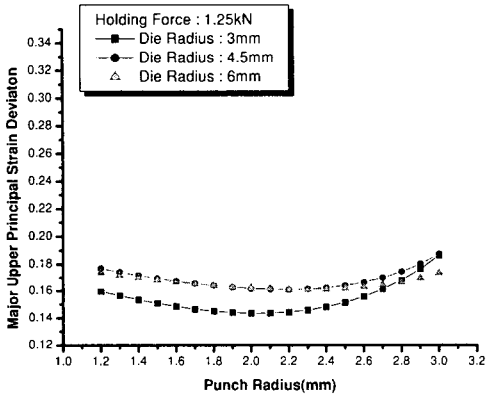
Table 6 OA table and results of FE-simulations

Control Parameters and Column Number					Object Function		
	Rd	Rp	BHF	(Err-or)	Deviation		
No.	1	2	3	4	Lower Strain Deviation	Upper Strain Deviation	Thickness Deviation
1	0	0	0	0	0.161	0.159	0.036
2	0	1	1	1	0.192	0.166	0.040
3	0	2	2	2	0.348	0.330	0.058
4	1	0	1	2	0.225	0.190	0.044
5	1	1	2	0	0.248	0.202	0.046
6	1	2	0	1	0.219	0.187	0.043
7	2	0	2	1	0.229	0.194	0.044
8	2	1	0	2	0.174	0.161	0.038
9	2	2	1	0	0.248	0.203	0.0458



(c) Thickness deviation

Fig. 9 The strain and thickness deviation predicted by neural network



(a) Major upper principal strain deviation

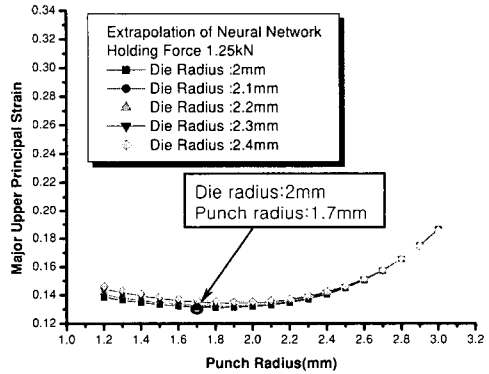
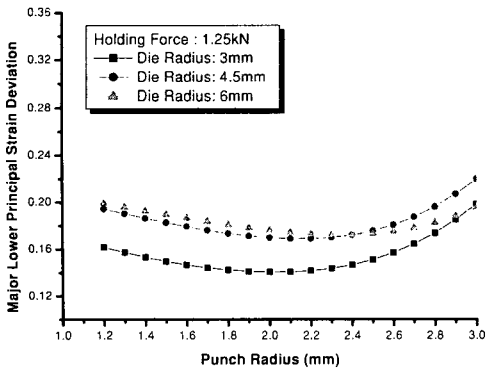


Fig. 10 The extrapolation of major upper principal strain deviation predicted by neural network



(b) Major lower principal strain deviation

에도 10% 내에서 그 능력을 인정 받고 있다. 따라서, 본 연구에서 고려한 다이 반경 범위에서 다이 반경이 작은 값에서 변형률 및 두께의 편차량이 낮아지므로, 신경망의 외삽 능력으로 변형률 편차량을 알아 보았다. Fig.10는 소재 상부의 변형률 편차량을 다이 반경 2mm 범위까지 외삽하여 나타내었다. Fig.10에서 펀치 반경이 다이 반경보다 증가하는 범위($R_p > 2mm$)에서는 변형률 편차량이 증가함을 예측하였다. 또한 다이 반경이 2mm 이하의 범위에서 변형률 편차량을 최소로 하는 펀치 반경은 다이 반경과 동일한 값을 나타내므로 신경망 예측 결과의 적용 가능 범위를 다이 반경

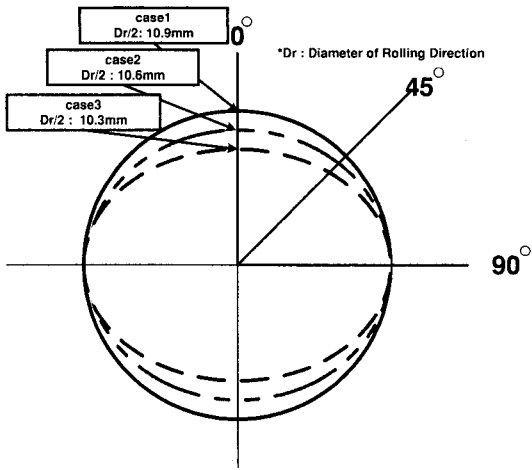


Fig. 11 The case of punch ellipse size in the 2nd drawing process

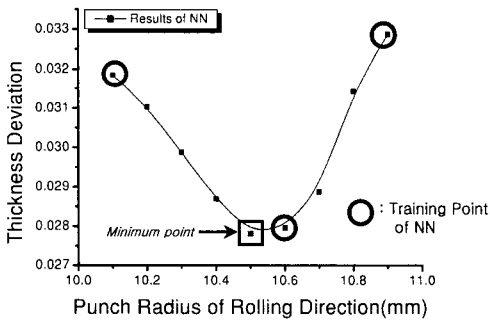


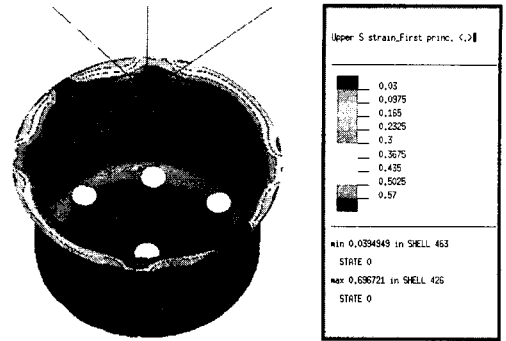
Fig. 12 The interpolation of neural network at each ellipse size of punch in rolling direction

2mm 로 하였다. 신경망으로 예측한 변형을 편차량을 최소로 하는 설계변수조합 조건은 블랭크 홀더력은 1.25kN, 다이 반경 2mm 그리고 편치 반경은 1.7mm 이다.

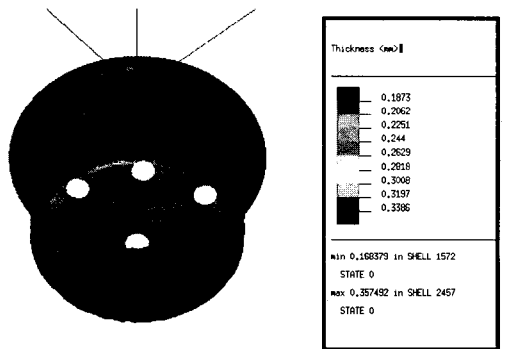
4.3 진원도를 고려한 공정설계

본 연구에서는 부품의 열처리 후 압연 방향으로 비틀림을 막기 위하여 디프 드로잉 공정 중 제 2 차 다지기 공정에서 타원형의 편치를 고려하여 열처리 후 부품 비틀림을 보상하고자 한다.

Fig.11 에는 제 2 공정인 다지기 공정에서 고려한 세 가지 타원 편치 형상을 나타내었다. 퍼멀로이 소재는 두께 불균일로 인한 실딩 캔의 잔류 자속에 미치는 영향이 크므로 다지기 공정인 제 2



(a) Major upper strain deviation



(b) Thickness distribution

Fig. 13 The FE-simulation of permalloy shielding can using a select condition

공정에서 두께 편차량을 목적함수로 하고, 압연방향의 편치 직경을 설계변수로 하였다. 신경망 학습 결과, 두께 편차량을 최소로 하는 압연방향의 편치 반경은 10.5mm 로 예측되었다(Fig.12).

5. 결과 및 고찰

퍼멀로이 실딩 캔의 잔류 자속에 미치는 영향을 억제하고 투자되는 자계의 양을 균일하게 하여 자동차 계기판의 지시 특성을 향상시키기 위하여 본 연구에서는 퍼멀로이 성형공정 중 제 1 성형공정의 공정설계를 수행하였다. 공정설계기법으로는 실험계획법을 이용한 신경망을 적용하였고, 그 결과 변형을 편차량과 두께 편차량을 최소로 하는 설계변수조합을 찾을 수 있었다. 또한 열처리 후 압연 방향으로 비틀림을 보상하기 위하여 두께 편차량을 목적 함수로 하여 두께 편차량을 최소로 하는 편치 형상을 결정하였다. Fig.13 에는 신경망

Table 7 The roundness from A to B using a select conditions

Measurement	Before annealing (mm)	After annealing (mm)
1	0.013	0.014
2	0.014	0.014
3	0.014	0.016
4	0.015	0.018
5	0.013	0.014
6	0.013	0.014
7	0.016	0.018
8	0.014	0.014
9	0.015	0.015
10	0.013	0.014
Average	0.0140	0.0152

Table 8 The thickness of permalloy shielding can after drawing process

Measure-ment	Conventional method (mm)			Proposed method (mm)		
	A	B	C	A	B	C
1	0.251	0.254	0.272	0.263	0.268	0.282
2	0.253	0.260	0.271	0.265	0.270	0.291
3	0.262	0.272	0.283	0.264	0.267	0.283
4	0.257	0.265	0.276	0.261	0.265	0.280
5	0.263	0.274	0.298	0.263	0.268	0.281
Average	0.257	0.265	0.28	0.263	0.267	0.283
Min.	0.251	0.254	0.271	0.261	0.265	0.280
Max.	0.263	0.274	0.298	0.265	0.270	0.291
Max.-Min.	0.012	0.02	0.027	0.004	0.005	0.009

으로 찾아낸 공정변수조합으로 유한요소해석을 수행한 후 두께 및 변형률 분포를 나타내었고, 이 그림을 보면 두께 및 변형률 모두 균일한 분포를 가진다는 것을 알 수 있다. 성형해석 결과를 토대로 찾아낸 공정변수조합을 이용하여 신뢰성 실험을 실시하였다.

5.1 진원도 결과 및 비교

신뢰성 실험은 부품의 진원도를 Fig.2의 점 A와 점 B 사이에서 측정하였다. 진원도는 ①디프 드로잉 성형 후와 ②1100°C x 25m/m x 8hr 에서 열처리 후를 각각 측정하였다. 그 결과 부품의 진원도는 Table 7에서 나타난 것과 같이 ①의 경우 0.0140, ②의 경우 0.0152 이었고, 그 변화량이 작음을 알 수 있었다. Table 3에서 나타나 있는 기존의 실험에서 측정된 치수와 비교하면 열처리 전의 진원도는 거의 비슷하였으나, 열처리 후의 진원 오차가 상당히 줄어들었음을 확인 할 수 있었다. 측정된

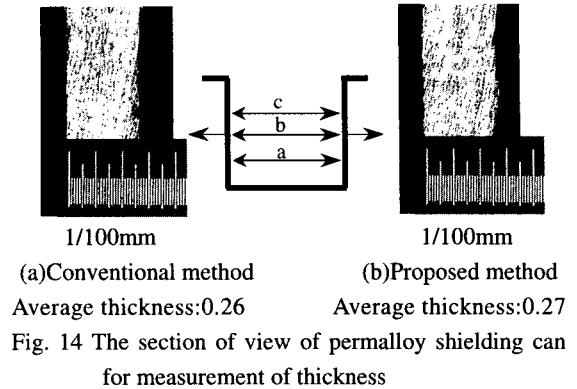


Fig. 15 The picture of permalloy shielding can using a select condition in drawing process (a)After draw slit and 1st drawing process and (b) The part of permalloy shielding can

진원도 값은 부품의 요구조건(0.1mm 이하)을 만족하였다.

본 연구결과는 다지기 공정인 제 2 공정에서 타원형의 펀치를 이용함으로써 열처리 후, 압연방향으로의 부품 비틀림을 막아 주었기 때문이며, 신경망을 이용한 두께편차를 최소화하는 타원형 펀치형상을 설계함으로써 부품에 특성에 영향을 미치지 않으며 동시에 진원에 가까운 부품을 얻을 수 있었다.

5.2 두께 측정 결과 및 비교

퍼멀로이 관재의 생산 과정에서 발생하는 결정학적 방향성을 고려한 균일 두께 및 변형률 최소화를 위한 다이 반각 및 펀치 형상 설계의 신뢰성 시험은 퍼멀로이 실딩 캔의 두께에 대한 균일도로 검증하였다. 두께 측정은 Fig.14의 부품 단면사진에서 동일부위, 즉 a, b, c 점을 잡아 5 개의 시편에 대한 두께측정 결과를 Table 8에 나타내었다. 두께의 변화량은 기존의 부품성형방법보다 본 연구에서 제안하여 추가된 드로우 실릿공정과 제 1공정

의 공정설계 그리고 진원도를 고려한 펀치 형상을 타원형상(Fig.12)으로 재설계 함으로써 두께 분포의 편차를 줄일 수 있음을 확인하였고, 퍼멀로이 실딩 캔 부품의 요구조건을 만족하였다.

Fig.15 에는 본 연구에서 제시한 설계방법을 이용하여 선정된 공정변수조합을 이용하여 디프 드로잉 실험 및 열처리 가공을 수행한 후, 자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔의 최종제품 사진을 나타내었다.

6. 결론

본 연구에서는 자동차 계기판용 퍼멀로이(SUPRA50B) 재료의 기계적 특성과 성형한계 특성 그리고 마찰특성에 관하여 실험을 수행하였다. 이러한 실험결과를 이용하여 퍼멀로이 실딩 캔 내부에 형성된 자장이 균일하게 분포하도록 디프 드로잉 후 두께 및 변형률 편차량이 최소화 되는 다이와 펀치형상의 결정하였다. 또한 퍼멀로이 실딩 캔의 열처리 후 진원도 확보를 위하여 압연방향으로의 비틀림을 방지하는 펀치형상을 결정하였다. 이상의 결과를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 퍼멀로이 소재의 결정학적 방향성을 고려한 드로우 실릿 공정을 추가하여 다이 공동부로의 균일 변형 및 두께 분포를 얻을 수 있었다.
- 2) 균일한 변형률 및 두께 분포를 가지는 펀치 및 다이 반각을 결정하기 위하여 실험계획법을 이용한 신경망 기법을 적용하였다. 그 결과 변형률 편차량 및 두께 편차량을 최소로 하는 설계변수조건은 최소 홀더력 1.25kN 이며 다이 반경 2mm 그리고 펀치 반경 1.7mm 이었다.
- 3) 압연방향으로의 비틀림을 방지하기 위해 결정된 압연방향의 펀치 반경은 10.5mm 이었다. 이 조건으로 퍼멀로이 실딩 캔의 진원도 측정결과 0.0152mm 로써 부품 설계요구조건을 만족하였다.
- 4) 변형률 및 두께 편차량을 최소화 하는 다이 반

각 및 펀치 형상으로 디프 드로잉 하여 퍼멀로이 실딩 캔의 벽면 두께를 측정하였다. 측정된 벽면 두께의 편차량은 0.01mm 이하로 두께 편차에 의한 투자량의 편차를 개선하였으며, 퍼멀로이 실딩 캔의 설계요구조건을 만족하였다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Y.H.Kim and S. J. Choi, "Effect of Cold Reduction on the Magnetic Properties of 45%Ni-Fe Permalloy Sheet," J. of the Korean Inst. Of Metals, Vol. 28, No. 1, 1990.
2. D.W.Lee and H.S.Chung, "Magnetic Properties of Permalloy (PB, PC) Strip Fabricated by Powder Rolling Process," J. of Korean Powder Metallurgy Institute, Vol. 3, No. 1, pp. 13-24, 1996.
3. D.H.Kim, D.J.Kim and B.M.Kim, "The Application of Neural Networks and Statistical Methods to Process Design in Metal Forming Processes," Int J Adv Manuf. Technol, Vol. 15, pp. 886~894, 1999.
4. D.H.Kim, D.C.Ko and B.M.Kim, "Application of artificial neural network and Taguchi method to preform design in metal forming considering workability," Int. J. of Machine Tools and Manufacture, Vol. 39, Issue 5, pp. 771~785, 1999.
5. 국립공업시험원, 프레스금형의 부품 및 성형작업기준, 1987.
6. 정동원, 외연적 시간 적분법을 이용한 박판성형공정의 강소성 유한요소해석, 박사학위논문, 한국과학기술원, 1995.