

# 박판 스프링용 재료의 기계적특성과 굽힘가공성 평가 연구

원시태<sup>#</sup> · 임금호<sup>1</sup>

## A Study on the Mechanical Properties and Bending Formability Evaluation of the Spring Strip Materials

S. T. Won, K. H. Lim

(Received November 16, 2006)

### Abstract

This study examined the mechanical properties and bending formability evaluation of spring strip materials(SK5 CSP-H, STS 301 CSP-EH, C7701-H). The hardness test and tensile test were performed at room temperature(20°C) for mechanical properties. The U-bending test were carried out at various conditions of punch corner radius( $R_p$ ), ratio of punch corner radius/thickness( $R_p/t$ ) and ratio of clearance/thickness( $C/t$ ) for bending formability evaluation.

**Key Words** : Spring Strip Materials, Mechanical Properties, Bending Formability, Spring Back(degree), Ratio of Punch Corner Radius/Thickness( $R_p/t$ ), Ratio of Clearance/Thickness( $C/t$ )

### 1. 서 론

박판 스프링은 접점, 릴레이, 스위치, 리드&디스차지 밸브 등과 같이 가전제품, 통신기기, 자동차관련 산업에서 광범위하게 사용되고 있으며, 이들 용도의 재료는 산업이 점점 고정밀도, 소형화, 다기능화 및 고속화 되어감에 따라 점점 박판으로 요구되고 있고, 이들 재료는 내피로성, 전기적 특성, 내식성, 가공성 등이 우수해야 하기 때문에 철강재료 중 탄소공구 강대는 내구성이 좋아 산업기기, 자동차, 가전제품의 스프링용도에, 스테인리스 강대는 비자성의 특성 때문에 전기, 전자부품이나 고강도, 내식성이 요구되는 스프링 용도에, 또한 양백, 티타늄동, 인칭동 및 베릴륨동과 같은 비철계 동합금은 내식성, 전성, 내 피로성이 우수하여 전자, 통신, 정보, 전기, 계측기기용의 스위치, 커넥터, 릴레이 등의 용도로 사용되고 있다 [1~4].

한편, 판두께 0.05~0.4mm의 박판 스프링재의 경우경도시험, 영율시험, 스프링한계시험, 인장시험, 피로시험 및 크리프 시험에 대한 기계적 특성 값을 조사한 결과 동일한 실험에서도 시험기 및 실험방법이 다르면 약 10%의 실험값의 오차가 발생하고 있음이 보고된 바 있다[5]. 이상과 같이 박판 스프링용 재료의 미소한 품질의 변화는 제품 강도에 큰 영향을 미치고 있고, 또한 특성 평가 방법에 따라서 특성 값의 결과도 상이하게 나타나고 있기 때문에 미국은 SMI(Spring Manufactures Institute), 유럽과 영국은 SRAMA(The Spring Research and Manufactures Association) 및 UKSMI(영국 스프링공업회)가, 일본은 박판 스프링의 특성 평가 위원회가 구성되어 각종 스프링시험과 관련한 특성평가 방법을 규정하여 사용하고 있다[3,5,6].

한편, 박판 스프링 재료의 성형가공은 블랭킹가공, 굽힘 가공이 대부분이고, 드로잉, 인장 성형등의 기타가공을 일부 행하고 있다. 특히 굽힘 가공성

1. 서울산업대학교 산업대학원 정밀기계공학과  
# 교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과,  
E-mail:stwon370@snut.ac.kr

의 평가는 피가공재의 가공한계, 스프링백 및 성형각도 등이 중요한 인자이지만, 가공방법, 모양, 재질에 따라서도 이들 값은 변하는 것으로 알려져 있고, 일본 박판스프링 공동연구 소위원회는 판 두께 0.25mm, 0.5mm를 갖는 각종 박판 스프링용 재료에 대한 굽힘 가공성 시험에서 90° V 굽힘 실험을 행하고, 펀치 선단반경과 판 두께의 비에 대한 스프링 백을 검토하여 박판 스프링용 강대의 굽힘 가공 특성을 발표한 바 있다[7].

또한, 국내의 경우 스프링백에 의한 소재의 성형성평가를 위해 수행한 연구사례를 살펴보면, 김용환 등은[8] 고강도 TRIP 강판 소재를 V-굽힘 실험에 의해, 신장모, 허영모 등은[9] 두께가 다른 SCP1 강의 용접판재를 U-굽힘 실험을 통해 성형성을 평가한 바 있고, 양동열 등은[10] 박판성형에서의 스프링해석과, 산업적응용에 대한 연구결과를 발표한바 있다.

한편, 박판 스프링은 전 세계적으로 그 용도가 점차 확대되고 있는 시점에서 국내의 경우는 박판 스프링용 소재를 아직도 일본과 유럽 등 선진 외국에서 수입해서 사용하고 있는 실정이며, 박판 스프링 소재의 국산화 및 사용 환경을 고려한 기계적 특성 및 성형성 평가에 대한 자료가 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 박판 스프링 용도로 사용되고 있는 재료 중 냉간 압연 강대인 SK5 CSP-H재와 스테인리스 강대인 STS301 CSP-EH재 및 동합금재료인 양백 C7701-H재의 기계적 특성 및 굽힘성형성 평가 실험을 행하였다

## 2. 실험재료 및 실험 방법

### 2.1 실험재료

본 실험에서 사용한 박판 스프링재료는 박판 스프링 소재로 많이 사용되고 있는 재료중 냉간 압연 후 850℃에서 15분간 유지하고 330℃의 열욕에서 15분간 유지 후, 공냉처리를 한 열처리 강대인 탄소공구 강대(SK5 CSP-H재)와 열간 코일에 냉간압연을 하여 1150~1160℃에서 고용화 열처리를 한 후, 냉간 조질압연을 통하여 최종 사용 두께를 결정하는 스테인리스 강대(STS301 CSP-EH재) 및 비철금속 동합금계 재료인 C7701-H재를 선정하였다.

Table 1은 본 실험에서 사용한 재료의 종류 및 화학성분을 나타낸 것이다.

Table 1 Chemical composition of specimen

Specimen	t (mm)	Chemical composition (wt. %)										
		C	Fe	Si	Mn	P	Pb	S	Cu	Ni	Cr	Zn
SK5 CSP-H	0.3	0.8-0.9	remain	0.35	0.5	0.03	-	0.03	0.3	-	0.2	-
	0.5											
STS301 CSP-EH	0.12	0.15	remain	1.0	2.0	0.045	-	0.03	-	6.0-8.0	16.0-18.0	-
	0.15											
C7701-H	0.08	-	0.25	1.0	2.0	0.045	0.1	0.03	54.0~58.0	16.5~19.5	16.0-18.0	remain

### 2.2 현미경 조직검사

박판 스프링용 소재의 현미경 조직 검사는 SK5 CSP-H재의 경우 5% Nital 부식액을, STS301 CSP-EH재와 C7701-H재의 경우에는 왕수[HCl(3)+HNO<sub>3</sub>(1)]용액을 사용하여 부식시킨 후, 주사전자현미경에서 1500배의 배율로 관찰하였다.

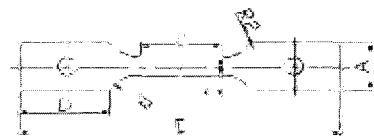
### 2.3 경도시험방법

실험 재료는 0.5m 이하의 박판이므로 경도값의 측정은 시험편을 마운팅 한 후, 미소 비커어스 경도계[Model Future Tech. FM-7]를 사용하여 100g의 시험하중 조건에서 측정회수는 10 회 실시하여 평균값을 구하였다[11].

### 2.4 인장시험편 및 인장 시험방법

인장시험편의 규격 및 형상은 Fig.1과 같고, 시험편의 동일 규격화를 위하여 금형을 제작하여 프레스에서 블랭킹 가공을 하였다.

인장시험은 전기 유압식 인장시험기[Instron 8516]를 사용하였다.



A=20(mm), B=30(mm), C=7(mm), D=35(mm), E=120(mm)  
t=0.08, 0.12, 0.15, 0.3, 0.5(mm)

Fig. 1 Geometry of creep test specimen

### 2.5 굽힘 실험방법

본 실험에서 적용한 굽힘 시험은 스프링재료의 탄성복원력인 스프링 백을 측정하여 굽힘성형성을 평가하기 위한 것으로 U 형 굽힘 실험을 실시하였다. 특히 U 형 굽힘 실험의 경우 굽힘 실험에 미치는 인자는 소재의 종류와 두께, 펀치와 다이 어깨 반경, 다이 어깨 폭, 틈새, 성형 깊이 등을 고려해야 한다[12].

따라서 본 실험에서 사용한 박판 스프링용 재료의 두께(t)는 0.08mm~0.5mm 의 범위를 갖기 때문에 이들 두께의 인자를 고려한 U 형 굽힘 금형을 제작하여야 한다.

먼저, 다이 어깨반경(Rd)의 기준을 고려하면 다음과 식과 같다[10].

$$R_d \geq 3\sqrt{t} \sim 4\sqrt{t} \quad (1)$$

따라서 본 실험에서 사용한 소재 중 두께가 가장 큰 0.5mm를 고려하면  $R_d \geq 2.83\text{mm}$  이어야 한다.

한편 펀치 어깨반경(Rp)의 경우에도 상기의 식을 적용하는 경우와 함께 재료의 특성을 고려한 (Rp)의 선정조건은 굽힘선 방향이 압연방향에 직교하는 경우 (2.0t~4.5t)를 고려할 수 있는데, 본 실험의 경우 (Rp)는 2.25mm 이상이면 충분한 것으로 고려되고 있다. 한편 본 실험재료의 경우 소재두께(t)가 각각 다르기 때문에, 일정한 틈새량(C)에 의한 각각의 소재별 스프링백의 영향을 비교하는데 문제가 있어서 본 실험에서는 순수 U형 굽힘특성인 틈새비[틈새량/소재두께(C/t)]가 C/t=1인 경우와, 틈새량이 소재두께보다 작은 아이어닝 가공특성이 고려된 U형 굽힘 조건인 틈새비가 C/t=0.3인 경우를 중심으로 스프링백 량을 비교 검토하였다[13].

이상과 같이 U굽힘 실험을 위한 금형의 조건을 고려하여 Fig. 2와 같은 U굽힘 금형을 제작하여 실험에 사용하였다. 이 때 금형의 구조는 다이폭(W)은 70mm, 다이어깨 반경(Rd)은 5mm로 고정하였고, 펀치 어깨 반경(Rp)가 스프링 백에 미치는 영향을 고려할 수 있도록 (Rp)는 5mm와 10mm의 두 종류로 하였다. 또한, 틈새량(C)은 시험조건에 따라 변화를 줄 수 있도록 제작 하였고, 틈새게이지를 사용하여 틈새량을 조절하였다. 이때 굽힘 깊이는 12mm로 일정하게 하였다.

본 실험에서 사용한 U 굽힘 시험편의 규격 및 형상은 Fig. 3과 같고, 시험재료의 압연방향으로 시험편의 동일 규격화를 위해 프레스에서 블랭킹 가공을 하였다. 이때, 시험편의 굽힘선 방향은 압연방향에 직교하도록 하였다.

Table 2는 본 실험에서 사용한 굽힘 실험 조건을 나타낸 것이고, 굽힘 시험은 Fig.4에서 보는 바와 같은 만능재료시험기에 제작된 U형 굽힘 금형을 장착하여 실험속도는 10mm/min으로 행하였고, 이때 굽힘 하중과 변위의 관계는 재료시험기와 Interface

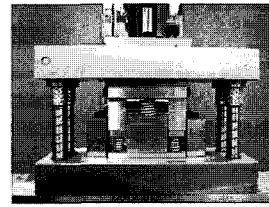


Fig 2. U-Bending die for experiment

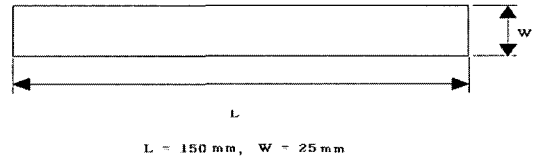


Fig. 3 Geometry of bending testing specimen

Table 2 The conditions of bending test

Specimen	Thickness t (mm)	Depth of bend(t) (mm)	Die Corner radius(Rd) (mm)	Punch Corner radius(Rp) (mm)	Ratio of (Rp/t)	Clearance (C) (mm)	Ratio of C/t
SK5 CSP-H	0.3	12 (Fixed)	5 (Fixed)	5	16.6	0.09	0.3
						0.15	0.5
				0.30		1.0	
	0.5			10	33.3	0.09	0.3
						0.15	0.5
				0.30		1.0	
STS301 CSP-EH	0.12	12 (Fixed)	5 (Fixed)	5	41.6	0.036	0.3
						0.12	1.0
				0.15		1.25	
	0.15			10	83.2	0.036	0.3
						0.12	1.0
				0.15		1.25	
C7701-H	0.08	12 (Fixed)	5 (Fixed)	5	62.5	0.045	0.3
						0.15	1.0
				0.045		0.3	
	10			125	0.15	1.0	
					0.024	0.3	
					0.08	1.0	
						0.15	1.875

된 컴퓨터에서 Data가 자동 저장되어 분석할 수 있도록 하였다.

또한 굽힘 시험 후 시험편의 좌우에서 발생하는 스프링백 량은 Fig. 5에서 a점과 b점을 잇는 직선 또는 c점과 d점을 잇는 직선과 b점과 c점을 잇는 직선과의 각도를 측정하여 B°의 각도를 구한 후, B°의 각도에서 90°를 뺀 A°의 각도를 스프링백 량으로 정의하였고, 또한 굽힘 실험 후 시험편에 발생하는 스프링백 량의 측정은 Fig. 6의 공구현미경(Tool microscope QC-4000)을 이용하였다.

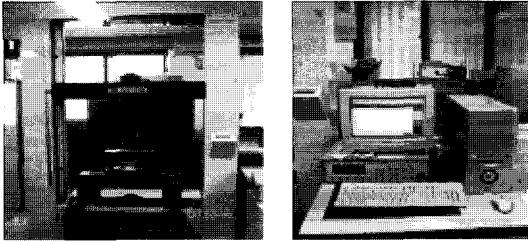


Fig. 4 Universal testing M/C

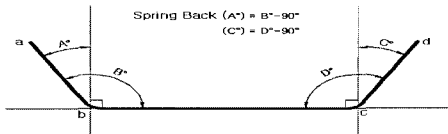


Fig. 5 Measurement of bending testing specimen



Fig. 6 Tool microscope (QC-4000)

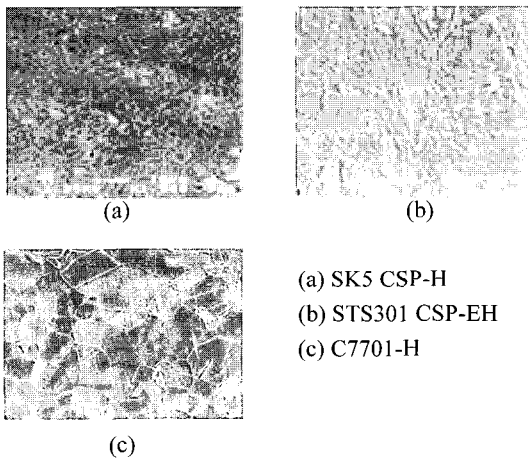


Fig. 7 Micro structure of spring strip materials(1500X)

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 현미경 조직사진 결과 및 고찰

Fig. 7(a)는 850℃에서 15분간 가열유지하고, 330℃의 염욕에서 15분간 유지 후, 공냉처리 한 SK5 CSP-H재의 조직사진으로, 템퍼드-마르텐사이트 기지에 백색 탄화물로 구성되어 있으며, Fig. 7(b)

**Table 3 The result of micro-vickers hardness test**

Specimen	Thickness(mm)	Hv
SK5CSP-H	0.3	489.4
	0.5	473.9
STS301CSP-EH	0.12	522.5
	0.15	518.1
C7701-H	0.08	210.7

**Table 4 The result of tensile test of spring materials**

Specimen	Thickness t(mm)	Testing temperature(℃)	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Total strain (%)
SK5CSP-H	0.3	R.T	167.5	148.5	7.9
	0.5	R.T	161.5	143.0	8.0
STS301 CSP-EH	0.12	R.T	183.1	181.6	3.0
	0.15	R.T	177.4	176.2	3.4
C7701-H	0.08	R.T	69.4	68.7	2.1

는 STS301 CSP-EH 재의 조직사진으로 오스테나이트 조직이 매우 치밀하고, 집합조직 내에 많은 슬립발생에 의한 쌍성조직을 갖고 있으며, Fig. 7(c)는 C7701-H 재의 조직사진으로 21~29%의 Zn 함량으로 인해 풀림쌍정이 α 결정입자에 발생한 다결정조직과 슬립밴드가 관찰되고 있다.

#### 3.2 경도실험 및 고찰

Table 3은 SK5 CSP-H재, STS301 CSP-EH재 및 C7701-H재의 경도값(Hv)을 나타낸 것으로 실험결과 SK5 CSP-H재의 경도값은 473.9~489.4으로 KS 규격(KS D 3597)의 담금질과 뜨임 조절 처리된 SK5 CSP-H재의 경도값인 350~600의 범위내[14]에서 나타나고 있다. 또한 STS301 CSP-EH재의 경도값은 518.1~522.5의 범위에서 나타나고 있고, KS 규격(KS D 3534)의 경도값인 490이상의 범위[15]에서 나타나고 있으며, 양백 C7701-H재의 경도값은 210.7으로 KS규격(KS D 5202)의 경도값인 180~240의 범위[4]에서 나타나고 있다.

#### 3.3 인장실험 결과 및 고찰

Table 4는 상온에서의 인장실험 결과 얻어진 인장강도, 항복강도 및 연신율을 정리한 것으로 실험재료중 인장 및 항복강도는 스테인리스강대인 STS 301CSP-EH 재가 가장 크고, 비철계 동합금인 C7701-H 재는 인장 및 항복강도가 실험재료중 가장 낮으면서도 연신율이 2.1%로 가장 낮은 특징을 갖고 있다.

### 3.4 굽힘실험 결과 및 고찰

Fig. 8은 각각 SK5 CSP-H재, STS301 CSP-EH재 및 C7701-H재의 굽힘 실험 시 나타나는 굽힘 하중과 변위의 관계를 나타낸 것이고, Fig. 9는 굽힘 실험 후 시험편의 형상을 나타낸 것이다.

먼저 펀치 어깨반경(Rp)이 굽힘 하중에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 Fig. 10(a) 및 (b)는 각각 (Rp)가 5mm와 10mm인 경우, 굽힘 하중과 틈새비(C/t)의 관계를 나타낸 것이다. 실험결과 동일한 두께를 갖는 동일 소재의 경우 굽힘 하중은 (Rp)가 클수록 저하하는 경향을 갖고 있으나, 이 현상은 시편 두께가 작은 재료보다는 0.3~0.5mm로 두께가 큰 SK5 CSP-H재에서 특히 (C/t)가 0.3인 아이어닝 굽힘 시험조건에서 굽힘하중이 현저히 저하하였다. 또한 동일한 (Rp)조건에서도 시편 두께가 큰 SK5 CSP-H재는 (C/t)의 값이 증가할수록 굽힘하중은 현저히 저하하나, 시편 두께가 0.15mm이하인 STS301 CSP-EH재 및 C7701-H재의 경우에는 (C/t)가 0.3에서 1.25 및 1.785로 크게 증가하여도 굽힘하중은 크게 저하하지 않고 있음을 알 수 있었다.

한편, Fig. 11(a) 및 (b)는 각각 펀치 어깨반경(Rp)이 5mm와 10mm인 경우 스프링백량과 틈새비(C/t)의 관계를 나타낸 것이다. 실험결과 동일한 두께를 갖는 동일 소재는 (Rp)가 클수록 스프링백량이 크게 발생하고, 동일한 (Rp)조건에서는 (C/t)가 클수록 스프링백량은 서서히 증가하고 있다. 또한 스프링백량은 (Rp)가 큰 경우보다는 작은 경우에서, 소재 두께(t)가 얇은 STS301 CSP-EH재 및 C7701-H재가 소재 두께(t)가 상대적으로 큰 SK5CSP-H재보다 (C/t)가 클수록 스프링백량은 더욱 크게 증가하고 있다. 실험결과 본 실험재료 중 스프링백량은 0.5mm 두께를 갖는 SK5 CSP-H재가 (Rp)가 5mm이고, 틈새비(C/t) 0.3~1.0 조건에서 스프링백량이 37.9°~38.7°로 발생하여 굽힘성형성이 가장 우수하였다.

한편 굽힘성형 가공시 스프링백량이 클수록 굽힘가공 성형성은 바람직하지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서 Fig. 12는 본 실험에서 사용한 박판 스프링용 소재에 대한 펀치어깨 반경비(Rp/t)와 스프링백량의 관계를 나타낸 것으로, 동일한 틈새비(C/t)조건에서 이들 소재는 (Rp/t)가 증가할수록 스프링백량은 증가하여 굽힘가공성이 저하하고 있으며 이들 조건에 따른 스프링백량과 (Rp/t)의 관계식은 다음과 같다.

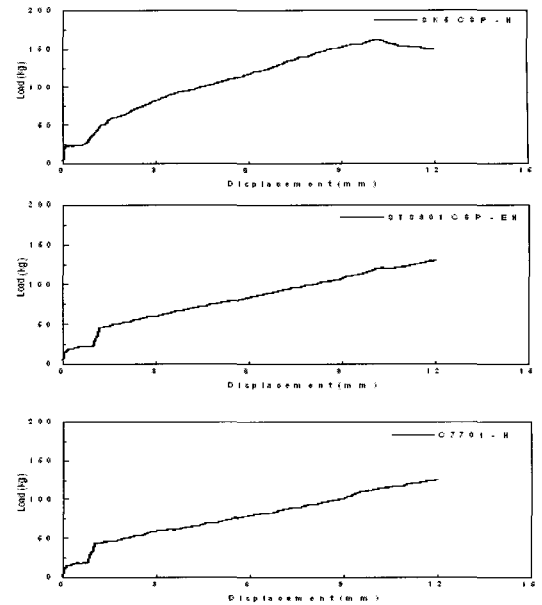


Fig. 8 The relation between bend load and displacement

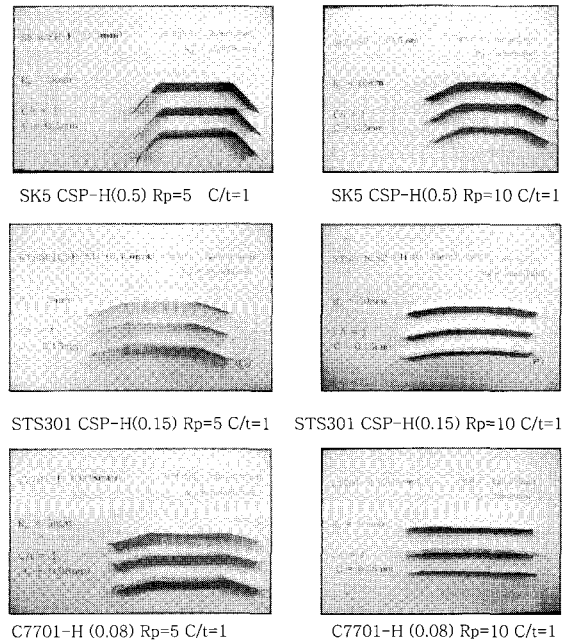


Fig. 9 The shape of specimen after bending test

- (1) 틈새비(C/t)가 0.3인 경우  
스프링백량 =  $46.61 + 0.3747 * (Rp/t)$  (2)
- (2) 틈새비(c/t)가 1.0인 경우  
스프링백량 =  $51.92 + 0.3583 * (Rp/t)$  (3)

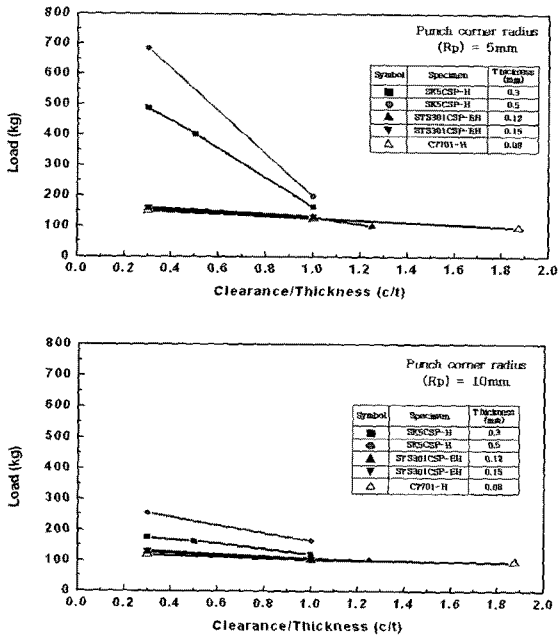


Fig.10 The relation between Bending Load and clearance/thickness(C/t)

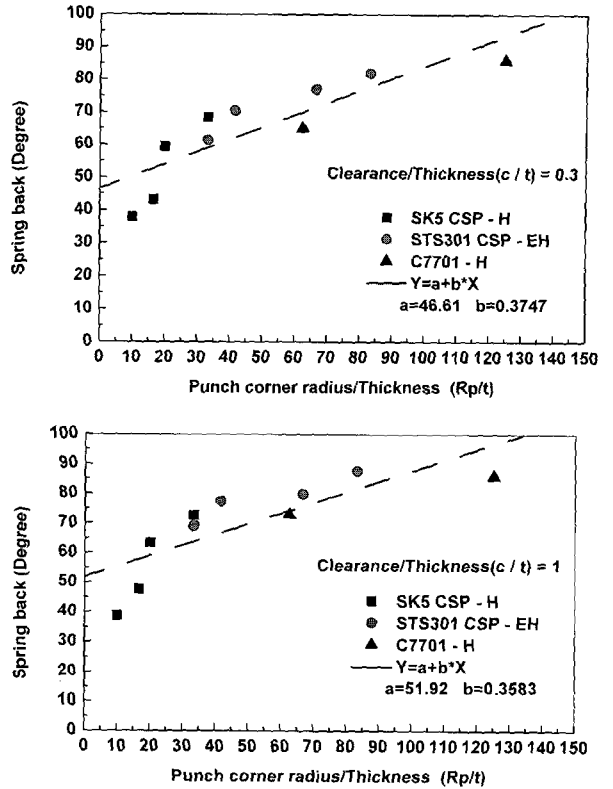


Fig. 12 The relation between Spring back(degree) and punch corner radius/thickness (Rp/t) of spring materials

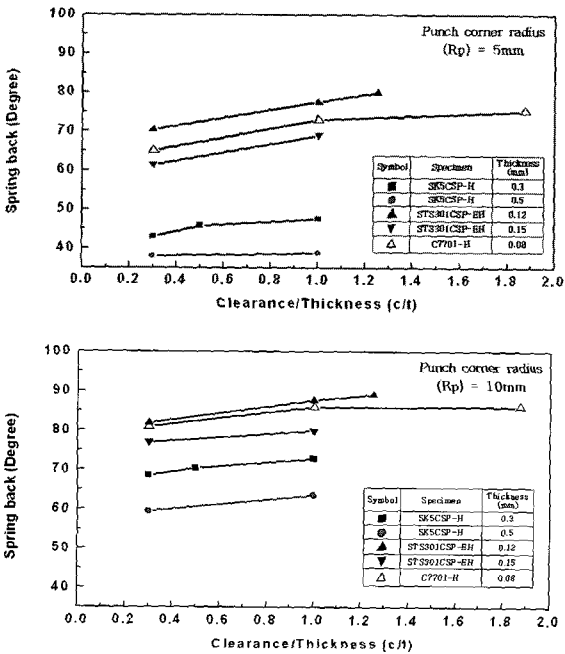


Fig. 11 The relation between Spring back(degree) and clearance/thickness(C/t) of spring materials

#### 4. 결론

대표적인 박판스프링용 재료의 기계적 특성 및 굽힘성형성 평가실험 결과 다음의 결론을 얻었다.

- (1) SK5 CSP-H 재는 템퍼드-마르텐사이트 기지에 백색 탄화물조직이, STS301 CSP-EH 재는 오스테나이트 조직이 매우 치밀하고, 집합조직내에 많은 슬립발생에 의한 쌍성조직을, C7701-H 재는 풀림상정이  $\alpha$  결정입자에 발생한 다결정조직과 슬립밴드가 관찰되었다.
- (2) SK5 CSP-H 재의 경도값(Hv)은 473.9~489.4의 범위에서, STS301 CSP-EH 재의 경도값(Hv)은 518.1~522.5의 범위에서, C7701-H 재의 경도값(Hv)은 210.7을 갖는다.
- (3) SK5 CSP-H 재의 인장강도 및 항복강도는 각각 167.5kgf/mm<sup>2</sup> 및 148.5kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율은 7.9%이고, STS301 CSP-EH 재의 인장강도 및 항복강도는 각각 177.4~183.1kgf/mm<sup>2</sup> 및 176.2~181.6kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율

은 약 3.0~3.4%, C7701-H 재의 인장강도 및 항복 강도는 각각 69.4kgf/mm<sup>2</sup> 및 68.7kgf/mm<sup>2</sup>, 연신율은 2.1% 이다.

(4) 굽힘 실험결과 굽힘 하중은 편치어깨반경 (Rp)과 틈새비(C/t)가 클수록 저하하는 경향을 갖 으나, 이 현상은 시험편 두께가 큰 SK5 CSP-H재 의 틈새비(C/t)가 0.3인 아이어닝 굽힘시험 조건에 서 매우 크게 나타나며, 시험편 두께가 0.15mm이 하인 STS301 CSP-EH재 및 C7701-H재의 경우에는 동일 (Rp)조건에서 (C/t)가 0.3에서 1.25 및 1.875로 크게 증가하여도 굽힘하중은 큰 변화가 나타나지 않는다.

(5) 굽힘성형성의 척도인 스프링백 량은 동일한 재질과 동일한 (Rp)의 조건에서도 두께가 얇을수 록, 틈새비(C/t)가 클수록 증가함을 볼 수 있었고, 스프링백량은 시험재료 모두 편치어깨 반경비 (Rp/t)가 클수록 증가한다.

또한 틈새비(C/t)가 0.3 및 1.0 인 조건에서의 박 판스프링용 소재에 대한 스프링백 량과 편치어깨 반경비(Rp/t)의 관계식을 각각 얻을 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] ばね技術研究會, 2000, ばね技術シリーズ ばね 用材料とその特性, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 28~33.
- [2] 田中良平, 1994, JIS 使い方トシリーズ ステンレ ズ鋼の選び方・使い方, 日本規格協會, pp. 129 ~146, pp. 210~215.
- [3] ばね技術研究會, 1998, ばね技術シリーズ ばね の種類と用途例“, 日刊工業新聞社, 東京, pp. 2 8~33.
- [4] 한국공업규격, 1993, KS D 5202 : 스프링용 베 릴륨동, 티타늄동, 인청동 및 양백의 판 및 띠.
- [5] 薄板 ばね強度委員會, 薄板 ばねの特性平価法 に關する 研究, ばね論文集, Vol. 31, pp. 76~102.
- [6] 2001. 3, 細線・薄板疲勞特性かデータ集, ばね 技術研究會, 細線・薄板疲勞特性研究會, p. 3, p. 7, pp. 20~23, p. 27, pp. 49~51.
- [7] 薄板 ばね曲げ加工共同研究所委員會, 薄板 ば ね用鋼の曲げ加工性に關する共同研究, ばね論 文集, Vol. 20, pp. 93~111.
- [8] 김용환, 김태우, 이영선, 이정환, 2004, 고강도 TRIP 강의 스프링백에 대한 연구, 한국소성가 공학회지, 제 13 권 제 5 호, pp. 409~414.
- [9] 신장모, 장성호, 허영무, 서대교, 2002, 용접판 재의 U-벤딩시 스프링백 특성에 관한 실험적 연구, 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 48~53.
- [10] 양동열, 이상욱, 윤정환, 유동진, 1999, 박판성 형에서의 스프링백 해석과 산업적응용, 한국 소성가공학회지, 제 8 권 제 1 호, pp. 24~28.
- [11] 한국공업규격, 1998, KS B 5540 : 마이크로 경 도시험 방법.
- [12] 김세환, 2004, 도해 프레스 금형설계 데이터북, 도서출판 대광서림, pp. 1-25~47, p. 3-11, pp. 3- 44~45.
- [13] 프레스가공데이터북편집위원회, 1998, 프레스 가공데이터북, 도서출판기술, pp. 142~161.
- [14] 한국공업규격, 1999, KS D 3597 : 스프링용 냉 간압연강대.
- [15] 한국공업규격, 2002, KS D 3534 : 스프링용 스 테인리스강대.