

피복된 판재의 성형 특성에 관한 실험적 연구

김호윤* · 왕신일* · 배원병**

(1999년 7월 27일 접수)

An Experimental Study on the Forming Characteristics of Pre-Coated Metals

H. Y. Kim, S. I. Wang and W. B. Bae

Abstract

An experimental study has been performed to investigate the forming characteristics of pre-coated metals(PCMs) widely used in domestic appliances through Erichsen tests and deep drawing tests. Erichsen tests are performed to find out the forming limits of seven pre-coated metals in normal conditions. Rectangular deep-drawing tests are carried out to know the effects of die materials and blank metals on forming loads and surface defects of final PCM products. In the deep-drawing test, four die materials[STD11(TiCN), STD11, STD11(TD), AMPCO] are used. In the Erichsen test, the forming limits of PCMs are obtained from flaking or crack of pre-coated films and lower than those of base metals. In respect of surface roughness and forming load, STD11(TD) and AMPCO materials are superior to any other die-materials used in the deep-drawing test.

Key Words : PCM(Pre-Coated Metal), Erichsen Test, Deep Drawing Test

1. 서론

공학이 점차 발달함으로 인하여 제품의 생산결과로 인한 환경오염에 대한 우려가 커지고 있는 가운데, 환경대응소재의 활용정도가 점차 확대되고 있다. 특히 환경대응소재로 잘 알려진 PCM (Pre-Coated Metal)재의 사용이 급격하게 증가하고 있다.

PCM재란 일반적으로 모재(주로 아연도금강판)에 도장 혹은 필름을 덧입힌 금속판을 말한다⁽¹⁾. 그러나 이 재료를 이용한 성형가공에 대한 큰 기대에도 불구하고, 현재는 경험과 데이터를 축적하고 있는 상태이다. PCM재의 피막은 일반적으로 강판의 변형에 수반하여 균열이나 박리를 일으키지 않아야 하며, 또한 경도, 내오염성, 내약품성, 내식성, 내열성 등이 요구된다⁽²⁾. 특히 가정용으로

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
** 부산대학교 기계공학부/기계기술연구소

도료가 많이 사용되고 있다⁽³⁻⁵⁾.

이러한 PCM재의 성형성에 있어서 주로 문제되는 부분은 도장피막의 박리이며, 이에 관한 연구도 해외에서 일부 수행되었다⁽⁴⁻⁶⁾. 그러나 이전의 연구는 모재와 도장피막의 접착력에 대한 연구에 치우쳐 있어서, 성형성이나 성형한계에 관한 연구가 부족한 실정이다.

또한, PCM재는 금형과 접촉하는 부분이 도장막일 경우가 많고, 또한 대부분의 경우 도장막의 인장강도, 연신율 등의 물성치가 모재의 물성치보다 낮다. 따라서 PCM재를 사용한 공정에서는 모재의 특성보다 도장막의 특성에 의존하고, 따라서 도장막의 성형성이나 성형한계에 대한 연구가 수행되어야 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 가전제품용 PCM재를 사용하여 에릭슨 시험에서 성형한계를 결정하는 방법을 제시하고, 사각통의 뒹드로잉 시험을 통하여 그 방법을 검증 및 보완하며, 또한 PCM재의 성형에서의 문제점에 대하여 논의하였다.

2. 실험

2.1 실험소재

본 연구에 사용된 소재는 현재 가전제품용으로 사용되고 있으며, 폴리에스테르계 수지를 소재의 양표면에 도포한 PCM재로서 Table 1과 같다.

2.2 실험장치 및 방법

에릭슨 시험의 개략도 및 뒹드로잉 시험에 사용된 장치를 Fig. 1과 2에 나타내었다.

2.3 실험내용

에릭슨 시험에서는 PCM재에 적용할 수 있는 성형한계의 결정기준을 제시하였고, 뒹드로잉 시험에서는 금형재질에 따른 최대성형하중의 변화 등을 통하여 각 PCM재의 성형특성을 알아보았다.

뒹드로잉 시험에 사용된 실험조건을 Table 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에릭슨 시험

일반적인 에릭슨 시험에서 소재가 파단이 일어나는 높이를 성형한계라고 하지만, PCM재의 경우에 이러한

Table 1 Sheet metals used in the experiment

Material	t	SR	σ_t	elongation
Mat. A	0.78	0.68	31.62	22.16
Mat. B	0.77	1.06	34.57	24.69
Mat. C	0.75	1.63	37.73	19.56
Mat. D	0.53	-	31.85	18.55
Mat. E	0.50	0.28	39.77	24.75
Mat. F	0.53	0.41	34.13	20.20
Mat. G	0.53	0.41	32.08	19.2

* t(mm) : Thickness of a sheet metal

SR(μm) : Initial surface roughness of a sheet metal

$\sigma_t(\text{kgf}/\text{mm}^2)$: Tensile strength of a sheet metal

* Mat. D has an embossed surface.

* Unit of elongation: mm

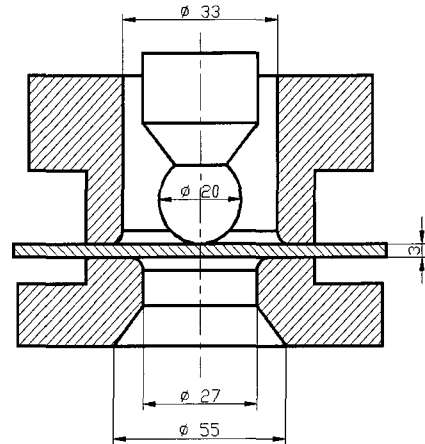


Fig. 1 Schematic diagram for the Erichsen cupping test

방법을 적용하는 것은 불가능하다. 왜냐하면 Table 3의 성형한계에서 알 수 있듯이 PCM 소재는 모재의 파단이 일어나기 전에 도장피막의 박리(flaking)나 균열(crack)이 발생하여 사용할 수 없는 상태가 되기 때문이다. 이때, 도장막의 미세한 박리나 균열을 관찰하는 장비가 없기 때문에 육안으로 관찰하였다. 문제시되는 박리 및 균열의 기준은 초기소재의 표면에 변화가 일어난 상태로 가정하였다. 따라서 성형 전의 소재표면과 조금이라도

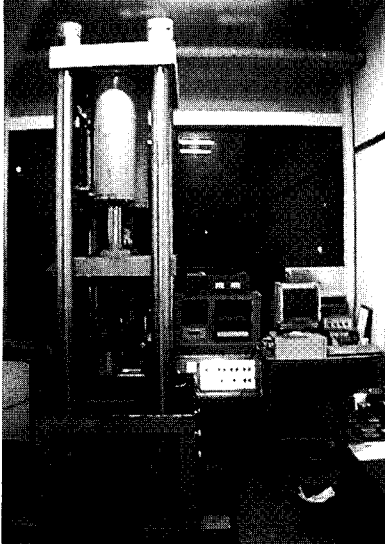


Fig. 2 Tool setup for the deep drawing test

다른 현상(박리가 일어나기 전에는 도장막의 색깔이 변하며, 균열이 일어나기 전에는 발생부위에 띠가 형성됨)이 나타나면 박리 및 균열이라 판단하였다. 이러한 육안에 의한 측정은 다소의 오차를 포함하므로, 실험결과와 재현성 확보를 위해 모두 5회 이상의 결과값을 평균하여 계산하였다.

Table 2 Experimental conditions for the deep drawing test

Die Material	STD11(TiCN), STD11(HrC60) STD11(TD), AMPCO
Size of the Product	40mm(W)×40mm(L)×30mm(H)
Lubricant	none
Punch Speed	6mm/sec

그러므로 본 연구에서는 우선 PCM소재의 성형한계를 결정하는 기준을 정하기 위하여 에릭슨 시험을 반복 수행하였으며, 그 결과 에릭슨 시험에서의 성형한계를 박리 또는 균열이 발생할 때의 성형깊이로 정의하였다. 에릭슨 시험도중에 도장피막의 박리나 균열이 일어나는 시점의 성형한계 및 파손형태를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Forming limits and fracture types of PCMs in the Erichsen test

Material	Forming Limit (PCM / RM)	Fracture Type of the coating film
Mat. A	8.49 / 10.55	Flaking(Thinning)
Mat. B	7.90 / 11.04	Crack(Band)
Mat. C	8.47 / 9.38	Flaking(Thinning)
Mat. D	7.26 / 8.92	Crack(Band)
Mat. E	7.95 / 9.79	Crack(Band)
Mat. F	8.11 / 9.03	Crack(Band)
Mat. G	7.74 / 8.34	Crack(Band)

* RM : Raw Material

** Unit of Forming Limit : mm

Table 3에서 성형한계를 살펴보면, Mat. A, C는 8.5mm정도, Mat. B, D, E, G는 7.5mm정도이었다. 이렇게 성형한계가 나누어지는 것은 모재의 두께차이에 의한 것은 아니라 성형한계를 규정할 때 도장피막의 박리 또는 균열을 고려하였기 때문이다. 실제 실험에서 성형한계는 도장 피막의 박리 또는 균열이 발생하기 직전에 나타나는 피막의 얇아짐(thinning)이나 띠(band)가 형성되는 컵의 깊이로 결정하였다. 도장피막이 약해지는 기준은 모재와 도장피막의 접착력과 도장피막의 연신율에 크게 의존한다. 도장피막의 연신율이 모재의 연신율보다 더 크면 도장피막이 얇아지면서 성형한계가 증가하고, 그 반대의 경우에는 도장피막에 띠가 발생하면서 성형한계가 감소한다. Fig. 3은 두 가지 경우의 예를 나타낸 것인데, (a)에서 보면 성형된 컵의 위 부분에 링 형태의 띠가 형성된 것을 볼 수 있다.

3.2 딥드로잉 시험

에릭슨 시험을 통하여 제시한 박리와 균열에 의한 PCM재의 성형한계 결정법을 검증·보완하며, 실제 성형에서 PCM재의 사용에 의한 문제점을 살펴보기 위하여 사각컵 딥드로잉 시험을 수행하였다.

딥드로잉 시험에 사용된 금형의 재질은 금형에 널리 쓰이는 STD11 공구강에 표면처리를 한 3종류와 미국의 Ampco Metal Inc.에서 성형표면을 향상시키기 위하여 Cu합금(Cu=80%, Al=11%, Fe=4%, 기타)으로 개발한

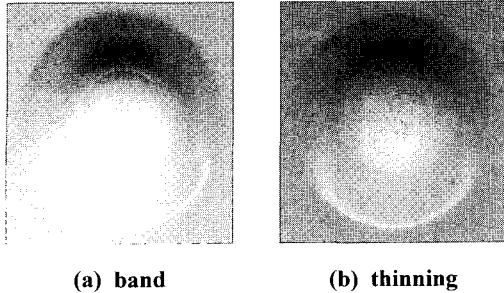


Fig. 3 Fracture types of coating films in the Erichsen test

AMPCO 25이다. 금형재질에 따른 성형하중이나 표면조도를 비교하기 위해 각 금형재질의 초기조도를 동일하게 가공($R_a = 0.2$)하였다.

딥드로잉 시험결과, 판재 및 금형의 재질에 따른 도장피막이 손상되기까지의 최대하중은 Table 4와 같다. Table 4에서 금형재질에 대한 성형하중의 분포를 살펴보면, 7종의 모든 소재에서 STD11 (H_{RC60}), STD11(TiCN), AMPCO, STD11(TD)의 순서로 성형하중이 감소하였다. 이것은 소재 코팅과는 무관하게 AMPCO나 STD11(TD) 금형이 STD11 (TiCN)이나 STD11(H_{RC60}) 금형보다 성형하중의 측면에서 더 우수하다는 것을 의미한다. 성형하중의 측면에서 우수한 금형은 낮은 블랭크 홀더력을 요구하고, 소재의 유입이 더욱 쉬워지므로 성형한계를 증가시키는 역할을 할 수 있다^(7, 8).

Table 4 Maximum load in the deep drawing test

Die / Sheet	STD11 (H_{RC60})	STD11 (TiCN)	STD11 (TD)	AMPCO
Mat. A	3120	2998	2803	2925
Mat. B	3607	3095	2925	3095
Mat. C	3607	3558	3388	3412
Mat. D	2510	2364	2218	2291
Mat. E	2803	2656	2340	2461
Mat. F	2388	2218	1974	2169
Mat. G	2486	2315	2193	2364

* Unit of load : kgf

또한 소재재질에 따른 성형하중의 분포는 두꺼운 소재인 Mat. A, B, C가 높은 성형하중을 나타냈으며, 얇은 소재인 Mat. D, E, F, G인 소재가 상대적으로 낮은 성형하중을 나타내었다. 또한 두꺼운 소재의 경우 비슷한 두께일지라도 Mat. C는 특히 높은 하중을 나타냈는데, 이는 Table 1에 보인 것과 같이 Mat. A, B의 인장강도에 비하여 Mat. C의 인장강도가 크기 때문이다.

또한 얇은 소재 중에서는 Mat. E의 성형하중이 가장 높게 나타났다.

딥드로잉 공정에서 펀치 어깨부의 외부피막에서는 인장력이 작용하고, 다이 어깨부에 접촉하는 피막에서는 압축력이 작용한다. 그 결과 다이 어깨부에 접촉하는 피막에서는 주름이나 균열이 발생하고 있다. Fig. 4는 다이 어깨부에 접촉하는 피막에 나타나는 결함을 보여주고 있다. 이 결함은 소재의 압축으로 인하여 도장피막의 박리가 일어나고, 이후 박리된 도장피막이 주름으로 성장하면서 나타나는 피막의 파단현상이다. 이러한 결함을 방지하기 위해서는 블랭크 홀더력을 증가시키거나, 금형 틈새를 증가시켜야 한다. 이러한 다이 어깨부에서의 결함은 Mat. E에서 가장 두드러지게 나타났다.

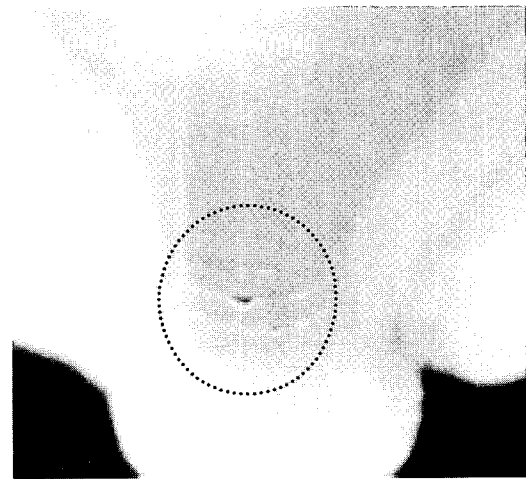
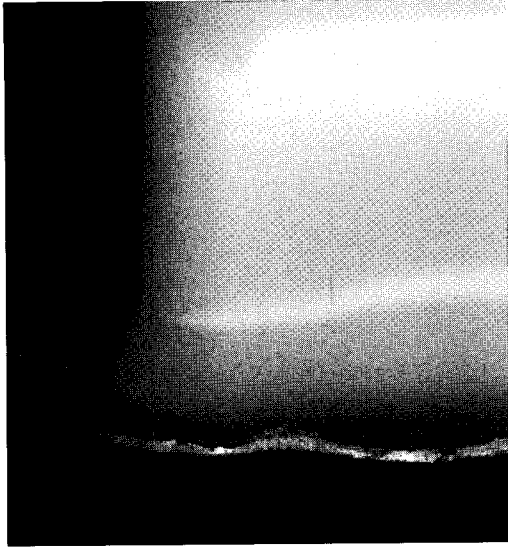


Fig. 4 Failure in the curved surface contacting with the rounded die corner in the deep drawing test

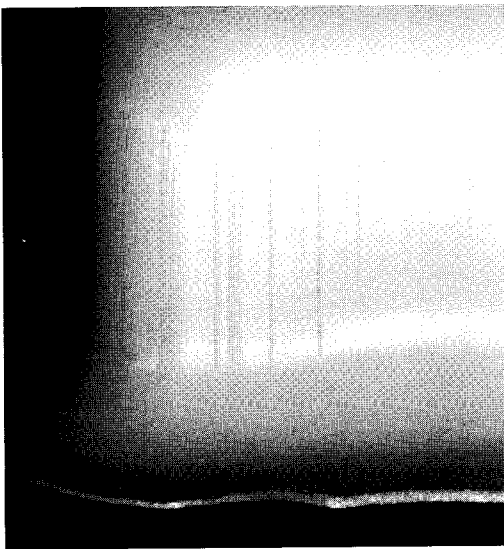
각 금형재질에 대한 소재의 표면균함이 Fig. 5에 나타나 있다. Table 4에서 성형하중이 높게 나타난 금형재질(STD11(H_{RC60}))에 대해서는 PCM재의 표면균함이 심하게 나타나고, 그 반대의 경우에는 표면균함이 거의 일어나지 않았다. 이것은 STD11(TD)와 AMPCO 금형이 성



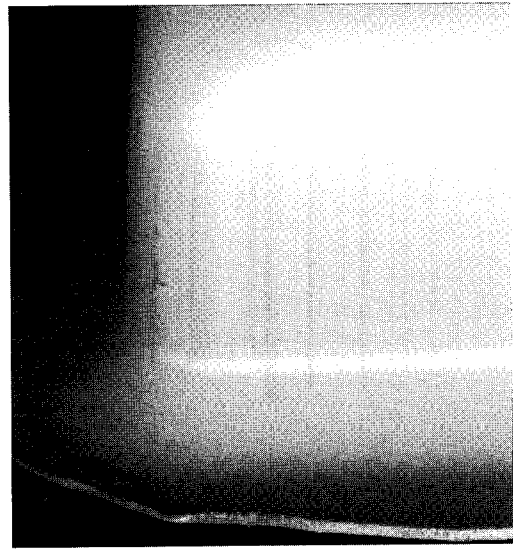
(a) Product without scratches
(from STD11(TD) and AMPCO dies)



(a) Product without scratches
(using D, E and F blank materials)



(b) Product with scratches
(from STD11(HRC60) and STD11(TiCN) dies)



(b) Product with scratches
(using A, B, C and G blank materials)

Fig. 5 Scratches for various die materials in the deep drawing test

Fig. 6 Scratches for various blank materials in case of using a STD11(TiCN) die

형하중에서 뿐만 아니라, 표면긁힘의 측면에서도 다른 재질의 금형보다 우수함을 나타내고 있다.

또한 Fig. 6은 표면긁힘이 심했던 STD11(TiCN) 금형을 사용했을 때의 각 소재의 표면을 촬영한 것이다. 사

진에서 볼 때, Mat. A, B, C, G는 동일한 조건에서 Mat. D, E, F의 도장피막보다 더 많이 긁힌 것을 알 수 있다. 이것은 도장피막의 특성이며, 동일한 조건이라면 Mat. D, E, F에 사용된 도장피막을 다른 소재에도 적용하는

것이 더욱 우수한 제품을 생산하기 위한 방법이라는 것을 의미한다.

펀치 접촉부의 도장피막에서도 결함이 나타난다. 이 결함은 성형깊이가 깊을수록 크게 나타나는데, 성형한계가 깊어질수록 소재의 압축은 심하게 되고, 그로 인하여 도장피막이 모재로부터 박리가 일어난다. 그러나, 펀치 접촉부의 피막에서의 박리는 다이 어깨접촉부의 피막의 박리와 다르게 나타난다. 다이 어깨접촉부의 피막에서는 성형공정동안 박리된 도장피막이 금형과 접촉함으로 인하여 박리가 일어난 후에 2차 박리를 일으키고 파단으로 이어진다.

그러나, 펀치 접촉부의 피막에서는 펀치와 접촉하지 않는 부분에서 박리가 일어나고, 그 박리된 도장피막이 그대로 유지되기 때문에 도장피막이 찢어지기보다는 박리된 도장피막이 모재로부터 떨어져 나오게 된다. 떨어져 나온 도장피막은 계속된 성형으로 인하여 모재에 다시 접착되기도 한다. 이러한 경우에는 마치 변색된 것처럼 보이고, 작은 주름이 심하게 발생한 것을 볼 수 있었다. 그러나 이러한 결함은 Mat. B에서는 잘 나타나지 않았다.

4. 결 론

본 연구는 소재 및 금형의 종류에 따른 PCM재의 성형한계와 성형특성을 파악하기 위하여 에릭슨 시험과 딥드로잉 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PCM재의 성형한계는 일반 판재의 성형한계와는 달리, 도장피막의 결함(균열, 박리, 굽힘 등)에 따라 그 성형한계를 결정하여야 한다.

(2) PCM재를 이용한 제품성형에서의 결함발생은 금형재질 등의 공정변수에 크게 의존하며, 성형에 유리한 금형재질일수록 표면굽힘보다는 박리나 균열에 의해 성형한계가 결정된다.

(3) Mat. D, E, F의 도장피막이 Mat. A, B, C, G에 비하여 성형특성이 우수하다.

(4) PCM재를 성형할 때에는 STD11(TD)나 AMPCO 금형이 다른 금형보다 하중면에서나 표면상태의 측면에서 유리하다.

참 고 문 헌

- (1) 町田輝史, 1995, “프리코트 메탈 현황“, 프레스기술, No. 12, pp.16~26.
- (2) 金井洋, 1995, “프리코트 강판“, 프레스기술, No. 12, pp.27~30.
- (3) 편집부 편, 1995, “표면처리 강판의 종류·특성·선택법“, 형기술, No. 3, pp.122~127.
- (4) 西山爲裕, 1990, “프레스 현장에서의 표면처리 강판의 성형문제“, 프레스 기술, No. 3, pp.145~152.
- (5) 勝又堅, 1995, “프리코트 알루미늄 재료개발“, 프레스 기술, No. 12, pp.31~36.
- (6) 加藤俊之, 1997, “表面處理鋼板のプレス成形性“, 塑性と加工, Vol. 38, No. 432, pp.35~39.
- (7) 배원병, 허병우, 김호윤, 이영석, 1998, “사각 컵드로잉 공정에서의 최적 블랭크 형상 결정“, 한국정밀공학회지, 제 15권, 제 12호, pp.68~72.
- (8) 배원병, 허병우, 김호윤, 한정영, 1998, “스테인리스 판재의 성형성 향상에 관한 연구“, 한국소성가공학회지, 제 7권, 제 5호, pp.445~449.