

## 세탁기용 VCM 강판 성형시 PET 코팅층 찢김 저감방법

손영기\* · 이찬주\* · 변상덕\*\* · 김명덕\*\* · 김병민\*\*†

\* 부산대학교 기계공학부, \*\* LG 전자 HA DE Group

### Methods for Suppressing Tearing of PET Coating During Forming of VCM Steel Sheet for Fabricating Washer

Young-Ki Son\*, Chan-Joo Lee\*, Sang-Doek Byeon\*\*, Myong-Dok Kim\*\* and Byung-Min Kim\*\*†

\* Dept. of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.,

\*\* LG Electronics Inc.

(Received January 11, 2011 ; Revised June 28, 2011 ; Accepted July 4, 2011)

**Key Words** : Vinyl Coated Metal(비닐코팅강판), PET Tearing(PET 찢김), Flange Forming(플랜지 성형)

**초록**: VCM 강판은 용융아연도금강판 위에 PET/PVC 코팅하여 가전제품의 외판 소재로 사용되고 있다. 본 연구에서는 VCM 강판의 프레스 성형 중 발생하는 PET 코팅층의 찢김을 저감하기 위해 프레스 성형공정변수를 재설계하였다. 프레스 공정변수들이 PET 코팅층의 찢김에 미치는 영향을 분석하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. PET 코팅의 찢김 현상은 드로잉 성형시 제품의 코너부 소재두께의 증가로 인해 금형과 소재 사이의 과도한 마찰에 의해 발생한다. 이를 해결하기 위해 블랭크 형상의 변경을 통해 드로잉 성형시 코너부의 소재두께 증가를 저감하였으며, 트리밍 공정시 플랜지부의 과도한 두께 증가부분을 제거하여 플랜지 성형시 소재두께가 금형간극 이하로 분포하도록 하였다. 또한 성형실험과 유한요소해석을 통해 재설계된 공정변수들을 검증하였다. 이를 통해 PET 코팅의 찢김이 없는 양호한 최종제품의 성형이 가능함을 확인하였다.

**Abstract**: A VCM sheet is a metal sheet on which PET/PVC is coated for outer panels of home appliances. The purpose of this study is to obtain methods for suppressing PET tearing that occurs during the press forming of the VCM sheet. In order to identify the factors that minimize PET tearing, an FE analysis was performed. The occurrence of PET tearing cannot be predicted using the conventional forming limit diagram. PET is torn by friction between a die and sheet, which is caused by the thickening of material at a die corner. To reduce the thickening of material, the blank shape was re-designed and the thickened material at a flange was removed by a trimming process. The results of the FE-analysis involving modified process parameters showed that the thickness of the product at a die corner is distributed within the clearance of drawing and flange-forming process. A forming experiment was conducted to verify the proposed process parameters. A good final product was obtained without PET tearing of the VCM sheet.

### 1. 서 론

경화(curing) 공정을 포함하는 종래의 페인트 코팅공정에서는 휘발성 유기 화합물(volatile organic compounds)이나 탄화수소와 같은 유해한 물질들이 대기로 방출되는 환경 오염문제로 인해 전 세계적으로 법적 규제가 강화되고 있다.<sup>(1)</sup> 이러한 이유로, 현재 가전제품의 외판소재는 부식방지 및 저마찰,

외관광택을 위한 PCM(polymer coated metal) 강판의 사용이 일반적이며, 특히 최종 제품의 고급화 수요와 맞물려서 PCM 소재 중 비닐수지가 코팅된 VCM(vinyl coated metal) 강판의 사용이 증가하는 추세이다. VCM 강판은 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 아연도금강판 위에 PVC와 PET 필름이 코팅된 소재이다. VCM 강판의 프레스 성형시 발생하는 대표적인 문제점은 코팅의 박리(delamination)와 더불어 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 외부 PET 코팅층의 찢김(tearing)이다.

PCM 강판의 변형거동 및 파괴거동에 대한 연구는 최근 들어 활발히 수행되어 왔다. van den

† Corresponding Author, [bmkim@pusan.ac.kr](mailto:bmkim@pusan.ac.kr)  
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

Bosch 등<sup>(2-4)</sup>은 PET 코팅 된 강판의 딥 드로잉 공정을 유한요소해석을 통해 모사하고 다이와 펀치의 곡률 및 다이와 펀치 간극(clearance)를 달리하여 계면의 박리를 예측하였다. 또한 PET 코팅 된 강판의 계면 거동을 규명하기 위해 수치적, 실험적 접근을 시도하였고, 표면 조도, 초기 변형률상태, 완화 시간에 따른 접착강도의 변화를 90° 박리시험을 실험과 유한요소해석결과를 비교하였다. van Tijum 등<sup>(5,6)</sup>은 소성변형 시 폴리머 코팅 강판의 표면조도 변화를 해석하고 실험으로 검증하였다. 또한 변형 후 폴리머 코팅 강판의 표면을 복굴절 현미경 관찰을 통해 관찰, 분석하였다. Lee 등<sup>(7)</sup>은 접착제의 인장물성평가를 위해 cohesive zone model 을 이용한 유한요소해석과 T 형 박리 시험을 수행하였다. 그러나 이러한 연구는 VCM 에서 코팅층의 박리나 계면의 거동에 대한 연구이며, 성형 중 발생하는 코팅층의 찢김에 적용하기는 어렵다.

Kim 등<sup>(8)</sup>의 연구에 의하면 PCM 강판 성형은 금형과 코팅이 직접 접촉하는 경우가 많고, 코팅의 인장강도는 일반적으로 모재보다 낮기 때문에 PCM 재를 사용한 공정에서는 모재의 특성보다 코팅의 특성에 의존한다. Kim 등<sup>(9)</sup>은 마찰시험을 통해 금형과 코팅의 스크래치 특성을 분석하였으며, 이러한 결과들은 VCM 강판의 PET 코팅층 찢김 현상이 금형과의 마찰에 의한 것임을 보여주고 있지만, 이를 해결하기 위한 실제 제품 성형공정에서의 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 VCM 강판의 프레스 성형 중 발생하는 PET 코팅층의 찢김 원인 분석하고, 이를 저감하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석을 통해 PET 코팅층의 찢김이 발생하는 부위의 금형과 접촉특성을 파악하고, PET 코팅층의 찢김을 방지하기 위한 공정을 재설계하였다. 최종적으로는 실 공정에 적용하여 제시된 공정변수의 타당성을 검증하였다.

## 2. VCM 강판의 성형공정 해석

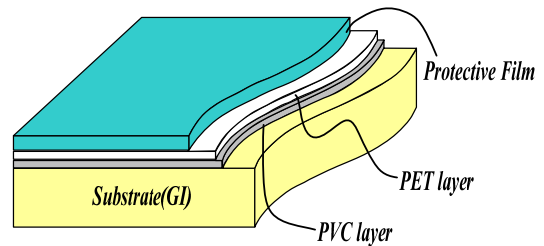
### 2.1 VCM 강판의 기계적 물성

Fig. 1(a)는 VCM 강판의 구조를 도식적으로 나타낸 것이며, (b)는 VCM 강판의 단면과 치수 SEM 관찰을 통해 나타낸 것이다. VCM 강판은 0.8mm 아연도금강판과 PVC(64 μm), PET(30~50 μm)와 보호 필름(46 μm)로 이루어져 있으며, 모재와 각 코팅들은 접착제에 의해 접합되어 있다. VCM 강판의 총

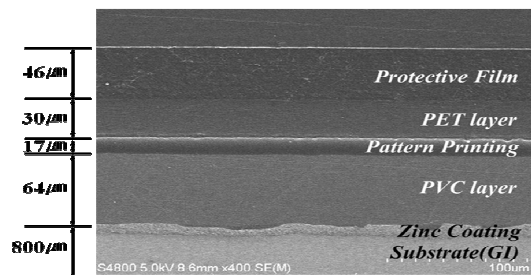
두께는 PET 의 두께 및 접착제의 두께에 따라 달라지며, 본 연구에서는 현장에서 사용하고 있는 총 두께 0.94mm 와 0.98mm VCM 강판을 사용하였다.

Table 1 Mechanical properties of VCM sheet

Properties	Value
Blank thickness	0.94mm, 0.98mm
Yield stress	163 (MPa)
Flow stress	$582.11 \cdot \epsilon^{-0.279}$
Lankford value, $\bar{r}$	1.95



(a) Schematic drawing of the VCM



(b) Cross section and dimensions of the VCM

Fig. 1 Structure of the VCM sheet

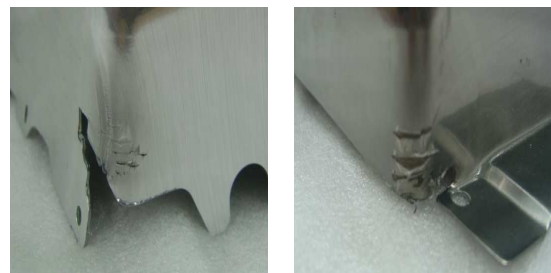


Fig. 2 Occurrence of the PET tearing

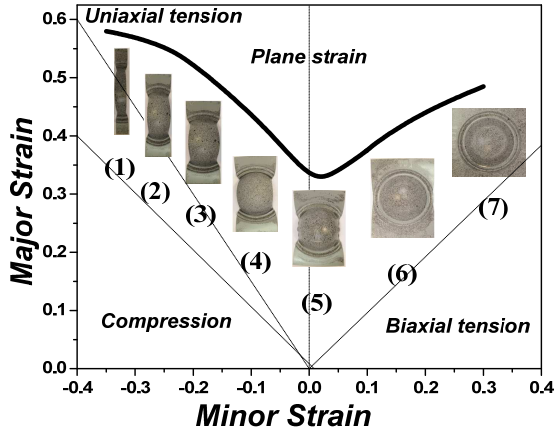
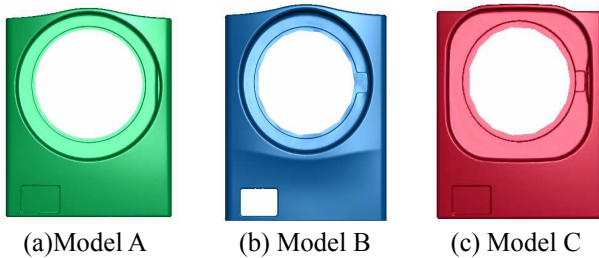


Fig. 3 Forming limit curve of VCM sheet



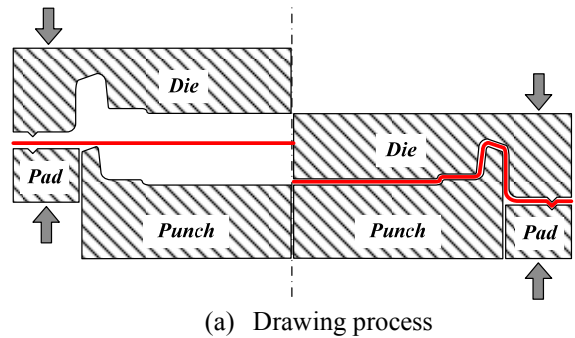
(a) Model A (b) Model B (c) Model C

Fig. 4 Final product shapes of washer panel

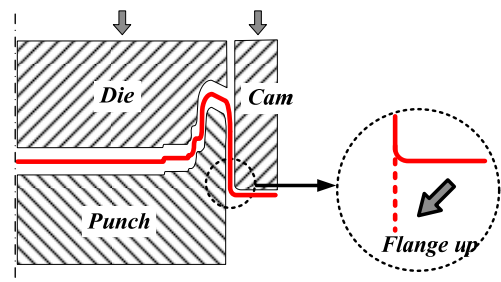
본 연구에서 사용한 VCM 강판의 기계적 물성치는 인장실험 및 이방성실험을 통해 평가하였으며, 그 결과는 Table 1에 정리하였다. 또한 성형 중 발생하는 모재의 파단을 판단하기 위해서 돔 장출실험을 통해 평가하여 Fig. 3에 VCM 강판의 성형한계선도(forming limit diagram)를 나타내었다. (1)~(7)로 표시한 길이 200mm, 폭 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200mm의 7개 시편을 사용하여 돔 장출실험 후 파단부의 변형률을 측정하였다.

2.2 유한요소해석 모델

VCM 강판의 프레스 성형공정은 DYNAFORM 5.5를 전처리기(pre-processor)로 유한요소 모델을 하였으며, LS-DYNA를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 4는 본 연구에서 고려한 제품형상을 나타낸 것이다. 모델 A는 0.94mm VCM 강판을 사용하였으며, 모델 B와 C는 0.98mm VCM 강판을 사용하였다. Fig. 5는 유한요소해석을 수행한 프레스 성형공정을 도식적으로 나타낸 것이다. VCM 강판은 Fig. 5(a)에 나타낸 것과 같이 드로잉 공정을 통해 성형된다. 이때 모델 A와 B의 드로잉 깊이는 35mm이며, 모델 C는 50mm이다. 이후 트리밍공정을 거쳐 Fig. 5(b)와 같이 플랜지 성형공정을 통해 완료된다. 금형과 소재사이의 마찰계수는 0.1로 가정하였다.<sup>(10)</sup>



(a) Drawing process



(b) Flange forming process

Fig. 5 Schematic process design of VCM sheet

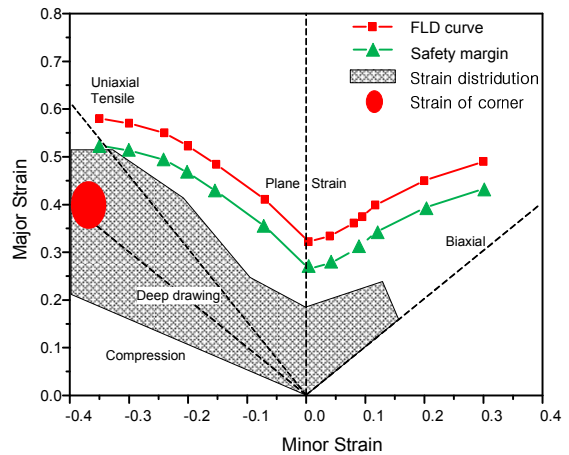


Fig. 6 Strain distribution of VCM sheet after drawing process

코팅층은 VCM 강판에 비해 매우 낮은 강도를 가지며, 얇은 두께로 인해 VCM 강판의 기계적 물성에 영향을 거의 미치지 않기 때문에 성형해석시 코팅층의 변형거동은 고려하지 않았다. 또한 제품의 성형에 영향을 미치지 않는 블랭크 트리밍 공정 및 트리밍공정은 블랭크 요소제거법을 이용하였다.

2.3 VCM 강판 성형시 문제점 분석

Fig. 6은 유한요소해석을 통해 구해진 드로잉 공정 후 VCM 강판의 변형률 분포를 Fig. 3에 나타낸 성형한계선도와 비교한 결과이다. VCM 강판의 변형률은 성형한계선(forming limit curve) 아래에

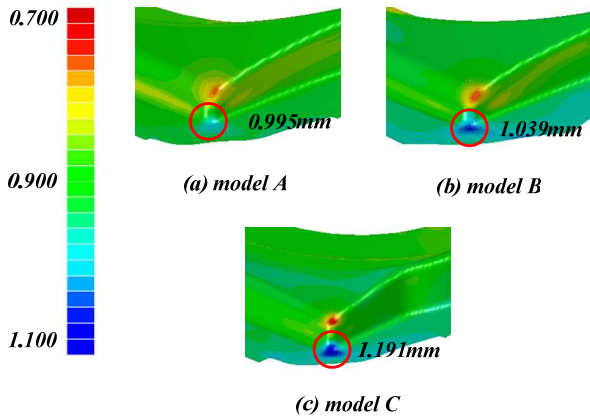


Fig. 7 Thickness distribution of VCM sheet at corner after drawing process

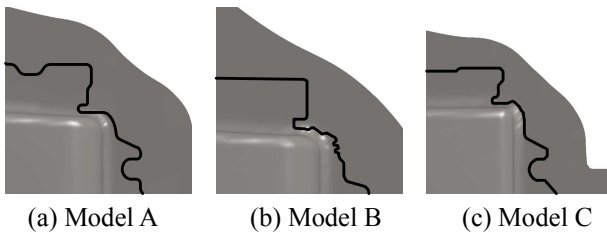


Fig. 8 Trim line of flange after drawing process

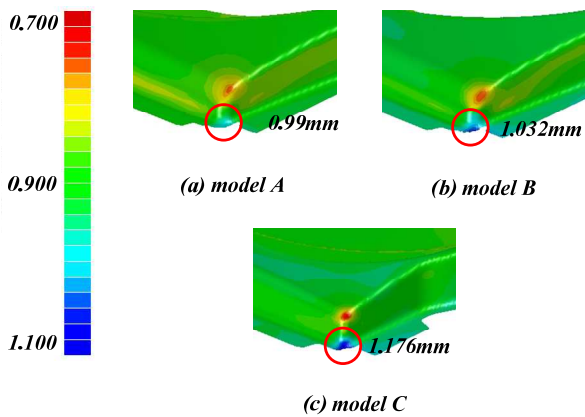


Fig. 9 Thickness distribution of after flange forming

분포하며, PET 찢김이 발생하는 코너부의 변형을 역시 VCM 강판의 성형한계내에 존재함을 알 수 있다. 이는 박판성형에서 일반적으로 사용되는 성형한계선도를 통해 VCM 강판 성형 시 발생하는 VCM 강판의 PET 찢김현상을 예측할 수 없음을 의미한다.

VCM 강판의 PET 찢김현상이 발생하는 코너부는 드로잉 성형시 두께가 증가하는 부분이다. Fig. 7 은 드로잉 성형 후 코너부의 두께분포를 나타낸 것이다. 모델 A 는 최대 5.8%의 두께 증가율을, 모델 B 와 C 의 경우, 각각 6.1%, 21.5%의 두께증가율을 나타내었으며, 국부적으로 금형의 간극

0.99mm 이상의 두께분포를 나타내었다. 이는 드로잉 공정에서뿐만 아니라 플랜지 성형공정에서 금형과 소재 사이의 과도한 마찰을 유발하며, 이로 인해 PET 찢김이 발생함을 의미한다.

### 3. VCM 강판의 PET 찢김 개선방안

3.1 금형의 간극 증가 및 불필요한 플랜지 제거  
본 연구에서는 드로잉 금형의 간극을 1.04mm로 증가시켜 드로잉 공정시 발생하는 PET 찢김 현상을 개선하고자 하였다. Fig. 7 에 나타낸 결과와 같이 제품의 측벽부 두께는 금형간극 1.04mm 이내로 대부분 분포하기 때문에 드로잉 공정시 PET 찢김을 예방할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 모델 C 의 경우는 플랜지의 두께는 1.191mm 로 플랜지 공정의 금형간극 1.04mm 를 초과하며, 플랜지 공정시 PET 찢김이 발생할 것으로 예상된다. 또한 모델 B 의 경우에도 플랜지 성형 시 코너부의 두께의 증가로 인해 금형과 소재사이의 과도한 마찰이 예상된다.

플랜지 성형시 발생하는 코너부의 두께증가를 방지하기 위해 트리밍공정시 드로잉 공정에서 두께가 과도하게 증가된 플랜지를 Fig. 8 과 같이 제거하였다. 플랜지 제거량은 최종제품의 조립성을 고려하여 결정하였다. Fig. 9 는 플랜지 성형 후 제품 코너부의 소재두께분포를 나타낸 것이다. 모델 A 와 B 의 경우, 트리밍공정을 통해 코너부 플랜지의 두께를 플랜지 성형공정의 금형간극 1.04mm 이내로 분포하였으며, 성형 후에도 소재두께는 금형간극이내로 분포하였다. 그러나 모델 C 의 경우, 트리밍 공정을 통해 두께가 증가된 플랜지를 완전히 제거하지 못하기 때문에 플랜지 성형에서 금형간극을 초과하는 두께분포를 나타내었다.

### 3.2 블랭크 형상변경을 통한 플랜지 두께제어

모델 C 의 경우, 플랜지 성형시 금형간극이하의 소재 두께를 가지기 위해서는 드로잉 공정에서 플랜지의 두께증가를 억제하여야 한다. 일반적으로 블랭크 홀딩력을 증가시킬 경우, 홀더와 소재사이의 마찰의 증가로 소재에 인장력이 부가되기 때문에 플랜지의 두께증가를 억제할 수 있다. 그러나, VCM 강판의 경우, 블랭크 홀딩력을 증가시키면 홀더와 소재사이의 과도한 마찰로 인해 Fig. 10 과 같이 PET 코팅층 표면에 미세크랙이 발생할 수 있다. 이러한 이유로 블랭크 홀딩력을 조절한 블랭크 두께제어의 적용범위가 제한적이다.



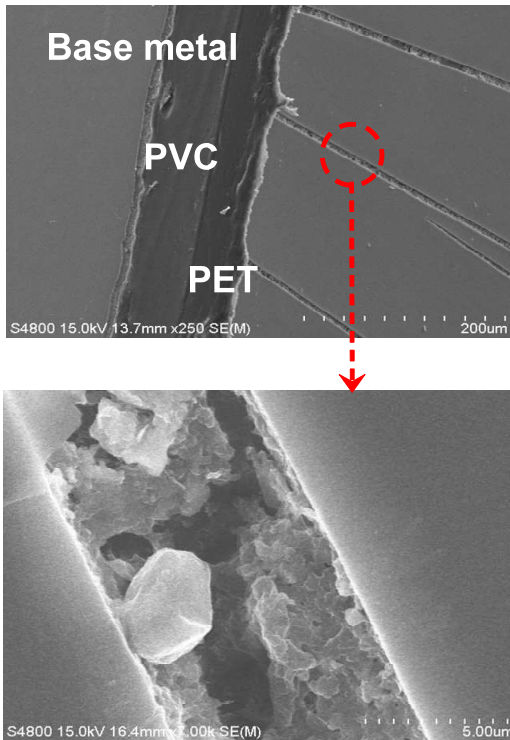


Fig. 10 Micro cracks on PET coating by friction between blank holder and VCM sheet

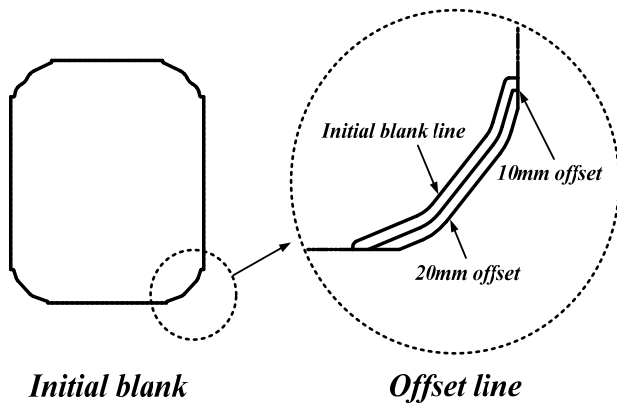


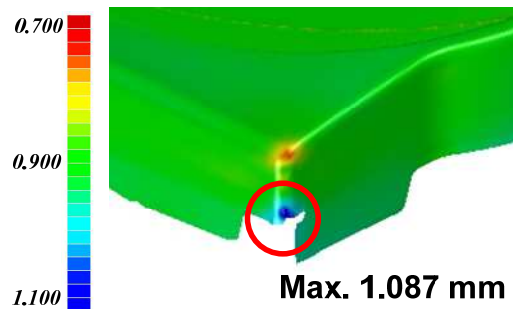
Fig. 11 Modified blank shape of model C

Ko 등<sup>(11)</sup>에 의하면 블랭크 크기를 증가시켜 블랭크 홀딩력의 증가와 같은 효과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 플랜지의 두께가 많이 증가하는 코너부의 블랭크 형상을 Fig. 11 과 같이 변경하여 드로잉 공정에서 코너부의 플랜지 소재 두께분포를 조사하였다.

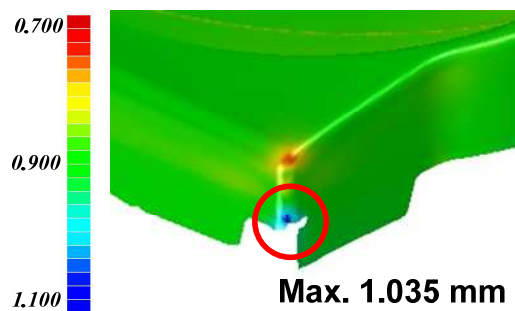
Fig. 12 는 블랭크의 코너부 형상을 초기 소재를 기준으로 변경하여 10mm, 20mm 증가시킨 블랭크에 대해 플랜지 성형을 하였을 때의 코너부 소재 두께분포를 나타낸 것이다. 블랭크 크기를 증가시켰을 경우, 플랜지 성형 후, 코너부의 소재 두께분

Table 2 Modified process parameters

Parameters	Value
Blank offset	0 mm → 20 mm
Clearance ( drawing )	0.99mm → 1.04 mm
( flange forming )	1.08 mm



(a) 10mm offset



(b) 20mm offset

Fig. 12 Thickness distribution of model C after modifying blank shape

포는 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 코너부의 블랭크 홀더와 소재사이의 마찰면적이 증가함으로 인해 마찰력이 증가하고, 소재유입을 구속하기 때문이다.

#### 4. VCM 강판 성형실험

수정된 공정변수들을 검증하기 위해 실제품에 대한 성형실험을 수행하였다. 성형실험은 플랜지부의 두께증가가 가장 크게 나타난 모델 C에 대해 수정된 공정변수들을 적용하였다. Table 2는 수정된 공정변수들을 나타낸 것이다. 블랭크 형상은 드로잉 성형시 코너부의 소재유입을 억제하기 위해 코너부의 블랭크 크기를 20mm 증가시킨 블랭크를 사용하였다. 드로잉 성형시 금형과 소재의 마찰을 최소화하기 위해 금형간극을 기존 0.99에서 1.04mm로 증가시켰다. 또한 트리밍 공정을 통

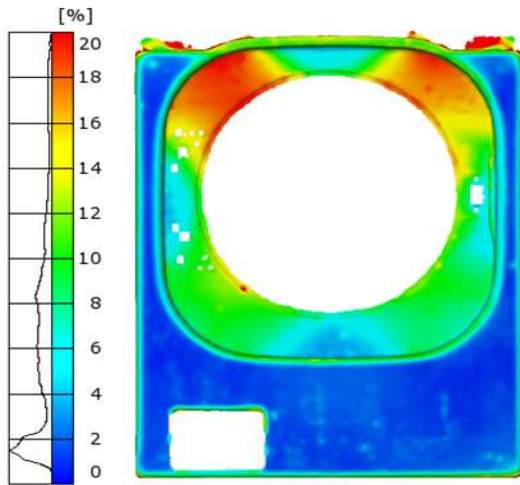


Fig. 13 Major strain distribution of washer panel using VCM sheet after press forming



(a) After drawing



(b) After flange forming

Fig. 14 Result of forming experiment using VCM sheet

해 두께가 증가된 플랜지를 Fig. 8(c)와 같이 제거하였다.

최종성형된 제품의 변형률 측정하여 주변형률 분포를 Fig. 13에 나타내었다. 블랭크의 크기의 증

가로 플랜지부의 주변형률이 높게 분포하였으며, 이는 플랜지부의 인장력이 크게 부과되었음을 나타낸다. 즉, 블랭크 형상의 크기를 증가시켜서 코너부의 소재유입을 억제한 결과, 드로잉 공정시 코너부의 PET 찢김 현상을 제거할 수 있었음을 확인하였다. 그 결과, Fig. 14(a)에 나타난 것과 같이 수정된 공정변수를 적용하여 실제품 드로잉 성형 실험을 수행하여, 드로잉 성형 후 제품의 코너부에 발생하는 PET 코팅층 찢김현상을 개선할 수 있었다. Fig. 14(b)는 플랜지 성형실험 후의 결과를 나타낸 것이다. 플랜지 성형실험결과, 제품의 코너부에서 발생하는 PET 찢김 현상없이 양호한 최종 제품을 성형할 수 있었다.

## 5. 결론

VCM 강판의 프레스 성형 중 발생하는 PET 코팅층의 찢김현상은 종래의 프레스 성형에서 발생하는 성형한계선도로 판단할 수 없다. 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 PET 코팅층 찢김 현상의 원인을 분석하고, 이에 대한 공정변수를 수정하였다. 또한 성형실험을 통해 유한요소해석결과를 검증하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) VCM 강판의 프레스 성형공정에서 코너부의 두께가 두꺼워지기 때문에 충분한 간극이 확보되지 않으면, 플랜지 성형 시 금형과의 접촉면에서 심한 마찰로 인해 PET 필름의 찢김이 발생하였다. 따라서 금형의 초기 간극을 소재 두께의 5% 수준으로 증가시켜서 마찰을 감소시켰다.

(2) 플랜지 트리밍을 통해 두께가 두꺼워진 부분을 제거 후 플랜지 성형을 할 경우, PET 필름의 찢김을 억제할 수 있으나, 플랜지 트리밍이 불가능하거나 두꺼워진 부분이 충분히 제거되지 않을 경우, 플랜지 두께증가를 억제할 수 있도록 공정을 설계해야 한다.

(3) 금형의 간극을 소재두께의 5%로 증가시켜 금형과 PET 필름의 접촉을 최소화하였으며, 블랭크 외곽을 20mm 증가시켜 코너부의 두께증가를 억제하여 소재의 두께가 금형의 간극보다 작은 경우, PET 필름의 찢김현상을 예방할 수 있다.

## 후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단(KICOS)의 지원 및 LG 전자 산학연구과제의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- (1) Ravi, V. and Jyhwen, W., 2007, "Adhesion of Coatings to Sheet Metal Under Plastic Deformation," *International Journal of Adhesion & Adhesive*, Vol. 27, pp. 480~492.
- (2) Van den Bosch, M.j., Schreurs, P.J.G., Geers, M.G.D., 2009, "On the Prediction of Delamination during Deep-drawing of Polymer Coated Metal Sheet," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 297~302.
- (3) Van den Bosch, M.j., Schreurs, P.J.G., Geers, M.G.D., 2008, "Interfacial Characterization of Pre-strained Polymer Coated Steel by a Numerical-experimental Approach," *Mechanics of Materials*, Vol. 40, pp. 302~317.
- (4) Van den Bosch, M.j., Schreurs, P.J.G. and Geers, M.G.D., 2008, "Identification and Characterization of Delamination in Polymer Coated Metal Sheet," *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 56, pp. 3259~3276.
- (5) Van Tijum, R., Vellinga, W.P., De Hosson, J.Th.M., 2007, "Surface Roughening of Metal-Polymer Systems During Plastic Deformation," *Acta Materialia*, Vol. 55, pp. 2757~2764.
- (6) Van Tijum, R., De jong, B.V.C., Vellinga, W.P., De Hosson, J.Th.M., 2007, "In-situ Birefringence Microscopy of Uniaxially Stretched Metal-polymer Laminate," *Surface & Coatings Technology*, Vol. 201, pp.4633~4639.
- (7) Lee, C. J., Lee, S. K., Ko, D. C. and Kim B. M., 2009, "Evaluation of Adhesive Properties using Cohesive Zone Model," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 33, No. 5, pp. 474~481.
- (8) Kim, H. Y., Choi, C. H. and Bae, W. B., 1999, "Study for Friction Characteristics of Pre-coated Metal," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 1999 spring Conference, pp. 1010~1013.
- (9) Kim, D. H., Kim, B. M., 2001, "Formability of Non-Vinyl Pre-coated Metal Sheet," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 121~128.
- (10) Van den Bosch, M.j., Schreurs, P.J.G. and Geers, M.G.D., 2009, "On the Prediction of Delamination during Deep-drawing of Polymer Coated Metal Sheet," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 297~302.
- (11) Ko, D. C., Cha, S. H., Lee, S. K., Lee, C. J. and Kim, B. M., 2010, "Application of a Feasible Formability Diagram for the Effective Design in Stamping Processes of Automotive Panels," *Materials and Design*, Vol. 31, pp. 1262~1275.