

# 연속 스탬핑 작업시 리어 플로어 성형성 향상기술 개발

김동환<sup>#</sup>, 이정민<sup>\*</sup>, 고영호<sup>\*</sup>, 차해규<sup>\*\*</sup>, 김병민<sup>\*\*\*</sup>

## Development of Technique to Improve the Formability of the Rear Floor in Series Stamping Process

Dong Hwan Kim<sup>#</sup>, Jung Min Lee<sup>\*</sup>, Young Ho Go<sup>\*</sup>, Hae Gue Cha<sup>\*\*</sup> and Byung Min Kim<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

In this study, to improve the formability of the rear floor in series stamping process, the method for predicting the temperature of tools and steel sheet is proposed using FE analysis. To do this, tensile tests and straight pulling friction tests of three steel sheets are carried out at temperatures up to 300°C, and the effect of temperature on the tensile properties and the characteristics of friction are examined. The steel sheets have a higher n-value in the temperature range of about 50°C and it is related to the maximum uniform elongation. Also, the blue shortness occurs in the temperature range of about 150°C. When the temperature is higher than 200°C, the friction coefficient increase with increasing temperature. From the FE-simulation, the effects of the punch temperature considering heat expansion in the number of stamping are examined and discussed. The technique developed in this study for estimating tool temperature can be used to develop more feasible ways to improve continuous productivity in series stamping process.

**Key Words** : Clearance (틈새), FE-simulation (유한요소해석), Formability (성형성), Rear floor (리어 플로어), Series Stamping Process (연속 스탬핑 공정)

### 1. 서론

자동차 차체 부품의 연속 프레스 공정에 있어서 생산속도 상승이 원인이라고 생각되는 파단 등의 불량 발생되고 있으며, 이러한 불량은 금형 온도상승이 그 원인이라고 파악되고 있다. 그러나 금형의 온도 상승이 성형성에 미치는 영향에 관하여 실험적인 결과는 발표되고 있으나, 실제 자동차

부품 생산의 현실적인 것에 관해서는 명확하게 알려져 있지 않은 상황이다.<sup>1,2</sup>

복잡한 프레스 제품의 연속 성형 시 결함의 원인으로는 제품 형상 자체의 드로잉 깊이가 소재의 성형한계에 가깝기 때문에 성형성 안정 영역이 축소되고, 금형온도 상승에 의한 금형 틈새 감소로 마찰이 증대되고 유입성이 저하되며, 소재온도의 상승에 의한 재질 열화에 기인한다.<sup>3</sup> 따라서

<sup>1,2</sup> 접수일: 2004년 11월 3일, 게재승인일: 2005년 7월 8일

<sup>#</sup> 교신저자: 진주국제대학교 자동차공학과, 교수

E-mail dhkim@jju.ac.kr Tel. (055) 751-8190

<sup>\*</sup> 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

<sup>\*\*</sup> 진주산업대 기계공학과

<sup>\*\*\*</sup> 부산대학교 기계공학부, 교수

금형 및 소재의 마찰열과 재료 내부의 소성 변형 열로 인한 금형재, 패널 소재, 드로잉 유 등의 특성 변화는 제품 불량 및 생산성 저하의 요인이 된다. 지금까지는 성형성이 향상된 재질을 찾는 방향으로 이러한 문제에 대응하여 왔으나, 이러한 방식의 대책수립에는 한계가 있음이 밝혀지고 있으며, 수 백 회 이상의 연속 작업 시에는 금형 온도의 상승뿐 만 아니라, 그에 따른 금형의 마멸특성, 금형사이의 틈새감소, 마찰 특성의 변화 등이 수반되기 때문에 이에 따른 체계적인 연구가 필수적이다.

연속 스탬핑 공정에서 제품이 초기에는 별다른 문제없이 성형되지만 타수가 200~300 타에 도달 되면 국부적으로 높은 열이 발생하게 되어 변형모드와 마찰 특성을 크게 변화시켜 제품 파단의 원인이 된다. Leighton<sup>1</sup> 등은 판재가 열 발생에 의해 국부적으로 파단 되는 현상을 막고 성형성을 향상시키기 위한 한 방법으로 펀치 어깨 반경 부위를 냉각함으로써 국부적인 연신을 억제시키고 강도를 증가시켜 성형성을 향상시키는 방법을 제시하였다. Yoshida<sup>2</sup> 등은 연속프레스 생산에 있어서 금형 온도 상승 및 금형 온도 상승에 의한 상태 불량의 원인을 조사하였으며, 금형의 열팽창으로 인한 블랭크 홀더력이 증가하고, 이에 블랭크 홀더력의 균일하게 유지하는 방법이 유효함을 제시하였다. Seo<sup>3,4</sup> 등은 온도에 따른 금형의 마찰계수의 변화를 검토하고, 온간 성형효과에 대하여 고찰하였고, Choi<sup>5</sup> 등은 자동차 트렁크 플로어의 부품을 대상으로 연속작업성에 미치는 펀치 냉각효과에 대하여 고찰하였다. Altan<sup>6</sup> 등은 복잡한 형상의 자동차 강판의 성형해석을 위하여 상용 FE-code 인 PAM-STAMP 을 이용하여 공정조건에 따른 강판의 주름, 파단 등의 강판의 성형거동을 예측하였다. 최근에 Takuda<sup>7</sup> 등은 알루미늄 합금 박판 뒷 드로잉 공정의 온간 성형성 평가를 위한 수치해석기법을 제시하였다.

현재의 금형 및 소재 온도 상승으로 인한 불량 방지 대책은 현장의 경험에 지나치게 의존하고 있다. 따라서 금형 온도 변화에 따른 자동차 차체 부품의 성형성에 관한 기초 기술 및 성형인자 특성 변화 연구를 위한 CAE(computer-aided engineering) 기술이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 자동차 차체 연속 스탬핑 부품리어 플로어(Rear Floor)의 성형성 향상기술 및 이의 응용기술을 개발하기 위하여 자동차용 냉연강

판에 대하여 저온, 상온 그리고 온간 인장시험 및 마찰시험을 수행하였다. 또한 유한요소법을 이용한 금형의 온도 해석을 수행하고 온도변화 특성에 대한 성형인자의 특성변화 연구를 수행하였다.

## 2. 시험

### 2.1 인장시험

Table 1 에 나타난 바와 같이 세 가지 자동차 강판소재 SPCD, SPCEN, SGACEN 에 대하여 -10°C, 0°C, 그리고 300°C 까지 50°C 간격으로 인장시험을 수행하였다. 사용된 시편 규격은 ASTM E517-00 이며 Fig. 1 에 나타난 바와 같이 MTS (Materials Test System) 장비를 사용하였다. 냉간 및 온간 인장 시험에서는 시편이 일정한 온도로 냉각, 가열 및 유지 되어야 하므로, 본 시험에서는 Fig. 1 의 550°C 까지 가열 가능하고, ±5°C 오차범위를 갖는 열 챔버(heat chamber)와 Fig. 2 의 냉각장치(SWSF06)를 이용하여 시편 종류와 온도에 따라 인장 시험을 수행하였다. 시험은 재현성을 위해 동일 조건에서 3 회씩 반복 수행하였다.

Table 1 Tensile test conditions

Materials	SPCD, SPCEN, SGACEN
Test temperature	-10, 0, R.T., 50, 100, 150, 200, 250, 300°C
Thickness	0.7t
Rolling direction	0°
Speed	5mm/min
Holding time	3min

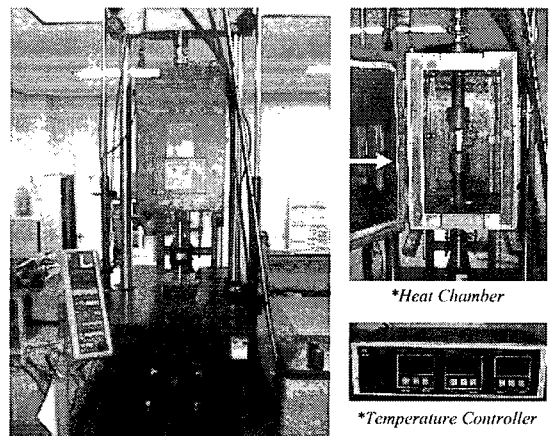


Fig. 1 Photograph of warm tensile test apparatus

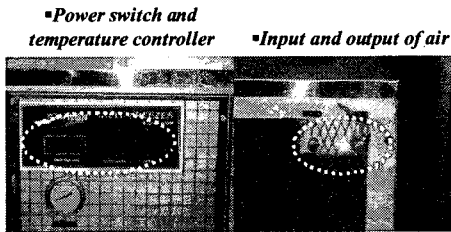


Fig. 2 Cooling system for tensile test

## 2.2 마찰시험

온도 변화에 따른 자동차용 판재의 마찰 특성을 파악하기 위하여 세 가지 자동차 강판 SPCD, SPCEN, SGACEN 에 대하여 상온에서 300°C 까지 50°C 간격으로 온간 마찰시험을 수행하였다. 마찰 시험은 평판 마찰 시험 장치를 제작하여 이를 UTM (Universal Testing Machine)에 장착하고, 마찰금형 가열을 위한 전기 히터와 온도조절을 위한 온도 제어 박스, 강판에 수직력을 가하기 위한 유압 실린더를 Fig. 3 과 같이 구성하였다.<sup>8,9</sup>

본 연구에서는 금형 교환 및 시편 인출을 용이하게 하기 위해 Fig. 4 와 같이 양쪽 금형(die)에 4 개씩 가열 구멍(heating hole)을 뚫어 열 손실을 감소한 개방형으로 설계하여, Fig. 3 의 마찰금형에 장착한 후 시험을 수행하였다. 이러한 장치는 실제 현장에서 상온상태 중에 금형 표면의 온도상승으로 인한 강판의 온도상승을 반영한 것이다. 마찰금형의 재질은 SKD11 이며, 열처리 후 Cr 코팅을 하였고, 코팅 전후의 금형의 표면 거칠기는 각각  $0.3\mu\text{m}\pm 0.05$ ,  $0.06\mu\text{m}\pm 0.05$  를 유지하도록 하였다. 마찰시편의 크기는 45mm x 400mm, 금형과의 접촉면은 52.5mm x 45mm 이다. 본 연구에서는 무윤활 상태에서 모든 금형에 대하여 소재의 인출방향과 금형의 연마방향(Fig. 4)을 동일하게 하였다.<sup>10</sup>

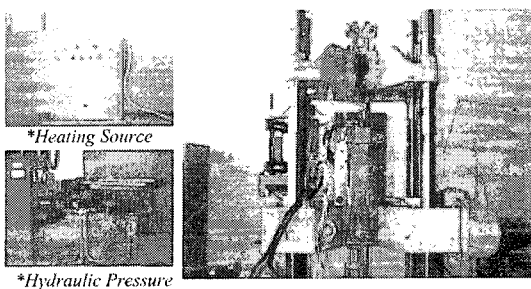


Fig. 3 Photograph of warm friction test apparatus

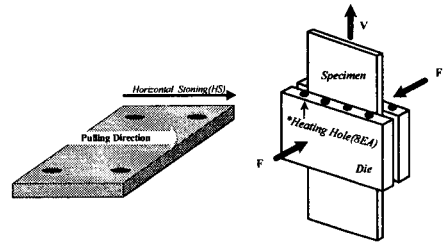


Fig. 4 Stoning & pulling direction and straight pulling friction tester

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 인장시험결과

Fig. 5 에는 온도에 따른 인장강도를 나타낸 것으로 세 가지 강판 소재 모두 약 50°C 에서 가장 낮은 인장강도를 가지며, 150°C 까지 상승하다가 다시 감소하는 경향을 나타내었고, 연신율은 Fig. 6 에 나타낸 바와 같이 약 50°C 을 기점으로 400°C 까지 온도가 상승함에 따라 감소하였다. 그리고 저온(0°C 이하)으로 갈수록 인장강도와 연신율이 모두 떨어지는 것을 알 수 있다. 저 탄소함유량을 가지는 소재(ultra low carbon steel)의 경우 온도의 증가에 따라 인장강도는 단조로운 감소의 형태를 나타내지만, 일반적인 강판의 경우 200°C 부근에서 청열취성(blue shortness) 현상이 나타난다는 Ohwue<sup>11, 12</sup> 등의 실험적 결과로부터, 본 연구에서 사용된 소재의 경우 150°C 부근에서 청열취성 효과가 나타났다고 생각된다.

온도에 따른 가공경화지수,  $n$  의 변화를 보면, Fig. 7 에 나타낸 바와 같이 -10°C ~ 50°C 까지 온도가 상승할수록 가공경화지수는 상승하고, 50°C 이후부터는 감소하였다. 가공경화지수가 낮다는 것은 균일 연신(uniform elongation)이 줄어들음을 의미하며<sup>13</sup> 따라서 약 50°C 범위에서 가공경화지수가 크고 상대적으로 연신율이 큼을 확인 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 자동차 강판 소재의 경우 50°C 범위에서 인장강도가 가장 낮고 연신율과 가공경화지수가 큼을 알 수 있었고, 이 온도범위가 강판의 성형성 향상에 유리하다고 생각된다. 온도에 따른 SPCEN 소재의 수직 이방성 ( $r_m$ ) 을 Fig. 8 에 나타내었고, 온도가 상승할수록 이방성 계수는 감소하는 결과로부터 온도가 상승할수록 소재의 드로잉성이 낮아짐을 알 수 있다.

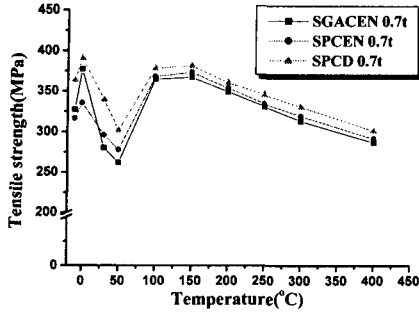


Fig. 5 Tensile stress depending on temperature

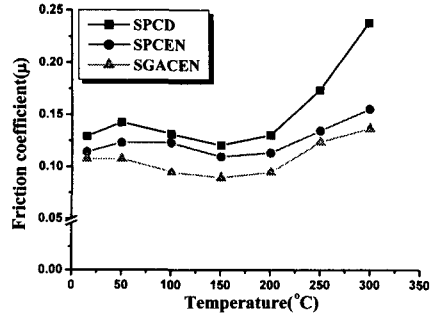


Fig. 9 Tensile stress depending on temperature

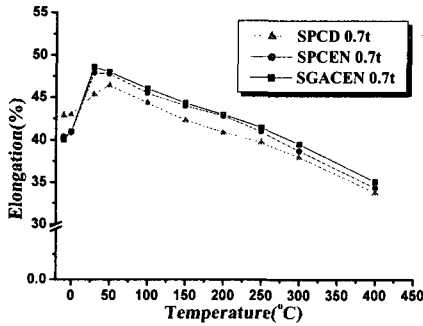


Fig. 6 Elongation depending on temperature

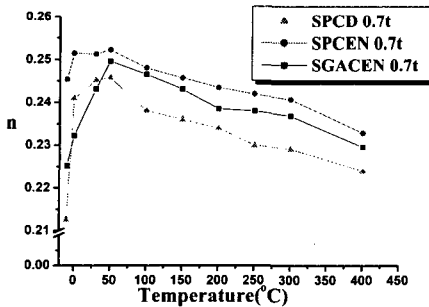


Fig. 7 Hardening exponent (n) depending on temperature

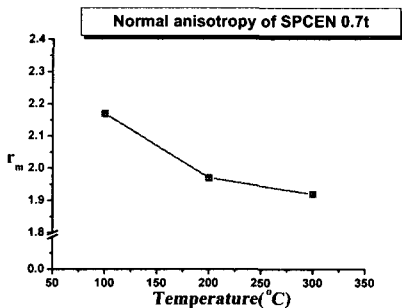


Fig. 8 Normal anisotropy of SPEN depending on temperature

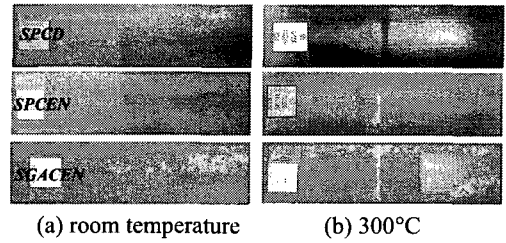


Fig. 10 The photograph of specimens after friction test

### 3.2 마찰시험결과

온도에 따른 마찰시험 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 온도가 상승함에 따라 마찰계수,  $\mu$  는 감소하다가 약 200°C 를 기점으로 증가하였다. SGACEN 소재가 가장 낮은 마찰계수를 가지며, SPCD 소재의 마찰계수가 가장 크게 나타났다.

300°C 마찰 시험 전·후의 SPCD 의 표면 거칠기( $R_a$ )는 0.81, 0.50  $\mu\text{m}$  였으며, SGACEN 의 경우 1.26, 1.12  $\mu\text{m}$  로 나타났다. 일반적으로 표면 경도가 낮은 소재일수록 같은 면압이라 하더라도 조기에 평활 해지고 형 스키핑(scuffing)으로 발전할 위험이 크다.<sup>14</sup> Fig. 9 에 나타나 있듯이 온도에 따른 표면 경도가 상대적으로 큰 SGACEN 소재가 평판 마찰시험 후 표면 거칠기는 SPCD 소재보다 크지만, 마찰계수는 낮게 났으며, Fig. 10 에 나타나 있듯이 SPCD 소재는 300°C 온도에서 금형과 직접 접촉에 의한 금형 면적이 넓게 분포함을 볼 수 있다. 특히, 200°C 이상에서 소음과 진동을 동반한 떨림(chattering) 현상이 나타났고 마찰계수는 급격히 상승되었다. 이것은 온도 상승으로 인해 소재의 열화 및 금형이 열팽창 되고 이로 인한 금형과 소재의 실 접촉면이 증가하여 금형과 시편 사이에 표면 응착이 발생하기 때문이라 생각된다.

### 4. 연속 스탬핑 공정의 유한요소해석

#### 4.1 리어 플로어 스탬핑공정의 해석조건

자동차용 강판의 온도에 따른 인장 및 마찰시 험결과를 입력데이터로 하여 Fig. 11(a)의 자동차 리어 플로어 연속 프레스 작업의 성형해석 및 성형열과 마찰열에 기인한 금형과 소재의 온도해석을 수행하였다. 해석은 Fig. 11(b)의 동일한 드로잉 깊이, 펀치 및 다이 반경을 갖는 근사 모델을 이용하여, 연속 성형 시 특히 문제가 되는 부위인 펀치 및 다이의 곡률부 그리고 드로잉 깊이는 동일하게 하였고, 해석 시간을 고려하여 축 대칭 모델을 사용하였다. 해석에 사용된 자동차 강판 소재는 SPCEN 0.7t, 금형 재질은 SKD11 이다.

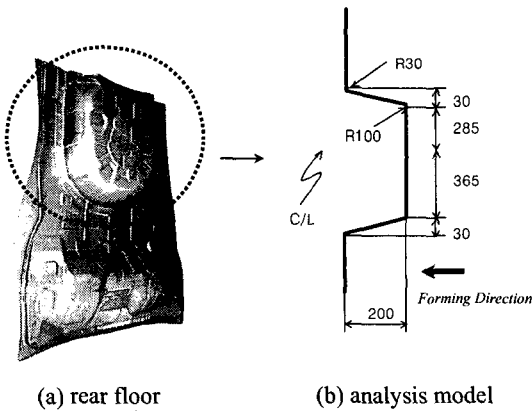


Fig. 11 Simplified model of rear floor for FE-simulation

Table 2 Conditions of FE-simulation

Item	Value	Tool(SKD11)	Value
Materials	SPCEN	Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )	2.09e5
Thickness (mm)	0.7t	Poisson's ratio	0.3
Punch radius (mm)	100	Mass density (kg/mm <sup>3</sup> )	7.9e-6
Die radius (mm)	30	Initial yield stress (N/mm <sup>2</sup> )	1950
Clearance (mm)	0.7	Thermal Exp. coefficient	1.2e-5
Die angle (°C)	8.53	Conductivity (N/s · K)	50
Depth (mm)	200	Specific heat (N · mm/kg · K)	5e5
Velocity (mm/s)	200	Tool	Deformable

자동차용 강판은 성형열 및 마찰열로 인하여 성형 시 높은 열로 상승되었다가 식게 되며, 반복되는 성형과정 동안 순간적인 판재의 성형 및 마찰열의 일부는 금형에 축적하게 된다. 본 연구에서는 스탬핑 공정에서의 판재의 상승 온도 및 연속 성형과정 동안 타수별 금형에 축적되는 '누적 온도'를 예측하기 위하여 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 상용 유한요소코드인 MARC (Mentat 2001)을 이용하여 Mechanical & Thermal Couple 해석을 위한 1 층의 솔리드 요소(solid element)를 사용하였으며, 홀더(holder)는 고려하지 않고 하부 금형 다이에 접촉하여 슬라이딩 하도록 하중으로 제어하였다. 초기의 소재와 금형 및 대기 온도는 상온 20°C 로 가정하였으며 기존 자료를 토대로 금형의 열 전달계수 및 기타 열 물성치를 입력하였다. 15, 16 온도변화에 따른 마찰계수변화와 금형의 열 팽창량을 고려하여 200 타 연속 스탬핑 공정에 대한 금형 및 강판의 상승온도를 예측하였으며, Table 2 에 성형 및 열 해석 조건을 나타내었다.

#### 4.2 온도해석결과

자동차 차체 부품 리어 플로어의 성형 및 온도해석을 수행한 후, 200 타 연속 스탬핑 공정에 대한 금형의 온도변화를 50 타 간격으로 Fig. 12 에 나타내었다. 또한, 타수 별 펀치와 다이의 최대 누적온도변화를 Fig. 13 에 나타내었다. 타수 별 금형의 최대온도는 Fig. 12 에서 알 수 있듯이 금형의 코너 부에서 발생하고, 200 타 후 상부 금형 펀치의 최대 온도는 약 36°C, 하부 금형 다이의 온도는 약 54°C 까지 상승하였다. 최대 상승 온도는 Fig. 13 에서 알 수 있듯이 50 타 이전까지 온도 상승폭이 크지만, 50 타 이후부터는 그 폭이 적다.

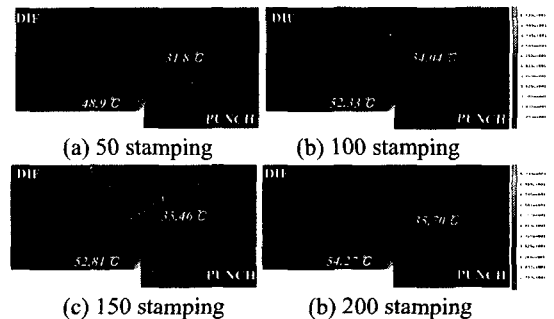


Fig. 12 Temperature of tools in series stamping process

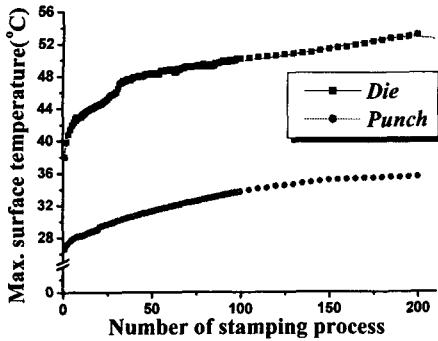


Fig. 13 Surface temperatures of tools in series stamping process

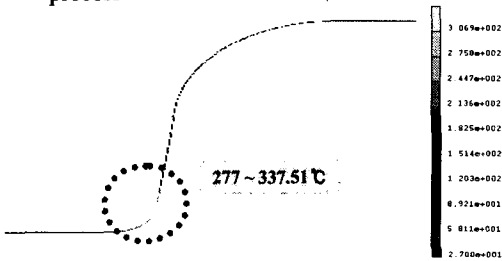


Fig. 14 Sheet temperature after No.200 stamping

이것은 Fig. 12 에 보여지듯이 타수의 증가와 함께 금형 내부로 열이 전달되고 상대적으로 금형 표면에 비해 소재와 접하는 면적이 큰 상부 금형 펀치에서 내부로의 열 전달이 활발하고, 타수가 진행됨에 따라 전체적으로 고른 온도분포에 도달된다고 생각된다.

200 타 후의 판재의 상승온도는 Fig. 14 에 나타난 바와 같이 소재가 유입되는 하부 금형과 맞닿는 곡률 부위에서 최대 약 330°C 까지 상승하였으나, 타수 변화에 따른 판재의 온도는 거의 일정하였다. 이것은 판재의 경우 새로운 소재가 연속적으로 스탬핑 됨으로써 금형의 누적온도에 영향을 받지 않음, 소재의 체적에 비해 금형과 접촉하는 표면적이 크고, 따라서 순간적인 마찰열이 금형의 누적온도보다 상당히 크기 때문이라 생각된다.

### 4.3 금형의 열팽창

자동차 차체 리어 플로어 부품의 연속 스탬핑 공정의 성형 및 온도해석을 수행하여 200 타 후의 상·하부 금형에 대한 누적온도분포를 예측하였다. 본 절에서는 예측된 금형의 누적온도분포를 이용하여 금형의 열 팽창량을 조사하였다.

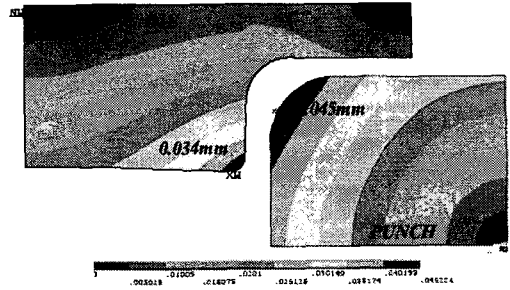


Fig. 15 Heat expansions of tools after No.200 stamping

Fig. 15 에 나타난 바와 같이 200 타 스탬핑 후 금형의 열 팽창량은 상부 금형 펀치는 약 0.045 mm 로 하부 금형 다이의 0.034mm 보다 크다는 것을 알 수 있다. 200 타 후 다이 곡률 부의 최대 상승 온도는 Fig. 12 에서 알 수 있듯이 펀치보다 높다. 그러나 상부 금형 펀치가 내부로의 열 전달이 하부 금형 다이보다 빠르고 그 결과 상부 금형의 온도 편차가 하부 금형보다 적기 때문에 펀치의 열 팽창량이 다이보다 크다는 것을 알 수 있다.

### 4.4 고찰

일반적으로 딥 드로잉 공정에서 스트레칭(stretching) 성 향상을 위해서는 높은  $n$  값과 드로잉(drawing) 성 향상을 위해서는 높은  $r$  값이 요구되나, 본 연구의 온간 인장 및 마찰시험의 결과로부터 자동차 강판의 온도가 50°C 이상 되면 가경경화지수,  $n$  과 이방성계수,  $r$  이 감소하는 것을 알 수 있었고, 200°C 이상의 온도에서 마찰계수,  $\mu$  가 급격히 상승됨을 알 수 있었다. 본 연구의 해석결과로부터 강판은 다이어깨반경 부위에서 순간 마찰열 및 성형열로 인하여 국부적으로 약 300°C 이상으로 상승되고, 상승된 열이 특히 상부 금형 펀치로 전달 및 축적됨으로써 열팽창과 이로 인한 금형 틈새(clearance)가 감소됨을 알 수 있었다.

Choi<sup>5</sup> 등은 자동차 차체 트렁크 플로어에 대한 연속 스탬핑 공정의 실험에서 성형매수가 증가할수록 초기 틈새는 점점 감소하고 300 타 이후 최대 0.15mm 까지 감소되며, 약 180 매 성형 후 펀치 어깨반경 부위에서 소재가 파단 되었다고 하였다. 또한 연속 성형에 의해 발생하는 소성가공열 및 마찰열이 금형에 축적 및 소재로 전달되어 소재의 파단강도보다 유입저항의 증가로 인한 소재 파단

을 초래한다고 보고하였으며, 금형의 온도상승에 의한 조기 파단을 억제하기 위하여 상부 금형 펀치에 냉각장치를 설치하여 600 매 이상에서도 파단되지 않음을 실험적으로 증명하였다. 본 연구결과로부터 금형의 열 팽창량은 펀치어깨반경에서 크다는 것을 해석적으로 알 수 있었고, 이로 인한 금형 틈새 감소 및 유입저항 증가를 짐작할 수 있다. 이것은 180 매 성형 후 펀치어깨반경 부위에서 소재가 파단 되는 실험적 결과와 일치하는 것으로 소재의 조기 파단의 원인이라고 생각된다. 또한 본 연구의 연속 스탬핑 공정에 대한 해석결과로부터 상부 금형 펀치의 축적된 열이 외부로 방출되기 어려움을 알 수 있었고, 상부 금형 펀치의 냉각이 연속 스탬핑 공정의 생산성을 향상시킨다는 Choi<sup>5</sup> 등의 실험적 결과를 뒷받침한다.

이상의 결과로부터 연속 스탬핑 공정에서 금형의 열팽창으로 인한 금형틈새 감소는 국부적 열화되는 판재의 파단을 촉진하는 심각한 원인이라고 생각된다. 향후, 연속 스탬핑 시 금형 표면 온도의 실시간 측정 및 판재의 유입량과 판재의 두께 감소 그리고 금형의 열 팽창량 등이 측정되어야 하며, 이러한 실험적 결과로부터 해석적 결과의 검증이 요구된다. 또한, 금형의 온도 상승이 원인이라고 파악되는 파단 등의 불량 최소화를 위한 최적 제품구조를 제시하기 위하여 펀치 및 다이 어깨반경, 성형 깊이 등의 금형형상변수, 금형 틈새, 블랭크 홀딩력 등의 공정변수 그리고 윤활조건에 따른 타수 별 금형 및 소재의 상승온도예측에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 금형특성 관점에서 자동차 차체 연속 스탬핑 작업 시 난 가공성 딥 드로잉 부품에 대한 성형성 향상기술 및 이의 응용기술을 개발하기 위하여 연속 스탬핑 공정의 성형 및 열 해석을 수행하였다. 해석의 입력데이터 확보 및 소재의 열 특성 파악을 위하여 연속 스탬핑 부품 리어 플로어의 자동차용 냉연강판 SPCD, SPCEN, SGACEN 에 대하여 저온, 상온 그리고 온간 인장시험 및 마찰시험을 수행하고 이를 D/B 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 세 가지 자동차 강판소재에 대하여 -10°C, 0°C, 그리고 300°C 까지 50°C 간격으로 인장시험을

수행하였고, 그 결과 50°C 범위에서 인장강도가 가장 낮고 연신율과 가공경화지수가 크게 나타났다. 또한, 150°C 부근에서 청열취성효과가 나타났으며, 온도가 상승할수록 수직이방성계수도 감소함을 알 수 있었다.

- (2) 상온에서 300°C 까지 50°C 간격으로 온간 평판 마찰시험을 수행하였고, 온도가 상승함에 따라 마찰계수,  $\mu$  는 감소하다가 200°C 이후부터 크게 증가하였다. SGAEN 소재가 가장 낮은 마찰계수를 가지며, SPCD 소재의 마찰계수가 가장 크게 나타났다.
- (3) 200 타 후의 판재의 상승온도는 소재가 유입되는 하부 금형과 맞닿는 곡률 부위에서 최대 약 330°C 까지 상승하였으나, 타수 증가에 따른 판재의 온도는 거의 일정하였다.
- (4) 금형내부로 열 전달은 상부 금형 펀치가 하부 금형 다이보다 빠르고 그 결과 상부 금형의 온도 편차가 하부 금형보다 적기 때문에 200 타 스탬핑 후 금형의 열 팽창량은 상부 금형 펀치는 약 0.045mm 로 하부 금형 다이의 0.034mm 보다 크게 나타났다.
- (5) 해석으로부터 펀치어깨반경에서 금형의 열 팽창량이 크고, 이로 인한 금형 틈새 감소 및 유입저항 증가는 국부적 열화되는 판재의 조기 파단을 촉진하는 심각한 원인이 되며, 180 매 성형 후 펀치어깨반경 부위에서 소재가 파단 되는 Choi<sup>5</sup> 등의 실험적 결과와 일치한다.
- (6) 본 연구에서는 연속 스탬핑 공정에 대한 해석적 기법을 제시하였고, 금형의 온도 상승이 원인이라고 파악되는 파단 등의 불량 최소화 및 최적 제품 구조 제시를 위한 선행연구로서 자동차 부품의 연속 스탬핑 작업 시 난 가공성 딥 드로잉성 부품에 대한 성형성 및 생산성 향상에 기여하리라 생각된다.

## 후 기

이 논문은 2003 년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2003-003-D00025), 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Leighton, D. E. and Lee, D., "The Effect of Tooling Temperature on the Formability of Sheet Steel," *Journal of MPT*, Vol. 45, pp. 577 - 582, 1994.
2. Yoshida, T., Shidoda, T. and Sano, A., "The Effect of Increase of Tool Temperature on Sheet Steel Forming," *Mold Technology*, Vol. 11, No. 8, pp. 28 - 29, 1996.
3. Song, K. H., Lee, J. D. and Seo, D. G., "Friction Characteristic of Sheets for the Die Temperature and the Treating Conditions," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 8, No. 3, pp. 245 - 251, 1999.
4. Lee, J. D., Choi, C. S., Choi, Y. C., Kim, H. Y. and Seo, D. G., "A Study on the Warm Deep Drawing Ability of Sheets on Cr-Coating Die," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 9, No. 2, pp. 186 - 192, 1999.
5. Choi, C. S., Choi, Y. C., Oh, Y. K., Lee, J. W. and Lee, H. S., "Effect of Cold Forming Method on Drawability in Trunk Floor Panel," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 10, No. 2, pp. 123 - 129, 2001.
6. Thomas, W., Oenoki, T. and Altan, T., "Process Simulation in Stamping - Recent Applications for Product and Process Design," *Journal of MPT*, Vol. 98, pp. 232 - 243, 2000.
7. Takuda, H., Mori, K., Masuda, I., Abe, Y. and Matsuo, M., "Finite Element Simulation of Warm Deep Drawing of Aluminium Alloy Sheet When Accounting for Heat Conduction," *Journal of MPT*, Vol. 120, pp. 412 - 418, 2002.
8. Ko, Y. H., Kim, B. M. and Kim, D. H., "Prediction of Temperature Increase during Continuous Stamping Process by FE-simulation," *Proceedings of the KSPE Autumn Annual Meeting*, pp. 974 - 977, 2003.
9. Kim, D. H., Lee, J. M., Ko, Y. H., Cha, H. G. and Kim, B. M., "Development of Technique to Improve the Formability of the Rear Floor in Series Stamping Process," *Proceedings of the KSPE Autumn Annual Meeting*, pp. 25 - 28, 2004.
10. Kim, D. H., Kim, B. M., Lee, Y. and Min, B. H., "Friction Characteristics for Surface Finish and the Stoning Direction of Stoning Dies," *Proc. Instn. Mech. Engrs. Part B: J. Engineering Manufacture*, Vol. 216, pp. 531 - 542, 2002.
11. Ohwue, T., Takechi, H. and Furuno, Y., "Deep Drawability of Square Shells in Warm Working Condition," *Journal of JSTP*, Vol. 28, No. 318, pp. 706 - 711, 1987.
12. Ohwue, T., Takechi, H. and Furuno, Y., "Temperature Dependence of Tensile Properties Drawability of Steel Sheets in Warm Working Condition," *Journal of JSTP*, Vol. 28, No. 314, pp. 225 - 231, 1987.
13. Basic Formability, Forming Technology INC., 1075 North Service Road West, Unit 6, Oakville, 1996.
14. Ike, H., "Tribology of Galvanized Steel Sheet," *Press & Mold Technology*, Vol. 11, pp. 100 - 104, 1992.
15. Kim, D. H. and Kim, B. M., "Estimation of Die Service Life for Die Cooling Method in Hot Forging," *Transaction of Materials Processing*, Vol. 12, No. 4, pp. 408- 403, 2003.
16. [www.matweb.com](http://www.matweb.com)