

Non-Vinyl Pre-Coated Metal 의 스크래치 특성에 관한 연구

김동환, 조형근*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김병민(부산대 정밀정형 및 금형가공연구소)

The Research of Scratch Characteristics For Non-Vinyl Pre-Coated Metal Sheet

D. H. Kim, H. G. CHO (Precision Mecha. Eng. Dept. PNU), B. M. Kim (ERC for NSDM. PNU)

ABSTRACT

Pre-coated sheet materials are a cost-effective and environmentally attractive alternative to conventional sheet materials coated after forming. At present but the high scratch sensitivity of coating used for pre-coated metal sheet is a major limitation to use of these materials. Because of high scratch sensitivity, products made by pre-coated metal sheet are not formed by conventional design method. This study has been performed to investigate scratch characteristic of non-vinyl pre-coated metal (PCM) sheet. Using the simple U-bending test equipment, three non-vinyls PCM's were tested. This paper provides the results of bending tests showing the influence of sheet surface texture, tool material and process conditions. It was found that the influence of punch, die clearance and tool material had an effect upon the scratch characteristic.

Key Words : PCM(프리코트메탈), Scratch (스크래치), U-Bending Test (U-벤딩시험), Spring Back (스프링 백)

1. 서론

PCM 재란 모재에 도장 또는 필름을 입힌 강판을 말하며, 상처를 방지하기 위해 보호 필름을 입힌 vinyl PCM 이 주로 사용되었다. 그러나 vinyl PCM 은 환경 공해를 유발하는 vinyl 을 사용하고 이를 제거하는 공정이 필요하다. 따라서 vinyl 사용을 억제하고 재료비 및 비용절감을 꾀하는 non-vinyl PCM 재의 사용이 요구되며, 이에 non-vinyl PCM 재의 가공 기술 개발이 필요하다[1].

Non-vinyl PCM(이하 PCM)재를 이용한 전기, 전자 제품의 외관부품을 성형하고자 할 때 발생하는 문제점은 코팅된 도료의 성형시 파손, 스크래치발생 및 미세한 손상자극이 발생하여 외관재의 품질이 낮아지는 문제점이 있다. 그러나 현재 국산 PCM 재의 물성과 성형성을 평가하여 이에 따르는 성형공정설계, 금형설계 및 금형제조기술이 확립되어 있지 않다. Jakob[2] 등은 PCM 의 스크래치 저항성을 알아보기 위해 여러 가지 메커니즘을 제안하였고, 그 결과 스크래치 시험 장치에 따라 스크래치 저항성이 달라짐을 보고하였다. 최근에 Kim[3] 등은 접촉 면압과 인출속도를 달리하여 vinyl 및 PCM 재에 대한 마찰실험을 수행하고 결합형태를 나타내었다.

프레스 가공시, 금형과 PCM 재와의 마찰이 발생하여 소재의 비 균질변형 및 국부적인 대변형을 발생시킴으로 여러 가지 결함(스크래치, 균열 등)이 발생된다. 그러므로 금형과 소재사이의 마찰을 최소화하는 금형재료 선정 및 금형 코팅법의 선정이 필요하며 마찰을 최소화하는 금형구조의 개선이 요구된다. 또한 PCM 의 제품치수를 보정한 금형설계 및 금형에 따른 PCM 재의 성형성 평가가 요구된다.

관계성형에 있어서, 성형성 성형난이(難易)의 사전평가를 위해 유한요소법(FEM)을 중심으로 한 성형 시뮬레이션이 적극적으로 추진되고 있으며, 오늘날에는 단순한 형상이나 접촉면의 미소 변화가 있는 박판 성형 공정을 수치적으로 정확하게 사전 예측하는 것이 가능해졌다.

본 연구에서는 건전한 PCM 재를 이용한 제품 생산을 위하여 스크래치가 발생되지 않는 다이 반경과 금형간극의 범위를 실험과 해석을 통하여 설정하였다. 또한 PCM 재의 탄성 복원량을 실험으로 측정하였다. 먼저, PCM 재의 기계적 특성 평가 및 기재의 성형성을 평가하였으며, 이를 탄소성 외연적 상용 유한요소 코드인 PAM-STAMP 를 이용하여 PCM 재의 효율적인 성형공정설계 및 금형설계에 적용하였다.

2. 실험

2.1 PCM 재의 기계적특성

본 연구에 사용된 가전용 PCM 재의 항복강도 및 인장강도, 연신율, 응력-변형률 관계 등을 Table 1에 나타내었고, Fig. 1에 본 연구에 사용된 PCM의 구성을 나타내었다. Fig.1의 A,B의 기재는 전기아연도금강판이며, C의 기재는 용융아연도금강판이다.

2.2 에릭센 실험

에릭센 실험을 수행하여 PCM 재의 성형한계 기준을 마련하였다. PCM 재의 특성상 코팅층의 박리, 균열이 일어나는 높이를 성형한계로 규정하였다. 또한 성형깊이에 따른 각 재료의 파단 양상(박리)을 비교하였다. 시험편은 100x100mm이며 에릭센 시험기(Yasuda Seiki)를 이용하여 도장막의 파단 한계와 모재 강판의 파단 한계를 측정하였다. 에릭센 실험결과를 Table 2에 나타내었다.

2.3 U-굽힘실험

U-굽힘 실험(U-Bending Test)을 수행하여 소재와

Table 1 Mechanical property of PCM's

PCM	T (mm)	Ra (μm)	YS (MPa)	TS (MPa)	E (GPa)	EL (%)	Stress-Strain
A	6	0.09	189.3	319.6	69.7	25.13	$\sigma=436\epsilon^{0.13}$
B	0.6	1.44	204.6	346.8	78.8	25.45	$\sigma=470\epsilon^{0.11}$
C	0.7	0.29	295.6	420.2	104.7	19.76	$\sigma=562\epsilon^{0.16}$

Table 2 Result of ericsen test

PCM	A: SE-Polyester	B: SE-Polyester (embossed)	C: SG-Polyester
Stretching limit of coating (mm)	7.13	7.51	7.85
Type of fracture	Occurring band		

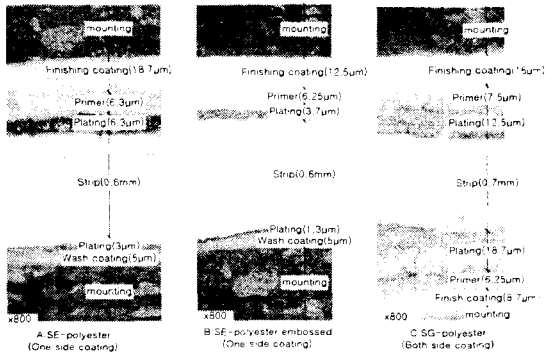


Fig. 1 Composition of non-vinyl PCM's

Table 3 Experiment condition of U-bending test

Die	SKD11	SKD11-Cr	SKD11-TD
Roughness (Ra)	0.61	0.18	0.05
Hardness (Hv \pm 20)	657.48	642.74	782.66
Punch size	100mm x 110mm x 30mm		
Die size	40mm x 120mm x 30mm		
Size of specimen	100mm x 140mm		
Forming height	25mm		
Velocity	200mm/min		
Lubricant type	No lubricant		

금형의 클리어런스(Clearance)영향 평가 및 PCM 재의 스프링 백(Spring Back) 특성을 살펴보았으며, 금형의 표면처리를 달리하여 PCM 시편의 스크래치 및 표면변화를 관찰하였다. 사용된 굽힘 금형은 클리어런스의 조절이 가능하도록 Fig. 2와 같이 제작하였으며 Syntech(MTS 10ton)에서 실험하였다. Table 3에 U-굽힘 실험 조건과 금형의 조도 및 경도를 나타내었다. 다이는 SKD11, SKD11-경질크롬도금(Cr plating) 그리고 SKD11-TD 처리된 3가지의 금형을 사용하였다.

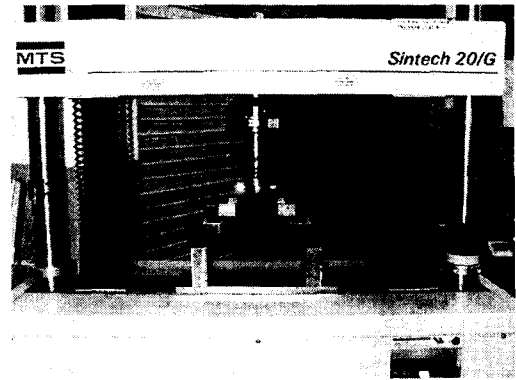


Fig. 2 U-bending test apparatus and tools

3. U-굽힘실험결과

3.1 금형과 소재 접촉면에서의 결함

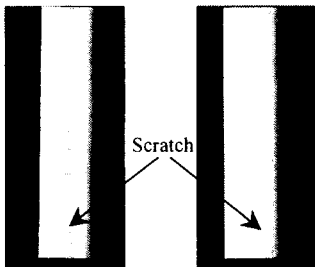
Table3의 동일 실험조건으로 표면처리가 다른 금형을 이용하여 U-굽힘실험을 수행하였다. 이 세가지 금형을 이용하여 동일 클리어런스 (소재두께의 14.15%)와 동일 소재(A)를 U-굽힘실험을 하였을 경우, 성형하중은 SKD11-TD(388kgf)가 가장 낮고, SKD11-경질크롬도금(430kgf), SKD11(443kgf)순으로 증가하였다. 이것은 금형표면경도가 PCM 재의 성형특성에 영향을 미치며, TD 처리된 금형은 PCM 재

접촉면의 마찰력[3] 감소로 전체적인 굽힘력을 감소시키며, 스크래치도 발생되지 않았다.

SKD11 금형으로 클리어런스를 달리하였을 경우, A 소재는 금형의 간극이 47%이하에서 스크래치가 발생하였으며 B 소재는 금형의 간극이 31%이하에서 스크래치가 발생하였다. SKD11-Cr 도금된 금형으로 클리어런스를 달리하였을 경우, A 소재는 31%이하에서 스크래치가 발생하였으며 B 소재는 14%이하에서 스크래치가 발생하였다. 그러나 SKD11-TD 처리된 금형을 사용하여 클리어런스를 달리하였을 경우에는 스크래치는 전혀 발생하지 않았으나 클리어런스가 14%이하에서 A 소재의 경우 굽힘부에서 코팅 막의 광택이 떨어짐을 육안으로 확인할 수 있었다. Fig.3 에 U-굽힘실험에서 발생한 PCM 재(A)의 스크래치 결함사진을 나타내었다

3.2 스프링 백

C 소재를 이용하여 PCM 재와 그 기재에 대한 금형의 간극(Z/t:금형간극/두께)과 스프링백의 관계를 Fig.3 에 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이, PCM 재의 탄성복원량이 그 기재의 탄성복원량보다 크다. 일반적으로 동일 성형조건에서 판재가 두꺼울수록 탄성회복량이 감소하지만, 코팅층의 두께가 작고 항복강도가 낮은 폴리에스테르 코팅 막의 효과로 탄성복원량이 증가함을 실험적으로 알 수 있었다.



(a) A: SE-polyester (b) SE-polyester embossed
Fig. 4 Scratch of non-vinyl PCM's in U-bending test

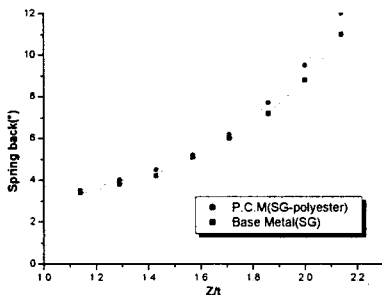


Fig.5 Spring backs of non-vinyl PCM and base metal

4. 스크래치 발생 예측

실험으로 확인되었던 사실은 PCM 재는 금형과 코팅층의 직접 접촉으로 인하여 특정 접촉부위에서 스크래치가 발생한다는 것이다. 본 연구에서는 U-굽힘 실험에서 스크래치가 발생하였던 공정조건으로 유한요소해석하여 금형과 소재의 슬라이딩(Sliding) 성형부의 접촉압력을 계산하였다. 이때 최대접촉압력이 존재하는 영역과 실험에서 스크래치가 발생하는 영역을 비교하였다(Fig.4, Fig.6). 그 결과 스크래치의 발생은 금형과 소재의 슬라이딩 성형부의 최대 접촉압력이 존재하는 영역에서 그 발생가능성이 크다는 것을 알 수 있었다.

A 소재에 대해 SKD11 금형을 사용하여 실험한 결과, 금형의 간극이 47%일 때 스크래치가 발생하였다. 이 때 동일 조건으로 성형해석을 수행하였을 때 최대 접촉압력은 약 150MPa 이었다. 이 때의 압력을 A 소재의 임계 최대 접촉압력으로 하고, 스크래치가 발생하지 않는 금형간극과 다이 반경의 범위를 알아보기 위하여 Table 4 의 공정조건으로 유한요소해석을 수행하였다. 소재와 금형간의 접촉면의 마찰계수는 이전의 연구[3]에서 마찰실험으로 구한 값($\mu=0.07$)을 입력하였다. 해의 정확성과 경제성을 동시에 고려하여 펀치속도를 10m/sec 로 하였다[4]. 다이 반경은 0.5 ~ 5.0mm, 금형간극(Z/t)은 1.05~1.97 범위에서 해석하였다. 다이 반경과 금형간극에 따라 성형해석을 수행하고 슬라이딩 접촉 성형부(굽힘부)에서의 최대 수직압력의 값을 Table 5 에 나타내었다. Fig.7 에 최대 수직압력에 대한 클리어런스와 다이 반경의 관계를 나타내었다

Table 4.FE-simulation condition in U-bending process

Initial sheet thickness	0.6mm
Stress-strain characteristics	$\sigma=436.314e^{0.183}$
Young's modulus	69.7Gpa
Lankford value for normal anisotropy	1.59
Coulomb coefficient of friction (μ)	0.07
Punch velocity	10m/s

Table 5 Simulation conditions and max normal pressure in U-bending process using PAM-STAMP™

Case	Die R (mm)	Max Normal Pressure (MPa)						
		Clearance Range (Z/t)						
		1.05	1.15	1.31	1.48	1.64	1.80	1.97
1	0.5	410	347	299	210	151	120	98
2	1.0	319	236	222	165	136	107	105
3	2.0	313	212	205	158	124	113	95
4	3.0	282	195	187	136	121	107	94
5	4.0	208	183	179	125	99	94	89
6	5.0	200	186	180	110	105	111	107

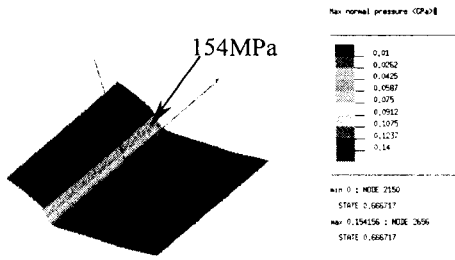


Fig. 6 47% clearance for SE-polyester (1/4 section)

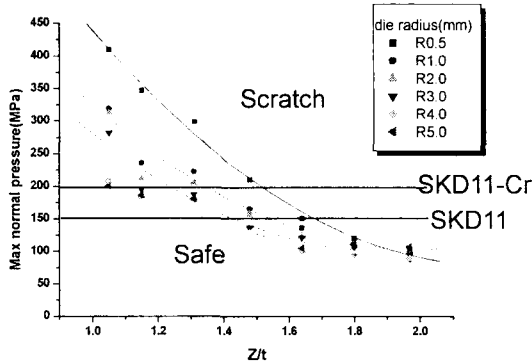


Fig. 7 The zone of scratch occurrence (SE-polyester)

5. 시험금형 및 고찰

Fig. 8 과 같이 PCM 용 시험금형을 제작하였다. 스크래치 발생이 문제가 되는 ①벤딩(Bending)부와 ③ 스탬핑(Stamping)부 그리고 ④드로잉(Drawing)부를 넣었으며, 금형간극(Z/t)은 1.2 로 하여 실제 제품의 축소모델로 제작하였다. 사용된 PCM 재는 SE-polyester 0.6t 이며, 스탬핑부의 금형반경은 0.5mm 로 제작하였다.

동일 공정조건으로 1/4 단면의 성형해석을 수행하였고, 최대 수직압력 분포를 Fig.9 에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 스탬핑부 모서리에서 임계 최대 수직압력(약 150MPa)을 넘어서고, 이에 SKD11 금형을 사용할 경우 스크래치가 발생할 수 있음을 예측하였다. 금형의 스탬핑부와 벤딩부를 경질 크롬도금 처리하여 실제 제품을 성형한 결과 벤딩부에서는 스크래치가 발생되지 않았지만, 스탬핑부는 스크래치가 발생하였다. Fig. 6 의 예측 결과로 부터 다이 반경을 0.5mm 에서 1.0mm 로 수정하여 실험하였을 경우에 스크래치는 발생되지 않았다 (Fig. 9). 금형의 TD 처리 경우 스크래치의 발생을 상당히 줄일 수 있지만, 제품의 제조비용을 상승시키므로 금형과의 접촉압력을 낮게 하는 금형설계방안이 연구되어야 한다.

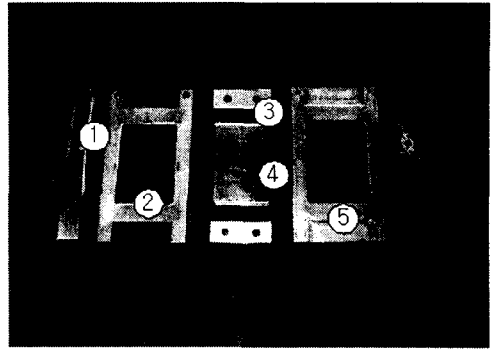


Fig. 8 Each part in scratch test

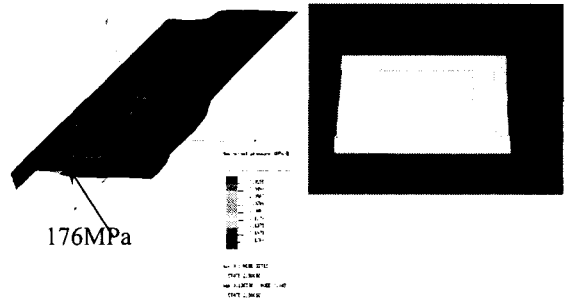


Fig. 9 Prediction of scratch occurrence at the stamping part and product of non-vinyl PCM

4. 결론

본 연구에서는 PCM 재를 이용한 건전한 전기, 전자 제품의 외관재 생산을 위하여 수행하였다. 본 연구를 통하여 스크래치가 발생되지 않은 다이 반경과 금형간극의 범위를 실험과 해석을 통하여 설정하였고, 시험금형을 제작하여 실제에 적용될 수 있음을 확인하였다. PCM 재는 탄성 복원량이 기재보다 크므로 제품의 치수 정도를 위해서는 굽힘 성형부와 스탬핑 성형부에서는 금형에 크롬도금을 하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 金井洋, "프리코트 강판", 프레스 기술, No. 12, pp.27~30, 1995
2. Jakob, Lange et al, "Development of scratch tests for pre-painted metal sheet and the influence of paint properties on the scratch resistance", Journal of Materials Processing Technology, pp. 300 - 305, 1998.
3. 김동환, 조형근, 김병민 "가전용 Non-Vinyl Pre-coated Metal 의 마찰거동에 관한 연구," 한국 정밀공학회 추계학술논문집, pp. 1056-1059, 1999.